平成26年度

地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発

報告書

(第1分冊)

人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック

平成27年3月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

本報告書は、経済産業省からの委託研究として、公 益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センターが 実施した、平成 26 年度地層処分技術調査等事業 処分 システム工学確証技術開発のうち、人工バリア品質/ 健全性評価手法の構築-オーバーパックーの開発成果 を取りまとめたものです。

報告書の構成

平成 26 年度 地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発の報告書は、以下 の分冊により構成されている。

当該報告書	分冊名	報告書の標題
	竺 1 八皿	処分システム工学確証技術開発 人工バリア品質/健全性評価
	第Ⅰ 万Ⅲ	手法の構築-オーバーパック
	笠の八皿	処分システム工学確証技術開発 人工バリア品質/健全性評価
	第2分 冊	手法の構築-緩衝材
	第3分冊	処分システム工学確証技術開発 モニタリング関連技術の整備
	筠 4 八皿	自然災害に対する操業期間中の安全対策に関わる基盤技術の
	寿せ万冊	開発

H26年度 地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発(1/4)

人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック

報告書 目次

第1章 はじめに1-1
1.1 処分システム工学確証技術開発の背景および目的1-1
1.1.1 本事業の背景1-1
1.1.2 開発項目の相互関係と年度目標1-4
1.2 人工バリアの健全性評価手法の構築1-7
1.2.1 本事業の位置づけ1-7
1.2.2 人工バリアの製作・施工、品質評価に係るこれまでの開発経緯1·7
1.2.3 人工バリアに係る種々の判断のための指標の提示に向けた検討方策1-9
1.2.4 人工バリアの安全機能と技術要件1-11
1.2.5 人工バリアの安全機能に寄与する因子1-12
1.2.6 人工バリアの長期健全性を判断するための指標1-15
1.2.7 操業段階における判断のための指標1-15
1.2.8 判断のための指標、基準値の提示に向けた検討1-19
1.3 全体計画1-20
1.3.1 研究開発の方針1-20
1.3.2 5 年間の研究開発計画1-20
1.3.3 平成 26 年度の実施項目1-22
第2章 オーバーパック健全性評価手法の構築2-1
2.1 オーバーパックの健全性確保の考え方2-1
2.2 腐食評価
2.2.1 寿命評価における前提条件2-3
2.2.2 これまでの腐食評価2-4
2.2.3 腐食現象に寄与する因子2-5
2.2.4 オーバーパックの腐食評価の考え方2-9
2.3 構造評価2-10
2.3.1 荷重条件の検討2-10
2.3.2 オーバーパックの破損要因の検討2-12
2.3.3 材料劣化事象の検討2-14
2.3.4 構造評価の考え方2-16
2.3.5 構造評価における指標2-23
2.3.6 構造評価に関する研究開発課題の整理2-24

2.4.1	腐食評価	2-25
2.4.2	構造評価	2-26
第3章現	象理解の腐食試験	3-1
3.1 全体	\$概要	3-1
3.2 課題	夏の設定	3-1
3.2.1	オーバーパック長期健全性における腐食の位置付け	3-1
3.2.2	室内試験と実際の処分事業との違い	3-3
3.2.3	腐食試験の位置付け	3-4
3.3 単約	拒系での腐食試験	3-8
3.3.1	全体概要	
3.3.2	試験に供した溶接試験体	3-11
3.3.3	酸化性雰囲気での浸漬試験	3-15
3.3.4	低酸素雰囲気での浸漬試験	3-17
3.3.5	応力腐食割れ	3-21
3.3.6	水素脆化	3-23
3.3.7	代替材料 (Ti)	3-25
3.4 複杂	進系での腐食試験	3-29
3.4.1	概要	3-29
3.4.2	計測センサー	3-31
3.4.3	溶接付き模擬オーバーパック	3-50
3.4.4	緩衝材ブロック	3-70
3.5 工賞	≤規模試験(地下施設での実施)	3-87
3.5.1	試験装置構築手法の検討	3-87
3.5.2	地下試験設備の構築、試験の開始	3-93
3.5.3	地下水対策	3-93
3.5.4	幌延試験坑道 5 における設置状況	3-94
3.5.5	地下試験設備の試験結果	3-124
3.6 地上	-施設での試験設備の構築、試験条件の設定	3-133
3.6.1	地上施設での試験設備の構築手順	3-133
3.6.2	地下試験設備設置時等からの条件反映	3-137
3.7 腐食	ま計測技術の適用性確認調査	3-140
3.7.1	調査概要	3-140
3.7.2	モニタリング技術の概要	3-142
3.7.3	各モニタリング技術研究の H26 年度成果	3-148
3.8 小規	1模要素試験	3-174
3.8.1	試験環境の検討	

3.8.2 試験条件の選定	3-177
3.8.3 小規模要素試験条件案	3-182
3.8.4 小規模要素試験の実施スケジュール検討検討	3-184
3.9 まとめ	3-185
3.9.1 単純系の腐食試験	3-185
3.9.2 複雑系の腐食試験	3-185
第4章 メカニズム解明の腐食試験	4-1
4.1 総論	4-1
4.2 溶接部材料因子の影響評価	
4.2.1 概要	
4.2.2 耐食性評価試験から課題の抽出	
4.2.3 化学成分を統一した溶接試験体の作製	
4.2.4 溶接試験体の製作	
4.2.5 電気化学的手法による溶接金属選択腐食の再現試験	
4.3 緩衝材と腐食	
4.3.1 応力腐食割れ感受性試験における緩衝材の影響	4-35
4.3.2 媒体としての緩衝材の取扱い	4-35
4.3.3 媒質としての緩衝材の性状調査	
4.4 まとめ	4-47
第5章 溶接部の限界き裂寸法の解析的検討	5-1
5.1 背景および目的	5-1
5.2 実施内容	5-1
5.2.1 オーバーパックの破壊モード	5-1
5.2.2 解析モデル	5-1
5.2.3 解析条件	5-2
5.3 K値算出のための予備検討(2 次元解析)	5-4
5.3.1 解析方法	5-4
5.3.2 解析結果	5-7
5.3.3 まとめ	5-18
5.4 溶接部先端の <i>K</i> 値の算出	5-18
5.4.1 解析モデルおよび解析条件	5-18
5.4.2 解析結果	5-18
5.4.3 まとめ	5-23
5.5 き裂先端の <i>K</i> 値の算出	5-23
5.5.1 解析モデルおよび解析条件	5-23
5.5.2 <i>K</i> 値に対するメッシュサイズの影響	5-25

5.5.3 解析結果	5-27
5.5.4 限界き裂寸法	5-31
5.6 まとめ	5-33
5.6.1 応力拡大係数の計算結果	5-33
第6章 超音波探傷試験による欠陥寸法の定量化	6-1
6.1 背景および目的	6-1
6.2 欠陥寸法に対する測定誤差の発生要因の検討	6-1
6.2.1 断面マクロの調査結果の整理	6-1
6.2.2 欠陥形状により寸法および位置誤差が生じる要因の把握	6-9
6.2.3 誤差範囲の定量的な把握	6-24
6.2.4 PhA 法および PhA-TOFD 法における欠陥寸法および位置測定精度の確認.	6-29
6.3 まとめ	6-39
第7章 材料劣化に関する検討	7-1
7.1 はじめに	7-1
7.1.1 背景および目的	7-1
7.1.2 平成 25 年度の成果	7-2
7.2 最新の計算コードを用いたオーバーパック照射線量の検討	7-6
7.2.1 ガラス固化体の放射能の算出	7-6
7.2.2 中性子線及びガンマ線の照射線量率の算出	7-18
7.2.3 PHITS による照射線量の算出	7-32
7.3 炭素鋼オーバーパックの損傷速度の算出	7-38
7.3.1 ASTM E693 を用いた損傷速度の算出	7-38
7.3.2 PHITS252 による損傷速度の算出	7-44
7.4 照射脆化予測に関する検討	7-51
7.4.1 ミクロ組織変化の推定に関する検討	7-51
7.4.2 脆化予測モデルの概念構築	7-69
7.4.3 照射材料の試験条件に関する検討	7-71
7.5 まとめ	7-73
7.5.1 炭素鋼オーバーパックの損傷速度	7-73
7.5.2 照射脆化予測に関する検討	7-73
第8章 まとめ	8-1
8.1 オーバーパック健全性評価手法の構築	8-1
8.2 現象理解の腐食試験	8-1
8.3 メカニズム解明の腐食試験	8-2
8.4 溶接部の限界き裂寸法の解析的検討	8-2
8.5 超音波探傷試験による欠陥寸法の定量化	8-3

8.6 材料	斗の脆化に関する検討	8-3
8.6.1	炭素鋼オーバーパックの損傷速度	8-3
8.6.2	照射脆化予測に関する検討	8-4

図目次

义	1.1.2-1	処分システム工学確証技術開発の全体概要と各課題の関係1-	5
义	1.2.1-1	本事業の位置付けのイメージ1-	7
义	1.2.2-1	\エバリアの製作・施工技術の検討例1-	8
义	1.2.3-1	人工バリアの設計フロー1-	9
义	1.2.4-1	人工バリアの「安全機能」と「技術要件」と時間との関わり1-1	2
义	$1.2.5 \cdot 1$	人工バリアの安全機能、担保する因子1-1	3
义	1.2.5-2	オーバーパックの安全機能を担保する因子分解の例1-1	4
义	1.2.7-1	人工バリアの仕様範囲の提示例1-1	6
义	1.2.7-2	人工バリアの設計、操業段階、閉鎖までの各段階と本事業との関連1-1	7
义	1.2.7-3	オーバーパックの製作工程における初期品質の決定因子1-1	8
义	1.3.3-1	オーバーパックの安全確保のための要件の整理2-	3
义	2.2.2-1	酸化性雰囲気での浸漬試験による TIG 溶接試験片の選択腐食2-	4
义	2.2.3-1	オーバーパックの腐食に寄与する因子の例2-	5
义	2.2.3-2	オーバーパック-緩衝材界面の環境の模式図2-	7
义	2.2.3-3	オーバーパック溶接部の不均一性2-	9
义	2.2.3-4	MAG 溶接部の選択腐食における溶接材料への Ni 添加の効果2-	9
义	2.3.4-1	軟鋼の応力ひずみ線図の模式図2-1	7
义	2.3.4-2	応力拡大係数と限界き裂寸法の関係の模式図2-1	8
义	2.3.4-3	オーバーパックの構造評価のフローチャート(案)2-1	9
义	2.3.4-4	オーバーパックの強度評価のフローチャート(案)2-2	1
义	2.3.4-5	オーバーパックの欠陥評価フローチャート(案)	3
义	2.3.6-1	構造評価に関する研究開発課題の整理2-2	5
义	3.2.1-1	オーバーパックの候補材料の選定フロー3-	2
义	3.2.3-1	現象理解のための各腐食試験の位置付け3-	7
义	3.3.1-1	炭素鋼の腐食シナリオ3-1	0
义	3.3.3-1	TIG 材の3年6ヶ月までの平均腐食速度に対する最大腐食深さ3-1	6
义	3.3.4-1	還元性雰囲気における平均腐食速度の推移	8
义	3.3.4-2	低酸素雰囲気での長期浸漬試験の実施状況(TIG)	9
义	3.3.4-3	低酸素雰囲気での長期浸漬試験の実施状況(MAG)3-2	0
义	3.3.4-4	低酸素雰囲気での長期浸漬試験の実施状況(EB)	0
义	$3.3.5 \cdot 1$	EBW 溶接部の応力腐食割れ感受性におよぼす炭酸塩濃度と、緩衝材の緊	彭
	響		2
义	3.3.6-1	還元性雰囲気における拡散性水素濃度の推移3-2	4
义	$3.3.7 \cdot 1$	チタンオーバーパックの腐食因果時系列系統図[1]	6

义	3.4.2-1	工学規模試験における緩衝材ブロックへのセンサー配置計画	.3-32
义	3.4.2-2	各センサーの配置(三次元イメージ)	.3-33
义	3.4.2-3	腐食におけるΔVとΔAの関係	.3-34
义	3.4.2-4	電気化学ノイズ法測定装置の概要	.3 - 34
义	3.4.2-5	電気化学ノイズ法の原理とデータ	.3-35
义	3.4.2-6	埋込型3電極センサーの外形図	.3-36
义	3.4.2-7	埋込型3電極センサーの外形図	.3-37
义	3.4.2-8	3 電極センサーの外観写真	.3-38
义	3.4.2-9	3 電極センサー・温度計測システム (熱電対・3 電極センサーを破線	し で併
	記)		.3-38
义	3.4.2-10	亜鉛照合電極の外形図	.3-39
义	3.4.2-11	亜鉛照合電極の外観写真	.3-39
义	3.4.2-12	照合電極による測定系構成	.3-40
义	3.4.2-13	ACM センサーの構造と原理	.3-41
义	3.4.2-14	ACM センサー外観写真および結線部の加工	.3-41
义	$3.4.2 \cdot 15$	シース型熱電対の外観写真	.3-42
义	3.4.2-16	モールド型熱電対の外観写真	.3-43
义	$3.4.2 \cdot 17$	熱電対の測定系	.3-44
义	3.4.2-18	土圧計外観	.3-44
义	3.4.2-19	土圧計寸法	.3-45
义	3.4.2-20	含水率センサー寸法	.3-46
义	3.4.2-21	pH、ORP センサーの外観	.3-47
义	3.4.2-22	pH、ORP センサー寸法	.3-47
义	3.4.2-23	電気化学インピーダンス測定用プローブ[35]	.3-48
义	3.4.3-1	模擬オーバーパック鍛造材の断面ミクロ組織観察結果	.3-51
义	3.4.3-2	模擬オーバーパック溶接部の断面マクロ観察結果	.3-52
义	3.4.3-3	模擬オーバーパック本体寸法、および3電極センサー設置用ポケット	·加工
	位置		.3-53
义	3.4.3-4	試験体と最大水位の関係	.3-54
义	3.4.3-5	塗装後の試験体外観	.3-56
义	3.4.3-6	座標合わせ用基準点の設置位置(断面図・90°と270°方向明示).	.3-59
义	3.4.3-7	座標合わせ用基準点の設置位置	.3-60
义	3.4.3-8	カラーコンターによる腐食量の可視化(イメージ)	.3-61
义	3.4.3-9	直径 5mm プローブ(左)、および直径 1mm プローブ(右)	.3-62
义	3.4.3-10	CMM 測定動作イメージ	.3-62
义	3.4.3-11	地下試験用試験体の初期形状(センサー側)	.3-64

义	$3.4.3 \cdot 12$	地下試験用試験体の初期形状(センサー部の裏側)
义	3.4.3-13	地上試験用試験体の初期形状(センサー側)3-65
义	3.4.3-14	地上試験用試験体の初期形状(センサー部の裏側)
义	$3.4.3 \cdot 15$	地下試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー側)
义	3.4.3-16	地下試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー部の裏側)3-66
义	3.4.3-17	地上試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー側)
义	3.4.3-18	地上試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー部の裏側)3-67
义	3.4.3-19	地下試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー側)3-68
义	3.4.3-20	地下試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー部の裏側)
义	3.4.3-21	地上試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー側)3-69
义	3.4.3-22	地上試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー部の裏側)
义	3.4.4-1	静的締固め試験結果[1]
义	3.4.4-2	配合した緩衝材の一時保管状況
义	3.4.4-3	組立前の金型
义	3.4.4-4	金型の組立て
义	3.4.4-5	プレス作業
义	3.4.4-6	金型取り外し作業
义	3.4.4-7	バリの除去作業
义	3.4.4-8	バリの除去作業後
义	3.4.4-9	工学規模試験(オーバーパック溶接部腐食試験装置)3-75
义	3.4.4-10	すき間充てんなしの場合3-82
义	3.4.4-11	入口部分のみ塞いた場合3-83
义	3.4.4-12	スリット全体を充てんした場合
义	3.4.4-13	体積含水率の経時変化(平成 25 年度報告書再掲)
义	3.4.4-14	加水緩衝材によるセンサー埋戻し作業
义	$3.4.4 \cdot 15$	センサー埋戻し後の緩衝材ブロック
义	$3.5.1 \cdot 1$	緩衝材ブロックの積み上げと含水率センサーの設置
义	$3.5.1 \cdot 2$	積み上げた緩衝材ブロックの養生3-88
义	$3.5.1 \cdot 3$	模擬 OP の吊り上げ
义	3.5.1-4	模擬 OP の緩衝材への挿入3-89
义	3.5.1 - 5	蓋の設置
义	3.5.1-6	試験装置の全景
义	3.5.1-7	絶縁塗料を塗布した底板(右)
义	$3.5.3 \cdot 1$	試験孔1における地下水対策

义	3.5.4-1	坑道内施工ハンドリングフロー(1/5)	.3-95
义	3.5.4-2	坑道内施工ハンドリングフロー(2/5)	.3-96
义	3.5.4-3	坑道内施工ハンドリングフロー(3/5)	.3-97
义	3.5.4-4	坑道内施工ハンドリングフロー(4/5)	.3-98
义	3.5.4-5	坑道内施工ハンドリングフロー(5/5)	.3-99
义	3.5.4-6	センサーの員数確認	3-101
义	3.5.4-7	計器類収納箱内の配線確認	3-101
义	3.5.4-8	模擬オーバーパック外観確認	3-102
义	3.5.4-9	試験体底板設置	3-102
义	3.5.4-10	緩衝材ブロック1段目設置	3-103
义	$3.5.4 \cdot 11$	緩衝材ブロック2段目のセンサー取付け	3-103
义	$3.5.4 \cdot 12$	緩衝材ブロック2段目設置	3-104
义	$3.5.4 \cdot 13$	緩衝材ブロック3段目設置	3-104
义	3.5.4-14	緩衝材ブロック4段目設置	3-105
义	3.5.4 - 15	緩衝材ブロック5段目設置	3-105
义	$3.5.4 \cdot 16$	緩衝材ブロック6段目のセンサー取付け	3-106
义	$3.5.4 \cdot 17$	緩衝材ブロック6段目設置	3-106
义	3.5.4-18	緩衝材ブロック7段目のセンサー取付け	3-107
义	$3.5.4 \cdot 19$	緩衝材ブロック7段目設置	3-107
义	3.5.4-20	緩衝材ブロック8段目のセンサー取付け	3-108
义	3.5.4-21	緩衝材ブロック8段目設置	3-108
义	3.5.4-22	緩衝材ブロック9段目設置	3-109
义	3.5.4-23	緩衝材ブロック10段目設置	3-109
义	3.5.4-24	緩衝材ブロック11段目のセンサー取付け	3-110
义	3.5.4-25	緩衝材ブロック11段目設置	3-110
义	3.5.4-26	緩衝材ブロック12段目のセンサー取付け	3-111
义	3.5.4-27	緩衝材ブロック12段目設置	3-111
义	3.5.4-28	緩衝材ブロック13段目設置	3-112
义	3.5.4-29	仮蓋の設置	3-112
义	3.5.4-30	模擬オーバーパックの挿入	3-113
义	3.5.4 - 31	仮蓋と注水管付き上蓋との交換	3-113
义	3.5.4 - 32	緩衝材ブロック・模擬オーバーパック・注水管付き上蓋の組立	完了
			3-114
义	3.5.4 - 33	センサー接続後の導通確認	3-114
义	3.5.4 - 34	オーバーパックと上蓋の絶縁抵抗確認(30MΩ)	3-115
义	3.5.4-35	試験孔1内への敷砂の投入	3-115

义	3.5.4 - 36	試験孔1内への試験体の挿入3-116
义	3.5.4 - 37	試験体挿入完了3-116
义	3.5.4-38	珪砂埋戻し部へのセンサーの設置3-117
义	3.5.4-39	埋戻し用の珪砂の投入3-117
义	3.5.4-40	埋戻し用珪砂の充てん完了3-118
义	3.5.4-41	上部埋戻し用の粉末ベントナイトの投入3-118
义	3.5.4-42	ベントナイト充てん・投入口カバー設置・シール処理の実施完了3-119
义	3.5.4-43	試験体固定フレーム用鋼材への絶縁用ゴムの設置3-119
义	3.5.4-44	試験体固定フレームの設置3-120
义	3.5.4-45	データロガー付 pH センサーおよび ORP センサー3-120
义	3.5.4-46	データロガー付センサーおよび排水管の設置状況3-121
义	3.5.4-47	試験体設置およびセンサー配線完了3-121
义	3.5.4-48	計器類収納箱および滴水防護設置完了3-122
义	3.5.4-49	試験体上部の開口部養生(鋼製蓋およびアクリル板の設置)完了3-122
义	3.5.4-50	注水システム設置完了3-125
义	3.5.4-51	計測データ回収状況3-125
义	$3.5.5 \cdot 1$	三電極式腐食センサによる腐食速度と熱電対によるセンサー近傍温度
义	$3.5.5 \cdot 2$	亜鉛照合電極を基準とした試験体の電位差の経時変化3-126
义	$3.5.5^{-3}$	緩衝材中の腐食速度の経時変化3-127
义	$3.5.5 \cdot 4$	三電極センサー(P1)と ACM センサー(7 段目)の腐食速度相関図3-128
义	$3.5.5 \cdot 5$	三電極センサー(P2)と ACM センサー(2 段目)の腐食速度相関図3-129
义	$3.5.5^{-6}$	緩衝材中の含水率の経時変化3-130
义	3.5.5-7	緩衝材中の電気伝導度の経時変化
义	3.5.5-8	緩衝材中の温度の経時変化
义	3.5.5 - 9	土圧の経時変化
义	$3.5.5 \cdot 10$	含水率と土圧相関図3-132
义	3.6.1-1	OP 腐食試験装置の組立方法の検討(その 1)3-134
义	3.6.1-2	OP 腐食試験装置の組立方法の検討(その 2)3-138
义	3.6.1-3	OP 腐食試験装置の組立方法の検討(その 3)3-136
义	3.6.2-1	幌延地下水分析結果3·137
义	3.7.1-1	提案される微小腐食のモニタリング手法(概念図)3-142
义	$3.7.2 \cdot 1$	薄膜レジストメトリー法で計測した銅箔の微量腐食モニタリング3-143
义	3.7.2-2	ポテンシャルドロップ法による CT 試験片のき裂進展速度の回路3-144
义	3.7.2 - 3	ポテンシャルドロップ法による CT 試験片のき裂進展速度の見積例

図 3.7.2-4 交流インピーダンス法の原理図	46
図 3.7.2-5 交流インピーダンス法によるオーバーパックの測定概念図	46
図 3.7.2-6 試験装置の外観	47
図 3.7.2-7 EIS から得られた圧縮ベントナイト中における炭素鋼の腐食速度の経時	変
化3-14	47
図 3.7.3-1 複合電極を用いたレジストメトリー、インピーダンス、カップリン	グ
	50
図 3.7.3・2 (上) ラミネート封止された複合金属試料の構造(下)試料として Fe 細	線
を使用した試料	52
図 3.7.3-3 埋没作業中の様子	52
図 3.7.3-4 測定系の概略図	53
図 3.7.3-5 膨潤ベントナイト中に埋没した厚さ 5µm 銅箔の抵抗変化(Rcorr, Rr	ef,
Rcorr/Rref)、浸漬電位(E), カップリング電流(icp), セル温度および室温(T)の	経
時変化	55
図 3.7.3-6 抵抗変化から計算された Cu 薄膜厚さの経時変化	55
図 3.7.3-7 試験初期の溶存酸素濃度および温度の経時変化	56
図 3.7.3-8 2 電極間のインピーダンススペクトルの経時変化	56
図 3.7.3-9 1Hz および 10kHz における分極抵抗 R と位相角 θ の経時変化3-1	56
図 3.7.3-10 膨潤ベントナイト中に埋没した直径 0.2mm Fe 細線の抵抗変化(Rcon	rr,
Rref, Rcorr/Rref), 浸漬電位(E), カップリング電流(icp), セル温度および室温 (T)
の経時変化	57
図 3.7.3-11 溶存酸素濃度の経時変化	58
図 3.7.3-12 試験中の WE1-WE2 間のインピーダンススペクトル	58
図 3.7.3-13 DCPD 法を用いたき裂進展評価の構成例3-14	59
図 3.7.3-14 試験片の概略図	61
図 3.7.3-15 減肉量と電位差の関係(試験片 A)3-10	62
図 3.7.3-16 減肉量と電位差の関係(試験片 B)3-16	62
図 3.7.3-17 DCPD モニタリング試験片・装置概略図3-10	63
図 3.7.3-18 DCPD モニタリング試験装置外観3-10	63
図 3.7.3-19 腐食に伴う電位差の計算値と実験値の比較	64
図 3.7.3-20 試験後の試験片の外観	64
図 3.7.3·21 1µmの減肉に対応する電位差変化量と試験片直径の関係3·10	65
図 3.7.3-22 腐食モニタリング用 2 電極式セルの模式図	67
図 3.7.3-23 腐食モニタリング用チタン製セル 図 3.7.3-22のセルがチタン製容器	内
でベントナイト中に埋め込まれている3-10	67
図 3.7.3-24 腐食モニタリング用セルの全体の模式図 図 3.7.3-23のチタン製容器	は

	0.5MNa	a2CO3水溶液中に浸漬される3-168
义	3.7.3-25	炭素鋼/ベントナイト界面の等価回路 R1:電荷移動抵抗、Rs:溶液抵
	抗、CP	E1 : Constant Phase Element
义	3.7.3-26	炭素鋼のベントナイト中での電気化学インピーダンス特性(モニタリン
	グ初期	52 日まで)温度 80℃、アルミナ粒径 10 「m3-170
义	3.7.3-27	炭素鋼のベントナイト中での電気化学インピーダンス特性(1065 日まで)
	温度 80	℃、アルミナ粒径 1 µm3·171
义	3.7.3-28	0.1mHz のインピーダンスの逆数の経時変化 下図は縦軸を拡大した図
	アルミ	ナ粒径:1μm, 10μm, 100μm,1000μm3-172
义	3.7.3-29	3年間腐食モニタリングに使用した後のプローブ電極
义	3.8.1-1	ニアフィールドの環境条件因子と試験系の因子の例
义	3.8.3-1	小規模試験装置イメージ3-182
义	4.2.4-1	元材からの供試体採取位置4-5
义	4.2.4-2	元材外観写真4-6
义	4.2.4-3	TIG 溶接用ワイヤー製作用供試体(No.5)4-7
义	4.2.4-4	その他の供試体4-7
义	4.2.4-5	試験体の設置状況4-8
义	4.2.4-6	溶接熱履歴計測用の熱電対の設置位置4-10
义	4.2.4-7	EBW 施工後の溶接ビード外観4-11
义	4.2.4-8	断面マクロ試験結果(熱電対設置位置)4-12
义	4.2.4-9	本溶接における溶融線からの距離と入熱の関係4-13
义	4.2.4-10	溶融線からの距離による最高到達温度、および冷却時間への影響4-13
义	4.2.4-11	コスメビード溶接における溶融線からの距離と入熱の関係4-14
义	4.2.4-12	太径線材の外観と巻き取り作業状況4-15
义	4.2.4-13	線材の焼鈍工程4-16
义	4.2.4-14	最終製品のスプールへの巻取り状況4-16
义	4.2.4-15	オーバーパック落し蓋構造の溶接開先形状(TIG 溶接)4-17
义	4.2.4-16	TIG-S50 と共金溶接ワイヤーによるビード外観、断面マクロ試験結果
义	4.2.4-17	防錆材を塗布した場合のビード外観と断面マクロ観察結果4-18
义	4.2.4-18	入熱履歴の計測位置4-19
义	4.2.4-19	試験体外観4-19
义	4.2.4-20	溶接状況4-20
义	4.2.4- 21	最終ビード外観
义	4.2.4-22	浸透探傷試験(PT)結果4-21
义	4.2.4-23	超音波探傷試験結果4-22

义	4.2.4-24	断面マクロ試験結果	4-23
义	4.2.4-25	ミクロ組織観察結果	4-23
义	4.2.4-26	試験片上面から 50mm の位置の計測結果	4-25
义	4.2.4-27	試験片上面から 30mm の位置の計測結果	4-26
义	4.2.4-28	試験片上面から 10mm の位置の計測結果	4-27
义	4.2.4-29	EBW 溶接試験体からの腐食試験片採取位置(断面方向)	4-28
义	4.2.4-30	EBW 溶接試験体からの腐食試験片の採取位置	4-29
义	4.2.4-31	製作した腐食試験片の外観	4-29
义	4.2.4-32	TIG 溶接試験体からの腐食試験片採取位置(断面方向)	4-30
义	4.2.4-33	TIG 溶接試験体からの腐食試験片の採取位置	4-30
义	4.2.4-34	各腐食試験片の採取位置	4-31
义	4.2.4-35	製作した腐食試験片の外観	4-31
义	$4.2.5 \cdot 1$	試驗片採取位置	4-32
义	$4.2.5 \cdot 2$	電気化学試験用プローブ模式図	4-32
义	4.2.5 - 3	製作した試験用プローブの外観	4-33
义	4.2.5 - 4	分極後の EBW 試験片の外観(左:試験直後、右:脱スケール後).	4-34
义	4.2.5 - 5	分極後の TIG 試験片の外観(左:試験直後、右:脱スケール後)	4-34
义	4.2.5-6	形状測定結果	4-35
义	4.3.3-1	電気化学的な媒体としての緩衝材の性状調査イメージ	4-36
义	4.3.3-2	圧縮冶具	4-37
义	4.3.3-3.	圧縮した円盤状の緩衝材	4-37
义	4.3.3-4	アクリルカラムでの飽和作業	4-38
义	4.3.3-5	飽和させた緩衝材	4-38
义	4.3.3-6	炭素鋼電極	4-39
义	4.3.3-7 炭	炭素鋼電極の設置状況	4-39
义	4.3.3-8	交流インピーダンスの測定状況	4-39
义	4.3.3-9	炭素鋼電極の設置	4-40
义	4.3.3-10	交流インピーダンスの測定状況	4-41
义	4.3.3-11	緩衝材を用いた交流インピーダンスの測定結果	4-44
义	4.3.3-12	試験溶液を用いた交流インピーダンスの測定結果(ブランク試験)	4-45
义	4.3.3-13	本試験で想定した等価回路	4-46
义	$5.2.3 \cdot 1$	オーバーパック解析モデルの概要	5-3
义	5.2.3-2	溶接部の形状(溶接深さ変化)	5-4
义	5.2.3 - 3	溶接部の形状(き裂深さ変化)	5-4
义	$5.3.1 \cdot 1$	有限要素メッシュ	5-5
义	5.3.1-2	有限要素メッシュ(つづき)	5-6

	5, 接触考慮せず)	応力拡大係数(alt=0.5,	$5.3.2^{-1}$	図
5-10		き裂面の変位様式[3]	5.3.2-2	図
5-11	5, 接触考慮せず)	応力拡大係数(a/t=0.5,	$5.3.2^{-3}$	义
[™])5-14	13, 接触考慮せる	応力拡大係数(メッシュ	5.3.2-4	义
, <i>alt</i> = 0.9, 変形は 100 倍して表	13, 接触考慮せず	相当応力分布(メッシュ	5.3.2 - 5	义
5-15			示)…	
5-16	- 3, 接触考慮)	応力拡大係数(メッシュ	5.3.2-6	X
= 0.9, 変形は 100 倍して表示)	13, 接触考慮, alt	相当応力分布(メッシュ	5.3.2-7	X
5-17				
触考慮せず)5-20	女(メッシュ 3、接	モードIの応力拡大係数	$5.4.2 \cdot 1$	X
ず, <i>alt</i> = 0.5, 変形は 100 倍して	ュ3、接触考慮せ	相当応力分布 (メッシ=	5.4.2-2	X
5-21			表示).	
ず, alt=0.5, 変形は100倍して	ンユ 3, 接触考慮せ	水方向変位分布(メッシ	5.4.2-3	図
			表示).	
5-24)割	3次元解析用メッシュ分	$5.5.1 \cdot 1$	X
5-26	5, 外側き裂)	応力拡大係数(alt=0.5,	$5.5.2 \cdot 1$	図
5-28	攵	モードIの応力拡大係数	$5.5.3^{-1}$	X
て表示) $(o_{\rm r}, o_{\rm Z}, o_{\rm R}) = (0.0, 0.0,$,変形は 200 倍し	相当応力分布(alt=0.5,	5.5.3-2	図
5-29			100)	
して表示)5-30	0.5, 変形は 100 倍	水方向変位分布(alt=0	$5.5.3^{-3}$	図
ッシュ 3、外側き裂)5-32	さの関係(3次元メ	許容残留応力とき裂深さ	5.5.4-1	図
	D測定方法	断面マクロと欠陥実寸の	6.2.1-1	図
傾向分析(深部の欠陥)6-3	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1-2	义
〔自分析(隣接欠陥)6-4	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1-3	図
傾向分析(密集した欠陥)6-4	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1-4	図
傾向分析(表層部の欠陥)6-5	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1 - 5	図
傾向分析(中層部の欠陥 1) .6-5	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1-6	図
〔向分析(中層部の欠陥 2) .6-6	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1-7	义
〔向分析(中層部の欠陥 3).6-6	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1-8	义
〔向分析(中層部の欠陥4).6-7	面マクロと誤差の値	誤差が大きい欠陥の断面	6.2.1-9	义
傾向分析(中層部の欠陥 5)6-7	面マクロと誤差の	誤差が大きい欠陥の断部	6.2.1-10	図
傾向分析(中層部の欠陥)6-8	面マクロと誤差の	誤差が小さい欠陥の断記	6.2.1-11	図
傾向分析(深部の欠陥)6-8	面マクロと誤差の	2 誤差が小さい欠陥の断記	$6.2.1 \cdot 12$	义
傾向分析(中層部の隣接した欠	面マクロと誤差の	3 誤差が大きい欠陥の断す	$6.2.1 \cdot 13$	X
			陥)	
	ィの解析モデル	超音波シミュレーション	6.2.2-1	义

义	6.2.2-2	傾斜した面状欠陥の解析モデル6-1	.2
义	6.2.2-3	隣接した垂直な面状欠陥の解析モデル6-1	.2
义	6.2.2-4	球状欠陥の解析モデル	3
义	6.2.2 - 5	隣接した面状欠陥の一部が傾斜した解析モデル(下部が20°傾斜).6-1	4
义	6.2.2-6	皿状の欠陥形状をモデル化した解析モデル6-1	4
义	6.2.2-7	L 字型の欠陥形状をモデル化した解析モデル6-1	5
义	6.2.2-8	誤差の原因分析のためのU(逆J)字型の欠陥モデル6-1	5
义	6.2.2-9	反探触子側に傾斜した欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果	果
			7
义	6.2.2-10	探触子側に傾斜した欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果 6-1	.7
义	6.2.2-11	隣接した3個の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果6-1	.8
义	6.2.2-12	隣接した2個の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果6-1	.8
义	6.2.2-13	接近して隣接した 2 個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション解析	沂
	結果		.9
义	6.2.2-14	隣接した3個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果6-1	.9
义	$6.2.2 \cdot 15$	径が大きい隣接した 3 個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション	解
	析結果.		20
义	$6.2.2 \cdot 16$	間隔をあけて隣接した 2 個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション	ン
	解析結果	₹6-2	20
义	$6.2.2 \cdot 17$	隣接した面状欠陥の一部が傾斜した欠陥モデルに対するシミュレーショ	Э
	ン解析約	吉果6-2	21
义	6.2.2-18	皿状の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果6-2	21
义	6.2.2-19	L 字型の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果6-2	2
义	6.2.2-20	U(逆 J)字型の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果6-2	22
义	6.2.2-21	欠陥形状の違いによる回折波、反射波の違い6-2	23
义	6.2.3-1	PhA 法による誤差と対象欠陥6-2	25
义	6.2.3-2	実高さ 0.6~5mm における欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)6-2	26
义	6.2.3-3	実高さ 5~20mm における欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)6-2	26
义	6.2.3-4	欠陥存在位置表面から 40mm 以下の欠陥高さと誤差の傾向(PhA 法))
			27
义	6.2.3-5	欠陥存在位置 40mm~100mm の欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)6-2	27
义	6.2.3-6	欠陥存在位置 100mm 以上の欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)6-2	28
义	6.2.4-1	人工欠陥付与試験体の形状および寸法6-2	29
义	6.2.4-2	アレイ探触子の外観写真6-3	80
义	6.2.4-3	フェーズドアレイ法 (PhA 法) の探傷状況6-3	\$1
义	6.2.4-4	フェーズドアレイ-TOFD 法の探傷状況(探触子間距離 160 mm)6-3	31

义	6.2.4-5	フェーズドアレイ法(PhA 法)探傷結果の表示方法6-32
义	6.2.4-6	上端位置 110mm の人工欠陥付与模擬試験体の探傷結果6-33
义	6.2.4-7	上端位置 190mm の人工欠陥付与模擬試験体の探傷結果6-36
义	6.2.4-8	フェーズドアレイ -TOFD 法による探傷結果(上端位置 190mm)6-39
义	7.1.1-1	軽水炉内に入れられた脆化監視試験片と材料照射試験炉(JMTR) によ
	り加速	照射された試験片の降伏応力増加量[2]7-2
义	7.2.1-1	第2次取りまとめの計算結果との比較 (ガラス固化体1本あたりの発熱
	量)	
义	7.2.1-2	ガラス固化体中の放射性核種の放射能の比較(Origen2.1と Origen2.2-upj)
义	$7.2.2 \cdot 1$	オーバーパック線量計算モデル
义	7.2.2-2	中性子との反応断面積[9]7-32
义	$7.3.1 \cdot 1$	中性子による鉄のはじき出し断面積[12]7-39
义	7.4.1-1	スウェーデンにおけるキャニスターの照射脆化の評価位置[15]7-52
义	7.4.1-2	材料照射損傷のメカニズム概要図7-53
义	7.4.1-3	ボイドおよび転位ループの臨界サイズ7-56
义	7.4.1-4	転位ループの形成による脆化量の照射温度依存性[31]
义	7.4.1-5	照射量 1dpa における損傷速度(dpa/s)および照射温度 に対するボイド数
	密度[32	
义	7.4.1-6	照射量 1dpa における損傷速度(dpa/s)および照射温度 に対するボイド平
	均直径[32]
义	7.4.1-7	転位ループ数密度の損傷速度依存性7-61
义	7.4.1-8	φ t依存性の傾きの中性子束依存性7-62
义	7.4.1-9	0.2%耐力と原子のはじき出し量の関係[35]7-63
义	7.4.1-10	JEAC4201-2013 を用いた Δ DBTT の中性子束および温度依存性7-64
义	7.4.1-11	JEAC4201-2013 を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MD によるΔ
	DBTT	の中性子束および温度依存性(1)7-65
义	7.4.1-12	JEAC4201-2013 を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MD によるΔ
	DBTT	の中性子束および温度依存性(2)7-65
义	7.4.1-13	JEAC4201-2013 を用いた溶質原子クラスターSC による Δ DBTT の中性
	子束お。	よび温度依存性(1)
义	7.4.1-14	JEAC4201-2013 を用いた溶質原子クラスターSC による Δ DBTT の中性
	子束お。	よび温度依存性(2)
义	7.4.1-15	U.S. NRC 10CFR50.61a を用いたΔT ₃₀ の中性子束および温度依存性
义	7 4 1-16	U.S. NRC 10CFR50 61a を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MD によ

るΔT ₃₀ の中性子束および温度依存性(1)7-67
図 7.4.1-17 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MD によ
るΔT ₃₀ の中性子束および温度依存性(2)7-68
図 7.4.1-18 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いた銅濃縮クラスター (CRP) による Δ T ₃₀
の中性子束および温度依存性(1)7-68
図 7.4.1-19 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いた銅濃縮クラスター (CRP) による Δ T ₃₀
の中性子束および温度依存性(2)7-69
図 7.4.2-1 Yoshiie らのモデルを使った欠陥集合体数密度の損傷速度依存性(1)[38]
図 7.4.2-2 Yoshiie らのモデルを使った欠陥集合体数密度の損傷速度依存性 (2) [38]

表目次

表	$1.1.2 \cdot 1$	処分システム工学確証技術開発の成果目標	1-6
表	$1.3.2 \cdot 1$	人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック-	-の5ヵ年の開
	発計画.		1 - 21
表	1.3.3-1	オーバーパックの設計要件[1]	2-2
表	2.2.3-1	緩衝材間隙水中の化学種の濃度範囲と pH の範囲(計算値)	[1]2-8
表	$2.3.1 \cdot 1$	オーバーパック埋設後に想定される負荷の種類と発生条件((文献[4]から抜
	粋)		2 - 11
表	2.3.2-1	構造物の破損要因	2-13
表	$2.3.3 \cdot 1$	埋設後の炭素鋼オーバーパックで想定される材料劣化事象	(文献[4]から
	材料劣的	化事象を抽出して整理)	2-15
表	2.3.3-2	原子力発電所で経年劣化管理が必要な事象[10]	2-15
表	3.2.2-1	緩衝材間隙水中の化学種の濃度範囲と pH の範囲(計算値)	[1]3-4
表	3.3.2-1	TIG 溶接試験体の溶接条件[4]	3-11
表	3.3.2-2	MAG 溶接試験の条件[6]	3-12
表	3.3.2-3	EBW 溶接試験の条件[5]	3-13
表	3.3.2-4	溶着金属および溶接材料の化学成分分析結果	3 - 14
表	3.3.7-1	アンプルの試験条件一覧(加工・熱処理の影響調査)	3-28
表	3.4.2-1	工学規模試験で使用したセンサーの一覧	3-31
表	3.4.2-2	土圧計仕様	3-45
表	3.4.2-3	含水率センサー(WD-3-WET-5EG)仕様	3-46
表	3.4.2-4	pH、ORP センサー仕様	3-47
表	3.4.3-1	鍛造材の母材の化学成分の分析結果	3-50
表	3.4.3-2	鍛造材の母材の機械的特性の評価結果	3-50
表	3.4.3-3	溶接条件および開先形状	3-51
表	3.4.3-4	精密形状計測手法の比較	3-58
表	$3.4.3 \cdot 5$	の三次元計測点群を使用した形状評価方法の比較	3-63
表	3.4.4-1	センサー設置位置(2段目)	3-76
表	3.4.4-2	センサー設置位置(6段目)	3-77
表	3.4.4-3	センサー設置位置(7段目)	3-78
表	3.4.4-4	センサー設置位置(8段目)	3-79
表	3.4.4-5	センサー設置位置(11 段目)	3-80
表	3.4.4-6	センサー設置位置(12 段目)	3-81
表	3.4.4-7	センサー埋戻し用緩衝材仕様	3-85
表	$3.5.1 \cdot 1$	チェック結果(事前組立)(その 1)	3-91

表	3.5.1-2	チェック結果(事前組立)(その2)
表	$3.5.4 \cdot 1$	各センサー溝の埋戻し量3-100
表	3.6.2-1	幌延地下水分析結果(pH と Eh)
表	3.6.2-2	模擬地下水の組成
表	3.6.2-3	地下水組成の比較
表	3.8.1-1	想定される地層処分環境と腐食挙動への影響内容例
表	3.8.2-1	想定される地層処分場の実環境条件と各種試験条件の相関比較3-178
表	3.8.3-1	小規模要素試験条件案3·183
表	3.8.4-1	小規模要素試験の実施スケジュール
表	4.2.2-1	溶接手法ごとの浸漬試験の結果4-3
表	4.2.4-1	SM400Bの化学成分 [^] 4-4
表	4.2.4-2	製作した供試体の種類・寸法・用途
表	4.2.4-3	EBW 装置の仕様4-8
表	4.2.4-4	EBW 施工条件
表	4.2.4-5	放射線透過試験結果(まとめ)4-11
表	4.2.4-6	化学成分分析結果4-24
表	4.3.3-1	飽和緩衝材の調製条件4-37
表	4.3.3-2	交流インピーダンスの測定条件(2電極式)4-40
表	4.3.3-3	等価回路の各パラメータの解析結果4-46
表	$5.2.3 \cdot 1$	解析に用いるオーバーパックの物性値5-3
表	5.2.3-2	限界き裂寸法取得のための解析条件5-3
表	5.6.1-1	応力拡大係数(解析結果)一覧5-33
表	6.2.2-1	シミュレーション解析のパラメータ6-10
表	6.2.3-1	平成25年度までに得られたデータに基づく欠陥高さ測定精度6-28
表	7.1.2-1	処分後1,000年時点におけるモデルガラス固化体中の放射性核種の放射能
	と 再現	計算結果の比較(ORIGEN2.1)[5]7-3
表	7.1.2-2	ガラス固化体一本あたりの発熱量の比較(ORIGEN2.1) [5]7-4
表	7.1.2-3	処分後 0 年時点のオーバーパック表面近傍の線量当量率の比較 (炉取出
	から処分	分までの期間 34 年)(MCNP-4A)[5]7-5
表	7.2.1-1	ガラス固化体のインベントリ計算条件([6]から一部抜粋)7-7
表	7.2.1-2	燃料不純物組成[6]7-7
表	7.2.1-3	燃料ペレット中のウラン同位体不純物[6]7-7
表	7.2.1-4	構造材組成データ[6]7-8
表	7.2.1-5	ガラス固化体(JNFL 製)の仕様[6]7-9
表	7.2.1-6	処分後 1,000 年時点における核種毎の放射能の比較 (1MTU あたりの放射
	能)	

表 7.2.1-7	ガラス固化体一本あたりの発熱量の比較	7-12
表 7.2.2-1	線量計算の計算条件	7-19
表 7.2.2-2	核物質の組成[7]	7-20
表 7.2.2-3	ガラス固化体の線源強度	7-21
表 7.2.2-4	線源スペクトル[(a,n)反応による中性子エネルギースペクトル]	7-22
表 7.2.2-5	線源スペクトル[自発核分裂による中性子エネルギースペクトル]	7-23
表 7.2.2-6	線源スペクトル[Fission Products ガンマ線エネルギースペクトル]	7-24
表 7.2.2-7	MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における照射線	家量率
[JEND	L-3.2]	7-27
表 7.2.2-8	MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における照射線	家量率
[JEND	L-4.0]	7-28
表 7.2.2-9	MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における 累積照射	寸線量
[JEND	L-3.2]	7-29
表 7.2.2-10) MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における 累積照射	寸線量
[JEND	L-4.0]	7-30
表 7.2.3-1	(1/2) PHITS252 を用いたオーバーパック内側表面における 照射網	泉量率
[JEND	L-3.2]	7-34
表 7.2.3-2	(1/2) PHITS252 を用いたオーバーパック内側表面における 累積!	照射線
量[JEN	VDL-3.2]	7-36
表 7.3.1-1	(1/2) ASTM E693 により算出したオーバーパック内側表面における	はじ
き出し	数[JENDL-3.2]	7-40
表 7.3.1-2	(1/2) ASTM E693 により算出したオーバーパック内側表面における	損傷
速度[J]	ENDL-3.2]	7-42
表 7.3.2-1	(1/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における はじき	出し数
[JEND	L-3.2]	7-45
表 7.3.2-2	(1/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における損傷	哥速度
[JEND	L-3.2]	7-48
表 7.4.1-1	スウェーデンにおけるキャニスターの照射線量評価[15]	7-52
表 7.4.1-2	JIS G 3202 に示される SFVC1 の化学成分組成[23]	7-54
表 7.4.1-3	JIS G 3120 に示される SQV の化学成分組成[24]	7-54
表 7.4.3-1	オーバーパックおよびイオン加速器、原子炉の照射条件	7-72

第1章 はじめに

1.1 処分システム工学確証技術開発の背景および目的

1.1.1 本事業の背景

我が国において、これまでの原子力発電の利用に伴って放射性廃棄物が既に発生してお り、その処理・処分対策を着実に進める必要がある。高レベル放射性廃棄物(ガラス固化 体)については、地層処分に向けた取組が行われており、処分技術の信頼性向上に関する 基盤技術の開発が、最終処分のサイト選定プロセスを考慮して段階的に実施されている。

処分場の操業期間中におけるガラス固化体のオーバーパックへの封入・検査技術、オー バーパックの周囲に設置される緩衝材の施工技術及び人工バリアのモニタリング技術等の 要素技術について、必要となる基盤技術が整備されてきた。今後、さらなる処分技術の信 頼性向上のためには実際の深部地下環境での活用を通して、これらの工学的な要素技術の 信頼性を高める必要がある。

さらに、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、操業期間中における自然災害で ある巨大地震や巨大津波等の操業期間中の安全対策に関る基盤技術の整備も喫緊の課題と なっている。

本事業では、上記状況を踏まえ、平成25年度から5年程度の期間で処分場の操業期間中 における人工バリアの製作・施工技術及びモニタリング技術等の工学技術を、地下研究施 設を活用して確証していくとともに、自然災害に対する操業期間中の工学的対策に関する 基盤技術の整備を行う。

(1) 処分システム工学確証技術開発

平成25年度に立案した5か年計画の2年目として、以下の研究開発を実施する。

1) 人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック

平成 24 年度までの遠隔操作技術高度化開発により、「わが国における高レベル放 射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ-」(以下、 HLW 第2次取りまとめ)[1]で提示された板厚 190 mm の炭素鋼オーバーパックにつ いて、現状の技術で実際に製作、検査が可能であることを示した。さらに、人工バリ ア品質評価技術の開発では、溶接部と母材の耐食性に関するデータ取得を実施してき た[2]。

本開発では、実際の地下深部を想定した複合系でのオーバーパック溶接部の耐食性 評価試験を実施するとともに、材料の劣化予測方法の検討、非破壊検査による欠陥検 出精度の向上に関する検討を実施する。上記の実施内容で得られる知見より、腐食評 価と構造評価を合わせたオーバーパックの健全性評価手法を構築し、判断指標の具体 化に資するものとする。

平成 25 年度は、オーバーパックの健全性評価の方法論について整理し、全体計画 を立案した。腐食試験については、地上及び地下研究施設を活用した試験計画を立案 し、地下研究施設での試験孔の掘削や、試験に必要な溶接供試体や試験機器の一部に ついて製作を実施した。また、材料劣化事象の一つである中性子照射による脆化量を 予測するための、オーバーパックの照射線量評価について検討を進めた。さらに、超 音波探傷法による欠陥寸法測定誤差について調査した。

平成 26 年度は、腐食・構造評価を合わせた健全性評価手法について検討を進め、 オーバーパックの品質確保に必要な判断指標(腐食、材料劣化、欠陥)の観点から健 全性評価モデルを検討する。また、複雑系での溶接部の腐食挙動評価のため、地下研 究施設および地上での溶接部耐食性評価試験を開始するとともに、耐食性におよぼす 溶接組織の影響を評価するための知見を電気化学試験により取得する。材料の中性子 照射脆化については、最新の計算コードを用いてオーバーパックへのガラス固化体か らの照射線量を取得するとともに、照射脆化量予測のための方法論について検討する。 さらに、超音波探傷法による欠陥寸法測定精度向上に関する検討を実施する。

2) 人工バリア品質/健全性評価手法の構築-緩衝材

緩衝材の製作・施工技術について実規模試験などを通してその実現性が示された一 方、緩衝材の初期の密度分布は膨潤しても均質化せず密度分布が残ることや、隙間を 有する緩衝材施工において湧水量によってはパイピングが発生し、ベントナイトの成 分が流出することが示されている。

本開発では、処分環境(湧水量や水質等)を考慮した調査・検討を実施し、緩衝材 施工法の選定方法に定量的な評価を加える。さらに、緩衝材の性能劣化事象として懸 念されるパイピング/エロージョン現象に対しては、工学的対策の提示に向けた調 査・検討を実施する。また、上記実施内容で得られる知見を取りまとめ、多様な技術 により構築される人工バリアの品質/健全性評価に向け、人工バリア性能を満足する 緩衝材指標の具体化に資するものとする。

平成 25 年度は、処分環境(湧水量や水質等)を想定した緩衝材施工法の選定方法 を検討した。また、パイピング/エロージョンに対する工学的対策に関する調査・検 討では、岩盤と緩衝材との隙間へのペレット充填効果、モンモリロナイト含有率の高 い緩衝材ブロックのパイピング/エロージョン挙動の評価を行い、人工バリア全体と しての設計・施工仕様に関する検討では、地下水マネジメントを調査した。また、地 下研究施設を活用した試験計画を策定し、試験孔と設備の一部を施工した。

平成 26 年度は、塩水環境下における緩衝材の密度分布の残留現象、パイピング/ エロージョン現象を定量的に評価するとともに、平成 25 年度に検討したパイピング /エロージョンに対する工学的対策の有効性を検討する。地下研究施設におけるパイ ピング/エロージョン試験を開始し、工学規模室内試験との比較評価を実施し、小規 模試験で得られた挙動の再現性を確認する。人工バリア全体としての設計・施工仕様 については、プラグの構築、止水性能等に資するデータを整備する。

3) モニタリング関連技術の整備

地層処分のためのモニタリングについては、その目的を検討し、特に重点的な検討 が必要な性能確認モニタリングについて制約条件やパラメータの選定方法案を提示 した。また、バリア機能を保持したモニタリングの実現のため地下研究施設における 地中無線通信装置の性能確認試験等を実施し、これらの成果や文献調査結果を反映し た技術メニューの整備を実施した。さらに、併せて制度的管理としての記録保存につ いて媒体の開発や国内外の調査を行い、基本的システム案を提示した。

本整備では、技術的選択肢検討の基盤となるモニタリングの枠組みや結果の反映方 法等に関する検討を、国際研究等への参画とフィードバック等により実施する。また、 モニタリングの技術的実現性の向上のため、バリア機能や処分場性能を保持したモニ タリングシステムの確立に向けた地中無線モニタリング技術の検討を、地下研究施設 への反映を考慮して実施する。

上記で得られる知見より、セーフティーケースの信頼性強化に資するモニタリング の技術選択肢の整備を行い、モニタリング計画の立案に資するものとする。

また、併せて制度的管理としての記録保存についても動向の調査を実施する。

平成 25 年度は、5 年間の検討計画を国際共同研究 MoDeRn に参画して得た成果等 を参照して立案した。これに基づき、モニタリング結果のバリア性能の確認への反映 方法に関する課題抽出を実施するとともに、研究開発成果や文献調査結果を反映する 技術メニューの整備方針を検討した。さらに、モニタリングの技術的実現性の向上の ため、地中無線モニタリング技術について地下研究施設における中継試験等を実施し た。これらに加え、記録保存に関し英国及びOECD/NEAにおける検討状況の調 査を実施した。

平成 26 年度は、モニタリングの枠組みの検討及び技術的実現性向上のための整備 等を実施する。具体的には、人工バリア品質/健全性評価手法の構築-緩衝材等との 連携を図りつつモニタリング結果のバリア性能の確認への反映方法に関する検討を 実施するとともに、自然災害に対する操業期間中の安全対策に関る基盤技術の開発と の連携による操業期間中の安全性に関するモニタリングの検討、および回収技術、回 収可能性に関する検討成果を参照した廃棄体の回収可能性に関連するモニタリング の検討を実施し、技術的課題を抽出する。また、研究開発成果や文献調査結果を反映 する技術メニューの整備を実施する。さらに、モニタリングの技術的実現性の向上の ため、地中無線モニタリング技術について地下研究施設における適用試験等を実施す る。これらに加え、記録保存に関して引続きOECD/NEAにおける検討状況の調 査を実施する。

(2) 自然災害に対する操業期間中の安全対策に関る基盤技術の開発

本開発では、東北地方太平洋沖地震を受け、事業主体が実施する地層処分施設の設計 に反映すべく、主に処分事業操業中の処分システムに対する地震・津波等の大規模な自 然災害の影響を検討し、安全確保のための対策技術を開発、提示する。

平成25年度は、処分パネルにおける火災事象等を対象に、気流解析及び避難シミュレ ーション解析による安全確保対策の検討に向け、解析条件の設定や事前解析を実施した。 人工バリアの限界性能等の調査試験については、ガラス固化体及びオーバーパックを対 象とした火災影響についての解析的検討、緩衝材の高温時熱特性試験及び津波被害を想 定したガラス固化体の腐食性に関する情報収集を実施した。状況把握・監視技術につい ては、地層処分施設で想定される種々の異常状態や事故ごとに、状況把握手順を整理・ 体系化するとともに、その際に必要となる技術の抽出と技術情報調査に着手した。

平成 26 年度は、施設計画技術については、平成 25 年度の事前解析結果等を踏まえ、 処分パネルの解析モデルによる気流解析及び避難シミュレーション解析を実施し、火災 事象等に対する安全確保対策の検討にあたっての解析的手法の適用性等を検討する。ま た、施設全体についての操業安全確保の観点からの技術要件の調査・検討に着手する。 人工バリアの限界性能等の調査試験については、緩衝材を介した火災影響の解析的検討 を実施するとともに、高温履歴を受けた人工バリア材料の力学的性質に関する検討、及 び津波被害を想定したキャニスターの腐食環境条件に係る検討に着手する。

1.1.2 開発項目の相互関係と年度目標

(1) 開発項目の相互関係

図 1.1.2-1 に処分システム工学確証技術開発の全体概要と検討課題の関連を示す。人工 バリアを構成する要素には、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材がある。人工バリ アシステムに要求される機能は、ガラス固化体、オーバーパックまたは緩衝材のそれぞ れ単独で成立するものではない。各要素が相互に影響をおよぼし合い、人工バリアの要 求機能を満足している。仮に一つの人工バリアが機能を満たさなくなれば、人工バリア システム全体としての機能が損なわれる可能性がある。

一般的な構造物とは異なり、地層処分の人工バリアは供用後(埋設後)の検査や必要に 応じた補修を行うことが難しい。供用後の検査を必要とせずに人工バリアの健全性を確 保するためには、想定される破損事象を考慮した設計を行い、製作・施工の個々のプロ セスで品質管理を実施する必要がある。そして、各プロセスで品質が保証されているこ とを判断するための指標は、バリア構成要素の相互の影響や不確実性を考慮できる健全 性評価により設定される必要がある。一方で、人工バリアの健全性評価のためには、モ

ニタリング技術を用いて処分場の環境条件を把握する必要がある。また、処分場操業時 のモニタリングにより、人工バリアの健全性に対する信頼性を向上させることができる と考えらえる。さらに、処分場閉鎖の判断要因の一つとして、処分場の環境条件が想定 した範囲内にあることをモニタリングで確認することも必要になると考えられる。その ためは、人工バリアおよびモニタリングに関する個別および境界の課題を抽出し、相互 に共有され検討を進める必要がある。さらに、処分場操業期間中に自然災害が発生すれ ば、その影響により人工バリア機能が低下することも考えられる。処分場の安全確保の ためには、必要に応じて災害への対策技術を開発し、人工バリアの限界性能について把 握しておくことが重要となる。ただし、この安全対策により人工バリアシステムの機能 が低下するようなことがあってはならない。人工バリアの限界性能を把握するためには、 個々の人工バリアの特性だけでなく、システム全体としての機能について総合的に検討 する必要がある。また、その機能低下を推定するためには、測定すべきパラメータにつ いての検討や、人工バリアシステムの健全性に影響をおよぼさないモニタリング方法の 開発が必要となる。したがって、長期間の健全性を有する人工バリアシステムの工学的 実現性を示すためには、オーバーパック、緩衝材、モニタリング、自然災害に対する安 全対策の 4 つの検討項目について、それぞれの境界にある課題や個々の成果などを共有 しつつ研究開発を進める必要がある。本研究開発のための年度毎の成果目標を表 1.1.2-1 に示す。



図 1.1.2-1 処分システム工学確証技術開発の全体概要と各課題の関係

		H25	H26	H27	H28	H29	
(1)処分システム工学確証技術開 発							
	1)人工バリア品質/健 全性評価手法の構築- オーバーパック	・判断指標の抽出 ・健全性評価モデ ル案の作成 ・研究開発計画策 定	・判断指標に影 響する劣化事 象の抽出	・破壊評価に基 づく限界欠陥寸 法の提示	・材料劣化を考 慮した品質評価 法の提案	・品質評価/健 全性評価手法の 提案	
	2)人工バリア品質/健 全性評価手法の構築- 緩衝材	・緩衝材の品質評価 項目の抽出 ・研究開発計画策定	 ・エロージョンによる性能劣化事象 (流入量、液種)の定量化 	・ウォーターマネジ メント(人工注水、 グラウト等)の実施 方法・課題の提案	・緩衝材の設計・ 施工仕様策定に 資する指標範囲 の提示	・説明性のある 長期健全性判断 指標の提示	
	3)モニタリング関連技術 の整備	・性能確認モニタリ ングの課題抽出 ・研究開発計画策 定	・操業安全等に 関るモニタリン グの課題抽出	 ・地下調査施設 による地中無線 モニタリング技術の確証 	・性能確認モニ タリング結果反 映方法提案	・実現可能な技 術選択肢による 人エバリア等の モニタリング計 画の例示	
(2)自然災害に対する操業期 間中の安全対策に関る基盤 技術の開発		・検討手法等の適用 性の確認 ・研究開発計画策定	・火災事象に対す る人エバリアの 健全性の把握	 ・火災事象に対す る施設計画時の 制約事項等の提案 	・人エバリア限界 性能等に関する 知見の整備	・地下施設の操業 安全確保のため の制約事項等の 提案	
54	5年間の成果目標						
<u>処</u>	<u>処分システムの工学的実現性の確証</u> 「・健全性評価モデルによる判断指標を反映した人工バリア製作・施工手法の提示						
	・ 技術的 実現 性 と 結果 (・ 自然 災害 に 対 する エ ・	ルロ映力法が確保 学的対策技術に裏	されたモニタリン付けられた施設	ク計画立案手法 計画手法の提示	の徒不		

表 1.1.2-1 処分システム工学確証技術開発の成果目標

1.2 人工バリアの健全性評価手法の構築

1.2.1 本事業の位置づけ

平成26年度 処分システム工学確証技術開発では、オーバーパックおよび緩衝材の製作・施工技術に対して深部地下環境を考慮した長期健全性の観点から工学的信頼性の向上を目的として、種々の判断のための指標の提示に向けた品質に係わる知見の拡充、および健全性評価技術の構築に係わる検討を行う。図 1.2.1-1 に検討の対象・方針・観点、および実施内容と最終的な目標に向けた成果のイメージを示す。



図 1.2.1-1 本事業の位置付けのイメージ

1.2.2 人工バリアの製作・施工、品質評価に係るこれまでの開発経緯

HLW 第2次取りまとめでは地層処分に係る工学技術の信頼性およびリファレンスケー スの人工バリアの概念が示された[1]。これに対し、遠隔操作技術高度化調査(平成13年度 ~平成18年度)[3]~[8]および遠隔操作技術高度化開発(平成19年度~平成24年度)[9]~[13] において,溶接・検査等のオーバーパックの製作や,緩衝材ブロック・原位置締固め・吹 き付け・ペレット充てん等の緩衝材の製作に係わる個別要素技術の検討を実施した。さら に操業技術を要素技術を組み合わせたシステムと捉え,処分坑道縦置き方式,処分坑道横 置き方式のそれぞれの処分概念に対して,緩衝材ブロック方式,PEM(Pre-fabricated Engineering barrier Module)方式それぞれの搬送・定置の実証試験を地上施設で実施し, システムの成立性を提示した(図 1.2.2·1)。これまでの検討によりHLW 第2次取りまと めに示された2つの処分概念について,現状の技術により実現可能性を示すとともに,他 の要素技術についても処分技術の柔軟性を確保するための幅広い技術選択肢として,人工 バリアの工学的実現性に係わる技術的な知見を整備した[2]。

遠隔操作技術高度化開発等の実際の人工バリアの製作・施工試験において、オーバーパックや緩衝材に実際に生じる施工による不均一性が明らかになった。オーバーパックでは 溶接封入部において母材と異なる金属組織構成となり、溶接材料を使用するアーク溶接方 法である TIG(Tungsten Inert Gas)や MAG(Metal Active Gas)では化学成分が異なる。ま た溶接時の入熱より溶接部近傍に溶接残留応力が発生する。また緩衝材では初期の密度分 布や間げき分布、ブロック定置方式の場合はブロック同士の継ぎ目、緩衝材と岩盤やオー バーパックとの隙間などが挙げられる。これら製作・施工により生じる人工バリアの初期



図 1.2.2-1 人工バリアの製作・施工技術の検討例

不均一性が人工バリアの品質におよぼす影響を評価し、製作・施工技術に反映するため、 オーバーパックについては溶接部の腐食試験[14]~[22]、緩衝材については再冠水時の挙動 評価試験[23]~[27]を実施した。

1.2.3 人工バリアに係る種々の判断のための指標の提示に向けた検討方策

以上のように、平成24年度までの処分システム工学技術高度化開発では、人工バリア の製作・施工技術の研究開発に主眼が置かれ、人工バリアの品質については製作されたオ ーバーパックや緩衝材の施工品質の把握、および長期挙動への影響が検討された。

図 1.2.3・1 に NUMO が提示した人工バリアの設計フロー[28]を基に、一部を変更したものを示す。設計フローでは安全機能を設定し、それを担保するための技術要件を設定する。 そして仕様の範囲の検討を経て人工バリアの仕様例が提示される。このフローにこれまでの人工バリアの開発経緯を当てはめ、現状の開発段階を以下に示す。HLW 第2次取りまとめでは、人工バリアの仕様範囲および材料仕様・形状・寸法がなされ、仕様例としてリファレンスケースのオーバーパック/緩衝材が示された。そして、リファレンスケースのオーバーパックや緩衝材の製作・施工の工学的実現性や施工品質に係る検討が、本事業の前身である処分システム工学高度化開発において実施された。よって現段階の開発レベルは図 1.2.3・1 中の一点破線の上に位置し、設計フローを機能させるためには長期健全性の評価手法の構築が今後の課題と考えられる。



図 1.2.3-1 人工バリアの設計フロー

長期健全性の評価は設計フロー内において、設計により提示された「材料仕様・形状・ 寸法」を満たす人工バリアが長期健全性を有しているのかを判断するために実施されるも のである。この評価を実施するためには、以下の4つの要素が必要と考えられる。

- 評価の対象
- ② 評価の方法
- ③ 指標:物事の見当をつけるための目印
- ④ 基準値:比較して考えるための拠り所の値
 判定:≦ ≧ < > = (※複数の場合は組み合わせも考慮 ∧ ∨...)

本事業では人工バリアの長期健全性の評価における「③指標」「④基準値・判定」につい て以下のように定義した。

③指標:

人工バリアの健全性や操業段階において、要件を満足することを示すもの。人工バ リアの製作・技術の検討や、長期健全性の説明の方法論から適切に抽出する。

④基準値・判定:

人工バリアの製作実現性、長期健全性の観点から、範囲やバラつきの取扱い方も含 む指標が満たすべき値。人工バリアの製作・技術の検討や、長期健全性の検討成果か ら提示する。

これらを踏まえ、処分システム工学確証技術開発では、人工バリアの長期健全性評価手法の構築、種々の判断のための指標および基準値の提示に向け、以下の項目を検討した。

● 時間変遷に留意した「健全な人工バリア」の提示

高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリアの安全機能や技術要件のこれま での検討成果から、"人工バリアが健全である"とはどのような状態であるのか整理す る。またこれまでの研究開発で対象とされているオーバーパックの腐食や緩衝材の変質 といった品質の時間変遷に係る知見を人工バリアの設計や製作施工技術に反映させるた め、閉鎖後の時間に留意する。

● 「健全な人工バリア」の判断のための指標の抽出

「健全な人工バリア」を提示する方法論の構築に向けた検討を行うとともに、健全な 人工バリアの設計・製作・施工方法が妥当であることを判断するための指標を抽出する。 本事業では特に、閉鎖までの段階に着目した。 1.2.4 人工バリアの安全機能と技術要件

高レベル放射性廃棄物の地層処分は、ガラス固化体-オーバーパック-緩衝材から成る 人工バリアと岩盤や地層などの天然バリアで構成される多重バリアシステムにより、放射 性核種の移行を遅延させることで生物圏における被ばく線量の低減(基準値以下)を図る ものである。本事業で取り扱うものは人工バリアの構成部材のうちオーバーパックと緩衝 材であるが、これらには以下のような安全機能が要求されている。

オーバーパック: 発熱の著しい期間,地下水とガラス固化体の接触を防止する。 緩衝材: 放射性核種の移行を遅延させる。

この安全機能を実現するため、人工バリアには「基本的なバリア性能の確保」、「長期健 全性の維持」、「工学的実現性の確保」の3つに区分けされる技術要件が示されている。

「基本的なバリア性能の確保」は、人工バリアの安全機能の根幹を担うものであり、オ ーバーパックでは耐食性と構造健全性、緩衝材では低透水性、コロイド濾過性、収着性と いった技術要件から成る。この要件に基づいて実施された種々の試験や解析的評価により、 HLW 第2次とりまとめでは人工バリアの概念(仕様)が示されている。

オーバーパック: 炭素鋼,厚さ190mm

緩衝材: 珪砂 30tw%混合クニゲル V1, 厚さ 700mm,乾燥密度 1.6Mg m⁻³

人工バリアの健全性評価手法の構築の検討では、最終的に提示される評価手法で説明す る"健全な人工バリア"を定義し、それに向けて検討方針や対象、実験・技術開発を進め ることが重要である。HLW 第2次取りまとめを元にすれば、"健全な人工バリア"とは、 前述した"安全機能を実現するための技術要件が満たされている状態"と置き換えること が出来る。また、人工バリアは地下処分施設に構築された直後から、地層処分場が閉鎖さ れ地下水位が回復して元の状態に戻る再冠水過程を経て、数千年、数万年という長長期に 渡って地層処分の安全性を担うものである。よって"健全な人工バリア"は時間とともに 変化するため時間スケールを持って取扱い、"ある時期における健全な人工バリア"、言 い換えれば"ある時期に満たすべき技術要件"を整理して検討することが重要である。図 1.2.4-1 に人工バリアの安全機能と技術要件の時間との関わりを示す。現状ではオーバーパ ックに求められる閉じ込め期間は 1,000 年とされており、その間の緩衝材はそれ自体の安 全機能ではなく、他のバリア材料に優位な影響を及ぼさないための要件が求められている。 そして、オーバーパックの閉じ込め機能が喪失する 1,000 年以降は緩衝材本来の安全機能 である、放射性核種の遅延機能が求められる。



図 1.2.4-1 人工バリアの「安全機能」と「技術要件」と時間との関わり

オーバーパックの閉じ込め性が要求される期間は、ガラス固化体の発熱量の経時変化から 計算で導出することが出来る。一方で、緩衝材の放射性核種の遅延は人工バリアだけでは なく、岩盤や地下環境などの周辺環境も含めた安全評価で示されるものであるため、定量 的に何万年と示すことや、ある時期ごとに求められる性能の度合いを示すこと、さらには その必要性についてもこれまでの知見では判断が難しいと考えられる。

本年度は図 1.2.4-1 に示した期間において、各要件を満足していると判断するための指標 および基準となる値は時間に因らず一定であるものとして、健全性評価手法の構築方法に ついて検討した。

1.2.5 人工バリアの安全機能に寄与する因子

地層処分環境で期待される機能を発揮する人工バリアを設計・製作するためには、安全 機能や技術要件が何によって担保されているのかに留意することが重要である。図 1.2.5-1 に人工バリアの安全機能、それを担保する人工バリアと外部因子の関係を示す。

オーバーパックを例に説明する。オーバーパック安全機能を担保する技術要件の一つは 「耐食性を有すること」である。「耐食性を有すること」とはオーバーパックに生じる腐
食現象を人間が把握するこが出来、かつその現象が期待する現象と比較した際にそれを満 たす状態である。オーバーパックは寿命を腐食しろで確保する概念であるため、炭素鋼製 の場合は腐食現象が全面腐食になることがオーバーパックの機能である。さらにその機能 は腐食速度が既知の均一な腐食をする性能で担保され、その性能は構成する材料自体の特 性に支配される。



図 1.2.5-1 人工バリアの安全機能、担保する因子

実際の地層処分においては、材料特性だけではなく周囲の環境などの外部因子との相互 作用によって発現する性能によって安全機能が確保される。地層処分場の候補サイトは決 定していない現段階において、人工バリアの品質に係る研究はわが国の代表的な地下環境 (Generic)に対して行われており、その値は幅広い幅を持つもの、若しくは保守性を確保

する意味で上限/下限値が採用されている。オーバーパックの腐食挙動、緩衝材の再冠水 挙動や変質に係る種々の試験や検討は、この Generic な環境に対して調査対象や試験条件 等の研究計画が組み立てられている。

将来的にサイトが決定した場合は外部因子がより正確に把握されるものと期待される一 方で、サイトが決定しても Generic は範囲の外に位置する因子も存在すると考えられる。 例えば、処分場を建設する岩盤の強度によっては坑道安定性の確保のためグラウトや支保 等の対策を施すことが考えられるが、これにより処分場の領域ごとに Ca や pH などが変化 する。また緩衝材の流出現象に寄与する処分孔からの湧水の状況は厳密に言えば試験孔毎 に異なる。このような外部因子はその値が Generic の範囲外、若しくは項目自体が Generic の範囲外に位置することになる。人工バリアに係る検討に際しては、評価対象や環境条件 が図 1.2.5・1 中のどの場所に位置しているのかを把握することが重要と考えられる。

人工バリアの品質評価において、把握可能な外部因子の範囲が広がれば、評価の前提と なる情報が増えるため、より実環境での評価の正確性が増す。また人工バリアの設計にお いては、人工バリアの長期健全性を確保した上での合理化が期待される。これらの情報を 取得するために、モニタリング技術がある。図 1.2.5-1 中の外部因子の部分において、 Generic の部分は既に研究対象とされているため、Generic と Site specific が重なる部分は "環境条件の確認"、一方で Generic と重ならない部分はサイト特有なものであり、"環 境条件の把握"がモニタリングの主たる目的になると考えられる。サイト特有な条件には 把握が可能な領域と、把握が困難若しくは不確実性が残る領域に分けることが出来る。把 握が可能な領域を広げるために、適切なモニタリング対象を選定して間接的に把握する手 法の検討や、新たなモニタリング技術の開発などが必要になると考えられる。

図 1.2.5-1 では安全機能を担保する、要件、機能、性能および性能獲得のための仕様の関係について例示した。これをオーバーパックの腐食に着目してさらに細かく分解した例を図 1.2.5-2 に示す。オーバーパックに求められる耐食性とは、図中の要素に示した種々の腐食挙動が把握可能で、想定した範囲に収まっている状態と定義できる。腐食現象はある材料をある環境に曝露した場合に生じるものであるから、因子1の階層では材料と環境にけることが出来る。さらに因子を分解すると図のようになる。このように安全機能を技術要件、要素、因子と階層ごとに整理し、実施している研究開発と関連付けることで、健全な人工バリアの仕様を判断するための指標および基準値やその範囲の提示が可能になると考えられる。



図 1.2.5-2 オーバーパックの安全機能を担保する因子分解の例

1-14

1.2.6 人工バリアの長期健全性を判断するための指標

前節で図 1.2.5-2 に例示したように、安全機能はいくつかの技術要件とその構成因子から 成り立っており、適切に設定した階層の因子の組み合わせにより担保するという考え方を 示した。この"適切に設定した階層の因子"を"長期健全性の判断のための指標"、その 因子ごとの寄与度の検討から導き出された値の範囲を基準値(上限/下限等の範囲を含む) とすれば、安全機能は判断のための指標の組み合わせで説明が可能になると考えられる。 安全機能はいくつかの技術要件で担保されるが、技術要件間で因子の整合を図ることが必 要である。そこで技術要件を満足するための指標とその基準値を要件ごとに取得し、要件 間に矛盾がないようにまとめる必要がある。 そのために、 図 1.2.7-1 に示すようなまとめ方 を提案した。図中の A や B は安全機能を担保するための技術要件、a や b はその因子に対 応する。黒色一点鎖線の範囲は個別技術要件のための仕様の範囲である。安全機能を担保 する個々の技術要件(図中 A~D に対応)に対する仕様の範囲を、整合性を確保しつつ整 理すれば、青色一点鎖線のように安全機能を確保するための仕様の範囲として提示される。 一方で安全機能が確保された人工バリアを実現するためには、これまでの基盤研究で整備 した工学技術による製作/施工性を考慮する必要がある。そこで、製作/施工性の観点か らの技術要件、および構成因子を整理し、整合性が保たれる範囲を緑色一点鎖線のように 整理する。青色部分と緑色部分を比較し、両者の整合が保たれる範囲が、安全機能と製作 /施工性が両立した仕様の範囲(赤色部分)として提示される。赤色部分を設定する際に 製作/施工性が律則する場合は、青色と緑色の差に該当する部分が工学技術の開発課題と なる。

人工バリアを構成するオーバーパックや緩衝材の仕様は図 1.2.3-1 に示した設計フロー により提示される。このフローの最後の長期健全性の評価において、因子(a, b, c, ...)が 判断のための指標、図 1.2.7-1 の赤色部分が基準値に対応すると考えられる。

1.2.7 操業段階における判断のための指標

前節にて長期健全性と製作/施工性を担保するための、指標および基準値の設定について 述べた。この検討結果と設計フローにより長期健全性が確保された人工バリアの仕様が提 示された。操業ではこの仕様の人工バリアをどのように製作し、品質管理を行うのかが課 題となる。図 1.2.7-2 に人工バリアの設計から閉鎖までの操業工程イメージを示す。設計か ら閉鎖までの期間は大きく3つに分けることが出来ると考えられる。

1つめは人工バリアを設計する段階である。この部分では図 1.2.3-1 に示した設計フロー によって仕様が提示される。この段階における判断のための指標、および基準値等の考え 方は前節に示した。

2つめは、実際に人工バリアを構築する段階であり、オーバーパックの製作工程(主に 溶接封入、溶接後熱処理、非破壊検査)と人工バリアの搬送、定置、埋戻し等の工程が該 当する。この段階で人工バリアの仕様通りの人工バリアを構築する必要がある。



図 1.2.7-1 人工バリアの仕様範囲の提示例

仕様通りの人工バリアが構築されたことを確認する最も簡単な方法は、オーバーパックや 緩衝材から試験片採取やコア抜き等のサンプリングを行うことである。しかしながらこの 手法は人工バリアの安全機能に影響を及ぼす可能性がある。そのため人工バリアの品質を 製作/施工のプロセス管理で実現すること望ましいと考えられる。オーバーパックの製作 を構成するプロセスについて、TIG 溶接を具体例として図 1.2.7-3 に示す。オーバーパック の性能に寄与する材料因子のうち、化学成分は母材や溶接材料の選定時、金属組織は製作 時の入熱によって決定される。また構造健全性に影響をおよぼす溶接欠陥は溶接時の諸条 件で発生する。このように化学成分、金属組織、溶接欠陥といったオーバーパックの品質 を支配する要素が、製造プロセスのどの段階で決定するのかを分析し、それを指標とする ことで、製作/施工プロセスで健全性が確保された人工バリアを実現することが可能にな ると考えられる。

実際の事業では4万本近いオーバーバックを地下に埋設するため、操業期間が数十年に も及ぶ。言い換えれば事業開始直後のオーバーパックと定置完了時のオーバーパックには 数十年の隔たりがあるため、閉鎖後長期の健全性を論ずる際には、初期条件が各々のオー バーパックで異なる。定置から閉鎖までの期間においてもオーバーパックや緩衝材は周囲 の環境の影響を受けるため、この期間に生じる変化の取り扱い方が課題となる。この期間



図 1.2.7-2 人工バリアの設計、操業段階、閉鎖までの各段階と本事業との関連



例)TIG溶接による落し蓄構造のOPの製造工程イメージ(H22年度遠隔高度化成果)

図 1.2.7-3 オーバーパックの製作工程における初期品質の決定因子

に生じる変化は、基盤研究で別途検討が進められている回収維持期間の検討においても検 討が進められ、関心が高いものである。処分システム工学確証技術開発では人工バリアの 設計、製作・施工、閉鎖までの操業段階の工学技術や、閉鎖後長期の挙動を人工バリアの 品質という観点から一連の流れとして取り扱っている。定置から閉鎖までの期間における 人工バリアの変遷を長期健全性の観点から検討することで、操業段階と閉鎖後長期の人工 バリアの品質を、整合性をもって提示することが可能になると考えられる。

以上のことから、図 1.2.7-2 のように操業段階を3つに分け、それぞれに対して提示する 指標を以下のように設定した。

- 長期健全性を確保する人工バリアの設計のための指標
- 製作、施工におけるプロセス管理による品質確保のための指標
- 定置後の人工バリアの状態(品質)を評価するための指標

1.2.8 判断のための指標、基準値の提示に向けた検討

前節にて操業段階において判断のための指標が必要になると考えられる3の段階を示し た。これらの提示に向けた本事業におけるオーバーパックと緩衝材の検討の概要を図 1.2.7・2 下段に示す。本事業における人工バリア品質/健全性評価手法の構築では、製作・ 施工時にオーバーパックや緩衝材に生じる初期不均一性が長期健全性におよぼす影響を 種々の試験や解析を通じて明らかにし、それらを説明するための方法論および裏付ける実 験データを整備する。そして人工バリアの設計、製作施工技術の選定、品質管理、個別要 素技術の開発等の工学技術の検討にフィードバックさせる。その際に判断の拠り所として "指標"および"基準値"が必要になるが、それらの検討に資する考え方・概念をオーバ ーパック・緩衝材に対する種々の試験および長期健全性評価を通じて提示する。この目標 に対してオーバーパック、緩衝材の研究計画を策定することが必要である。

1.3 全体計画

1.3.1 研究開発の方針

HLW第2次取りまとめで提示されたリファレンスケースのオーバーパックの工学的実現 性、および製作したオーバーパックの品質に係わる検討を実施した。そして平成24年度ま でに示したような溶接・検査に代表される製作に係わる工学技術の整備、および溶接部の 品質に係わる知見を整備し、溶接・検査システムの成立性を提示した。

「処分システム工学確証技術の開発」の実施に際しては、実際の処分事業でのニーズを 見据え、図 1.1.2-1 に示したように「人工バリア健全性評価モデル」、「モデルを裏付ける データと理論」、「人工バリアの工学的実現性」の本研究開発の 3 つの大きな項目を設定 した。本研究では人工バリアのうち、オーバーパックと緩衝材を取扱うが、それぞれ個別 の検討課題が残されているため、オーバーパック、緩衝材それぞれに対して前述の 3 つの 項目の整備を実施し、最終的に"人工バリア"として両者の知見を統合する方針とした。

オーバーパックの製作については、平成24年度までの遠隔操作技術高度化開発にて既存 の工学技術の調査、製作施工試験等を実施し、それらを技術選択肢として整備したが、補 修溶接、作業時間の短縮、遠隔装置開発など実際の操業に直結する類の課題に検討の中心 が移行する段階となった。しかしながら、その技術にて製作されたオーバーパック溶接部 の健全性については課題が残されている。製作施工技術の工学的対策の検討対象、目標を 明確にし、効率のよい技術開発を実施するため、オーバーパックの健全性に係わる検討課 題から着手する。

1.3.2 5年間の研究開発計画

前述の3項目を提示するための一つ目のマイルストーンとして、表 1.1.2-1 に示したよう に「品質評価/健全性評価手法の提案」「説明性のある長期健全性判断指標の提示」に向 けた検討を本年度から5年間で実施する。

表 1.3.2-1 に人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパックーの 5 ヵ年の開 発計画を示す。表 1.3.2-1 に示した検討項目は計画立案段階で重要と位置付けた課題であり、 今後の検討の進捗および成果を踏まえ、本開発の目標のために逐次改善しながら検討を進 めるものとする。 表 1.3.2-1 人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック-の5ヵ年の開発計画.

	H25	H26	H27	H28	H29
①5年間の研究計画立案	課題抽出・整理 全体計画立案		進捗確認、計画更新		
②構造・腐食評価を合わせた	違全性評価・判断指標の掛	ē示	•		
健全性評価	詳細計画検討 文献調査	健全性評価モデルの検討・判断指標の提示に向けた要素を提示			
③溶接部耐食性評価試験					
i.単純系・長期的な腐食挙動の把握	長期浸漬試験 維持管理	腐食測定系の妥当性確認	緩衝材と腐食挙動の関係評価	還元性雰囲気浸漬試験評価 10年間の腐食速度、水素濃度	
ii.複雑系での耐食性評価	計画立案、試験体製作、 装置製作、予備試験	試験装置構築 データ取得開始	地下研での腐食試験における センサー類の妥当性確認	試験片寸法が耐食性評価試験結果に及ぼ す影響の評価	複雑系における腐食挙動の提示
iii.地下施設を活用した耐食性評価試験		試験装置構築 地下研への設置、試験開始	初期(定置直後)の 腐食挙動の取得	再冠水後の腐食挙動取得	再冠水後の腐食挙動取得
iv メカニズム解明のための腐食試験	詳細計画检討	材料因子(溶接組織) の影響調査	材料因子(化学成分) の影響調査	溶接組織と化学成分の 耐食性への影響度の比較	材料因子を考慮した溶接技術 への工学的対策の提示
	a于和西古丁国 快 i J	緩衝材の密度差が電気化学挙動の関連調査		緩衝材性状の腐食への寄与の検討	
	詳細計画検討	劣化事象の抽出			
	インベントリ評価	OP線量評価		照 射詭化 メカニ ズムの 検討 脆 化量予 測手法の検討	照射脆化メカニズムの検討 脆化量予 測手法の検討
材料劣化	照射脆化に関する 文 献調査	照射脆化予測のための方法論 の検討	照射脈化メガーズムの検討		
	水素脆化の課題抽出	ガス移行挙動評価の取り込み	水素脆化予測のための方法論 の検討	水素脆化メカニズムの検討	水素脆化メカニズムの検討 脆化量予測手法の検討
⑤非破壊検査による欠陥検出精度の定量化					
北亚徳伶大姓在ウ르ル	欠陥位置、寸法測定 誤差の解析的検討 模擬OP試験体の 溶接欠陥寸法測定	測定精度向上に関する検討 (開口寸法の影響) 	測定精度向上に関する検討 近接した欠陥の測定分解能に 関する検討	測定精度向上の検討 複数欠陥の検討	複数欠陥のモデル化 検査手順の検討
非破碳使宜有度定重化	 ・判断指標の抽出 ・健全性評価法案提示 ・研究開発計画策定 	 ・破壊評価に基づく限界欠陥 寸法の提示 ・判断指標に影響する劣化事 象の抽出 	・材料劣化を考慮できる 健全性評価法案の提示	・材料劣化を考慮した品質評 価法の提案	・品質評価/健全性評価法の 提案 ・説明性のある長期健全性判 断指標の提示

1.3.3 平成 26 年度の実施項目

(1) オーバーパック健全性評価手法の構築

オーバーパックの健全性評価は、腐食評価と構造評価に分けて検討を行う。

腐食評価では、これまでに実施してきた実験室規模の長期浸漬試験を継続して実施する とともに、地下環境での腐食挙動を把握するために幌延 URL の地下 350m 調査坑道での腐 食試験を開始する。また腐食メカニズムの解明のため、材料と環境の不均一性が腐食挙動 におよぼす影響の検討を開始した。

構造評価では、破壊の駆動力と破壊抵抗に着目して検討を行う。最初に、埋設後のオー バーパックに想定される負荷、破損要因、材料劣化要因を特定する。そして、埋設後の検 査や補修を必要としない溶接構造物としてのオーバーパックの構造評価方法を提示し、今 後の研究開発課題を整理する。

(2) 現象理解の腐食試験

実験室で実施中の5年超の低酸素雰囲気での腐食試験を継続して実施する。実際の地 下環境でオーバーパック溶接部に生じる腐食を把握するため、平成25年度に幌延 URL 地下350m 調査坑道に掘削した試験孔を用いた工学規模試験を開始する。

(3) メカニズム解明の腐食試験

腐食挙動に影響をおよぼすオーバーパック溶接部の材料因子のうち、金属組織の影響 を調査する試験を開始する。同一元板から母材と溶接材料を採取し、EBWによる一層一 パス溶接とTIG 共金溶接による多層盛り溶接試験体を製作し、電気化学的手法により不 均一腐食への入熱サイクルの影響を調査する。また緩衝材の媒質としての性状を調査す るため、インピーダンス測定を実施する。

(4) 溶接部の限界き裂寸法に関する解析的検討

超音波探傷試験で定量すべき欠陥寸法および許容される脆化量を把握することを目的 として、溶接部の限界き裂寸法に関する検討を実施する。オーバーパックの解析モデル は落し蓋形状を対象とし、荷重条件として外圧と溶接残留応力を考慮する。溶接部の欠 陥は、応力状態の最も厳しくなるき裂とみなしてモデル化し、オーバーパックが破損し ない限界のき裂寸法を求める。

(5) 超音波探傷試験による欠陥寸法の定量化

超音波探傷試験により検出される欠陥寸法を定量化することを目的として、超音波シ ミュレーションおよび超音波探傷試験を実施する。超音波シミュレーションでは、これ までに実施した断面マクロ調査の結果から得られた欠陥形状を入力条件として与え、欠 陥寸法および位置の測定誤差が生じる要因について考察する。また、開口寸法を変えて 探傷試験を実施し、欠陥深さ位置と測定精度の関係について調べる。

(6) 材料の脆化に関する検討

オーバーパックの照射脆化量を予測する上で基となる、中性子とガンマ線による照射線 量および損傷速度を最新の計算コードおよび核データを用いて算出する。ガラス固化体の 放射能の計算には ORIGEN2.2-upj、核データライブラリには JENDL-4.0 を用いる。また、 照射線量率および損傷速度の算出には、MCNP-5 および PHITS252、核データライブラリ には JENDL-4.0 を用いる。さらに、閉じ込め期間中の炭素鋼オーバーパックの脆化量の予 測方法を構築するための検討を実施する。そして、オーバーパックの脆化量を予測するた めの方法について検討を実施する。 第1章 参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構:わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性地層処分研究開発第2次取りまとめ 分冊2 地層処分の工学技術, JNC-TN1400 99-022, (1999).
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成24年度地層処分技術調査等事業高 レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発平成19年度~ 24年度の取りまとめ報告書,(2013).
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成13年度 高レベル放射性廃棄物処分 事業推進調査 報告書-遠隔操作技術高度化調査-(1/2)、2002.
- [4] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成14年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2003.
- [5] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 15 年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2004.
- [6] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 16 年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2005.
- [7] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 17 年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/3)、2006.
- [8] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成18年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2007.
- [9] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成19年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 1分冊) -遠隔操作技術高度化開発-(1/2)、2008.
- [10] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成21年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第
 1分冊) 一遠隔操作技術高度化開発-(1/2)、2010.
- [11] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成22年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第
 1分冊) -遠隔操作技術高度化開発-、2011.
- [12] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成23年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1分冊) 一遠隔操作技術高度化開発-、2012.
- [13] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成24年度 地層処分技術調査等事業 高 レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1 分冊) -遠隔操作技術高度化開発-、2013.
- [14] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 16 年度 地層処分技術調査等 バリ ア機能総合調査 報告書 -人工バリア特性体系化調査-、2005.

- [15] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成17年度 地層処分技術調査等 バリ ア機能総合調査 報告書 -人工バリア特性体系化調査-、2006.
- [16] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 18 年度 地層処分技術調査等 バリ ア機能総合調査 報告書 -人工バリア特性体系化調査-、2007.
- [17] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 19 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-、2008.
- [18] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 20 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2009.
- [19] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 21 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2010.
- [20] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成22年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第
 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2011.
- [21] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 23 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2012.
- [22] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成24年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2013.
- [23] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 20 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(2/2)、2009.
- [24] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成21年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第
 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(2/2)、2010.
- [25] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成22年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(2/2)、2011.
- [26] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成23年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(2/2)、2012.

- [27] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成24年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(2/2)、2013.
- [28] 原子力発電環境整備機構: 地層処分事業の安全確保(2010 年度版)、 NUMO-TR-11-01

第2章 オーバーパック健全性評価手法の構築

オーバーパックの設計方法は、処分場の地下環境条件を想定して HLW 第 2 次取りまと めに示されている。オーバーパック定置後の地下環境が想定通りの環境に維持されるなら ば、オーバーパックが 1000 年間経過する前に腐食による貫通や外圧により破損することは ない。しかし、平成 24 年度までの処分システム工学要素技術高度化開発などにおける溶接 部腐食試験や超音波探傷試験では、材料組成によっては溶接部で均一腐食にならないこと、 溶接部に欠陥が生じる可能性があることなどが確認された。設計時に考慮していなかった 溶接部の腐食挙動の違いや溶接欠陥などは、オーバーパックの健全性に影響をおよぼす可 能性がある。

一般的な溶接構造物は、定期的な検査や補修によりその健全性を維持しているが、オー バーパックは定置後の検査や補修を行うことが難しい。そこで本章では、供用後の検査や 補修を必要とせずに、想定される期間の健全性を有する溶接構造物とは、どのように設計、 製作、定置するべきかについて検討を行う。

2.1 オーバーパックの健全性確保の考え方

HLW 第2次取りまとめで提示されたオーバーパックの設計要件[1]を表 1.3.3・1 に示す。 地層処分における安全確保のための要件として「i.放射性核種の閉じ込め」、人工バリアが成 立するための要件として「ii.他の人工バリアに有意な影響を与えないこと」および「iii.製 作・施工が技術的に可能であること」の3つが示されている。このうち、ii.とiii.はオーバー パックを設計する上での前提条件であり、その前提条件の下で想定される期間 i.の放射性核 種の閉じ込め機能(ガラス固化体に地下水を所定の期間接触させない)を有していれば、 オーバーパックは「健全な状態」ということができる。

オーバーパックの安全確保のための設計要件を図 1.3.3・1 のよう整理した。「① 閉じ込め性を有すること」は「② 耐食性を有すること」と「③ 耐圧性を有すること」の 2 つの 要件で実現される。また「④放射線遮へい性を有すること」および「⑤耐放射線性を有す ること」は、②と③が要求する機能がガラス固化体からの放射線の影響によって阻害され ないために必要な要件と見なせる。HLW 第 2 次取りまとめでは、「⑥耐熱性を有すること」 については、熱による変形や熱応力の発生による破損を想定して設定している。しかしな がら②や③についても温度の影響が無い訳ではない。よって⑥は『オーバーパックの劣化 挙動の温度感受性が低いこと』と解釈し、環境因子の 1 つと見なした。オーバーパックの 閉じ込め性は「耐食性を有すること」と「耐圧性を有すること」という 2 つの機能を満足 することで確保できる。したがって、オーバーパックの健全性評価手法は「腐食評価」と 「構造評価」の2 つの観点に基づいて構築する。

基本的な要件 機能・役割		設計上考慮すべき 項目(設計要件)	内容		
	i.放射性核 ガラス固化体に		①閉じ込め性を有	操業時に放射性物質の外部環境への漏出を防ぐこ	
	種の閉じ	地下水を所定の	すること	廃棄体埋設後、地下水の侵入を防ぐこと	
	込め	期間接触させな	②耐食性を有する	廃棄体埋設後、所定の期間、腐食によって閉じ込め性が	
安		いこと	こと	損なわれないこと	
全確			③耐圧性を有する	埋設後作用する機械的荷重に対して構造健全性を維持	
保			こと	し、閉じ込め性を損なわないこと	
のた			 ④放射線遮へい性 	ガラス固化体からの放射線による水の放射線分解にと	
め			を有すること	もなって生成される酸化性化学種により、腐食が促進さ	
の要				れないこと	
倅			⑤耐放射線性を有	ガラス固化体からの放射線によって,耐圧性が有意な影	
			すること	響を受けないこと	
			⑥耐熱性を有する	ガラス固化体からの発熱に対し、閉じ込め性、耐食性お	
			こと	よび耐圧性が有意な影響を受けないこと	
	ii.所定の期間	間,他の人工バリア	⑦十分な内空間を	オーバーパックの変形やガラス固化体の熱膨張により、	
	に有意な影響	響を与えないこと	有すること	ガラス固化体が機械的に破損しないこと	
			⑧良好な熱伝導性	ガラス固化体の発熱を外部に伝え、ガラス固化体の安定	
			を有すること	な形態を損なうような熱による変質を生じさせないこ	
수				と	
エバ			⑨放射線遮へい性	ガラス固化体からの放射線によって、緩衝材の材料特性	
リア			を有すること	が変化しないこと	
が			⑩化学的緩衝性有	周囲の地下水を腐食性成物によって還元性環境に緩和	
成立			すること	すること	
す	iii.製作・施	工が技術的に可能	⑪製作性を有する	既存の技術もしくは近い将来実現可能と考えられる技	
るた	であること		こと	術に基づいた構造であること	
め			⑫遠隔封入性を有	ガラス固化体の遠隔操作による封入が、既存の技術もし	
の要			すること	くは近い将来実現可能と考えられる技術により、ガラス	
仟				固化体の安定な形態を損なうことなく可能の構造であ	
				ること	
			③遠隔定置性を有	廃棄体の遠隔操作による定置が、既存の技術もしくは近	
			すること	い将来実現可能と考えられる技術により、ガラス固化体	
				の安定な形態を損なうことなく可能の構造であること	

表 1.3.3-1 オーバーパックの設計要件[1]



図 1.3.3-1 オーバーパックの安全確保のための要件の整理

2.2 腐食評価

2.2.1 寿命評価における前提条件

HLW 第2次取りまとめにおいて示された炭素鋼オーバーパックの肉厚の設定において、 オーバーパックの安全機能である"発熱が著しい期間にガラス固化体と地下水との接触を 防止"に対して 1000 年間の閉じ込め性が期待されている。炭素鋼は地下処分環境では腐食 するが、この腐食挙動を見越して 40mm の腐食しろがオーバーパックの肉厚に含まれてい る。炭素鋼製のオーバーパックが腐食しろを確保することで期待される寿命を達成するた めには、以下の点が前提条件となる

- ① 処分環境においてオーバーパック全体が均一に腐食する。
- ② 全腐食量、若しくは腐食速度が取得できる。
- ③ 応力腐食割れや水素脆化等の局所的な破損が発生しない。
- ④ 不均一腐食や割れが発生する場合、その度合いが正確に予測できる。

以上の4点はオーバーパックの材料が均一である場合である。しかしながら実際には以下 の不均一性が想定されるため、検討する上では留意する必要がある。

- ⑤ 溶接封入部の存在による化学成分、金属組織の不均一性
- ⑥ 周囲の緩衝材の初期不均一性や不均一な膨潤による環境の不均一性

2.2.2 これまでの腐食評価

前節の①から⑥に対してこれまでに実施された試験の経緯をまとめた。

HLW 第2次取りまとめにおける炭素鋼オーバーパックの検討では、基本的に炭素鋼母材 を対象としている。①の均一腐食については緩衝材共存環境では pH により炭素鋼は不働態 化しないことを示し、②については酸化性雰囲気での浸漬試験より酸素による全腐食量を、 低酸素雰囲気での浸漬試験より平均腐食速度を求め、腐食代の設定のための根拠とした。 ③の局所的な破損については既往の文献調査や鋼中水素濃度の観点からの検討により、炭 素鋼では生起しないものとしている。④について、酸化性雰囲気での不均一性は試験片の 形状計測の結果から極地統計を用いて推定した最大腐食深さ、低酸素雰囲気での腐食速度 は腐食の局在化を考慮して速度から求めた厚さの2倍を採用している。

⑤については、平成16年度より遠隔操作技術高度化開発で製作した模擬オーバーパッ ク溶接試験体に対する腐食試験を実施した。その結果、アーク溶接では酸化性雰囲気にお ける浸漬試験で溶接部の選択腐食が発生した。このような溶接部の局所的な不均一腐食は 母材の腐食の不均一性よりも大きくなることが示唆された。図 2.2.2-1 は TIG 溶接試験片 の酸化性雰囲気における試験結果の一例である。このように材料自体の不均一性が腐食挙 動に影響をおよぼす可能性がある。



図 2.2.2-1 酸化性雰囲気での浸漬試験による TIG 溶接試験片の選択腐食

⑥については、これまでの実施された腐食試験は、地層処分環境に曝露されたオーバー パックに生じると想定される腐食現象を個別に評価することを目的とした、小型試験片を 使用した実験室規模の試験が中心であった。試験環境も人工海水や調整した溶液といった 単純なもので、より精緻な腐食現象の把握を目的としていた。しかしながら実際のオーバ ーパックは長さが1,750mm 程度、直径が840mmであり、数センチ四方の試験片と比較し ても表面積に大きな差がある。周囲の緩衝材も構築方式よっては、製作時の密度差や緩衝 材同士の隙間などの不均一性が存在するから、オーバーパック全表面が必ずしも同一の環 境になっているとは限らない。この系の不均一性がオーバーパックの腐食挙動におよぼす 影響も考慮する必要がある。

2.2.3 腐食現象に寄与する因子

腐食現象とは、金属材料をある環境に曝露した時、その系における熱力学的なエネルギ ーの差により起こる現象である。例えば、鉄(Fe)と酸素(O₂)をある温度で共存させた場合、 Fe と O₂のエネルギーの総和と、それらの化合物である酸化鉄(FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄,など) のエネルギーの総和のが小さくなる方向に反応が進む。この場合酸化物の方がエネルギー が低いため、発熱を伴って鉄は酸化する。このように腐食現象は材料と環境の組み合わせ で生じるため、材料因子と環境因子の観点から整理することが重要である。図 2.2.3-1 に炭 素鋼製オーバーパックの腐食およぼす材料因子と環境因子の関係を示した。



図 2.2.3-1 オーバーパックの腐食に寄与する因子の例

(1) 環境因子

わが国の代表的な地質環境を想定した場合、地下水組成は以下のようなものが挙げら れている[2]。

リファレンスケース:

安全評価の解析において、様々な解析ケースの比較の基準とする参考ケース 降水系還元性高pH型モデル地下水

Fresh-reducing-high-pH Groundwater (FRHP)

地質環境変更ケース:

リファレンスケースに対して、地質環境を変化させた想定ケース 海水系還元性高 pH 型モデル地下水 Saline-reducing-high pH Groundwater (SRHP)

地質環境変更ケース:

コンクリート支保工を用いる場合を想定、セメント材料と反応した FRHP 地下水

変動シナリオ:

リファレンスケースで想定した基本的な将来記述、基本シナリオに対して、
 地層の隆起を考慮するなどシナリオを変化させたケース
 降水系酸化性高 pH 型モデル地下水
 Fresh-oxidizing-high-pH Groundwater (FOHP)

参考地下水

・降水系還元性低 pH 地下水

Fresh-reducing-low-pH Groundwater (FRLP)

·海水系還元性低 pH 地下水

Saline-reducing-low-pH Groundwater (SRLP)

・高炭酸系還元性中性型モデル地下水

Mixing-reducing-neutral -pH Groundwater (MRNP)

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、ガラス固化体-オーバーパック-緩衝材-周 辺岩盤という多重バリアシステムを構築している。このような系では図 2.2.3-1 のような 環境にオーバーパックが曝されることになる。温度はガラス固化体からの発熱量と緩衝 材-岩盤への熱伝達量が平衡状態になったところで決まる。地下環境は基本的には低酸 素雰囲気であることから、溶存酸素は操業期間中に外部から持ち込まれたものでる。腐 食で重要な間隙水組成は地下水が緩衝材中を浸潤してオーバーパックに到達した溶液の 組成である(図 2.2.3・2)。オーバーパックが接触する緩衝材中の間隙水組成については、 化学平衡計算が行われており[3]、それを基にした緩衝材観劇水中の化学種の濃度範囲と pHの範囲が示されている[1]。処分場の候補地が未定であるが、わが国で想定される地 下水組成に基づく間隙水の化学成分が表 2.2.3・1 のようにまとめられていることから、こ の表の成分や濃度を元にして試験条件を設定し試験結果を拡充しておけば、処分場が何 れの場所に建設されたとしてもオーバーパックの腐食挙動はその範囲内に収まると考え られる。



図 2.2.3-2 オーバーパック - 緩衝材界面の環境の模式図

化学種	濃度範囲(mol L ⁻¹)
HCO ₃ ⁻ / CO ₂ /H ₂ CO ₃	$< 7.3 \text{ x } 10^{-2}$
SO4 ²⁻	< 6.1 x 10 ⁻²
HS^{-} / $\mathrm{H}_{2}\mathrm{S}^{-}$	$< 9.2 \ge 10^{-1}$
Cl [.]	$<5.9 \text{ x } 10^{-1}$
P (total)	< 2.9 x 10 ⁻⁶
NO ₃ -	0.0
NH ₃	< 1.6 x 10 ⁻⁴
NH4 ⁺	$< 5.1 \ge 10^{-3}$
B (total)	< 1.7 x 10 ⁻³
pH	$5.9 \sim 8.4$

表 2.2.3-1 緩衝材間隙水中の化学種の濃度範囲と pH の範囲(計算値)[1]

(2) 材料因子

HLW 第2次取りまとめでは、圧力容器用炭素鋼鍛工品(SFVC1)や溶接用圧延材 (SM400)などに対して種々の腐食試験を実施した。溶接性を考慮したこれらの炭素鋼 は亜共析鋼であり、全面がフェライトとパーライトで占められる。一方、溶接部は図 2.2.3-3のように溶接組織だけではなく、アーク溶接時に溶接材料を使用したことにより、 化学成分も母材と異なる。この不均一性が図 2.2.2-1 に示した選択腐食の要因となってい る。一方で溶接材料に 0.25%Ni を添加すると図 2.2.3-3のように選択腐食が改善する事 実もある。

溶接部を含む金属組織は、化学成分、溶接時の最高到達温度、冷却速度等によって変化するが、これら3つの要素が既知であれば、連続冷却変態線図(CCT曲線 Continuous Cooling Transformation diagram)を作成すればある程度予測は可能になる。



図 2.2.3-3 オーバーパック溶接部の不均一性



図 2.2.3-4 MAG 溶接部の選択腐食における溶接材料への Ni 添加の効果

2.2.4 オーバーパックの腐食評価の考え方

炭素鋼オーバーパックの腐食評価では、期待される寿命を達成するための腐食代の設 定、およびその根拠を提示することが目的となる。そのためには使用環境下で全面腐食 挙動を示すこと、その際の腐食総量または腐食速度が把握できること、この2つが重要 である。

金属材料の腐食は、環境因子と材料因子の組み合わせで生じる。地層処分場の建設地 が決定していない現段階の検討では、材料因子は Generic な値を用いるより他ない。一 方で材料因子は、母材の成分、溶接材料仕様の有無または成分、入熱を支配する溶接手 法といった設計・製作工程である程度制御可能である。

化学成分や溶接組織といった材料因子の違いによっても、全面腐食時の均一/不均一 性が生じる。設計・製作工程で制御できる材料因子の観点から、それらの影響を体系的 に整理することが重要である。

2.3 構造評価

2.3.1 荷重条件の検討

オーバーパックの健全性に影響をおよぼす可能性のある埋設後の負荷の種類、発生条件 および重要度を表 2.3.1-1 に示す[4]。このうち、オーバーパックの健全性について検討す る上では、①岩盤クリープ、②地下水静水圧、③腐食膨張、④緩衝材の膨張、⑤残留応力 について考慮することが報告されている。また、⑨地震の影響の中で揺れによる加速度の 効果については、予測される最大級の地震動を考慮する必要があるとされ、その他の負荷 については、考慮する必要性は極めて小さいと報告されている。

地震動については、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を踏まえ、これ までに国内で観測された最大級の地震動が人工バリアにおよぼす影響について、NUMO で 解析的な検討が実施されている[6],[7]。3 次元地震応答解析からは、大規模な地震動に対し て人工バリアと周囲の岩盤は、一体となって振動する結果が得られている。また、オーバ ーパックに作用する応力は、地震動によって振動しても最大で約 1.7 MPa の増加であった [6]。これらの検討結果から、国内最大級の地震動を想定しても、オーバーパックに繰り返 しの負荷は加わらないことがわかる。また、現状のオーバーパックの板厚では、地震によ りオーバーパックに過大な応力は作用しないと考えられる。ただし、断層のずれについて は、どのくらいのせん断負荷に対してオーバーパックが耐えられるかを FEM 解析などによ り定量的に示す必要があると考えられる。

発 時	生 期	原因	原因 発生プロセス 重	
		①岩盤のクリープ変形に よる緩衝材の圧密反力	閉鎖後、岩盤のクリープ変形によって緩衝材 に緩やかに圧密反力が作用し、外圧が OP に	大
书	②地下水静水圧	<u>生じる。</u> 地下水の水頭圧により、緩衝材を媒体として OP に水圧が生じる。	大	
	③腐食膨張	OP が腐食することにより、OP 体積が増大し、 緩衝材-OP 間で圧力が生じる。	大	
	④緩衝材の膨張	緩衝材が地下水と接触し体積が膨張すること により、その膨張圧で OP に外圧が生じる。	大	
通常運	下水シー	⑤ガス発生	OP の腐食により 2 次生成物としてガスが発生し、緩衝材内に密閉されガス圧が生じる。	/]\
転サリオ	ナリオ	⑥固化体からの熱応力	処分時、ガラス固化体発熱量は約 350W/本と 考えられ、収納後、熱伝導により OP は温度 分布を持つ。このため、局部的に熱膨張によ り OP に局部応力が発生する。	小
		⑦残留応力	蓋及び胴部を溶接後に熱処理が施せない場合 には、溶接部の熱収縮により、残留応力が発 生し、局部的に応力が常に発生している状況 となる。	大
		⑧地熱による熱応力	地熱により表面より加熱された OP が温度勾 配を有することにより、熱応力が発生する。	/]\
	天	⑨地震/断層活動	地震・断層活動による地下水位の低下や岩盤 の破砕等の事象が考えられ、これにより水圧 の上昇や緩衝材を介した OP への力の伝達が 発生する可能性がある。	中
「然事象シナリオ	「然事象シ	⑩火山/火成活動	地温の上昇、熱水対流系の形成により熱応力 が発生する可能性が考えられる。	<i>ب</i> ار،
	ナリオ	⑪気候/海水準変動	気温の上昇や低下による海水面の変動、凍結 による不透水層の形成等により、地下水圧が 上昇する可能性が考えられる。	小
		⑫隆起/沈降/浸食	プレート運動に起因する地殻応力場により隆 起や沈降等が生じる。	小

表 2.3.1-1 オーバーパック埋設後に想定される負荷の種類と発生条件(文献[4]から抜粋)

*OPはオーバーパックの略

2.3.2 オーバーパックの破損要因の検討

一般的な構造物の破壊を引き起こす要因としては、延性破壊、脆性破壊、疲労破壊、応 力腐食割れなどが主な要因として挙げられている[8][9]。構造物の破損の要因を整理して表 2.3.2-1 に示す。表に整理した破損要因の内で、埋設後のオーバーパックに生じる可能性の ある破損要因を〇印で示した。

破損モードとしては、静的破壊と動的破壊とその他が考えられる。静的破壊は、構造物 に一定の荷重(変動の小さい荷重:静的荷重)が負荷された時に発生する破損モードであ る。一方、動的破壊は、構造物に衝撃荷重など(動的荷重)が負荷された時に発生する破 損モードである。これらの破損モードに対して、弾性変形と弾塑性変形の変形様式がある。 弾性変形は、構造物に荷重を負荷した時に生じる変形が、荷重を除けばもとに戻る変形様 式である。一方、弾塑性変形は、構造物に荷重を負荷した時に生じる変形が、荷重を除い ても元に戻らない変形様式である。破損の要因については、その特徴を表中に記載した。

オーバーパックの破損モードは、埋設後の安定した環境(設計時の想定通りの環境)が 継続する通常時と、それ以外の異常時で区別して考える。通常時のオーバーパックには、 地下水静水圧などの静的な荷重が作用する。また、国内最大級の地震が発生しても、オー バーパックの強度に影響をおよぼすような動的な荷重が作用することは想定されない[6][7]。 そのため、通常時については静的破壊の破損要因について検討する。

炭素鋼は延性材料であり、放射線の照射や水素の吸収により強度層 110 mmの内外表面 付近で脆化が生じても、板厚全体にわたって均一に脆化が進むことはないと考えられるた め、脆性破壊についても生じる可能性は小さいと考えられる。クリープ破壊は高温状態で 負荷が加わると生じるため、埋設後のオーバーパックが 100℃を超えないことを考えるとク リープ破壊は発生しない。応力腐食割れは、溶接部で引張の残留応力が生じる場合に発生 する可能性があるため、3 章の腐食評価で検討する。オーバーパックのように容器の径に対 して板厚の比が大きい厚板の構造物では、座屈よりも崩壊が生じると報告されている[4]。 また、オーバーパックに作用する負荷は、基本的に圧縮負荷であることを考えると、引張 負荷で生じる延性破壊ではなく、圧縮負荷で生じる崩壊がオーバーパックで防止すべき破 損要因になると考えられる。

異常時には、巨大地震にともなう断層運動による大きなせん断負荷がオーバーパックに 作用することが考えられる。ただし、2.3.1 で述べたように、地震時にもオーバーパックに 繰り返しの負荷が作用することは想定されないと報告されている[6][7]ため、高サイクル疲 労、低サイクル疲労は破損要因として考慮する必要はない。また、上述のように炭素鋼は 延性材料のため、異常時のせん断負荷に対して弾塑性破壊の発生を防止する必要がある。 ただし、断層運動によるせん断負荷の大きさを想定することは難しいため、解析によりオ ーバーパックが耐えられるせん断負荷の大きさを把握しておくことが必要になる。

また、その他の破損モードとしては腐食と欠陥を起点とした破壊が考えられる。オーバ

ーパックの腐食については、3章、4章で検討する。欠陥を起点とした破壊については、溶 接部に生じるボイドなどの欠陥からのき裂の発生や進展を防止する必要がある。

破損モード	変形様式	破損の要因	主な特徴	OP 破損要因	
	弹性変形	脆性破壊	原子結合が破断される瞬時破壊	×	
		応力腐食割れ	引張負荷下での割れ発生/進展	0	
	弹塑性変形	延性破壊	ボイドの発生、成長、合体	×	
±44.667.70±1+35		座屈	圧縮荷重が限界値を超えたときに	×	
前印如堤			急激に変形が進む破壊		
		崩壊	圧縮荷重の増加とともに変形が進	0	
			む破壊		
		クリープ破壊	高温下でのひずみの増加	×	
	弾性変形	弾性破壊	衝撃荷重下での破壊	×	
新的功力		高サイクル疲労	繰返し負荷によるき裂発生/進展	×	
期印破场	弹塑性変形	弹塑性破壊	衝撃荷重下で塑性変形を伴う破壊	0	
		低サイクル疲労	繰返し負荷によるき裂発生/進展	×	
		腐食 -	全面腐食	0	
7. 14			局部腐食	0	
ての他	-	欠陥を起点	た初水山に作品	\bigcirc	
		とした破壊	さ农先生/連展		

表 2.3.2-1 構造物の破損要因

表中の OP は、オーバーパックを表す。

OP 破損要因 ○: 埋設後の OP に生じる可能性のある破損要因

×:埋設後のOPに生じる可能性のない破損要因

2.3.3 材料劣化事象の検討

オーバーパックは、埋設後に地下深部の環境に長期間さらされる。そのため、オーバー パックの材料自体が、長期間に渡って徐々に劣化することが考えられる。この劣化により 材料強度が低下する場合には、オーバーパックの閉じ込め期間が終了する以前にオーバー パックが破損する可能性があり、その健全性に影響をおよぼすことになる。ここでは、オ ーバーパックに想定される材料劣化事象を抽出し、オーバーパック埋設後に想定される材 料劣化事象を特定する。

埋設後のオーバーパックで想定される材料劣化事象は、文献[4]では表 2.3.3-1 のように 整理されている。このうち、応力腐食割れはオーバーパックの破損要因になるため、3章の 腐食評価で検討する。2.3.1 で述べたように、埋設後のオーバーパックには繰り返しの負荷 は作用しないため、疲労によるき裂発生・成長については、オーバーパックの健全性を評 価する上では考慮する必要はない。ガラス固化体からの放射線の照射や腐食により生じる 水素の吸収による脆化については、それらの発生を完全に防止することは難しい。したが って、放射線照射および水素吸収による脆化の 2 つが、オーバーパックの強度に影響をお よぼす材料劣化事象と考えられる。脆化とは、放射線の照射などにより材料内に微細な組 織変化が生じ、材料が脆くなる現象をいう。通常、炭素鋼などの金属材料は、荷重が加わ ると延びる性質を有していて、荷重を加え続けると延びが増加して、最終的に破断する。 一方で、脆化量が大きくなると、材料の延びが小さくなり、ガラスのように延びずに割れ るようになる。そのため、材料中にき裂などの欠陥が存在する場合には、脆化が生じると その欠陥を起点として材料が破損しやすくなる。

また、既存の構造物の中でも相対的に長期間の健全性が要求される原子力発電所につい て、その劣化事象を調査した。表 2.3.3-2 に原子力発電所で経年劣化管理が必要とされてい る劣化事象を示す[10]。原子力発電所の管理すべき 8 つの経年劣化事象の内で、オーバーパ ックの埋設条件で想定されるものとしては、中性子照射脆化と照射誘起応力腐食割れにな る。照射誘起応力腐食割れのような局部腐食は、腐食評価でその発生を防ぐ材料選定を行 う必要がある。以上の事から、オーバーパック埋設後に材料強度に影響をおよぼすと想定 される材料劣化事象は、放射線照射と水素吸収による脆化の 2 つと考えられる。 表 2.3.3-1 埋設後の炭素鋼オーバーパックで想定される材料劣化事象 (文献[4]から材料劣化事象を抽出して整理)

外荷重発生ケース	材料劣化事象
	・き裂発生・成長
岩盤クリープ変形+地下水静水圧+	・応力腐食割れ
腐食膨張圧+緩衝材膨張圧+残留応力	• 中性子照射脆化
	・水素脆化

表 2.3.3-2 原子力発電所で経年劣化管理が必要な事象[10]

経年劣化管理事象
・低サイクル疲労
・中性子照射脆化
・照射誘起応力腐食割れ
・高サイクル熱疲労
・2 相ステンレス鋼の熱時効
・フレッティング疲労
・電気・計装品の絶縁低下
・コンクリートの強度低下及び遮へい能力低下

2.3.4 構造評価の考え方

構造物を壊す力(破壊の駆動力)が材料の耐える力(破壊抵抗)を超えると、構造物は 破損する。つまり、構造物の破損という現象は、破壊の駆動力と破壊抵抗の大小で評価す ることができる。したがって、地下環境で想定される最大の荷重(破壊の駆動力)よりも オーバーパックの破壊抵抗の方が大きいことを確認することで、力学的にオーバーパック が健全であることを保証できる。ここでは、破損という現象を破壊の駆動力と破壊抵抗の2 つに着目して検討することで、埋設後に想定される荷重に対するオーバーパックの健全性 を確保する方法について検討する。

(1) 破壊の駆動力と破壊抵抗

材料中に欠陥が存在する場合と欠陥が存在しない場合では、構造物の破壊の駆動力と 破壊抵抗が異なる。オーバーパックの溶接部には、溶接欠陥が発生する可能性があるこ とが報告されている[12]。構造物中にき裂状の欠陥がない場合に比べて、相対的に大きな き裂状の欠陥がある場合には、材料の強度が低下し、より小さい負荷で構造物が破損す る。そのため、材料中に欠陥がない場合とある場合の破壊の駆動力と破壊抵抗について 以下で述べる。

1) 材料中に欠陥がない場合

金属材料に負荷を加えると変形し、負荷の大きさとともに変形が大きくなり、最終的に破断する。引張試験などで得られる軟鋼の応力ひずみ線図を模式的に図 2.3.4-1 に示す。図の縦軸および横軸は、それぞれ応力 *o* とひずみ *e* を表していて以下の式で 定義される。

応 力
$$\sigma = \frac{P}{A}$$
 (2.3.4-1)
ひずみ $\varepsilon = \frac{I - I_0}{I}$ (2.3.4-2)

ここで、Pは荷重、Aは断面積、Iは変形前の長さ、bは変形後の長さである。金属材料に荷重(応力)を加えると、最初は応力に対してひずみが直線的に増加する。この 部分を弾性域と呼び、荷重を除荷すれば変形は元の状態に戻る。さらに応力を増加さ せて弾性域を超えると、応力は増加せずにひずみだけが増加する。この部分を降伏点 と呼ぶ。降伏点を超えて応力を増加させると、塑性変形を生じてひずみが大きく増加 する。応力ひずみ線図の中で最大の応力を示す点を引張強さと呼ぶ。引張強さを超え ると応力は減少するがひずみは増加し、最終的に金属材料は破断する。つまり、き裂 などの欠陥がない場合の構造物の破壊の駆動力と破壊抵抗は次のようになる。

【材料中に欠陥がない場合】

破壊の駆動力: 応力(MPa)

破壊抵抗: 降伏点や引張強さなど (MPa)



図 2.3.4-1 軟鋼の応力ひずみ線図の模式図

2) 材料中に欠陥がある場合

金属材料に相対的に大きなき裂状の欠陥がある場合には、き裂の先端に応力が集中 するため、材料の強度が低下する。き裂を含む材料の強度は、材料力学では評価する ことができなため、破壊力学などを用いて評価される。実際に、原子力発電所の圧力 容器や配管などでは、検査でき裂が発見された場合に破壊力学を用いて進展評価、破 壊評価が行われている[13]。線形破壊力学では、以下の式で定義される応力拡大係数 *K*が破壊の駆動力として用いられる。

 $K = F\sigma\sqrt{\pi a}$

(2.3.4-3)

ここで、Fは形状係数、aはき裂長さを表す。応力拡大係数は、構造物の形状および 作用する応力、き裂の大きさによって決定される。また、破壊抵抗は、Compact tension 試験片(CT試験片)などを用いた破壊靱性試験により得られる破壊靭性値 Keとなる。 そして、その健全性に影響があると判断された場合には必要に応じて補修して、その 健全性を確保している。 応力拡大係数と限界き裂寸法の関係を模式的に図 2.3.4-2 に示す。構造物に作用す る応力が一定の場合、き裂サイズとともに応力拡大係数は増加する。そして、応力拡 大係数 *K*が破壊靭性値 *K*。に等しくなる時のき裂サイズが、その構造物の限界き裂寸 法になる。したがって、構造物に作用する応力が把握できている場合には、検査で測 定したき裂サイズが限界き裂サイズより小さければ、構造物が破損しないことを保証 できる。

【材料中に欠陥がある場合】

破壊の駆動力: 応力拡大係数 (MPa·m^{0.5}) 破壊抵抗: 破壊靭性値 (MPa·m^{0.5})



図 2.3.4-2 応力拡大係数と限界き裂寸法の関係の模式図

(2) 構造評価の考え方

構造物にき裂などの欠陥が存在しない場合には、例えば、降伏点を超える応力が作用 しなければ構造物は塑性変形しないため、破損することはない。また、オーバーパック の溶接部に存在する可能性のある溶接欠陥は、ボイド状や割れなど幾つかの種類の欠陥 が想定される。ただし、欠陥の先端の形状が鋭いほど応力集中は大きくなるため、オー バーパックの健全性を評価する上では、全ての欠陥をき裂とみなして評価することが、 応力的に最も厳しい条件になる。したがって、オーバーパックの健全性を確保するため の構造評価では、図 2.3.4-3 に示すように、欠陥が存在しない場合の強度評価と欠陥が存 在する場合の欠陥評価の 2 つの場合を考慮すれば十分である。図中の赤字は破壊の駆動 力、青字は破壊抵抗を表している。強度評価では、オーバーパックに作用する応力 σ が 設計応力 σ より小さくなるように板厚を設定する。欠陥評価では、欠陥をき裂とみなし て、き裂先端の応力拡大係数 *K*が破壊靭性値 *K*。より小さいことを確認することで、強度 的にオーバーパックが健全であることを保証することができる。オーバーパックの候補 材料の一つである炭素鋼は、埋設環境の温度では延性破壊をすると考えられるが、安全 側に脆性破壊を想定して欠陥評価を行う。



図 2.3.4-3 オーバーパックの構造評価のフローチャート(案)

1) 強度評価

HLW 第 2 次取りまとめでは、オーバーパックの設計に「発電用原子力設備に関す る構造等の技術基準(昭和 55 年通商産業省告示第 501 号)」[13]の第 2 種容器(日 本機械学会発電用原子力設備規格 設計・建設規格[14](以下、設計・建設規格)にお けるクラス MC に対応)の規定が準用されている。そして、蓋部と胴部の許容応力(設 計応力)が設定され、必要な板厚は 110 mm に設定されている。

告示 501 の第2種容器および設計・建設規格のクラス MC 容器の設計では、その方 法として公式による設計(design by formula)が採用されている。一方でクラス1容 器等の設計では、解析による設計(design by analysis)が採用されていて、詳細な構 造解析に基づく応力評価および構造物の設計を実施することができる。オーバーパッ クの強度評価では、解析による詳細な応力評価を実施することにより、その設計に対 する信頼性を向上させることができると考えられる。

解析によるオーバーパックの強度評価のフローチャート(案)を図 2.3.4-4 に示す。 強度評価のフローチャート(案)は、2.3.1 から 2.3.3 で検討した以下の結果に基づい て作成した。

- オーバーパックに繰り返しの負荷は作用しない(2.3.1 参照)
 →疲労負荷が加わらないため、疲労破壊は考慮しない
- ② オーバーパックに生じる材料劣化事象は、放射線照射および水素吸収による脆化のみ(2.3.3 参照)
 →脆化により材料の降伏応力や引張強さは増加するため、強度評価では材料劣化は考慮する必要はない
- ③ 溶接部の残留応力は変形の拘束により生じるため、材料が塑性変形すると残留
 応力は解放され、静的強度におよぼす影響は小さい
 →溶接残留応力は強度評価では考慮しない

図 2.3.4-4 の左側は破壊抵抗を求める流れ、右側は破壊の駆動力を求める流れを表している。

強度評価における破壊抵抗は、降伏応力、引張強さ、崩壊荷重などが考えられる。 ただし、オーバーパックには長期間の健全性が要求されるため、閉じ込め期間中のオ ーバーパックの変形は弾性範囲に抑えておくべきと考えられる。そのため、強度評価 における破壊抵抗は降伏応力とし、降伏応力に裕度を考慮して設計応力 m とする。裕 度の大きさは、埋設後の環境などの不確実性を考慮して決定する必要がある。降伏応 力は、引張試験などの材料試験を行うことで取得することができる。一般的に、溶接 部の降伏応力や引張強さは母材よりも大きいため、強度評価では溶接部に対しても母 材の材料強度を用いるほうが安全側の評価となる。強度評価における破壊の駆動力は 応力であり、オーバーパックの形状や板厚、処分環境の外圧などを入力条件として、 有限要素解析などによりその大きさを求めることができる。そして、オーバーパック に作用する最大応力 amax が設計応力 asよりも小さいことを確認して強度評価は終了 となる。最大応力 amax が設計応力 asよりも大きければ、オーバーパックの設計(板 厚)を見直し、再び応力解析を実施して、最大応力と設計応力を比較する。



図 2.3.4-4 オーバーパックの強度評価のフローチャート(案)

2) 欠陥評価

オーバーパックに対する欠陥評価のフローチャート(案)を図 2.3.4-5 に示す。欠 陥評価では、最初に、破壊力学的手法により限界き裂寸法 acrit を算出する。また、オ ーバーパック溶接部の超音波探傷の結果から得られた欠陥形状を考慮して欠陥をモ デル化し、モデル欠陥寸法 amod を決定する。そして、限界き裂寸法よりもモデル化さ れた欠陥寸法が小さければ(acrit > amod ならば)、その欠陥がオーバーパックの健全 性におよぼす影響は無視できるほど小さいと判断できる。

限界き裂寸法を算出するためには、破壊の駆動力である応力拡大係数(K値)と破 壊抵抗である破壊靭性値(Kc)を取得する必要がある。K値は、有限要素解析などに より算出することができる。解析では、溶接部にき裂状の欠陥をモデル化し、き裂先 端の応力拡大係数(K値)を求める。溶接欠陥としては、ボイドや介在物など様々な 種類、形状のものが考えられるが、構造物にとって最も応力状態が厳しくなるき裂(先 端が鋭く尖ったもの)を解析の対象とする。Kcは材料試験により測定することができ る。ただし、閉じ込め期間中には放射線照射および水素吸収により材料が脆化する可 能性がある。材料が脆化すると破壊靭性値が低下するため、将来の脆化量を予測し、 破壊靭性値に考慮しておく必要がある。また、脆化量の予測精度に対する誤差や地下 環境での不確実性を考慮して、適切な裕度を設定して破壊靭性値を決定する。 • 限界き裂寸法の設定方法

材料試験により得られた破壊靭性値 Keと解析により求めたき裂先端の応力拡大係数 Kを比較し、以下の式で埋設環境における限界き裂寸法 acritを算出することができる。

$$\boldsymbol{a}_{\text{crit}} = \frac{K_{\text{c}}^2}{F^2 \sigma^2 \pi}$$
(2.3.4-4)

限界き裂寸法の大きさは、非破壊検査により確実に検出できる寸法でなければなら ない。そのため、オーバーパック溶接部の検査に適用する非破壊検査による欠陥検 出確率(POD: Probability of Detection)を実験的に調べ、限界き裂寸法が100%検 出可能であることを確認しておく必要がある。限界欠陥寸法の検出確率が100%でな い場合には、オーバーパックの設計変更または超音波探傷試験による欠陥検出精度 を向上させる必要がある。

• 欠陥の判定方法

非破壊検査によりオーバーパックの溶接部を検査し、欠陥寸法 a および欠陥形状 を測定する。測定される欠陥の形状は複雑であり、複数の欠陥が検出されることが 想定されるため、必要に応じて欠陥のモデル化を行い、評価上の欠陥寸法(モデル 欠陥寸法 amod)を設定する。そして、モデル欠陥寸法 amod が限界き裂寸法 acrit より も小さければ、その欠陥はオーバーパックの健全性に影響をおよぼさないため、無 害の欠陥と判断される。腐食代に存在する欠陥についても、acrit より小さければ強度 的には無害であるが、腐食代にボイド欠陥などが存在する場合には、見かけ上の腐 食速度を加速させるために、その健全性に及ぼす影響については別途検討が必要で ある。

• 欠陥評価における裕度

欠陥評価では、破壊靭性値とモデル欠陥寸法に裕度が含まれることになる。破壊 靭性値は、一般的に測定値にばらつきが大きく、閉じ込め期間終了時点の脆化量予 測にも誤差が含まれる。そのため、破壊靭性値には裕度を考慮する。また、超音波 探傷で検出される欠陥を楕円形状などにモデル化する際には、測定された欠陥を包 含するように、実際の欠陥よりも大きくモデル化することになる。また、複数欠陥 を単一欠陥にモデル化する際にも、欠陥を包含する大きなモデル欠陥を設定するこ とから、欠陥をモデル化する時点で実質的には裕度が含まれることになる。


図 2.3.4-5 オーバーパックの欠陥評価フローチャート(案)

2.3.5 構造評価における指標

現段階での構造評価の検討から、オーバーパックの健全性を保証するための指標として は、以下の項目が挙げられる。

- 破壞靭性値
- 限界き裂寸法

今後の健全性評価の検討の進捗にともない、新たに構造評価で判断指標が必要な時には、 順次検討に追加する。 2.3.6 構造評価に関する研究開発課題の整理

図 2.3.4-3 に示したオーバーパックの構造評価のフローチャート(案)と強度評価(図 2.3.4-4) および欠陥評価(図 2.3.4-5)のフローチャート(案)から、構造評価に関する研究開発課題を整理すると図 2.3.6-1 に示すようになる。図中の赤枠の項目が構造評価のために必要な研究開発課題を示している。

強度評価では、オーバーパックの応力集中部の最大応力 omax が設計応力 on より小さいこ とを確認する。 omax は、想定される処分環境に対して有限要素解析などにより求めること ができる。また、on はオーバーパックの候補材が決まれば、材料試験により取得した材料 強度に裕度を考慮して設定する。

欠陥評価では、オーバーパックの溶接部のモデル欠陥寸法 amod が、限界き裂寸法 acrit よ りも小さいことを確認する。溶接部の欠陥寸法 a は、超音波探傷試験などの非破壊検査に より測定する。超音波探傷試験についは、これまで継続的な研究開発を続けており、板厚 190 mm 全層を対象とした探傷試験を実施し、欠陥の検出限界寸法に関する実験データを取 得している。今後は、欠陥の寸法や位置の定量方法や測定誤差の向上について検討する必 要がある。amod の設定には、溶接部におけるき裂先端の応力拡大係数と候補材料の破壊靭 性値から、限界き裂寸法を求める必要がある。オーバーパック埋設後の長期間では、材料 が脆化する可能性があるため、その脆化量の予測方法を構築する必要がある。

以下に構造評価における研究開発課題を、開発の優先順位の高い順に示す。限界き裂寸 法が相対的に大きければ、超音波による欠陥寸法測定および脆化量予測の誤差の許容範囲 は大きくなると考えられる。そのため、限界き裂寸法の取得の優先順位を最も高くした。 モデル欠陥寸法設定のための欠陥モデル化および裕度に関する検討は、次年度以降の課題 とする。

【H26 年度研究開発課題1】 限界き裂寸法の取得 実施内容① FEM 解析による破壊評価による検討

【H26年度研究開発課題2】 超音波による溶接欠陥寸法および位置の定量化 実施項目② 欠陥定量方法の検討、測定誤差の低減に関する検討

【H26 年度研究開発課題 3】 放射線照射と水素吸収による脆化量予測手法の開発

実施項目③ 解析によるオーバーパック照射線量の算出

実施項目④ 照射損傷メカニズムに基づく脆化量予測のための解析手法の構築



図 2.3.6-1 構造評価に関する研究開発課題の整理

- 2.4 まとめ
- 2.4.1 腐食評価

炭素鋼オーバーパックの腐食評価では、期待される寿命を達成するための腐食代の設定、 およびその根拠を提示することが目的となる。そのためには使用環境下で全面腐食挙動を 示すこと、その際の腐食総量または腐食速度が把握できること、この2つが重要である。 金属材料の腐食は環境因子と材料因子の組み合わせで生じる。しかしながら、実処分環境 はサイトが決まっていないことから、環境条件は Generic なものをリファレンスとする。 一方、材料因子は、母材の成分、溶接材料仕様の有無または成分、入熱を支配する溶接手 法といった設計・製作工程である程度制御可能である。

腐食挙動の把握、腐食メカニズムの解明を通じて、オーバーパックの設計、製作方法の 設定に反映させることを念頭に、平成 26 年度の研究課題を以下のように設定した。

【研究開発課題1】 オーバーパックの腐食の現象理解

実施内容① 実験室規模の単純系での腐食試験

実施内容② 地上/地下施設での複雑系での腐食試験

【研究開発課題2】 腐食メカニズムの解明

実施項目① 金属組織の違いが腐食挙動におよぼす影響の調査

実施項目② 緩衝材の施工品質が腐食挙動におよぼす影響の調査

2.4.2 構造評価

最初に、オーバーパック構造評価のための荷重条件、破損要因、材料劣化事象について 検討した。荷重条件としては、外圧と溶接残留応力および地震動による負荷を考慮する必 要がある。破損要因としては、通常時には崩壊、溶接欠陥を起点とした破壊の2つを防止 する。異常時には、断層運動にともなうせん断負荷による弾塑性破壊に対して、オーバー パックが耐えられる負荷の大きさを把握しておく必要がある。材料劣化事象としては、埋 設後の環境では、放射線照射および水素吸収による脆化による材料強度の低下について検 討する必要があることを示した。

埋設後の検査や補修を必要としない溶接構造物として、オーバーパックの健全性を保証 するための構造評価方法について検討した。構造評価は、強度評価と欠陥評価で構成され る。オーバーパックの破損について、破壊の駆動力と破壊抵抗の観点から検討し、強度評 価および欠陥評価のフローチャート(案)を作成した。その結果から、構造評価に関する 研究開発課題を抽出し、H26年度の研究開発課題を以下のように設定した。

【研究開発課題1】 限界き裂寸法の取得

実施内容① FEM 解析による破壊評価による検討

【研究開発課題2】 超音波による溶接欠陥寸法および位置の定量化

実施項目② 欠陥定量方法の検討、測定誤差の低減に関する検討

- 【研究開発課題3】 放射線照射と水素吸収による脆化量予測手法の開発
 - 実施項目③ 解析によるオーバーパック照射線量の算出

実施項目④ 照射損傷メカニズムに基づく脆化量予測のための解析手法の構築

第2章 参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構:わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性地層処分研究開発第2次取りまとめ 分冊2 地層処分の工学技術、 JNC-TN1400 99-022 (1999).
- [2] JNC-TN8400-99-030 (Groundwater Evolution Modeling for the Second Progress Performance Assessment (PA) Report)
- [3] JNC-TN8400-99-078(地層処分研究開発第2次取りまとめにおける緩衝材間隙水化 学の評価)
- [4] 三菱重工業株式会社:オーバーパックの構造健全性に関する研究(核燃料サイクル開 発機構研究委託内容報告書)、JNC TJ8400 99-050、(1999).
- [5] 核燃料サイクル開発機構:深部地下空洞および内部構造物の振動挙動に関する研究
 (2)、JNC TN8400 99-055 (1999).
- [6] 山本陽一、鈴木覚、安保英範、藤原啓司:地震動による人工バリアへの影響、原子力 バックエンド研究、Vol.21、No.2、pp.101-104 (2014).
- [7] 原子力発電環境整備機構:高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性、 NUMO-TR-04-01、(2004).
- [8] 矢川:破壊力学、培風館、pp.6 (1988).
- [9] 西田:溶接構造物の疲労破壊と疲労強度因子(1)、溶接学会誌、Vol.62、No.8、 pp.595-598 (1993).
- [10] 日本原子力学会:日本原子力学会標準 原子力発電所の高経年化対策実施基準:2011
 (追補 2)、AESJ-SC-P005:2011、(2011).
- [11] 核燃料サイクル開発機構:銅ー炭素鋼複合オーバーパックの試作、JNC-TN8400 99-049 (1999).
- [12] 原力整備促進・資金管理センター:平成24年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1分冊)-遠隔操作技術高度化開発-、(2013).
- [13] 通商産業省資源エネルギー庁・公益事業部原子力発電安全管理課編:解説/原子力設備の技術基準、(1994).
- [14] 日本機械学会:発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012 年版)<第 I 編 軽
 水炉規格>、JSME S NC1-2012、(2012).

第3章 現象理解の腐食試験

3.1 全体概要

地層処分において、人工バリアシステム(Engineering Barrier System、以下 EBS)の 構成要素の一つであるオーバーパックには、廃棄物に含まれる放射性物質と地下水との接 触を防ぐ性能が求められている。第2章で述べたように、HLW 第2次取りまとめ[1]におい て、リファレンスケースにおけるオーバーパックについては、想定される地下埋設環境に おいては 1000 年間の寿命が要求されており、耐食層の候補材料である炭素鋼、チタン、銅 に対する既往の報告や、耐食性評価試験によってその寿命は達成可能と評価されている。 一方、オーバーパックは長期安全性の要件である閉じ込め性を確保するため、溶接による 蓋の封入が検討されているが[2]、溶接部(溶接金属及び熱影響部)は母材と比較した場合 に機械的強度に加えて化学組成や組織といった材料の性状が異なる。よって溶接部の耐食 性も母材とは異なる可能性があり、オーバーパックが人工バリアとして成立することを示 すためには、母材と溶接部の材料性状の違いが腐食挙動におよぼす影響を考慮する必要が ある。

3.2 課題の設定

- 3.2.1 オーバーパック長期健全性における腐食の位置付け
 - (1) 長期健全性評価における腐食の優先度

第2章において提示したオーバーパックの健全性評価の考え方では、オーバーパック の長期健全性に係わる課題を、大きく構造健全性と腐食健全性の2つに分けた。

オーバーパック構造健全性については、岩盤や緩衝材の膨潤などの検討成果よりオー バーパックに作用する外力が提示されれば、適切な設計により担保出来ると考えられる。 腐食健全性については、処分場の候補地に対する各段階での調査により把握した地下環 境に対し、腐食健全性評価モデルに基づき適切に材料を選定することで、長期健全性を 確保する。

現在の処分概念では、期待される閉じ込め期間終了後、オーバーパックの腐食代は腐 食により消失し、耐圧層が残った状態となる。この状態でオーバーパックの耐圧層が健 全、言い換えれば脆化などの材料劣化が予測通りに進み、かつ設定した耐圧層厚さを維 持していればオーバーパックは寿命を達成したと判断される。この耐圧層は提示された オーバーパックに作用する外力に対して構造健全性評価に基づいて設定されたものであ り、形状や肉厚など適切な設計・製作により実現可能であると考えられる。

この状態を実現するためには、閉じ込め期間において腐食代が機能することが前提と なる。本検討で対象とした単一オーバーパックでは耐圧層と腐食代は連続しており、候 補材料は腐食の観点から選定されることが重要であると考えられる。 (2) 健全性を確保するための検討フローにおける腐食代の設定

オーバーパックの長期健全性を確保するための検討フロー(案) (図×××)におい て腐食代の部分の検討例を図 3.2.1-1 に示す。地層処分場の地下環境や処分方式が決定す ると、オーバーパックが曝露される処分環境が絞り込まれる。この処分環境でオーバー パックの閉じ込め性を確保するための材料を選定し、溶接試験等の製作性を確認するた めの試験が実施される。製作施工性が確認された溶接試験体に対して、溶接部の機械的 特性を把握するための継手性能試験や、腐食挙動を把握するための耐食性評価試験が実 施され、母材と溶接部の品質に係わる知見が収集されると考えられる。このような検討 において材料選定や材料の適用性の判断材料として必要となるものが、図中に赤枠で示 したわが国で想定される地下処分環境を対象とした腐食試験で整備したジェネリックな 腐食挙動の知見と、腐食メカニズムに基づく健全性評価手法であると考えられる。この 検討の結果、候補材料の化学成分や腐食代の厚さが溶接手法と共に提示される。

この検討フローで設定した候補材料ならびに溶接部の化学成分や機械的特性等の知見 は、図×××の放射線遮へい厚さや耐圧厚さの検討に反映させることで、腐食健全性と 構造健全性の整合が取れたオーバーパックの設計が可能になると考えられる。



図 3.2.1-1 オーバーパックの候補材料の選定フロー

3.2.2 室内試験と実際の処分事業との違い

これまでのオーバーパック溶接部の耐食性評価試験は、溶接部の腐食挙動について、検 討項目は HLW 第2次取りまとめ[1]にて示されたオーバーパック母材の腐食シナリオを基 本としたものである。また、これらの試験は想定される地下処分環境と比較して小型かつ 均一・単純な試験系で取得された知見に基づいた評価となっている。

以上の状況に対して、溶接部を含むオーバーパックの品質評価の信頼性の向上のために、 実際のオーバーパックや想定される地下処分環境を考慮した、より実環境に即した複雑系 の試験系によるオーバーパックの腐食健全性に関するデータの取得を行い、長期健全性評 価モデルの構築、モデルを裏付けるデータの拡充、理論的説明の付与に資する開発を行う ことが重要である。

これまでに実施した実験室規模での耐食性評価試験と、実際の処分環境におけるオーバーパックの違いを整理する。

(1) オーバーパックと試験片の大きさ

リファレンスケースのオーバーパックの形状は、直径 840 mm、高さが 1350 mmの円柱状 である。狭開先アーク溶接により封入では、オーバーパック再外周部での開先広さはお よそ 20 mm程度であるから、蓋構造にも因るがオーバーパック表面積に占める溶接部の割 合は低い(平蓋の場合でも2%未満)。一方、平成 16 年度の人工バリア特性体系化調査 [14]から開始した、溶接部の耐食性評価試験は、遠隔操作技術高度化にて製作した溶接試 験体から小型の試験片を採取して実施されている。試験片の寸法は以下のとおりである。 酸化性雰囲気での浸漬試験

腐食量取得用 幅 60mm、長さ 120 mm、厚さ 5 mm (※1 年を超える場合は 10mm) 局部腐食試験用 直径 80mm 厚さ 2 mm

還元性雰囲気での浸漬試験

腐食速度測定用 幅 30 mm 長さ 60 mm、厚さ 2 mm

水素濃度取得用 幅 10 mm 長さ 60 mm、厚さ 2 mm

溶接部の幅は各試験片であまり変わらないので、試験片表面積に占める溶接部の割合は およそ 20%である。

(2) 地下環境と実験室の環境

実際の地下処分場でオーバーパックが接触するのは緩衝材であるから、腐食は地下水 で膨潤した緩衝材の環境に対応した挙動を示す。この系についてはわが国で想定される 地下水と平衡状態にある緩衝材間隙水組成として提示されている[27]。表 3.2.2-1 に模擬 環境を示す。この間隙水の化学成分のうち、一般的に炭素鋼の腐食挙動に最も寄与する のは CI である。また既往の報告より、炭素鋼の不働態化挙動および応力腐食割れに寄与 するのは CO₂/HCO₃⁻/CO₃²⁻である。腐食シナリオにて着目した腐食現象をより明瞭とす るために試験は主にこれらの化学種を含む溶液環境で実施されている。

化学種	濃度範囲 [mol L ⁻¹]
HCO ₃ - / CO ₃ 2- / H ₂ CO ₃	< 7.3 x 10 ⁻²
${ m SO}_{4^{2^{*}}}$	$< 6.1 \text{ x } 10^{-2}$
$\mathrm{HS}^{\text{-}}$ / $\mathrm{H}_2\mathrm{S}$	$< 9.2 \text{ x } 19^{-2}$
Cl-	$< 5.9 \text{ x } 10^{-1}$
P (total)	< 2.9 x 10 ⁻⁶
NO ₃ -	0.0
$ m NH_3$	$< 1.6 \ge 10^{-4}$
NH_{4}^+	$< 5.1 \text{ x } 10^{-3}$
B (total)	$< 1.7 \text{ x } 10^{-3}$
pH	5.9~8.4

表 3.2.2-1 緩衝材間隙水中の化学種の濃度範囲と pH の範囲(計算値)[1]

(3) 緩衝材の挙動

緩衝材が共存する場合は緩衝材を溶液で飽和させた後に試験が行なわれており、再冠 水過程は考慮していない。また緩衝材は施工方法によって、密度差、すき間など人工バ リアとしての緩衝材の機能に寄与する要素に違いが生じる。これまでの緩衝材の品質評 価技術の開発における検討成果より、施工時に生じた緩衝材の密度差は膨潤によって均 ー化せず、密度差が残留することが確認されている。密度は緩衝材の透水係数などの物 性値に影響をおよぼす因子である。このようなオーバーパックを取り囲む緩衝材の性能 の違いがオーバーパックの腐食挙動におよぼす影響を定量的に評価することが重要であ る。

3.2.3 腐食試験の位置付け

このようにオーバーパックの腐食挙動を取得するための現状試験条件と、実環境でのオ ーバーパックが定置される状態では、寸法や周囲の環境が大きく異なる。しかしながら、 それらの違いをすべて考慮した複雑系でのデータ取得においては、パラメータの数が膨大 であるばかりではなく、複雑系環境下での試験装置の信頼性についても十分に確認されて いない。よって実験室レベルの知見と、実処分環境での知見が前提とする条件の乖離を整 理した上で試験計画を策定することが重要である。

実際の環境を摸擬した条件下での実験系はその試験系設置の技術的な困難さと共に、複数の現象が複雑に絡み合っているために現象の理解は容易ではない。このため、地下環境下での実験系に加え、地下環境下で発現する個々の現象の理解を促進するために、地上において地下試験条件を摸擬した(地上施設内での)試験系の実験を並行して実施することと

した。図 3.2.3-1 に地上試験、地下試験、試験条件等を考慮した各試験の位置付けを示す。 現象理解のためのオーバーパックの腐食試験として、本検討では以下の試験を計画し、 実施する。

(1) 単純系での腐食試験(3.3 単純系での腐食試験)

平成25年度まで継続的に実施した実験室規模での試験である。小型の試験片、最も寄 与する環境因子(試験系の溶液成分など)で構築した試験系で実施する。腐食メカニズ ム解明やおよび腐食健全性評価モデルの信頼性向上のため、長期間の腐食挙動を取得す るとともに、個別の腐食挙動ごとにより精緻な知見を拡充する。

なお単純系での腐食試験は、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター が独立行政法人 日本原子力研究開発機構(JAEA)との共同研究「平成 26 年度 オー バーパック溶接部の耐食性評価に関する研究」の成果をまとめたものである。

- (2) 複雑系での腐食試験(3.4 複雑系での腐食試験)
- 1) 工学規模試験

平成 25 年度に計画した試験計画に基づき、地上施設/地下施設で実施する。試験 に供す模擬オーバーパックは直径 100mm、<u>長さ 1250mm</u>の SFVC1 相当の鍛造材に、 長手方向に 2本 TIG 溶接を施したものを使用し、より実際のオーバーパックの挙動を 把握できるようにした。本年度は試験設備の詳細設計及び製作、昨年度幌延深地層研 究センターの地下 350m の調査坑道 5 に掘削した試験孔への設備の設置ならびに試験 の開始、地上施設で実施する試験の設備製作を実施した。

なお工学規模試験のうち、地下施設における溶接部腐食試験は原環センターが JAEA との共同研究「平成 26 年度 人工バリア等の健全性評価及び無線計測技術の 適用性に関する研究」の一部として実施した。

2) 小規模要素試験

地下試験設備と同一規模の試験系で実施する試験とは別に、試験対象、試験目的によ り試験条件を変えたり、例えば摸擬オーバーパックの長手方向の寸法を短くした試料 を用いたりした試験系などを多年度にわたりシリーズ化して実施、複雑系での腐食挙 動の現象理解促進に努める。試験条件は「温度」、「水理」、「pH」、「Eh」など の時間的変遷を考慮して設定する。本年度は先行して開始した工学規模試験を踏まえ、 試験計画の具体化を図った。

3) 地上ラボ試験

地下調査施設での試験については、使用するセンサー等の計測機器について地層処 分環境を想定した系での実績が無い。そこで平成25年度より地下試験開始に先立ち、 予備試験を実施している。その結果を適切に反映させる。

(3) 腐食モニタリングシステム検証試験(腐食計測技術の検証)

実地下環境における腐食試験で適用可能で、オーバーパック(もしくは候補材料)の 挙動を直接計測する技術について、各研究機関の提案する腐食計測法を調査し計測性能、 性能の改善、センサー劣化時の対応等を実施しつつ、それらの長期性能を確認する。



図 3.2.3-1 現象理解のための各腐食試験の位置付け

3.3 単純系での腐食試験

3.3.1 全体概要

HLW 第2次取りまとめ[1]において、リファレンスケースにおけるオーバーパックについ ては、想定される地下埋設環境においては 1000 年間の寿命が要求されており、耐食層の候 補材料である炭素鋼、チタン、銅に対する既往の報告や、耐食性評価試験によってその寿 命は達成可能と評価されている。一方、オーバーパックは長期安全性の要件である閉じ込 め性を確保するため、溶接による蓋の封入が検討されているが[2]、溶接部(溶接金属及び 熱影響部)は母材と比較した場合に機械的強度に加えて化学組成や組織といった材料の性 状が異なる。よって溶接部の耐食性も母材とは異なる可能性があり、オーバーパックが人 エバリアとして成立することを示すためには、母材と溶接部の材料性状の違いが腐食挙動 におよぼす影響を考慮する必要がある。

炭素鋼オーバーパックの蓋の封入方法への適用性評価は、平成13年度~平成18年度『遠隔操作高度化調査』[3]~[8]、および平成19年度~20年度『遠隔操作技術高度化開発』[9][10] で実施した。

製作した溶接部の機械的特性については、継手性能試験や非破壊探傷試験で評価した [3]~[13]。一方で、オーバーパックに求められる安全性確保の要件である長期閉じ込め性に およぼす影響が、最も大きいと考えられる耐食性ついては、HLW 第2次取りまとめに示さ れた候補材料の腐食シナリオ(炭素鋼の例を図 3.3.1-1 に示す)から検討項目を抽出し、平 成 16 年度~平成 18 年度『人工バリア体系化調査』、および平成 19 年度~平成 24 年度『人 エバリア品質評価技術の開発』、平成 25 年度『人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック』にて耐食性評価試験を継続に実施し、長期腐食挙動に関する知見を取得 した[14]~[23]。

オーバーパック溶接部の耐食性評価試験では主として以下の5項目について調査した。

処分環境における溶接部の不働態化挙動の評価

炭素鋼オーバーパックの寿命が耐食層の厚さで担保出来るための最も基本となる腐食 挙動。

② 酸化性雰囲気における腐食形態(全面腐食、局部腐食)の評価

埋設初期の酸素を酸化剤とした場合の腐食挙動。

③ 低酸素雰囲気における腐食形態、および水素侵入挙動の評価

地下本来の還元性雰囲気での腐食挙動、および水素脆化に寄与する鋼中水素濃度の取得。

④ 応力腐食割れや水素脆化割れなど、直接破壊に関わる因子の調査

耐食層の厚さでは寿命を担保できない、局所的な割れに関わる腐食挙動の取得。

⑤ 代替材料(チタン)の検討

複合オーバーパックの耐食層の候補材料であるチタンに関わる腐食挙動の取得。

溶接部の耐食性に係わる上記5項目について、既往の報告や母材の腐食挙動を基準として 評価し、溶接部の耐食性は母材と同等以上であることを実験的に確認することで、溶接は リファレンスケースのオーバーパックの封入方法として適用可能であることを、品質の観 点から提示することを目的とした。



図 3.3.1-1 炭素鋼の腐食シナリオ

3.3.2 試験に供した溶接試験体

遠隔操作技術高度化調査で製作した溶接試験体から試験片を採取し、試験に供した。

(1) TIG 溶接試験体

平成 14 年度製作した TIG(Tungsten Inert Gas) 平蓋溶接試験体を使用した[4]。表 3.3.2-1 に溶接条件、表 5.3.14 に化学成分分析結果を示す。

母	材	SF340A						
溶力	旧材	YGT50						
	開先深さ [mm]	190						
開先形状	開先形状		5R					
	開先角度		4 °					
溶接施	工条件	初層	中間層	化粧盛り				
姿	勢		横向き					
ウィー	ビング	なし						
雨 达	(ベース) [A]	100~250	150~300	100~250				
电加	(ピーク)[A]	200~350	250~400	200~350				
電圧	[V]	12.5	11.5~13.5	11.0~11.5				
溶接速度	[cm/min]	6.4	5.7~11.7	9.3~9.9				
ワイヤー供給量	[m/min]	2	2.5~3.5	2~3.5				
層数	[層]	1	2~37	38				
パス数	[パス]	1	2~51	52~54				
入熱	[kJ/cm]	23.3~90.0						
溶接時間	[hr]	24.5 (中断なし)						
デポ量	[kg]	41.4 (38.8)						

表 3.3.2-1 TIG 溶接試験体の溶接条件[4]

(2) MAG 溶接試験体

平成 16 年度に製作した MAG(Metal Active Gas)平蓋溶接試験体を使用した[6]。表 3.3.2-2 に溶接条件、表 3.3.2-4 に化学成分の分析結果を示す。

母	材	SF340A						
溶力	口材	YGW16						
	開先深さ [mm]	190						
開先形状	開先形状	6R						
	開先角度	1.5°						
溶接施	工条件	全層						
姿	勢	下向き						
ウィー	ビング	溶接ノズル回転速度:50Hz						
雨沐	(ベース) [A]	350						
电流	(ピーク)[A]	-						
電圧	[V]	34~36						
溶接速度	[cm/min]	28						
ワイヤー供給量	[m/min]	15						
層数	[層]	20						
パス数	[パス]	40						
入熱	[kJ/cm]	51~54						
溶接時間	[hr]	2.4 (段取り時間除く)						
デポ量	[kg]	20						
シール	ドガス	Ar (80%) – CO ₂ (20%) トーチガス 30L/min 補助シールドガス 100L/min						
特記	事項	2 電極/1 層溶接 電極間距離 70mm 溶接トーチ位置傾斜角度 先行トーチ:-8.5° 後攻トーチ:+10°						

表 3.3.2-2 MAG 溶接試験の条件[6]

(3) EBW 溶接試験体

平成 15 年度に製作した EBW(Electron Beam Welding)平蓋溶接試験体を使用した[5]。 表 3.3.2-3 に溶接条件、表 3.3.2-4 に化学成分分析結果を示す。

母材	SF340A							
溶接対象板厚/開	溶接対象板厚/開先深さ [mm]							
	溶接条件							
姿勢	横向き							
溶接電流	[mA]	600						
加速電圧	[kV]	100						
溶接速度	[cm/min]	25						
加工距離	[mm]	400						
焦点距離	[mm]	800						
ナシレート値	溶接方向 [mm]	1						
	垂直方向 [mm]	0.5						
オシレート回数	[回/sec]	500						
スロープアップ時間	[sec]	20						
スロープダウン時間	[sec]	20~60						
パス数	[パス]	1						
入熱	[kJ/cm/cm]	14.40						
溶接時間	[hr]	0.13						
デポ量	[kg]	0						

表 3.3.2-3 EBW 溶接試験の条件[5]

溶接方法	部位	С	Si	Mn	Р	S	Cu	Cr	Мо	備考
	溶着金属	<u>0.11</u>	<u>0.67</u>	<u>1.29</u>	0.009	<u>0.011</u>	<u>0.25</u>	<u>0.02</u>	<u>< 0.01</u>	
TIG	母材	0.15	0.19	0.36	0.006	0.002	<u>0.01</u>	<u>0.05</u>	<u>0.01</u>	
	溶接材料	0.10	0.73	1.40	0.011	0.014	0.24	0.03	—	
	溶着金属	<u>0.082</u>	<u>0.58</u>	<u>1.07</u>	<u>0.010</u>	<u>0.014</u>	<u>0.20</u>	<u>0.03</u>	<u><0.01</u>	
MAG	母材	0.11	0.25	0.65	0.007	0.002	<u>0.05</u>	<u>0.04</u>	<u>0.01</u>	
	溶接材料	0.10	0.76	1.37	0.010	0.014	0.24	—	—	
	溶接金属	<u>0.11</u>	<u>0.25</u>	<u>0.70</u>	<u>0.011</u>	<u>0.003</u>	<u>0.05</u>	<u>0.11</u>	<u>0.02</u>	
LDVV	母材	0.12	0.25	0.65	0.012	0.004	<u>0.05</u>	<u>0.11</u>	<u>0.02</u>	
母材規格	JIS G3201 SF340A	≦0.60	0.15~0.50	0.30~1.20	≦0.030	≦0.035	_	_	_	
溶接材料 規格	JIS Z3316 (YGT50)	≦0.15	≦1.00	≦1.90	≦0.030	≦0.030	≦ 0.50 *	_	—	TIG 用**
	JIS Z3312 (YGW16)	≦0.15	0.40~1.00	0.85~1.60	≦0.030	≦0.030	≦ 0.50 *	_	_	MAG 用

表 3.3.2-4 溶着金属および溶接材料の化学成分分析結果

注 単位:mass%, <u>下線付き</u>:化学分析値 (JIS G1211(1995), G1215(1994), G1253(2002)準拠)、その他の値はミルシートからの抜粋
 *:メッキの銅を含む, **: Al ≤ 0.15, Ti ≤ 0.15, Zr ≤ 0.12, その他の合計 ≤ 0.50
 各値は「遠隔操作技術高度化調査」[3]~[6]、過年度報告書[14]~[16]の成果をまとめたものである。

3.3.3 酸化性雰囲気での浸漬試験

(1) 概要

地層処分場が建設される地下深部の本来の環境は酸素濃度が極端に低い低酸素雰囲気 であるが、処分場の建設時、緩衝材や埋め戻し材の間隙に存在する空気によって酸素が 持ち込まれる。炭素鋼の腐食シナリオ(図 3.3.1-1)において、埋設初期の酸素を含む環 境(以下、酸化性雰囲気)では、処分環境で炭素鋼が不働態化しない場合、酸素を酸化 剤とする全面腐食が進行すると考えられる[1]。酸化剤である酸素は容器の腐食や、鉱物 等との反応により徐々に減少していくため酸素による腐食速度は酸化剤の現象に伴い時 間的に変化し、その値を正確に評価することは難しい。HLW 第二次取りまとめでは処分 場に持ち込まれた酸素が全て炭素鋼の腐食で消費されたと仮定し、酸化性雰囲気におけ る平均腐食深 Xm を保守的に算出している。一方、炭素鋼母材に対して実施された浸漬 試験において、全面腐食形態であって腐食深さにバラつきが確認された。そのため酸素 による腐食に対する腐食代は、最大腐食深さで設定する必要がある。実験室規模で実施 可能な試験片寸法は、実規模スケールのオーバーパックと比べてとても小さいため、実 規模スケールのオーバーパックで確認されるであろう、最大腐食深さを極値統計により 推算し、必要な腐食代を求める手法が採られている。試験前後の重量変化から求めた平 均腐食深さに対する、試験片表面の腐食深さから極値統計により推定した最大腐食深さ

により評価される。炭素鋼母材については多くの浸漬試験の結果より、平均腐食深さ[×]m に対する最大腐食深さの推定値^Pは以下の関係が見出されている[24]。

$P = X_m + 7.5 X_m^{0.5}$

式 3.3.3-1

酸化性雰囲気におけるオーバーパックの腐食しろは、軟岩系処分孔竪置きブロック方式 において、緩衝材および埋め戻し材中の酸素量を見積り、炭素鋼の平均腐食深さを1.8mm として式3.3.3-1より求めた最大腐食深さ11.8mmに基づき設定されている。これは均一 な材質(母材)を想定した場合である。溶接部が存在する場合、母材、熱影響部及び溶 接金属の材料性状(金属組織や化学成分等)の違い、また、これに伴う電位差の影響等 で不均一な腐食を受ける可能性がある。そこで、炭素鋼の全面腐食が進む条件での母材、 熱影響部及び溶接金属の腐食挙動を比較し、溶接部の耐食性および腐食挙動におよぼす 溶接方法の影響を調査した。

(2) これまでの成果

平成 24 年度までに、表 3.3.2-4 に化学成分を示した TIG、MAG、EBW の溶接試験体 を用いた浸漬試験を実施した。最長 365 日の試験の結果、溶接材料を使用するアーク溶 接法である TIG と MAG では溶接金属部で不均一な腐食が認められた。酸化性雰囲気に おける溶接部のより長期的な腐食挙動のデータの拡充を目的とし、平成 20 年度から TIG 溶接試験体に対して3年超の長期浸漬試験を開始し[18]、平成 24 年度までに3年6ヶ月間(1276日間)までのデータを取得した[22]。その結果、TIG 溶接試験体では母材、溶接金属付試験片ともに、式 3.3.3-1 で推定される最大腐食深さを上回る結果となった(図3.3.3-1)。



図 3.3.3-1 TIG 材の3年6ヶ月までの平均腐食速度に対する最大腐食深さ

TIG 溶接試験片で最大腐食深さの推定値が大きくなった要因として溶接部の選択腐食が 挙げられる。溶接部の選択腐食は酸化性雰囲気下での浸漬試験において、アーク溶接法 (TIG, MAG)の溶接金属部で発生し、EBW では認められていない。

酸化性雰囲気での不均一腐食の発生要因となるアーク溶接部の選択腐食に対する工学 的対策として、Ni を添加した改良溶接材料を用いた溶接法を提示し溶接試験体を作製し た。そして溶接部の選択腐食を短時間で再現することが出来る電気化学的な加速試験 (80℃、大気吹込み、人工海水、・650mVsce、100h 定電位分極)により、溶接部の品質 改善効果を確認した[19][20]。今後は選択腐食の要因、および品質改善メカニズムの検討 を進め、酸化性雰囲気における腐食代の設定に資する知見の拡充が必要である。

(3) 平成 26 年度の実施内容

材料因子である化学成分と組織が腐食挙動の差におよぼす影響を調査する試験を計画 し実施する。詳細は第4章に示す。 (4) 酸化性雰囲気のまとめ

種々の溶接手法で製作した模擬 OP の溶接部に対して、酸化性雰囲気での腐食挙動を取 得するための浸漬試験を実施した。アーク溶接手法である TIG や MAG では溶接金属部 で生じた選択腐食により、HLW 第2次取りまとめで示された母材の最大腐食深さの推定 値を上回る恐れが指摘された。これに対し、溶接材料の改良による品質改善手法を検討 し、Ni 添加の効果を実験的に確認した。今後は溶接試験体の材料因子に着目した腐食メ カニズムの観点からの評価を実施し、品質改善手法の妥当性を提示することが必要であ る。

- 3.3.4 低酸素雰囲気での浸漬試験
 - (1) 概要

地球化学的な解析によれば、処分場の環境は閉鎖後数十年~数百年程度の時間で深部 地下本来の酸素がほとんどない条件に戻るとされている[1]。このような低酸素雰囲気に おいて、炭素鋼の腐食形態は水の分解による水素発生反応をカソード反応とした全面腐 食型になると考えられている。第2次とりまとめでは、様々な腐食試験の結果から、緩 衝材共存下における水を酸化剤とする炭素鋼の平均腐食速度を10µm y⁻¹と見積もってい る。すなわち、期待される期間閉じ込め性を確保するオーバーパックは、腐食速度を考 慮した十分な「腐食しろ」を設けることで実現出来る。

この設計思想はオーバーパックが均一に腐食することを前提としている。しかしなが ら、実際のオーバーパックには溶接材料の使用により材料組成が異なる溶接部と母材部 が存在しており、また溶接による入熱により溶接金属内でも組織構成が複雑なものにな っている。このような金属材料的に不均一な溶接部を含むオーバーパックの腐食挙動を 理解することは、オーバーパックの寿命評価上で重要である。

(2) これまでの成果

材料組成や組織が異なる溶接部の腐食挙動を評価するため、『遠隔溶接高度化開発』 で製作した TIG、MAG、EBW の3種類の溶接試験体に対して、溶接部付き試験片およ び母材単独試験片の腐食挙動を評価した。平成22年度までに人工海水環境の90日間、 1年間、3年間の3期間、人工淡水環境は1年間の浸漬試験片の評価を終了した。平成 23年度からより長期間のデータ拡充のため、試験計画の見直しを図った。

図 3.3.4-1 に浸漬3年後までの平均腐食速度の経時変化を示す。平均腐食速度は浸漬前後の単位面積あたりの重量減を浸漬期間で除したものである。浸漬3年経過後の腐食速度は溶接方法に因らず、数µm y⁻¹となった。



図 3.3.4-1 還元性雰囲気における平均腐食速度の推移

(3) 平成 26 年度の実施内容

オーバーパックの製作にかかわる検討を、溶接施工から長期健全性評価までの一連の 流れとして捉え、溶接による封入の成立性を示すためには、可能な限り速やかに知見を 揃えることが求められる。平成17年度に開始した浸漬試験が5年を迎える平成23年度 に、5年間の試験期間を延長して10年間の試験とし、新たに5年間の浸漬試験を開始し た。本年度は継続中の浸漬試験を適切に維持管理した。図3.3.4-2、図3.3.4-3、図3.3.4-4 に浸漬試験の今後の工程を示す。

(4) 低酸素雰囲気での浸漬試験のまとめ

本年度は長期浸漬試験の維持・管理を実施した。現在実施中の浸漬試験は、最長10年間の腐食挙動の取得を目的として実施している。しかしながらオーバーパックに期待される閉じ込め期間である1000年間と比較すると、ごく初期の腐食挙動を把握したに過ぎない。今後は長期浸漬試験の適切な維持管理を実施すると共に、溶接試験体の材料因子に着目した腐食メカニズムの観点からの評価も実施することが重要である。

環境	部位	分析	対象	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	期間
砂	-01	全面	継続		\rightarrow						-		10年
0 F	東東	腐食	新規			_					1		5年
80°(vt%	中	水素	継続								-		10年
Χõ	44	分析	新規										5年
生 生		全面	継続								+		10年
173	七	腐食	新規								-		5年
が渡	资	水素	継続								•		10年
1		分析	新規										5年
钧		全面 腐食	継続								-		10年
0 F	ぼしま		新規										5年
80° vt%	封	水素	継続										10年
Жõ	त् <u>य</u> ाः	分析	新規			-							5年
以 + ※		全面	継続								•		10年
- ベル く 当 - ベー マ - ベー - ベ - ベー - ベ - ベー - ベ - ベ - ベ - ベ - ベ - ベ - ベ - ベ	腐食	新規			-							5年	
	沒	水素	継続		\rightarrow						-		10年
1		分析	新規			_							5年

図 3.3.4-2 低酸素雰囲気での長期浸漬試験の実施状況 (TIG)

環境	部位	分析	対象	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	期間
砂		全面	継続								1		10年
υţ	兼独	腐食	新規										5年
80° wt%	封	水素	継続				→						10年
ХŐ	त्त्व.	分析	新規										5年
(無 +		全面	継続								•		10年
<i>∖</i> ,	竹	腐食	新規										5年
「ケ」洛	安定	水素 分析	継続								+		10年
5			新規										5年
砂		全面 腐食	継続		 >						+		10年
υ <i>τ</i>	東		新規										5年
80°(vt%	村	至 本 水素	継続										10年
¥е	र्ष्य,	分析	新規			-							5年
× +		全面	継続								+		10年
イシー 付	ţ	腐食	新規			-							5年
ゴ	が金	(H) 水素	継続		;						+		10年
7		分析	新規										5年

図 3.3.4-3 低酸素雰囲気での長期浸漬試験の実施状況 (MAG)

環境	部位	分析	対象	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	期間
砂	±1	全面	継続		\rightarrow						+		10年
0 t	一直3	腐食	新規										5年
80° vt%	日本	水素	継続		\rightarrow						-		10年
Χő		分析	新規										5年
() () () () () () () () () () () () () (全面	継続								•		10年
14	Ť	腐食	新規			_					1		5年
で、る	谷	水素 分析	継続								•		10年
5			新規								1		5年
砂		全面 腐食	継続										10年
0 t	東		新規								•		5年
80° M%	中本	水素	継続								•		10年
Жő	41	分析	新規								1		5年
※ +		全面	継続								•		10年
トロ トロ ※全社	竹	腐食	新規								1		5年
	没	水素	継続								•		10年
5		分析	新規			_							5年

図 3.3.4-4 低酸素雰囲気での長期浸漬試験の実施状況(EB)

3.3.5 応力腐食割れ

(1) 概要

炭素鋼オーバーパックの腐食シナリオ(図 3.3.1-1)では、期待される寿命達成前に貫 通する腐食要因の一つとして応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking, SCC)を挙げてい る。SCC は材料、応力、腐食(環境)がある特定の条件になった場合に生じるとされて いる。環境因子については、緩衝材間隙水組成の検討で明らかになった溶液種[27]や、オ ーバーパック周囲の温度、炭素鋼のSCC に関する既往の報告から、オーバーパック候補 材料である炭素鋼でSCC が生起する可能性は低いと評価している。一方で、溶接や熱処 理などの熱履歴による金属組織上の変化が、炭酸塩水溶液中でのSCC 感受性に影響を及 ぼすという報告もあることから、溶加材による溶接金属部の組成の影響など、材料因子 についてはまだ検討の余地がある。

(2) これまでの成果

炭素鋼オーバーパックで懸念される SCC については、SCC の生起に着目した感受性評 価試験を主に実施した。試験環境は熱履歴を受けた炭素鋼の SCC に影響をおよぼすとさ れる炭酸塩-重炭酸塩を採用した。この環境における SCC のメカニズムは、大部分は不 動態化しき裂先端部が優先的に溶解してき裂が進行すると考えられていることに留意し、 活性-不動態遷移電位領域を電気化学試験で予め取得して試験電位を設定した。この条 件下でオーバーハック溶接部の SCC 感受性を定電位 SSRT(Slow strain rate test)で評価 した。SCC の別の評価手法としてはき裂の進展評価がある。しかしながらこの手法では 加わる応力の設定や、試験が長長期化、取得した進展速度の実機への反映等に課題が残 る。そのためき裂の生起に係る感受性で評価し実環境で感受性が消失することが示すこ とで、地層処分における SCC による破損について論ずることとした。

平成 17 年度から、SCC が発生する比較的炭酸塩濃度の高い条件 1.5M 炭酸塩溶液中 (1.0M NaHCO₃ + 0.5M Na₂CO₃溶液)での母材と溶接部の SCC 感受性及び割れの形態 の評価を行い、母材 SCC 感受性が溶接部を上回ることを明らかにした。そして炭酸塩濃 度を 0.5M、0.2M と低下させると、母材と溶接部の SCC 感受性も低下し、実際の環境で 想定されている炭酸塩濃度[1]では SCC 感受性が消失することが示唆された。この傾向は TIG、MAG、EBW といった溶接手法には因らず、いずれの溶接手法、母材ともに粒界割 れ型の応力腐食割れ(Inter Granular Stress Corrosion Cracking, IGSCC)であった。

実際の地層処分事業ではオーバーパックは緩衝材中に埋設される。平成 20 年度からは 上記の炭酸塩溶液単独環境での試験に、圧縮ベントナイトを共存させた試験を実施した [18]。1.5M 炭酸塩溶液+緩衝材共存環境での試験の結果、炭素鋼母材、熱影響部、溶接 金属いずれの部位でも SCC が確認されたが、その程度は溶液単独の場合よりも低く、緩 衝材の存在が SCC 感受性を低減させていることが示唆された。しかしながら、0.5M 炭 酸塩濃度が低くなると、逆に溶液単独での試験結果よりも SCC 感受性が高くなる傾向が



図 3.3.5-1 EBW 溶接部の応力腐食割れ感受性におよぼす炭酸塩濃度と、緩衝材の影響

緩衝材共存環境で炭素鋼の SCC 感受性が上昇する現象について、その要因を調査する ため炭酸塩-重炭酸塩以外の溶液種(NaCl, Na2SO4)についても、緩衝材共存環境で同 様の試験を実施した。その結果、どの溶液においても溶液単独では発生しないき裂が、 緩衝材共存環境での試験では確認された。要因としては緩衝材の存在、電気化学的な加 速手法の何れか、または複合的な影響が考えられる。

(3) 平成 26 年度の実施内容

これまでに実施した溶液単独と緩衝材共存環境での試験では、溶液と緩衝材を同一の 媒体として取扱い、試験方法を共通化して試験を実施した。しかしながら緩衝材中は溶 液中は比較単独と比較して物質移動が緩慢である。外部から分極して強制的に電位を保 持した場合、反応主や生成物の移動度に影響をおよぼし、き裂の生起のメカニズムが変 化する可能性がある。

本年度は緩衝材中でSCC 感受性が上昇する要因について、緩衝材中の物質移動や緩衝材の電気化学的挙動について調査する。詳細は第4章に示す。

(4) 応力腐食割れのまとめ

炭素鋼溶接部の SCC 感受性について、炭酸塩-重炭酸塩環境中にて定電位 SSRT により評価した。その結果、溶接手法に因らず母材の割れ感受性が最も高くなった。これは 割れが IGSCC 型であるため、結晶粒が単純な母材で進展し易いことが挙げられる。よっ て溶接封入によって炭素鋼オーバーパックの SCC 感受性が高まる恐れは低いと考えられる。一方、試験の結果、緩衝材共存下で感受性が消失しないことが示唆された。今後は 試験手法の妥当性も含め、地層処分環境での SCC について検討する必要がある。

3.3.6 水素脆化

(1) 概要

3.3.4 に述べた低酸素雰囲気では、炭素鋼の腐食の副反応として水素が発生し、その一部が鋼中に侵入する。炭素鋼に水素が侵入すると脆化割れを引き起こす要因となる。水素脆化による割れに対しては腐食しろの確保では健全性を確保することが出来ないため、 実環境で脆化割れが発生するか否かを評価することは非常に重要である。炭素鋼は脆化 を引き起こす臨界の水素濃度と材料強度の関係が実験的に知られている[26]。また HLW 第2次取りまとめにおいては、腐食によって鋼中に侵入した水素量の分析や評価から、 母材の水素脆化の生起可能性は低いと評価されている[1]。溶接部は母材と比較して硬度 が高く、脆化に対する臨海水素濃度も低く見積もられる。また化学成分や金属組織が異 なるため、水素脆化に寄与する拡散性水素(昇温分析にて室温から250℃付近で放出され る水素)のトラップサイト(格子欠陥、偏析など)の量も異なる。また溶接部位ごとの 脆化感受性についても調査し、溶接封入手法の影響を評価するため、母材と同様に溶接 部の知見を拡充する必要がある。

(2) これまでの成果

溶接部の水素吸収挙動については、3.3.4 と同一条件で低酸素雰囲気下に浸漬した試験 片を、所定の期間経過後に取り出し、昇温脱離分析にて試験片中の温度と放出水素のプ ロファイルを取得した。そして室温から 250℃付近までに放出される水素量を拡散性水素 量として評価した。平成 22 年度までに、人工海水環境の 30 日間、90 日間、1 年間、3 年間の4期間、人工淡水環境は1 年間の浸漬試験片の評価を実施した。図 3.3.6-1 に各試 験片における拡散性水素量の経時変化を示す。母材・溶接金属部ともに、浸漬3 年経過 後の水素濃度は 0.1ppm を下回った。この値は炭素鋼母材や溶接部の強度から見積もられ る臨界水素濃度と比較すると十分に小さい。なお浸漬初期において、TIG 溶接金属部の 水素濃度が高くなる傾向がみられたが、溶接後熱処理(Post Weld Heat Treatment, PWHT) によって、他の溶接法や部位と同等の水素濃度まで低下することが確かめられ ている[20]。

溶接部位ごとの脆化感受性について、硫酸環境中でカソード分極を実施して鋼中に水 素を導入した後 SSRT で引張試験を実施し、破断伸びの減少率で評価した。その結果母 材の破断伸びの減少が最も大きく、溶接封入による感受性の上昇は確認されなかった。

以上の結果より、低酸素雰囲気下で懸念される水素脆化による割れに対して、溶接封 入手法は有意な影響を及ぼさないことが確認された。



図 3.3.6-1 還元性雰囲気における拡散性水素濃度の推移

(3) 平成 26 年度の実施内容

3.3.4 と同様に、平成17年度に開始した浸漬試験が5年を迎える平成23年度に、5 年間の試験期間を延長して10年間の試験とし、新たに5年間の浸漬試験を開始した。本 年度は継続中の浸漬試験を適切に維持管理した。図3.3.4-2、図3.3.4-3、図3.3.4-4 に 浸漬試験の今後の工程を示す。

(4) 低酸素雰囲気での浸漬試験のまとめ

本年度は長期浸漬試験の維持・管理を実施した。現在実施中の浸漬試験は、最長10年 間の水素吸収挙動の取得を目的として実施している。

3.3.7 代替材料 (Ti)

(1) 概要

リファレンスケースのオーバーパックは前述したような強度層と耐食層を炭素鋼で一 体製作する単一オーバーパックである。一方で、強度層と耐食層ごとに求められる機能 ごとに分けた複合オーバーパックがオプションとして検討されており。このうち耐食層 に高耐食性材料であるチタンや銅が候補材料として挙がっている。チタンオーバーパッ クの腐食シナリオについても、炭素鋼オーバーパックと同様に HLW 第2次取りまとめに 示されている[1]。図 3.3.7-1 に、検討項目と合わせて示す。チタンにおいて特に留意す べき腐食形態はすきま腐食と水素脆化であり、これらの現象に対する課題については HLW 第2次取りまとめおよび H17 年取りまとめにおいて網羅的に評価が行われている が、母材に関する検討が主である。溶接部についても以下の事項を評価し、母材との比 較をする必要がある。

すきま腐食生起可能性

すきま腐食発生条件

②水素脆化生起可能性

- ・低酸素濃度環境での腐食速度
- ・低酸素濃度環境での水素吸収挙動
- ・水素脆化生起条件と脆化の可能性
- (脆化する場合) 亀裂進展条件

チタンについてはTRUにおいても閉じ込め性を付与する容器の候補材料として検討されてきた。HLW と TRU でこれまでに整備してきた知見について、閉じ込め性の付与という共通課題に対して情報を共有し整合性を保ちながら調査・研究を進める必要がある。

(2) これまでの成果

溶接部のすきま腐食生起可能性については、平成 19 年度の TRU 廃棄物の処分容器を 対象とした『C-14 の長期閉じこめ技術の高度化』において、溶接部を冷間加工+熱処理 で模擬した試験片を用いて評価した[29]。検討の結果、純 Ti (ASTM Gr.1)、Ti-Pd 合金 (ASTM Gr.17)の加工材について、すきま腐食発生温度-塩化物濃度が TRU の上限環 境に重ならないとしている。HLW で想定している処分環境は TRU のものとは異なるが、 このすきま腐食感受性試験は、80℃の 0.6mol L-1 の塩化物イオンを含む環境で評価して おり、HLW で試験環境としている人工海水に近い環境である。すきま腐食については Pd を添加した対策材が市場に流通していることから、純 Ti と Ti-Pd 系の2種類の材料を 調査対象とした。よってチタン複合オーバーパックのすきま腐食感受性試験は当面実施

せず、浸漬試験による腐食速度測定、および水素吸収挙動の評価から開始した。



図 3.3.7-1 チタンオーバーパックの腐食因果時系列系統図[1]

(3) 平成 26 年度の実施内容

低酸素濃度環境におけるチタンの浸漬試験は、ガラスアンプル封入法にて実施した。 本年度は浸漬試験を適切に維持・管理した。

(4) 代替材料 (チタン) のまとめ

複合オーバーパックの耐食層の候補材料であるチタンについて、純チタン、耐すき間 腐食材である Ti-Pd 系を対象とし、溶接、加工影響等が腐食速度ならびに水素吸収挙動 におよぼす影響を地層処分環境で懸念される水素脆化挙動の検討に資する長期浸漬試験 を継続して実施した。今後取得される浸漬試験の結果より、水素化物の形成メカニズム のモデルの検証等を実施し、代替材料であるチタンの適用性について評価していく。

	試験材						期			
Run No.	材質	① 加工 のみ	② 加工 +	溶液	保持 温度	0.5 年	2.5 年	6年	10年	備考
1	Ti(Gr.1)	0		А	50°C					H21 年度分析
2	Ti(Gr.1)	0		А	50° C					H25年度分析
3	Ti(Gr.1)	0		А	$50^{\circ}\!\mathrm{C}$				0	
4	Ti(Gr.1)	0		А	80°C					H21 年度分析
5	Ti(Gr.1)	0		А	80°C					H22年度分析
6	Ti(Gr.1)	0		А	80°C			\bullet		H25年度分析
7	Ti(Gr.1)	0		А	80°C				0	
8	Ti(Gr.1)	0		А	常温	•				H21 年度分析
9	Ti(Gr.1)	0		А	常温			\bullet		H25年度分析
10	Ti(Gr.1)	0		А	常温				0	
11	Ti(Gr.1)		0	А	50°C					H21 年度分析
12	Ti(Gr.1)		0	А	50° C				0	
13	Ti(Gr.1)	0 	0	Α	80°C					H21年度分析
14	Ti(Gr.1)		0	А	80°C				0	
15	Ti(Gr.1)		0	А	常温					H21年度分析
16	Ti(Gr.1)		0	А	常温				0	
17	Ti(Gr.1)	0		В	80°C					H21年度分析
18	Ti(Gr.1)	0		В	80°C				0	
19	Ti(Gr.1)		0	В	80°C					H21年度分析
20	Ti(Gr.1)		0	В	80°C				0	
21	なし			А	50°C				0	ブランク
22	なし		_	А	80°C				0	ブランク
23	なし			А	常温				0	ブランク

表 3.3.7-1 アンプルの試験条件一覧(加工・熱処理の影響調査)

※●:分析済み ○:浸漬継続中

※溶液組成

- A : $0.0143 \text{ mol } dm^{-3}[Ca(OH)_2] + 0.103 \text{ mol } dm^{-3}[NaOH] + 0.106 \text{ mol } dm^{-3}[KOH]$
- $B : 0.0143 \text{ mol } dm^{-3}[Ca(OH)_2] + 0.103 \text{ mol } dm^{-3}[NaOH] + 0.106 \text{ mol } dm^{-3}[KOH] + 0.6 \text{ mol } dm^{-3}[NaCI]$

3.4 複雑系での腐食試験

3.4.1 概要

前項3.3 で述べた単純系でのオーバーパック溶接部の耐食性評価試験は、溶接試験体か ら採取した小型の試験片を用いて実施され、検討項目は第2次取りまとめ[1]にて示された オーバーパック母材の腐食シナリオを基本としたものである。また、着目した腐食現象を より明瞭とするために試験は主に溶液環境で実施され、緩衝材が共存する場合は緩衝材を 溶液で飽和させた後に試験が行なわれた。これらの試験は想定される地下処分環境と比較 して小型かつ均一・単純な試験系で取得された知見に基づいた評価となっている。以上の 状況に対して本項では、溶接部を含むオーバーパックの品質評価の信頼性の向上のために、 実際のオーバーパックや想定される地下処分環境を考慮した、より実環境に即した複雑系 の試験系によるオーバーパックの腐食健全性に関するデータの取得を行い、長期健全性評 価モデルの構築、モデルを裏付けるデータの拡充、理論的説明の付与に資する。

しかしながら複雑系でのオーバーパックの腐食挙動に係わるデータ取得においては、考 慮すべきパラメータの数が膨大であるばかりではなく、複雑系でのデータ取得のための試 験装置の信頼性についても十分に確認されていない。そのため試験開始に先立ち、試験装 置および計測技術、試験条件を適切に設定するための地上における予備的試験を実施し、 その結果を適切に地下試験計画及び装置設計・製作に反映させることが重要である。

(1) 工学規模試験

複雑系での腐食試験の主軸となる試験である。試験片は数十 cm 以上とし、実処分環境 におけるオーバーパック溶接部の腐食挙動を把握することを目的とする。地下調査施設 を活用し、実際の岩盤に人工バリアシステムを構築し、原位置における腐食挙動評価を 行う。地下調査施設において試験を実施するにあたり、試験系設置の技術的な困難さと 共に、複数の現象が複雑に絡み合い現象理解は容易ではないことが想定される。このた め、地下環境下での実験系に加え、地上において地下試験条件を摸擬し制御した地上施 設での試験を並行して実施する。地上施設での試験は、試験装置構成を地下施設と同一 とし、環境を制御して実施する。この地下と地上の「工学規模試験」を並行して行うこ とにより地下環境の複雑条件と環境制御の可能な地上試験の双方の比較と試験条件の補 完を行う。

試験の実施に際しては取得すべき情報を整理した上で、地下施設で実施する試験の意 義を考慮し優先的に試験の目的として設定する。この際に検討対象から除外した項目に ついては、後述する小規模要素試験にて補完するものとする。地下調査施設での試験に ついては、その試験系設置の技術的な困難が想定される。そこで地下試験開始に先立ち、 地上において組立等の工程を確認し、その結果を適切に地下試験計画及び装置設計・製 作、および環境条件の設定に反映させる。

工学規模試験の試験装置の寸法等については原子力機構の幌延新地層研究計画要求水

準書[33]を基本とし、原環センターの試験の目的に合わせて改良した。なお工学規模試験 のうち、地下施設における溶接部腐食試験は公益財団法人 原子力環境整備促進・資金 管理センターが独立行政法人 日本原子力研究開発機構(JAEA)との共同研究「平成 26 年度 地下施設を利用したオーバーパック・緩衝材の施工品質の確証に関する研究」 にて幌延深地層研究センターの地下 350m の調査坑道で実施した。

(2) 小規模要素試験

地下試験設備と同一規模の試験系で実施する試験とは別に、試験対象、試験目的によ り試験条件を変えた試験を実施する。例えば摸擬オーバーパックの長手方向の寸法を短 くした試料を用いたりした試験系などを多年度に渡りシリーズ化して実施、複雑系での 腐食挙動の現象理解促進に努める。試験条件は「温度」、「水理」、「pH」、「Eh」な どの時間的変遷を考慮して設定する。

(3) 地上ラボ試験

地下調査施設での試験については、使用するセンサー等の計測機器について地層処分 環境を想定した系での実績が無い。そこで平成25年度より地下試験開始に先立ち、予備 試験を実施している。その結果を適切に反映させる。

3.4.2 計測センサー

腐食試験速度や腐食環境のモニタリングのため、表 3.4.2-1 に示すセンサーを試験系に設置した。

センサー名称	計測対象	設置 個数	設置位置	備考
三電極センサー (JAEA)		1	 ・緩衝材ブロック(12 段目)に埋 設 	地下試験のみ
三電極センサー	・オーバーパック試験体の腐食速度	1	 ・模擬オーバーパック中央(緩衝 材ブロック 7 段目付近)に設 置 	
小型三電極センサー (外付け)	・オーバーパック試験体の腐食速度	2	 ・緩衝材ブロック(2 段目、12 段目)に埋設 	
亜鉛照合電極	・オーバーパック試験体の電位	1組	 ・オーバーパックと導通 ・緩衝材ブロック(7 段目)と砂層の境界 	
ACM センサー	 ・緩衝材ブロック内の腐食速度 ・緩衝材ブロック内濡れ検知 	4	 ・緩衝材ブロック(2 段目、7 段 目、11 段目)に埋設 ・緩衝材ブロック(11 段目)と砂 層の境界 	
熱電対	・模擬オーバーパックの温度	3	 ・模擬オーバーパック中央(緩衝 材ブロック 7 段目付近)の三 電極センサー近傍に設置 	
土圧計	・緩衝材ブロックの膨潤圧	1	 ・処分坑道壁面(緩衝材ブロック 7段目付近)に設置 	
含水率センサー	 ・緩衝材ブロック中の含水率 ・緩衝材ブロック中の電気伝導度 ・緩衝材ブロック中の温度 	3	 ・中心方向から順に緩衝材ブロ ック内(6 段目、7 段目、8 段 目)に埋設 	
pH・ORP センサー	・地下水中の pH ・地下水中の酸化-還元電位	2	・注水管	

表 3.4.2-1 工学規模試験で使用したセンサーの一覧

(1) 配置計画

工学規模試験における緩衝材ブロックへの各センサーの配置計画を図 3.4.2-1 に示す。ブ ロック内へのセンサーの固定方法は後述するが、予めブロックに設けたスリットにセンサ ーを設置し、すき間に緩衝材を詰める方法とした。試験系に設置するセンサーが多いため、 ケーブルの取り回しや、センサーの物理的な干渉について予め確認した。図 3.4.2-2 にセン サー配置計画の3次元イメージを示す。緩衝材の膨潤圧を測定するための土圧計は測定の ための反力を確保するため、試験孔壁面に設置した。亜鉛照合電極は緩衝材ブロックの外 側面に這うように設置した。pH・ORP センサーは耐圧性を有していないこと、投げ込み式 で定期的なデータの回収が必要になることを考慮し、注水管内に吊下げる状態となるよに した。


図 3.4.2-1 工学規模試験における緩衝材ブロックへのセンサー配置計画



矢印:坑道奥側

図 3.4.2-2 各センサーの配置 (三次元イメージ)

- (2) センサーの種類
 - 1) 三電極センサー

a.原理[34]

溶液と金属が接触した腐食が進行し得る環境において、金属表面と溶液状態は厳密には均一ではない。よって、腐食は常時変化しながら進行していると見なせる。 図 3.4.2-3 のとおり腐食の状況は、アノードとカソードがバランスしながら発生し、 相対的に一定ではない。一般的に、アノードとカソードはある幅で変動すると考え られる。この変化に着目した腐食速度の導出が 3 極電気化学ノイズ法の基本原理で ある。



図 3.4.2-3 腐食における ΔV と ΔA の 関係

アノードとカソードのバランスが崩れて電極間で電子が移動する際の電位変化Δ Vに対応する電流変化ΔAを求め、腐食速度を算出するための腐食抵抗Rnを求める。

腐食測定装置の概要を図 3.4.2-4 に示す。測定対象の溶液に同材質 3 本の電極を浸 し、電流値と電位値を測定する。測定電位・電流へのノイズ対策として、シールド ケーブルを使用する。電流値と電位値のデータは、データ処理装置で計算のうえ、 腐食速度等の結果を出力する。



図 3.4.2-4 電気化学ノイズ法測定装置の概要

図 3.4.2-5 に測定装置の概要と測定した電位と電流の測定データの一例を示す。この測定 データから腐食状態を示す腐食速度等を算出する。

実際の測定では、ΔVとΔAに相当する測定電位と電流値の標準偏差(En, In)から下式で 腐食抵抗 Rn を求める。

$Rn=\Delta V/\Delta A=En/In$

ここで求めた腐食抵抗(Rn)はアノード極の反応抵抗と拡散抵抗、カソード極の反応抵抗 と拡散抵抗、および溶液抵抗等を含んだ総合的な抵抗として測定される。ただし、ここで 求めている腐食抵抗は、従来から言われている腐食抵抗とは異なる。これは、測定した電 流値に対応するアノード面積が可変値となり、絶対値としての電流密度が求められていな いことによる。但し、求めた測定値は腐食発生によるデータであり、腐食速度に対して相 対的な意味を持つ数値と考えられる。腐食速度 Cr(mm/y)は下式で導出する。

Cr=K×Ic=K×(B/Rn)

K:材料定数, Ic:腐食電流密度, B:腐食係数

材料と溶液で決まる腐食係数 B は、地下試験装置の一部として設置した 3 電極式腐食センサの測定システムの制御・データ取得ソフトウェアに設定された推奨値を使用している。 腐食係数 B の値は、埋設期間終了後に模擬オーバーパック溶接試験体を地中から取出し、 腐食量を実測した結果から照合する必要がある。これにより、全測定期間の腐食速度 Cr の 定量性向上を図ることが可能となる。



図 3.4.2-5 電気化学ノイズ法の原理とデータ

b.機能要求に基づく仕様の検討

3 電極式腐食センサーは、模擬オーバーパックの軸方向長の表面又は近傍に3か所 設置した。模擬オーバーパック中央に設けるセンサーは、センサーの電極表面が模 擬オーバーパックに設けた溶接金属と同様の環境となるよう、センサーを構成する 電極の支持体(センサ本体)を模擬オーバーパックに埋め込む構造とした。このセ ンサーを「埋込型3電極センサー」と呼称する。図 3.4.2-6 に埋込型3電極センサー の外形図を示す。

一方、オーバーパックの軸方向両端近くの表面近傍に設置するセンサーは緩衝材 ブロック内に設置することとした。ブロックに予め設けたスリットにセンサーを設 置後、ブロックとセンサー間のすき間にベントナイトを詰めて空間部の止水性を確 保するが、現地での手作業による充てん作業となるため、周囲の圧密成型したブロ ックの圧縮密度には至らない。この手作業による充てん部出来るだけ小さくするた め、センサー本体の外径を小さくし、センサー設置部の体積を抑制した形状とした。 このセンサーを「小型3電極センサー」と呼称する。図 3.4.2-7 に小型3電極センサ ーの外観を示す。

センサー表面が飽和膨潤したベントナイトに接することから、センサーケーブ ル・電極等からの浸水防止に留意した設計とした。



図 3.4.2-6 埋込型3 電極センサーの外形図



図 3.4.2-7 埋込型3 電極センサーの外形図

c.センサー電極用溶接金属の採取

3電極センサーの電極は、工学規模試験で使用する溶接部付き模擬オーバーパッ クから採取した溶接金属である。溶接部付き模擬オーバーパックの詳細については 3.4.3 に記した。

d.3 電極式センサーの製作、検査

図 3.4.2-8 に製作した3 電極センサー本体の外観写真を示す。

製作した3電極センサーは、以下の要件を満たす必要がある。

- ・センサー電極とコネクタ端子間の導通(計3か所)
- ・センサー電極間の絶縁
- ・センサー電極とセンサーケース(炭素鋼製)間の絶縁

製作したセンサー各々が以上の要件を満たすことを、テスタを使用して確認した。



埋込型3電極センサー

小型3電極センサー

図 3.4.2-8 3 電極センサーの外観写真

e.測定システム

埋込型(1個)・小型(2個)3電極センサーによる電流・電圧、および温度補償 のため熱電対起電力の測定値を取得・記録し、測定値を定期的に演算処理して腐食 速度を導出・記録する機能を持つ測定システムが必要である。長期の連続測定が前 提となることから測定系と記録・演算系を分離し、測定系は連続運用と安定性に実 績のある National Instruments 社の測定器を採用することで、記録・演算を担うノ ート PC の負荷を低減し、長期連続の測定と記録・演算を両立させた。測定系と記録・ 演算系間の通信は実績のある TCP/IP プロトコルを採用した。測定システムに採用し た機器を以下に示す。

測定系:NationalInstruments 社製:A/D コンバータ・TC(ThermoCouple)モジュ ール・ネットワークモジュール 記録・演算系:ノート PC (演算・データ記録専用アプリケーション+OS Windows7)

測定システム構成を示す結線の概念図を図 3.4.2-9 に示す。3 電極センサー・熱電対 との関係を示すため、3 電極センサー・熱電対一式を破線で併記した。



図 3.4.2-9 3 電極センサー・温度計測システム (熱電対・3 電極センサーを破線で併記)

2) 照合電極

a.機能要求に基づく仕様の検討

飽和ベントナイトに接触した模擬オーバーパックの電位測定のため、基準電位を 示す電極として照合電極を試験系に設置する。選定にあたり土中鋼管の電位測定時 等、土中に埋めて使用する実績の豊富な、保湿性のある粘度系鉱物に包含した亜鉛 照合電極を採用した。亜鉛照合電極の外形図および外観写真を図 3.4.2-10、図 3.4.2-11 にそれぞれ示す。



図 3.4.2-10 亜鉛照合電極の外形図



図 3.4.2-11 亜鉛照合電極の外観写真

b.測定システム

模擬オーバーパック溶接試験体の電位測定にあたり、計測時に形成する回路に流 れる電流を最小限に抑制するため、入力インピーダンスの大きい測定器としてエレ クトロメーターを採用した。測定システムに採用した機器を以下に示す。

エレクトロメーター: 北斗電工社製 HE-106A

```
外形仕様:215mm(幅)×100mm(高さ)×290mm(奥行) 4kg
電源仕様:AC100V、8VA、50/60Hz(3ツ又コンセント)
変動湿度:0~40℃(10~90%RH 結露無きこと)
保存湿度:-10~+50℃(0~80%RH 結露無きこと)
入力測定電圧:±10V
入力インピーダンス:1013Ω
出力変換比:ノーマル端子1:1、インバート端子1:-1
出力精度:0.005%F.S.
```

照合電極による測定系構成を図 3.4.2-12 に示す。



図 3.4.2-12 照合電極による測定系構成

3) ACM センサー

a.原理

ACM(Atmospheric Corrosion Monitor)型腐食センサーは、環境因子により電気化 学的に発生する金属の腐食電流を直接計測できるセンサーである。このセンサーは 大気中に曝露すると降雨や結露などによって基板となる Fe と絶縁して設置された導 電性 Ag ペーストの両金属間に薄い水膜が形成されてガルバニック電流が流れる。こ の電流は腐食速度と良い相関関係があるので大気環境の腐食性をモニタリングする ことに用いられている。ベントナイト系においても、Fe と Ag 間にガルバニック電 流が流れれば、腐食環境が成立していることおよびガルバニック電流の大小が腐食 環境の厳しさに対応すると考えられる。



図 3.4.2-13 ACM センサーの構造と原理

b.機能要求に基づく仕様の検討

ACM センサーの測定結果と3 電極センサーの測定結果と比較するため、3 電極センサーとほぼ同じ位置に設置することにした。ACM センサーの外観写真を 図 3.4.2-14 に示す。緩衝材の膨潤による断線等を防ぐため、センサーとの結線部を 加工した。



図 3.4.2-14 ACM センサー外観写真および結線部の加工

4) 熱電対

a.機能要求に基づく仕様検討

腐食速度と温度の相関を確認するため、3 電極式腐食センサーの計測点 3 点の近傍 に1点ずつ測温点を設けた。

小型 3 電極センサー近傍に設置する場合には、緩衝材と砂(土) への埋め込みと なることから、緩衝材、砂(土)の地下水による膨潤の影響で外力(土圧)を受け る可能性がある。そのため、温度センサー本体にある程度の強度を持たせる必要が あるが、緩衝材およびその他貫通部との干渉、または組み立て時のハンドリング性 を考慮すると、外径仕様には制約が発生する。また、地下水による腐食の影響も考 慮に入れる必要がある。以上より「シース型熱電対」を選定した。測温のための導 体は、シースと呼ばれるステンレス製の金属管に保護されており、耐食性と強度を 持った温度センサーである。シース型熱電対の外観写真を図 3.4.2-15 に示す。仕様 を以下に示す。

シース型熱電対

タイプ:T型(シングルエレメント)

外形仕様:シース部 3m×約 φ 3.2mm ((最小曲げ半径 16mm)

ケーブル長 補償導線 2m(3.1mm×4.8mm) + リード線 0.8m スリーブ部:32mm× φ 8mm

材質:シース部 SUS316、スリーブ部 SUS304、補償導線 耐熱ビニール 導体: φ0.3×2本

温度仕様:常用限度 200℃、過熱使用温度 250℃

スリーブ部耐熱温度 80℃MAX



図 3.4.2-15 シース型熱電対の外観写真

一方、埋込型 3 電極センサー近傍に設置する場合、緩衝材と模擬オーバーパック の軸方向の隙間が 5mm 程度であるため、組み立て時の干渉等も考慮すると、温度セ ンサーの外径はできるだけ細くする必要がある。センサーは模擬オーバーパックの 軸方向に沿って設置する必要があるが、シース型ではステンレスとオーバーパック が接触しガルバニック腐食が発生するため、センサー表面を非金属のものを選定す る必要がある。以上を満たす温度センサーとして、「モールド型熱電対」を選定し た。センサー表面は、FEP(テトラフルオロエチレンとヘキサフルオロプロピレンの 共同合体したフッ素樹脂)を使用しており、耐食性、耐薬品性、非粘着性をもった材 質であるため、土中に埋設した際の表面の腐食・劣化を影響が少ない。また、セン サーの仕上がり外径は約 1.65mm×2.8mm であることから、模擬オーバーパックお よび緩衝材は干渉しない。モールド型熱電対の外観写真を図 3.4.2-16 に示す。仕様 を以下に示す。

モールド型熱電対

タイプ:T型(シングルエレメント)
外形仕様:モールド部 4m(約 1.65mm×2.8mm) ケーブル長 リード線 0.4m
材質:先端部 FEPモールド、本体 FEP
導体: φ 0.65×2本
温度仕様:常用限度 200℃、過熱使用温度 250℃



図 3.4.2-16 モールド型熱電対の外観写真

b.計測システム

熱電対による測定系を図 3.4.2-17 に示す。測定箇所から計測システムまで距離が あるため、補償導線で延長した。

補償導線

タイプ:T型 外形仕様:10m(3.1mm×4.8mm) 材質: 耐熱ビニール 導体:φ0.3×2本



図 3.4.2-17 熱電対の測定系

5) 土圧計

土圧計は、緩衝材の膨潤圧を計測するため、試験孔の壁面に接する形で砂層内に設 置した。



図 3.4.2-18 土圧計外観

センサー材質はオールステンレス製であり、腐食に強く海水での計測を目的として いる。測定方式は受圧面とひずみゲージを接着した間に圧力媒体を封止した二重ダイ アフラムを利用し、微小変位を電気信号に変換することで測定を行う。表 3.4.2-2 に 土圧計の仕様を、図 3.4.2-19 に土圧計の寸法を示す。

定格容量	50kPa
非直線性	±2%R0以内
ヒステリシス	±1%R0 以内
定格出力	0.25mV/V(500×10-6 ひずみ)以上
許容温度範囲	-20∼80°C
温度補償範囲	-15∼70°C
零点の温度影響	±0.5%R0/℃以内
出力の温度影響	±0.1%/℃以内
許容印加電圧	10V AC または DC
推奨印加電圧	2~8V AC または DC
入力抵抗	$350\Omega\pm1\%$
出力抵抗	$350\Omega\pm1\%$
	0. 5mm ²
ケーブル	4 心クロロプレン 1m
	外径 8mm 先端むきだし
許容過負荷	120%
質量	約 1k g

表 3.4.2-2 土圧計仕様



図 3.4.2-19 土圧計寸法

6) 含水率センサー

緩衝材ブロックへの水の浸入挙動及び含水率の測定を目的として、含水率センサー を設置した。本研究では緩衝材ブロック中の半径方向の含水率の分布を調べるため、 中心から 65mm、84mm、104mm(緩衝材の内径側から 10mm、29mm、49mm)の 位置にセンサーを設置した。

使用したセンサーは媒質中の上記折り返し平行2線伝送路が配された領域での平 均的な水分量を表している水分量表示情報を生成することで媒質中の水分量測定を 行う。また体積含水率のほかに、温度及び電気伝導度を測定することができる。表 3.4.2-3に含水率センサー仕様を、図 3.4.2-20にセンサー寸法を示す。

		検出方法	折り返し平行伝送路方式
	体積含水率	測定範囲	0~100%
		測定精度	0~50%時±3% F.S
			50~100%時±10% F.S
		アナログ出力	$0\sim 1V$
電気特性		測定範囲	$0\sim$ 7mS/cm
	電気伝導度	測定精度	$\pm 5\%$ F.S
		アナログ出力	$0\sim 1V$
	温度	測定範囲	-10~50°C
		測定精度	$\pm 1^{\circ}$ C
		アナログ出力	$0 \sim 1.2 V$
国田福母泊日	ŧ	動作温度範囲	-40~50°C
向囲 埬現温度		測定温度範囲	0∼50°C
入力電圧			DC+4.5 \sim +15V
ケーブル長			5m35cm
重量			280g(ケーブル含む)

表 3.4.2-3 含水率センサー(WD-3-WET-5EG)仕様



図 3.4.2-20 含水率センサー寸法

7) pH、ORP センサー

地下水の環境を、in situ でモニタリングするためにデータロギング機能付きの pH・ORP センサーを試験体の注水管中、蓋より深さ 450mm の位置に設置した。表 3.4.2-4 に pH・ORP のセンサー仕様、図 3.4.2-22 にセンサー寸法を示す。



図 3.4.2-21 pH、ORP センサーの外観

表 3.4.2-4 pH、ORP センサー仕様

	測定範囲	pH0~pH14
pН	測定誤差	± 0.2
	分解能	± 0.01
	測定範囲	$\pm 1,200 \mathrm{mV}$
ORP	測定誤差	0.1mV
	分解能	0.01mV
運用温度範囲		$-0^{\circ}\mathrm{C}\sim55^{\circ}\mathrm{C}$
最大水深		700ft(210m),300PSI
メモリー		2MB-200,000 records



図 3.4.2-22 pH、ORP センサー寸法

- 8) 電気化学インピーダンス測定用プローブ
- a.機能要求に基づく仕様の検討

電気化学インピーダンス法は in-situ に腐食速度を測定する手法として実績がある。 原子力機構が幌延 URL で実施するセメント支保有り環境でのオーバーパック腐食試 験および人工バリア性能確認試験においても電気化学インピーダンスによる腐食計 測が採用されている[35]。地下環境でのセメント支保による pH の変化が腐食挙動に およぼす影響を調査するため、原環センターが裸孔で実施する試験系にも同一の電 気化学インピーダンス測定用のプローブを設置する計画とした。

b.電極用溶接金属の採取

図 3.4.2-23 に電気化学インピーダンス測定用プローブの模式図を示す。電極素材 は、工学規模試験で使用する溶接部付き模擬オーバーパックの溶接金属、および原 子力機構が実施するオーバーパック腐食試の模擬オーバーパック母材から採取した。



炭素鋼電極(表面積各 0.6cm²)

図 3.4.2-23 電気化学インピーダンス測定用プローブ[35]

c.3 電極式センサーの製作、検査

製作した電気化学インピーダンス測定用プローブは、以下の要件を満たす必要が ある。

- ・センサー電極とコネクタ端子間の導通(計4か所)
- ・センサー電極間の絶縁

製作したセンサー各々が以上の要件を満たすことを、テスタを使用して確認した。

d.計測システム

電気化学インピーダンスは周波数特性分析器(FRA: Frequency Response Analyzer)とポテンショスタットを用いて測定する。FEA で発生させた任意の周波数信号にてポテンショスタットを制御し、周波数に応じた電圧信号を測定プローブに印加し、電流の応答信号を FRA で解析する。測定条件は以下のように設定した。

- ・測定周波数範囲: 1mHz~100kHz
- ・印加電圧振幅: 10mV
- ・測定周波数間隔: 7point/decade
- ・積分回数: 10mHz以上 3回
 - 10mHz 未満 1 回

3.4.3 溶接付き模擬オーバーパック

工学規模試験に使用する模擬オーバーパックは平成25年度に製作した。

(1) 母材の諸元

ASTM A105 (Standard Specification for Carbon Steel Forgings for Piping Applications)を鍛造素材とし、元材直径 150mm から鍛造で直径 110~120mm に加工後、 直径 100mm まで、および開先の付与を機械加工で行った。 鍛造後の母材の化学成分の分 析結果を表 3.4.3-1、機械的特性を

表 3.4.3·2 に示す。鍛造材の分析の結果より、製作した鍛造材は SFVC1 の基準を満たし ていることを確認した。

	С	Si	Mn	Р	S	Cr	Ni
鍛造材	0.184**	0.18*	1.04*	0.016*	0.006***	0.06*	0.09*
素材 Inspection sheet (ASTM A105)	0.19	0.18	1.03	0.015	0.005	0.09	0.06
JIS 規格値 (JIS G3202 SFVC1)	≤ 0.30	≤ 0.35	0.40 ~1.35	≤ 0.030	≤ 0.030	-	-

表 3.4.3-1 鍛造材の母材の化学成分の分析結果

*: スパーク放電発光分光分析法 (JIS-G1211)
 **: 燃焼-赤外吸収法
 (JIS-G1253)

 ***: 燃焼-赤外吸収法
 (JIS-G1215)

表 3.4.3-2 鍛造材の母材の機械的特性の評価結果	表	3.4.3-2	鍛造材の母材の機械的特性の評価結果
-----------------------------	---	---------	-------------------

試験片符号	断面積 mm ²	最大荷重 kN	0.2%耐 力 MPa	引張強さ MPa	伸び %	絞り %
T-1()	153.9	75.7	324	492	33.4	71.9
T-2()	153.9	75.4	335	490	34.1	71.6
JIS 規格値 (JIS G3202 SFVC1)	-	-	≥205	410~560	≥21	≥38

(2) 母材の組織観察

製作した鍛造材について断面ミクロ観察を実施した。図 3.4.3-1 に鍛造材の断面ミクロ 組織観察結果を示す。



図 3.4.3-1 模擬オーバーパック鍛造材の断面ミクロ組織観察結果

(3) TIG 溶接の付与

鍛造により製作した母材に開先を施し、TIG 溶接にて溶接線を付与した。開先形状および溶接条件は予備試験で取得した。表 3.4.3-3 に溶接条件を示す。

表 3.4.3-3 溶接条件および開先形状

溶接条件

- 溶接材料 : TG-S50 φ1.2
- •溶接姿勢 : 下向
- · 冷却方法 : 空冷
- ・溶接電流 : 320A/220A
- ・アーク電圧 : 11.5V
- ・溶接速度 : 7.4 cm/min
- ・ワイヤー速度 : 2.2m/min

開先形状



・開先形状: 5R, d=4 ※0, 180°の長手方向

(4) 溶接部の断面マクロ観察

模擬オーバーパックに付与した溶接部の断面マクロ観察結果を図 3.4.3-2 に示す。



図 3.4.3-2 模擬オーバーパック溶接部の断面マクロ観察結果

(5) 3電極センサー設置用のくぼみの付与

図 3.4.3-3 に模擬オーバーパック本体の外観寸法を示す。試験体底部から 650mm の位置に3 電極センサー設置用のくぼみを設けた。



図 3.4.3-3 模擬オーバーパック本体寸法、および3電極センサー設置用ポケット加工位置

(6) 延長管の設計

本試験で用いる試験孔は試験坑道5の路盤コンクリートを取り除き、岩盤に掘削した ものである。そのため孔壁からの湧水の排水を停止した場合、図 3.4.3-4 路盤のレベル まで冠水する。後述する三次元形状計測の基準点を非腐食環境から長期間保全すること、 今後設置予定の加熱用ヒーターの取り付けやメンテナンス時の作業性等を考慮して、試 験体上部に炭素鋼の管(延長管)を溶接して延長し、排水ポンプが停止しても水没しな い構成とした。延長管の最上部は、G.L.より高い位置となるよう設計し、最上部に基準 点を設けると共に、基準点の腐食損失を防止するためのシール構造を介して蓋をする設 計とした。延長管により最大水位から蓋まで 40mm を確保した。。



図 3.4.3-4 試験体と最大水位の関係

(7) 形状計測時の基準点の加工

試験体と延長管は炭素鋼用溶接材料にて TIG 溶接して接続した。この結果、全長が三次元計測で一度に計測可能な範囲 1,200mm を超えた。そこで、延長管と本体にそれぞ

れ計測基準点を追加し、複数の座標空間をこれらの基準点を介して連結することで、延 長管先端の基準点に対する試験体全体の三次元形状を得ることとした。試験体底部から 650mm の位置に三電極センサー用のくぼみを設けた。三次元計測用の基準点は、本体 に2か所、延長管に1か所設けた本体の底部から50mm、950mm位置に周方向にφ2mm の基準点を4点ずつ設けた。また、延長管部分の蓋とのシール面とその近傍の側面にも φ2mmの基準点を8点設けた。

(8) 塗装

実際に腐食試験に供す部分以外の耐食・絶縁を目的として、延長管および延長管と本体の溶接部ならびにその熱影響部を塗料(日本ペイント製:エポタール BO エコ)で被 覆した。



図 3.4.3-5 塗装後の試験体外観

(9) 3次元計測による初期形状の測定

計測精度の検討

試験前の形状計測は、溶接による変形量の把握、および腐食量や均一/不均一腐食 を評価するための基準となる初期形状の取得を目的として実施した。「3.3 単純系 での腐食試験」において低酸素雰囲気での腐食速度は初期では数+μm、数年後には +μm以下となる結果が得られており、数年程度の実施期間を想定している工学規模 試験では数μm 程度の高さ方向の分解能が必要と考えられる。

単純系での腐食試験では非接触式のレーザー変位計を使用し数百µm ピッチの分 解能で試験片全面の計測を実施した。工学規模試験の模擬オーバーパックは直径が 100mm、長さが1mを超えるため、データ点数および測定に要する時間として、試 験の目的に合わせて適切に選択する必要がある。試験片を大型化する最も大きな理由 は、実験室規模の均一な試験系では再現出来ない腐食の均一/不均一性や、緩衝材ブ ロック同士のすき間の影響等、より実規模に近い環境で起こると想定される現象を取 得することである。以上の点に留意し、計測装置の選定および計測間隔を設定した。

2) 3次元形状計測方法の選定

腐食試験による減肉量、および腐食の局在化を評価するため、試験前の模擬オーバ ーパック試験体の形状を3次元計測した。表 3.4.3-4は3次元計測手法の例であるが、 本検討では測定精度(予想される減肉量に対する測定分解能)の観点、大型円筒形状 の試験体を非破壊で計測する必要性から CMM (Coordinated Measuring Machine・ 三次元測定機)を選定した。測定点同士の間隔は約数十 mm とし、試験体全長約 1,200mm 全域の減肉量の分布を評価可能となるよう、測定点を検討した。

CMM は、測定対象に接触してその座標を取得する球プローブ部分と、互いに直交 して移動できる3本のガイド(X・Y・Z軸)、それぞれのガイドで移動量を測定す るスケールなどから構成され、球プローブの中心点のXYZ座標を取得できる。取得 した点群からは平面や円筒などの幾何要素を作成(最小二乗フィッティングにて算出) でき、測定対象の平面度や真円度など様々な評価が可能である。

表 3.4.3-4 精密形状計測手法の比較

手法	CMM計測	レーザトラッカ計測	多関節アーム型CMM計測	レーザー顕微鏡
概要	 ・接触式のプローブにより被計測物の3次元形状を測定。 ・CMMはCordinate Measurement Machineの略。 	・リフレクタ(鋼球)を接触させ、リフレクタ中心 の三次元座標値を取得する。	・多関節アームの先端に取り付けたタッチプ ローブもしくはラインスキャナにより被計測物の 3次元形状を計測。	・レーザーにより表面の観察および凹凸を計 測。
計測方式	接触式	レーザー	ラインレーザーもしくは接触式プローブ	レーザー
推定精度	約 5 µ m	約 50μm	約200 µm	1nm(但し3次元座標の取得は不可)
<i>א</i> פויא	 ・全面腐食で生じる減肉の前後の形状を、最も高い計測精度で3次元形状として計測可能。 ・恒温・恒湿室での計測により、外部因子による計測誤差が最も小さい。 ⇒ OP溶接試験体の全面(均一)腐食で予想される5µm/年の形状変化を、¢100mm×L1200mmの大きな3次元形状全体で把握する目的では唯一の選択肢となる。 	・数十mの範囲で3次元形状の計測が可能。 ・CMMと比較して多くの計測点を短時間で計測 可能。 ・場所に依存せず計測可能。	 ・多関節アームの届く範囲で、3次元形状の計測が可能。 ・レーザートラッカ計測と比較して、計測の陰になる範囲が狭い。 ・ラインレーザーを使用する場合、CMM、レーザートラッカと比較して微小な凹凸の計測が可能。 ・場所を選ばず計測可能。 	 ・表面性状の観察に適する。 (表示分解能:高さ1nm、幅1nm) ・対物レンズ20倍相当で約0.7mm×0.5mmの 視野を撮影可能 ・電動ステージオプションで複数視野画像を連結可能(最大4cm×4cm程度の視野。但し連続撮影枚数による制限あり) ・被測定物最大高さ80mm
デメリット	・恒温・恒湿室が必要 ・計測時間が計測点数に依存し、詳細計測仕 様により点数が増加すると多大な時間を要す る	 ・レーザー発振器と被対象物との間に障害物があると計測不可。被計測物の陰の部位も同様。 ・微小な凹凸は計測不可。 ・本体の置き換えが必要(1か所からでは形状全体を測定できない) 	・CMM、レーザートラッカと比較して計測精度 が劣る。 ・ラインレーザーを使用した場合、表面状態の 光沢などにより計測できない可能性がある (OP溶接試験体のように光沢のある表面は 不適)。	 ・測定範囲が狭い(測定ステージ150mm× 150mm)。 ・OP試験体表面から観察部分の切り出しが必要(高さ7mm×幅50mmくらいが形状の上限・斜面観察の角度に制限あり) 50mm
装置概観			())	

3) 計測、評価方法

延長管を接続したため試験体の全長が、計測装置の一度測定可能な被測定形状を超 えた。そのため数回に分けて計測し、複数の点群として座標系をつなぎ合わせて評価 する方法を採用した。その際、表と裏(90° 側と 270° 側)の座標合わせや、試験 前後での座標合わせは試験体本体に設けた基準点($\phi 2 \cdot$ 深さ 3mm の穴)を使用す る。

また、評価時の座標系は次の順序で作成した。

(1)Z 軸:本体部分の円筒の軸方向

(2)原点:延長管端面の平面とZ軸の交点

(3)Y軸:0°方位

(4)X 軸:270°方位

座標合わせ用のため、図 3.4.3・6 と図 3.4.3・7 示すように 3 種の基準点 A・B・C を 設けた。基準点 A は腐食環境下には曝されず腐食試験前後で座標合わせを行うこと を目的とする(基準点 A は、後述の基準点 B,C,B',C'と座標合わせを行なうことで、 試験体全体の測定点の基準点として活用が可能となる)。基準点 B および C は腐食 環境下に曝されるが、試験体の 90° 側と 270° 側のデータをつなぎ合わせる目的で 使用するため腐食により使用不可となっても問題ない(使用できたとしても形状が腐 食前後で異なるため、腐食試験後は基準点 B'および C'を新たに設けて対応する)。



図 3.4.3-6 座標合わせ用基準点の設置位置(断面図・90°と270°方向明示)



図 3.4.3-7 座標合わせ用基準点の設置位置

CMM の計測結果の点群を活用した評価方法として、溶接時に試験体全長に約 1mm の反りが発生したことも考慮し、以下 3 手法を候補とした。

・試験体基準の座標系における絶対座標の移動量(測定点から測定点の移動量)

腐食試験による減肉が偏りを持つ場合などでも評価できるメリットがある一方、試験体の保持姿勢により自重で変形してしまう誤差や、座標合わせの際に発生可能性の ある(CMMの機械誤差と比較して大きな)誤差が直接測定結果に影響を与える可能 性がある。この誤差の補正方法が課題となる。

・計測結果全体と、1本の長い設計円筒*(約1,200mm)との形状の差異

試験体が反っているために設計円筒との差異が大きく、適切なカラーコンターが得られないために腐食量の可視化が困難と考えられる。

・計測結果の一部分と、複数の短い設計円筒(歪みの無い理想的な形状の円筒)(数 + mm)との形状の差異

測定結果を軸方向に垂直な断面で複数円筒に分割することで、反りの影響を低減

した状態で設計円筒と腐食前後の測定点群を比較することが可能である。全面腐食に 伴う減肉量を他の方法よりも誤差の小さい値として評価と考えられるため、この手法 を採用した。評価結果は、図 3.4.3-8 に示すようなカラーコンターを作成し、腐食量 を可視化する予定である。



図 3.4.3-8 カラーコンターによる腐食量の可視化(イメージ)

4) 計測条件の設定

前述した計測精度に留意して計測方法を設定した。計測には接触式の3次元測定機 (CMM: Coordinate Measuring Machine)を使用した。CMM は Leitz 社製の PM12106 で、外表面測定時には直径 5mm、模擬オーバーパックに設けた基準点測 定時には直径 1mm の球プローブを使用した(図 3.4.3・9)。計測精度は空間精度と して 2µm 程度、計測は周方向に 10° ピッチで 36 点、長手方向には 20mm ピッチで 61 点実施し、合計約 2,200 点取得した。計測時の温度による影響を除外するため、 20±3℃に保たれた恒温室内で計測した。なお(5) で模擬オーバーパック側面に設け た 3 電極センサー用ポケット部分は計測対象から除外した。



図 3.4.3-9 直径 5mm プローブ(左)、および直径 1mm プローブ(右)

5) 3次元計測による初期形状の取得

定盤上に固定した溶接部付き模擬オーバーパックの表面形状を CMM を用いて計 測した(図 3.4.3-10)。測定結果と設計形状を比較し、初期形状を確認した。取得 した3次元点群にベストフィットした直径 100mm の円筒との比較結果を図 3.4.3-11図 3.4.3-22 に示す。図中では円筒からの差分を 100 倍に拡大、また円筒に 対して外側への変形を青、内側への変形を赤で表示した。

計測の結果、工学規模試験に供す2本の模擬オーバーパックは両者ともに溶接による最大1mm程度の反りが確認された。反りは装置の組立や設置時に問題とならない範囲に収まっていることを確認した。



図 3.4.3-10 CMM 測定動作イメージ

測定対象 OP 溶接試験体	比較方法	目的	参照図	評価
地下試験用	試験体全長 分の測定点 群と設計形 状*の差異	試験前初期 形状(溶接 線付与によ る反りの程 度等)の確 認	 図 3.4.3-11 (センサー取付側 から見た、測定点群の<u>全体</u>形 状と設計形状の差異量(変形 量)のベクトル図) 図 3.4.3-12 (上図の 180°反 転(裏側)) 	設計形状に対して 反 り で 最 大 約 1mm の変形(0° 方向に凸)
地上試験用			 図 3.4.3-13 (センサー取付側 から見た、測定点群の<u>全体</u>形 状と設計形状の差異量(変形 量)のベクトル図) 図 3.4.3-14 (上図の 180°反 転(裏側)) 	設計形状に対して 反りで最大約 1mm の変形 (180°方向に 凸)
地下試験用	分割した測 定点群と設 計 形 状 * の 差異	試験前初期 形状と設計 形状*の比 較(溶接部 初期形状の 把握等)	 図 3.4.3-15 (センサー取付側 から見た、測定点群の<u>分割</u>形 状と設計形状の差異量のベ クトル図) 図 3.4.3-16 (上図の 180°反 転(裏側)) 	溶 接 部 に 約 0.5mm の凸形状 を確認
地上試験用			 図 3.4.3-17 (センサー取付側 から見た、測定点群の<u>分割</u>形 状と設計形状の差異量のベ クトル図) 図 3.4.3-18 (上図の 180°反 転(裏側)) 	溶 接 部 に 約 0.5mm の凸形状 を確認
地下試験用	分割した測 定点群と設 計形状*の 差異 (溶接部を 除く)	母材の試験 前初期形状 と設計形状 *の比較	 図 3.4.3-19 (センサー取付側 から見た、溶接部を除く測定 点群の分割形状と設計形状 の差異量のベクトル図) 図 3.4.3-20 (上図の 180°反 転(裏側)) 	設計形状との差異 が - 0.028mm か ら + 0.047mm の 間に分布
地上試験用			 図 3.4.3-21 (センサー取付側 から見た、<u>溶接部を除く</u>測定 点群の<u>分割</u>形状と設計形状 の差異量のベクトル図) 図 3.4.3-22 (上図の 180°反 転(裏側)) 	設計形状との差異 が - 0.030mm か ら + 0.033mm の 間に分布

表 3.4.3-5 の三次元計測点群を使用した形状評価方法の比較

*:歪みの無い理想的な形状の円筒



図 3.4.3-11 地下試験用試験体の初期形状(センサー側)



図 3.4.3-12 地下試験用試験体の初期形状(センサー部の裏側)



図 3.4.3-13 地上試験用試験体の初期形状(センサー側)



図 3.4.3-14 地上試験用試験体の初期形状(センサー部の裏側)



図 3.4.3-15 地下試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー側)



図 3.4.3-16 地下試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー部の裏側)



図 3.4.3-17 地上試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー側)



図 3.4.3-18 地上試験用試験体の初期形状・反りなし(センサー部の裏側)


図 3.4.3-19 地下試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー側)



図 3.4.3-20 地下試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー部の裏側)



図 3.4.3-21 地上試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー側)



図 3.4.3-22 地上試験用試験体の初期形状、反り・溶接部なし(センサー部の裏側)

3.4.4 緩衝材ブロック

工学規模試験の緩衝材はブロック方式とした。基本的な仕様は HLW 第2次取りまとめ に示されたものとした。

(1) 材料および混合比率

ベントナイト: クニミネ工業製クニゲル V1

ケイ砂:日陶連原料(株)3号ケイ砂、5号ケイ砂の混合 1:1

ベントナイト:ケイ砂混合比 = 7:3

(2) 寸法

緩衝材ブロックの寸法は、原子力機構の幌延新地層研究計画要求水準書を参考に決定 した[33]。

・ドーナツ型ブロック(オーバーパック挿入部)

外径 30cm, 内径 11cm、厚さ 10cm

・円盤型ブロック(最下段ブロック)

直径 30cm、厚さ 10cm

(3) 乾燥密度

緩衝材ブロックの製作時乾燥密度は、HLW 第 2 次取りまとめで緩衝材の仕様の一例 として提示されている膨潤後の緩衝材乾燥密度 1.6Mg/m3 を参考に、製作時の緩衝材 乾燥密度についても同様に 1.6Mg/m3 と設定した。

なお、経済産業省の委託により実施されている「管理型処分技術等事業(地下空洞型処 分施工性能確証試験)」では、緩衝材施工時における施工管理目標(ベントナイト乾燥 密度)を1.6±0.1 Mg m⁻³と設定している。これを参考に今回の緩衝材ブロックの施工 管理目標値についても1.6±0.1 Mg/m3とし、その乾燥密度を担保できるように緩衝材 ブロックの製作管理を実施した。

(4) 含水率

HLW 第 2 次とりまとめに記載されているベントナイトの締固め試験の結果を図 3.4.4-1 に示す。ケイ砂混合率 30Wt%の場合、静的圧力 20MPa と静的圧力 50MPa の いずれの場合でも含水比 10%程度で締固め性がよいことから、作業性等考慮し含水比を 10.5%とした。



図 3.4.4-1 静的締固め試験結果[1]

(5) 緩衝材ブロックの製作

緩衝材ブロックの製作は、主に製作材料の混合とプレス機による圧縮成型の2工程で 実施した。

1) 製作材料の混合

原料であるクニゲル V1 とケイ砂について、それぞれの含水比を測定し、所定の含 水比を満たすようクニゲル V1 と水の投入量を設定した。材料をムラなく均一に混合 するため、クニゲル V1 及びケイ砂をアイリッヒミキサーに投入し、空練りを行った 後に加水し混練した。また、ミキサー側面のサンプリング窓からサンプルを採取し、 赤外線水分計を用いて含水比を測定し、含水比が所定値±2%の範囲になっているこ とを確認した。混合終了後、ベルトコンベアー等で混合済材料を輸送し、フレコンバ ック等に材料を詰めて保管した。この際、以下の2点に注意し作業を実施した。

- 保管時に含水比が変化しないよう、フレコンバック内側にビニール製の袋な どを設けることによって外部の空気に触れることを避けること。また風雨等を 避けるために倉庫等での保管もしくはカバー等で覆って保管すること。
- ・ 緩衝材ブロック製作時の作業及び重量管理を効率的に行うため、緩衝材ブロック1個あたりの重量毎にフレコンバックに材料を詰めること。

図 3.4.4・2 に配合・含水比調整が完了した緩衝材の保管の様子を示す。



図 3.4.4-2 配合した緩衝材の一時保管状況

2) プレス機による圧縮成型

配合・調整した緩衝材ブロック原料を、金型を用いて圧縮成型した。 図 3.4.4-3 の金型部品を図 3.4.4-4 ように組み立てた。



図 3.4.4-3 組立前の金型



図 3.4.4-4 金型の組立て

計量した緩衝材原料を金型へ投入し表面を均一に均した後、プレス機にて圧縮成型 した。圧縮完了後、シリンダーを上昇させ金型を取り外した。取り外しの際の衝撃に より緩衝材ブロックが欠けてしまう可能性があるため、作業は慎重に実施した。図 3.4.4-6 に金型取り外し時の様子を示す。



図 3.4.4-5 プレス作業



図 3.4.4-6 金型取り外し作業

金型を取り外した緩衝材ブロック上面にはバリが生じているため、ヘラ等でこす り取った。図 3.4.4-7、図 3.4.4-8 にバリの除去作業時の様子を示す。

寸法・重量等の出来形を確認した後、乾燥によるひび割れを防ぐために食品用ラ ップフィルムで梱包し、気泡緩衝材で養生した。



図 3.4.4-7 バリの除去作業



図 3.4.4-8 バリの除去作業後

(6) センサー設置用スリットの加工

図 3.4.2-1 に示したセンサーの配置計画に基づき、製作した緩衝材ブロックにセンサー設置用のスリットを設けた。表 3.4.4-1~表 3.4.4-6 に各段ごとのセンサーの種類、スリット加工図、および加工後の緩衝材ブロックの外観写真を示す。



図 3.4.4-9 工学規模試験(オーバーパック溶接部腐食試験装置)



表 3.4.4-1 センサー設置位置(2 段目)



表 3.4.4-2 センサー設置位置(6 段目)



表 3.4.4-3 センサー設置位置(7 段目)



表 3.4.4-4 センサー設置位置(8 段目)



表 3.4.4-5 センサー設置位置(11 段目)



表 3.4.4-6 センサー設置位置(12 段目)

(7) センサー設置部分の隙間処理方法

昨年度、緩衝材ブロックのスリットヘセンサーを設置する際の隙間の処理方法について検討した。図 3.4.4-10~図 3.4.4-12 に示すように、3 種類の異なる方法で設置し比較した。

- 1) 緩衝材ブロックを充てんせず水路を残したものと、
- 2) 水路を塞ぐため、センサースリットの入り口付近を緩衝材ブロックで充てん
- 3) スリット全体を緩衝材ブロックで充てん

その結果、図 3.4.4-13 に示すように、緩衝材ブロックを充てんしたスリット部では、 10 日以降、体積含水率は、約 25%でほぼ一定となったので、今年度は、緩衝材ブロッ クスリットをの粉末ベントナイトでを塞ぐこととした。



図 3.4.4-10 すき間充てんなしの場合



図 3.4.4-11 入口部分のみ塞いた場合



図 3.4.4-12 スリット全体を充てんした場合



図 3.4.4-13 体積含水率の経時変化(平成 25 年度報告書再掲)

1) 充てん材料

また今年度は設置する際に様に作業時に発生するケーブルの動揺によってスリット部 に充填したベントナイトがが流出するのを防ぐため、加水した珪砂とベントナイトの混 合土(緩衝材ブロックの材料と同一)を使用してケーブルを固定した。充てんに使用し た埋戻し材の仕様を表 3.4.4-7 示す。加水した埋戻し材によるケーブルの固定作業の様 子を図 3.4.4-14 に、センサー埋戻し後の緩衝材ブロックを図 3.4.4-15 示す。

無加水	配合	クニゲル V1	[wt%]	70
		日陶連 珪砂3号	[wt%]	15
		日陶連 珪砂5号	[wt%]	15
	含水比		[%]	11.2
加水	配合	クニゲル V1	[wt%]	70
		日陶連 珪砂3号	[wt%]	15
		日陶連 珪砂5号	[wt%]	15
	含水比		[%]	55.7

表 3.4.4-7 センサー埋戻し用緩衝材仕様



図 3.4.4-14 加水緩衝材によるセンサー埋戻し作業



図 3.4.4-15 センサー埋戻し後の緩衝材ブロック

2) 品質管理方法

緩衝材スリット部の空間の体積、および設置するセンサーの体積は既知である。スリットに充てんされた緩衝材の乾燥密度を取得するため、以下の方法にて充てん量を記録した。

- ① チャック付袋に配合した緩衝材を入れ秤量する。
- ② 所定の含水比となるよう、計量した水をチャック付袋に注ぐ。
- ③ 袋内でよく混ぜ合わせる。
- ④ 袋ごと重量を測定する。
- ⑤ 袋から練った緩衝材を取り出し、すき間に充てんする。
- ⑥ 余分な緩衝材はスクレーバーで削り取り、袋に戻す。
- ⑦ 再び袋ごと重量を測定する
- ⑧ ④と⑦の差分をとり、充てんされた緩衝材重量とする。

3.5 工学規模試験(地下施設での実施)

3.5.1 試験装置構築手法の検討

幌延地下設備への設置に先立ち、組立時の手順の確認及び、センサーの確認を行うため、 地上での組立を行った。幌延地下設備のハンドリングフロー(図 3.5.4・1~図 3.5.4・5 後 述)を元にチェックリストを作成し、確認を行いながら組み立てた。組立の状況を、図 3.5.1・1~図 3.5.1・6 に示す。チェック結果を、表 3.5.1・1、表 3.5.1・2 に示す。員数・外観、 緩衝材スリットとセンサーの取り合い、導通確認、上蓋のケーブル貫通孔の取り合い、模 擬 OP への蓋の挿入には問題は認められなかった。また、模擬 OP と蓋の絶縁抵抗はテス タでは 0.2M Ω 以上あったが、250V 以上では、0.001M Ω となった。これは、模擬 OP の 底が、水分を含む緩衝材を介して、底板と導通しているためであったので、底板にも絶縁 塗料を塗布した(図 3.5.1・7 参照)。 pH・ORP 計は、注水管内に挿入できることを確 認した。



図 3.5.1-1 緩衝材ブロックの積み上げと含水率センサーの設置



図 3.5.1-2 積み上げた緩衝材ブロックの養生



図 3.5.1-3 模擬 OP の吊り上げ



図 3.5.1-4 模擬 OP の緩衝材への挿入



図 3.5.1-5 蓋の設置



図 3.5.1-6 試験装置の全景

表 3.5.1-1 チェック結果(事前組立) (その1)

幌延分腐食装置大洗	での組立チェッ	クリスト	(その1)
-----------	---------	------	-------

作業	個数	外観	
員数・外観の確認			
台座	1 式		
試験容器蓋	1 式	合	
注水装置	1 式	合	
	1 式	合否	
緩衝材13個	13 個		
オーバーパック	1 式		
三電極センサー(JAEA)1式	1 式		
三電極センサー1式	1 式	合	
小型三電極センサー2式	2 式		
亜鉛照合電極1式	1 式		
ACMセンサー1式(センサー4枚)	4 枚		
熱電対3本	3 式		
土圧計1式	1 式		
含水率センサー1式(センサー3本)	3 本		
データロガー付pH・ORP計2式	2 式		
作業	判定	備考	
台座の設置			
緩衝材ブロックの定置			
緩衝材スリットとセンサーの取り合い確認			
小型三電極センサー No.2			
熱電対 No.2			
ACMセンサーNo.2			
含水率センサー No.6			
含水率センサー No.7			
ACMセンサー No.7			
含水率センサー No.8			
ACMセンサー No.11			
三電極センサー(JAEA) No.12			
小型三電極センサー No.12			
	合长		

表 3.5.1-2 チェック結果(事前組立) (その 2)

幌延分腐食装置大洗での組立チェックリスト(その2)

作業	判定	Τ	備考	
導通確認				
模擬OP設置三電極センサー	合入	\leq		
	合入	₹		
	合		※補償導線込の抵抗値が10オー ム程度	
ACMセンサーNo.2	合		専用データロガーーにて出力確 恩	
含水率センサー No.6	合入		データロガーーにて出力確認	
	合	5	データロガーーにて出力確認	
ACMセンサー No.7	合		専用データロガーーにて出力確 忍	
	合	5	データロガーーにて出力確認	
ACMセンサー No.11	合		専用データロガーーにて出力確 忍	
三電極センサー(JAEA) No.12	合社	否言	計測器無く確認できず	
	合入	\leq		
	合		※補償導線込の抵抗値が10オー ム程度	
	合		ェレクトロメータに接続し、電 立が出ることを確認	
ACMセンサー	合		専用データロガーーにて出力確 恩	
土圧計		≪	動ひずみ計にて出力確認	
底板に吊り棒取り付け				
上蓋の取り付け (ケーブルの取り合い確認)		,		
三電極センサー(JAEA)	<u></u>	s,		
小型三電極センサー	合 <u>入</u>	s,		
小型三電極センサー	合入	s,		
亜鉛照合電極	合>	ĸ		
ACMセンサー	合>	*		
ACMセンサー		\leq		
ACMセンサー		\leq		
ACMセンサー	合>	≤		
	合>	*		
	合	≤		
土圧計	合	≤<		
含水率センサー	合入	≤		
含水率センサー	合	≪		
含水率センサー	合	\leq		
模擬OPに三電極センサーと熱電対の取り付け		≪		
模擬OPに三電極センサーと熱電対の取り外し				
模擬OPの挿入	合	× ł	挿入前に全高・反り具合 (定盤上)、外径を測定	
	合 、	₹		
上蓋シール (Oリング) 取付		₹		
模擬OPと上蓋の絶縁抵抗測定	合).2MΩ以上@テスタ メガ@250Vでは、0.001MΩ	
注水管へのpH計の挿入確認	合 >>	≪		
注水管へのEh計の挿入確認	a	≮		
装置の吊り上げ	合入	∢∖		
		7		



塗料塗布なし



塗料塗布

図 3.5.1-7 絶縁塗料を塗布した底板(右)

3.5.2 地下試験設備の構築、試験の開始

地下試験設備の構築、試験の開始に際しては、以下の項目を考慮した。

- ・ 昨年度までの検討を考慮して、地下試験設備構築のための施工計画を作成した。
- ・ 安全管理に基づき、必要な書類を作成するとともに、安全対策を徹底した。
- ・ 地下試験設備は適切に試験データが取得出来る様に構築した。
- ・ 幌延 URL の試験孔への試験体システムの設置に際しては、湧水対策を適切に実施し ます。また水没しないような対策も含めた。
- ・ 地下試験設備の構築は、試験体システムの設置の他に、腐食試験が確実に実施出来る ような試験設備全体の調整も含めた。

試験孔に試験体システムを設置後、試験を開始した。試験孔壁面からの湧水量が変化して地下水量が不足する場合に、注水システムにより試験体システムが乾燥しないようにした。

3.5.3 地下水対策

地下水が試験孔1の枡上部まで上昇してくる懸念があるため、以下の対策を実施した。

- ▶ 枡下部の排水ポンプによる排水
- ▶ 摸擬オーバーパック基準部分の延長

これにより、地下水面が枡下部を超えて上昇した場合には、排水ポンプにより地下水を排水する。地下水面上昇時に万が一、停電や排水ポンプの故障により排水機能が損なわれた場合でも、摸擬オーバーパックの上部の基準面は地下水に没することのない高さを維持している。試験体への実施については図 3.5.3・1 に示す。写真の中央が模擬オーバーパック、右上が排水ポンプの吸水口である。なお、側壁と底板(無収縮モルタル)の間から滲む水を早めに吸うためにスポンジを置いている。



図 3.5.3-1 試験孔1における地下水対策

3.5.4 幌延試験坑道5における設置状況

地下試験設備の構築は事前組立と同様の手順で行った。坑道内設置のハンドリングフロー 図を図 3.5.4-1~図 3.5.4-5 示す。



図 3.5.4-1 坑道内施工ハンドリングフロー(1/5)







④ 総版仮置き(50kg)、水平確認(試験孔1近份で組立)

() iki 1%nni



受入検査 (員取、外観)









(5) 読着状円修ブロック1段目(14kg)定置 読者材円筒ブロック2段目(13kg)定置

(6) 2股目センサー設置 (ACMセンサー、小型三零幅センサー、熱電対)

(7)センサーと溝の陳鬱充垣(ペントナイト混合材料)

(8) 総善材用筒ブロック3~6歳目定置(13kg)

④ 6歳目センリー設置(含水率センリー)



(①) センリーと清の陰固充地 (ベントナイト混合材料)



(1) 親畜村円筒ブロック7段目定置(13kg) 1~7段目をリランラッブ巻き養生する

(2) 7歳日センサー該置(ACMセンサー、食水本センサー) (3) センサーと其の陰重充績(ベントナイト混合材料)



図 3.5.4-2 坑道内施工ハンドリングフロー(2/5)











(1) 総筆材円筒ブロック8段目定置(13kg)

(2) 88日センリー設置(含水率センリー)

③ センサーと満の防衛党績(ペントナイト混合材料)

④ 繊維利用筒ブロックター11段目定置(13kg)

(5)11歳目センター設置(ACMセンター)











(6)センサーと満の陸間充壌(ベントナイト混合材料)

(7) 継貨材内価ブロック12食日2番(13kg)

(高)128日センリー設置
 (三電幅センサー、小型三電幅センサー、脳電片)
 (④)センリーと溝の開屋充痕(ペントナイト連合材料)

① 単基材用能ブロック13食目定置(13kg)





(4) BBHL/ABA888 (5) ABA8

図 3.5.4-3 坑道内施工ハンドリングフロー(3/5)



図 3.5.4-4 坑道内施工ハンドリングフロー(4/5)



図 3.5.4-5 坑道内施工ハンドリングフロー(5/5)

緩衝材ブロックへのセンサーの設置の際は、ブロックの事前に切欠いた部位にセンサーを 配置し、前述した方法で緩衝材と同配合のベントナイトにより隙間を充てんした。各セン サー設置ブロックに使用した緩衝材の埋戻し量を表 3.5.4-1 示す。

	センサー名称	センサー溝				埋戻し量	
段数		長さ	深さ	幅	体積	無加水	加水
		[mm]	[mm]	[mm]	[cm³]	[g]	[g]
2	ACM	147	38	16	89.38		133
	小型三電極センサー、	0.5	05	0.4	E1.00	65	
	熱電対	00	25	24	51.00		
6	含水率	186	40	16	119.04	65	48
7	ACM	147	38	16	89.38	105	92
	含水率	175	40	16	112.00	135	
8	含水率	159	25	24	95.40	55	52
11	ACM	147	38	16	89.38	65	73
12	JAEA	85	30	27	68.85	65	73
	小型三電極センサー、	0.F	26	23	50.83		
	熱電対	00					
合計				765.25	65	471	

表 3.5.4-1 各センサー溝の埋戻し量

試験体システムの設置の際には、腐食試験が確実に実施出来るよう、導通確認や絶縁抵抗 の確認等の試験設備全体の調整も併せて行った。また、試験孔に試験体システムを設置後、 計器類収納箱の滴水養生、試験孔の開口部養生、地下水量が不足した際に試験体システム が乾燥しないための注水システムを設置も行った。これら一連の作業状況を図 3.5.4-6~ 図 3.5.4-50 に示す。

これらの作業の終了を確認し、計測システム試験を開始した(図 3.5.4-51 参照)。



図 3.5.4-6 センサーの員数確認



図 3.5.4-7 計器類収納箱内の配線確認



図 3.5.4-8 模擬オーバーパック外観確認



図 3.5.4-9 試験体底板設置



図 3.5.4-10 緩衝材ブロック1段目設置



図 3.5.4-11 緩衝材ブロック2段目のセンサー取付け


図 3.5.4-12 緩衝材ブロック2段目設置



図 3.5.4-13 緩衝材ブロック3段目設置



図 3.5.4-14 緩衝材ブロック4段目設置



図 3.5.4-15 緩衝材ブロック5段目設置



図 3.5.4-16 緩衝材ブロック6段目のセンサー取付け



図 3.5.4-17 緩衝材ブロック6段目設置



図 3.5.4-18 緩衝材ブロック7段目のセンサー取付け



図 3.5.4-19 緩衝材ブロック7段目設置



図 3.5.4-20 緩衝材ブロック8段目のセンサー取付け



図 3.5.4-21 緩衝材ブロック8段目設置



図 3.5.4-22 緩衝材ブロック9段目設置



図 3.5.4-23 緩衝材ブロック10段目設置



図 3.5.4-24 緩衝材ブロック11段目のセンサー取付け



図 3.5.4-25 緩衝材ブロック11段目設置



図 3.5.4-26 緩衝材ブロック12段目のセンサー取付け



図 3.5.4-27 緩衝材ブロック12段目設置



図 3.5.4-28 緩衝材ブロック13段目設置



図 3.5.4-29 仮蓋の設置



図 3.5.4-30 模擬オーバーパックの挿入



図 3.5.4-31 仮蓋と注水管付き上蓋との交換



図 3.5.4-32 緩衝材ブロック・模擬オーバーパック・注水管付き上蓋の組立完了



図 3.5.4-33 センサー接続後の導通確認



図 3.5.4-34 オーバーパックと上蓋の絶縁抵抗確認 (30MΩ)



図 3.5.4-35 試験孔1内への敷砂の投入



図 3.5.4-36 試験孔1内への試験体の挿入



図 3.5.4-37 試験体挿入完了



図 3.5.4-38 珪砂埋戻し部へのセンサーの設置



図 3.5.4-39 埋戻し用の珪砂の投入



図 3.5.4-40 埋戻し用珪砂の充てん完了



図 3.5.4-41 上部埋戻し用の粉末ベントナイトの投入



図 3.5.4-42 ベントナイト充てん・投入口カバー設置・シール処理の実施完了



図 3.5.4-43 試験体固定フレーム用鋼材への絶縁用ゴムの設置



図 3.5.4-44 試験体固定フレームの設置



図 3.5.4-45 データロガー付 pH センサーおよび ORP センサー



図 3.5.4-46 データロガー付センサーおよび排水管の設置状況



図 3.5.4-47 試験体設置およびセンサー配線完了



図 3.5.4-48 計器類収納箱および滴水防護設置完了



図 3.5.4-49 試験体上部の開口部養生(鋼製蓋およびアクリル板の設置) 完了



図 3.5.4-50 注水システム設置完了



図 3.5.4-51 計測データ回収状況

3.5.5 地下試験設備の試験結果

(1) 三電極式腐食センサーによる腐食速度と熱電対によるセンサー近傍温度

三電極式腐食センサー・熱電対による温度センサーにより、図 3.5.5-1 のデータを得た。

OP 溶接試験体本体に取り付けた埋込型三電極センサーを p1、小型三電極センサーの うち下から 2 段目、12 段目のベントナイトブロックに設置したものをそれぞれ p2、p3とする。図 3.5.5-1のTC は温度[C]で右側の縦軸に対応し、ENCR は腐食速度[mm/year] で左側の縦軸に対応する。

図 3.5.5-1 から、各センサーの示す腐食速度はセンサー毎に異なるものの、還元性雰囲 気中での炭素鋼の全面腐食から想定される約 5 µ m/y 前後の値を示していることが分か る。

p3 の三電極センサーは測定から数日間不安定な数値を示したのち、有意な測定値を得 ていない。このグラフの腐食速度は1時間で得る5分おきのデータ全体の中央値として おり、腐食速度のデータが少ないとデータが0と評価される。p3のセンサーで中央値を 取る前の5分おきの全データを見ると、不連続ではあるものの、試験開始から40日経 過以後データ点数が増加(腐食速度で10-30 µ m/y に分布)しており、今後の計測結果 の変化を含めて評価を継続する必要がある。p3は比較的上部のベントナイトブロック内 に位置し、ベントナイトの含水飽和度が未だ低いことが影響している可能性もある。こ の点で、他のセンサーデータとの比較検討が必要となる。

一方、各センサー近傍の温度は、試験孔内のセンサー設置位置が深いほど温度が高く なる(p2>p1>p3)傾向を示している。p3は3つのセンサーのうち最も上層に設置さ れており、地中よりも温度が低い坑道の気温の影響を受けていると考えられる。

3-124



図 3.5.5-1 三電極式腐食センサによる腐食速度と熱電対によるセンサー近傍温度

(2) 亜鉛照合電極

亜鉛照合電極を基準としたお p-バーパック溶接試験体の電位差の経時変化を図 3.5.5-2 に示す。海水中の鉄と亜鉛の電位差は、それらの標準電位から約 0.3V と推定して おり、ほぼその値を示している。但し、約 30 日経過後は徐々に電位差が減少しているこ とから、亜鉛照合電極又はオーバーパック溶接試験体が置かれる環境に変化が生じている 可能性があり、今後の計測結果を含めて評価を継続する必要がある。



図 3.5.5-2 亜鉛照合電極を基準とした試験体の電位差の経時変化

(3) ACM センサー

ACM センサーは試験孔底側から緩衝材ブロックの2段目、7段目、11段目に設置位 置が同一となる様に設置した。ACM センサーの出力結果を下式を用い腐食速度に換算 した結果を図 3.5.5-3 に示す。

腐食速度(mm/y)=0.0002×センサー出力(µA)+0.0293

設置深さの違いによって腐食速度に大きな差は見られなかったが、上部(11 段目)での腐 食速度がやや小さい結果となっている。これは、図 3.5.5-1 に示した三電極センサーの p2 の結果と整合的である。また緩衝材ブロックの個体差及びスリットの充てんによる差 も見られない。



図 3.5.5-3 緩衝材中の腐食速度の経時変化

(4) 三電極センサー、ACM センサーの相関関係

各センサーの腐食速度の妥当性を確認として、三電極センサー及び ACM センサーの 測定結果を相関図にまとめた。結果を三電極センサー(P1)及び ACM センサー(7 段目設 置)を図 3.5.5-4 に、三電極センサー(P2)及び ACM センサー(2 段目設置)を図 3.5.5-5 に 示す。三電極センサー及び ACM センサーとも、腐食速度は概ね<5 μ m/year となった が、図 3.5.5-1 に示したように、三電極センサーの結果が、ほぼ一定であるのに対し、 図 3.5.5-3 に示したように、ACM センサーの結果が斬増しているため、分布範囲が横ば いとなった。



図 3.5.5-4 三電極センサー(P1)と ACM センサー(7 段目)の腐食速度相関図



図 3.5.5-5 三電極センサー(P2)と ACM センサー(2 段目)の腐食速度相関図

(5) 含水率センサー

含水率センサーを緩衝材ブロックの半径方向に対して設置し、半径方向に対する水の 浸透具合を測定した。各含水率センサーの測定結果を図 3.5.5-6 に示す。この結果から 半径方向に対して外側から順に緩衝材に水が浸透しているが、最も内側の含水率の増加 は小さく、三電極センサーや ACM センサー設置場所付近では、含水飽和度が低い可能 性がある。またセンサー間で数値の間隔がほぼ一定であることから、スリット入口から の水の流入量は少ないと考えられる。



図 3.5.5-6 緩衝材中の含水率の経時変化

図 3.5.5-7 に、電気伝導度の経時変化を示す。電気伝導度の序列は、図 3.5.5-6 に示した、含水率の序列と一致しているが、一番外側の電気伝導度は、5ms/cm で一定に近づいており、緩衝材内の塩組成が定常状態に近づいている可能性がある。

なお、周辺地下水の電気伝導度を測定すれば、定常状態となっていることを確認できる 可能性がある。



図 3.5.5-7 緩衝材中の電気伝導度の経時変化

図 3.5.5-8 に、緩衝材中の温度の経時変化を示す。緩衝材中の温度分布はほとんど無い ことが分かる。また、温度はほぼ 17~18℃で一定で有り、三電極センサーの p1 の温度 と整合的である(図 3.5.5-1)。



図 3.5.5-8 緩衝材中の温度の経時変化

(6) 土圧計

土圧計を試験孔の砂層に緩衝材ブロック7段目付近に緩衝材ブロックの膨潤状況を確認するために設置した。測定結果を図 3.5.5-9 に示す。また緩衝材ブロック(ブロック中心から 104mm)の含水率と土圧計の相関関係を図 3.5.5-10 示す。これらの結果より緩衝材への水の浸透により、緩衝材ブロックが膨潤していることが分かる。







図 3.5.5-10 含水率と土圧相関図

3.6 地上施設での試験設備の構築、試験条件の設定

地上試験設備の構築、試験条件の設定に際しては、以下の項目を考慮した。

- 地上施設に設置する試験体システムの製作は別途発注とすること。
- ・ 地上試験設備構築のための施工計画を作成すること。
- 実施する地下施設での試験環境を可能な限り再現する条件を設定すること。

3.6.1 地上施設での試験設備の構築手順

試験終了後に、オーバーパックの腐食状態を把握するため腐食が起こっていない基準点 が必要となる。このため、基準点を埋設することができないので、オーバーパックの上部 を蓋の上に出す必要がある。地上試験においてもオーバーパックの上部を蓋の上に設置す る必要があるので、試験装置の概念検討を行った。

オーバーパックの上部を蓋の上に出す場合、蓋とオーバーパックのシールが問題となる。 オーバーパックと蓋を溶接で接合し、蓋と一体型とした場合、今年度と同様の組立方法(図 3.6.1-1 参照)ではオーバーパックを最後に入れることになるので、砂や注水管の設置が難 しい。今年度と同じように最初に入れるような試験装置の構造を検討した。

組立概念図を、図 3.6.1-1~図 3.6.1-3 に示す。当初は図 3.6.1-1 に示すように、緩衝材 を積んでいる途中で、オーバーパックを挿入することとしていたが、三電極センサーのケ ーブルの取り回しの観点から、実際には最後に挿入した。オーバーパックと緩衝材は H25 年度の試験等同様の方法で組み立てるが、昨年度と異なりオーバーパックが蓋の上まで突 き抜ける構造になるため、上部にキャップとなる緩衝材を設置できない。このため、オー バーパックと緩衝材の間に 5mm 程度のクリアランスが生ずる。このクリアランスは、三 電極センサーのケーブル等を通すのに有効であるが、このクリアランスを通して水が浸入 し、実施の処分環境より早く冠水することになる。これを防ぐため、クリアランスの上部 を緩衝材粉末でシールする。 昨年度の計画では、蓋の取り付けは、容器内に設置してか らとしていたが、オーバーパックに塗布した絶縁塗装の保護および、センサーケーブルの 取り合いの容易さを考慮して、蓋及び注水管を接続した後に吊り上げるように変更する(図 3.6.1-2)。オーバーパックと緩衝材を吊り上げる際の治具については、台座にアイボルト を設置していたが (図 3.6.1-2)、オーバーパックを取り出す際に砂を全部取り除く必要 があったので(図 3.6.1-3)、吊り棒を台座と固定し、途中で切り離せるようにする(図 3.6.1-2)。砂を入れた後、最後に注水ラインの接続を行う(図 3.6.1-3)。



図 3.6.1-1 OP 腐食試験装置の組立方法の検討(その 1)



図 3.6.1-2 OP 腐食試験装置の組立方法の検討(その 2)



3.6.2 地下試験設備設置時等からの条件反映

(1) 地下水条件

地下試験設備と試験条件を合わせるため、地下試験設備周辺の地下水の組成を分析し た。結果を図 3.6.2・1 に示す。サンプリングは、試験体埋設前の試験孔 1 (採取日 2014 年 11 月 5 日) および、試験体設置後の試験孔 2,3 (採取日 2015 年 2 月 5 日) で実施し た。採取日、試験孔による組成の差はほとんど見られない。主成分はナトリウムイオン、 塩化物イオン、炭酸水素イオンであった。それぞれの濃度は概ね、2,900ppm、3,900ppm, 2,400ppm であった。海水中のナトリウムイオン及び塩化物イオン濃度は、10,600ppm, 19,000ppm 程度であるので、海水の 1/4~1/5 程度の塩分濃度であった。なお、pH はほ ぼ 8 であった (表 3.6.2・1 参照、Eh は採取後数日たってからの分析値であるので、参 考値である)。



図 3.6.2-1 幌延地下水分析結果

	pH	Eh / mV (参考値:採取数日後データ)
2014 11/5 試験孔-1	7.99	323
2015 2/5 試験孔-2	8.1	263
2015 2/5 試験孔-3	7.55	275

表 3.6.2-1 幌延地下水分析結果 (pH と Eh)

(2) 地下水組成の決定

地上試験用模擬地下水の組成を表 3.6.2-2 に、幌延地下水と模擬地下水の比較を表 3.6.2-3 に示す。主成分が、ナトリウム、塩化物、炭酸水素イオンであったので、模擬地 下水の組成を NaCl-NaHCO₃ 系とする。ナトリウムイオンは、NaCl と NaHCO₃の両方 に存在するので、NaCl 濃度は、塩化物イオンを基準として以下のように設定する。

3,900ppm-Cl $\div 35.45 \times 58.44$ =6,400ppm-NaCl

同様に、NaHCO3濃度は、炭酸水素イオンを基準として以下のように設定する。

2,400ppm-HCO₃÷61.02×84.01=3,300ppm-NaHCO₃

この時(NaCl-NaHCO₃系)のナトリウムイオン濃度は、3,400ppm となるので、分 析値とほぼ一致する(2,900ppm)

表 3.6.2-2 模擬地下水の組成

NaCl	6,400ppm
NaHCO ₃	3,300ppm

	Na+	Cl-	HCO ₃ -
幌延地下水	2,900ppm	3,900ppm	2,400ppm
地上試験用地下水	3,400ppm	3,900ppm	2,400ppm

表 3.6.2-3 地下水組成の比較

(3) オーバーパックの絶縁

オーバーパック溶接試験体の電位(亜鉛照合電極との電位差)を測定するためのエレ クトロメータは、高入力インピーダンス(10¹³Ω)の製品を選択しており、電位測定に 伴う OP 溶接試験体の電位への影響は無視できる。
3.7 腐食計測技術の適用性確認調査

3.7.1 調査概要

他の産業界、および in-situ な腐食計測が実施可能な腐食計測技術について、地層処分 事業への適用性を調査する。本年度は、北海道大学(薄膜レジストメトリー法)、東北大 学(電気抵抗/ポテンシャルドロップ法)、東京工業大学(インピーダンス(EIS)法)の保 有する腐食計測技術の適用性を調査した。

代表的な微小腐食のモニタリング手法を概念的に図 3.7.1-1 に示す。すなわち、溶存酸素を含む中性水溶液環境中における鉄の腐食は、

アノード反応: $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$

カソード反応: $2H_2O + O_2 + 4e \rightarrow 4OH^-$

の対によって進行するため、腐食の量は電荷の移動量と対応している。したがって、腐食 を溶液側の反応として直接捉える 1) 電気化学的手法が適用できる。電気化学的手法は、 1-1) 自然浸漬状態での測定・評価を行なう方法、1-2) 外部から何らかの働きかけを行う 方法がある。前者の方法は、1-1-1) 浸漬電位や短絡電流の、たとえば 1s 間隔の時系列デ ータを採取し解析する電気化学ノイズ(ENA、溶液内で捉える)法が、後者の方法は、1-2-1) 外部電源を用いて、例えば、2 電極間の印可電圧を 10mV として 10mHz および 10kHz な どの交流インピーダンスを測定し、分極抵抗、*R*pおよび、溶液抵抗、*R*sから、*icorr* = *k*・ *R*p を用いて腐食速度を解析する交流インピーダンス(EIS、固液界面反応を捉える)法、 1-2-2) 外部電源を用いて浸漬電位から±10mV 程度の分極を与えたときの電流密度の関係 から解析する分極抵抗法、1-2-3) より大きな電位域までの分極から求めるターフェル勾配 法などがある。1-2-4) 不働態金属で不働態保持電流密度が電位に依存しない電位域がある 場合には、不働態電位域に定電位保持を行い、一定時間経過後(例えば、100~2,000時間) の電流密度の定常値、*inass*を求める方法がある。

鉄の腐食は物理的な重量変化や凹みを伴うことから、金属固体内で捉える、2)物理的な 方法で定量することができる。第一義的には、2-1)環境に曝露される前後の重量変化を曝 露面積および時間で除すことによって平均的な腐食速度を得る。通常の水溶液中の浸漬や 大気曝露した試験体(20×30×3tmmから150×75×3mm程度の試験片)の場合には0.1mgオ ーダーの重量変化の実測と曝露試験から腐食速度を算出する。試験片面内の環境や腐食状 況のばらつきが認められる場合や、さび落としの状況によっては、求めた腐食速度の定量 性に注意する必要がある。局所的な腐食が認められた場合には、面内の凹凸を合わせて計 測・評価する必要がある。さらに、2-2) 微量な腐食の測定法は、水晶表面に鉄を蒸着した 振動周期が既知な水晶振動子を試験体として環境に曝露し、その周波数変化から蒸着薄膜 の溶出、腐食生成物および海塩などの付着による重量変化を求める水晶振動子(QCM)法が ある。一方、2-3) 金属そのものを電気抵抗体とみなして、2-3-1) 一定の電圧を付与した状 況下で電流の変化から電気抵抗の変化を介してき裂進展量を求めるポテンシャル法が規格 化されている。反応を捉える面積を大きくすることによって微量の腐食に対する感度を上 げるため比表面積が大きくとれる薄膜を用いるなどの工夫を加えて、2-3-2) 薄膜レジスト メトリー法が適用されている。

さらに、腐食環境から離れた位置から、3) 非破壊的に凹みを捉える方法がある。非破壊 検査法には、3·1) 現象そのものが発する受動的(Passive)な信号を捉える方法、3·2) 何ら かの外部信号を与え、その応答を捉える能動的(Active)な方法がある。前者の方法は、3·1·1) 材料が変形あるいはき裂が発生する際に材料に蓄えられているエネルギーを弾性波として 放出する現象を捉えるアコーステックエミッション(Acoustic Emission, AE)法が代表的 である。後者の方法は、3·2·1) 探触子から 10kHz~数 MHz の超音波を発生させ、その反 射あるいは透過によって欠陥を検出する方法である。

これらの中から、

- 1) 薄膜レジストメトリー法
- 2) 電気抵抗/ポテンシャルドロップ(PDM)法
- 3) インピーダンス(EIS)法
- 4) アコーステックエミッション(AE)法
- 5) 電気化学ノイズ(ENA)法

などについての試験・検討を行なう。 その際にも、各試験/機関で統一した試験環境で試 験・評価することが望ましいため、試験セル、ベントナイト、加熱装置などを統一した共 通試験体を用いることが理想的である。一方、各試験法で特有なこともあり、全てを統一 することは現実的ではないため、調整が必要である。平成 26 年度は 3 つの技術に絞るこ ととなったため、炭素鋼の腐食モニタリングから一番遠い位置にある AE 法、および、JV 側の試験で三菱化学製の三電極式モニタリング装置を導入することから、一番近い位置に ある電気化学的ノイズ法の実施を先送りし、薄膜レジストメトリー法、電気抵抗/ポテンシ ャルドロップ法、および、インピーダンス法の 3 手法を選定した。



図 3.7.1-1 提案される微小腐食のモニタリング手法(概念図)

3.7.2 モニタリング技術の概要

(1) 薄膜レジストメトリー法

レジストメトリーは断面積の小さな金属資料の電気抵抗変化によって腐食損失や物性 変化などを評価する方法であり、薄膜に付与した電流応答から全体的な腐食を検知して いる。安住らが模擬地層処分環境系に於いて銅合金、チタン合金などに適用を進めてい る。薄膜レジストメトリー法で計測した銅箔の微量腐食モニタリングを、(a) 試験に用 いた電気化学セルの模式図、(b) 銅箔厚さの減少量 d と温度 T の経時変化を例として図 3.7.2-1 に示す。ベントナイト環境における炭素鋼も低腐食性が期待されているため、本 技術が適用可能と考えられる。ただし、特に試験初期などに酸化性の腐食環境が成立し て比較的大きな腐食速度を有した場合、および、腐食速度が遅いとは言え鋼やチタンの ような不働態保持による腐食よりは速い腐食速度を有することが予想されるため、銅や チタンの箔よりもより厚めの炭素鋼の箔(銅箔曝露部の例:幅 2~2.5mm、長さ 40mm、 試料抵抗約 0.5Ω)を用いる必要がある。しかしながら、構造用鋼や高温配管用炭素鋼鋼 管材の箔は無く、炭素鋼の範囲で適当な厚さの薄板、もしくは、箔を入手し、必要に応 じて厚さを加工するなどして、試験片寸法(厚さ)を最適化する必要がある。

計測系は北海道大学が所有する既存の装置を用いることとして、炭素鋼の薄板を手配し、 厚さなど調整した後に、試験に供する。



(a) 電気化学セル (b) 銅箔厚さの減少量と温度の経時変化

図 3.7.2-1 薄膜レジストメトリー法で計測した銅箔の微量腐食モニタリング

(2) 電気抵抗/ポテンシャルドロップ法

ポテンシャルドロップ法によるき裂の長さの同定方法は、疲労き裂進展量やクリープ き裂進展量などの測定に対する実験的な手法として確立されており、ASTM E 647 規格 で CT 試験片に対して関係式が定められている。ポテンシャルドロップ法による CT 試 験片のき裂進展速度の見積の回路を図 3.7.2-2 に、き裂進展速度の見積例を図 3.7.2-3 に示す。"試験片面の両端に大電流、I (例えば 5A)を流して、その内側に設けた電極間 の電圧、E を測定し、E=IR(オームの法則)から抵抗 R を求め、R はいわば断面積、a で あるから、その変化、 Δ E と Δ a の関係"を求める方法であり、き裂進展などの局部損傷 の高感度な検出に広く用いられている。なお、図 3.7.2-2 では直流法を示しているが、

目的に応じて、交流法も普及している。これをベントナイト中の炭素鋼の腐食速度が遅 いことが期待されている全面腐食進展の見積への適用性を検討し、最適化することを目 指す。試験片には2組の接点(電流を流す、電圧を測る)が必要になるが、いずれも、イ ンピーダンスや電気化学ノイズ用の電極とは異なり、ベントナイトの系外に設置するこ とが可能であることが、有利な点と認められる。ポテンシャルドロップ法は全面腐食速 度を電気抵抗の"変化"で捉えることから、同一の電源負荷条件において、同じ抵抗の 変化(=同じ腐食速度)は抵抗の絶対値が小さい、すなわち試験片断面積が小さい方の感度 が高くなる。したがって、なるべく細い、薄い試験片を用いることが有効である。一方、 長期間にわたる大きな腐食のモニタリングに対しては、ある程度の断面積が無いと腐食 減肉によって試験片が溶出して計測不能になってしまう。したがって、目標腐食深さを、 例えば、10μm、100μm、1mm など 3(多)段階に区分し、それぞれの目標腐食深さ毎に、 試料の断面積に応じて付与する電流などを最適化する。直流電源、および、腐食深さ計 測器類などの計測系は東北大学が所有する既存の装置を用いることとする。計測系を組 み立て、基本的な性能確認を行ない、ポテンシャルドロップ法が全面腐食の見積にも適 用出来ることを確認する。さらに、電解研磨などで炭素鋼製試験片の断面積を初期状態 から制御して減じさせ、得られる∠a-∠E関係を検定曲線として、次年度以降に実施する 予定のベントナイト環境下での腐食環境における試験中の腐食深さの経時変化をモニ タリングする手法としての成立性を確認する。



JAERI-M 82-068

図 3.7.2-2 ポテンシャルドロップ法による CT 試験片のき裂進展速度の回路



図 3.7.2-3 ポテンシャルドロップ法による CT 試験片のき裂進展速度の見積例

(3) インピーダンス法

交流インピーダンス測定法 (EIS: Electrochemical Impedance Spectroscopy) は電気 的等価回路としては図 3.7.2・4 (A) のように表され、図 3.7.2・4 (B) のインピーダンスの周波 数特性が得られる。すなわち、低周波数の平坦部に腐食抵抗 (Rc')と媒質抵抗 (Rs)の 和、高周波数の平坦部に媒質抵抗 (Rs)が表れる。この二つの周波数のインピーダンスの 差から腐食抵抗が求められる。この腐食抵抗は金属腐食速度と反比例の関係にあり、腐食 抵抗から腐食速度を単位時間あたりの溶解量として算出することができる。オーバーパッ クの腐食速度を測定するためには、図 3.7.2・5 に示すようにオーバーパックの近傍に片面 を露出させたプローブを設置し、このプローブ間に2種類 (高周波数,低周波数)の交流 電圧を印加し、インピーダンスを計測することになる。試験装置の外観を図 3.7.2・6 に示 す。

3-145



図 3.7.2-4 交流インピーダンス法の原理図



プローブ/緩衝材/オーバーパック/緩衝材/プローブ

図 3.7.2-5 交流インピーダンス法によるオーバーパックの測定概念図



solatrtron 1260/1287 型

図 3.7.2-6 試験装置の外観

図 3.7.2-7 に圧縮ベントナイト中の炭素鋼の腐食速度を交流インピーダンス法により 435日間測定した結果を示す。(出典:核燃料サイクル機構研究報告書、JNC TN8400 99-003)自然状態に置かれた場合、試験開始初期には 0.1mm/y のオーダーの腐食速度 であったが、時間と共に減少し、約150日以降は0.01mm/y程度となった。別途実施し た100日間の埋設試験での腐食速度は0.0185-0.0279mm/yであったことから、交流イ ンピーダンス法による測定の確からしさが確認された。



図 3.7.2-7 EIS から得られた圧縮ベントナイト中における炭素鋼の腐食速度の経時変化

3.7.3 各モニタリング技術研究の H26 年度成果

(1) 薄膜レジストメトリー法

測定の原理(複合電極を用いた膨潤ベントナイト中の金属腐食速度モニタリング)
a.概要

土中に埋没したパイプラインなどの腐食モニタリングには、腐食損失にともなう 金属の電気抵抗変化を測定するレジストメトリー法が用いられている。レジストメ トリーは金属試料自体の電気抵抗を測定するため、測定原理および装置が単純で、 埋没媒体の状態(気液固)や電気伝導度にそれほど影響されずに計測できる利点が ある。一方、金属の電気抵抗は温度の影響を受けるため、温度の変化する実環境で はブリッジ構成により温度補償を行っている。本研究では、腐食試料の電気抵抗変 化を、腐食しない参照抵抗の電気抵抗に対する相対値として測定する温度補償型レ ジストメトリー法の腐食速度モニタリング技術への適用を検討する。この手法は、 腐食試料と腐食から保護した非腐食試料の2つのみを同一環境に置く簡単な系で構 成され、ベントナイト緩衝材中の埋め込み試験体として適している。本研究では、 温度補償型レジストメトリーを膨潤ベントナイトに接した金属試料に適用すると ともに、試料を複合化することでインピーダンス、カップリング電流など他の腐食 計測法も同時に適用でき、腐食挙動の相互検証と腐食試料のみならず腐食環境に関 する情報も得られるシステムを構築する。

b.測定原理

図 3.7.3-1 に、複合電極を用いた腐食計測法の原理を示す。金属試料は同一のものを3つ使用し、そのうちの2つ(WE1, WE2)は腐食環境に暴露し、もう一つ(Rref) は腐食しない環境に保護する。ただし、3 試料は隣接した同一の温度環境に置く。 この複合電極試料について、外部に接続した計測機器類の接続状態を適時変えるこ とで、以下の項目を切り替えて測定する。

(2) レジストメトリー

レジストメトリーでは、腐食試料 WE1 と非腐食試料 Rref は直列接続され、交流電流 が印加される。交流法は直流法と比較して、交流応答成分のみ検出できるため、直流的 な変動要因や遠隔計測時の環境ノイズなどに対して耐性が高い。WE1 と Rref 両端の交 流電圧 ΔEac(WE1) と ΔEac(Rref)が測定され、両者の相対値ΔEac(WE1)/

3-148

 Δ Eac(Rref)がWE1の腐食による抵抗変化分として評価される。WE1とRrefは同一の温度環境に置かれるため、その相対値は抵抗変化が小さいうちは相殺される。試料両端で計測可能な交流電位差を得るため、試料抵抗はある程度大きい必要があり、ラボ試験では断面積の小さな細線や箔が用いられる。 Δ Eac(WE1)/ Δ Eac(Rref)と試料のジオメトリから腐食損失(減肉量)が定量評価できる。十分薄い(μ m オーダー)金属箔を用い、ロックインアンプにより交流電流を印加して微小な応答を計測することで、nm程度の腐食損失計測が可能である。ただし、均一腐食またはそれに近い腐食進行の場合のみ定量性が得られる。この点で、全面腐食が予想されている膨潤ベントナイト中での炭素鋼の腐食評価法として適している。

(3) インピーダンス計測

インピーダンス計測では、WE1 と WE2 の 2 電極間インピーダンス計測を行った。本研 究で用いた複合電極は参照電極も含むため、より一般的な三電極系のインピーダンス計 測も可能であるが、長期間暴露では RE の AgCl が徐々に溶出して機能しなくなると推 定される。FRE(周波数応答特性解析装置)を用いてインピーダンススペクトルを計測 し、等価回路解析から腐食速度評価を行う。 (4) カップリング電流計測

カップリング電流計測では、WE1 とWE2 間のカップリング電流を計測する。水溶液 中のような均一な浸漬環境では2電極の腐食環境には差がないが、膨潤中のベントナイ トでは水の到達程度や溶存酸素濃度の差によってそれぞれの電極は異なる腐食環境と なり、両者の間にガルバニックカップルが生じる場合がある。このようなガルバニック カップルによる腐食は、両者がアノードとカソードを分担することで腐食速度が大きく なると推察される。

(5) 浸漬電位計測

浸漬電位計測では、WE1 近傍に配置した参照電極 RE により腐食状況に応じた電極電 位が計測される。

以上の計測を、膨潤ベントナイト中に埋没した炭素鋼について長期間行うことで、地下 埋設環境における炭素鋼の腐食進行をモニタする。



図 3.7.3-1 複合電極を用いたレジストメトリー、インピーダンス、カップリング

電流および浸漬電位計測。計測項目によって回路を切り替える。

1) 研究方法

上述の測定原理に基づき、膨潤ベントナイト埋設試験系を構築して実証的計測を行 い、その有用性、実用性の評価と問題点の洗い出しを行う。

a.試験方法

本研究では、予備実験として埋め込み模擬セルを試作し、鉄細線を埋め込んで計測 を試みた。図 3.7.3・2 にラミネートに鉄細線を埋め込んだ複合電極試料の構造と写真 を示す。ラミネートシートに埋め込んだ3本の鉄線(0.2mm ϕ)のうち2本(WE1, WE2) は膨潤ベントナイトに暴露され、1本(Rref)はラミネートシートで被覆され腐食環 境から保護されている。また、ラミネートシート中には被覆された Ag線も埋め込ま れ、参照電極(RE)として使用される。

セル内部は上下二層に分かれており、下層にベントナイト粉末(クニゲル V1)を 入れ、下面よりラミネート封止した複合電極試料を取り付けた。ラミネート複合電極 試料はセル下面からシリコンラバーシートを介してセルに固定し、さらにヒートディ ストリビューター、シリコンシート封止ヒーターを重ね、抑え板でネジ止め固定した (図 3.7.3-3)。セル上層には超純水を入れた。仕切りには多数の穴が空いており、 上下間仕切り部フィルタを経由して水が浸透し、下層のベントナイトを膨潤させる。 下層のセル壁面には、溶存酸素計のセンサーヘッドを埋込・固定した。



図 3.7.3-2 (上) ラミネート封止された複合金属試料の構造 (下) 試料として Fe 細線を使 用した試料



図 3.7.3-3 埋没作業中の様子

試作した計測系の概略図を図 3.7.3-4 に示す。レジストメトリー、インピーダンススペ クトル、カップリング電流、参照極電位を測定し、温度計測と制御を行うために、電子 回路として熱電対用温度測定回路、参照電極バッファ回路、電流電圧変換回路を用意し、 さらに外部に接続した周波数応答特性解析装置およびデジタルロックインアンプを接 続した。測定項目に応じてこれら機器の接続状態を適時変えるため、アナログスイッチ を用いて信号線を切り替えている。これらの制御には基板上のマイクロコントローラを 用い、外部 PC からのコマンドを受けて測定モードを切り替える。交流電流の条件は 330Hz、10mAemfであった。インピーダンススペクトルは1~100kHz、交流振幅 10mV で測定した。なお、DO 値計測は専用のアプリを必要とするため、別の PC により行っ た。



図 3.7.3-4 測定系の概略図

2) 研究成果

鉄線を用いた計測に先立ち、入手と取り回しが容易な厚さ 5µm の銅箔を用いて装置 の動作検証を行った。図 3.7.3-5 に測定結果の例を示す。電気抵抗変化では、参照抵 抗 Rref はほぼ一定であるのに対して腐食試料 WE1 の電気抵抗 Rcorr は時間ととも に増加し、これらの相対値、Rcorr/Rref も時間とともに増加している。電位 E は 200ks 付近まで水が電極に到達していないために乱れている。2 つの暴露電極 WE1, WE2 間に流れるカップリング電流 iCP は 200ks 以降で明瞭に見られるようになり、 2 つの電極が水の到達状態や酸素濃度などで異なる腐食環境にあることを反映して いる。

図 3.7.3-6 に、試料の相対抵抗変化 Rcorr/Rref から計算された銅箔厚さの経時変 化を示す。200ks 程度の導入期間以後、ほぼ一定速度で箔厚が減少している。この 導入期間は図 3.7.3-5 との対比より水の到達期間であることがわかる。図 3.7.3-7 に 膨潤ベントナイト中の溶存酸素濃度(DO値)の経時変化を示す。DOは温度が上昇 すると低下を開始し、150ks 付近で約 0.4mg/L の定常値となり、これよりも低下す ることはなかった。以下に示す Fe 試料を用いた試験結果との比較より、初期の DO の低下はセル内にセットした脱酸素剤の酸化反応によるものと判断される。脱酸素剤 はセル上室(水溜め)に、DO センサーヘッドはセル下室の膨潤ベントナイト中側に 配置されているので、水側の酸素消費が膨潤ベントナイト側にも比較的早く反映して いることがわかる。

図 3.7.3-10 に、2 つの腐食試料 WE1-WE2 間のインピーダンススペクトル (Bode プロット)の経時変化を示す。水の浸透に伴いインピーダンスが低下し、その後収束 している。応答は RC 直列回路で近似できるが、容量成分は(1)2 電極系であること (2)膨潤ベントナイト中のイオン移動を含むこと により理想容量からずれている。 1Hz と 10kHz において、インピーダンスの絶対値と位相角から抵抗成分 R を計算し た結果を図 3.7.3-9 に示す。膨潤ベントナイトの抵抗が反映すると思われる 10kHz では、抵抗値 160~170Q 程度で、水溶液と比較してもそれほど大きくない。これは、 2 電極が隣接して平行に配置されていることと、膨潤ベントナイト中のイオン移動が 比較的起こりやすいことが反映していると思われる。ただし後者はベントナイト密度 にも依存する。1Hz における抵抗 R は腐食反応の分極抵抗が反映していると推察さ れる。



図 3.7.3-5 膨潤ベントナイト中に埋没した厚さ 5μm 銅箔の抵抗変化(Rcorr, Rref, Rcorr/Rref)、浸漬電位(E), カップリング電流(icp), セル温度および室温(T)の経時変化



図 3.7.3-6 抵抗変化から計算された Cu 薄膜厚さの経時変化



図 3.7.3-7 試験初期の溶存酸素濃度および温度の経時変化



図 3.7.3-8 2 電極間のインピーダンススペクトルの経時変化



図 3.7.3-9 1Hz および 10kHz における分極抵抗 R と位相角 θ の経時変化

装置の動作確認を受け、鉄細線を用いた実験を行った。銅箔を用いた試験では、膨 潤ベントナイトを介しての DO の供給や銅イオンの透過移動が確認され、特に腐食速 度は水溶液中と同程度であった。これらの結果は、セル内にベントナイト粉末を特に 圧縮することなく入れたため、膨潤後のベントナイト密度が物質移動を妨げるほど十 分高くなかったためと推定された。このため鉄細線の試験では、ベントナイト粉末を なるべく圧縮してセルに入れた。また、比較のためにセル内に脱酸素剤を入れなかっ た。図 3.7.3-10 に測定結果を示す。結論から述べると、約1週間の間、水は電極表面 に到達しなかった。また何度か温度スイッチ(高温と常温の切り替え)を行ったが、 顕著な効果は見られなかった。



図 3.7.3-10 膨潤ベントナイト中に埋没した直径 0.2mm Fe 細線の抵抗変化(Rcorr, Rref, Rcorr/Rref), 浸漬電位(E), カップリング電流(icp), セル温度および室温(T)の経時変化

図 3.7.3-11 に示す DO 値の経時変化では、ほぼ大気開放水と同等の 8mg/L 程度を 保っており、セル内の酸素が消費されていないことを示す。図 3.7.3-7 との比較より、 セル内に設置した脱酸素剤がある程度セル内の溶存酸素除去に有効であることが確認 できた。図 3.7.3-12 に示すインピーダンススペクトルは RC 並列回路の応答を示して おり、その値は 100kQ~10MQ 程度と図 3.7.3-8 との比較してかなり大きく、また経 時変化はほとんどない。これらの結果は、先述の通り水が電極表面に到達していない 状況を反映している。しかし図 3.7.3-10 に示したように、電極電位 E は徐々に安定 となる傾向を示し、またインピーダンスも値が大きいにもかかわらず比較的ノイズの 少ないスペクトルを示していることから、ベントナイトが完全な乾燥状態ではなく、 わずかながら水を吸収してイオン電導性を示していると考えられる。



図 3.7.3-11 溶存酸素濃度の経時変化



図 3.7.3-12 試験中の WE1-WE2 間のインピーダンススペクトル

(6) 電気抵抗/ポテンシャルドロップ法

1) 研究目的

a.DCPD 法の特徴と原理ならびに選択の根拠

電位差法(PD 法)は金属材料などの導電性材料の欠陥を検出する非破壊検査手法 である。欠陥の発生、成長により導体の断面積が減少し、それに伴って電気抵抗が増 加するという物理的性質を利用している。試料に一定の電流を流し、欠陥を挟んで電 位差を測定したとき、その欠陥の形状変化に応じて電位差が変化することから、電位 差測定値より欠陥サイズ・形状を予測することができる。直流の PD 法を DCPD 法 と呼ぶ。DCPD 法を用いたき裂進展評価の構成例を図 3.7.3-13 に示す。オーバーパ ック材料の腐食速度モニタリングへの適用性を考えた場合、DCPD 法は腐食速度の積 分値、すなわち減肉量を直接求められるため、腐食速度を測定する他の手法と比較し て長期間のモニタリングに適していると考えられる。また、測定された電位差変化が 腐食形状に依存することから、仮に腐食モードが均一腐食から局部腐食に移行した場 合においても、原理的には局部腐食の発生を検出できると考えられる。他にも、計測 機器類を環境外に設置できるという利点を持つ。

b.本研究の目的

本研究では、オーバーパックの長期腐食モニタリング手法として、DCPD 法の適用 性を検討した。



図 3.7.3-13 DCPD 法を用いたき裂進展評価の構成例

2) 研究内容·成果

a.DCPD 法による減肉量測定の成立性評価

炭素鋼を φ 16mm の丸棒に加工したものを試験片として用いた。以下に試験手順を 述べる。(1)図 3.7.3·14 に示すようにスポット溶接を用いて二つの電流入出力端子と 二つの電位差計測端子を取付けた。(2)試験片中央をゲージ部として、旋盤を用いて 直径が 1mm 細くなるように切削した。(3)電位差を測定した。その際、熱起電力によ る誤差を補正するため電流を±1A, 2s の矩形波として印加し、極性反転 5 往復の値 を平均して電位差とした。(4) 試験片が破断するまで(2),(3)を繰り返した。試験片は 2 つ用意し、それぞれ試験片 A,B とした。

電位差の計算値の導出方法を以下に述べる。(1)切削前の試験片の電位差を測定し、 抵抗を算出した。(2)式①を用いて抵抗率を算出した。(2)減肉後の試験片を 3 つの抵 抗の直列接続とみて合成抵抗を計算した。(3)求められた抵抗とオームの法則より、予 想される電位差を計算した。

$$R = \rho \frac{L}{A}$$
 · · · 式① R:抵抗[Ω] ρ :抵抗率[Ω · m]
L:長さ[m] A:断面積[m²]

試験片 A,B ともに直径 2mm に加工する途中で破断した。図 3.7.3-15、図 3.7.3-16 に示すように、試験片 A,B 共に計算値と実験値は良く一致しており、減肉量の増大と 共に測定感度が増大していることが分かる。よって、測定精度の観点から、丸棒の減 肉量測定に DCPD 法が適用可能であると判断した。

b.DCPD 法による減肉モニタリングの検討

供試材は前述の試験と同一である。試験溶液は NaCl 水溶液を用いた。以下に手順を述べる。(1)図 3.7.3-17 に示すようにスポット溶接を用いて二つの電流入出力端 子と二つの電位差計測端子と一つの作用電極端子を取付けた。(2)ゲージ部を除いて絶 縁塗料で被覆した。(3)ガルバノスタットで 0.2A 定電流保持し、電気化学的に腐食さ せた。(4)10 分毎に電位差を記録した。その際、熱起電力を補正するため電流を±1A, 2s の矩形波として印加した。試験装置の外観を図 3.7.3-18 に示す。

試験開始から 283 分経過後に電流出力端子が破断し終了した。図 3.7.3-19 に示 すように、腐食減肉に伴い電位差が増大する傾向が認められた。しかし、計算値と実 験値は減肉量 0.6mm 付近までは良く一致していたが、その後ずれが増大した。280 分 経過後の電位差は、計算値と実験値で大きく異なっていた。試験終了後取り出した試 験片を観察したところ、ゲージ部が均一に腐食しておらず片端が顕著に減肉していた。 また絶縁塗料塗布部の内側も腐食していた。試験後の試験片の写真を図 3.7.3-20 に示 す。ゲージ部が均一に腐食して直径 1.1mm の円柱になると仮定して計算値を算出し たが、実際の形状とかけ離れていることがわかった。そのため、試験後の試験片を単 純な形に近似して抵抗を算出し、予想される電位差を計算したところ、実験値と近い 値になった。このことから、測定値と計算値のずれの原因は試験片が不均一に腐食し たことであり、DCPD 法による減肉モニタリングは高い精度で行われていたと判断し た。

c.含水飽和緩衝材共存環境下での DCPD 腐食モニタリング法の提案

本手法を用いた減肉モニタリング試験を 3 年程度実施すると仮定して試験片寸法 を検討した。低溶存酸素濃度、圧縮ベントナイト環境中の炭素鋼の腐食速度は 10μ m/year 以下と見積もられており、連続モニタリングするためには少なくとも数 μ m の減肉を検出する必要がある。そこで 1μ m 減肉したことによる電位差変化量と直径 の関係を計算した。図 3.7.3-21 に示すように直径 2mm 以下であれば 1μ m の減肉で 1000nV 以上の電位差変化が生じる。今回実施した実験からは、測定システム全体の 誤差は 1000nV と比較して十分に小さいと評価された。よって理論上は、直径 2mm の丸棒試験片を 1 本用いれば、3 年程度の埋設試験中は減肉を精度良くモニタリング することが可能であると判断された。



図 3.7.3-14 試験片の概略図





試験片B



図 3.7.3-16 減肉量と電位差の関係(試験片 B)



図 3.7.3-17 DCPD モニタリング試験片・装置概略図



図 3.7.3-18 DCPD モニタリング試験装置外観



図 3.7.3-19 腐食に伴う電位差の計算値と実験値の比較



図 3.7.3-20 試験後の試験片の外観



図 3.7.3-21 1µmの減肉に対応する電位差変化量と試験片直径の関係

(7) インピーダンス法

1) 研究目的

a.地層処分環境における腐食モニタリングの問題点と課題

地層処分環境における炭素鋼の腐食は、初期における酸素消費型の腐食から水と の反応による水素発生型の腐食に移行する。腐食速度をモニタリングする場合には、 初期の酸素消費型の腐食では、腐食速度は比較的大きいが、その後、水素発生型の 腐食になると腐食速度が極めて小さくなる。したがって、極めて小さな腐食速度を モニタリング可能な手法が必要となる。例えば、1,000 年で 10 mm の厚さの腐食減 耗量の場合、10 μ m/年の腐食速度に相当し、10,000 年で 10 mm の場合には 1 μ m/年の腐食速度を計測する必要がある。

電気化学的手法は電流密度で材料の腐食速度をとらえる方法である。一般的な電 気化学測定装置の電流の測定下限界は nA (ナノアンペア-) 程度である。特殊な微 小電流測定用の装置では pA (ピュアンペア-) の電流測定も可能である。例えば、 1nA/cm² の腐食速度は約 0.01 µ m/年の腐食速度に相当する。このことから、電気 化学的手法は、極めて小さな腐食速度をモニタリングする手法として優れているこ とがわかる。ただし、実環境での測定では外来ノイズの問題等、解決する課題は多 い。

b.研究目的

本研究では、地層処分環境を想定したベントナイト中において、炭素鋼の腐食モ ニタリングを電気化学インピーダンス(Electrochemical Impedance spectroscopy: EIS)法により試みる。EISを炭素鋼の腐食モニタリングに適用する際の問題点とし ては、さび層の形成により極めて大きな擬似容量を生じ、それらが微小な腐食速度 の計測の妨げとなっていることである。具体的には、これまでの我々の研究成果を 紹介しながら説明する。 a.EIS 法による測定

モニタリングに使用しているプローブの模式図を図 3.7.3-22 に示す 2 枚の炭素鋼 をエポキシ樹脂中に並行に埋め込んだ 2 電極式タイプのプローブを使用している。こ れをチタン製のホルダーに入れベントナイトを詰め込み 0.5MNa₂CO₃溶液 (pH9) に 浸漬して EIS 測定を行っている。(図 3.7.3-23、図 3.7.3-24 参照)測定温度は 80℃ である。



図 3.7.3-22 腐食モニタリング用 2 電極式セルの模式図



図 3.7.3-23 腐食モニタリング用チタン製セル 図 3.7.3-22 のセルがチタン製容器内で ベントナイト中に埋め込まれている



図 3.7.3-24 腐食モニタリング用セルの全体の模式図 図 3.7.3-23 のチタン製容器は
0.5MNa₂CO₃水溶液中に浸漬される

ベントナイト/電極界面は、最も単純な場合、電荷移動抵抗 Rct、電気二重層容量 Cdl および溶液抵抗 Rs により表すことができる。電荷移動抵抗の逆数 1/Rct は、腐食 電流 Icorr と比例関係にあることが知られている。

Icorr = k / Rct

(1)

したがって、Rct を連続的に測定することにより腐食状況をモニタリングすること が可能となる。実際に、Rct は図 3.7.3-25 に示される等価回路によりカーブフィティ ングを行うことにより決定される。図中、R1 が電荷移動抵抗に相当し、Rs は溶液抵 抗、CPE (Constant Phase Element) は電気二重層容量 Cdl の代わりに導入される。 これは実際に測定される電気二重層容量は理想的なコンデンサー的挙動から外れるた め、それを補正するために導入されるパラメーターであり、明確な物理的な意味は不 明である。



図 3.7.3-25 炭素鋼/ベントナイト界面の等価回路 R1:電荷移動抵抗、Rs:溶液抵抗、 CPE1: Constant Phase Element

いずれにせよ、1/Rct を腐食速度の指標としてモニタリングを行っており、これを 実際に腐食速度に換算するときには式(1)の比例定数kが必要になる。水溶液に浸 漬された状態では、k=0.020V となることが、腐食減量との比較から実験的に報告さ れており、また、この値はTafel 勾配から決定される理論値とも近い値である。

b.EIS 法による測定結果

ベントナイト(70wt%)+アルミナ粒子(30wt%)混合物中での炭素鋼の EIS を測定した。アルミナ粒子の粒径は 1 μ m, 10 μ m, 100 μ m, 1000 μ m を用いた。以下に測定例を示す。図 3.7.3・26 はアルミナ粒径 10 μ m における炭素鋼の初期の EIS 特性の経時変化である。高周波領域には約 10 Ω cm²の溶液抵抗(厳密には炭酸ナトリウム水溶液が浸透したベントナイトの抵抗)が測定され、中間周波数には容量成分、低周波数には14日までは約 1k Ω cm²の電荷移動抵抗があらわれるが、34日経過後には容量成分となる。これは腐食速度が時間とともに小さくなっていることを意味する。この結果から、腐食速度の指標である電荷移動抵抗の逆数は腐食初期におきては計測可能であるが、その後 0.1mHz の周波数でも容量成分となるため正確な炭素鋼の腐食速度の計測は困難になる。一方、測定された容量から電気二重層容量を推定すると mF/cm²の オーダーとなり、一般的な電気二重層容量 10~数 100 μ F/cm²に比較して極めて大きな値を示す。これは炭素鋼の EIS の特徴であり、この異常に大きな擬似容量は多孔質な錆に起因している。この大きな擬似容量により電荷移動抵抗があらわれる周波数領域がより低周波側へと移行するため電荷移動抵抗の測定が困難になる。図 3.7.3・26 (アルミナ粒径 1 μ m)、図 3.7.3・27 (アルミナ粒径 10 μ m)には約 1000 日までの

(アルマア枢径 1μm)、図 3.7.3-27 (アルマア枢径 10μm) には約 1000 日までの EIS 特性の変化を示す。いずれの場合にも、約 1 か月を経過すると低周波数のインピ ーダンスは擬似容量となることがわかる。したがって、電荷移動抵抗を測定できるの は初期の約 1 か月であることがわかった。ここでは、0.1mHz のインピーダンスの逆 数を腐食速度の指標として図 3.7.3-28 にプロットした。いずれのアルミナ粒径でも、 この値は約 1 か月で減少することがわかる。1 か月後の値は擬似容量を表すことから、 腐食速度の指標とはならないが、実際の 1/Ret はこの値よりは小さな値をとる。本実 験では、ベントナイトのかぶり厚さが 5mm だったため、腐食反応により酸素がすぐ に消費され、約 1 か月で水素発生型の腐食に移行している可能性がある。



図 3.7.3-26 炭素鋼のベントナイト中での電気化学インピーダンス特性(モニタリング 初期 52 日まで)温度 80℃、アルミナ粒径 10⁽m



図 3.7.3-27 炭素鋼のベントナイト中での電気化学インピーダンス特性(1065 日まで)温度 80℃、アルミナ粒径 1 µm



図 3.7.3-28 0.1mHz のインピーダンスの逆数の経時変化 下図は縦軸を拡大した図 ア ルミナ粒径:1µm,10µm,100µm,1000µm



図 3.7.3-29 3年間腐食モニタリングに使用した後のプローブ電極

(a) 1 μ m, (b) 10 μ m, (c) 100 μ m, (d) 1000 μ m,

3.8 小規模要素試験

3.8.1 試験環境の検討

高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア定置後のニアフィールドの挙動は、 廃棄体からの放熱、周辺岩盤から人工バリアへの地下水浸潤、地下水浸潤による緩衝材の 膨潤圧の発生、人工バリアや支保孔等の影響による間隙水組成の変化など、熱的、水理学 的、力学的、化学的なプロセスが相互に影響しあう連成現象が予想される[熱-水-応力-化学(Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical, THMC)連成挙動]。この THMC と時間変化 に伴う挙動のイメージを図 3.8.1-1 に示した。





図 3.8.1-1 ニアフィールドの環境条件因子と試験系の因子の例

図 3.8.1-1 にはこれらのニアフィールドでの環境条件(図 3.8.1-1 の上側)に加え、腐食 挙動に影響する項目としては廃棄体からの放射線の影響が想定されていること、及び廃棄 体の仕様について処分技術でコントロールできないことよりここでは便宜的に環境系に加 えて示した。これらの環境条件に対して試験系を設定するために考慮しなければならない 因子について図中の下側に示した。試験系では人工バリアを構成するオーバーパックと緩 衝材の仕様、試験装置を構成する試験容器等の仕様、計測に用いるセンサーの仕様及び地 下坑道を施工するために必要な支保工等(※)の仕様を考慮して、試験目的に合わせた試 験系の設定が必要である。ここでは、支保工は設計により仕様変更が可能なことを考慮し 便宜的に試験系に分類している。また、EDZの影響範囲は掘削工法や支保工の影響を受け るため支保工に分類している。これらの項目に対して想定される処分場環境の概要を表 3.8.1-1 に示した。

※; 吹付コンクリート、鋼製支保工・アンカーボルト、防水シート等排水設備、グラウト材等

試験条件の選定はこれらの環境系と試験系の因子とともに、時間変遷と環境系と試験系の 両者のスケールの相対的な関係を考慮に入れる必要がある。さらにスケールの影響につい てはスケール効果が着目する現象に与える影響や使用するセンサーの寸法が試験装置に与 える影響についても同時に考慮する必要がある。
	温味る / 計除るの用之			想定される地層処分環境 / 人工バリア仕様				
	桌	頃糸/試験糸の因子		-	腐食挙動へ影響する内容			
		時間軸		評価期間; 0 ~	· 1,000年			
		温度		▪廃棄体発熱温度 ▪ 地温	約100℃から60℃へ漸減			
		水理		 ・岩盤を流れる地下水流速 ・緩衝材内流速 	-			
環境系	ТНМС	応力		 ・オーバーパック腐食膨脹圧 ・緩衝材膨潤圧 ・静水圧 ・岩盤クリープ 等 	外圧; (7~11MPa)			
		化学		・天水由来の淡水又は海水由来の地下水 ・緩衝材の透過水組成	酸化性雰囲気→還元性雰囲気(炭素鋼酸 化・鉱物/微生物反応が寄与) 接触水の化学組成			
	廃棄体			・放射線影響 γ線 (2mGy/hr)・中性子線(0.03mGy/hr)	・照射脆化			
	L T .VUZ		材質	炭素鋼、銅、チタン	·母材材質			
		オーバーパック	溶接方法	TIG、MAG等	•溶接部金属組成			
			寸法	厚さ190mm	<u>・母材寸法</u> ・余盛り形状(溶接部処理方法)			
		经在++	材質·密度	ベントナイト	 ・(クニゲルVI相当)70%+珪砂30% ・1.6Mg/m3~ 			
		緩衝材	施工方法	ブロック、原位置充てん、ペレット、吹付等	・緩衝材とのOPの接触状態			
			寸法	厚さ700mm	・緩衝材のすき間(緩衝材間)			
=++		计段应望	材質·構造	-				
武臣		武 殿谷 岙	寸法	_	・試験容器、センサー設置による場の試験			
駅	試験装置		計測対象	-	系の乱れ等(容器・センサー材質、セン			
সং		センサー	センサー構造	—	サーケーブルによる水道など)			
			寸法	—				
		吹付コンクリート		コンクリート材料:仕様は未定	地下水の化学組成			
		鋼製支保工		鋼製材料:仕様は未定	地下水の化学組成			
		ロックボルト		鋼製材料:仕様は未定	地下水の化学組成			
	支保工	防水シート等		石油由来材料:仕様は未定	地下水の化学組成			
		グラウト		コンクリート材料、粘土系材料等;仕様は未定	地下水の化学組成			
		ブラグ		コンクリート材/金属材;仕様未定	地下水の化学組成			
		EDZ(掘削影響領域)		ニアフィールドの流速	地下水の化学組成			

表 3.8.1-1 想定される地層処分環境と腐食挙動への影響内容例

3.8.2 試験条件の選定

前節で示した地層処分場の想定される地層処分環境と腐食挙動への影響内容に対して、 本報告書で検討している工学規模試験、小規模要素試験、地上ラボ試験での特徴を考慮し て「想定される地層処分場の実環境条件と各種試験条件の相関比較」として表 3.8.2-1 に まとめた。表の試験装置の項目には、試験体の試験前の寸法測定として「試験前測定」の 行を加え、試験体を対象として腐食挙動の測定とは別に、試験体の腐食挙動の傍証とする ためにクーポンの試験片を用いる場合として「試験体/クーポン」の行を加えている。試 験体以外に、クーポンは必要に応じて用いることとした。幌延の工学規模試験は、実際の 処分環境を模して試験条件を設定しているが、全ての条件を網羅しているわけではない。 そのため、幌延の工学規模試験を補完するために「地上での工学規模試験」、「小規模要 素試験」、「地上ラボ試験」により幌延での工学規模試験で確認出来ない項目や試験条件 の違いによる腐食速度等の現象把握の補完に用いることとしている。これより、表中には 「各試験で得られる成果」を追記するとともに、幌延の工学規模試験の補完事項として「幌 延試験の補完事項」についても合わせて記載した。オーバーパックのような、有る大きさ を持った対象物に対しては土壌分野の大型構造物で問題が提起されている「マクロセル腐 食」についても考慮する必要がある。この「マクロセル腐食」は材料あるいは周辺環境条 件の不均一による局在化した箇所間の電位差が駆動力となり、局在化したアノード部位で の腐食が加速される腐食現象を指している。このことより、一般には腐食挙動を把握する 試験では試験規模が小さく、環境条件を均一化すること方が腐食挙動把握は容易になるが、 この「マクロセル腐食」の挙動はとらえにくくなることが想定される。そこで本研究では 前記までの環境条件と試験条件に加えて「小規模要素試験」ではこの環境条件の局在化も

念頭に置き試験条件の設定をおこなった。

3 - 177

			想定される地層処分環	境 / 人エバリア仕様	工学規	模試験	小規模	地上ラボ試験		
	環境	系/試験	系の因子	_	腐食挙動へ影響する内容	地下試験(幌延)	地上試験(大洗)	経時変化確認試験 (短尺OP)	パラメータ化	3電極式腐食センサ 確認試験
		時間軸	8) ~ 1,000年	約3年	最大2年半	半年~最大3年	◎(半年後、1年後、2年 後の3占)	3ヶ月~最大2年
		温度		・廃棄体発熱温度 ・地温	約100°Cから60°Cへ漸減	20℃未満(制御なし) →80℃	室温(季節変化) →80℃	地下試験条件相当	× (80°C)	15°Cに制御
		水理		・岩盤を流れる地下水流 速 ・緩衝材内流速	-	同左、必要に応じて別 途、給水	給水ノズルから給水 (圧縮ベントナイトの側 面、上面)	給水ノズルから給水	O(均一/不均一給水)	給水ノズルから給水 (圧縮ベントナイトの上 面)
環境系	тнмс	応力		 オーバーパック腐食膨 脹圧 ・緩衝材膨潤圧 ・静水圧 ・岩盤クリープ等 	外圧;	ベントナイト膨潤圧	同左	ベントナイト膨潤圧	× (ベントナイト膨潤圧 は拘束)	なし(ベントナイト膨潤 圧はN₂ガス密閉空間 に開放)
		化学		 ・天水由来の淡水又は海 水由来の地下水 	酸化性雰囲気→還元性 雰囲気	同左(上部は酸化環境 影響?)	酸化影響大? (特に脱気せず)	還元性維持方法検討	×(還元性)	大気中で組立・密閉後 に脱気水を給水、気相 脱気
				・緩衝材の透過水組成	接触水の化学組成	古海水	古海水模擬	古海水模擬	×(古海水模擬)	同左
	威 奋/	*		・放射線影響 ×線(2mGy/br)・中性子	·照射脆化	考慮せず	同左	同左	同左	同左
	/元未 i	Υ Υ		7 線(2111Gy/117) 平正] 線(0.03mGy/hr)	・水の放射線分解による 影響	考慮せず	同左	同左	同左	同左
			材質	炭素鋼、銅、チタン	・母材材質	SF340A	同左	同左	×(約400mmの短尺)	STPT370(高温配管用 炭素鋼鋼管)母材
		オーバー	溶接方法	TIG、MAG等	•溶接部金属組成	SF340A相当母材/溶 接部(<i>ф</i> 100 × 1200m mL、縦シーム2本)	同左	同左	同左	-
	人エバ		寸法	厚さ190mm	 ・母材寸法 ・余盛り形状(溶接部処理 方法) 	母材/溶接部(<i>ф</i> 100 × 1200mmL、縦シーム2 本)	同左	同左、ただし、短尺	×(約400mmの短尺)	_
	リア		材質·密度	ベントナイト	・(クニゲルVI相当)70%+ 珪砂30%	同左	同左	同左	◎(圧縮ベントナイトブ ロックに設けたスリット 種類の影響・スリットな しとの比較)	圧縮ベントナイトブロッ ク、ただし、下部側は 砕いた圧縮ベントナイ ト
		緩衝材			•1.6Mg⁄m3~	•1.6Mg⁄m3~	•1.6Mg⁄m3~	•1.6Mg⁄m3~	同左	•1.0Mg⁄m3~
			施工方法	ブロック、原位置充てん、 ペレット、吹付等	・緩衝材とのOPの接触状態	ブロック	同左	同左	同左	ブロック又は充てん
			寸法	厚さ700mm	・緩倒材のすざ间(緩倒材 間)	厚さ100mm	同左	同左	同左	100mm以下
		材質・構造 –			周辺岩盤・押さえ蓋	試験容器・押さえ蓋	試験容器・押さえ蓋	×(拘束条件統一)	円筒形試験容器・押さ え板(密閉)	
試験系		試験容器	寸法	_	・試験容器、センサー設	オーバーパックと同一 長さ	オーバーパックと同一 長さ	短尺	同左	数cm
杀	= +		・試験谷都、センサ 計測対象 ー 置による場の試験 批判対象 ー れ等(容器・センサ)		置による場の試験系の乱 れ等(容器・センサー材 質、センサーケーブルに					
	品験装置	センサー	センサー構造	-	よる水道など)	★3電極式腐食センサ ★ACMセンサ ・熱電対	*3電極式腐食センサ *ACMセンサ ・熱電対	★3電極式腐食センサ ★ACMセンサ ・熱電対	し(ACMセンリのみを 基本とし、3電極式腐 食センサとの併用条件 も追加)	★3電極式腐食センサ ・熱電対
			寸法	-						
		試験体/ 減量証研	ーーーーー クーポン 「時期			約3年後・1点	最大2年半後·1点	半年後、1年後、2年後 の3点	◎(評価期間に一致)	試験終了/開放時・1点
		試験前測	」定			3次元計測	3次元計測	3次元計測	×(3次元計測、重量)	重量(受領測定用TP)
		吹付コン	クリート	コンクリート材料:仕様は	地下水の化学組成					
		鋼製支係	¢۲	木正 鋼製材料;仕様は未定	地下水の化学組成					
		ロックボル	νŀ		地下水の化学組成					
	支 保	防水シー		石油由来材料;仕様は未 定	地下水の化学組成	考慮せず	同左	同左	同左	同左
	Т	グラウト		コンクリート材料、粘土系材料等・仕様は未定	地下水の化学組成					
		プラグ		コンクリート材/金属材; 仕様未定	地下水の化学組成					
		EDZ(掘	削影響領域)	ニアフィールドの流速	地下水の化学組成					
			各	試験で得られる成果		実処分環境に近い地 下での溶接部腐食挙 動、センサー適用性	制御環境での溶接部 腐食挙動、センサー適 用性	制御環境での試験期 間パラメータとした溶接 部腐食挙動	 ・評価期間(~2年の腐 食速度の経時変化) ・スリット有無とスリット 形状の影響 ・給水の均一/不均一 性 	膨潤ベントナイト中の3 電極式腐食センサによ る腐食速度の連続計 測
幌延試験の補完事項				_	環境条件制御 幌延取り出し方法、取 り出し後評価方法	環境条件制御 試験中間時の溶接部 腐食挙動(実測)		環境条件制御 腐食の連続モニタリン グの成立性、および定 量性		

表 3.8.2-1	想定され	る地層処分場の)実環境条件と	各種試験条	件の相関比較
-----------	------	---------	---------	-------	--------

各項目の概要について以下に示す。

○時間軸

地層処分の実環境では、オーバーパックが内部の核種閉じ込め性能を保持する時間と して少なくとも1,000年の寿命を担保するよう設計される。一方、「工学規模試験(地 上・地下試験)・小規模要素試験・地上ラボ試験(三電極式腐食センサの性能確認試 験)」(以後「本検討で実施中あるいは計画中の試験」と呼称)では、評価期間やセ ンサー寿命などを考慮した場合の現実的な試験期間として半年~約3年を設定する。

【環境系】

①温度

温度条件は地層処分の実環境で考慮すると、ガラス固化体の発熱による温度上昇が生 じる一方、緩衝材が 100℃を超過することが無いよう人工バリアが設計され、解析等 による検討で、約 100℃から漸減していくとされている。そこで、本検討では、試験 温度としてオーバーパック表面温度を 80℃に加熱・保持制御する方針とする。温度 80℃は、他に比較対象となるラボスケールの腐食試験の実績がある点でも有効と考え られる。

②水理

オーバーパック近傍の水理条件は、緩衝材により拡散場となっていると想定される。 ただし、初期の緩衝材が不飽和な過渡的状態では、緩衝材ブロックなどの隙間がある 程度大きい場合には、地下水とオーバーパックが比較的早い時期に接触することが想 定される。このため、この隙間の存在が場の不均一性を発生させ、その結果マクロセ ル腐食が発生する現象に着目し、環境が制御可能で、かつある程度の寸法で不均一な 場が表現できる小規模要素試験でこの現象を確認することとした。また、必要により、 地上ラボ試験で不均一な環境条件を考慮する試験系の検討を実施することとした。例 えば、地上ラボ試験の寸法レベルでの分割鉄筋を用いたマクロセル試験等が本検討で の試験条件に対応できるかなどの検討を考慮している。

③応力

応力は実際の地層処分環境では緩衝材飽和に伴う膨潤圧の他、水圧・岩盤クリープ・ 腐食生成物による体積増加に伴う圧力増加が考えられる。一方、「本検討で実施中あ るいは計画中の試験」では、試験期間が半年から1年程度と短いため、オーバーパッ クの腐食膨脹により発生する顕著な緩衝材からの圧密反力は発生しないことより試験 条件としては考慮しないこととした。

地下水水圧については実際の処分環境での処分場は工事期間が数十年におよび、その 間には処分場周囲は処分場施工や維持のための排水により地下水位が回復しないこと より、地下水による水圧は考慮しないこととした。

岩盤クリープについては数年間のオーダーでは顕著な岩盤クリープの現象は発現しな いため考慮しないこととした。

緩衝材飽和に伴う膨潤圧は、人工バリア設置直後より発現するため、試験条件には緩 衝材ブロックの膨潤挙動として考慮することとした。

④化学

深部地下水の特徴として酸化還元状態が炭素鋼の酸化や鉱物/微生物反応等により 「還元性」となることが挙げられる。工学規模試験の地下試験では供給される地下水 が還元性となっていることから、比較対象として工学規模試験の地上試験や小規模要 素試験・地上ラボ試験でも還元性維持の方法を検討する必要がある。このうち、比較 的大型の「工学規模試験の地上試験」では還元性の維持が技術的に困難と考えられる ため別途検討が必要となる。

試験で設定する「水質」は、工学規模試験・地下試験の環境となる「古海水」を基準 として、これを試薬等で模擬した「模擬古海水」を活用する。前記の「酸化還元状態」 で工学規模試験の地上試験装置に導入する模擬古海水の調製にあたり、「還元性維持」 を行なわない場合の液性への影響をあらかじめ検討する必要がある。

地層処分で定置した廃棄体あるいは本検討の試験体周囲への地下水の供給は、長期的 には均一となると考えられる一方、短期間では不均一となる可能性が高い。短期間の 地下水供給による緩衝材飽和・OP 表面への地下水の到達の条件等が不均一となり、 試験体全体のスケールで見た場合に腐食の偏在につながる可能性があることから、試 験パラメーターの候補と考えた。

⑤廃棄体の放射線影響

廃棄体の放射線影響は特にオーバーパック表面近傍に生じる酸化性化学種の影響とし て考慮が必要となるが、生成濃度分布等は保守的に評価せざるを得ず、腐食量が過大 になる可能性もあることから、本検討では考慮しないこととした。 【試験系】

①オーバーパック

工学規模試験と小規模要素試験ではオーバーパックは実処分で想定されている炭素鋼 と同等の母材である SF340A を前提とし、溶接部は母材相当の材料を考慮して、TIG 溶接を前提に試験体を製作する。地上ラボ試験では、試験の簡便性を考慮して STPT370(高温配管用炭素鋼鋼管)等も材料候補とした。

②緩衝材

緩衝材仕様は基本的に地層処分への適用を想定する乾燥密度 1.6Mg/m³以上の圧縮成 形したベントナイト(クニゲル VI 相当 70%+ケイ砂 30%)とする。一方、緩衝材ブ ロック間に生じ得る隙間は、そこに接するオーバーパック表面への地下水供給(特に 未飽和状態での初期)に影響し、腐食の偏在につながる可能性があることより、ブロ ック成型により生じる隙間等を考慮して実験条件を設定することとした。

③試験装置

試験装置は「工学規模試験」、「小規模要素試験」、「地上ラボ試験」の寸法形状や 試験目的に即した試験容器及びセンサーを選定する。また、「工学規模試験」、「小 規模要素試験」では、腐食速度の参照とするため必要によりにクーポンの設置とする。 試験体の試験前の形状測定は「工学規模試験」、「小規模要素試験」では試験体があ る程度の大きさとなることより、三次元計測の実施を前提とする。

センサーについては、大学などでの検討をしている最新のセンサー類についても調査 を継続し、有効性があると判断されたセンサーについては必要により試験系に追加す ることとした。

④支保工

支保工の存在は地下水化学組成に影響を与え、腐食挙動を加速することも想定されるが、本研究では実環境での支保工の影響が不明であることや、支保工の存在が腐食速度を保守側に見積もってしまう可能性を考慮して、試験条件では考慮しないこととした。

3.8.3 小規模要素試験条件案

一般に腐食には寸法効果が認められることが多く、全面腐食の局在化を念頭に置いた場 合、最大腐食深さは寸法(接液面積)に応じて深くなることが認められる。しかしながら、 局在化の見積は、先行の検討結果もあり、統計手法を用いることによって補うことが可能 で、むしろ、「温度に代表される環境」の評価のために試験点数を増やすためには、もう 一段の小型化の検討が必要となる。そこで、工学規模試験で使用する OP 溶接試験体と同 外径で、長さのみ異なる(例えば 1,200mmL→400mmL)複数の短尺の OP 溶接試験体を使 った試験として、「小規模要素試験」の試験条件を表 3.8.3-1 に、試験装置のイメージを 図 3.8.3-1 に示す。

小規模要素試験での重要なパラメーターとして「温度」「時間」「緩衝材隙間種類」「地下水流の不均一性」を考慮し、優先して評価すべきパラメーターとして「時間」「緩衝材隙間種類」の2点を挙げる。表 3.8.3-1 で黄色にマスクした条件(No.4-No.8)はこれら2 点をパラメーターとした場合の試験条件の例である。



(a)緩衝材ブロック外観
 (b)カットモデル オーバーパック試験体溶接部
 図 3.8.3-1 小規模試験装置イメージ

\setminus					Þ	国子/パラメー	タ								
\setminus	泪座(℃)	酸化/	酸化/ 還元性 水質	水流/濡れ	緩衝材	圧力/容器	試驗休	放射線	センサ	追悉		試験其	朋間(年)	
	加及(0)	還元性		710/ /m/ 0	1100 (主) [17]		마시에지 마다			ШΗ	0	.5	1	2	(共 土
	15/地温	脱気/密閉	古海水/模擬	均一	圧縮体/重ね	膨潤圧/拘束	模擬短尺*1	なし	3電極		1st	2nd∼	•		加方
	25/室温	-	-	不均一	圧縮体/スリット設置	-	_	模擬/酸化剤	ACM						
	60/加温	-	-	-		-	_	-							
	80/発熱	-	-	-	-	-	-	-	-						
1	15	脱気/密閉	古海水/模擬	均一	圧縮体/重ね	膨潤圧/拘束	模擬OP短尺	なし	ACM	1		0			1~4で温度影響
2	25	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0				同上
3	60	Î	1	Î	1	Î	Î	1	1	3		Δ			同上、80℃乾燥対応
4	80	脱気/密閉	古海水/模擬	均一	圧縮体/重ね	膨潤圧/拘束	模擬OP短尺	なし	ACM	4	Ø				4の実施後5へ転用
5	80	↑	Î	1	1	Î	Î	1	1	5			→©		4の実施後に実施
6	Ť	↑	1	1	1	Ť	Î	1	ACM/3電極	6				Ø	3電極設置*2
7	Ť	↑	Î	1	圧縮体/スリット設置	Ť	Î	1	ACM/3電極*3	7			Ø		緩衝材スリット(形状案1)
8	1	↑ (1	1	<u> </u>	1	1	1	↑	8			Ø		緩衝材スリット(形状案2)
9	1	↑	1	不均一	圧縮体/重ね	↑	Î	1	ACM	9	0				不均一分布影響

表 3.8.3-1 小規模要素試験条件案

注記

*1 溶接した模擬OP(\$ 100)の短尺(400L)

*2 3電極センサ設置、計測は計測システム機器があるときのみ

*3 スリット形状案1と案2のいずれかに3電極センサを設置

3.8.4 小規模要素試験の実施スケジュール検討

小規模要素試験の実施スケジュール案を表 3.8.4-1 に示す。

装置設計及び製作をH27年度前半の早期に完了のうえ、H27年度の後半から試験を開始する。経時変化確認試験は同一のOP溶接試験体を半年・1年の試験に供する他、単独で2年間の試験も同時に開始する。ベントナイトブロックの隙間の影響確認を目的とした試験の試験開始はH27年度の後半開始を予定する一方、試験期間は試験中・試験後の評価内容により最適な期間への変更を検討する。

実施項目	H27 年度 (前半)	H27 年度 (後半)	H28 年度	H29 年度
装置設計				
製作				
経時変化確認試験(半年・1年)				
経時変化確認試験(2年)				
ベントナイトスリット形状影響確認試験(条件 1)				
ベントナイトスリット形状影響確認試験(条件 2)				

表 3.8.4-1 小規模要素試験の実施スケジュール

3.9 まとめ

3.9.1 単純系の腐食試験

本年度は低酸素雰囲気の炭素鋼溶接部、チタンの浸漬試験を適切に維持管理を実施した。

3.9.2 複雑系の腐食試験

平成25年度に策定した計画に基づき、溶接部の腐食挙動に係わるデータを取得するために 以下の項目について設計・製作・検討を実施した。

・試験概念に基づく、地上/地下施設用の試験設備の詳細設計

昨年度実施した予備試験及び本年度の検討成果を受けて、地上(茨城県、日揮大洗研究 所)に設置する工学規模試験装置と幌延 URL に設置する工学規模試験装置の設計検討及び 試験装置設置方法の検討を実施した

・地下施設用の試験設備の製作および試験設備の構築手順の確認

地下施設用の工学規模試験装置を構成する各装置についての設計、製作や定置作業時に 必要となる付帯設備等の製作を行った。製作した試験設備には摸擬オーバーパックや緩衝 材等の試験体とそれに付随するセンサー類や給水設備、電気・制御系設備、湧水対策設備、 充てん珪砂の仕様設定等を含めて製作、準備した。また、地下での構築手順を設定し、幌 延 URL での工学規模試験装置構築に先立ち、地上試験施設にて事前組立を行い、現場での 構築手順が有効であることを確認した。

・幌延 URL での試験設備の構築、および試験データの取得

上記構築手順に従い幌延 URL で工学規模試験装置の構築を行った。また、工学規模試験装置設置後より試験データの取得を開始した

・幌延 URL での試験状況を踏まえた、地上施設での試験条件の設定

幌延 URL での試験状況を踏まえた、地上施設での試験条件の設定を行った。

・腐食計測技術の適用性確認調査

大学などでの検討さけている最新のセンサー類についての調査を継続し、それらの有効性 について検討を行った。

小規模要素試験

幌延 URL での工学規模試験を補完するために、次年度以降から実施を予定している小規模 要素試験条件等について分析し、試験ケースの案を提示した。 参考文献

- [1] わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発
 第2次とりまとめ 分冊2 地層処分の工学技術,核燃料サイクル開発機構, JNC-TN1400 99-022, 1999
- [2] 本間信之、千葉恭彦、棚井憲治: JNC-TN8400-99-047、1999.
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成13年度 高レベル放射性廃棄物処分 事業推進調査 報告書-遠隔操作技術高度化調査-(1/2)、2002.
- [4] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成14年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2003.
- [5] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 15 年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2004.
- [6] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 16 年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2005.
- [7] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成17年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/3)、2006.
- [8] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成18年度 地層処分技術調査等 遠隔 操作技術高度化調査 報告書(1/2)、2007.
- [9] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成19年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 1分冊) -遠隔操作技術高度化開発-(1/2)、2008.
- [10] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 21 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 1分冊) -遠隔操作技術高度化開発-(1/2)、2010.
- [11] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成22年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第
 1分冊) 一遠隔操作技術高度化開発-、2011.
- [12] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成23年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1分冊) -遠隔操作技術高度化開発-、2012.
- [13] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成24年度 地層処分技術調査等事業 高 レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1 分冊) 一遠隔操作技術高度化開発-、2013.
- [14] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 16 年度 地層処分技術調査等 バリ ア機能総合調査 報告書 -人工バリア特性体系化調査-、2005.
- [15] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 17 年度 地層処分技術調査等 バリ ア機能総合調査 報告書 -人工バリア特性体系化調査-、2006.

- [16] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 18 年度 地層処分技術調査等 バリ ア機能総合調査 報告書 -人工バリア特性体系化調査-、2007.
- [17] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 19 年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第
 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-、2008.
- [18] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 20 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2009.
- [19] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 21 年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2010.
- [20] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成22年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2011.
- [21] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成23年度 地層処分技術調査等委託費
 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第
 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2012.
- [22] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成24年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第 2分冊) -人工バリア品質評価技術の開発-(1/2)、2013.
- [23] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成25年度 地層処分技術調査等事業 処 分システム工学確証技術開発 報告書(第1分冊) 人工バリア品質/健全性評価手 法の構築-オーバーパック、2014.
- [24] 弱アルカリ性およびアルカリ性環境における炭素鋼オーバーパックの局部腐食進展 挙動、JNC TN8400 2003-016
- [25] ASTM D 1141, Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water
- [26] 松山晋作:遅れ破壊、日刊工業新聞社、1989.
- [27] 小田治惠、柴田雅博、油井三和: JNC TN8400 99-078、1999.
- [28]
- [29] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成19年度 地層処分技術調査等 TRU 廃棄物処分技術 ヨウ素・炭素処理・処分技術高度化開発報告書(第2分冊)・C-14 の長期閉じこめ技術の高度化・、2008.
- [30]
- [31] 核燃料サイクル開発機構、東海事業所、熱・水・応力・化学連成試験(I)(研究報告)、2004年2月、JNC TN8400 2003-033

- [32] OECD/NEA 2001 レポート、(翻訳資料)、2004 年 3 月、核燃料サイクル開発機構 東海事業所、放射性廃棄物処分プログラムにおける地下研究施設の役割
- [33] 幌延深地層研究計画 地下研究施設整備(第Ⅱ期)等事業 要求水準書(平成22年)
- [34] 宮澤正純, 電気化学ノイズモニタリング法による腐食管理の現状と今後の課題, 材料 と環境,49,337-342(2000)
- [35] 谷口直樹,川崎学,杉田裕,柴田雅博,本田明:第61回材料と環境討論会 予稿集、 B-209
- [36] (第2分冊)人工バリア品質/健全性評価手法の構築-緩衝材
- [37] 炭素鋼オーバーパックの試作、PNC TN1410 92-059、動力炉・核燃料開発事業団、 1992.
- [38] オーバーパック設計の考え方、JNC TN8400 99-047、核燃料サイクル開発機構、1999.

第4章 メカニズム解明の腐食試験

4.1 総論

単純系での腐食試験では、酸化性/還元性雰囲気での浸漬試験や、SCC 感受性評価試験 など実施し、これまでに溶接部の均一/不均一腐食、腐食速度、割れ感受性などに係わる 知見を拡充することで、製作されたオーバーパックの腐食挙動を評価してきた。

第2章で述べたように、オーバーパックの閉じ込め性は数千年から数万年以上の非常に 長い期間で要求される機能ではあるが、実際に挙動を評価出来るのは極初期の部分だけで ある。このような初期の挙動で長期健全性を評価する場合の弊害については、第2章でも 述べた通りであるが、実際の腐食試験においても以下のような項目が課題として挙げられ ている。

✓ 酸化性雰囲気での浸漬試験より

本年度分析した 365 日間の浸漬試験の結果は、昨年度分析した 400 日間の結果と大 きな差が生じた。しかしながら両者の浸漬期間の差において、大きな差が生じる要因 が明らかになっていない。自然浸漬試験の結果のみで工学的対策の効果を評価するに は、試験点数を増やすなどの更なる対応が必要と考えられる。今後は溶接試験体の材 料因子に着目した腐食メカニズムの観点からの評価を実施し、品質改善手法の妥当性 を提示することが必要である。

✓ 還元性雰囲気での浸漬試験より

現在実施中の還元性雰囲気での浸漬試験は、最長 10 年間の腐食挙動および腐食に 伴う水素吸収挙動の取得を目的として実施している。しかしながらオーバーパックに 期待される閉じ込め期間である 1000 年間と比較すると、ごく初期の腐食挙動を把握 したに過ぎない。今後は長期浸漬試験の適切な維持管理を実施すると共に、溶接試験 体の材料因子に着目した腐食メカニズムの観点からの評価も実施することが重要で ある。特に腐食に伴って発生する水素が材料の脆化におよぼす影響については、鋼中 の水素が最大でどの程度まで上昇するのかを明らかにする必要がある。

✓ 応力腐食割れ感受性評価より

炭素鋼溶接部の SCC 感受性が高くなるとされる炭酸塩/重炭酸塩環境かでの感受性 評価試験において、溶液単独の場合では濃度の低下に伴って感受性も低下し、地下処 分環境で想定される濃度では SCC 感受性は消失する。しかしながら、緩衝材共存環境 では低濃度になっても試験片にクラックなどが認められる。この現象について、緩衝 材が感受性を上昇させる因子として働いているのか、緩衝材共存環境で電圧を印加す る電気化学的な加速試験方法によるものなのか判断が出来ない。緩衝材が感受性を上 昇させる要因として働くのであれば、人工バリアの長期健全性評価上重要な課題とな るが、実験手法によるものであるならば、適切な方法で再度検証を行なう必要が生じる。

以上をまとめると、以下の検討すべき項目が抽出される。

- 溶接試験体の材料因子に着目した腐食メカニズムの観点からの評価
- 鋼中水素濃度の経時変化を評価する手法
- ・ 緩衝材共存環境下における電気化学試験の手法の妥当性評価

ここに挙げた以外にもメカニズムの観点から評価すべき課題はあると考えられるが、本年 度はこれらのうち、耐食性におよぼす材料因子の影響、および腐食評価試験におよぼす緩 衝材の影響から検討を開始した。

4.2 溶接部材料因子の影響評価

4.2.1 概要

人工バリア品質評価技術の開発において実施した溶接部の品質改善手法検討では、TIG や MAG といったアーク溶接で製作したオーバーパック溶接試験体の溶接金属で発生した 選択腐食に対して工学的対策を検討した。この検討では、溶接材料の改良を対策技術とし て提示するとともに、溶接金属に Ni を 0.25%程度添加すると選択腐食が改善されることを 実験的に示した。今後は Ni による改善効果について、メカニズム解明には至っていない。

4.2.2 耐食性評価試験から課題の抽出

平成 22 年度に実施した、改良溶接材料の電気化学試験による品質改善手法の検討では、 溶接部で選択的に腐食をする部位は、多層盛り溶接時に次パスの熱影響を受けていない原 質部であることが示された。この現象は従来溶接材料では顕著であるが、Ni を添加した改 良溶接材料の溶接試験体でも生じた。このことから化学成分が同じである場合、溶接部の 腐食挙動は金属組織に依存すことが示唆された。

これまでに実施した、酸化性/低酸素雰囲気での浸漬試験より、各溶接手法の特徴と腐 食挙動の関係を表 4.2.2-1 にまとめた。低酸素性雰囲気での浸漬試験では溶接手法による腐 食挙動に差はみられず、酸化性雰囲気における浸漬試験でのみ腐食の均一/不均一挙動に 違いが生じた。

表 4.2.2-1 溶接手法ごとの浸漬試験の結果

溶接 方法	化学成分	組織構成	酸化性雰囲気	還元性雰囲気	
TIG	溶接材料の 影響あり	多層盛り 原質部/再熱部	溶接部にて 選択腐食が発生		溶接部-母材間で 顕著な差は生じない
MAG	溶接材料の 影響あり	多層盛り 原質部/再熱部	溶接部にて 選択腐食が発生	溶接材料 の改良	溶接部-母材間で 顕著な差は生じない
EBW	母材と同じ	1パス 原質部	溶接部-母材間で 顕著な差は生じない		溶接部-母材間で 顕著な差は生じない

アーク溶接手法である TIG や MAG と、EBW を比較した場合、両者の大きな違いは溶接材 料の使用による母材と溶接金属の化学成分の違い、および溶接組織の構成である。酸化性 雰囲気での浸漬試験において、EBW のみ均一な腐食挙動を示し、TIG や MAG では溶接部 の選択腐食が発生したが、これらは化学成分と組織の違いに起因するものと考えられる。 一方でアーク溶接にて生じた選択腐食は、溶接金属内での均一/不均一腐食であり、局所 的な偏析を除けば化学成分に大きな差は無いにも関わらず発生している。この2つが示唆 するところは、均一/不均一腐食は化学成分と組織の違いによって生じるものであるが、 組織の違いのみでも生じることである。

化学成分と金属組織、この2つの大きな因子について溶接部の均一/不均一腐食におよ ぼす影響を評価するためには、両者を分離して個別に評価する必要がある。しかしながら 化学成分は溶接手法に、金属組織は化学成分と入熱履歴に依存するものであり、通常の溶 接方法では分離して検討することが難しい。

4.2.3 化学成分を統一した溶接試験体の作製

アーク溶接材料の添加元素は、その溶接作業時の入熱を考慮して、目的の機械的特性が 得られるように設計されている。MAG の場合は脱酸素材としての Mn や Si が必須である が、不活性ガスを使用し施工する TIG の場合、溶接部の機械的特性を無視すれば、任意の 化学成分の溶接材料で施工が可能であると考えられる。また非消耗電極であるから、ホッ トワイヤー施工やワイヤーの耐食性を除けば Cu コーティングも不要となる。この特性を利 用して以下しめす工程で化学成分を揃え溶接組織が異なる試験片作製法を考案した。

溶接試験体母材の調達

溶接施工性を考慮し、試験の目的に合うように母材の候補材料を選定する。

② TIG 溶接ワイヤーの作製

①の母材を伸線加工し、アーク溶接用ワイヤーを作製する。

③ TIG 溶接試験

①の母材に対して②のワイヤーで TIG 溶接を施し、母材と同一の化学成分を有する 多層盛り溶接金属を得る。

④ EBW 溶接試験

①の母材に対し EBW を実施し、母材と同一の化学成分を有する1パスの溶接金属を 得る。

このようにして取得した③と④に対して、組織観察および耐食性評価試験を実施し、溶 接組織の違いが腐食挙動におよぼす影響を調査する。その結果より金属組織による腐食メ カニズム解明へ展開する。

本年度は溶接試験体の製作試験、および電気化学的手法による溶接金属部の選択腐食の再現試験を実施した。

4.2.4 溶接試験体の製作

(1) 溶接試験体母材の調達

1) 鋼種の選定

本試験は溶接金属の材料因子の影響を調査することが主目的である。そのため母材 については JIS G 3106 SM400B とした。表 4.2.4-1 に調達した SM400B のミルシー ト値を示す。

表	4.2.4-1	SM400B の化学成分^
-1-1	1.2.1 1	

JIS G3106 SM400B	С	Si	Mn	Р	S
素材 Inspection sheet	0.14	0.21	1.11	0.016	0.004
JIS 規格値 50mm < t ≤200mm	≤ 0.22	≤ 0.35	0.60 ~1.50	≤ 0.035	≤ 0.035

2) 形状寸法·数量

製作する TIG、EBW 溶接試験体の製作条件を考慮し、供試体の寸法を決定した。 全ての供試体の化学成分を同一とするため、厚さ 110mm の一枚の板材から製作した。 表 4.2.4-1 に製作する供試体の諸元を示す。

番号	寸法(mm)	数量(体)	用途
1	200w×300L×100t	8	EBW 予備試験用
2	300w×500L×100t	2	EBW 本試験用
3	100w×300L×30t	6	TIG 予備試験用
4	160w×1,200L×100t	2	TIG 本試験用
5	□50×1,000L	2	TIG 溶接ワイヤー製作用
6	260w×1,300L×100t	1	TIG 溶接用拘束板

表 4.2.4-2 製作した供試体の種類・寸法・用途

3) 機械加工·切断

表 4.2.4-1 に従い、SM400B 厚板から供試体を採取した。図 4.2.4-1 に元材からの 供試体採取位置、図 4.2.4-2 に元材の外観写真を示す。元材からガス溶断および機械 加工により、所定の形状に仕上げた。ガス溶断の場合は入熱影響部を除去した。 加工した供試体の外観写真を図 4.2.4-3、図 4.2.4-4 に示す。

				1-	-90					
210	210		325		170	170	60	60	270]
³¹⁰ ①	³¹⁰ ①									
		510	2							
					4	4	5	5	6	
³¹⁰ ①	³¹⁰ ①				1210	1210	010	010		
		-			1210	1210	-	1	1310	,
310	310 ①	510	2		2					
9	Ú.									
12.000										
310 _①	310 ①	106	106	106						
-		310 ③ 2段	310 ③ 2段	310 ③ 2段						
										-

1495

図 4.2.4-1 元材からの供試体採取位置



図 4.2.4-2 元材外観写真



図 4.2.4-3 TIG 溶接用ワイヤー製作用供試体 (No.5)



図 4.2.4-4 その他の供試体

(2) EBW 溶接試験体の製作

EBW は1パスで全層溶接を実施した。最終層のコスメビード部を除いて多重入熱サイクルを受けていない溶接金属の取得を目的として実施した。

1) EBW 装置の諸元

表 4.2.4-3 に本溶接試験で使用した EBW 装置の仕様を示す。溶接を実施するチャンバー内での試験体と電子銃の位置関係は図 4.2.4-5 のとおりである。

項目	仕様
電子銃	○出力 : 150kW (100kW)
	○加速電圧 : 150kV (100kV)
	○ビーム電流:1A(1A)
駆動系	○制御方式 : 3 次元同時 NC (3 次元同時 NC)
	○Xストローク:600mm (1000mm)
	○Yストローク:1400mm (400mm)
	○回転 : 360° (360°)
チャンバー	○有効寸法:5.2mW×6.7mL×7.9m H (2.9mW×2.9m L×3.4m H)
排気系	○真空度:5×10 ⁻⁵ ~5×10 ⁻⁴ torr (5×10 ⁻² ~5×10 ⁻⁴ torr)

表 4.2.4-3 EBW 装置の仕様

電子銃

熱電対



図 4.2.4-5 試験体の設置状況

2) 溶接条件取得のための予備試験

EBW 溶接条件は平成 15 年度に実施した EBW 溶接試験体の製作の条件を基本とした。母材の化学組成が異なるため、供試体①を用いた予備試験を実施し、適切な溶接条件の確認を実施した。表 4.2.4-4 に予備試験で選定した溶接施工条件を示す。電子銃の加速電圧が平成 15 年度の 100kV から 150kV に増加した分、電子ビームの貫通能力が向上し、溶融金属のたれが抑制された良好な溶接ビードが得られた。また溶融金属の垂れが抑制されため、垂れ防止のための溝加工が不要になった。

項目	本溶接	コスメビード
加速電圧	150kV	150kV
ビーム電流	300mA	30mA
溶接速度	175mm/分	300mm/分
+2.1. 2.= 3.	形状:円	形状:面
790-930	周波数:1000Hz	周波数:1000Hz
真空度	≦5×10 ⁻⁴ torr	

表 4.2.4-4 EBW 施工条件

3) 溶接時の入熱履歴の計測

溶接時の入熱履歴と溶接組織の関係を評価するための知見として熱履歴を取得するため、図 4.2.4-6のように K 熱電対をビード近傍に設置した。

4) 本溶接試験

表 4.2.4-4 の溶接施工条件に従い、供試体②に対して EBW を 2 本施工した。EBW 後の溶接ビード外観を図 4.2.4-7 に示す。表ビードは、溶融金属の垂れが始端部以外 には無い安定した施工状況を示し、コスメビードの施工によりなだらかな凹凸形状を 確保できていた。裏ビードは、裏面まで貫通が確保できており、若干の凹凸が認めら れた。

5) 検査

裏ビードの凹凸をグラインダーで平滑まで仕上げた後に実施した放射線透過試験の結果を表 4.2.4-5 に示す。溶接線1は欠陥無し、溶接線2は溶接開始から約215mmの個所に2mmの融合不良1個が認められた。

溶接線1の中央部から採取した断面マクロ試験結果を図 4.2.4-8 に示す。断面マクロ観察面では本溶接、コスメビード1・2 とも溶接欠陥の無い良好な溶接部であった。 また、この試験結果から溶接部の溶融境界から熱電対取り付け位置までの距離の計測 を行った。ただし、表面から46mmの位置に濃い母材の偏析層が認められた。



図 4.2.4-6 溶接熱履歴計測用の熱電対の設置位置



(a) 表ビード



(b)裏ビード

図 4.2.4-7 EBW 施工後の溶接ビード外観

表 4.2.4-5 放射線透過試験結果(まとめ)

溶接線	指示欠陥
1	欠陥無し
2	融合不良 2mm×1か所



(a)A視



(b)B 視

図 4.2.4-8 断面マクロ試験結果(熱電対設置位置)

6) 溶接入熱履歴の測定結果

図 4.2.4-9 に本溶接施工時溶接熱サイクルを K 熱電対を用いて計測した結果を示す。



図 4.2.4-9 本溶接における溶融線からの距離と入熱の関係



図 4.2.4-10 溶融線からの距離による最高到達温度、および冷却時間への影響





図 4.2.4-11 コスメビード溶接における溶融線からの距離と入熱の関係

(3) TIG 溶接試験体の製作

化学成分を固定し、多層盛りによる多重溶接熱サイクルを受け金属組織が異なる溶接 試験体を TIG 溶接により製作した。

1) 共金溶接用ワイヤーの製作

供試体⑤伸線して TIG 溶接試験用の溶接材料(ワイヤー)を製作した。溶接材料は圧延 工程と伸線工程の2工程で製作した。なお、製作する溶接材料はメッキレスワイヤとし、 鋼材に含まれない Cu 元素の混入を防止した。

a.圧延工程

供試体⑤(□50×L1,000mm)を加熱炉で所定の温度に加熱した後、圧延により線材とし、コイルに巻き取った。

b.伸線工程

圧延した太径の線材を複数のダイスを用いて細径に伸線し、溶接ワイヤーとした。
直径 9.5mm から直径 1.2mm まで、5回の伸線工程と3回の焼鈍を実施した。伸線
工程を図 4.2.4-13~図 4.2.4-14 に示す。

c.防錆処理

製作したワイヤーは Cu メッキを施していないため、保管時の耐食性が課題である。 そのため、ワイヤー表面に防錆を目的とした薬品を塗布した。薬品塗布による溶接 施工性については、予備試験で確認することとした。





図 4.2.4-12 太径線材の外観と巻き取り作業状況





図 4.2.4-13 線材の焼鈍工程





図 4.2.4-14 最終製品のスプールへの巻取り状況

2) 溶接試験体開先形状および溶接条件

溶接方法は『遠隔操作技術高度化調査』および『遠隔操作技術高度化開発』にて整備した溶接手法のうち、TIG 溶接(2 電極高能率 TIG 溶接法(SEDAR-TIG))を採用した。溶接姿勢は下向きとした。図 4.2.4-15 に過年度の報告書で検討されたオーバーパックの落し蓋溶接開先形状(TIG 溶接)を例示する。溶接条件を以下に示す。
開先形状 : U溝開先、 底部半径 5R、 開先角度 2.5°×2. 開先深さ 20mm
溶接条件 : 溶接電流 500~540A ※2 電極の合計 アーク電圧 10.0~10.5V

溶接速度 6.2~7.4cm/min ワイヤー速度 2.0m/min



図 4.2.4-15 オーバーパック落し蓋構造の溶接開先形状(TIG 溶接)

3) 共金溶接ワイヤーの溶接施工性評価予備試験

母材と同一の鋼材を伸線することで製作した共金溶接ワイヤーには、溶接性を向上 させるための添加元素が含まれていない。本試験に先立ち、溶接施工性を確認するた めの予備試験を実施した。ワイヤー送給性および溶融金属の濡れ性を評価するための ビードオンプレート溶接には SM490、溶接性の予備試験には供試体③ (100w×300L×30t)を使用した。比較対象はTIG溶接用ワイヤーTG-S50(JIS Z 3315 W49A3U 16)とした。

図 4.2.4-16 に TG-S50 と共金溶接ワイヤーの試験結果を示す。潤滑剤を塗布しない 状態でも安定した連続送給が可能であった。ビードオンプレートにおいて、共金ワイ ヤーのビード幅が TG-S50 比べて 10%程度狭い傾向(粘性増加)が見られた。しかし、 止端の濡れ角度は緩やかであり、溶接には問題ないと判断した。また、TG-S50 には 見られない細かいスパッタが若干発生したが、これも溶接性への影響が無いレベルで あった。U溝開先でも安定した溶接が可能で、断面マクロ試験結果では融合不良の無 い健全な継手が得られていた。なお、最終層に数個ブローホールが見られたが、開先 内やビードオンプレートには見られないことから溶接時に何らかの外乱の影響を受 けたものと思われる。

防錆剤を追加塗布した共金ワイヤーに対しても同様の評価試験を行った。ビード外 観と断面マクロ試験結果を図 4.2.4-17 に示す。薬品塗布によるワイヤー送給性、溶接 性への影響は見られず、安定した溶接が可能であった。これより、本ワイヤーを用い 試験体を製作することとした。







図 4.2.4-17 防錆材を塗布した場合のビード外観と断面マクロ観察結果

4) 溶接時の入熱履歴の計測

溶接金属部の入熱履歴を評価するために、溶接作業時の温度経時変化を熱電対を用いて取得した。計測位置は長さ方向 600mm(L/2)、深さ方向 3 点とした。深さ方向の計測位置を図 4.2.4-18 に示す。





図 4.2.4-18 入熱履歴の計測位置

5) 本溶接試験

供試体④(160w×1,200L×100t)に、底部半径 5R、開先角度 2.5°×2、開先深さ 60mmのU溝直線開先を機械加工で設けた。TIG 溶接用拘束板に仮付けした後、2)に 示した溶接条件で本溶接を実施した。予熱、パス間温度は 100℃以上とした。試験体 外観および溶接状況を図 4.2.4-19、図 4.2.4-20 に示す。



図 4.2.4-19 試験体外観



図 4.2.4-20 溶接状況

溶接は初層時に溶接線 600mm 辺りから磁気吹きが要因と思われる後方へのアーク の偏向(溶接スタート側)が発生し、800mm 以降は健全な溶接ができなくなった。 この時、アークの偏向を抑制するためにアーク長を短くする調整を試みたが、偏向に より開先壁にアークが発生するため、AVC機構がトーチ上昇の指示を出して適正な アーク長に保つことが出来なかった。そのため、2層目以降はAVC機構を停止し、 手動によるアーク長調整で溶接を行った。積層シーケンスは1層1パスで、全19パ スとなった。なお、開先深さが浅くなるのに伴い磁気吹きの影響は小さくなるため溶 接可能な溶接線も長くなったが、下地となる前溶接ビードの形状が悪すぎて 950mm より先は溶接を継続することが出来なかった。図 4.2.4·21 に最終ビード外観を示す。



図 4.2.4-21 最終ビード外観

6) 検査

TIG 溶接試験体に対して、VT (図 4.2.4-21) 、PT (図 4.2.4-22) 、UT () を実施した。



図 4.2.4-22 浸透探傷試験 (PT) 結果



		ピークエコー		きず 深さ	エコー高さ	きず始端位置	きず終端位置	指示長さ
探傷面	きずNo	Xmax(mm)	YorZmax(mm)	d(mm)	h(%)	Xs(mm)	Xe(mm)	Xe-Xs(mm)
в	1	120	80	42.1	25	115	125	10
	2	275	75	42.1	66	251	330	79
	3	337	77	51.4	43	330	345	15
	4	577	75	42.1	49	526	595	69
L	5	740	32	74	40	732	744	12
	6	779	25	73.3	77	770	788	18
	7	831	36	74.3	65	814	839	25
	8	860	27	85.3	30	854	869	15
	9	903	42	73.9	51	891	911	20
R	10	784	23	73.6	51	776	795	19
	11	836	32	74.1	58	814	912	98



7) 断面マクロ・ミクロ観察

断面マクロ試験結果とミクロ組織観察結果を図 4.2.4-24 と図 4.2.4-25 に示す。なお、ミ クロ観察は深さ方向 30mm の位置で行った。また、熱影響部の粗粒域は溶接金属近傍、細 粒域は母材近傍の位置を観察した。



図 4.2.4-24 断面マクロ試験結果



図 4.2.4-25 ミクロ組織観察結果
8) 化学成分分析

母材と製作ワイヤー、溶接金属部の化学成分分析結果を表 4.2.4-6 に示す。これより分かるように、母材と溶接金属部の主要5元素(C、Si、Mn、P、S)およびCr、Mo、Ni、Cu、Tiの含有量はほぼ同等であった。

	С	Si	Mn	Р	S	Cu	Ni	Cr	Мо	Ti
母材	0.15	0.21	1.12	0.019	0.004	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.001
ワイヤ	0.16	0.21	1.14	0.020	0.004	0.01	0.01	0.02	<0.01	0.001
溶接金属	0.15	0.21	1.12	0.020	0.004	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.001

表 4.2.4-6 化学成分分析結果

9) 溶接入熱履歴の測定結果

図 4.2.4-18 に示す位置に設置した熱電対を用いて多層盛り溶接時の入熱挙動を計 測した。図 4.2.4-26~図 4.2.4-28 に各位置での溶接熱サイクルの変化を示す。計測 位置1~3と計測位置4~6は溶接線中央を挟んで対の位置にある。溶接試験中に計 測位置1~3の熱電対は融損したが、計測位置4~6に設置した3つの熱電対により、 開先深さ 60mm の TIG 溶接時の各深さごとの入熱サイクルが取得できた。計測の結 果、溶着量が少ない TIG 溶接では次パスだけではなく、3 層後の溶接時にも A3 点を 超える程度まで温度が上昇した。本試験で製作した溶接試験体の金属組織は再熱、 再々熱を受けた非常に複雑な組織であることが分かった。



計測位置3



計測位置6

図 4.2.4-26 試験片上面から 50mm の位置の計測結果



計測位置2



計測位置5





計測位置1



計測位置4

図 4.2.4-28 試験片上面から 10mm の位置の計測結果

(4) 試験片の作製

以上のように TIG 溶接および EBW により「化学成分を固定し、溶接時の入熱の影響 を受け、金属組織が異なる溶接試験体」の製作に成功した。製作した溶接試験体から腐 食試験用の試験片を機械加工により製作した。溶接試験体より製作する腐食試験片は、 浸漬試験用(幅 60mm、長さ 125mm、厚さ 5mm)と、電気化学試験用(幅 100mm、 長さ 100、厚さ 5mm)の2種類である。

1) EBW 溶接試験体からの採取

製作した EBW 溶接試験体から図 4.2.4-29 の位置で試験片を採取した。実際のオー バーパックは表面から腐食することから、溶接最終層部を評価出来るよう最終層(コ スメビード部)が試験片側面に残るように採取した。



⁽a) 浸漬試験用

(b) 電気化学試験用

図 4.2.4-29 EBW 溶接試験体からの腐食試験片採取位置(断面方向)

非破壊検査(放射線透過試験)の結果より溶接線1では欠陥が検出されなかったこ とから、試験片は図 4.2.4-30 に示すように溶接線1側から機械加工により採取した。 浸漬試験用の試験片は EIM (EBW Immersion test の略)、電気化学試験用の試験片 は EEC (EBW ElectroChemical test の略)を試験片識別符号とした。図 4.2.4-31 に製作した試験片の外観を示す。



図 4.2.4-30 EBW 溶接試験体からの腐食試験片の採取位置



電気化学試験用試験月 EEC-01~05 EEC-06~10 EEC-11~15 EEC-16~20

図 4.2.4-31 製作した腐食試験片の外観

EIM-07~12

EIM-13~18

2) TIG 溶接試験体からの採取

製作した TIG 溶接試験体から図 4.2.4-32 の位置で試験片を採取した。実際のオー バーパックは表面から腐食することから、溶接最終層部を評価出来るよう最終層(化 粧盛り部)が試験片側面に残るように採取した。



(a) 浸漬試験用

(b) 電気化学試験用

図 4.2.4-32 TIG 溶接試験体からの腐食試験片採取位置(断面方向)

非破壊検査(超音波探傷試験)の結果より、TIG 溶接試験体からのブロック切断位 置を図 4.2.4-33 のように決定した。各ブロックからは非破壊検査にて欠陥が検出され た部分を除外して図 4.2.4-34 のように採取した。浸漬試験用の試験片は TIM (TIG Immersion test の略)、電気化学試験用の試験片は TEC (TIG ElectroChemical test の略)を試験片識別符号とした。図 4.2.4-35 に製作した試験片の外観を示す。溶接金 属部の一部に超音波探傷試験では検出出来ない微小なブローホールが確認された。



図 4.2.4-33 TIG 溶接試験体からの腐食試験片の採取位置



浸漬試験用







TIM-16~18

浸漬試験用試験片 TIM-01~04 TIM-05~08 TIM-09~12 TIM-13~15



電気化学試験用試験片 TEC-01~05 TEC-06~10 TEC-11~15 TEC-16~20

図 4.2.4-35 製作した腐食試験片の外観

4.2.5 電気化学的手法による溶接金属選択腐食の再現試験

酸化性雰囲気での浸漬試験ではアーク溶接金属部では選択的な腐食が確認されたことを 受け、溶接材料に Ni を微量添加する品質改善手法の検討を実施した。この検討では通常で は数カ月間の浸漬試験期間を経て明らかになる溶接部の選択腐食挙動を迅速に再現するた めに、電気化学的手法による加速試験を採用した。本検討でもこの手法を採用し、母材と 同一の化学成分を有し、溶接組織が異なる場合の選択腐食挙動の評価を実施した。

- (1) 試験方法
- 1) 試験用プローブの作製

4.2.4 で製作した電気化学用腐食試験片から図 4.2.5-1に示す位置で試験片を採取 した。試験片表面を耐水研磨紙で#2500 相当まで研磨し、裏面にリード線をはんだ付 けし、補強のためアクリル系樹脂(デュラルコ)で固定した。さらに電極有効部の 20mm×30mm を残して表裏面ともにマスキング材(フロンマスク)を塗布した。



図 4.2.5-1 試験片採取位置



図 4.2.5-2 電気化学試験用プローブ模式図



EBW 溶接試験体(電極表面)

EBW 溶接試験体(裏面)



TIG 溶接試験体(電極表面)

TIG 溶接試験体(裏面)

図 4.2.5-3 製作した試験用プローブの外観

2) 試験条件

試験手法は過年度に実施した手法を踏襲したエラー!参照元が見つかりません。。 試験溶液は人工海水(ASTM D1141)で、試験用プローブ、参照電極の飽和カロメル 電極(SCE: Saturated Calomel Electrode)、補助電極のPt板とともにセパラブ ルフラスコ内に封入した。マントルヒーターで80℃に昇温した後、-650mVsceで100h の定電位分極を実施した。試験の前後に自然電位の測定も合わせて実施した。

100h の定電位分極の後セルを解体して試験片を取り出し、錆の付着状況を記録した。腐食インヒビター(朝日化学工業製 イビット No.2S)を添加した 5% HCl にて腐食生成物を除去後、外観観察およびレーザー変位計による表面形状計測を実施した。

3) 試験結果

図 4.2.5-4、図 4.2.5-5 に 100h の分極後の EBW および TIG 試験片の外観を、図 4.2.5-6 にレーザー変位計による形状計測の結果を示す。EBW では溶接金属部全体の 高さが低く、溶接金属が選択的に腐食する傾向が見られた。EBW は一層一パス溶接 さえており、試験片内の溶接金属はすべて原質部である。一方 TIG の場合は、溶接パ スに対応するように、縞状の腐食痕が確認されたが、溶接時の熱電対の温度計測結果 から TIG は何回にもわたり溶接熱影響を受けているため、組織は単純に原質部/再熱 部とはならない。今回の試験片はすべて同一の化学成分であること、EBW の試験結 果より、TIG で激しい減肉が確認された部分は再熱部に対応すると考えられる。



図 4.2.5-4 分極後の EBW 試験片の外観(左:試験直後、右:脱スケール後)



図 4.2.5-5 分極後の TIG 試験片の外観(左:試験直後、右:脱スケール後)



図 4.2.5-6 形状測定結果

4.3 緩衝材と腐食

4.3.1 応力腐食割れ感受性試験における緩衝材の影響

炭酸塩 - 重炭酸塩溶液中での応力腐食割れ感受性評価試験において、溶液単独の場合は 0.2M 以下では粒界割れが確認されず、感受性が消失した。一方、圧縮ベントナイト中で同 一の試験を実施した場合、濃度が 0.5M 以下では溶液単独の場合よりも感受性が高くなる傾 向が確認された。この事実を素直に解釈すれば、緩衝材が応力腐食割れ感受性を高めると いう結論に至る。炭素鋼の炭酸塩 - 重炭酸塩環境中での応力腐食割れ感受性自体が低いた め、現状の耐食性評価試験では定電位分極により、感受性が高くなる電位に強制的に保持 した状態で引張試験を実施しており、この電気化学的な手法により感受性が上昇している ことも考えられる。

4.3.2 媒体としての緩衝材の取扱い

地層処分事業に関連する電気化学試験のこれまでの報告では、溶液環境と同一の手法を 緩衝材共存環境にも適用して評価を行っている。しかしながら溶液と緩衝材ではその性質 が異なるにも関わらず、同一の試験方法で比較をすることの妥当性については指摘はない。 溶液系と比較して緩衝材共存環境では、物質の移動抑制作用、拡散層の形成、反応生成物 のバルク環境への放出などが異なる。これらの差が耐食性評価試験における一般的な手法 である電気化学試験に、どのように影響をおよぼしているのか体系的に整理することが必 要である。

4.3.3 媒質としての緩衝材の性状調査

(1) パラメータの整理

緩衝材はベントナイトとケイ砂を混合し、所定の密度になるように施工されたもので ある。緩衝材の性能自体を決定するパラメータとしては以下のものが挙げられる。 ・乾燥密度

- ・有効ベントナイト密度
- ・モンモリロナイト含有率
- ・緩衝材の型(Na型、Ca型、Fe化)

またオーバーパックに作用する環境は以下のものが挙げられる。

- ・厚さ(拡散層の発達に寄与する)
- 密度(物質の拡散、および飽和挙動に寄与する)
- ・飽和度(腐食挙動に必須である水の状態を示す)
- ・溶液の化学組成(緩衝材と化学的平衡状態にある間隙水が腐食に寄与する)
- (2) 評価手法の検討

円盤型の緩衝材ブロックを作製し、2つの白金電極で挟み、2電極インピーダンス測 定を実施し、溶液抵抗、分極抵抗、周波数応答性などのデータを網羅的に整備する。検 討に際して変化させるパラメータは乾燥密度、厚さ、溶液組成などを対象とする。

(3) 検討の進め方

インピーダンスによる緩衝材の媒体としての性状調査の方法の概念を図 4.3.3-1 に示 す。直径1~2cm、厚さ数ミリ程度の緩衝材を圧縮成型により作製し、体積拘束下で含 水させる。その後、2電極で挟み込んでインピーダンス測定を実施した。



図 4.3.3-1 電気化学的な媒体としての緩衝材の性状調査イメージ

(4) 緩衝材の作製

簡便に種々の調製条件で測定を行うという観点から、今回の試験では緩衝材を円盤状に 成型し、これを試験溶液で飽和させ、電極で挟んで電気化学的な測定を行う手法を開発し た。緩衝材中での腐食環境に影響する要因としては、緩衝材の厚さ、密度、飽和度および 試験溶液の化学組成などが考えられるが、今回は表 4.3.3-1 のような試験条件で緩衝材の調 製を行った。なお、緩衝材中のケイ砂については 3 号と 5 号を混合したものが想定されて いるが、今回は円盤状の緩衝材の厚さを踏まえて粒径の小さい5号のみを用いた。図 4.2.5-2 のような圧縮冶具に所定量の緩衝材を充填して圧力を加え、圧縮冶具のストロークを調整 して図 4.2.5-3 製作した試験用プローブの外観のような厚さ 3mm の円盤状に作製した。 この緩衝材を体積拘束のためのアクリルカラムに設置(両側は含水のためのプラスチック フィルター、通水孔を設ける)し、試験溶液(0.5M NaCl)中で真空脱気して、その後は 図 4.3.3-4 のように1週間以上大気下で飽和をさせた。飽和作業後にアクリルカラムを取り 出し、図 4.3.3-4 のように解体した。円盤状の緩衝材はアクリルカラムのスペーサ(胴部) で、20.5mm^{*}×3mm^Lの寸法に保持されている。このスペーサに保持された状態のまま、 後述の電気化学試験で使用した。

緩衝材	クニゲル V1(70wt%)+ケイ砂 5 号(30wt%)				
乾燥密度	1.6g/cm ³				
緩衝材(円盤状)寸法	20.5 mm $^{\phi} imes 3$ mm $^{ m L}$				
試験溶液	0.5M NaCl				

表 4.3.3-1 飽和緩衝材の調製条件



図 4.3.3-2 圧縮冶具



図 4.3.3-3. 圧縮した円盤状の緩衝材



図 4.3.3-4 アクリルカラムでの飽和作業



図 4.3.3-5 飽和させた緩衝材

(5) 緩衝材を用いた交流インピーダンス測定(2電極式)

種々の電気化学的情報を簡便に取得できることから、電気化学的挙動の測定は交流イン ピーダンス法(2電極式)で実施した。図 4.3.3-6のように、アクリル樹脂で固定し、表面 研磨(~#2500相当)した寸法 10mm×10mmの炭素鋼試験片(EB0304)を電極として用 いた。図 4.3.3-7のように、この2つの電極を 0.5M NaCl で飽和させた円盤状の緩衝材の 両側に密着させた(炭素鋼電極は全面が緩衝材に密着している)。さらに交流インピーダ ンスの測定は図 4.3.3-8のように電極を拘束しながら実施した。本条件での緩衝材の膨潤圧

(0.3MPa)と全接触面積(360mm²)の関係から、おおよその荷重(11kgf)を見積もった。 なお、交流インピーダンスの測定条件については表 4.3.3⁻²にまとめて示す。



図 4.3.3-6 炭素鋼電極



図 4.3.3-7 炭素鋼電極の設置状況



図 4.3.3-8 交流インピーダンスの測定状況

雰囲気・温度	大気下・室温(25℃)			
電極・寸法	炭素鋼・10mm×10mm			
試験溶液	0.5M NaCl			
設定電位	自然電位			
交流振幅	10mV			
開始周波数	100kHz			
終了周波数	1mHz			
測定点数	5/decade			
測定回数(n数)	3回			

表 4.3.3-2 交流インピーダンスの測定条件(2 電極式)

(6) 試験溶液のみを用いた交流インピーダンス測定(2電極式)

緩衝材が存在しない状態での挙動を確認するために、0.5M NaCl をそのまま用いて交流 インピーダンス測定(2電極式)を実施した(ブランク試験)。緩衝材を用いて測定したと きと同様の電極を用い、図 4.3.3-9のようにスペーサーで 3mm の間隔を保ち、2 つの電極 が対向するように設置した。これを図 4.3.3-10のように 0.5M NaCl に沈めて交流インピー ダンスの測定を実施した(対向した電極の間隔は溶液で充填されている)。なお、交流イ ンピーダンスの測定条件については表 4.3.3-2 と同じにした。



図 4.3.3-9 炭素鋼電極の設置



図 4.3.3-10 交流インピーダンスの測定状況

(7) 試験結果

図 4.3.3·11 には緩衝材を用いた測定結果を、また図 4.3.3·12 には試験溶液のみを用い た測定結果(ブランク試験)をそれぞれ示す。今回は同一の条件でそれぞれ 3 回の測定 を実施した。また、結果についてナイキスト図とボード図を示した(各グラフにおける 実線・塗りつぶしマーカーが測定結果)。図 4.3.3·11 の緩衝材を用いた測定の特徴とし ては、ナイキスト図において潰れた半円が得られるとともに、低周波数側で傾きが 1 よ り若干小さい直線が生じている。この直線についてはワールブルグインピーダンスが支 配的な領域と考えられる。一方、図 4.3.3·12 の試験溶液だけを用いたブランク試験では、 同様にナイキスト図において潰れた半円が得られたが、低周波数側の直線は生じなかっ た。また低周波数側では半円状のプロットのばらつきが大きかった(ナイキスト図の図 示範囲からオーバーしているデータもある)。

このようなナイキスト図の潰れた半円状のプロットを解析するために、今回は図 4.3.3·13 のような等価回路を想定してフィッティングを行った。ここで Rs は溶液抵抗 (Ω)、R は電荷移動抵抗(Ω)を表す。CPE (Constant Phase Element) は単純回路 での電気二重層容量 (Cdl) に相当するものであり、電極表面の微視的凹凸による時定数 の分布等の影響を含めて、より正確な最適化を行うために導入された概念である。CPE のインピーダンス ZCPE (Ω) は(1)式で表わされる。T は CPE 定数 (F)、p は CPE 指 数 (-) である (j: 虚数、 ω :角周波数 (1/s))。

$$Z_{CPE} = \frac{1}{(j\omega)^p T}$$
(1)

この等価回路をもとにフィッティングを行った結果についても、図 4.3.3-11 と図 4.3.3-12 に併記した(各グラフにおける破線・塗りつぶしなしマーカーが解析結果)。図

4.3.3-11の緩衝材を用いた測定では、高周波数側の半円が得られた領域だけを解析の対象 とした。また図 4.3.3-12の試験溶液のみを用いたブランク試験についてもフィッティン グを行ったが、上述のように測定値のばらつきが大きいことから、解析の精度としてさ らに検討が必要と思われることを付け加えておく。このような予察的な解析ではあるが、 フィッティングの結果から得られた各パラメータの値を表 4.3.3-3 にまとめて示す。なお 今回の測定は2電極式で実施したころから、その測定値をそのまま示すとともに、1電極 当たりに換算した値もそれぞれ示した。これらの測定値の妥当性を検討するために、溶 液抵抗 Rs と電荷移動抵抗 R について、一般的に知られている値をもとに比較を以下に行 った。

今回の試験条件(0.5M NaCl)とほぼ同じ 3wt% NaCl では、導電率は約 0.04 S/cm と 推定される(化学便覧掲載の NaCl 溶液系の比導電率から推定)。電極面積(1cm²)と 媒体長さ(0.3cm)から、溶液抵抗は約 7.5 Ω と算出される。これに対し今回の試験では、 表 4.3.3 のブランク試験(電極間隔 0.3cm)より溶液抵抗 Rs は 5.4 Ω であり(2 電極間 の測定値)、両者は概ね整合した。

また電荷移動抵抗 R については、以下のように腐食速度への換算を行った(金属の腐 食・防食 Q&A 参照)。腐食電流密度(腐食速度) icorr (A/cm²) は腐食電位のときの電 流に相当し、微小電位変化の範囲では(2)式のように表わされる。ここで r_p は分極抵抗 ($\Omega \cdot cm^2$) である。B (V) は Tafel 勾配から求まる定数であるが(B値という)、0.026 V とすれば多くの材料や環境で大まかな腐食速度を推定できるとされている。

$$i_{corr} = \frac{B}{r_p}$$
(2)

なお電荷移動抵抗 R(Ω) は分極抵抗 r_p ($\Omega \cdot cm^2$) と(3)式の関係にある。ここで S は 電極面積($1cm^2$) である。

$$R = r_p / S \qquad (3)$$

さらに腐食電流密度については、アノード電流による Fe の溶解が支配的であるならば、以下の(4)式の関係がある。ここで n は反応に寄与する電子数(Fe の酸化条件での反応を想定して 3)、F はファラデー定数(96500 C/mol)、K_a はアノード反応速度定数(cm/s)、C_R は還元体の濃度(純 Fe を仮定した場合、0.141 mol/cm³)である。

$$i_{corr} = nFSK_aC_R$$
 (4)

これらの(2)~(4)式の関係から、電荷移動抵抗 R からアノード反応速度定数 K_aを試算し てみた。表 3 では、緩衝材を用いた R=3.98×10³ Ω からは K_a=51 μ m/y が、また試験溶 液のみの R=1.24×10³ Ω からは K_a=162 μ m/y が算出される。今回の試験と同一条件で の炭素鋼の腐食速度は見当たらなかったが、代表的腐食速度として挙げられているもの として (材料環境入門参照)、大気下・海水中での定常腐食速度として 100 μ m/y がある。 今回の試験は比較的初期の腐食挙動を測定していると考えられることから、ブランク試 験での 162 μ m/y という値は概ね妥当と思われる。また、緩衝材を用いた試験ではこれよ りも小さな腐食速度となっているが、緩衝材が接触することによる反応寄与面積の減少 や腐食生成物の表面での拘束や蓄積、酸素等の物質移動の抑制などの要因が影響してい ることが推測される。













図 4.3.3-11 緩衝材を用いた交流インピーダンスの測定結果













図 4.3.3-12 試験溶液を用いた交流インピーダンスの測定結果(ブランク試験)



図 4.3.3-13 本試験で想定した等価回路

表 4.3.3-3 等価回路の各パラメータの解析結果

【2電極としての測定値】

要素回路名	パラメータ	緩衝材 3mm			ブランク 3mm				
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均
Rs	$Rs(\Omega)$	2.73E+01	3.06E+01	2.85E+01	2.88E+01	5.29E+00	5.66E+00	5.24E+00	5.40E+00
ODE	р (-)	7.59E-01	7.66E-01	7.66E-01	7.64E-01	7.68E-01	8.26E-01	8.01E-01	7.98E-01
CPE	T (F)	1.71E-04	1.09E-04	1.19E-04	1.33E-04	3.46E-04	2.81E-04	2.79E-04	3.02E-04
R	$R(\Omega)$	6.27E+03	7.31E+03	1.03E+04	7.95E+03	2.17E+03	2.74E+03	2.50E+03	2.47E+03

【換算方法】		
要素回路名	パラメータ	
Rs	Rs (Ω)	半分
ODE	р (-)	そのまま
CPE	T (-)	2倍
R	$R(\Omega)$	半分

【1電極当たりに換算】

要素回路名	パラメータ	緩衝材 3mm			ブランク 3mm				
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均
Rs	Rs (Ω)	1.37E+01	1.53E+01	1.42E+01	1.44E+01	2.64E+00	2.83E+00	2.62E+00	2.70E+00
ODE	р (-)	7.59E-01	7.66E-01	7.66E-01	7.64E-01	7.68E-01	8.26E-01	8.01E-01	7.98E-01
GPE	T (F)	3.42E-04	2.18E-04	2.38E-04	2.66E-04	6.92E-04	5.61E-04	5.59E-04	6.04E-04
R	$R(\Omega)$	3.13E+03	3.66E+03	5.14E+03	3.98E+03	1.09E+03	1.37E+03	1.25E+03	1.24E+03

4.4 まとめ

溶接部の腐食挙動に対して、溶接線の存在による材料側の不均一性がオーバーパックの 全面腐食挙動に及ぼす影響を評価するための試験を開始した。同一母材を使用して EBW、 や TIG 共金溶接により、化学成分を固定し金属組織のみを変化させた溶接試験体を製作し た。電気化学的手法による加速試験の結果、すべて原質組織である EBW では溶接金属全体 が腐食する傾向が確認された。一方、多重熱サイクルを受けた TIG 溶接試験体では、溶接 パスに対応するように縞状な腐食が認められた。以上より、金属組織の違いによっても溶 接部の選択腐食が発生することを確認した。

緩衝材中での電気化学的な特性について、簡便に種々の条件でデータ取得を行うための 緩衝材試料の調製手法や電気化学的挙動の測定手法を予備的に検討した。円盤状の緩衝材 を調製する方法を試行し、今回のようなイオン濃度が比較的高い溶液条件については、膨 潤変形の影響をあまり受けずに、良好に電気化学試験のための試料として供することがで きることを確認した。この試料を2 電極間に挟む方法で電気化学的挙動を交流インピーダ ンス法で測定することを試行し、等価回路を想定して、各種の電気化学的パラメータの取 得を開始することができた。また併せて実施した試験溶液のみのブランク試験からは、溶 液抵抗や電荷移動抵抗について妥当な測定結果が得られ、測定システムとしての適用性を 確認する結果も得られている。

但し、現時点では交流インピーダンスのプロットのばらつきが大きいなど(特にブラン ク試験)の問題点があり、試験精度を向上させながら、さらに種々の条件での測定データ の拡充を進めていく必要がある。

第5章 溶接部の限界き裂寸法の解析的検討

5.1 背景および目的

第2章で、オーバーパックの構造評価は強度評価と欠陥評価で構成されることを示し、 欠陥評価の検討課題の一つとして、溶接部の限界欠陥寸法の設定を提示した。オーバーパ ックの限界欠陥寸法を設定するためには、定置後に作用する負荷に対して破壊しない限界 のき裂寸法やき裂寸法に対する裕度について検討する必要がある。

本章では、HLW 第2次取りまとめのリファレンスケースのオーバーパック形状を対象と して、溶接部の限界き裂寸法を取得することを目的とする。具体的には、落し蓋形状のオ ーバーパックを対象として、有限要素解析により破壊評価を行う。溶接欠陥は応力状態の 最も厳しくなるき裂とみなす。オーバーパックに作用する応力は、軸方向応力、周方向応 力、溶接残留応力とする。最初に、2次元円筒形モデルのオーバーパックの溶接部内側にき 裂をモデル化して、き裂先端の応力拡大係数を求める(2次元円筒形モデルのき裂寸法を変 更することは、溶接深さを変更することと同じ意味になるため、以下では溶接部先端とよ ぶ)。次に、3次元モデルのオーバーパックの溶接部外側に半円状き裂をモデル化し、き裂 先端の応力拡大係数を求める。そして、オーバーパックの破壊靭性値と限界き裂寸法の関 係を取得する。

5.2 実施内容

5.2.1 オーバーパックの破壊モード

オーバーパックが破壊しない溶接深さおよび限界き裂寸法を把握するために、有限要素 法により溶接部先端およびき裂先端の応力拡大係数 *K* を求める。解析コードは、Abaqus を使用する。オーバーパックの候補材料の一つである炭素鋼は、定置後に想定される温度 条件では延性破壊になると考えられる。しかし、照射損傷や水素吸収による脆化が生じる 可能性があり、安全側に考えて破壊モードは脆性破壊と仮定する。そのため、解析は弾性 解析で実施する。

5.2.2 解析モデル

オーバーパックの解析モデルの概要を図 5.2.3-1 に示す。オーバーパック定置後には、腐 食により板厚が減少する。そのため、閉じ込め期間終了時点では、放射線遮へい層の 150 mm が残っている想定であるが、解析では耐圧層の 110 mm を対象とする。軸方向荷重、周方 向荷重はオーバーパックの外表面に圧力として負荷する。また、落し蓋と胴体のギャップ b は零とする。き裂先端の形状が鋭いほど K値は大きくなるため、b = 0 の条件が K値にと って最も厳しい条件となる。また、ギャップ間の接触のモデル化については予備解析で検 討する。さらに、ガラス固化体とオーバーパックとの接触の有無を判断できるように、オ ーバーパックの変位についても確認する。

溶接部の解析モデルを図 5.2.3・2 および図 5.2.3・3 に示す。最初に、溶接深さ dをパラメ ータとして、溶接部先端における K値を求める。次に、溶接深さを一定に設定したうえで、 溶接部外表面に溶接部に沿った深さ a の半円状の開口き裂をモデル化し、き裂先端(最深 部および表面)の K値を算出する。

5.2.3 解析条件

解析に用いる物性値および解析条件をそれぞれ表 5.2.3-1、表 5.2.3-2 に示す。K値はポ アソン比に依存するため、温度に対してポアソン比を変化させるのであれば、厳密には、 応力拡大係数に対する温度の影響を考慮する必要がある。ただし、通常は温度を考慮する 必要はなく、オーバーパックで想定される温度範囲では、K値に対する温度依存性は無視 できる。応力条件は、外圧値を 10.7 MPa[1]とし、残留応力値は 100 MPa[2]と設定し、そ れぞれ、周方向応力のみ、軸方向応力のみ、残留応力のみの 3 ケースの解析を実施した。

縦弾性係数	ポアソン比
(GPa)	(-)
200	0.3
	0.0

表 5.2.3-1 解析に用いるオーバーパックの物性値

表 5.2.3-2 限界き裂寸法取得のための解析条件

蓋形状	板厚 <i>t</i> , (mm)	応力 (σ _r , σ _z , σ _R), (MPa)
落し蓋	110	(10.7, 0, 0) (0, 10.7, 0) (0, 0, 100)



図 5.2.3-1 オーバーパック解析モデルの概要



図 5.2.3-2 溶接部の形状(溶接深さ変化)



図 5.2.3-3 溶接部の形状(き裂深さ変化)

5.3 K値算出のための予備検討(2次元解析)

5.3.1 解析方法

図 5.2.3-1の解析形状を、図 5.3.1-1 および図 5.3.1-2 に示すように軸対称要素(要素タイプ: CAX4)を用いて有限要素メッシュを作成した。メッシュは相対的に粗い分割のメッシュ 1、細かい分割のメッシュ 3 とその中間であるメッシュ 2 の 3 種類を作成した。き裂先

端近傍の要素の大きさは、メッシュ 1、2 および 3 に対してそれぞれ 5 mm, 2 mm および 1 mm となっている。

*K*値に対する解析メッシュの依存性を調べるために、落とし蓋下端からのき裂長さを *a* として、*a*を変化させながら *K*値を計算した。*K*値はき裂先端から 7 つの経路について算 出した。比較として、落し蓋とオーバーパック本体との間の接触を考慮した場合の解析も 実施した。







図 5.3.1-2 有限要素メッシュ (つづき)

5.3.2 解析結果

(1) K値に対するメッシュサイズの影響

き裂長さ 0.5*t* (*t*: 落し蓋厚さ 110 mm)の場合の *K*値の算出結果を図 5.3.2-1 に示す。 図には、オーバーパック外側から円周方向に 10.7 MPa の外圧を負荷した場合 ($\alpha = 10.7$ と表記)、およびオーバーパック上部から軸方向に 10.7 MPa の外圧を負荷した場合 (α = 10.7 と表記)の結果を示す。また、き裂面の変位様式[3]を図 5.3.2-2 に示す。3 つの基 本的なき裂面の変位様式を、モード I (開口モード)、モード II (面内せん断モード)、 モード III (面外せん断モード)という。オーバーパックの溶接部では、モード I のき裂 面の変位様式が想定されるが、確認のためモード II の *K*値も算出した。

いずれの場合も、モード I の K値は圧縮となった。モード II の場合も α = 10.7 の場合 は圧縮となった。一部の解析を除き、第 3 経路以降の K値はほぼ一定となっており、経 路独立性が成立していることが確認できる。Abaqus では第 1 および第 2 経路の解の精度 が良くないことが知られている。 α = 10.7 のモード II の K値は積分経路が外側になるほ ど K値が大きくなる傾向を示している。これは、K値の絶対値が小さいため、誤差の影 響が相対的に大きくなったと考えられる。メッシュ 3 を適用した場合、第 3 経路以降の K値の絶対値の変動は、いずれの条件においても 0.1 MPa m^{0.5}以下であった。経路毎の 変動はメッシュ 1 の場合に若干大きくなる傾向が見られるものの、メッシュの影響は限 定的であった。以降の計算では、第 3 経路から第 7 経路の平均をその条件での K値とし て用いた。

図 5.3.2-3 は条件ごとの平均化した K値を示している。図 5.3.2-1 にも示したとおり、 メッシュによる K値の変動は限定的であることが確認できる。図にはメッシュ 3 を正と した K値の算出誤差を示しているが、K値の絶対値が小さい場合を除くと数%以内の誤 差となっている。言い換えれば、メッシュの粗さによる誤差はメッシュ 1 の場合でも限 定的であると判断できる。以降の解析では、メッシュ 3 を用いた。







(b) モード II (K_{II}) (o_r, o_z, o_R) = (10.7, 0.0, 0.0)
 図 5.3.2-1 応力拡大係数 (a/t = 0.5, 接触考慮せず)



(c) $\not\in$ \vdash I (*K*I) (σ_r , σ_z , σ_R) = (0.0, 10.7, 0.0)



(d) $\neq - \models II (K_{II}) (o_r, o_z, o_R) = (0.0, 10.7, 0.0)$

図 5.3.2-1 応力拡大係数 (alt=0.5, 接触考慮せず) (つづき)



5-10



(a) $\not = - \not \models I$ (*K*_I) ($\sigma_r, \sigma_z, \sigma_R$) = (10.7, 0.0, 0.0)





(c) $\not = \neg ee I$ (*K*_I) ($\sigma_{r}, \sigma_{z}, \sigma_{R}$) = (0.0, 10.7, 0.0)



(d) $\neq - \vDash$ II (*K*_{II}) ($\sigma_r, \sigma_z, \sigma_R$) = (0.0, 10.7, 0.0)
図 5.3.2-3 応力拡大係数(alt=0.5, 接触考慮せず)(つづき)

(2) き裂(溶接)長さの影響

き裂長さ *alt* と *K*値の関係を図 5.3.2-4 に示す。 $\alpha = 10.7$ の応力に対して、モード I の *K*値はき裂が深くなると増加し、*alt* = 0.9 では正(引張)となったが、 $\alpha = 10.7$ の応 力に対してはき裂深さに関係なく負(圧縮)となった。また、モード II の *K*値は、 $\alpha = 10.7$ に対してはほぼ零で、 $\alpha = 10.7$ に対しては負となった。軸方向と周方向の応力を同時に 負荷した場合($\alpha = 10.7$ と $\alpha = 10.7$ の応力を同時に負荷)の結果も示したが、これらの 値は軸方向のみ、周方向のみのそれぞれの *K*値の和と等しくなった。

図 5.3.2-5 に alt = 0.9 時の相当応力分布を示す。先に示したように、 $\alpha = 10.7$ の軸応 力負荷時の Kiのみ正となった。図の変形は実際の変形を 100 倍して示しているが、解析 ではき裂面の接触を考慮していないため、き裂面が交差していることがわかる。

図 5.3.2-6 は、落し蓋とオーバーパック本体との間の接触を考慮した場合の解析結果を 示す。計算上、落し蓋とオーバーパック本体が接触すると、接触反力が生じて表面が交 差しない。接触における摩擦係数は零とした。図 5.3.2-4 の接触を考慮しない場合と比較 すると、とくに、 $\alpha = 10.7$ の応力負荷時にモード I とモード II の K値が大きくなる傾向 が見られた。軸方向と周方向を同時に負荷した場合の K値も相対的に大きくなっている が、得られる K値は、 $\alpha = 10.7$ と $\alpha = 10.7$ をそれぞれ負荷した場合に得られる K値の 足し合わせとはならなかった。図 5.3.2-7 にミーゼス相当応力のコンター図を示す。変形 を 100 倍して表示している。接触部分で変形拘束が作用し、反力により応力が局所的に 大きくなっている部分が確認できる。



(b) モード II (K_{II})

図 5.3.2-4 応力拡大係数 (メッシュ 3, 接触考慮せず)







(b) モード II (K_{II})

図 5.3.2-6 応力拡大係数 (メッシュ 3, 接触考慮)



図 5.3.2-7 相当応力分布 (メッシュ 3, 接触考慮, alt=0.9, 変形は 100 倍して表示)

5.3.3 まとめ

K値を算出するための予備検討として、2次元モデルを用いて

- ・メッシュサイズの影響
- ・き裂サイズ、外圧に対する K値の変化傾向
- ・接触の影響

について考察し、以下の結論を得た。

- 今回解析したメッシュ1、2および3はいずれも良好な経路独立性を示し、K値を 算出するに十分なメッシュ分割数であった。
- K値はき裂サイズに対して単調増加とはならなかった。また、K値の絶対値も相対 的に小さく、外圧により溶接部のき裂を起点とする破壊を引き起こす可能性は小さ いと考えられる。
- モード II の *K*値は相対的に小さく、外圧下では負の値になった。
- オーバーパック本体と落し蓋の接触を考慮した場合も、K値の絶対値はほとんど変化しなかった。また、接触を考慮すると足し合わせの原理は成立しなかった。

以上の結果より、解析ではモードIの*K*値に着目し、接触は考慮しないこととした。また、 き裂深さは実用を考慮し0.1~0.5*t*とすることとした。

5.4 溶接部先端の K値の算出

5.4.1 解析モデルおよび解析条件

解析モデルは、図 5.3.1-1 および図 5.3.1-2 のメッシュ 3 (詳細メッシュ、軸対称要素 (要素タイプ: CAX4))を用いた。そして、落とし蓋下端からのき裂長さ a を、0.1t, 0.2t, 0.3t, 0.4t および 0.5t として K値を計算した。

先の外圧荷重に加え、残留応力を考慮した解析も実施した。残留応力は、き裂面に面圧 として一様な圧力、100 MPa を負荷することで模擬した[2]。

5.4.2 解析結果

モード I の K値とき裂深さの関係を図 5.4.2-1 に示す。前項で示したように外圧に対する K値は相対的に小さく、き裂深さ 0.5t以下ではプラスになることはなかった。一方、残留応力に対する K値は相対的に大きく、またき裂深さに対して単調増加となり、0.5t では45.4 MPam^{0.5}であった。

図 5.4.2-2 は、き裂深さ 0.5t における残留応力負荷時の相当応力分布を示す。残留応力

はき裂面に面圧を負荷することで模擬しているため、応力はき裂部分でのみ大きくなって いる。そして、残留応力によりき裂が開口する方向に変形しており、この変形によりモー ドIの *K*値が大きくなっている。

オーバーパックとガラス固化体の接触の有無を調べるために、水平方向変位の分布を図 5.4.2-3 に示す。半径方向圧力に対する変位は最大(マイナス X 方向)に 0.435 mm となり ガラス固化体とのギャップの 5 mm より十分小さい。また、残留応力のみを負荷した場合 の変位は最大で 0.00125 mm であった。図には示していないが、軸方向の外圧に対する変 位はオーバーパックが膨らむ側(ガラス固化体からの距離が大きくなる側)に変位した。

図 5.4.2-1(b)は、外側き裂の場合の K値で、次章の解析の参照用に算出した。



図 5.4.2-1 モード I の応力拡大係数 (メッシュ 3、接触考慮せず)



(a) $(\sigma_{\rm r}, \sigma_{\rm z}, \sigma_{\rm R}) = (0.0, 0.0, 100)$

図 5.4.2-2 相当応力分布 (メッシュ 3、接触考慮せず, alt = 0.5,変形は 100 倍して表示)



図 5.4.2-3 水方向変位分布 (メッシュ 3, 接触考慮せず, alt=0.5, 変形は 100 倍して表示)

5.4.3 まとめ

溶接深さ(溶接部の内側き裂の深さ)と K値の関係を調べた。K値は残留応力に対して 大きくなり、 $a \le 0.5t$ の範囲では外圧に対して負の値となった。そして、き裂が深くなるほ ど K値は大きくなった。

5.5 き裂先端の K値の算出

5.5.1 解析モデルおよび解析条件

図 5.2.3-1 に示したオーバーパック形状を、図 5.5.1-1 に示すように 3 次元ソリッド要素 (要素タイプ: C3D20)を用いて有限要素メッシュを作成した。メッシュは相対的に粗い 分割のメッシュ 1、細かい分割のメッシュ 3 とその中間であるメッシュ 2 の 3 種類を作成し た。

解析条件は、オーバーパック外側から円周方向に 10.7 MPa の外圧を負荷した場合(α= 10.7 と表記)、およびオーバーパック上部から軸方向に 10.7 MPa の外圧を負荷した場合 (α=10.7 と表記)、および 100 MPa の残留応力を負荷した場合(α=100 と表記)とし た。残留応力は溶接部先端の *K*値の解析と同様に、き裂面に面圧として負荷した。

き裂形状は半円形状を溶接部に沿って湾曲させた形状とし、落とし蓋上端からのき裂長 さを a として、a を変化させながら K 値を計算した。K 値はメッシュサイズに対応して、 き裂先端からそれぞれ 5,7 および 10 の経路について算出した。落し蓋とオーバーパックの 間の接触は考慮しなかった。





(b) メッシュ 2 (中程度)



き裂断面

(c) メッシュ 3 (詳細)

図 5.5.1-1 3次元解析用メッシュ分割

き裂長さ 0.5t(t: 落し蓋厚さ 110 mm)の場合の K値の算出結果を図 5.5.2-1 に示す。 $\alpha = 10.7$ 、 $\alpha_z = 10.7$ および $\sigma_R = 100$ それぞれについて、経路毎の K値を算出している。メッシュによらず第3経路以降の経路毎の K値はほぼ同じであり、メッシュ分割の影響は十分収束していることが確認できる。先の2次元解析で示したとおり、外圧に対する K値は絶対値が小さく、 $\alpha_z = 10.7$ の経路毎のばらつきは縦軸のスケールの関係で大きく見えるが、絶対値で考えると経路毎のばらつきは、十分小さいと判断できる。とくに、実用上重要と思われる残留応力に対する K値 ($\sigma_R = 100$) は、経路やメッシュによる変化はほとんど見られなかった。

以降の計算では、メッシュ2を用い、第3経路から第7経路の平均をその条件での*K*値 として用いた。より詳細なメッシュであるメッシュ3は、分割が細かすぎるため、き裂の サイズが小さい場合 (*alt*=0.1 など)に、計算機のメモリー (64GB) をオーバーしたため、 本解析に用いることはできなかった。



(a) $(o_{\rm r}, o_{\rm z}, o_{\rm R}) = (10.7, 0.0, 0.0)$



(b) $(\sigma_{\rm r}, \sigma_{\rm z}, \sigma_{\rm R}) = (0.0, 10.7, 0.0)$

図 5.5.2-1 応力拡大係数 (alt=0.5, 外側き裂)



(c) $(\sigma_{\rm r}, \sigma_{\rm z}, \sigma_{\rm R}) = (0.0, 0.0, 100)$

図 5.5.2-1 応力拡大係数 (alt=0.5, 外側き裂) (つづき)

5.5.3 解析結果

モード I の K値とき裂深さの関係を図 5.5.3-1 に示す。外圧に対する K値は相対的に小 さく、き裂深さ 0.5*t* 以下では 1.0 MPa m^{0.5} より大きくなることはなかった。一方、残留応 力に対する K値は相対的に大きくなった。また、き裂深さに対して K値は単調増加となり、 0.5*t* では 29.0 MPa m^{0.5} であった。図 5.5.3-1(b)は $\sigma_{R} = 100$ を負荷した場合の、前項の 2 次元解析との比較を示す。2 次元解析の方が、き裂面の面積が大きくなるため K値が大き くなっている。

図 5.5.3・2 は、残留応力負荷時の相当応力分布を示す。残留応力はき裂面に面圧を負荷することで模擬しているため、応力はき裂部分でのみ大きくなっている。そして、残留応力によりき裂が開口する方向に変形しており、この変形によりモード I の K 値が大きくなっている。

オーバーパックとガラス固化体の接触の有無を調べるために、水平方向変位の分布を図 5.5.3-3 に示す。軸方向の外圧に対する変位はオーバーパックが膨らむ側(ガラス固化体か らの距離が大きくなる側)に変位した。半径方向圧力に対する変位は最大で 0.00585 mm となりガラス固化体とのギャップの 5 mm より十分小さい。また、残留応力に対する変位 は最大で 0.000904 mm であった。



(a) き裂深さと荷重モードの影響



(b) 2次元き裂との比較(o_R = 100)

図 5.5.3-1 モード I の応力拡大係数



図 5.5.3・2 相当応力分布 (alt = 0.5, 変形は 200 倍して表示 (or, oz, or) = (0.0, 0.0, 100)





5.5.4 限界き裂寸法

前項の計算では、残留応力として 100 MPa を負荷し、それに対する K値を算出した。得られた K値は、100 MPa の残留応力が作用する場合に許容される破壊靭性値と解釈することもできる。この結果を用いて、逆に、破壊靭性値が与えられた場合に許容される残留応力を算出することができる。

図 5.5.4-1 は、破壊靭性値として Kic が与えられた時、それぞれのき裂深さで許容される 残留応力の値を示す。外側き裂用の3次元メッシュ2を用いて、き裂深さを0.05tから0.5t まで 0.05t ずつ変化させながら残留応力下での K 値を算出した。許容される残留応力はき 裂が浅いほど大きくなっている。この図を用いることで、以下の検討が可能となる。

- 破壊靭性値と残留応力が与えられた場合、非破壊検査で発見すべきき裂サイズを推定 することができる。
- ② 破壊靭性値と非破壊検査で発見できるき裂深さが与えられた場合、許容される残留応 力値を算出することができる。



図 5.5.4-1 許容残留応力とき裂深さの関係(3次元メッシュ3、外側き裂)

5.6 まとめ

5.6.1 応力拡大係数の計算結果

有限要素解析によって溶接部先端とき裂先端の K 値を算出した。算出した K 値を表 5.6.1-1 に一覧で示す。また、き裂深さと許容残留応力の関係を破壊靭性値毎に算出した(図 5.5.4-1)。

き裂深さ	溶接部先端の <i>K</i> 値(MPam ^{0.5})			き裂先端の <i>K</i> 値(MPam ^{0.5})		
al t	$\sigma_{\rm r} = 10.7$	$\sigma_{\rm z} = 10.7$	$o_{\rm R} = 100$	$\sigma_{\rm r} = 10.7$	$\sigma_{\rm z} = 10.7$	$o_{\rm R}$ = 100
0.1	-4.788	-4.871	18.39	-0.954	0.639	12.09
0.2	-5.908	-4.033	27.31	-1.504	0.694	17.13
0.3	-6.703	-3.324	34.46	-2.030	0.630	21.24
0.4	-7.260	-2.711	40.43	-2.578	0.568	25.13
0.5	-7.609	-2.181	45.42	-3.159	0.513	28.95

表 5.6.1-1 応力拡大係数(解析結果)一覧

第5章 参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構:わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性地層処分研究開発第2次取りまとめ 分冊2 地層処分の工学技術、 JNC-TN1400 99-022 (1999).
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 高 レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発平成 19 年度~ 24 年度の取りまとめ報告書, (2013).
- [3] 矢川元基:破壊力学,培風館, p.15 (1988).

第6章 超音波探傷試験による欠陥寸法の定量化

6.1 背景および目的

昨年度は、オーバーパック溶接部を対象とした超音波探傷試験の有する本質的な欠陥 測定誤差を把握することを目的として、超音波シミュレーションを実施し理想的な状況 においても生じる可能性がある誤差の程度を評価した[1]。その結果、厚さ0に相当する スリット状の欠陥形状の場合には、誤差の絶対値は最大で1.6 mm であり、欠陥寸法の測 定誤差に対する欠陥高さおよび深さに明確な依存性は見られなかった。ただし、平成25 年度までに実施した断面マクロ調査の結果[1][2][3]では、PhA 法による欠陥寸法測定誤差 が1.6 mm を超える結果も見られた。実際の欠陥は複雑な形状をしているため、欠陥先端 からの反射波は、スリット状の欠陥を対象とした超音波シミュレーションの反射波とは 異なる経路を通って受信される。そのため、PhA 法による欠陥寸法測定誤差は、欠陥形 状に依存している可能性が考察された。

本年度は、超音波探傷試験により検出される欠陥寸法を定量化することを目的として、 超音波シミュレーションおよび探傷試験を実施した。超音波シミュレーションでは、こ れまでに実施した溶接欠陥に関する断面マクロ調査の結果から得られた欠陥形状を入力 条件として与え、欠陥寸法および位置の測定誤差が生じる要因について考察する。また、 開口寸法を変えて探傷試験を実施し、欠陥深さ位置と測定精度の関係について調査する。

6.2 欠陥寸法に対する測定誤差の発生要因の検討

6.2.1 断面マクロの調査結果の整理

超音波探傷試験による誤差の原因等を分析するため、平成25年度までに実施した断面 マクロ調査結果について、超音波探傷試験結果の欠陥指示と断面マクロにおける欠陥の 深さ位置、寸法、形状を対応付けて整理する。対象欠陥は誤差が大きい欠陥と小さい欠 陥の代表的な複数個とする。誤差の原因を詳細に調査分析するため、欠陥寸法や欠陥位 置等によって誤差の大きさに傾向があるか、誤差が大きいあるいは小さい欠陥について 形状の特異性があるかといった形状との関係等についても調査する。

断面マクロから欠陥寸法を実測する方法、すなわち「正しい欠陥寸法」の求め方は、 図 6.2.1-1 に示すように、各欠陥において断面マクロから求めた上端および下端の位置の データを別々に使い、超音波探傷で計測した上端および下端のそれぞれの位置と比較す る。



1mm刻みの段削りマ クロ写真

> ・欠陥の各断面を通して同一と見なされ る欠陥を同定 ・その欠陥を囲む最大の直方体の寸法を 欠陥の寸法と定義

・欠陥の上端部、下端部の位置毎にUT 結果と比較して誤差の原因・傾向等を分 析

図 6.2.1-1 断面マクロと欠陥実寸の測定方法

(1) 断面マクロの調査結果

断面マクロの分析結果を図 6.2.1-2 から図 6.2.1-13 に示す。図 6.2.1-2 は寸法測定誤 差が比較的大きい欠陥であり、上端部はほぼ断面マクロの実測と同等であるが、下端位 置が異なる計測値であった。この欠陥に対しては、実欠陥高さより指示値の方が大きい 過大評価であるが、下端位置付近には他の欠陥等が確認されなかった。欠陥形状に起因 した誤差の可能性と考えられる。

図 6.2.1-3 および図 6.2.1-4 は、ともに実欠陥高さより指示値の方が大きい過大評価で あるが、対象欠陥付近を観察すると、隣接した欠陥が存在していることが確認される。 仮に、隣接欠陥も含めた寸法を「正解」とした場合には誤差は 2mm 程度となる。この誤 差の原因は、深い位置の欠陥のため分解能が低下して欠陥を分離して評価することがで きなかったものと推測される。

図 6.2.1-5 および図 6.2.1-6 は、表層および比較的表層に近い欠陥において、上端部の 測定誤差により過大評価した例である。この範囲は、クリーピングウェーブ(CW)法で も測定が可能である。今回はフェーズドアレイ法の対象範囲である深部の欠陥を対象と するため、今後必要に応じて誤差低減策を検討する予定である。

図 6.2.1-7 から図 6.2.1-10 は中層部の欠陥で過大評価した例であり、ともに実欠陥の 位置と比べ下端位置が異なる計測値であった。これらも、下端部周辺には他の欠陥は存 在していない。欠陥の形状も図 2.3 の様に皿状であり、欠陥形状に起因する誤差の可能 性が考えられる。

図 6.2.1-11 および図 6.2.1-12 は、比較的精度が良い欠陥の例である。欠陥に傾きはあ るがほぼ平滑な形状である。

図 6.2.1-13 は、中層部の欠陥で約 4mm 過小評価した例である。過小評価の原因は、 隣接した指示を含めずに評価したためであり、他の隣接欠陥と分離が難しく欠陥指示を 誤って評価したものと推定される。また、他に過小評価した欠陥は、低真空 EBW 試験体 のデータでありい最大で-6m の誤差の過小評価であった。この欠陥はルート部から進展 しており、ルート部の形状に起因する指示と欠陥指示が分離せず、指示の一部を形状に よるものと評価したため、欠陥高さを過小評価したと推定される。

以上の結果を整理すると、主要な誤差要因の候補として抽出されることは、①隣接欠陥の存在と②欠陥形状の特異性が考えられる。各要因について、シミュレーション解析 を用いて、①隣接した欠陥が存在することで欠陥寸法測定に影響を及ぼす因子があるか、 ②欠陥形状が寸法測定誤差に影響を及ぼす因子があるか、について次項以降で分析評価 する。



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=146.4 mm
 下端部 Z=152.2 mm
 - 測定値(フェーズドアレイ法) - 上端部 Z=145 mm
 - 下端部 Z=157 mm
- 誤差
 - +6.2mm
- ・ 誤差の主要因
 - 下端部位置の測定誤差
 - <u>形状の影響の可能性</u>

図 6.2.1-2 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(深部の欠陥)



図 6.2.1-3 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(隣接欠陥)



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=144.4 mm (Z=138)
 下端部 Z=152.7 mm
 測定値(フェーズドアレイ法)
 上端部 Z=138 mm
 下端部 Z=151 mm
 誤差

 +4.7mm
 隣接欠陥考慮:-2mm

 誤差の主要因

 上端部位置の測定誤差
 - <u>隣接欠陥の存在を含めると誤差</u>
 <u>は-2mm程度に向上</u>

図 6.2.1-4 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(密集した欠陥)



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=7.8 mm
 下端部 Z=12.8 mm
 - 「31672-12.8 mm 測定値(フェーズドアレイ法)
 - 上端部 Z=- mm
 - 下端部 Z=10 mm
- 誤差

- +5.0mm

- ・ 誤差の主要因

 上端部位置の誤差
 浅い位置における分
 - 浅い位置における分解能向上 必要

図 6.2.1-5 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(表層部の欠陥)



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=42.4 mm
 下端部 Z=47.2 mm
- 測定値(フェーズドアレイ法)
 上端部 Z=36 mm
 - 下端部 Z=47 mm
- 誤差
 - +6.2mm
- 誤差の主要因
 - 上端部位置の測定誤差
 - 形状の影響の可能性

図 6.2.1-6 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(中層部の欠陥1)



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=109.4 mm
 下端部 Z=113.6 mm
- 測定値(フェーズドアレイ法)
 上端部 Z=106 mm
 - 下端部 Z=117 mm
- 誤差
 - +6.8mm
- ・ 誤差の主要因

 下端部位置の測定誤差
 下端部位置の測定誤差
 - <u>形状の影響の可能性</u>

図 6.2.1-7 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(中層部の欠陥 2)



実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=106.5 mm
 下端部 Z=110.3 mm

- 測定値(フェーズドアレイ法)
 上端部 Z=105 mm
 - 下端部 Z=114 mm
- 誤差

– +5.2mm

- ・ 誤差の主要因
 - 下端部位置の測定誤差
 - 形状の影響の可能性

図 6.2.1-8 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(中層部の欠陥3)



図 6.2.1-9 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(中層部の欠陥 4)



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=87.8 mm
 下端部 Z=100.6 mm
 測定値(フェーズドアレイ法)
 - 上端部 Z=88 mm
 - 下端部 Z=104 mm
- 誤差 - +3.2mm
- 誤差の主要因
 - 下端部位置の測定誤差
 - 形状の影響の可能性

図 6.2.1-10 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(中層部の欠陥 5)



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=89.0 mm
 - 下端部 Z=94.2 mm
- 測定値(フェーズドアレイ法)
 - 上端部 Z=90 mm
 - 下端部 Z=98 mm
- 誤差
 - +2.8mm
 - 誤差の主要因
 - 下端部位置の測定誤差
 - <u>形状の影響の可能性</u>

図 6.2.1-11 誤差が小さい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(中層部の欠陥)



- 実測値(断面マクロ)
 上端部 Z=141.4 mm
 下端部 Z=149.2 mm
 測定値(フェーズドアレイ法)
 上端部 Z=140 mm
 下端部 Z=149 mm
- 誤差 — +1.2mm
- 誤差の主要因

- _





図 6.2.1-13 誤差が大きい欠陥の断面マクロと誤差の傾向分析(中層部の隣接した欠陥)

(2) 分析結果の検討

欠陥の実寸法(とくに欠陥高さ)による誤差の傾向は、実欠陥高さが小さい場合に過 大評価する傾向が確認された。欠陥の深さ位置に対しては、深い位置で誤差が大きくな る(過大評価)傾向であった。この結果は、昨年度得られた成果と同様な傾向であるが、 さらに実欠陥高さが小さいことも原因と考えられる。

欠陥形状については、扁平した皿状の断面形状(高さ<幅)で誤差が大きい傾向が確認された。この場合、上端部は比較的実欠陥位置と同程度であったが、下端の位置を実 欠陥位置よりも深く計測していた。

6.2.2 欠陥形状により寸法および位置誤差が生じる要因の把握

前項の分析結果を踏まえて、欠陥形状が誤差に及ぼす影響の程度を評価するため、計 算機上に隣接した欠陥(面状および球状)、扁平した欠陥等の形状をモデル化し、シミ ュレーション解析を行う。

(1) 実施方法

シミュレーション解析では、図 6.2.2-1 に示すように計算機のメモリ内に厚さ 220mm の検査対象範囲や欠陥部を設定し、実際の探傷と同様にフェーズドアレイ探触子のモデ ルも設置して探触子から超音波が発生し、解析モデル内を超音波が伝搬して、探触子へ 戻った超音波の振幅を時系列で波形として表示するといった、探傷試験の物理現象を計 算機内で再現する。解析モデル内には溶接部も設定しているが、一般に炭素鋼の溶接部 の物性値は母材と同程度であるため、溶接部と母材部は区別なく表示されている。解析 コードは市販の大規模 FEM コード(伊藤忠テクノソリューションズ社製 ComWAVE 7) を用いた。

誤差要因分析のために設定した欠陥モデルは、大きく分類すると図 6.2.2-2 に示す傾斜 した欠陥モデル、図 6.2.2-3 から図 6.2.2-5 に示す複数の欠陥が集合したモデル、図 6.2.2-6 から図 6.2.2-8 に示す特異な形状の欠陥モデルである。複数の欠陥が集合したモ デルには、平面上や球状、また傾斜を組合せており、各々の説明は結果に記すこととす る。

表 6.2.2-1 に超音波シミュレーションの解析条件を示す。

項目	仕様
音速、密度	縦波音速:5.9 km/s, 横波音速:3.23 km/s, 密度:7.9 x10 ³ kg/m ³
探傷条件	フェーズドアレイ法 : 縦波 10°~35°/1°刻み、集束距離 200mm
探触子モデル	開口寸法 64mm(2mm ピッチ×32 素子)、6.2° くさび、周波数 2MHz

表 6.2.2-1 シミュレーション解析のパラメ	ータ	7
--------------------------	----	---



図 6.2.2-1 超音波シミュレーションの解析モデル



図 6.2.2-2 傾斜した面状欠陥の解析モデル



図 6.2.2-3 隣接した垂直な面状欠陥の解析モデル



図 6.2.2-4 球状欠陥の解析モデル



図 6.2.2-5 隣接した面状欠陥の一部が傾斜した解析モデル(下部が 20°傾斜)



図 6.2.2-6 皿状の欠陥形状をモデル化した解析モデル


図 6.2.2-7 L字型の欠陥形状をモデル化した解析モデル



図 6.2.2-8 誤差の原因分析のための U(逆 J) 字型の欠陥モデル

(2) シミュレーション結果

図 6.2.2-9 および図 6.2.2-10 は、傾斜した欠陥において寸法測定誤差要因になりうる 因子の有無をシミュレーション解析で評価した結果である。平滑な面状欠陥を±15°傾 けて探傷結果をシミュレーション解析で予測した結果、欠陥の上端部の前後方向の位置 が傾きに対応して変化するものの、寸法測定に影響を及ぼす上下端部の深さ位置は、ほ ぼ設定と変わらず誤差はほとんどないものと評価される。次に、隣接した欠陥の影響を シミュレーション解析で評価した結果を図 6.2.2-11 から図 6.2.2-17 に示す。図 6.2.2-11 および図 6.2.2-12 は、高さ 2mm の面状欠陥が深さ位置 190mm から 198mm に接近し て存在する場合の探傷結果の予測である。各々欠陥間の間隔は 1mm および 2mm である。 各欠陥を分離して識別することは困難であるが、まとまった指示がほぼ設定どおりに出 現しており、集合欠陥と評価することができれば、誤差要因になることはないと考えら れる。また、図 6.2.2-13 から図 6.2.2-15 は、1mm 間隔および 3mm 間隔で球状欠陥(2 次元解析のため正確には円筒状欠陥)が集合した場合の探傷結果の予測である。面状欠 陥の場合と同様に集合欠陥と評価することができれば、誤差要因になることはないと考 えられる。しかし、個々の欠陥の寸法測定精度を評価する場合、すなわち「正解」とす る欠陥寸法を個々の欠陥寸法である 2mm あるいは 3mm、球状欠陥の場合は直径 1mm とした場合には、測定値は実寸法より大きい過大評価となる。一方、図 6.2.2-16 は間隔 を 6mm の球状欠陥の場合であり、二つの指示が分離して出現している。しかし、この場 合は図 6.2.2-9 あるいは図 6.2.2-10 に示す結果と類似しており、各々面状欠陥の上下端 部からの指示と判断する可能性が高い。したがって、集合欠陥と評価することができれ ば、誤差要因になることはないと考えられるが、分解能が低い場合には、個々の欠陥を 細かく識別する必要性や隣接した欠陥を健全性評価においてどのようにモデル化するか によって精度に問題がでることが考えられる。

それに対して、欠陥形状に起因する誤差は図 6.2.2-18 から図 6.2.2-20 に示すように、 下端部の深さ位置測定に影響を及ぼすため精度に及ぼす影響が大きいことが確認された。 図 6.2.2-18 には高さは小さいものの扁平した皿状の欠陥、図 6.2.2-19 および図 6.2.2-20 は L 字あるいは U (逆 J) 字の欠陥形状における探傷結果をシミュレーション解析で予 測した結果である。各々本来の欠陥の端部あるいは角部から指示が得られるが、それら よりも深い位置にも連動して指示が出現している。深い位置の指示は図 6.2.2-21 に示す ように欠陥の段差等で反射を繰り返して時間的に遅れて生じる指示であり、これらの存 在により下端部の位置は設定よりも深い位置と計測せざるを得ない。したがって、欠陥 形状が過大評価の要因になりうることが確認された。この欠陥形状に起因する誤差は、 分解能向上だけでは改善が難しいと考えられるが、複数方向からの探傷結果を総合的に 評価する方法や、例えば開口合成法等のデータ処理などによる精度向上が考えられる。



図 6.2.2-9 反探触子側に傾斜した欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-10 探触子側に傾斜した欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-11 隣接した3個の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-12 隣接した2個の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-13 接近して隣接した 2 個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション解析 結果



図 6.2.2-14 隣接した3個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-15 径が大きい隣接した3個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション解 析結果



図 6.2.2-16 間隔をあけて隣接した 2 個の球状欠陥モデルに対するシミュレーション 解析結果



図 6.2.2-17 隣接した面状欠陥の一部が傾斜した欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-18 皿状の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-19 L字型の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果



図 6.2.2-20 U(逆J)字型の欠陥モデルに対するシミュレーション解析結果





図 6.2.2-21 欠陥形状の違いによる回折波、反射波の違い

(3) シミュレーション結果に対する考察

誤差の要因として、欠陥形状や寸法、隣接した欠陥などの要因について、各々の影響 度をシミュレーション解析で評価した結果、密集した欠陥については、それらを集合欠 陥として評価すれば、誤差の低下要因になりにくいことが確認された。一方、形状に起 因する誤差は、扁平した欠陥において、下端部の位置測定精度を過大評価側に低下させ る要因があることが確認された。今後、健全性評価における欠陥モデル化の検討を見据 えながら、非破壊検査側の計測精度向上、分解能向上の成果を反映することが重要と考 える。

6.2.3 誤差範囲の定量的な把握

これまでに得られている成果ならびに前述の断面マクロ調査・分析や欠陥形状により寸 法等の誤差が生じる要因の把握結果をもとに、欠陥寸法をどの程度過大評価または過小評 価する可能性があるか、欠陥位置の違いや寸法の違いに着目して定量的に把握する。

平成24年度までに得られている、人工的に付与した自然欠陥に対する超音波探傷試験と 切断による断面マクロ調査の結果を踏まえた欠陥高さ定量精度に関するデータを用い、誤 差が欠陥の位置や欠陥の実欠陥高さ等に依存しているかといった傾向を定量的に把握する。

(1) 結果

平成 25 年度までに得られた、欠陥高さの定量精度について整理された 50 データの分 析結果を図 6.2.3・1 に示す。図 6.2.3・1 (a)は報告書の図を引用したものである。ここで、 図中に示した実高さ約 30mm と約 85mmの欠陥は、低真空 EBW 試験体のデータであり、 これらの誤差の主な原因は EBW 始終端部に生じた比較的大きい複数個の集合した欠陥 を同一と評価するか別々に評価するかの相違によるものである。したがって、今回の考 察ではこれら二つの欠陥は分析対象外とし、48 個のデータに対して実高さ約 20mm 以下 の図 6.2.3・1 (b)に示す欠陥を分析対象として、誤差の傾向や誤差要因の分析を行った。 各々グラフの右上に示した数値がデータ数である。図 6.2.3・1 (b)より全体をみると、実 欠陥高さが小さい欠陥に対しては実欠陥高さより指示高さの方が大きい過大評価傾向で あり、実欠陥高さが 5mm 程度以上では指示高さの方が小さい過小評価のデータも認めら れる。

図 6.2.3・2 および図 6.2.3・3 は、高さ測定誤差が実欠陥高さに依存しているかどうかを 分析するため、実欠陥高さ毎の測定精度を示した結果である。図 6.2.3・2 は実欠陥高さが 0.6mm 以上 5mm 以下の範囲について高さ測定精度を整理した結果である。実欠陥高さ に比べ指示高さの方が大きい結果であり誤差の平均値は+3.8mm、誤差の標準偏差は 2.1mm であった。図 6.2.3・3 は実欠陥高さが 5mm を超えて 20mm 以下の結果である。 測定誤差の平均は+0.7mm であり±1mm 以内であり、誤差の標準偏差は 3.2mm であっ た。この結果からは、実欠陥高さが小さい場合は過大評価の傾向に、実欠陥高さが 5mm を超えると個々の測定値では過大評価や過小評価はあるものの全体としてはプラスマイ ナスに分布していると言える。

次に、欠陥の深さ位置と高さ測定精度との関係について分析した結果を図 6.2.3・4 から 図 6.2.3・6 に示す。各々下端の位置が 40mm 未満の表層付近、40mm 以上 100mm 未満 の中層、100mm 以上の深部の結果である。いずれも過大評価の傾向があり深さ位置の依 存性というよりも、前述の実欠陥高さの影響の方が大きいと推定される。



(a) PhA 法による誤差(平成 24 年度報告書より引用)





図 6.2.3-1 PhA 法による誤差と対象欠陥



図 6.2.3-2 実高さ 0.6~5mm における欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)



図 6.2.3-3 実高さ 5~20mm における欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)



図 6.2.3-4 欠陥存在位置表面から 40mm 以下の欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)



図 6.2.3-5 欠陥存在位置 40mm~100mm の欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)



図 6.2.3-6 欠陥存在位置 100mm 以上の欠陥高さと誤差の傾向(PhA法)

(2) 結果の評価

欠陥高さ測定誤差について、実欠陥高さや欠陥位置による依存性を調査した結果、欠 陥位置による依存性は多くくないものの、実欠陥高さが5mm以下の場合に過大評価傾向 という実欠陥高さに依存する傾向が確認された。表 6.2.3・1 に各条件における精度の指標 をまとめて示す。今後、誤差低減策を反映した手法により精度を確認するとともに、デ ータの信頼度を上げるためにもデータの拡充・蓄積が重要である。

指標	全体	実欠隊	伯高さ		下端位置	
	(48 デー タ)	\sim 5mm	5 mm \sim 20mm	$\sim 40 \mathrm{mm}$	40mm∼ 100mm	100mm~
誤差平均	2.3 mm	3.9 mm	0.7 mm	2.1 mm	2.3 mm	2.0 mm
標準偏差	3.2 mm	2.2 mm	3.2 mm	1.8 mm	2.7 mm	5.5 mm
RMSE	3.9 mm	4.5 mm	3.2 mm	2.7 mm	3.5 mm	5.8 mm

表 6.2.3-1 平成 25 年度までに得られたデータに基づく欠陥高さ測定精度

※RMSE: Root Mean Square Error, 誤差の二乗平均の平方根

6.2.4 PhA 法および PhA-TOFD 法における欠陥寸法および位置測定精度の確認

分解能向上策の効果を試験により確認するため、開口寸法を最大 64 mm 程度まで変化させて PhA 法および PhA-TOFD 法による超音波探傷試験を実施し、欠陥の識別性や寸法および位置の測定精度等を調査する。

試験体は放電加工(EDM)によるスリットを内在させた人工欠陥付与試験体を用い、各 EDM スリットに対して開口寸法 64mm の条件と、比較のために実施する開口寸法 16mm の条件において探傷データを取得する。試験体の材質は SF340 であり、上端部付近まで溝 を掘り EDM スリットを設置後に溝を溶接で埋めて欠陥を内在させた。試験体の形状および 寸法を図 6.2.4-1 に示す。欠陥の高さは 8mm、5mm および 2mm、EDM スリットの上端 は 110mm および 190mm であり、下端の位置は EDM スリットの高さを加算した位置であ る。

試験に使用するアレイ探触子を図 6.2.4-2 に示す。周波数 2MHz、素子ピッチ 2mm、32 チャンネルで開口寸法は最大 64mm である。このアレイ探触子 2 個を左右に配置して一方 で超音波を送信し、もう一方で受信する方法で探傷した。探傷に使用するくさびは 200℃の 高温に対応可能なものとした。測定の対象とする範囲が深さ 100mm 以上の深部であるため、 探傷方法は縦波斜角法のみとする。



(d=110mm および 190mm, h=2mm, 5mm および 8 mm)

図 6.2.4-1 人工欠陥付与試験体の形状および寸法



図 6.2.4-2 アレイ探触子の外観写真

(1) 測定結果

探傷方法は、これまでの方法と同様に溶接部中央との距離を一定(今回の測定では約80mmに設定)に保ったまま、溶接線方向に探触子を走査する方法であり、縦波を0°(垂直)から60°まで1度刻みで変えるセクター走査とした。図 6.2.4-3 および図 6.2.4-4 は各々フェーズドアレイ法およびフェーズドアレイ・TOFD 法の探傷状況の写真である。 探傷データの表示方法を図 6.2.4-5 に示す。溶接方向の断面に投影した D スコープ画像と溶接断面を表示するBスコープ画像を用いて欠陥の識別性や分解能の違いを評価した。

図 6.2.4・6 は、フェーズドアレイ法によりスリット上端の位置を 110mm に設置した人 工欠陥付与模擬試験体の探傷結果であり、図 6.2.4・6 (a)は開口寸法 64mm における Bス コープ画像と D スコープ画像を、図 6.2.4・6 (b)は開口寸法 1 6 mm における B スコープ 画像と D スコープ画像を、図 6.2.4・6 (c)から(e)は各々高さ 2mm、5mm および 8mm の スリットにおける B スコープの断面を抽出して表示した結果である。図 6.2.4・6 (c)から (e)は左右に開口寸法 64mm と 16mm を比較できるように並べて示した。画像の色合いは、 白色が振幅ゼロであり薄紫、青、水色、緑、黄、赤の順に振幅が大きいことを示す。図 6.2.4・6 (a)および(b)より、高さが異なる 3 個のスリットはいずれも識別できているが、開 口寸法 64mm では明らかに信号レベルがノイズレベルに比べて大きく SN 比が高く識別 性が向上していることが確認できる。図 6.2.4・6 (d)および(e)からスリット高さ 5mm お よび 8mm に対して開口寸法 64mm の結果ではスリットの上下端が明瞭に分離しており 分解能向上の効果が確認できる。図 6.2.4・6 (c)においても図を拡大すると上下端が分離 されており改善の効果がみられた。

図 6.2.4-7 は、フェーズドアレイ法によりスリット上端の位置を 190mm に設置した人 工欠陥付与模擬試験体の探傷結果である。図 6.2.4-7 (a)から(e)は前述の深さ 110mm 試 験体と同様であり、開口寸法 64mm において SN 比が向上して欠陥識別性が改善される とともに、分解能向上の効果によりスリット高さ 2mm の上下端を分離できることが確認 された。この結果は、図 6.2.4-8 に示すフェーズドアレイ-TOFD 法においても同様であり、開口寸法 64mm において SN 比が向上して欠陥識別性が改善されることが確認された。



(a) 探傷の状況



(b) 探触子の設置状況

図 6.2.4-3 フェーズドアレイ法 (PhA法)の探傷状況



図 6.2.4-4 フェーズドアレイ-TOFD 法の探傷状況(探触子間距離 160 mm)



図 6.2.4-5 フェーズドアレイ法 (PhA法) 探傷結果の表示方法





(c) 開口寸法 64mm および 16mm での高さ 2mm スリットの B スコープ画像(断面)



(d) 開口寸法 64mm および 16mm での高さ 5mm スリットの B スコープ画像(断面)
 図 6.2.4-6 上端位置 110mm の人工欠陥付与模擬試験体の探傷結果(続き)



(e) 開口寸法 64mm および 16mm での高さ 8mm スリットの B スコープ画像(断面)
 図 6.2.4-6 上端位置 110mm の人工欠陥付与模擬試験体の探傷結果(続き)



図 6.2.4-7 上端位置 190mm の人工欠陥付与模擬試験体の探傷結果



(c) 開口寸法 64mm および 16mm での高さ 2mm スリットの B スコープ画像(断面)



(d) 開口寸法 64mm および 16mm での高さ 5mm スリットの B スコープ画像(断面)
 図 6.2.4-7 上端位置 190mm の人工欠陥付与模擬試験体の探傷結果(続き)



(e) 開口寸法 64mm および 16mm での高さ 8mm スリットの B スコープ画像(断面)
 図 6.2.4-7 上端位置 190mm の人工欠陥付与模擬試験体の探傷結果(続き)



欠陥高さ 5mm

120

140

160

欠陥高さ2mm

代表波形

200

欠陥高さ5mm

代表波形

分解能向上策の効果を試験により確認するため、開口寸法 64 mm で PhA 法および PhA-TOFD 法による超音波探傷試験を実施し、欠陥の識別性や寸法および位置の測定精 度等を調査した結果、深さ 190mm において、高さ 2mm の欠陥の識別性が向上し、また 分解能向上により上下端が分離し精度向上も期待できることが確認された。

(b) 開口寸法 16mm における探傷結果

図 6.2.4-8 フェーズドアレイ-TOFD 法による探傷結果(上端位置 190mm)

6.3 まとめ

(2) 結果の評価

超音波探傷試験により検出される欠陥寸法を定量化することを目的として、超音波シミ ュレーションおよび探傷試験を実施した。超音波シミュレーションでは、これまでに実施 した断面マクロ調査の結果から得られた欠陥形状を入力条件として与え、欠陥寸法および 位置の測定誤差が生じる要因について考察し、過大評価の主要因に欠陥形状の影響がある ことを確認した。また、開口寸法を変えて探傷試験を実施し、欠陥深さ位置と測定精度の 関係について調べた。その結果、開口寸法を大きくすることにより、欠陥の識別性が向上 し、測定精度向上が向上することを確認した。今後、健全性評価における欠陥モデル化の 検討を踏まえつつ、計測側からの制約(例えば、集合欠陥の評価方法や、複雑な形状の欠 陥の計測誤差を考慮したモデル化方法等)を考慮した検討が重要と考える。 第6章 参考文献

- [1] 原力整備促進・資金管理センター:平成25年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学確証技術開発 報告書(第1分冊) 人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック,(2014).
- [2] 原力整備促進・資金管理センター:平成19年度 地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1分冊)-遠隔操作技術高度化開発,(2008).
- [3] 原力整備促進・資金管理センター:平成25年度 地層処分技術調査等事業 高レベ ル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書(第1分 冊)-遠隔操作技術高度化開発,(2013).

第7章 材料劣化に関する検討

7.1 はじめに

7.1.1 背景および目的

第2章では、埋設後のオーバーパックの強度に影響をおよぼす可能性のある材料劣化事象は、 放射線照射と水素吸収による脆化であることを示した。材料は脆化すると脆くなるため、脆化量 が大きい場合には、設計応力に到達する前に溶接欠陥などを起点とした破壊が生じる可能性があ る。HLW 第2次取りまとめ[1]では、オーバーパックに照射される中性子線とγ線のエネルギー スペクトルを解析により求め、鉄のはじき出し断面積から炭素鋼オーバーパックのはじき出し数 を算出している。そして、鋼の中性子照射データの統計解析によって導出された式を用いて延性 脆性遷移温度(DBTT)の変化量が求められている。その結果、DBTTの変化量はオーバーパッ クの使用温度に対して十分に低いため、脆化量は無視できる程度と予想されている。

しかし、従来の照射試験とオーバーパックでは、線量率や照射期間、温度などの照射条件が大きく異なっている。Nagaiら[2]は、図 7.1.1・1 に示すように、中性子照射量が同じ場合、線量率が低い条件の方が降伏応力の増加量が大きくなり、脆化が促進されることを報告している。これは、照射により材料内に形成される照射欠陥が、線量率により異なり、低線量率ほど溶質原子クラスターの析出量が多くなることが原因であると考察されている。

また、HLW 第 2 次取りまとめで実施されたガラス固化体放射能の設定以降、燃焼計算や線量 計算コードおよび核データライブラリの更新が行われている。核データライブラリについては、 1994 年に公開された JENDL-3.2 では 340 核種が格納されている[3]が、2010 年に公開された JENDL-4.0 では、406 核種に増加している[4]。そのため、HLW 第 2 次取りまとめ当時に比べて、 現在の計算コードおよび核データライブラリでは計算精度が向上していることが予想される。

本章では、オーバーパックの中性子照射脆化量の予測モデルを構築する上で基となる、照射線 量及び損傷速度を最新の計算コードおよび核データを用いて予測し、閉じ込め期間中の脆化量の 予測方法を構築するための検討を実施する。そして、オーバーパックの脆化量を予測するための 方法について検討を行う。

7-1



図 7.1.1-1 軽水炉内に入れられた脆化監視試験片と材料照射試験炉(JMTR) により加速照射された試験片の降伏応力増加量[2]

7.1.2 平成 25 年度の成果

平成 25 年度は、HLW 第 2 次取りまとめにおけるガラス固化体(以下、モデルガラス固化体 とよぶ)中の放射性核種の放射能およびオーバーパックへの照射線量率を求めるための計算条 件を取得するために、再現計算を行った[5]。

モデルガラス固化体の放射能の計算では、ORIGEN2.1 (核データライブラリ:decay.lib (半 減期)、pwrue.lib (断面積))が使用されている[6]ため、再現計算でも同じ計算コードおよび 核データライブラリを用いた。処分後 1,000 年時点のモデルガラス固化体中の放射性核種の放 射能と再現計算の結果を比較して表 7.1.2・1 に示す。また、ガラス固化体 1 本当たりの発熱量 の比較およびオーバーパック表面近傍の線量当量率の比較を表 7.1.2・2、表 7.1.2・3 に示す。再 現計算の結果とモデルガラス固化体の放射能の比は、多くの核種で一致した。ただし、Sr-90、 Cs-137、Cm-243、Cm-244 については、再現計算の結果が大きくなった。現状ではこの原因は 明らかになっていないが、表 7.1.2・2 に示すように発熱量では再現計算の結果とモデルガラス 固化体の計算結果は一致した。また、MCNP-4A を用いたオーバーパック表面および 1 m の位 置での線量当量率も一致したため、再現計算とモデルガラス固化体中の放射性核種の放射能の 差は、無視できる程度と判断した。以上の結果から、再現計算の計算条件は妥当であると判断 した。

表 7.1.2-1 処分後 1,000 年時点におけるモデルガラス固化体中の放射性核種の放射能と 再現計算結果の比較(ORIGEN2.1) [5]

单位:[Bq/MTU]

				1 - 1	
长年	半減期	<u>→¬+</u> ト/→*1)	再現値		
修裡	[年]	記載値	1000年	比*2)	
Ni-63	9.20E+01	5.77E+07	5.125E+07	0.89	
Se-79	6.50E+04	2.05E+10	2.047E+10	1.00	
Sr-90	2.91E+01	4.79E+04	1.574E+05	3.29	
Zr-93	1.53E+06	9.23E+10	1.049E+11	1.14	
Nb-93m	1.36E+01	8.77E+10	9.962E+10	1.14	
Nb-94	2.03E+04	2.28E+08	2.225E+08	0.98	
Tc-99	2.13E+05	6.42E+11	6.427E+11	1.00	
Pd-107	6.50E+06	5.20E+09	5.203E+09	1.00	
Sn-126	1.00E+05	3.72E+10	3.717E+10	1.00	
Cs-135	2.30E+06	2.29E+10	2.293E+10	1.00	
Cs-137	3.00E+01	1.38E+05	4.380E+05	3.17	
Sm-151	9.00E+01	5.88E+09	8.663E+09	1.47	
Ho-166m	1.20E+03	7.83E+07	8.045E+07	1.03	
Pb-210	2.23E+01	2.58E+06	2.516E+06	0.98	
Ra-226	1.60E+03	2.71E+06	2.517E+06	0.93	
Ac-227	2.18E+01	1.12E+06	1.122E+06	1.00	
Th-228	1.91E+00	3.57E+04	3.587E+04	1.00	
Th-229	7.34E+03	5.65E+06	5.106E+06	0.90	
Th-230	7.70E+04	1.15E+07	1.109E+07	0.96	
Th-232	1.41E+10	7.66E+00	7.474E+00	0.98	
Pa-231	3.28E+04	1.12E+06	1.122E+06	1.00	
U-232	7.20E+01	3.53E+04	3.583E+04	1.02	
U-233	1.59E+05	1.22E+08	1.154E+08	0.95	
U-234	2.45E+05	1.02E+09	1.016E+09	1.00	
U-235	7.04E+08	3.42E+06	3.417E+06	1.00	
U-236	2.34E+07	7.42E+07	7.354E+07	0.99	
U-238	4.47E+09	4.86E+07	4.856E+07	1.00	
Np-237	2.14E+06	2.89E+10	2.876E+10	1.00	
Pu-238	8.77E+01	1.22E+10	1.537E+10	1.26	
Pu-239	2.41E+04	1.10E+11	1.087E+11	0.99	
Pu-240	6.54E+03	4.49E+11	4.512E+11	1.00	
Pu-241	1.44E+01	1.42E+10	1.420E+10	1.00	
Pu-242	3.87E+05	4.77E+08	4.768E+08	1.00	
Am-241	4.32E+02	7.19E+12	7.784E+12	1.08	
Am242m	1.52E+02	6.30E+09	7.918E+09	1.26	
Am-243	7.38E+03	8.98E+11	9.019E+11	1.00	
Cm-243	2.85E+01	7.71E+00	2.601E+01	3.37	
Cm-244	1.81E+01	4.74E-04	3.208E-03	6.77	
Cm-245	8.50E+03	1.41E+10	1.418E+10	1.01	
Cm-246	4.73E+03	2.90E+09	2.917E+09	1.01	
Cf-249	3.51E+02	5.73E+04	6.313E+04	1.10	

^{*1)} JNC TN8400 99-085 付表 B-2 各核種の放射能に対する濃縮度の影響(4.5%)参照

*2) "比"は記載値に対する比率[-]

表 7.1.2-2 ガラス固化体一本あたりの発熱量の比較(ORIGEN2.1)[5]

后取出か	こ加公	すでの	111月5	1在
	r) wer		ノ央カロロシ	44-

		_	
\\\\{\ \			/+-7
电41/	•		

再処理までの期間:4年 固化後の貯蔵期間:50年		記載値 ^{*1)}	再現計算 Origen-2 pwrue.lib, dee	í .1 cay.lib
		発熱量	発熱量	比*2)
固化時	放射化生成物	1.69E+00	2.436E+00	1.44
	アクチニド	1.35E+02	1.348E+02	1.00
	核分裂生成物	2.22E+03	2.217E+03	1.00
	合計	2.35E+03	2.354E+03	1.00
処分時	放射化生成物	2.71E-03	1.433E-03	0.53
	アクチニド	4.30E+01	4.298E+01	1.00
	核分裂生成物	3.08E+02	3.079E+02	1.00
	合計	3.51E+02	3.509E+02	1.00

*1) JNC TN8400 99-085 付表D-4 ガラス固化体一本あたりの発熱量 参照 *2) "比"は記載値に対する比率 [-]

7-4

表 7.1.2-3 処分後 0 年時点のオーバーパック表面近傍の線量当量率の比較 (炉取出から処分までの期間 34 年)(MCNP-4A) [5]

単位:[[mSv/h]
------	---------

オーバーパック表面	記載値 ^{*1)}	再現值 ^{*2)}	比*3)
(α, n)反応による2次γ線量当量率	1.836E-03	1.822E-03	1.01
自発核分裂による2次γ線量当量率	2.305E-03	2.288E-03	1.01
γ線量当量率(合計値)	4.141E-03	4.110E-03	1.01
(a, n)反応による中性子線量当量率	1.665E+00	1.669E+00	1.00
自発核分裂による中性子線量当量率	2.119E+00	2.128E+00	1.00
中性子線量当量率 (合計値)	3.784E+00	3.797E+00	1.00
全線量当量率	3.788E+00	3.801E+00	1.00

	記載值 ^{*1)}	再現值 ^{*2)}	
FPによるγ線量当量率(参考値)	_	1.883E+00	—

単位:[mSv/h]

オーバーパック表面から1m	記載値 ^{*1)}	再現值 ^{*2)}	比*3)
(α, n)反応による2次γ線量当量率	2.144E-04	2.060E-04	1.04
自発核分裂による2次γ線量当量率	2.626E-04	2.633E-04	1.00
γ線量当量率(合計値)	4.770E-04	4.693E-04	1.02
(a, n)反応による中性子線量当量率	1.931E-01	1.919E-01	0.99
自発核分裂による中性子線量当量率	2.469E-01	2.475E-01	1.00
中性子線量当量率(合計値)	4.400E-01	4.394E-01	1.00
全線量当量率	4.405E-01	4.399E-01	1.00

	記載値*1)	再現值 ^{*2)}	
FPによるγ線量当量率(参考値)	_	4.129E-01	—

*1) JNC TN1400 2003-03 表 6-1012 参照

*2) MCNP-4A (中性子: ENDF/B-VI, γ線: mcplib.02)

*3) "比"は記載値に対する比率 [-]

7.2 最新の計算コードを用いたオーバーパック照射線量の検討

平成 25 年度に取得したモデルガラス固化体の放射能およびオーバーパックの照射線量率の計 算条件で、最新の計算コードと核データライブラリを用いて、ガラス固化体中の放射性核種の放 射能を求め、脆化予測のためのオーバーパックの照射線量率を求める。

7.2.1 ガラス固化体の放射能の算出

(1) 計算方法および計算条件

1) 計算コードおよび核データ

使用済燃料中の核種の生成、崩壊計算には、HLW 第2次取りまとめにおいてガラス固化 体インベントリ設定に使用された ORIGEN の最新版である ORIGEN2.2-upj を使用する。 また、核データライブラリには、原子炉の設計、解析、遮へい計算などに使用できる日本の 汎用標準核データライブラリの最新版である JENDL-4.0 を使用する。

2) 計算条件

対象とするガラス固化体は、第2次取りまとめのモデルガラス固化体と同様に、高レベル 放射性廃棄物のガラス固化体(JNFL製)とする。燃焼計算および再処理などの計算条件の 一覧を表 7.2.1-1 に示す。また、燃料ペレット中の不純物の組成およびウランの同位体組成 を表 7.2.1-2、表 7.2.1-3 に示す。

燃料集合体の構造材の組成を表 7.2.1-4 に示す。燃料集合体のエンドピースは TRU 廃棄 物として処分されるため、解析の対象からは除外されている。

JNFL 製ガラス固化体の仕様を表 7.2.1-5 に示す。

	炉型			PWR
	濃縮度	wt%	4.5	
燃焼条件	比出力		MW/MTU	38
	燃焼度		MWD/MTU	45,000
	運転日数		日	1184.21連続
	炉取出から再処理までの冷却期間			4
		U	%	0.422
	燃料中の核種の移行率	Pu	%	0.548
再処理条件		H,C,I,Cl	%	0
		希ガス	%	0
		その他	%	100
	構造材の移行	全核種	-	1.0/264.5
国业务供	再処理から固化までの冷却期間		年	0
回征来件	固化体発生量	本/MTU	1.25	
	ウラン等価量		MTU/本	0.8
中間貯蔵	固化から処分までの貯蔵	期間	年	50

表 7.2.1-1 ガラス固化体のインベントリ計算条件([6]から一部抜粋)

表 7.2.1-2 燃料不純物組成[6]

		含有量			含有量
原子番号	元素名	[g/MTU]	原子番号	元素名	[g/MTU]
3	Li	1.0	25	Mn	1.7
5	В	1.0	26	Fe	18.0
6	С	89.4	27	Со	1.0
7	N	25.0	28	Ni	24.0
8	0	134,454.0	29	Cu	1.0
9	F	10.7	30	Zn	40.3
11	Na	15.0	42	Мо	10.0
12	Mg	2.0	47	Ag	0.1
13	Al	16.7	48	Cd	25.0
14	Si	12.1	49	In	2.0
15	Р	35.0	50	Sn	4.0
17	CI	5.3	64	Gd	2.5
20	Ca	2.0	74	W	2.0
22	Ti	1.0	82	Pb	1.0
23	V	3.0	83	Bi	0.4
24	Cr	4.0			

・出典: Ludwig and Renier (1989), ORNL/TM-11018.

表 7.2.1-3 燃料ペレット中のウラン同位体不純物[6]

同位体	規定値
U-232	0.0001 µg/gU
U-234	10×10³ µg/g²³⁵U
U-236	250 μg/gU
Tc-99	0.01 µg/gU

[・]出典:ASTM (1996), ASTM C-996-96.

	表	7.2.1-4	構造材組成デー	-タ[6]
--	---	---------	---------	-------

構造	皆材	Zry-2	Zry-4	Inc718	IncX750	SUS 302	SUS 304	Nicro.50	計 [kg/MTU]	換算 [g/MTU]
重量 ^{*)} [k	(g/MTU]		235	12.8		4.2	9.9	2.6	264.5	
原子番号	元素	組成 (g/metric ton metal)						含有量	含有量	
1	н	13	13						3.06E-03	3.06E+00
5	В	0.33	0.33					50	2.08E-04	2.08E-01
6	С	120	120	400	399	1,500	800	100	4.78E-02	4.78E+01
7	N	80	80	1,300	1,300	1,300	1,300	66	5.39E-02	5.39E+01
8	0	950	950					43	2.23E-01	2.23E+02
13	Al	24	24	5,992	7,982			100	8.26E-02	8.26E+01
14	Si			1,997	2,993	10,000	10,000	511	1.68E-01	1.68E+02
15	Р					450	450	103,244	2.75E-01	2.75E+02
16	S	35	35	70	70	300	300	100	1.36E-02	1.36E+01
22	Ti	20	20	7,990	24,943			100	1.07E-01	1.07E+02
23	V	20	20						4.70E-03	4.70E+00
24	Cr	1,000	1,250	189,753	149,660	180,000	190,000	149,709	5.75E+00	5.75E+03
25	Mn	20	20	1,997	6,984	20,000	20,000	100	3.13E-01	3.13E+02
26	Fe	1,500	2,250	179,766	67,846	697,740	688,440	471	1.26E+01	1.26E+04
27	Co	10	10	4,694	6,485	800	800	381	7.47E-02	7.47E+01
28	Ni	500	20	519,625	721,861	89,200	89,200	744,438	9.85E+00	9.85E+03
29	Cu	20	20	999	499				1.75E-02	1.75E+01
40	Zr	979,630	979,110					100	2.30E+02	2.30E+05
41	Nb			55,458	8,980				7.10E-01	7.10E+02
42	Mo			29,961					3.84E-01	3.84E+02
48	Cd	0.25	0.25						5.88E-05	5.88E-02
50	Sn	16,000	16,000						3.76E+00	3.76E+03
72	Hf	78	78						1.83E-02	1.83E+01
74	w	20	20					100	4.96E-03	4.96E+00
92	υ	0.2	0.2						4.70E-05	4.70E-02

*) 全構造材のうち、上部/下部構造材(End fitting zone)を除いた部分のみ

・出典: Ludwig and Renier (1989), ORNL/TM-11018.

	仕様値			
++応	固化ガラス		ほうけい酸ガラス	
171 177	容器		ステンレス鋼	
壬旦	ガラス固化体重量	1-~/*	約 500	
里里	固化ガラス重量	Kg/4×	約 400	
容量	固化ガラス容積]/本	約 150	
把 咬-+汁	外径		約 430	
(モューフター)	高さ	mm	約 1340	
(++-/)	容器肉厚		約 6	
発熱量	固化時	kW/本	約 2.3	
	${ m SiO}_2$		45.1	
	B_2O_3		13.9	
	Al_2O_3		4.9	
	Li ₂ O		2.0	
	CaO		4.0	
	ZnO		2.5	
ガラス組成(*)	Na ₂ O	wt/%	9.8	
	P_2O_5		0.3	
	Fe_2O_3		2.9	
	NiO		0.4	
	Cr_2O_3		0.5	
	FP 酸化物		12.8	
	AC 酸化物		0.9	

表 7.2.1-5 ガラス固化体 (JNFL 製)の仕様[6]

(*)COGEMA 仕様と同一と仮定

出典:

- ・日本原燃株式会社(1992b)、六ヶ所事業所 廃棄物管理事業許可申請書 (平成4年1月一部補正)
- ・高レベル事業推進準備会(1997)、高レベル放射性廃棄物ポケットブック
(2) ガラス固化体の放射能の計算結果

処分後 1000 年におけるガラス固化体の放射能を、第 2 次取りまとめの計算結果(表中 では記載値と表記)と併せて表 7.2.1-6 に示す。表中の比は、記載値に対する計算結果の 比率を表している。第 2 次取りまとめと同様に、処分後 0 年の定義は原子炉から使用済 燃料取り出し後 54 年(使用済燃料の冷却期間 4 年+ガラス固化体の貯蔵期間 50 年)と し、処分後 1000 年は炉取出し後 1000 年と定義している。

処分直後の発熱量の比較を表 7.2.1-7 に示す。また、第 2 次取りまとめにおけるガラス 固化体と ORIGEN2.2-upj の発熱量の比較を図 7.2.1-1 に、主な放射性核種の放射能の推 移を図 7.2.1-2 に示す。図中の実線は第 2 次取りまとめの結果を表しており、プロットが ORIGEN2.2-upj の計算結果を表している。 表 7.2.1-6 処分後 1,000 年時点における核種毎の放射能の比較(1MTU あたりの放射能)

拉连	半減期	⇒⊐ <u>≠⊳</u> /++*1)	再現	値
	[年]	記載値	1000年	${f k}^{*2)}$
Ni-63	9.20E+01	5.77E+07	8.924E+07	1.55
Se-79	6.50E+04	2.05E+10	2.621E+09	0.13
Sr-90	2.91E+01	4.79E+04	1.194E+05	2.49
Zr-93	1.53E+06	9.23E+10	9.490E+10	1.03
Nb-93m	1.36E+01	8.77E+10	9.017E+10	1.03
Nb-94	2.03E+04	2.28E+08	6.686E+07	0.29
Tc-99	2.13E+05	6.42E+11	6.729E+11	1.05
Pd-107	6.50E+06	5.20E+09	5.302E+09	1.02
Sn-126	1.00E+05	3.72E+10	1.284E+10	0.35
Cs-135	2.30E+06	2.29E+10	2.368E+10	1.03
Cs-137	3.00E+01	1.38E+05	4.731E+05	3.43
Sm-151	9.00E+01	5.88E+09	6.735E+09	1.15
Ho-166m	1.20E+03	7.83E+07	3.812E+07	0.49
Pb-210	2.23E+01	2.58E+06	2.236E+06	0.87
Ra-226	1.60E+03	2.71E+06	2.237E+06	0.83
Ac-227	2.18E+01	1.12E+06	1.470E+06	1.31
Th-228	1.91E+00	3.57E+04	3.724E+04	1.04
Th-229	7.34E+03	5.65E+06	4.283E+06	0.76
Th-230	7.70E+04	1.15E+07	9.379E+06	0.82
Th-232	1.41E+10	7.66E+00	7.174E+00	0.94
Pa-231	3.28E+04	1.12E+06	1.469E+06	1.31
U-232	7.20E+01	3.53E+04	3.722E+04	1.05
U-233	1.59E+05	1.22E+08	9.846E+07	0.81
U-234	2.45E+05	1.02E+09	7.476E+08	0.73
U-235	7.04E+08	3.42E+06	3.989E+06	1.17
U-236	2.34E+07	7.42E+07	7.022E+07	0.95
U-238	4.47E+09	4.86E+07	4.849E+07	1.00
Np-237	2.14E+06	2.89E+10	2.551E+10	0.88
Pu-238	8.77E+01	1.22E+10	5.752E+09	0.47
Pu-239	2.41E+04	1.10E+11	1.085E+11	0.99
Pu-240	6.54E+03	4.49E+11	4.108E+11	0.91
Pu-241	1.44E+01	1.42E+10	1.955E+10	1.38
Pu-242	3.87E+05	4.77E+08	5.479E+08	1.15
Am-241	4.32E+02	7.19E+12	9.622E+12	1.34
Am242m	1.52E+02	6.30E+09	2.594E+09	0.41
Am-243	7.38E+03	8.98E+11	9.126E+11	1.02
Cm-243	2.85E+01	7.71E+00	3.548E+01	4.60
Cm-244	1.81E+01	4.74E-04	2.906E-03	6.13
Cm-245	8.50E+03	1.41E+10	1.951E+10	1.38
Cm-246	4.73E+03	2.90E+09	2.642E+09	0.91
Cf-249	3.51E+02	5.73E+04	5.776E+04	1.01

単位:[Bq/MTU]

*1) JNC TN8400 99-085 付表 B-2 各核種の放射能に対する濃縮度の影響(4.5%)参照

*2) "比"は記載値に対する比率[-]

表 7.2.1-7 ガラス固化体一本あたりの発熱量の比較

炉取出から処分までの期間34年

			再現計算*2)		最新法		
百加理せ	での期間・1年	記載値*1)	Origen2.1		Orig	en2.2-upj	
再処理は	、Cの期间,4平) 貯蔵期間,30年		pwrue.lib, decay.lib		pwr47j40.lil	o, DECAYJ40.lib	
回记夜	回征夜 切則敵 刑 同 . 30 平		発熱量 「wv /木]	比*3)	発熱量 「WI /本]	比*2)	
固化時	放射化生成物	1.69E+00	2.436E+00	1.44	1.631E+00	0.97	
	アクチニド	1.35E+02	1.348E+02	1.00	1.319E+02	0.98	
	核分裂生成物	2.22E+03	2.217E+03	1.00	2.178E+03	0.98	
	合計	2.35E+03	2.354E+03	1.00	2.311E+03	0.98	
処分時	放射化生成物	3.28E-02	9.513E-03	0.29	6.898E-03	0.21	
	アクチニド	6.12E+01	6.118E+01	1.00	6.386E+01	1.04	
	核分裂生成物	4.97E+02	4.968E+02	1.00	4.781E+02	0.96	
	合計	5.58E+02	5.580E+02	1.00	5.420E+02	0.97	

炉取出から処分までの期間54年

		再現計算*2)		ļ	最新法	
再加理までの期間・4年		記載値*1)	Origen2.1		Origen2.2-upj	
再処理よ	しての期间・4年		pwrue.lib, decay.lib		pwr47j40.li	b, DECAYJ40.lib
间佔後の則敵旁间. 50平		発熱量 「W/本]	発熱量 「W/本]	比*2)	発熱量 「W/本]	比*2)
固化時	放射化生成物	1.69E+00	2.436E+00	1.44	1.631E+00	0.97
	アクチニド	1.35E+02	1.348E+02	1.00	1.319E+02	0.98
	核分裂生成物	2.22E+03	2.217E+03	1.00	2.178E+03	0.98
	合計	2.35E+03	2.354E+03	1.00	2.311E+03	0.98
処分時	放射化生成物	2.71E-03	1.433E-03	0.53	1.147E-03	0.42
	アクチニド	4.30E+01	4.298E+01	1.00	4.715E+01	1.10
	核分裂生成物	3.08E+02	3.079E+02	1.00	2.965E+02	0.96
	合計	3.51E+02	3.509E+02	1.00	3.436E+02	0.98

*1) JNC TN8400 99-085 付表 D-4 ガラス固化体一本あたりの発熱量 参照

*2) 平成 25 年度に実施した ORIGEN2.1 による再現計算結果

*3) "比"は記載値に対する比率[-]



図 7.2.1-1 第2次取りまとめの計算結果との比較 (ガラス固化体1本あたりの発熱量)



図 7.2.1-2 ガラス固化体中の放射性核種の放射能の比較(Origen2.1 と Origen2.2-upj)



(Origen2.1 と Origen2.2-upj) (つづき)







(o) Am-243





(3) ORIGEN2.1 と ORIGEN2.2-upj での計算結果の違いについて

表 7.2.1-6 に示したように、ORIGEN2.2-upj で計算した核種毎の放射能は、核種によっては、モデルガラス固化体の放射能と異なった。計算条件は、HLW 第 2 次取りまとめでのモデルガラス固化体の放射能の計算と同様のため、計算結果が異なった原因としては、核データライブラリの違いが考えられる。第 2 次取りまとめの時点では ORIGEN2.1 に付属のオリジナルライブラリで計算されており、今回用いた JENDL-4.0 では計算時に考慮される核種量が増加している。また、DENDL-4.0 では、核種の半減期等についても最新の研究結果が反映されている。このため、核種によって放射能量に違いが生じたと考えられる。

処分後数百年までは、比較的半減期の短い Sr-90 や Cs-137 などの核分裂生成物が、ガ ラス固化体の発熱に寄与する。ORIGEN2.2-upjの計算結果では、Sr-90 と Cs-137 の放 射能がモデルガラス固化体に比べて増加した。ただし、表 7.2.1-7 に示したように、炉取 出後 54 年では核分裂生成物の発熱量の比は 4%低下した。

7.2.2 中性子線及びガンマ線の照射線量率の算出

7.2.1(2)の ORIGEN2.2-upj によるガラス固化体の放射能の計算結果(線源強度およびエ ネルギースペクトル)を用いて、オーバーパックに照射される中性子線およびガンマ線の エネルギースペクトルと照射線量率を算出する。エネルギースペクトルと線量率は、時間 変化の傾向が把握できる時間間隔で算出し、オーバーパックの胴体の内表面から外表面ま での板厚方向の変化についても算出する。なお、中性子線源は第2次取りまとめと同様に、 自発核分裂および(α, n)反応をそれぞれ考慮する。

(1) 計算方法および計算条件

1) 計算コードおよび核データライブラリ

エネルギースペクトルおよび線量率の算出には、3 次元連続エネルギーモンテカルロ法 コード MCNP を使用する。HLW 第 2 次取りまでは、MCNP-4A コードが使用されてお り、今回はその最新バージョンである MCNP-5、核データに JENDL-3.2 および JENDL-4.0 を使用して照射線量を算出する。なお、JENDL にはガンマ線源用のライブ ラリが存在しないため、ガンマ線減のライブラリには米国の核データ ENDF/B-VI を用い る。

計算コード: MCNP-5 (Ver.1.60) 核データ(中性子): JENDL-3.2 及び 4.0 核データ(ガンマ線): ENDF/B-VI 2) 計算条件

オーバーパックの照射線量の計算条件を表 7.2.2・1 に示す。また、オーバーパック 線量計算の計算モデルを図 7.2.2・1 に示す。照射線量はオーバーパック内表面の軸方 向中心位置について算出する。線量計算は、ガラス固化体生成後 10,000 年までを対 象として実施する。また、オーバーパック埋設後の中性子線およびガンマ線のエネル ギースペクトル、線量率の時間変化についても変化の傾向が把握できる時間間隔で計 算する。線量率の計算は、オーバーパック中でのスペクトルの変化を確認するために、 オーバーパック内側表面からオーバーパック外側表面までを 1 cm 間隔で算出する。

ガラス固化体の放射能の計算結果から作成した線源強度を表 7.2.2-3 に、(α, n)反応、 自発核分裂、ガンマ線のエネルギースペクトルをそれぞれ表 7.2.2-4 から表 7.2.2-6 に示す。ガラス固化体の線源強度は、ORIGEN2.2-upjの計算結果を参考文献[8]の方 法で処理して求めた。

項目				計算条件		
実行線量率換算係	実行線量率換算係数					
	ガラフ田化体	直径	mm	418		
	カノス回1114	高さ	mm	1340		
		直径	mm	810		
-+	オーバーパック	高さ	mm	1720		
う伝		厚さ	mm	190		
		直径	mm	430		
	キャニスター	高さ	mm	1340		
		厚さ	mm	6		
	(α,n)反応による中性子線源		n/sec			
線源強度	自発核分裂による中性子線源		n/sec	表 7.2.2-3		
	直径mmキャニスター高さmm高さmm厚さmm厚さmm原 (α,n) 反応による中性子線源n/sec自発核分裂による中性子線源n/secFission Productsによるγ線源 (α,n) 反応による中性子線源MeV東スペクトル自発核分裂による中性子線源MeV					
(α,n)反応による		1性子線源	MeV	表 7.2.2-4		
線源スペクトル	自発核分裂による	中性子線源	MeV	表 7.2.2-5		
	Fission Products によるγ線源		MeV	表 7.2.2-6		
物質の組成				表 7.2.2-2		
	ガラス固化体		g/cm ³	2.60		
物质密度	オーバーパック		g/cm ³	7.80		
初貝面茂	キャニスター		g/cm ³	7.90		
	空気		g/cm ³	$1.2049 imes 10^{-3}$		

表 7.2.2-1 線量計算の計算条件

表 7.2.2-2 核物質の組成[7]

HLW	重量比
Li6	0.00108
Li7	0.01334
B10	0.00901
B11	0.03625
0	0.50198
Na	0.07789
A1	0.02779
Si	0.22936
Ca	0.02231
Zr	0.0205
Mo	0.03251
Pd	0.00682
Cs	0.00788
Ba	0.01326

空気	重量比
Н	0.00001
С	0.00013
N14	0.76186
N15	0.00283
0	0.23517

炭素鋼	重量比
Fe54	0.0579
Fe56	0.90014
Fe57	0.02061
Fe58	0.00275
С	0.0035
Si	0.0035
Mn	0.011
Р	0.0003
S	0.0003
	*+- バーパック

*オーバーパック

SUS304重量比Fe540.0406Fe560.63732Fe570.01472Fe580.00196C0.0004Si0.005Mn0.01Cr500.00826Cr520.1592Cr530.01805Cr540.00449Ni580.06808Ni600.2622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093		
Fe540.0406Fe560.63732Fe570.01472Fe580.00196C0.0004Si0.005Mn0.01Cr500.00826Cr520.1592Cr530.01805Cr540.00449Ni580.06808Ni600.2622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093	SUS304	重量比
Fe560. 63732Fe570. 01472Fe580. 00196C0. 0004Si0. 005Mn0. 01Cr500. 00826Cr520. 1592Cr530. 01805Cr540. 00449Ni580. 06808Ni600. 02622Ni610. 00114Ni620. 00363Ni640. 00093	Fe54	0.0406
Fe570.01472Fe580.00196C0.0004Si0.005Mn0.01Cr500.00826Cr520.1592Cr530.01805Cr540.00449Ni580.06808Ni600.2622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093	Fe56	0.63732
Fe580.00196C0.0004Si0.005Mn0.01Cr500.00826Cr520.1592Cr530.01805Cr540.00449Ni580.06808Ni600.2622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093	Fe57	0.01472
C 0.0004 Si 0.005 Mn 0.01 Cr50 0.00826 Cr52 0.1592 Cr53 0.01805 Cr54 0.00449 Ni58 0.06808 Ni60 0.02622 Ni61 0.00114 Ni62 0.00363 Ni64 0.00093	Fe58	0.00196
Si 0.005 Mn 0.01 Cr50 0.00826 Cr52 0.1592 Cr53 0.01805 Cr54 0.00449 Ni58 0.06808 Ni60 0.02622 Ni61 0.00114 Ni62 0.00363 Ni64 0.00093	С	0.0004
Mn 0.01 Cr50 0.00826 Cr52 0.1592 Cr53 0.01805 Cr54 0.00449 Ni58 0.06808 Ni60 0.02622 Ni61 0.00114 Ni62 0.00363 Ni64 0.00093	Si	0.005
Cr500.00826Cr520.1592Cr530.01805Cr540.00449Ni580.06808Ni600.02622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093	Mn	0.01
Cr520.1592Cr530.01805Cr540.00449Ni580.06808Ni600.02622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093	Cr50	0.00826
Cr530.01805Cr540.00449Ni580.06808Ni600.02622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093	Cr52	0.1592
Cr540.00449Ni580.06808Ni600.02622Ni610.00114Ni620.00363Ni640.00093	Cr53	0.01805
Ni58 0.06808 Ni60 0.02622 Ni61 0.00114 Ni62 0.00363 Ni64 0.00093	Cr54	0.00449
Ni60 0.02622 Ni61 0.00114 Ni62 0.00363 Ni64 0.00093	Ni58	0.06808
Ni61 0.00114 Ni62 0.00363 Ni64 0.00093	Ni60	0.02622
Ni62 0.00363 Ni64 0.00093	Ni61	0.00114
Ni64 0.00093	Ni62	0.00363
	Ni64	0.00093

*キャニスタ

(α、n)反応によ	くる中性子収率
Year	収率[neutron/sec]
Discharge	1.936E+08
1	1.830E+08
30	8.904E+07
40	7.413E+07
50	6.373E+07
100	4.253E+07
500	2.065E+07
1000	9.471E+06
1500	4.481E+06
2000	2.239E+06
5000	3.917E+05
10000	3.202E+05

表 7.2.2-3 ガラス固化体の線源強度

自発核分裂による	5 中性子収率
Year	収率[neutron/sec]
Discharge	3.647E+08
1	3.505E+08
30	1.167E+08
40	8.025E+07
50	5.536E+07
100	9.839E+06
500	1.834E+06
1000	1.703E+06
1500	1.585E+06
2000	1.475E+06
5000	9.604E+05
10000	4.728E+05

Fission Product	sによるγ線収率
Year	収率[gamma/sec]
Discharge	1.865E+16
1	1.440E+16
30	4.127E+15
40	3.253E+15
50	2.571E+15
100	8.075E+14
500	1.317E+13
1000	7.107E+12
1500	4.378E+12
2000	3.105E+12
5000	1.669E+12
10000	1.103E+12

ORIGEN2.2-upjの出力結果をJAERI-1324で処理

表	7.2.2-4	線源スペク	トル[(a,n)反応による中性子エネルギースペクトル	/]

Energy					ガラン	ス固化体生质	戈後経過期間	引[年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
0.1	2.033E-03	2.051E-03	2.189E-03	2.240E-03	2.289E-03	2.438E-03	2.500E-03	2.532E-03	2.588E-03	2.675E-03	3.049E-03	3.092E-03
0.2	2.914E-03	2.919E-03	2.954E-03	2.966E-03	2.979E-03	3.016E-03	3.032E-03	3.041E-03	3.055E-03	3.078E-03	3.178E-03	3.192E-03
0.3	3.605E-03	3.597E-03	3.545E-03	3.525E-03	3.507E-03	3.449E-03	3.426E-03	3.414E-03	3.394E-03	3.363E-03	3.230E-03	3.220E-03
0.4	3.813E-03	3.812E-03	3.805E-03	3.802E-03	3.800E-03	3.792E-03	3.789E-03	3.788E-03	3.786E-03	3.782E-03	3.769E-03	3.771E-03
0.5	4.108E-03	4.114E-03	4.156E-03	4.172E-03	4.186E-03	4.232E-03	4.251E-03	4.261E-03	4.278E-03	4.305E-03	4.420E-03	4.433E-03
0.6	4.538E-03	4.541E-03	4.570E-03	4.580E-03	4.590E-03	4.620E-03	4.633E-03	4.640E-03	4.651E-03	4.669E-03	4.747E-03	4.756E-03
0.7	5.162E-03	5.164E-03	5.178E-03	5.183E-03	5.188E-03	5.203E-03	5.209E-03	5.213E-03	5.219E-03	5.228E-03	5.270E-03	5.276E-03
0.8	7.805E-03	7.786E-03	7.642E-03	7.589E-03	7.539E-03	7.383E-03	7.318E-03	7.285E-03	7.228E-03	7.139E-03	6.757E-03	6.716E-03
0.9	8.785E-03	8.767E-03	8.638E-03	8.590E-03	8.545E-03	8.405E-03	8.347E-03	8.317E-03	8.265E-03	8.185E-03	7.842E-03	7.807E-03
1.0	8.361E-03	8.359E-03	8.343E-03	8.337E-03	8.331E-03	8.313E-03	8.306E-03	8.302E-03	8.296E-03	8.286E-03	8.243E-03	8.239E-03
1.1	8.714E-03	8.705E-03	8.633E-03	8.607E-03	8.582E-03	8.505E-03	8.473E-03	8.456E-03	8.428E-03	8.384E-03	8.195E-03	8.175E-03
1.2	9.926E-03	9.925E-03	9.923E-03	9.922E-03	9.921E-03	9.918E-03	9.917E-03	9.917E-03	9.916E-03	9.914E-03	9.908E-03	9.908E-03
1.3	9.102E-03	9.101E-03	9.098E-03	9.097E-03	9.095E-03	9.092E-03	9.090E-03	9.090E-03	9.090E-03	9.089E-03	9.087E-03	9.091E-03
1.4	9.321E-03	9.322E-03	9.326E-03	9.328E-03	9.330E-03	9.335E-03	9.338E-03	9.339E-03	9.342E-03	9.347E-03	9.370E-03	9.377E-03
1.5	1.014E-02	1.014E-02	1.013E-02	1.013E-02	1.012E-02	1.011E-02	1.011E-02	1.011E-02	1.010E-02	1.010E-02	1.008E-02	1.009E-02
1.6	1.104E-02	1.104E-02	1.100E-02	1.099E-02	1.098E-02	1.094E-02	1.092E-02	1.091E-02	1.090E-02	1.088E-02	1.079E-02	1.079E-02
1.7	1.214E-02	1.213E-02	1.205E-02	1.202E-02	1.199E-02	1.191E-02	1.187E-02	1.186E-02	1.183E-02	1.178E-02	1.159E-02	1.158E-02
1.8	1.422E-02	1.420E-02	1.404E-02	1.398E-02	1.392E-02	1.375E-02	1.368E-02	1.365E-02	1.358E-02	1.349E-02	1.308E-02	1.305E-02
1.9	1.526E-02	1.525E-02	1.519E-02	1.516E-02	1.514E-02	1.507E-02	1.504E-02	1.503E-02	1.500E-02	1.497E-02	1.482E-02	1.481E-02
2.0	1.643E-02	1.644E-02	1.653E-02	1.656E-02	1.659E-02	1.668E-02	1.672E-02	1.674E-02	1.678E-02	1.684E-02	1.710E-02	1.714E-02
2.1	1.923E-02	1.924E-02	1.933E-02	1.937E-02	1.940E-02	1.950E-02	1.954E-02	1.957E-02	1.961E-02	1.967E-02	1.996E-02	2.001E-02
2.2	2.101E-02	2.103E-02	2.120E-02	2.126E-02	2.132E-02	2.150E-02	2.158E-02	2.162E-02	2.169E-02	2.180E-02	2.230E-02	2.237E-02
2.3	2.411E-02	2.414E-02	2.440E-02	2.449E-02	2.458E-02	2.486E-02	2.497E-02	2.504E-02	2.514E-02	2.531E-02	2.605E-02	2.615E-02
2.4	2.721E-02	2.726E-02	2.767E-02	2.783E-02	2.797E-02	2.842E-02	2.860E-02	2.870E-02	2.887E-02	2.913E-02	3.027E-02	3.041E-02
2.5	3.286E-02	3.292E-02	3.332E-02	3.347E-02	3.362E-02	3.405E-02	3.424E-02	3.433E-02	3.450E-02	3.476E-02	3.588E-02	3.602E-02
2.6	3.630E-02	3.636E-02	3.683E-02	3.699E-02	3.716E-02	3.766E-02	3.786E-02	3.797E-02	3.816E-02	3.845E-02	3.970E-02	3.985E-02
2.7	4.074E-02	4.077E-02	4.097E-02	4.104E-02	4.112E-02	4.134E-02	4.143E-02	4.148E-02	4.156E-02	4.169E-02	4.226E-02	4.233E-02
2.8	4.552E-02	4.550E-02	4.536E-02	4.531E-02	4.526E-02	4.511E-02	4.505E-02	4.502E-02	4.497E-02	4.488E-02	4.454E-02	4.451E-02
2.9	4.668E-02	4.666E-02	4.656E-02	4.652E-02	4.649E-02	4.638E-02	4.633E-02	4.631E-02	4.627E-02	4.621E-02	4.595E-02	4.593E-02
3.0	4.749E-02	4.747E-02	4.732E-02	4.727E-02	4.722E-02	4.706E-02	4.699E-02	4.696E-02	4.690E-02	4.681E-02	4.642E-02	4.639E-02
3.1	4.466E-02	4.467E-02	4.478E-02	4.482E-02	4.486E-02	4.498E-02	4.503E-02	4.505E-02	4.510E-02	4.517E-02	4.546E-02	4.549E-02
3.2	4.427E-02	4.428E-02	4.434E-02	4.436E-02	4.438E-02	4.444E-02	4.447E-02	4.448E-02	4.450E-02	4.453E-02	4.468E-02	4.469E-02
3.3	4.099E-02	4.101E-02	4.113E-02	4.117E-02	4.121E-02	4.133E-02	4.138E-02	4.141E-02	4.145E-02	4.152E-02	4.182E-02	4.185E-02
3.4	3.937E-02	3.938E-02	3.949E-02	3.953E-02	3.956E-02	3.968E-02	3.973E-02	3.975E-02	3.979E-02	3.985E-02	4.012E-02	4.014E-02
3.5	3.608E-02	3.609E-02	3.621E-02	3.625E-02	3.629E-02	3.642E-02	3.647E-02	3.650E-02	3.655E-02	3.662E-02	3.691E-02	3.693E-02
3.6	3.279E-02	3.282E-02	3.303E-02	3.311E-02	3.318E-02	3.341E-02	3.351E-02	3.355E-02	3.364E-02	3.377E-02	3.431E-02	3.436E-02
3.1	3.041E-02	3.042E-02	3. 052E-02	3.055E-02	3.058E-02	3.068E-02	3.072E-02	3.074E-02	3.078E-02	3.083E-02	3.105E-02	3.106E-02
3.8	2.022E-02	2.624E-02	2.044E-02	2.001E-02	2.008E-02	2.080E-02	2.689E-02	2.693E-02	2.701E-02	2.713E-02	2. 763E-02	2.700E-02
3.9	2.442E-02	2.444E-02	2.409E-02	2.404E-02	2.409E-02	2.400E-02	2.492E-02	2.495E-02	2.300E-02	2.309E-02	2.044E-02	2. 040E=02
4.0	2.192E 02	1 020E-02	2.190E 02	1 0255-02	2.199E 02	1.050E-02	2.204E 02	1 057E-02	2.200E 02	1.067E-02	1 001E-02	1 0025-02
4.1	1.919E 02	1.920E 02	1.951E 02	1.935E 02	1.939E 02	1. 708E_02	1. 505E 02	1. 557E 02	1. 501E 02	1. 507E 02	1. 551E 02	1. 552E 02
4 3	1.523E 02	1.521E 02	1.513E 02	1.510E 02	1.567E-02	1.560F-02	1.557F-02	1.556F-02	1.553F-02	1.549F-02	1.529F-02	1.525F-02
4 4	1 495F-02	1 494F-02	1 487F-02	1 484F-02	1 481F-02	1 473F-02	1 469F-02	1 467F-02	1 464F-02	1 458F-02	1 434F-02	1 430F-02
4.5	1. 470E-02	1. 466E-02	1. 437E-02	1. 426E-02	1. 416E-02	1. 384E-02	1. 371E-02	1. 364E-02	1. 352E-02	1. 333E-02	1. 253E-02	1. 243E-02
4, 6	1.330E-02	1. 327E-02	1. 302E-02	1.293E-02	1.285E-02	1.258E-02	1.247E-02	1.241E-02	1.231E-02	1.215E-02	1.147E-02	1.138E-02
4.7	1.261E-02	1.257E-02	1.226E-02	1.215E-02	1.204E-02	1.170E-02	1.156E-02	1.149E-02	1.136E-02	1.116E-02	1.031E-02	1.021E-02
4.8	1.204E-02	1.197E-02	1.147E-02	1.129E-02	1.111E-02	1.057E-02	1.035E-02	1.023E-02	1.003E-02	9.718E-03	8.372E-03	8,221E-03
4.9	9.023E-03	8.973E-03	8.610E-03	8.476E-03	8.348E-03	7.955E-03	7.791E-03	7.707E-03	7.560E-03	7.332E-03	6.352E-03	6.242E-03
5.0	6.590E-03	6.559E-03	6.331E-03	6.247E-03	6.167E-03	5.920E-03	5.817E-03	5.764E-03	5.671E-03	5.528E-03	4.909E-03	4.838E-03
5.1	5.181E-03	5.150E-03	4.921E-03	4.837E-03	4.757E-03	4.510E-03	4.407E-03	4.354E-03	4.262E-03	4.119E-03	3.505E-03	3.436E-03
5.2	3.822E-03	3.804E-03	3.676E-03	3.629E-03	3.584E-03	3.445E-03	3.388E-03	3.358E-03	3.306E-03	3.225E-03	2.878E-03	2.838E-03
5.3	1.299E-03	1.309E-03	1.381E-03	1.407E-03	1.433E-03	1.511E-03	1.543E-03	1.559E-03	1.588E-03	1.632E-03	1.820E-03	1.838E-03
5.4	8.479E-04	8.492E-04	8.586E-04	8.621E-04	8.654E-04	8.756E-04	8.797E-04	8.817E-04	8.851E-04	8.903E-04	9.122E-04	9.129E-04
5.5	5.498E-04	5.537E-04	5.822E-04	5.926E-04	6.026E-04	6.334E-04	6.461E-04	6.525E-04	6.636E-04	6.807E-04	7.536E-04	7.599E-04
5.6	4.226E-04	4.280E-04	4.668E-04	4.811E-04	4.947E-04	5.367E-04	5.541E-04	5.629E-04	5.781E-04	6.016E-04	7.021E-04	7.114E-04
5.7	5.172E-04	5.157E-04	5.050E-04	5.010E-04	4.972E-04	4.856E-04	4.808E-04	4.782E-04	4.738E-04	4.669E-04	4.369E-04	4.330E-04
5.8	3.814E-04	3.772E-04	3.461E-04	3.347E-04	3.238E-04	2.901E-04	2.762E-04	2.690E-04	2.566E-04	2.373E-04	1.544E-04	1.455E-04
5.9	3.179E-04	3.143E-04	2.884E-04	2.789E-04	2.698E-04	2.418E-04	2.302E-04	2.242E-04	2.138E-04	1.977E-04	1.286E-04	1.212E-04
6.0	3.179E-04	3.143E-04	2.884E-04	2.789E-04	2.698E-04	2.418E-04	2.302E-04	2.242E-04	2.138E-04	1.977E-04	1.286E-04	1.212E-04
6.1	2.543E-04	2.514E-04	2.307E-04	2.231E-04	2.159E-04	1.934E-04	1.841E-04	1.793E-04	1.710E-04	1.582E-04	1.029E-04	9.698E-05

(*) 炉取出し後の 54 年後(冷却 4 年、中間貯蔵 50 年)を処分後 0 年とする。 (**) 炉取出し後の 1000 年後を処分後 1000 年とする。

Energy [MeV]	$0 \sim 10000 [y]$
3.00E-01	3.850E-02
4.00E-01	7.980E-02
6.00E-01	8.160E-02
8.00E-01	7.060E-02
1.00E+00	7.240E-02
1.20E+00	7.140E-02
1.40E+00	6.220E-02
1.60E+00	5.580E-02
1.80E+00	5.050E-02
2.00E+00	4.590E-02
2.20E+00	4.210E-02
2.40E+00	4.030E-02
2.60E+00	3.310E-02
2.80E+00	2.750E-02
3.00E+00	2.580E-02
3.20E+00	2.470E-02
3.40E+00	2.370E-02
3.60E+00	1.910E-02
3.80E+00	2.010E-02
4.00E+00	2.650E-02
4.40E+00	2.190E-02
4.80E+00	1.660E-02
5.20E+00	1.270E-02
5.60E+00	1.020E-02
6.00E+00	7.520E-03
6.40E+00	5.410E-03
6.80E+00	3.750E-03
7.20E+00	2.860E-03
7.60E+00	2.290E-03
8.00E+00	2.580E-03
8.80E+00	7.940E-04
9.60E+00	8.320E-04
1.04E+01	5.560E-04
1.12E+01	3.990E-04

*Cm-244の自発核分裂スペクトルで代表

Energy		ガ	ラス固化体生成	成後経過期間[4	年]	
[MeV]	0	1	30	40	50	100
1.00E-02	2.440E-01	2.335E-01	2.701E-01	2.699E-01	2.693E-01	2.663E-01
2.50E-02	5.587E-02	5.326E-02	5.496E-02	5.489E-02	5.473E-02	5.341E-02
3.75E-02	5.802E-02	5.696E-02	6.542E-02	6.508E-02	6.481E-02	6.344E-02
5.75E-02	4.906E-02	4.632E-02	5.381E-02	5.441E-02	5.515E-02	6.307E-02
8.50E-02	3.177E-02	2.911E-02	3.005E-02	2.996E-02	2.986E-02	2.921E-02
1.25E-01	3.154E-02	2.754E-02	2.106E-02	2.022E-02	1.971E-02	1.873E-02
2.25E-01	2.746E-02	2.488E-02	2.525E-02	2.505E-02	2.486E-02	2.394E-02
3.75E-01	1.491E-02	1.328E-02	1.062E-02	1.056E-02	1.050E-02	1.006E-02
5.75E-01	3.692E-01	4.041E-01	4.618E-01	4.651E-01	4.673E-01	4.696E-01
8.50E-01	1.021E-01	9.549E-02	3.875E-03	2.916E-03	2.374E-03	1.648E-03
1.25E+00	1.480E-02	1.470E-02	2.957E-03	1.912E-03	1.318E-03	5.704E-04
1.75E+00	6.045E-04	4.936E-04	1.151E-04	8.386E-05	6.596E-05	4.238E-05
2.25E+00	5.744E-04	3.182E-04	1.037E-08	9.629E-09	8.981E-09	6.930E-09
2.75E+00	1.521E-05	9.919E-06	3.688E-09	3.344E-09	3.064E-09	2.567E-09
3.50E+00	1.932E-06	1.267E-06	2.899E-09	2.528E-09	2.206E-09	1.240E-09
5.00E+00	8.578E-10	1.067E-09	1.240E-09	1.081E-09	9.434E-10	5.294E-10
7.00E+00	9.894E-11	1.231E-10	1.430E-10	1.247E-10	1.088E-10	6.097E-11
9.50E+00	1.137E-11	1.414E-11	1.643E-11	1.432E-11	1.250E-11	6.999E-12

表 7.2.2-6 線源スペクトル[Fission Products ガンマ線エネルギースペクトル]

Energy		ガ	ラス固化体生成	成後経過期間[=	年]	
[MeV]	500	1000	1500	2000	5000	10000
1.00E-02	3.698E-01	3.789E-01	3.915E-01	4.042E-01	4.275E-01	4.324E-01
2.50E-02	3.476E-02	3.030E-02	2.463E-02	1.913E-02	1.107E-02	1.417E-02
3.75E-02	7.530E-03	1.020E-02	1.399E-02	1.771E-02	2.388E-02	2.366E-02
5.75E-02	4.857E-01	4.058E-01	2.988E-01	1.935E-01	1.499E-02	1.309E-02
8.50E-02	4.539E-02	7.983E-02	1.237E-01	1.666E-01	2.363E-01	2.294E-01
1.25E-01	2.918E-02	5.098E-02	7.877E-02	1.059E-01	1.489E-01	1.418E-01
2.25E-01	1.943E-02	3.417E-02	5.292E-02	7.121E-02	1.001E-01	9.504E-02
3.75E-01	3.332E-03	6.019E-03	9.582E-03	1.322E-02	2.148E-02	2.696E-02
5.75E-01	4.777E-03	3.550E-03	5.738E-03	8.068E-03	1.483E-02	2.203E-02
8.50E-01	1.261E-04	2.046E-04	3.213E-04	4.449E-04	7.966E-04	1.172E-03
1.25E+00	2.738E-05	4.346E-05	7.002E-05	9.862E-05	1.839E-04	2.815E-04
1.75E+00	2.310E-07	1.626E-07	3.618E-07	6.845E-07	4.176E-06	1.641E-05
2.25E+00	3.083E-08	6.587E-08	1.285E-07	2.195E-07	1.010E-06	3.360E-06
2.75E+00	1.720E-08	2.746E-08	4.193E-08	5.603E-08	8.283E-08	1.116E-07
3.50E+00	1.351E-08	2.309E-08	3.483E-08	4.580E-08	5.789E-08	5.180E-08
5.00E+00	5.745E-09	9.828E-09	1.480E-08	1.941E-08	2.351E-08	1.758E-08
7.00E+00	6.598E-10	1.132E-09	1.707E-09	2.239E-09	2.714E-09	2.028E-09
9.50E+00	7.568E-11	1.300E-10	1.962E-10	2.575E-10	3.122E-10	2.333E-10



図 7.2.2-1 オーバーパック線量計算モデル

(2) 線量率の計算結果

オーバーパック内側表面における中性子線とガンマ線の照射線量率について、使用した核データライブラリ毎に表 7.2.2-7 および表 7.2.2-8 に示す。また、同様に累積照射量を表 7.2.2-9 および表 7.2.2-10 に示す。累積照射量の算出は、処分後の各経過期間での 累積値と処分後 0 年からの累積値を示した。

板厚方向の照射線量率およびエネルギースペクトルを章末に添付資料として示す。

表 7.2.2-7 MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における照射線量率[JENDL-3.2]

OP内側表面から Ocm (α, n)反応

[上段:flux(n/sec/cm2), 下段:統計誤差]

- 나바 - 7					ガラス固	化体生成	後の経過期	間 [年]				
中性于	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MaVDI F	6.64E+04	6.27E+04	3.06E+04	2.55E+04	2.19E+04	1.46E+04	7.10E+03	3.25E+03	1.54E+03	7.70E+02	1.35E+02	1.10E+02
IMEV D. P.	0.18%	0.18%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.18%
1M. VDL I.	1.89E+04	1.79E+04	8.70E+03	7.23E+03	6.22E+03	4.14E+03	2.01E+03	9.22E+02	4.38E+02	2.18E+02	3.82E+01	3.12E+01
IMEV以上	0.31%	0.31%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%
Toto1	8.53E+04	8.06E+04	3.93E+04	3.27E+04	2.81E+04	1.87E+04	9.12E+03	4.17E+03	1.98E+03	9.89E+02	1.73E+02	1.41E+02
IOCAL	0.16%	0.16%	0.17%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%

自発核分裂								[上	.段:flux(n/sec/cm2),下段:	統計誤差]
山井 7.					ガラス固	间化体生成	後の経過期]間[年]				
中注于	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MoVPL T	1.33E+05	1.27E+05	4.24E+04	2.92E+04	2.01E+04	3.58E+03	6.66E+02	6.19E+02	5.76E+02	5.36E+02	3.49E+02	1.72E+02
IMEVEX P	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%
	1.94E+04	1.87E+04	6.22E+03	4.28E+03	2.95E+03	5.25E+02	9.78E+01	9.08E+01	8.45E+01	7.87E+01	5.12E+01	2.52E+01
IMEVEL	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%	0.42%
Tete1	1.52E+05	1.46E+05	4.86E+04	3.34E+04	2.31E+04	4.10E+03	7.64E+02	7.10E+02	6.60E+02	6.15E+02	4.00E+02	1.97E+02
Iotal	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 中性子 ガラス固化体生成後の経過期間[年] [flux(n/sec/cm2)]

中性于							反"户腔 迥为	11月 [十]				
合計	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	1.99E+05	1.90E+05	7.30E+04	5.47E+04	4.20E+04	1.82E+04	7.77E+03	3.87E+03	2.12E+03	1.31E+03	4.84E+02	2.82E+02
1MeV以上	3.83E+04	3.66E+04	1.49E+04	1.15E+04	9.17E+03	4.67E+03	2.11E+03	1.01E+03	5.22E+02	2.97E+02	8.94E+01	5.64E+01
Total	2.37E+05	2.27E+05	8.79E+04	6.62E+04	5.12E+04	2.28E+04	9.88E+03	4.88E+03	2.64E+03	1.60E+03	5.73E+02	3.38E+02

(α, n)反応

[上段:flux(g/sec/cm2), 下段:統計誤差]

の次ガンフ始					ガラス固	间化体生成	後の経過期]間[年]				
乙氏ガンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
	8.44E+03	7.98E+03	3.88E+03	3.23E+03	2.77E+03	1.85E+03	9.01E+02	4.11E+02	1.94E+02	9.63E+01	1.70E+01	1.38E+01
IMEVEX 1	1.52%	1.58%	1.57%	1.63%	1.61%	1.64%	1.59%	1.65%	1.60%	1.60%	1.60%	1.63%
IN VELL	1.54E+03	1.45E+03	7.03E+02	5.78E+02	5.02E+02	3.38E+02	1.64E+02	7.54E+01	3.48E+01	1.75E+01	3.09E+00	2.48E+00
IMEVAL	1.66%	1.65%	1.66%	1.69%	1.63%	1.64%	1.66%	1.66%	1.67%	1.67%	1.65%	1.66%
Tete1	9.98E+03	9.43E+03	4.59E+03	3.81E+03	3.27E+03	2.19E+03	1.06E+03	4.87E+02	2.29E+02	1.14E+02	2.01E+01	1.63E+01
Iotai	1.62%	1.64%	1.64%	1.70%	1.63%	1.63%	1.67%	1.66%	1.65%	1.67%	1.63%	1.62%

自発核分裂								[上	段:flux(g/sec/cm2), 下段:	統計誤差]
の次ガンマ娘					ガラス固	间化体生成	後の経過期	間[年]				
乙氏カンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
IN VOLT	1.09E+04	1.04E+04	3.47E+03	2.39E+03	1.65E+03	2.93E+02	5.46E+01	5.07E+01	4.72E+01	4.39E+01	2.86E+01	1.41E+01
IMEVER	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%	1.54%
IM VDL I.	2.10E+03	2.01E+03	6.71E+02	4.61E+02	3.18E+02	5.65E+01	1.05E+01	9.79E+00	9.11E+00	8.48E+00	5.52E+00	2.72E+00
IMEVICE	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%	1.59%
Totol	1.29E+04	1.24E+04	4.15E+03	2.85E+03	1.97E+03	3.49E+02	6.51E+01	6.05E+01	5.63E+01	5.24E+01	3.41E+01	1.68E+01
Iotai	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%

Fission Prod	uct							[上	.段:flux(g/sec/cm2),下段:	統計誤差]
ガンマ炉					ガラス固	间化体生成	後の経過期	間 [年]				
カンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1M. VDLE	2.46E+11	1.98E+11	4.82E+10	3.80E+10	3.01E+10	9.44E+09	3.83E+06	2.81E+06	2.73E+06	2.64E+06	2.22E+06	1.73E+06
IMEVER	0.22%	0.23%	0.30%	0.27%	0.30%	0.31%	1.02%	1.15%	0.95%	0.74%	0.62%	0.59%
	2.44E+09	1.76E+09	9.61E+07	4.95E+07	2.73E+07	3.91E+06	2.61E+03	2.23E+03	2.22E+03	2.24E+03	2.36E+03	2.63E+03
IMEVEL	0.88%	1.00%	2.42%	2.70%	3.65%	5.00%	9.73%	8.38%	7.68%	5.97%	4.27%	3.74%
T . + . 1	2.48E+11	2.00E+11	4.83E+10	3.81E+10	3.01E+10	9.45E+09	3.84E+06	2.82E+06	2.73E+06	2.65E+06	2.22E+06	1.73E+06
lotal	0.21%	0.22%	0.30%	0.27%	0.30%	0.31%	1.02%	1.14%	0.95%	0.74%	0.62%	0.58%

	ガンマ線合計	$= (\alpha, \alpha)$	n)反応	+ 自発核会	分裂 + Fis	sion Prod	uct					[flux(g/	sec/cm2)]
ſ	ガンマ線		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]										
	合計	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
l	1MeV以下	2.46E+11	1.98E+11	4.82E+10	3.80E+10	3.01E+10	9.44E+09	3.83E+06	2.82E+06	2.73E+06	2.64E+06	2.22E+06	1.73E+06
ſ	1MeV以上	2.44E+09	1.76E+09	9.61E+07	4.95E+07	2.73E+07	3.91E+06	2.79E+03	2.31E+03	2.26E+03	2.27E+03	2.37E+03	2.63E+03
ſ	Total	2.48E+11	2.00E+11	4.83E+10	3.81E+10	3.01E+10	9.45E+09	3.84E+06	2.82E+06	2.73E+06	2.65E+06	2.22E+06	1.73E+06

表 7.2.2-8 MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における照射線量率[JENDL-4.0]

0P内側表面から 0cm

[上段:flux(n/sec/cm2), 下段:統計誤差]

(a, n)反	応							[上	段:flux(n/sec/cm2),下段:	統計誤差]
由卅 7.					ガラス間	同化体生成	後の経過期	間[年]				
中注于	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
	5.52E+04	5.26E+04	2.56E+04	2.13E+04	1.83E+04	1.22E+04	5.94E+03	2.72E+03	1.28E+03	6.43E+02	1.12E+02	9.15E+01
I MEARY 1.	0.51%	0.20%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%
	1.81E+04	1.72E+04	8.36E+03	6.97E+03	5.97E+03	4.02E+03	1.95E+03	8.95E+02	4.22E+02	2.11E+02	3.69E+01	3.02E+01
IMEVEL	0.82%	0.32%	0.31%	0.30%	0.30%	0.30%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%
Totol	7.34E+04	6.98E+04	3.39E+04	2.82E+04	2.42E+04	1.62E+04	7.89E+03	3.61E+03	1.70E+03	8.54E+02	1.49E+02	1.22E+02
Iotai	0.44%	0.17%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%

自発核分裂								[上	.段:flux(n/sec/cm2), 下段:	統計誤差]
山井フ					ガラス固	圖化体生成:	後の経過期]間[年]				
中注于	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
	1.12E+05	1.07E+05	3.58E+04	2.46E+04	1.70E+04	3.02E+03	5.62E+02	5.22E+02	4.86E+02	4.52E+02	2.94E+02	1.45E+02
IMEVEX	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%	0.17%
	1.89E+04	1.81E+04	6.04E+03	4.15E+03	2.86E+03	5.09E+02	9.49E+01	8.81E+01	8.20E+01	7.63E+01	4.97E+01	2.45E+01
IMEVKL	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%	0.38%
Tetel	1.31E+05	1.26E+05	4.18E+04	2.87E+04	1.98E+04	3.52E+03	6.57E+02	6.10E+02	5.68E+02	5.29E+02	3.44E+02	1.69E+02
Iotai	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 中性子

[flux(n/sec/cm2)]

[flux(g/sec/cm2)]

-I-IT 1 D BI -	- (u, n		日元1公月4	K,							LIIUX (II/	sec/cmz/j
中性子	ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
合計	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	1.67E+05	1.60E+05	6.13E+04	4.59E+04	3.52E+04	1.52E+04	6.50E+03	3.24E+03	1.77E+03	1.10E+03	4.07E+02	2.36E+02
1MeV以上	3.70E+04	3.53E+04	1.44E+04	1.11E+04	8.84E+03	4.53E+03	2.05E+03	9.83E+02	5.04E+02	2.87E+02	8.66E+01	5.46E+01
Total	2.04E+05	1.95E+05	7.58E+04	5.70E+04	4.41E+04	1.97E+04	8.55E+03	4.22E+03	2.27E+03	1.38E+03	4.93E+02	2.91E+02

(a, n)反	応							[上	段:flux(g/sec/cm2), 下段:	統計誤差]
の次ガンマ娘					ガラス固	化体生成	後の経過期]間[年]				
乙氏カンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MoVPL T	8.81E+03	8.38E+03	4.04E+03	3.36E+03	2.91E+03	1.93E+03	9.45E+02	4.30E+02	2.04E+02	1.02E+02	1.77E+01	1.46E+01
IMEVER	5.30%	1.91%	1.75%	1.73%	1.72%	1.75%	1.84%	1.87%	1.87%	1.83%	1.89%	1.78%
	1.86E+03	1.75E+03	8.26E+02	6.91E+02	6.02E+02	4.01E+02	1.95E+02	8.80E+01	4.18E+01	2.09E+01	3.65E+00	2.99E+00
IMEVEL	4.83%	1.91%	1.79%	1.78%	1.78%	1.81%	1.90%	1.89%	1.91%	1.89%	1.85%	1.90%
Totol	1.07E+04	1.01E+04	4.87E+03	4.05E+03	3.52E+03	2.33E+03	1.14E+03	5.18E+02	2.45E+02	1.23E+02	2.14E+01	1.76E+01
IUTAI	5.18%	2.00%	1.80%	1.79%	1.78%	1.83%	1.88%	1.98%	1.94%	1.87%	1.91%	1.88%

自発核分裂								[上	段:flux(g/sec/cm2),下段:	統計誤差]
の次ガンマ娘					ガラス間	化体生成	後の経過期]間[年]				
乙氏カンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
	1.14E+04	1.10E+04	3.66E+03	2.51E+03	1.73E+03	3.08E+02	5.75E+01	5.34E+01	4.97E+01	4.62E+01	3.01E+01	1.48E+01
I MEVEX 1	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%	1.55%
	2.44E+03	2.35E+03	7.82E+02	5.38E+02	3.71E+02	6.59E+01	1.23E+01	1.14E+01	1.06E+01	9.89E+00	6.44E+00	3.17E+00
IMEVEL	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%
Totol	1.39E+04	1.33E+04	4.44E+03	3.05E+03	2.11E+03	3.74E+02	6.97E+01	6.48E+01	6.03E+01	5.61E+01	3.65E+01	1.80E+01
Iotal	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%	1.64%

Fission Prod	uct							[上	段:flux(g/sec/cm2), 下段:	統計誤差]
ガンマクク					ガラス間	1 化体生成 ²	後の経過期]間 [年]				
カンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
	2.46E+11	1.98E+11	4.82E+10	3.80E+10	3.01E+10	9.44E+09	3.83E+06	2.81E+06	2.73E+06	2.64E+06	2.22E+06	1.73E+06
IMEVEX P	0.34%	0.35%	0.54%	0.91%	0.37%	0.44%	1.83%	1.96%	2.04%	1.21%	1.16%	2.39%
IM. VPL L	2.44E+09	1.76E+09	9.65E+07	5.02E+07	2.73E+07	3.89E+06	2.63E+03	2.24E+03	2.27E+03	2.27E+03	2.39E+03	2.59E+03
IMEV以上	1.39%	1.55%	4.44%	9.18%	4.36%	7.31%	16.33%	13.84%	16.63%	10.08%	8.11%	16.59%
Tetel	2.48E+11	2.00E+11	4.83E+10	3.81E+10	3.01E+10	9.45E+09	3.83E+06	2.82E+06	2.73E+06	2.65E+06	2.22E+06	1.73E+06
Iotal	0.34%	0.34%	0.54%	0.90%	0.37%	0.44%	1.82%	1.95%	2.03%	1.21%	1.15%	2.37%

ガンマ線合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 + Fission Product

ガンマ線					ガラス間	司化体生成:	後の経過期]間 [年]				
合計	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	2.46E+11	1.98E+11	4.82E+10	3.80E+10	3.01E+10	9.44E+09	3.83E+06	2.81E+06	2.73E+06	2.64E+06	2.22E+06	1.73E+06
1MeV以上	2.44E+09	1.76E+09	9.65E+07	5.02E+07	2.73E+07	3.89E+06	2.84E+03	2.34E+03	2.32E+03	2.30E+03	2.40E+03	2.59E+03
Total	2.48E+11	2.00E+11	4.83E+10	3.81E+10	3.01E+10	9.45E+09	3.83E+06	2.82E+06	2.73E+06	2.65E+06	2.22E+06	1.73E+06

表 7.2.2-9 MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における 累積照射線量[JENDL-3.2]

OP内側表面から Ocm n) 反応

(α, n)反	応									[照身	寸量 : nvt]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \sim 500$	$500 {\sim} 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	1.70E+12	3.58E+13	7.39E+12	6.24E+12	2.40E+13	1.14E+14	6.83E+13	3.15E+13	1.52E+13	3.58E+13	1.61E+13
1MeV以上	5.57E+11	1.17E+13	2.42E+12	2.04E+12	7.88E+12	3.77E+13	2.25E+13	1.04E+13	4.99E+12	1.17E+13	5.29E+12
Total	2.26E+12	4.74E+13	9.81E+12	8.28E+12	3.19E+13	1.52E+14	9.08E+13	4.19E+13	2.02E+13	4.75E+13	2.14E+13

目発核分裂										「照射	寸量 : nvt」
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
中性子	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \sim 500$	$500 {\sim} 1000$	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ∞5000	5000 ~10000
1MeV以下	3.46E+12	6.55E+13	9.53E+12	6.56E+12	1.58E+13	2.26E+13	8.55E+12	7.95E+12	7.40E+12	3.53E+13	3.47E+13
1MeV以上	5.84E+11	1.11E+13	1.61E+12	1.11E+12	2.66E+12	3.81E+12	1.44E+12	1.34E+12	1.25E+12	5.97E+12	5.85E+12
Total	4.04E+12	7.66E+13	1.11E+13	7.67E+12	1.84E+13	2.64E+13	1.00E+13	9.29E+12	8.65E+12	4.13E+13	4.05E+13

	中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【各経	過期間で	の累積】				[照身	d量:nvt
					ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
	甲性子	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
ſ	1MeV以下	5.16E+12	1.01E+14	1.69E+13	1.28E+13	3.98E+13	1.37E+14	7.69E+13	3.95E+13	2.26E+13	7.11E+13	5.07E+13
ſ	1MeV以上	1.14E+12	2.28E+13	4.03E+12	3.15E+12	1.05E+13	4.15E+13	2.39E+13	1.17E+13	6.24E+12	1.77E+13	1.11E+13
ſ	Total	6.30E+12	1.24E+14	2.09E+13	1.59E+13	5.03E+13	1.78E+14	1.01E+14	5.12E+13	2.88E+13	8.88E+13	6.19E+13

中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【ガラ	ス固化体	生成後0か	らの累積]		[照身	寸量 : nvt]	
ガンマ線				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]				
合計	$0 \sim 1 \qquad 0 \sim 30 \qquad 0 \sim 40 \qquad 0 \sim 50 \qquad 0 \sim 100 \qquad 0 \sim 500 \qquad 0 \sim 1000 \qquad 0 \sim 1500 \qquad 0 \sim 2000 \qquad 0 \sim 5000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 10000000 \qquad 0 \sim 10000000000$											
1MeV以下	5.16E+12	1.06E+14	1.23E+14	1.36E+14	1.76E+14	3.13E+14	3.90E+14	4.29E+14	4.52E+14	5.23E+14	5.74E+14	
1MeV以上	1.14E+12	2.39E+13	2.79E+13	3.11E+13	4.16E+13	8.31E+13	1.07E+14	1.19E+14	1.25E+14	1.43E+14	1.54E+14	
Total	6.30E+12	1.30E+14	1.51E+14	1.67E+14	2.18E+14	3.96E+14	4.97E+14	5.48E+14	5.77E+14	6.66E+14	7.27E+14	

(a, n)反)	応									[照身	寸量 : nvt]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 {\sim} 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	2.71E+11	5.69E+12	1.17E+12	9.90E+11	3.82E+12	1.82E+13	1.08E+13	5.00E+12	2.41E+12	5.68E+12	2.55E+12
1MeV以上	5.69E+10	1.18E+12	2.39E+11	2.04E+11	7.92E+11	3.76E+12	2.23E+12	1.02E+12	4.95E+11	1.16E+12	5.24E+11
Total	3.28E+11	6.86E+12	1.41E+12	1.19E+12	4.61E+12	2.19E+13	1.31E+13	6.02E+12	2.91E+12	6.84E+12	3.07E+12

自発核分裂										[照身	寸量 : nvt]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	1500 ~2000	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	3.54E+11	6.70E+12	9.74E+11	6.70E+11	1.61E+12	2.31E+12	8.74E+11	8.13E+11	7.56E+11	3.61E+12	3.54E+12
1MeV以上	7.56E+10	1.43E+12	2.08E+11	1.43E+11	3.45E+11	4.94E+11	1.87E+11	1.74E+11	1.62E+11	7.73E+11	7.58E+11
Total	4.29E+11	8.13E+12	1.18E+12	8.14E+11	1.96E+12	2.80E+12	1.06E+12	9.87E+11	9.18E+11	4.38E+12	4.30E+12

	Fission Product [照射量:nvt]													
ガ	12. <i>(</i> .)		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]											
	ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 {\sim} 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$		
	1MeV以下	7.00E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.07E+19	3.12E+19	5.96E+19	5.24E+16	4.37E+16	4.24E+16	2.30E+17	3.12E+17		
	1MeV以上	6.62E+16	8.48E+17	2.32E+16	1.22E+16	2.46E+16	2.45E+16	3.85E+13	3.56E+13	3.58E+13	2.20E+14	3.93E+14		
	Total	7.06E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.08E+19	3.12E+19	5.96E+19	5.25E+16	4.37E+16	4.24E+16	2.30E+17	3.12E+17		

ガンマ線合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 + Fission Product 【各経過期間での累積】										[照身	寸量 : nvt]	
10. <i>L</i> .		ガラス固化体生成後の経過期間[年]										
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 {\sim} 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	
1MeV以下	7.00E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.07E+19	3.12E+19	5.96E+19	5.24E+16	4.37E+16	4.24E+16	2.30E+17	3.12E+17	
1MeV以上	6.62E+16	8.48E+17	2.32E+16	1.22E+16	2.46E+16	2.46E+16	4.09E+13	3.68E+13	3.64E+13	2.22E+14	3.94E+14	
Total	7.06E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.08E+19	3.12E+19	5.96E+19	5.25E+16	4.38E+16	4.24E+16	2.31E+17	3.12E+17	

ガンマ線合計 =	(α, n)反応 + 自発核分裂 + Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [照射量 : nvt]
		_

カンマ緑		ルフへ向化仲生以後の経過期間「牛」										
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0\!\sim\!5000$	$0\!\sim\!10000$	
1MeV以下	7.00E+18	1.20E+20	1.33E+20	1.44E+20	1.75E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20	
1MeV以上	6.62E+16	9.15E+17	9.38E+17	9.50E+17	9.75E+17	9.99E+17	9.99E+17	9.99E+17	9.99E+17	1.00E+18	1.00E+18	
Total	7.06E+18	1.20E+20	1.34E+20	1.45E+20	1.76E+20	2.36E+20	2.36E+20	2.36E+20	2.36E+20	2.36E+20	2.36E+20	

表 7.2.2-10 MCNP-5 を用いたオーバーパック内側表面における 累積照射線量[JENDL-4.0]

OP内側表面から 0cm (a, n)反応

(α, n)反	(a, n)反応 [照射量:nvt]											
		ガラス固化体生成後の経過期間[年]										
甲性子	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 {\sim} 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	
1MeV以下	2.04E+12	4.27E+13	8.85E+12	7.48E+12	2.88E+13	1.37E+14	8.17E+13	3.78E+13	1.82E+13	4.28E+13	1.93E+13	
1MeV以上	5.79E+11	1.22E+13	2.51E+12	2.12E+12	8.17E+12	3.89E+13	2.32E+13	1.07E+13	5.18E+12	1.22E+13	5.47E+12	
Total	2.62E+12	5.49E+13	1.14E+13	9.61E+12	3.70E+13	1.76E+14	1.05E+14	4.85E+13	2.34E+13	5.50E+13	2.48E+13	

自発核分裂										[照身	寸量 : nvt]	
山林之		ガラス固化体生成後の経過期間[年]										
中性于	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000	
1MeV以下	4.10E+12	7.77E+13	1.13E+13	7.77E+12	1.87E+13	2.68E+13	1.01E+13	9.43E+12	8.77E+12	4.19E+13	4.11E+13	
1MeV以上	6.02E+11	1.14E+13	1.66E+12	1.14E+12	2.74E+12	3.93E+12	1.49E+12	1.38E+12	1.29E+12	6.15E+12	6.03E+12	
Total	4.70E+12	8.91E+13	1.30E+13	8.92E+12	2.14E+13	3.07E+13	1.16E+13	1.08E+13	1.01E+13	4.80E+13	4.71E+13	

中性子合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】

		ガラス固化体生成後の経過期間[年]										
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	5000 ~10000	
1MeV以下	6.14E+12	1.20E+14	2.01E+13	1.53E+13	4.75E+13	1.64E+14	9.18E+13	4.72E+13	2.70E+13	8.47E+13	6.04E+13	
1MeV以上	1.18E+12	2.36E+13	4.17E+12	3.26E+12	1.09E+13	4.28E+13	2.47E+13	1.21E+13	6.46E+12	1.83E+13	1.15E+13	
Total	7.32E+12	1.44E+14	2.43E+13	1.85E+13	5.84E+13	2.07E+14	1.16E+14	5.93E+13	3.35E+13	1.03E+14	7.19E+13	

[照射量:nvt]

[照射量:nvt]

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [照射量:nvt										寸量 : nvt]		
ガンマ線		ガラス固化体生成後の経過期間[年] 0~1 0~30 0~40 0~50 0~100 0~500 0~1000 0~1500 0~2000 0~5000 0~10000										
合計	$0 \sim 1$											
1MeV以下	6.14E+12	1.27E+14	1.47E+14	1.62E+14	2.09E+14	3.73E+14	4.65E+14	5.12E+14	5.39E+14	6.24E+14	6.84E+14	
1MeV以上	1.18E+12	2.47E+13	2.89E+13	3.22E+13	4.31E+13	8.59E+13	1.11E+14	1.23E+14	1.29E+14	1.47E+14	1.59E+14	
Total	7.32E+12	1.51E+14	1.76E+14	1.94E+14	2.53E+14	4.59E+14	5.76E+14	6.35E+14	6.68E+14	7.71E+14	8.43E+14	

(a, n) 反応 [照射量:nvt] ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 2次ガンマ線 1000 1500 2000 5000 $0 \sim 1$ $1 \sim 30$ $30 \sim 40$ 40~50 50~100 100~500 $500 \sim 1000$ 1500 2000 -5000 ~10000 1MeV以下 2.59E+11 5.43E+12 1. 12E+12 9. 47E+11 3. 65E+12 1. 74E+13 1. 04E+13 4. 77E+12 2.29E+12 5.36E+12 2.43E+12 2. 02E+11 1. 70E+11 6. 63E+11 3. 17E+12 1. 89E+12 1. 32E+12 1. 12E+12 4. 31E+12 2. 05E+13 1. 22E+13 8.70E+11 1MeV以上 4.72E+10 9.87E+11 4.13E+11 9.73E+11 4.39E+11 5.64E+12 Total 3.06E+11 6.41E+12 2.70E+12 6.34E+12 2.87E+12

白	郄	核	쓔	丒
	- 70-	125	<i>J</i> J	4×

自発核分裂 [照射量:nvt]											
				ガラ	ラス固化体	生成後の絶	圣過期間 [年]			
2 次ガンマ線	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	5000 ~10000
1MeV以下	3.36E+11	6.36E+12	9.25E+11	6.37E+11	1.53E+12	2.19E+12	8.31E+11	7.72E+11	7.19E+11	3.43E+12	3.37E+12
1MeV以上	6.48E+10	1.23E+12	1.79E+11	1.23E+11	2.96E+11	4.23E+11	1.60E+11	1.49E+11	1.39E+11	6.62E+11	6.50E+11
Total	4.01E+11	7.59E+12	1.10E+12	7.60E+11	1.83E+12	2.62E+12	9.91E+11	9.21E+11	8.57E+11	4.09E+12	4.01E+12

Fission	Prod	uct

ガンマ泊		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]											
カンマ豚	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000		
1MeV以下	7.00E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.07E+19	3.12E+19	5.96E+19	5.25E+16	4.37E+16	4.24E+16	2.30E+17	3.12E+17		
1MeV以上	6.63E+16	8.48E+17	2.30E+16	1.21E+16	2.46E+16	2.47E+16	3.82E+13	3.51E+13	3.52E+13	2.18E+14	3.93E+14		
Total	7.06E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.08E+19	3.12E+19	5.97E+19	5.25E+16	4.38E+16	4.24E+16	2.31E+17	3.12E+17		

ガンマ線合計	$=$ (α ,	n)反応	+ 自発核会	分裂 + Fis	sion Prod	uct 【各	経過期間	での累積】		[照身	寸量 : nvt]
ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	7.00E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.07E+19	3.12E+19	5.96E+19	5.25E+16	4.37E+16	4.24E+16	2.30E+17	3.12E+17
1MeV以上	6.63E+16	8.48E+17	2.30E+16	1.21E+16	2.46E+16	2.47E+16	4.02E+13	3.61E+13	3.57E+13	2.19E+14	3.94E+14
Total	7.06E+18	1.13E+20	1.36E+19	1.08E+19	3.12E+19	5.97E+19	5.25E+16	4.38E+16	4.24E+16	2.31E+17	3.12E+17

ガンマ線合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 + Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [照射量:nvt]

ガンマ線		ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0 \sim 1000$	$0\!\sim\!1500$	$0\!\sim\!2000$	$0\!\sim\!5000$	$0\!\sim\!10000$		
1MeV以下	7.00E+18	1.20E+20	1.33E+20	1.44E+20	1.75E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20	2.35E+20		
1MeV以上	6.63E+16	9.15E+17	9.38E+17	9.50E+17	9.74E+17	9.99E+17	9.99E+17	9.99E+17	9.99E+17	9.99E+17	1.00E+18		
Total	7.06E+18	06E+18 1. 21E+20 1. 34E+20 1. 45E+20 1. 76E+20 2. 36E+20											

(3) 核データによる線量率の違いについて

中性子による照射線量率は全般的に核データ JENDL-4.0 を用いた計算結果が JENDL-3.2 を用いた計算結果よりも低くなった。ガラス固化体中には、表 7.2.1-5 に示 したようにケイ素と酸素が多く含まれているため、JENDL-4.0 と JENDL-3.2 における これらの核種の中性子吸収断面積の違いが計算結果に影響をおよぼしたと考えられる。 酸素とケイ素の同位体のうち、天然存在比の多いものは O-16 と Si-28 であるので、図 7.2.2-2 に JENDL-4.0 と JENDL-3.2 における中性子と酸素 (O-16) およびケイ素 (Si-28) の反応断面積を示す[9]。図 7.2.2-2 (a)に示した JENDL-4.0 の O-16 の中性子の吸収断面 積には、4×10⁵ eV 付近で吸収断面積が大きくなっている。一方で、図 7.2.2-2 (b)の JENDL3.2 では、このような吸収断面積のピークは見られない。また、図 7.2.2-2 (c)と (d)の Si-28 を比較すると、JENDL-4.0 の方が1 MeV 前後に中性子の吸収断面積のピー クの数が多くなっている。したがって、これらの吸収断面積の更新により JENDL-4.0 を 用いた計算結果では、照射線量率が低くなったと考えられる。

JENDL-4.0 を用いた計算結果では、ガラス固化体中での中性子の吸収が増加したため、 (n, α)反応および自発核分裂による 2 次ガンマ線による照射線量率は増加した。ただし、 2 次ガンマ線は、核分裂生成物から放出されるガンマ線に比べて線量率が 7 桁程度小さか った。ガンマ線についての計算では、核データに ENDF/B-VI を使用しているため、(n, α) 反応、自発核分裂、核分裂生成物の合計のガンマ線照射率としては、JENDL-4.0 と JENDL-3.2 では違いは見られなかった。



図 7.2.2-2 中性子との反応断面積[9]

7.2.3 PHITS による照射線量の算出

計算コードの違いが照射線量率の計算結果におよぼす影響について調べるため、第2次 取りまとめ以降に公開された計算コード PHITS252[10]を用いて、オーバーパックの照射線 量率を算出した。PHITS は、広範囲のエネルギーを有する中性子、荷電粒子、光子などの 放射線を扱える汎用の粒子・重イオン輸送計算コードであり、任意の3次元体系中におけ る放射線の挙動を、核反応モデルおよび核データを用いて模擬することができる。

(1) 計算方法および計算条件

照射線量率の算出は、オーバーパック胴体内側の表面中央部について実施した。

 計算コードおよび核データ 計算コード: PHITS252 核データ(中性子): JENDL-3.2 及び 4.0 核データ(ガンマ線): ENDF/B-VI

2) 計算条件

計算モデルは、MCNPの線量計算と同様とした(図 7.2.2-1)。照射線量率の計算 は、ガラス固化体生成後 10,000 年までを対象として実施する。また、オーバーパッ ク埋設後の中性子線およびγ線のエネルギースペクトル、線量率の時間変化について も変化の傾向が把握できる時間間隔で計算する。

(2) 線量率および照射線量の計算結果

オーバーパック内側表面における照射線量率を表 7.2.3-1 に、累積照射量を表 7.2.3-2 に示す。累積照射量の算出は、処分後の各経過期間での累積値と処分後 0 年からの累積 値を示した。

表 7.2.3-1 (1/2) PHITS252 を用いたオーバーパック内側表面における 照射線量率[JENDL-3.2]

OP内側表面から Ocm (α, n)反応

[上段:flux(n/sec/cm2), 下段:統計誤差]

由性子					ガラス固	化体生成	後の経過期]間[年]				
中性丁	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	6.73E+04	6.36E+04	3.10E+04	2.59E+04	2.22E+04	1.48E+04	7.21E+03	3.30E+03	1.56E+03	7.81E+02	1.36E+02	1.11E+02
IMEVIX P	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%	0.53%
IN VPL I.	1.96E+04	1.85E+04	8.96E+03	7.47E+03	6.43E+03	4.30E+03	2.08E+03	9.54E+02	4.51E+02	2.24E+02	3.92E+01	3.20E+01
IMEVAL	0.89%	0.89%	0.89%	0.89%	0.89%	0.90%	0.90%	0.90%	0.89%	0.89%	0.89%	0.89%
Total E	8.69E+04	8.21E+04	4.00E+04	3.33E+04	2.87E+04	1.91E+04	9.29E+03	4.26E+03	2.01E+03	1.01E+03	1.75E+02	1.43E+02
	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%	0.86%

自発核分裂								[上	段:flux(n/sec/cm2), 下段:	統計誤差]
山桃乙					ガラス間	固化体生成	後の経過期]間 [年]				
.1.177.1	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	1.34E+05	1.29E+05	4.30E+04	2.96E+04	2.04E+04	3.63E+03	6.76E+02	6.28E+02	5.84E+02	5.44E+02	1.44E+02	1.74E+02
	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%
1MeV以上。	1.95E+04	1.87E+04	6.24E+03	4.29E+03	2.96E+03	5.26E+02	9.80E+01	9.10E+01	8.47E+01	7.88E+01	2.09E+01	2.53E+01
	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%	1.21%
Total	1.54E+05	1.48E+05	4.93E+04	3.39E+04	2.34E+04	4.15E+03	7.74E+02	7.19E+02	6.69E+02	6.23E+02	1.65E+02	2.00E+02
Total	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%

中性子合計 =	中性子合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 [flux(n/sec/cm2)]											
中性子	ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
合計	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	2.02E+05	1.93E+05	7.41E+04	5.54E+04	4.26E+04	1.85E+04	7.88E+03	3.93E+03	2.15E+03	1.33E+03	2.81E+02	2.86E+02
1MeV以上	3.90E+04	3.72E+04	1.52E+04	1.18E+04	9.39E+03	4.82E+03	2.18E+03	1.04E+03	5.36E+02	3.03E+02	6.01E+01	5.73E+01
Total	2.41E+05	2.30E+05	8.93E+04	6.72E+04	5.20E+04	2.33E+04	1.01E+04	4.98E+03	2.68E+03	1.63E+03	3.41E+02	3.43E+02

_(α, n)反	応							[Ŀ	.段:flux(g/sec/cm2),下段:	統計誤差]
の次ガンマ娘					ガラス間	化体生成	後の経過期	間[年]				
乙氏ガンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下 8.	8.59E+03	8.11E+03	3.91E+03	3.26E+03	2.80E+03	1.86E+03	9.00E+02	4.12E+02	1.95E+02	9.76E+01	1.69E+01	1.38E+01
	1.41%	1.41%	1.41%	1.41%	1.41%	1.42%	1.42%	1.42%	1.41%	1.41%	1.41%	1.41%
IN ADU I.	1.64E+03	1.56E+03	7.63E+02	6.32E+02	5.43E+02	3.53E+02	1.68E+02	7.65E+01	3.61E+01	1.80E+01	3.10E+00	2.56E+00
IMEVEL	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%
Total 1.	1.02E+04	9.66E+03	4.67E+03	3.89E+03	3.34E+03	2.21E+03	1.07E+03	4.88E+02	2.32E+02	1.16E+02	2.01E+01	1.64E+01
	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%

自発核分裂		[上段:flux(g/sec/cm2),下段:統計誤差]												
の次ガンフ値					ガラス固	化体生成	後の経過期	間[年]						
乙氏ガンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000		
1MeV以下 1	1.10E+04	1.06E+04	3.53E+03	2.43E+03	1.67E+03	2.98E+02	5.55E+01	5.15E+01	4.80E+01	4.46E+01	1.18E+01	1.43E+01		
	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%		
1M-VPL L	2.27E+03	2.18E+03	7.27E+02	5.00E+02	3.45E+02	6.13E+01	1.14E+01	1.06E+01	9.87E+00	9.19E+00	2.44E+00	2.95E+00		
IMEVAL	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%		
Total 1	1.33E+04	1.28E+04	4.26E+03	2.93E+03	2.02E+03	3.59E+02	6.69E+01	6.21E+01	5.78E+01	5.38E+01	1.43E+01	1.72E+01		
	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%		

Fission Prod	ssion Product [上段:flux(g/sec/cm2),下段:統計誤差]											
ガンマ娘					ガラス間	间化体生成	後の経過期	間 [年]				
パンマ形水	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下 4	4.10E+10	3.17E+10	9.08E+09	7.16E+09	5.66E+09	1.78E+09	2.90E+07	1.56E+07	9.63E+06	6.83E+06	3.67E+06	2.43E+06
	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%
IM. VPL L	8.06E+09	6.23E+09	1.78E+09	1.41E+09	1.11E+09	3.49E+08	5.69E+06	3.07E+06	1.89E+06	1.34E+06	7.21E+05	4.77E+05
IMEV以上	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%
Total 4	4.91E+10	3.79E+10	1.09E+10	8.56E+09	6.77E+09	2.13E+09	3.47E+07	1.87E+07	1.15E+07	8.17E+06	4.39E+06	2.90E+06
	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%

ガンマ線合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 + Fission Product

[flux(g/sec/cm2)]

ガンマ線		ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
合計	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000	
1MeV以下	4.10E+10	3.17E+10	9.08E+09	7.16E+09	5.66E+09	1.78E+09	2.90E+07	1.56E+07	9.63E+06	6.83E+06	3.67E+06	2.43E+06	
1MeV以上	8.06E+09	6.23E+09	1.78E+09	1.41E+09	1.11E+09	3.49E+08	5.69E+06	3.07E+06	1.89E+06	1.34E+06	7.21E+05	4.77E+05	
Total	4.91E+10	3.79E+10	1.09E+10	8.56E+09	6.77E+09	2.13E+09	3.47E+07	1.87E+07	1.15E+07	8.17E+06	4.39E+06	2.90E+06	

PHITS252を用いたオーバーパック内側表面における 表 7.2.3-1 (2/2) 照射線量率[JENDL-4.0]

OP内側表面から Ocm (α, n) 反応

[上段:flux(n/sec/cm2), 下段:統計誤差]

中性子					ガラス固	化体生成	後の経過期]間 [年]				
中注于	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	5.65E+04	5.33E+04	2.59E+04	2.15E+04	1.85E+04	1.24E+04	6.00E+03	2.75E+03	1.30E+03	6.51E+02	1.13E+02	9.28E+01
I Mevex 1	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%	0.58%
IM. WPL 1.	1.85E+04	1.75E+04	8.49E+03	7.06E+03	6.07E+03	4.05E+03	1.96E+03	8.99E+02	4.25E+02	2.12E+02	3.72E+01	3.03E+01
IMEVEL	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%
Total	7.50E+04	7.08E+04	3.44E+04	2.86E+04	2.46E+04	1.64E+04	7.96E+03	3.65E+03	1.73E+03	8.63E+02	1.51E+02	1.23E+02
	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%	0.83%

自発核分裂 [上段:flux(n/sec/cm2), 下段:統計誤差] ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 中性子 0 1 30 40 50 100 500 1000 1500 2000 5000 10000 l.14E+05 1.09E+05 3.64E+04 2.50E+04 1.73E+04 3.07E+03 5.72E+02 5.32E+02 4.95E+02 4.60E+02 1.22E+02 1.48E+02 1MeV以下 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 0.56% 2.02E+01 1.88E+04 1.81E+04 6.03E+03 4.15E+03 2.86E+03 5.08E+02 9.47E+01 8.80E+01 8.19E+01 7.62E+01 2.44E+01 1MeV以上 1.25% 1 25% 1 25% 1 25% 1.25% 1 25% 1 25% 1.25% 1 25% 1 25% 1 25% 1 25% 1.33E+05 1.28E+05 4.25E+04 2.92E+04 2.01E+04 3.58E+03 6.67E+02 6.20E+02 5.77E+02 5.37E+02 1.42E+02 1.72E+02 Total 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81% 0.81%

中性子合計 =	(α,	n)	反応	+ 自発核分裂	

中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	裂							[flux(n/	sec/cm2)]
中性子	ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
合計	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
1MeV以下	1.70E+05	1.63E+05	6.23E+04	4.66E+04	3.58E+04	1.54E+04	6.57E+03	3.28E+03	1.80E+03	1.11E+03	2.36E+02	2.40E+02
1MeV以上	3.73E+04	3.56E+04	1.45E+04	1.12E+04	8.93E+03	4.56E+03	2.06E+03	9.87E+02	5.07E+02	2.88E+02	5.74E+01	5.48E+01
Total	2.08E+05	1.98E+05	7.68E+04	5.78E+04	4.47E+04	2.00E+04	8.63E+03	4.27E+03	2.30E+03	1.40E+03	2.93E+02	2.95E+02

(α, n)反	応							LE	.段:flux(g/sec/cm2),下段:	統計誤差」
のなぜいつめ					ガラス固	间化体生成	後の経過期]間[年]				
2次カンマ禄	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
	8.88E+03	8.41E+03	4.08E+03	3.38E+03	2.89E+03	1.93E+03	9.35E+02	4.30E+02	2.04E+02	1.01E+02	1.77E+01	1.45E+01
1MeV以下	1.36%	1.36%	1.36%	1.36%	1.36%	1.37%	1.36%	1.36%	1.36%	1.35%	1.36%	1.37%
1MoVPL h	1.88E+03	1.78E+03	8.68E+02	7.31E+02	6.28E+02	4.12E+02	2.02E+02	9.18E+01	4.29E+01	2.15E+01	3.62E+00	3.00E+00
IMEVICE	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%
Total	1.08E+04	1.02E+04	4.94E+03	4.11E+03	3.52E+03	2.34E+03	1.14E+03	5.21E+02	2.46E+02	1.22E+02	2.13E+01	1.75E+01
Iotal	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.16%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%

自発核分裂	[上段:flux(g/sec/cm2),下段:統計誤差]													
のルガンマ娘					ガラス固	化体生成	後の経過期]間 [年]						
乙氏ガンマ豚	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000		
	1.15E+04	1.11E+04	3.69E+03	2.54E+03	1.75E+03	3.11E+02	5.80E+01	5.39E+01	5.01E+01	4.67E+01	1.24E+01	1.50E+01		
1MeV以下	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%	1.62%		
1MoVDL b 2	2.58E+03	2.48E+03	8.25E+02	5.67E+02	3.91E+02	6.95E+01	1.30E+01	1.20E+01	1.12E+01	1.04E+01	2.77E+00	3.34E+00		
IMEVEL	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%		
Total 1	1.41E+04	1.36E+04	4.52E+03	3.11E+03	2.14E+03	3.81E+02	7.10E+01	6.59E+01	6.13E+01	5.71E+01	1.52E+01	1.83E+01		
Total	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%	0.14%		

Fission Prod	uct							[上	.段:flux(g/sec/cm2),下段:	統計誤差]
ガンマ娘					ガラス固	间化体生成	後の経過期]間 [年]				
パンマ形水	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
	4.10E+10	3.17E+10	9.08E+09	7.16E+09	5.66E+09	1.78E+09	2.90E+07	1.56E+07	9.63E+06	6.83E+06	3.67E+06	2.43E+06
1MeV以下 -	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%	0.76%
1MaVPL L	8.06E+09	6.23E+09	1.78E+09	1.41E+09	1.11E+09	3.49E+08	5.69E+06	3.07E+06	1.89E+06	1.34E+06	7.21E+05	4.77E+05
IMEVEL	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%
Total 4	4.91E+10	3.79E+10	1.09E+10	8.56E+09	6.77E+09	2.13E+09	3.47E+07	1.87E+07	1.15E+07	8.17E+06	4.39E+06	2.90E+06
iotal	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%	0.70%

ガンマ線合計	ガンマ線合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 + Fission Product [flux(g/sec/cm2)]													
ガンマ線					ガラス固	1化体生成:	後の経過期]間 [年]						
合計	0	0 1 30 40 50 100 500 1000 1500 2000 5000 10000												
1MeV以下	4.10E+10	4. 10E+10 3. 17E+10 9. 08E+09 7. 16E+09 5. 66E+09 1. 78E+09 2. 90E+07 1. 56E+07 9. 63E+06 6. 83E+06 3. 67E+06 2. 43E+06												
1MeV以上	8.06E+09	6.23E+09	1.78E+09	1.41E+09	1.11E+09	3.49E+08	5.69E+06	3.07E+06	1.89E+06	1.34E+06	7.21E+05	4.77E+05		
Total	4.91E+10	3.79E+10	1.09E+10	8.56E+09	6.77E+09	2.13E+09	3.47E+07	1.87E+07	1.15E+07	8.17E+06	4.39E+06	2.90E+06		

PHITS252を用いたオーバーパック内側表面における 表 7.2.3-2 (1/2) 累積照射線量[JENDL-3.2]

OP内側表面から Ocm (a, n) 反応

(α, n)反	(a, n)反応 [照射量:nvt]													
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]						
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \sim 5000$	5000 ~10000			
1MeV以下	2.07E+12	4.33E+13	8.98E+12	7.59E+12	2.93E+13	1.39E+14	8.29E+13	3.84E+13	1.85E+13	4.34E+13	1.95E+13			
1MeV以上	6.00E+11	1.26E+13	2.59E+12	2.19E+12	8.46E+12	4.03E+13	2.39E+13	1.11E+13	5.33E+12	1.25E+13	5.61E+12			
Total	2.67E+12	5.59E+13	1.16E+13	9.78E+12	3.77E+13	1.79E+14	1.07E+14	4.95E+13	2.38E+13	5.59E+13	2.52E+13			

發核分裂

自発核分裂										[照身	f量:nvt]
			&過期間 [年]							
甲性子	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	4.16E+12	7.88E+13	1.15E+13	7.89E+12	1.90E+13	2.72E+13	1.03E+13	9.57E+12	8.90E+12	3.26E+13	2.51E+13
1MeV以上	6.03E+11	1.14E+13	1.66E+12	1.14E+12	2.75E+12	3.94E+12	1.49E+12	1.39E+12	1.29E+12	4.72E+12	3.64E+12
Total	4.76E+12	9.03E+13	1.31E+13	9.03E+12	2.17E+13	3.11E+13	1.18E+13	1.10E+13	1.02E+13	3.73E+13	2.88E+13

中性子合計 = (a, n)反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】

				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
	° 1	1 00	00 10	10 00	00 100	100 000		~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	6.23E+12	1.22E+14	2.04E+13	1.55E+13	4.82E+13	1.66E+14	9.32E+13	4.80E+13	2.74E+13	7.60E+13	4.47E+13
1MeV以上	1.20E+12	2.40E+13	4.25E+12	3.34E+12	1.12E+13	4.42E+13	2.54E+13	1.25E+13	6.62E+12	1.72E+13	9.26E+12
Total	7.43E+12	1.46E+14	2.47E+13	1.88E+13	5.94E+13	2.11E+14	1.19E+14	6.04E+13	3.40E+13	9.32E+13	5.39E+13

[照射量:nvt]

中性子合計 = (a, n)反応 + 自発核分裂 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [照射量:nvt											寸量 : nvt]		
中性子	ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 1 \qquad 0 \sim 30 \qquad 0 \sim 40 \qquad 0 \sim 50 \qquad 0 \sim 100 \qquad 0 \sim 500 \qquad 0 \sim 1000 \qquad 0 \sim 1500 \qquad 0 \sim 2000 \qquad 0 \sim 5000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 10000000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 1000000000 \qquad 0 $											
1MeV以下	6.23E+12	1.28E+14	1.49E+14	1.64E+14	2.13E+14	3.79E+14	4.72E+14	5.20E+14	5.47E+14	6.23E+14	6.68E+14		
1MeV以上	1.20E+12	2.52E+13	2.94E+13	3.28E+13	4.40E+13	8.82E+13	1.14E+14	1.26E+14	1.33E+14	1.50E+14	1.59E+14		
Total	7.43E+12	1.54E+14	1.78E+14	1.97E+14	2.57E+14	4.67E+14	5.86E+14	6.46E+14	6.80E+14	7.73E+14	8.27E+14		

(α, n) 反応 [照射量:nvt] ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 2次ガンマ線 $40 \sim 50$ 50 ~ 100 100 ~ 500 1000 1500 2000 5000 $0\sim\!1$ $1 \sim 30$ $30 \sim 40$ $500 \sim 1000$ 1500 2000 ~5000 ~10000 1MeV以下 2.64E+11 5.50E+12 1.13E+12 9.56E+11 3.67E+12 1.74E+13 1.04E+13 4.79E+12 2.31E+12 5.42E+12 2.43E+12 5. 04E+10 1. 06E+12 2. 20E+11 1. 85E+11 7. 06E+11 3. 29E+12 1. 93E+12 8. 88E+11 4. 27E+11 9. 99E+11 4. 47E+11 3. 14E+11 6. 56E+12 1. 35E+12 1. 14E+12 4. 38E+12 2. 07E+13 1. 23E+13 5. 68E+12 2. 74E+12 6. 42E+12 2. 87E+12 8.88E+11 4.27E+11 9.99E+11 4.47E+11 1MeV以上 Total

	自発核分裂	[照射量:nvt]													
Γ					ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]						
	2 次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$			
	1MeV以下	2.64E+11	5.50E+12	1.13E+12	9.56E+11	3.67E+12	1.74E+13	1.04E+13	4.79E+12	2.31E+12	5.42E+12	2.43E+12			
	1MeV以上	5.04E+10	1.06E+12	2.20E+11	1.85E+11	7.06E+11	3.29E+12	1.93E+12	8.88E+11	4.27E+11	9.99E+11	4.47E+11			
	Total	3.14E+11	6.56E+12	1.35E+12	1.14E+12	4.38E+12	2.07E+13	1.23E+13	5.68E+12	2.74E+12	6.42E+12	2.87E+12			

	Fission Produ	ission Product [照射量:nvt]													
ſ	12. (da			圣過期間〔	年]										
	ガンマ緑	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$			
I	1MeV以下	1.15E+18	1.87E+19	2.56E+18	2.02E+18	5.86E+18	1.14E+19	3.52E+17	1.99E+17	1.30E+17	4.97E+17	4.81E+17			
I	1MeV以上	2.25E+17	3.67E+18	5.03E+17	3.97E+17	1.15E+18	2.24E+18	6.92E+16	3.92E+16	2.55E+16	9.77E+16	9.45E+16			
I	Total	1.37E+18	2.23E+19	3.07E+18	2.42E+18	7.02E+18	1.36E+19	4.21E+17	2.39E+17	1.55E+17	5.95E+17	5.76E+17			

ガンマ線合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 + Fission Product 【各経過期間での累積】 [照射												f量:nvt]
ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
	ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
	1MeV以下	1.15E+18	1.87E+19	2.56E+18	2.02E+18	5.86E+18	1.14E+19	3.52E+17	1.99E+17	1.30E+17	4.97E+17	4.81E+17
	1MeV以上	2.25E+17	3.67E+18	5.03E+17	3.97E+17	1.15E+18	2.24E+18	6.92E+16	3.92E+16	2.55E+16	9.77E+16	9.45E+16
ſ	Total	1.37E+18	2.23E+19	3.07E+18	2.42E+18	7.02E+18	1.36E+19	4.21E+17	2.39E+17	1.55E+17	5.95E+17	5.76E+17

ガンマ線合計	= ((α,	n)反M	応 +	自発核分	裂 + Fi:	ssion Prod	luct 【ガ	ラス固化	体生成後0	からの累和	資】 〔	[照射]	量 : nvt]
ガンマ線						ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間〔	年]				

合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0\!\sim\!5000$	$0\!\sim\!10000$
1MeV以下	1.15E+18	1.98E+19	2.24E+19	2.44E+19	3.03E+19	4.17E+19	4.20E+19	4.22E+19	4.23E+19	4.28E+19	4.33E+19
1MeV以上	2.25E+17	3.89E+18	4.39E+18	4.79E+18	5.94E+18	8.18E+18	8.25E+18	8.29E+18	8.32E+18	8.41E+18	8.51E+18
Total	1.37E+18	2.37E+19	2.68E+19	2.92E+19	3.62E+19	4.98E+19	5.03E+19	5.05E+19	5.07E+19	5.12E+19	5.18E+19

表 7.2.3-2 (2/2) PHITS252 を用いたオーバーパック内側表面における 累積照射線量[JENDL-4.0]

OP内側表面から 0cm

(α.	n)	反応	
(00)	/	~~~·	

(a, n)反	応									[照身	寸量 : nvt]
				ガラ	ラス固化体	生成後の縦	蚤過期間 [•	年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	30~40	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	500~1000	1000	1500	2000	5000
1MeV以下	1.73E+12	3.63E+13	7.48E+12	6.32E+12	2.44E+13	1.16E+14	6.90E+13	3.20E+13	1.54E+13	3.62E+13	1.63E+13
1MeV以上	5.68E+11	1.19E+13	2.45E+12	2.07E+12	7.99E+12	3.80E+13	2.26E+13	1.04E+13	5.02E+12	1.18E+13	5.33E+12
Total	2.30E+12	4.81E+13	9.94E+12	8.39E+12	3 23E+13	1.54E+14	9.16E+13	4.24E+13	2.04E+13	4.80E+13	2.16E+13

自発核分裂

自発核分裂										[照身	才量 : nvt]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	3.52E+12	6.67E+13	9.70E+12	6.68E+12	1.61E+13	2.30E+13	8.71E+12	8.10E+12	7.54E+12	2.76E+13	2.13E+13
1MeV以上	5.83E+11	1.10E+13	1.61E+12	1.11E+12	2.66E+12	3.81E+12	1.44E+12	1.34E+12	1.25E+12	4.57E+12	3.52E+12
Total	4.11E+12	7.78E+13	1.13E+13	7.78E+12	1.87E+13	2.68E+13	1.02E+13	9.44E+12	8.78E+12	3.22E+13	2.48E+13

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】

				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	5000 ~10000
1MeV以下	5.26E+12	1.03E+14	1.72E+13	1.30E+13	4.04E+13	1.39E+14	7.77E+13	4.01E+13	2.29E+13	6.38E+13	3.76E+13
1MeV以上	1.15E+12	2.29E+13	4.06E+12	3.18E+12	1.06E+13	4.18E+13	2.40E+13	1.18E+13	6.27E+12	1.64E+13	8.85E+12
Total	6.41E+12	1.26E+14	2.12E+13	1.62E+13	5.10E+13	1.81E+14	1.02E+14	5.18E+13	2.92E+13	8.01E+13	4.64E+13

[照射量:nvt]

中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【ガラ	ス固化体	生成後0か	らの累積]		[照身	寸量 : nvt]
中性子				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$
1MeV以下	5.26E+12	1.08E+14	1.25E+14	1.38E+14	1.79E+14	3.18E+14	3.95E+14	4.35E+14	4.58E+14	5.22E+14	5.60E+14
1MeV以上	1.15E+12	2.41E+13	2.81E+13	3.13E+13	4.20E+13	8.37E+13	1.08E+14	1.20E+14	1.26E+14	1.42E+14	1.51E+14
Total	6.41E+12	1.32E+14	1.54E+14	1.70E+14	2.21E+14	4.01E+14	5.03E+14	5.55E+14	5.84E+14	6.64E+14	7.11E+14

(a, n)反	応									[照身	寸量 : nvt]
				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	$5000 \sim 10000$
1MeV以下	2.73E+11	5.71E+12	1.18E+12	9.90E+11	3.80E+12	1.81E+13	1.08E+13	5.00E+12	2.40E+12	5.62E+12	2.54E+12
1MeV以上	5.78E+10	1.21E+12	2.52E+11	2.14E+11	8.20E+11	3.87E+12	2.31E+12	1.06E+12	5.08E+11	1.19E+12	5.23E+11
Total	3.31E+11	6.93E+12	1.43E+12	1.20E+12	4.62E+12	2.19E+13	1.31E+13	6.06E+12	2.91E+12	6.80E+12	3.06E+12

自発核分裂										[照身	寸量 : nvt]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	2.73E+11	5.71E+12	1.18E+12	9.90E+11	3.80E+12	1.81E+13	1.08E+13	5.00E+12	2.40E+12	5.62E+12	2.54E+12
1MeV以上	5.78E+10	1.21E+12	2.52E+11	2.14E+11	8.20E+11	3.87E+12	2.31E+12	1.06E+12	5.08E+11	1.19E+12	5.23E+11
Total	3.31E+11	6.93E+12	1.43E+12	1.20E+12	4.62E+12	2.19E+13	1.31E+13	6.06E+12	2.91E+12	6.80E+12	3.06E+12

Fission Product

Fission Produ	uct									[照身	才量 : nvt]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	1.15E+18	1.87E+19	2.56E+18	2.02E+18	5.86E+18	1.14E+19	3.52E+17	1.99E+17	1.30E+17	4.97E+17	4.81E+17
1MeV以上	2.25E+17	3.67E+18	5.03E+17	3.97E+17	1.15E+18	2.24E+18	6.92E+16	3.92E+16	2.55E+16	9.77E+16	9.45E+16
Total	1.37E+18	2.23E+19	3.07E+18	2.42E+18	7.02E+18	1.36E+19	4.21E+17	2.39E+17	1.55E+17	5.95E+17	5.76E+17

ガンマ線合計	$=$ (α ,	n)反応	+ 自発核会	分裂 + Fis	sion Prod	uct 【各	経過期間	での累積】		[照身	寸量 : nvt]
18. 64				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間〔	年]			
カンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
1MeV以下	1.15E+18	1.87E+19	2.56E+18	2.02E+18	5.86E+18	1.14E+19	3.52E+17	1.99E+17	1.30E+17	4.97E+17	4.81E+17
1MeV以上	2.25E+17	3.67E+18	5.03E+17	3.97E+17	1.15E+18	2.24E+18	6.92E+16	3.92E+16	2.55E+16	9.77E+16	9.45E+16
Total	1.37E+18	2.23E+19	3.07E+18	2.42E+18	7.02E+18	1.36E+19	4.21E+17	2.39E+17	1.55E+17	5.95E+17	5.76E+17

ガンマ線合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 + Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [照射量:nvt]

カンマ禄				75	ノス回化14	生成後の意	全回期间し	平」			
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0\!\sim\!5000$	$0\!\sim\!10000$
1MeV以下	1.15E+18	1.98E+19	2.24E+19	2.44E+19	3.03E+19	4.17E+19	4.20E+19	4.22E+19	4.23E+19	4.28E+19	4.33E+19
1MeV以上	2.25E+17	3.89E+18	4.39E+18	4.79E+18	5.94E+18	8.18E+18	8.25E+18	8.29E+18	8.32E+18	8.41E+18	8.51E+18
Total	1.37E+18	2.37E+19	2.68E+19	2.92E+19	3.62E+19	4.98E+19	5.03E+19	5.05E+19	5.07E+19	5.12E+19	5.18E+19

(3) PHITS による計算結果について

MCNP-5 による照射線量率の結果と同様に、中性子による照射線量率は全般的に核デ ータ JENDL-4.0 を用いた計算結果が JENDL-3.2 を用いた計算結果よりも低くなった。 また、MCNP-5 の計算結果とほぼ同じ線量率となり、計算コードの違いが照射線量率に およぼす影響は小さかった。

7.3 炭素鋼オーバーパックの損傷速度の算出

計算方法による損傷速度の違いを調べるために、HLW 第2次取りまとめにおける照射損 傷量の算出方法[11]と、PHITS コードにより直接的に損傷量を算出する方法で炭素鋼オー バーパックの損傷速度を求める。なお、軽水炉の原子炉圧力容器などで評価の対象とされ ている1MeV以上の中性子だけでなく、1MeV以下の中性子およびガンマ線も計算対象と し、それぞれ個別に出力した。

7.3.1 ASTM E693 を用いた損傷速度の算出

MCNP-5 で算出したオーバーパックの内側表面における累積照射量[nvt]から ASTM E693の累積損傷量の算出方法[12]を用いてはじき出し数[dpa]を算出した。また、計算結果より損傷速度[dpa/sec]を算出した。

(1) 計算方法および計算条件

7.2.2 (2)において算出した累積照射線量とはじき出し断面積から、はじき出し数を求め る。そして、はじき出し数を経過期間で除することにより損傷速度を算出する。中性子 による鉄のはじき出し断面積を図 7.3.1-1 に示す。ガンマ線による鉄のはじき出し断面積 には、文献[13]のガンマ線エネルギーとはじき出し断面積の関係を使用した。損傷速度の 計算では、ガラス固化体生成後 10,000 年までを対象として実施する。また、オーバーパ ック埋設後の中性子線およびガンマ線のエネルギースペクトル、線量率の時間変化につ いても変化の傾向が把握できる時間間隔で計算する。

(2) 計算結果

オーバーパック内側表面におけるはじき出し数を表 7.3.1-1 に、損傷速度を表 7.3.1-2 に示す。はじき出し数および損傷速度は、処分後の各経過期間での値と処分後 0 年からの値を示した。



表 7.3.1-1 (1/2) ASTM E693 により算出したオーバーパック内側表面における はじき出し数[JENDL-3.2]

0P内側表面から 0cm (α, n)反応

[はじき出し数:dpa]

5000

10000

				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
	0 1	1 00	00 10	10 00	00 100	100 000	000 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	3.40E-10	7.14E-09	1.48E-09	1.25E-09	4.81E-09	2.29E-08	1.36E-08	6.31E-09	3.04E-09	7.15E-09	3.23E-09
1MeV以上	6.00E-10	1.26E-08	2.60E-09	2.20E-09	8.47E-09	4.02E-08	2.40E-08	1.11E-08	5.35E-09	1.26E-08	5.65E-09
Total	9.41E-10	1.97E-08	4.08E-09	3.45E-09	1.33E-08	6.31E-08	3.76E-08	1.74E-08	8.40E-09	1.97E-08	8.88E-09

自発核分裂									[はじき出し	、数:dpa]
				ガ	ラス固化体	生成後の経	&過期間 [年]			
中性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	6.38E-10	1.21E-08	1.76E-09	1.21E-09	2.91E-09	4.17E-09	1.58E-09	1.47E-09	1.37E-09	6.52E-09	6.39E-09
1MeV以上	5.96E-10	1.13E-08	1.64E-09	1.13E-09	2.72E-09	3.89E-09	1.47E-09	1.37E-09	1.28E-09	6.09E-09	5.97E-09
Total	1.23E-09	2.34E-08	3.40E-09	2.34E-09	5.63E-09	8.06E-09	3.05E-09	2.84E-09	2.64E-09	1.26E-08	1.24E-08

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】 [はじき出し数:dpa] ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 中性子 1000 1500 2000 50~100 100~500 500~1000 $0\sim\!1$ $1 \sim 30$ $30 \sim 40$ $40 \sim 50$ 1500 5000

L	1MeV以下	9.78E-10	1.92E-08	3.24E-09	2.46 $E-09$	7.72E-09	2.71E-08	1.52E-08	7.77E-09	4.41E-09	1.37E-08	9.62E-09
Γ	1MeV以上	1.20E-09	2.39E-08	4.25E-09	3.33E-09	1.12E-08	4.41E-08	2.55E-08	1.25E-08	6.63E-09	1.87E-08	1.16E-08
Γ	Total	2.18E-09	4.31E-08	7.48E-09	5.79E-09	1.89E-08	7.12E-08	4.07E-08	2.02E-08	1.10E-08	3.23E-08	2.12E-08

中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【ガラ	ス固化体	生成後0か	らの累積	1	[はじき出し	、数:dpa]			
中性子		ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 1 \qquad 0 \sim 30 \qquad 0 \sim 40 \qquad 0 \sim 50 \qquad 0 \sim 100 \qquad 0 \sim 500 \qquad 0 \sim 1000 \qquad 0 \sim 1500 \qquad 0 \sim 2000 \qquad 0 \sim 5000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 1000000 \qquad 0 \sim 10000000000$												
1MeV以下	9.78E-10	2.02E-08	2.34E-08	2.59E-08	3.36E-08	6.07E-08	7.59E-08	8.37E-08	8.81E-08	1.02E-07	1.11E-07			
1MeV以上	1.20E-09	2.51E-08	2.93E-08	3.27E-08	4.39E-08	8.80E-08	1.13E-07	1.26E-07	1.33E-07	1.51E-07	1.63E-07			
Total	2.18E-09	4.53E-08	5.28E-08	5.86E-08	7.75E-08	1.49E-07	1.89E-07	2.10E-07	2.21E-07	2.53E-07	2.74E-07			

(a, n) 反応 [はじき出し数:dpa] ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 2次ガンマ線 1000 1500 2000 5000 40~50 50~100 100~500 500~1000 $0\sim\!1$ $1 \sim 30$ $30 \sim 40$ ~1500 -2000 ~5000 ~10000 1MeV以下 1.12E-14 2.35E-13 4.86E-14 4. 10E-14 1. 58E-13 7. 52E-13 4. 48E-13 2. 07E-13 9.91E-14 2.32E-13 1.05E-13
 7.91E-14
 1.64E-12
 3.35E-13
 2.80E-13
 1.09E-12
 5.25E-12
 3.13E-12
 1.45E-12
 6.87E-13
 1.63E-12
 7.34E-13

 9.03E-14
 1.88E-12
 3.84E-13
 3.21E-13
 1.24E-12
 6.00E-12
 3.58E-12
 1.65E-12
 7.86E-13
 1.86E-12
 8.39E-13
 1MeV以上 Total

自発核分裂									[はじき出し	_数:dpa]
				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
 2 次カンマ線 	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	1.45E-14	2.76E-13	4.01E-14	2.76E-14	6.63E-14	9.49E-14	3.60E-14	3.34E-14	3.11E-14	1.49E-13	1.46E-13
1MeV以上	1.43E-13	2.71E-12	3.93E-13	2.71E-13	6.51E-13	9.32E-13	3.53E-13	3.28E-13	3.05E-13	1.46E-12	1.43E-12
Total	1.57E-13	2.98E-12	4.33E-13	2.98E-13	7.17E-13	1.03E-12	3.89E-13	3.62E-13	3.37E-13	1.61E-12	1.58E-12

Fission Product

[はじき出し数:dpa]

19. data				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	500~1000	1000	1500	2000	5000
1MeV以下	3.03E-07	4.88E-06	5.89E-07	4.65E-07	1.35E-06	2.58E-06	2.27E-09	~ 1500 1.89E-09	~2000 1.84E-09	~5000 9.97E-09	1.35E-08
1MeV以上	4.02E-08	5.07E-07	1.33E-08	7.03E-09	1.43E-08	1.43E-08	2.25E-11	2.07E-11	2.07E-11	1.28E-10	2.32E-10
Total	3.43E-07	5.38E-06	6.02E-07	4.72E-07	1.36E-06	2.60E-06	2.29E-09	1.91E-09	1.86E-09	1.01E-08	1.37E-08

ガンマ線合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 + Fission	Product 【各経過期間での累積】	[はじき出し数 : dpa]
---	---------------------	----------------

	19. data				ガラ	ラス固化体	生成後の経	E過期間[年]			
l	ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
L									~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
L	1MeV以下	3.03E-07	4.88E-06	5.89E-07	4.65E-07	1.35E-06	2.58E-06	2.27E-09	1.89E-09	1.84E-09	9.97E-09	1.35E-08
Γ	1MeV以上	4.02E-08	5.08E-07	1.33E-08	7.03E-09	1.43E-08	1.43E-08	2.60E-11	2.24E-11	2.17E-11	1.31E-10	2.34E-10
ſ	Total	3.43E-07	5.38E-06	6.02E-07	4.72E-07	1.36E-06	2.60E-06	2.30E-09	1.92E-09	1.86E-09	1.01E-08	1.37E-08

ガンマ線合計= $(\alpha,$	n)反応+自発核分裂+Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】	[はじき出し数:dpa]
ガンロ油	ガラフ田化体生成後の経過期間「年」	

	ガンマ緑				カニ	フス固化体	生成後の絶	Ě過期間 └	年」			
	合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0\!\sim\!2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$
I	1MeV以下	3.03E-07	5.18E-06	5.77E-06	6.23E-06	7.58E-06	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05
I	1MeV以上	4.02E-08	5.48E-07	5.61E-07	5.68E-07	5.82E-07	5.97E-07	5.97E-07	5.97E-07	5.97E-07	5.97E-07	5.97E-07
ſ	Total	3.43E-07	5.73E-06	6.33E-06	6.80E-06	8.17E-06	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05

表 7.3.1-1 (2/2) ASTM E693 により算出したオーバーパック内側表面における はじき出し数[JENDL-4.0]

OP内側表面から 0cm (α,n)反応

(α,n)反応	-									[はじき]	出し数 : dpa]
				ナ	ブラス固化体	生成後の総	E過期間 [年]			
甲性子	0~1	1~30	30~40	40~50	50 ~ 100	100~500	500~1000	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	3.05E-10	6.39E-09	1.32E-09	1.11E-09	4.29E-09	2.04E-08	1.22E-08	5.62E-09	2.71E-09	6.38E-09	2.86E-09
1MeV以上	5.78E-10	1.21E-08	2.51E-09	2.12E-09	8.18E-09	3.91E-08	2.33E-08	1.08E-08	5.16E-09	1.21E-08	5.46E-09
Total	8.83E-10	1.85E-08	3.83E-09	3.23E-09	1.25E-08	5.94E-08	3.55E-08	1.64E-08	7.87E-09	1.85E-08	8.33E-09

自発核分裂										[はじき]	出し数 : dpa]
				ナ	ブラス固化体	生成後の総	圣過期間 [年	:]			
中性子	0~1	1~30	30~40	40~50	50 ~ 100	100~500	500~1000	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	5.66E-10	1.07E-08	1.56E-09	1.07E-09	2.58E-09	3.70E-09	1.40E-09	1.30E-09	1.21E-09	5.79E-09	5.68E-09
1MeV以上	5.78E-10	1.10E-08	1.59E-09	1.10E-09	2.64E-09	3.78E-09	1.43E-09	1.33E-09	1.24E-09	5.91E-09	5.80E-09
Total	1.14E-09	2.17E-08	3.15E-09	2.17E-09	5.22E-09	7.47E-09	2.83E-09	2.63E-09	2.45E-09	1.17E-08	1.15E-08

	中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【各释》	過期間で	の累積】				[はじきと	出し数 : dpa]
I					ナ	ブラス固化体	生成後の総	E過期間 [年	:]			
	中性子	0~1	1~30	30~40	40~50	50~100	100~500	500~1000	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000
	1MeV以下	8.71E-10	1.71E-08	2.88E-09	2.19E-09	6.87E-09	2.41E-08	1.36E-08	6.93E-09	3.92E-09	1.22E-08	8.54E-09
ſ	1MeV以上	1.16E-09	2.31E-08	4.10E-09	3.22E-09	1.08E-08	4.28E-08	2.47E-08	1.21E-08	6.40E-09	1.80E-08	1.13E-08
	Total	2.03E-09	4.02E-08	6.98E-09	5.40E-09	1.77E-08	6.69E-08	3.83E-08	1.90E-08	1.03E-08	3.02E-08	1.98E-08

中性子合計 =	= (α, n	(α, n)反応 + 自発核分裂 【ガラス固化体生成後0からの累積】										
中性子				ナ	ブラス固化体	生成後の総	圣過期間 [年	:]				
合計	0~1	0~1 0~30 0~40 0~50 0~100 0~500 0~1000 0~1500 0~2000 0~50									0~10000	
1MeV以下	8.71E-10	3.71E-10 1.80E-08 2.09E-08 2.31E-08 2.99E-08 5.40E-08 6.76E-08 7.45E-08 7.84E-08 9								9.06E-08	9.92E-08	
1MeV以上	1.16E-09	2.43E-08	2.84E-08	3.16E-08	4.24E-08	8.52E-08	1.10E-07	1.22E-07	1.28E-07	1.46E-07	1.58E-07	
Total	2.03E-09	4.22E-08	4.92E-08	5.46E-08	7.23E-08	1.39E-07	1.78E-07	1.97E-07	2.07E-07	2.37E-07	2.57E-07	

(α,n)反応										[はじき]	出し数 : dpa]
				ナ	ブラス固化体	生成後の総	圣過期間 [年	:]			
2次カンマ線	0~1	1~30	30~40	40~50	50 ~ 100	100~500	500~1000	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	1.17E-14	2.46E-13	5.06E-14	4.29E-14	1.66E-13	7.86E-13	4.70E-13	2.17E-13	1.05E-13	2.46E-13	1.10E-13
1MeV以上	8.23E-14	1.69E-12	3.44E-13	2.93E-13	1.13E-12	5.37E-12	3.20E-12	1.49E-12	7.15E-13	1.69E-12	7.63E-13
Total	9.40E-14	1.94E-12	3.94E-13	3.36E-13	1.29E-12	6.15E-12	3.67E-12	1.71E-12	8.20E-13	1.93E-12	8.74E-13

自発核分裂										[はじき]	出し数 : dpa]
				ナ	ブラス固化体	生成後の総	E過期間 [年	:]			
2次カンマ線	0~1	1~30	30~40	40~50	50 ~ 100	100~500	500~1000	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	1.53E-14	2.90E-13	4.22E-14	2.90E-14	6.98E-14	9.99E-14	3.79E-14	3.52E-14	3.28E-14	1.56E-13	1.53E-13
1MeV以上	1.42E-13	2.68E-12	3.90E-13	2.68E-13	6.45E-13	9.24E-13	3.50E-13	3.26E-13	3.03E-13	1.45E-12	1.42E-12
Total	1.57E-13	2.97E-12	4.32E-13	2.97E-13	7.15E-13	1.02E-12	3.88E-13	3.61E-13	3.36E-13	1.60E-12	1.57E-12

Fission Prod	Fission Product [はじき出し数:dp													
18		ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
カンマ線	0~1	1~30	30~40	40~50	50 ~ 100	100~500	500~1000	1000 ~1500	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000			
1MeV以 ⁻	F 3.03E-0	7 4.87E-06	5.89E-07	4.65E-07	1.35E-06	2.58E-06	2.27E-09	1.89E-09	1.83E-09	9.97E-09	1.35E-08			
1MeV以_	L 4.02E-0	8 5.07E-07	1.34E-08	7.10E-09	1.43E-08	1.42E-08	2.25E-11	2.09E-11	2.10E-11	1.29E-10	2.31E-10			
Total	3.43E-0	7 5.38E-06	6.02E-07	4.72E-07	1.36E-06	2.60E-06	2.29E-09	1.91E-09	1.86E-09	1.01E-08	1.37E-08			

ガンマ線合計	計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 + Fission Product 【各経過期間での累積									[はじきと	出し数 : dpa]
18				ナ	ブラス固化体	生成後の総	E過期間 [年]			
カンマ線	0~1	1~30	30~40	40~50	50~100	100~500	500~1000	1000	1500	2000	5000
								~1500	~2000	~5000	~10000
1MeV以下	3.03E-07	4.87E-06	5.89E-07	4.65E-07	1.35E-06	2.58E-06	2.27E-09	1.89E-09	1.83E-09	9.97E-09	1.35E-08
1MeV以上	4.02E-08	5.07E-07	1.34E-08	7.10E-09	1.43E-08	1.42E-08	2.61E-11	2.27E-11	2.20E-11	1.33E-10	2.33E-10
Total	3.43E-07	5.38E-06	6.02E-07	4.72E-07	1.36E-06	2.60E-06	2.30E-09	1.92E-09	1.86E-09	1.01E-08	1.37E-08

ガンマ線合計	ンマ線合計=(α, n)反応+自発核分裂+Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】									[はじき出し数:dpa]		
ガンマ線				1	ブラス固化体	生成後の総	圣過期間 [年	:]				
合計	0~1	0~30	0~40	0~50	0~100	0~500	0~1000	0~1500	0~2000	0~5000	0~10000	
1MeV以下	3.03E-07	5.18E-06	5.77E-06	6.23E-06	7.58E-06	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	1.02E-05	
1MeV以上	4.02E-08	5.47E-07	5.61E-07	5.68E-07	5.82E-07	5.96E-07	5.96E-07	5.96E-07	5.96E-07	5.97E-07	5.97E-07	
Total	3.43E-07	5.72E-06	6.33E-06	6.80E-06	8.16E-06	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05	1.08E-05	

表 7.3.1-2 (1/2) ASTM E693 により算出したオーバーパック内側表面における 損傷速度[JENDL-3.2]

OP内側表面から Ocm (α, n)反応

[損傷速度:dpa/sec]

[損傷速度:dpa/sec]

				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 10$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
	0 1	1 00	00 10	10 00	00 100	100 000	000 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	1.08E-17	7.80E-18	4.69E-18	3.95E-18	3.05E-18	1.81E-18	8.64E-19	4.00E-19	1.93E-19	7.55E-20	2.05E-20
1MeV以上	1.90E-17	1.38E-17	8.25E-18	6.96E-18	5.37E-18	3.19E-18	1.52E-18	7.04E-19	3.39E-19	1.33E-19	3.58E-20
Total	2.98E-17	2.16E-17	1.29E-17	1.09E-17	8.41E-18	5.00E-18	2.38E-18	1.10E-18	5.32E-19	2.08E-19	5.63E-20

自発核分裂

		[損傷速度	:	dpa/sec]
期間	[年]			

	H / L / / / / / / / /										27 102 Mar (200 - 1	
ſ					ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
	甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 {\sim} 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	5000 ~10000
I	1MeV以下	2.02E-17	1.32E-17	5.57E-18	3.83E-18	1.84E-18	3.30E-19	1.00E-19	9.30E-20	8.65E-20	6.89E-20	4.05E-20
I	1MeV以上	1.89E-17	1.23E-17	5.20E-18	3.58E-18	1.72E-18	3.08E-19	9.34E-20	8.69E-20	8.09E-20	6.43E-20	3.79E-20
ſ	Total	3.91E-17	2.56E-17	1.08E-17	7.42E-18	3.57E-18	6.38E-19	1.93E-19	1.80E-19	1.67E-19	1.33E-19	7.84E-20

中性子合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】 ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 中性子

	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	~ 1500	~2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	3.10E-17	2.10E-17	1.03E-17	7.79E-18	4.89E-18	2.14E-18	9.64E-19	4.93E-19	2.79E-19	1.44E-19	6.10E-20
1MeV以上	3.79E-17	2.61E-17	1.35E-17	1.05E-17	7.09E-18	3.50E-18	1.61E-18	7.91E-19	4.20E-19	1.97E-19	7.36E-20
Total	6.89E-17	4.71E-17	2.37E-17	1.83E-17	1.20E-17	5.64E-18	2.58E-18	1.28E-18	6.99E-19	3.41E-19	1.35E-19

中性子合計 =	= (α, n	(α, n)反応 + 自発核分裂 【ガラス固化体生成後0からの累積】									dpa/sec]	
中性子		ガラス固化体生成後の経過期間[年]										
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0\!\sim\!2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$	
1MeV以下	3.10E-17	2.13E-17	1.86E-17	1.64E-17	1.07E-17	3.85E-18	2.40E-18	1.77E-18	1.40E-18	6.45E-19	3.53E-19	
1MeV以上	3.79E-17	2.65E-17	2.32E-17	2.07E-17	1.39E-17	5.58E-18	3.60E-18	2.66E-18	2.10E-18	9.58E-19	5.16E-19	
Total	6.89E-17	4.78E-17	4.18E-17	3.71E-17	2.45E-17	9.42E-18	6.00E-18	4.43E-18	3.50E-18	1.60E-18	8.69E-19	

[損傷速度:dpa/sec] (a, n) 反応 ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 2次ガンマ線 1000 1500 2000 5000 $0\!\sim\!1$ $1 \sim 30$ $30 \sim 40$ $40 \sim 50$ 50 ~ 100 100 ~ 500 $500 \sim 1000$ 1500 2000 -5000 ~10000 1MeV以下 3.55E-22 2.57E-22 1.54E-22 1.30E-22 1.00E-22 5.96E-23 2.84E-23 1.31E-23 6.28E-24 2.45E-24 6.67E-25 2.51E-21 1.79E-21 1.06E-21 8.88E-22 6.89E-22 4.16E-22 1. 98E-22 9. 16E-23 4. 35E-23 1. 72E-23 4. 65E-24 1MeV以上 2.86E-21 2.05E-21 1.22E-21 1.02E-21 7.89E-22 4.76E-22 2.27E-22 1.05E-22 4.98E-23 1.97E-23 5.32E-24 Total

<u>–</u> ––	V V	+++	1	제
	APP 1	<u>k</u> Y	T	44
	- 7 15-	1.2		- A V.

[損傷速度:dpa/sec]

000
0000
4E-25
7E-24
)E-24
) (17)

Fission Product

Fission Product [損傷速度:dpa/sed											
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
1MeV以下	9.60E-15	5.33E-15	1.87E-15	1.47E-15	8.56E-16	2.05E-16	1.44E-19	1.20E-19	1.16E-19	1.05E-19	8.56E-20
1MeV以上	1.27E-15	5.55E-16	4.22E-17	2.23E-17	9.04E-18	1.14E-18	1.43E-21	1.31E-21	1.31E-21	1.35E-21	1.47E-21
Total	1.09E-14	5.88E-15	1.91E-15	1.50E-15	8.65E-16	2.06E-16	1.45E-19	1.21E-19	1.18E-19	1.07E-19	8.71E-20

ガンマ線合計	= (α,	, n)反応 + 自発核分裂	+ Fission Product	【各経過期間での累積】	[損傷速度:dpa/sec]
			ガラフ田化休仕式	後の奴遇期間 [年]	

		ガラス固化体生成後の経過期間し年」												
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	500~1000	1000	1500	2000	5000			
	0 - 1	1 - 50	30 - 40	40 - 30	30 - 100	100 - 300	300 - 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000			
1MeV以下	9.60E-15	5.33E-15	1.87E-15	1.47E-15	8.56E-16	2.05E-16	1.44E-19	1.20E-19	1.16E-19	1.05E-19	8.56E-20			
1MeV以上	1.27E-15	5.55E-16	4.22E-17	2.23E-17	9.04E-18	1.14E-18	1.65E-21	1.42E-21	1.37E-21	1.39E-21	1.48E-21			
Total	1.09E-14	5.88E-15	1.91E-15	1.50E-15	8.65E-16	2.06E-16	1.46E-19	1.21E-19	1.18E-19	1.07E-19	8.71E-20			

ガンマ線合計= (a, n) 反応+自発核分裂+Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [損傷速度:dpa/sec]

ガンマ線		ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0\!\sim\!2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$		
1MeV以下	9.60E-15	5.47E-15	4.57E-15	3.95E-15	2.40E-15	6.44E-16	3.22E-16	2.15E-16	1.61E-16	6.45E-17	3.23E-17		
1MeV以上	1.27E-15	5.79E-16	4.44E-16	3.60E-16	1.85E-16	3.78E-17	1.89E-17	1.26E-17	9.45E-18	3.78E-18	1.89E-18		
Total	1.09E-14	6.05E-15	5.01E-15	4.31E-15	2.59E-15	6.82E-16	3.41E-16	2.27E-16	1.71E-16	6.83E-17	3.42E-17		

表 7.3.1-2 (2/2) ASTM E693 により算出したオーバーパック内側表面における 損傷速度[JENDL-4.0]

OP内側表面から Ocm

	-										
(a, n)反	応								[損傷速度:	dpa/sec]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 {\sim} 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	1500 ~2000	2000 ~5000	$5000 \sim 10000$
1MeV以下	9.65E-18	6.98E-18	4.18E-18	3.53E-18	2.72E-18	1.61E-18	7.73E-19	3.56E-19	1.72E-19	6.74E-20	1.82E-20
1MeV以上	1.83E-17	1.33E-17	7.96E-18	6.72E-18	5.18E-18	3.09E-18	1.47E-18	6.82E-19	3.27E-19	1.28E-19	3.46E-20
Total	2 80F-17	2 02F-17	1 21F - 17	1.02F - 17	7 90F-18	4 71F-18	2 25F-18	1 04F-18	4 99F-19	1 96F-19	5 28F-20

自発核分裂

[損傷速度:dpa/sec]

[損傷速度:dpa/sec]

				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0\!\sim\!1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	1.79E-17	1.17E-17	4.94E-18	3.40E-18	1.64E-18	2.93E-19	8.88E-20	8.25E-20	7.68E-20	6.11E-20	3.60E-20
1MeV以上	1.83E-17	1.20E-17	5.05E-18	3.48E-18	1.67E-18	2.99E-19	9.06E-20	8.43E-20	7.84E-20	6.24E-20	3.67E-20
Total	3.63E-17	2.37E-17	9.99E-18	6.88E-18	3.31E-18	5.92E-19	1.79E-19	1.67E-19	1.55E-19	1.24E-19	7.27E-20

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】

ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 中性子 2000 1000 1500 5000 $0\!\sim\!1$ $1\!\sim\!30$ $30 \sim 40$ $40 \sim 50$ $50 \sim 100$ $100 \sim 500$ $500 \sim 1000$ ~ 5000 ~ 1500 ~2000 ~ 10000 1MeV以下 2. 76E-17 1. 87E-17 9. 12E-18 6. 93E-18 4. 35E-18 1. 91E-18 8. 61E-19 4. 39E-19 2.48E-19 1.29E-19 5.41E-20 1MeV以上 3.67E-17 2.52E-17 1.30E-17 1.02E-17 6.85E-18 3.39E-18 1.57E-18 7.66E-19 4.06E-19 1.91E-19 7.14E-20 Total 6. 43E-17 4. 39E-17 2. 21E-17 1. 71E-17 1. 12E-17 5. 30E-18 2. 43E-18 1. 20E-18 6. 54E-19 3. 19E-19 1. 25E-19

	中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	製 【ガラ	生成後0か	らの累積]	[損傷速度:	dpa/sec]			
ſ	中性子				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間〔	年]					
l	合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 1 \qquad 0 \sim 30 \qquad 0 \sim 40 \qquad 0 \sim 50 \qquad 0 \sim 100 \qquad 0 \sim 500 \qquad 0 \sim 1000 \qquad 0 \sim 1500 \qquad 0 \sim 2000 \qquad 0 \sim 5000 \qquad 0 \sim 10000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 10000000 \qquad 0 \sim 100000 \qquad 0 \sim 1000000000 \qquad 0 $											
ſ	1MeV以下	2.76E-17	2. 76E-17 1. 90E-17 1. 65E-17 1. 46E-17 9. 48E-18 3. 42E-18 2. 14E-18 1. 57E-18 1. 24E-18 5. 74E-19 3. 14E-19											
ſ	1MeV以上	3.67E-17	2.56E-17	2.25E-17	2.00E-17	1.34E-17	5.40E-18	3.48E-18	2.58E-18	2.03E-18	9.28E-19	5.00E-19		
ſ	Total	6.43E-17	4.46E-17	3.90E-17	3.46E-17	2.29E-17	8.82E-18	5.63E-18	4.15E-18	3.28E-18	1.50E-18	8.14E-19		

(α, n)反	文応 [損傷速度:dpa/sec]											
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間〔	年]				
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000	
1MeV以下	3.72E-22	2.69E-22	1.60E-22	1.36E-22	1.05E-22	6.23E-23	2.98E-23	~1500 1.37E-23	~ 2000 6.62E-24	2.60E-24	~10000 6.99E−25	
1MeV以上	2.61E-21	1.85E-21	1.09E-21	9.28E-22	7.16E-22	4.25E-22	2.03E-22	9.47E-23	4.53E-23	1.78E-23	4.84E-24	
Total	2.98E-21	2.11E-21	1.25E-21	1.06E-21	8.20E-22	4.87E-22	2.33E-22	1.08E-22	5.20E-23	2.04E-23	5.54E-24	

自発核分裂									[損傷速度:	dpa/sec]
				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \sim 1500$	$1500 \sim 2000$	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	4.85E-22	3.17E-22	1.34E-22	9.20E-23	4.42E-23	7.92E-24	2.40E-24	2.23E-24	2.08E-24	1.65E-24	9.72E-25
1MeV以上	4.49E-21	2.93E-21	1.24E-21	8.51E-22	4.09E-22	7.32E-23	2.22E-23	2.06E-23	1.92E-23	1.53E-23	8.99E-24
Total	4.97E-21	3.25E-21	1.37E-21	9.43E-22	4.53E-22	8.11E-23	2.46E-23	2.29E-23	2.13E-23	1.69E-23	9.96E-24

Fission Product

[損傷速度 : dpa/sec]

10. Arts		ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000			
	• •	1 00	00 10	10 00	00 100	100 000		~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000			
1MeV以下	9.60E-15	5.33E-15	1.87E-15	1.47E-15	8.56E-16	2.05E-16	1.44E-19	1.20E-19	1.16E-19	1.05E-19	8.56E-20			
1MeV以上	1.27E-15	5.54E-16	4.26E-17	2.25E-17	9.05E-18	1.13E-18	1.43E-21	1.32E-21	1.33E-21	1.37E-21	1.46E-21			
Total	1.09E-14	5.88E-15	1.91E-15	1.50E-15	8.65E-16	2.06E-16	1.45E-19	1.21E-19	1.18E-19	1.07E-19	8.70E-20			

ガンマ線合計	$=$ (α ,	n)反応	+ 自発核会	分裂 + Fis	sion Prod	uct 【各	経過期間	での累積】	[損傷速度:	dpa/sec]
ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \sim 1500$	$1500 \sim 2000$	2000 ~5000	5000 ~10000
1MeV以下	9.60E-15	5.33E-15	1.87E-15	1.47E-15	8.56E-16	2.05E-16	1.44E-19	1.20E-19	1.16E-19	1.05E-19	8.56E-20
1MeV以上	1.27E-15	5.54E-16	4.26E-17	2.25E-17	9.05E-18	1.13E-18	1.65E-21	1.44E-21	1.40E-21	1.40E-21	1.48E-21
Total	1.09E-14	5.88E-15	1.91E-15	1.50E-15	8.65E-16	2.06E-16	1.46E-19	1.21E-19	1.18E-19	1.07E-19	8.70E-20

ガンマ線合計=(α, n)反応+自発核分裂+Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [損傷速度:dpa/sec]

ガンマ緑		ルフス 回化 仲 生 成 俊 の 栓 適 期 間 [牛]										
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$	
1MeV以下	9.60E-15	5.47E-15	4.57E-15	3.95E-15	2.40E-15	6.44E-16	3.22E-16	2.15E-16	1.61E-16	6.45E-17	3.23E-17	
1MeV以上	1.27E-15	5.78E-16	4.44E-16	3.60E-16	1.84E-16	3.78E-17	1.89E-17	1.26E-17	9.45E-18	3.78E-18	1.89E-18	
Total	1.09E-14	6.05E-15	5.01E-15	4.31E-15	2.59E-15	6.82E-16	3.41E-16	2.27E-16	1.71E-16	6.83E-17	3.42E-17	

7.3.2 PHITS252 による損傷速度の算出

PHITS252 を用いてはじき出し数[dpa]を算出する。また、はじき出し数の計算結果より 損傷速度[dap/sec]を算出する。

(1) 計算方法および計算条件

PHITS252 による計算は、核データ(JENDL-3.2 及び JENDL-4.0)を用いた場合と 核データを用いずに直接的に算出*1した場合の評価を行った。核データを用いる場合は、 7.2.3 (2)において算出した累積照射線量にはじき出し断面積を乗じて、はじき出し数を求 め、はじき出し数を経過期間で除することにより損傷速度を算出する。

- *1 PHITS コードでは event generator mode で核データを用いずに解析的にはじき出し数を算出することができる。但し、この機能は現在のところ、中性子線のみに対応している。
- 1) 計算コード及び核データ

計算コード:PHITS252 核データ(中性子):JENDL-3.2 及び 4.0 核データ(ガンマ線):ENDF/B-VI event generator mode では核データを使用しない

2) 計算条件

オーバーパック内側表面におけるはじき出し数を表 3-18 に、損傷速度を表 3-19 に 示す。なお、はじき出し数および損傷速度は、処分後の各経過期間での値と処分後 0 年からの値を示した。

(2) 計算結果

オーバーパック内側表面におけるはじき出し数を表 7.3.2-1 に、損傷速度を表 7.3.2-2 に示す。なお、はじき出し数および損傷速度は、処分後の各経過期間での値と処分後 0 年からの値を示した。

中性子とガンマ線の損傷速度は、3桁程度ガンマ線の損傷速度が速くなった。

表 7.3.2-1 (1/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における はじき出し数[JENDL-3.2]

OP内側表面から 0cm (α, n) 反応

[はじき出し数:dpa]

[はじき出し数:dpa]

中性子		ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000			
	• •	1 00	00 10	10 00	00 100	100 000	000 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000			
1MeV以下	3.45E-10	7.23E-09	1.50E-09	1.27E-09	4.88E-09	2.33E-08	1.39E-08	6.43E-09	3.10E-09	7.27E-09	3.28E-09			
1MeV以上	6.22E-10	1.30E-08	2.69E-09	2.27E-09	8.77E-09	4.17E-08	2.48E-08	1.15E-08	5.52E-09	1.29E-08	5.81E-09			
Total	9.67E-10	2.02E-08	4.18E-09	3.54E-09	1.37E-08	6.50E-08	3.87E-08	1.79E-08	8.62E-09	2.02E-08	9.09E-09			

白珍状八刻

自発核分裂									[はじき出し	_数:dpa]		
		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]											
中性子	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$		
1MeV以下	6.42E-10	1.22E-08	1.77E-09	1.22E-09	2.93E-09	4.19E-09	1.59E-09	1.48E-09	1.37E-09	5.03E-09	3.88E-09		
1MeV以上	5.97E-10	1.13E-08	1.65E-09	1.13E-09	2.72E-09	3.90E-09	1.48E-09	1.37E-09	1.28E-09	4.68E-09	3.61E-09		
Total	1.24E-09	2.35E-08	3.41E-09	2.35E-09	5.65E-09	8.09E-09	3.07E-09	2.85E-09	2.65E-09	9.71E-09	7.49E-09		

中性子合計 = (a, n)反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】

中性子		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]												
	$0 \sim 1$	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	1500 ~2000	2000 ~5000	5000 ~10000			
1MeV以下	9.87E-10	1.94E-08	3.26E-09	2.48E-09	7.81E-09	2.75E-08	1.55E-08	7.91E-09	4.47E-09	1.23E-08	7.16E-09			
1MeV以上	1.22E-09	2.43E-08	4.33E-09	3.40E-09	1.15E-08	4.56E-08	2.63E-08	1.29E-08	6.80E-09	1.76E-08	9.42E-09			
Total	2 21F-09	4 37F-08	7 60F-09	5 89F-09	1 93F-08	7 31F-08	4 17F-08	2 08F-08	1 13F-08	2 99F-08	1 66F-08			

中性子合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 [はじき出し数:														
中性子		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]												
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$			
1MeV以下	9.87E-10	2.04E-08	2.36E-08	2.61E-08	3.39E-08	6.14E-08	7.69E-08	8.48E-08	8.93E-08	1.02E-07	1.09E-07			
1MeV以上	1.22E-09	2.56E-08	2.99E-08	3.33E-08	4.48E-08	9.04E-08	1.17E-07	1.29E-07	1.36E-07	1.54E-07	1.63E-07			
Total	2.21E-09	4.59E-08	5.35E-08	5.94E-08	7.87E-08	1.52E-07	1.94E-07	2.14E-07	2.26E-07	2.55E-07	2.72E-07			

(α, n) 反応 [はじき出し数:dpa] ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 2次ガンマ線 1000 1500 2000 5000 $0\sim\!1$ $1 \sim 30$ $30 \sim 40$ $40 \sim 50$ $50 \sim 100$ $100 \sim 500$ $500 \sim 1000$ ~5000 1500 2000 10000 1.14E-14 2.38E-13 4.90E-14 4.14E-14 1.59E-13 7.55E-13 4.48E-13 2.08E-13 1.00E-13 2.35E-13 1.05E-13 1MeV以下 7.87E-14 1.66E-12 1.10E-12 5.12E-12 3.03E-12 3.44E-13 1.40E-12 6.74E-13 1.60E-12 7.28E-13 1MeV以上 2.90E-13 9.01E-14 1.89E-12 3.93E-13 3. 32E-13 1. 26E-12 5. 88E-12 3. 48E-12 1. 61E-12 7. 74E-13 1. 83E-12 8. 33E-13 Total

自発核分裂 [はじき出し数:dpa] ガラス固化体生成後の経過期間 [年] 2次ガンマ線 1500 5000 1000 2000 $0 \sim 1$ $1\!\sim\!30$ $30 \sim 40$ $40 \sim 50$ 50 ~ 100 100 ~ 500 500 ~ 1000 ~ 1500 2000 -5000 -10000 1MeV以下 1.48E-14 2.80E-13 4.07E-14 2.80E-14 6.74E-14 9.66E-14 3.66E-14 3.40E-14 3.16E-14 1.16E-13 8.94E-14 1MeV以上 1.50E-13 2.85E-12 4.14E-13 2.85E-13 6.86E-13 9.82E-13 3.72E-13 3.46E-13 3.22E-13 1.18E-12 9.09E-13 1.65E-13 3.13E-12 4.55E-13 3.13E-13 7.53E-13 1.08E-12 4.09E-13 3.80E-13 3.53E-13 1.29E-12 9.98E-13

Total Fission Product ガンマ線

1MeV以下

1MeV以上

Total

ıct								[はじき出し	、数:dpa]
			ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
4.97E-08	8.08E-07	1.11E-07	8.76E-08	2.54E-07	4.93E-07	1.52E-08	8.63E-09	5.62E-09	2.15E-08	2.08E-08
4.87E-07	7.92E-06	1.09E-06	8.59E-07	2.49E-06	4.84E-06	1.49E-07	8.47E-08	5.52E-08	2.11E-07	2.04E-07

[はじき出し数 : dpa] ガンマ線合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 + Fission Product 【各経過期間での累積】

5.37E-07 8.73E-06 1.20E-06 9.46E-07 2.74E-06 5.33E-06 1.65E-07 9.33E-08 6.08E-08 2.33E-07 2.25E-07

ガンマ線	12. All	カフス固化体生成後の経過期間し年」												
	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 10$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	500~1000	1000	1500	2000	5000			
	0 - 1	1 - 50	30 - 40	40 - 50	30 - 100	100 - 300	300 - 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000			
	1MeV以下	4.97E-08	8.08E-07	1.11E-07	8.76E-08	2.54E-07	4.93E-07	1.52E-08	8.63E-09	5.62E-09	2.15E-08	2.08E-08		
	1MeV以上	4.87E-07	7.92E-06	1.09E-06	8.59E-07	2.49E-06	4.84E-06	1.49E-07	8.47E-08	5.52E-08	2.11E-07	2.04E-07		
	Total	5.37E-07	8.73E-06	1.20E-06	9.46E-07	2.74E-06	5.33E-06	1.65E-07	9.33E-08	6.08E-08	2.33E-07	2.25E-07		

ガンマ線合計=(α, n)反応+自発核分裂+Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [はじき出し数:dpa]

カンマ緑		カフス固化体生成後の経過期間「牛」											
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$		
1MeV以下	4.97E-08	8.58E-07	9.69E-07	1.06E-06	1.31E-06	1.80E-06	1.82E-06	1.83E-06	1.83E-06	1.85E-06	1.88E-06		
1MeV以上	4.87E-07	8.41E-06	9.50E-06	1.04E-05	1.28E-05	1.77E-05	1.78E-05	1.79E-05	1.80E-05	1.82E-05	1.84E-05		
Total	5.37E-07	9.27E-06	1.05E-05	1.14E-05	1.42E-05	1.95E-05	1.97E-05	1.97E-05	1.98E-05	2.00E-05	2.03E-05		
表 7.3.2-1 (2/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における はじき出し数[JENDL-4.0]

OP内側表面から Ocm (α, n) 反応

[はじき出し数:dpa]

				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
	• 1	1 00	00 10	10 00	00 100	100 000		~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	3.08E-10	6.44E-09	1.33E-09	1.12E-09	4.32E-09	2.06E-08	1.23E-08	5.68E-09	2.74E-09	6.44E-09	2.90E-09
1MeV以上	5.92E-10	1.24E-08	2.56E-09	2.16E-09	8.31E-09	3.95E-08	2.35E-08	1.09E-08	5.22E-09	1.22E-08	5.52E-09
Total	9.00E-10	1.88E-08	3.88E-09	3.28E-09	1.26E-08	6.01E-08	3.57E-08	1.65E-08	7.96E-09	1.87E-08	8.42E-09

目免核分裂	亥分裂	自発核
-------	-----	-----

[はじき出し数:dpa]

				ガ	ラス固化体	生成後の絶	圣過期間〔	年]			
甲性子	$0 \sim 1$	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	1500 ~2000	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	5.78E-10	1.10E-08	1.59E-09	1.10E-09	2.63E-09	3.77E-09	1.43E-09	1.33E-09	1.24E-09	4.53E-09	3.49E-09
1MeV以上	5.78E-10	1.09E-08	1.59E-09	1.10E-09	2.63E-09	3.77E-09	1.43E-09	1.33E-09	1.24E-09	4.53E-09	3.49E-09
Total	1.16E-09	2.19E-08	3.18E-09	2.19E-09	5.27E-09	7.55E-09	2.86E-09	2.66E-09	2.47E-09	9.05E-09	6.99E-09

中性子合計 = (α, n)反応 + 自発核分裂 【各経過期間での累積】

中性子合計 =	- (α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【各経	過期間で	の累積】			[はじき出し	_数:dpa]			
		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]												
甲性子	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	5000 ~10000			
1MeV以下	8.86E-10	1.74E-08	2.92E-09	2.22E-09	6.96E-09	2.44E-08	1.37E-08	7.01E-09	3.98E-09	1.10E-08	6.39E-09			
1MeV以上	1.17E-09	2.33E-08	4.15E-09	3.25E-09	1.09E-08	4.33E-08	2.49E-08	1.22E-08	6.45E-09	1.68E-08	9.01E-09			
Total	2.06E-09	4.07E-08	7.07E-09	5.47E-09	1.79E-08	6.76E-08	3.86E-08	1.92E-08	1.04E-08	2.77E-08	1.54E-08			

中性子合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂

中性子合計 =	= (α, n)反応 +	自発核分裂	裂					Γ	はじき出し	数:dpa]
中性子				ガラ	ラス固化体	生成後の経	E過期間[年]			
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0 \sim \! 1500$	$0\!\sim\!2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$
1MeV以下	8.86E-10	1.83E-08	2.12E-08	2.34E-08	3.04E-08	5.47E-08	6.84E-08	7.54E-08	7.94E-08	9.04E-08	9.68E-08
1MeV以上	1.17E-09	2.45E-08	2.87E-08	3.19E-08	4.29E-08	8.61E-08	1.11E-07	1.23E-07	1.30E-07	1.46E-07	1.55E-07
Total	2.06E-09	4.28E-08	4.98E-08	5.53E-08	7.32E-08	1.41E-07	1.79E-07	1.99E-07	2.09E-07	2.37E-07	2.52E-07

[はじき出し数:dpa]

(α, n)反	応								[はじき出し	_数:dpa]		
		ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
2 次ガンマ緑	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$		
1MeV以下	1.18E-14	2.48E-13	5.10E-14	4.29E-14	1.65E-13	7.82E-13	4.66E-13	2.16E-13	1.04E-13	2.43E-13	1.10E-13		
1MeV以上	8.23E-14	1.72E-12	3.57E-13	3.06E-13	1.18E-12	5.56E-12	3.32E-12	1.53E-12	7.30E-13	1.71E-12	7.56E-13		
Total	9.41E-14	1.97E-12	4.08E-13	3.49E-13	1.34E-12	6.35E-12	3.79E-12	1.75E-12	8.34E-13	1.95E-12	8.66E-13		

自発核分裂

[はじき出し数:dpa]

				ガラ	ラス固化体	生成後の経	E過期間[年]			
2 次ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
								~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	1.55E-14	2.93E-13	4.26E-14	2.93E -14	7.05E-14	1.01E-13	3.82E-14	3.56E-14	3.31E-14	1.21E-13	9.35E-14
1MeV以上	1.43E-13	2.71E-12	3.95E-13	2.72E-13	6.53E-13	9.35E-13	3.54E-13	3.29E-13	3.07E-13	1.12E-12	8.66E-13
Total	1.59E-13	3.01E-12	4.37E-13	3.01E-13	7.24E-13	1.04E-12	3.93E-13	3.65E-13	3.40E-13	1.24E-12	9.59E-13

Fission Product

[はじき出し数:dpa]

	12. <i>bit</i>				ガラ	ラス固化体	生成後の経	E過期間[年]			
	ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 10$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
L		0 1	1 50	00 F0	-00 OF	00 100	100 000	000 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
	1MeV以下	4.97E-08	8.08E-07	1.11E-07	8.76E-08	2.54E-07	4.93E-07	1.52E-08	8.63E-09	5.62E-09	2.15E-08	2.08E-08
ſ	1MeV以上	4.87E-07	7.92E-06	1.09E-06	8.59E-07	2.49E-06	4.84E-06	1.49E-07	8.47E-08	5.52E-08	2.11E-07	2.04E-07
	Total	5.37E-07	8.73E-06	1.20E-06	9.46E-07	2.74E-06	5.33E-06	1.65E-07	9.33E-08	6.08E-08	2.33E-07	2.25E-07

ガンマ線合計	= (α,	n)反応 +	自発核分裂	+ Fission Prod	uct 【各経過期間での累積】	[はじき出し数:dpa]
				ガラフ田化体	+ 出後の奴温期間[左]	

12. At				ガラ	ラス固化体	生成後の経	E過期間[年]			
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
								~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	4.97E-08	8.08E-07	1.11E-07	8.76E-08	2.54E-07	4.93E-07	1.52E-08	8.63E-09	5.62E-09	2.15E-08	2.08E-08
1MeV以上	4.87E-07	7.92E-06	1.09E-06	8.59E-07	2.49E-06	4.84E-06	1.49E-07	8.47E-08	5.52E-08	2.11E-07	2.04E-07
Total	5.37E-07	8.73E-06	1.20E-06	9.46E-07	2.74E-06	5.33E-06	1.65E-07	9.33E-08	6.08E-08	2.33E-07	2.25E-07

ガンマ線合計= (α, n) 反応+自発核分裂+Fission Product 【ガラス固化体生成後0からの累積】 [はじき出し数:dpa]

ガンマ線				ガラ	ラス固化体	生成後の経	E過期間[年]			
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0 \sim \! 1500$	$0\!\sim\!2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$
1MeV以下	4.97E-08	8.58E-07	9.69E-07	1.06E-06	1.31E-06	1.80E-06	1.82E-06	1.83E-06	1.83E-06	1.85E-06	1.88E-06
1MeV以上	4.87E-07	8.41E-06	9.50E-06	1.04E-05	1.28E-05	1.77E-05	1.78E-05	1.79E-05	1.80E-05	1.82E-05	1.84E-05
Total	5.37E-07	9.27E-06	1.05E-05	1.14E-05	1.42E-05	1.95E-05	1.97E-05	1.97E-05	1.98E-05	2.00E-05	2.03E-05

表 7.3.2-1 (3/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における はじき出し数[event generator mode]

OP内側表面から Ocm

(a, n) 反応

는 제 그					ガラス	固化体生成	後の経過期間][年]				
中性于	0~1	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	$1\!\sim\!10000$
Total	1.04E-09	2.18E-08	4.49E-09	3.81E-09	1.48E-08	7.11E-08	4.22E-08	1.95E-08	9.37E-09	2.18E-08	9.70E-09	2.20E-07

自発核分裂

[はじき出し数:dpa]

[はじき出し数 : dpa]

山耕之					ガラス	固化体生成	後の経過期間	間 [年]				
TIEJ	$0 \sim 1$	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	$1\!\sim\!10000$
Total	1.19E-09	2.26E-08	3.28E-09	2.26E-09	5.43E-09	7.78E-09	2.95E-09	2.74E-09	2.55E-09	1.22E-08	1.19E-08	7.49E-08

合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂

[はじき出し数:dpa]

中性子					ガラス	固化体生成	後の経過期間	『[年]				
습計 0~	$0 \sim 1$	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	$1\!\sim\!10000$
Total	2.23E-09	4.44E-08	7.77E-09	6.07E-09	2.03E-08	7.88E-08	4.52E-08	2.23E-08	1.19E-08	3.39E-08	2.16E-08	2.94E-07

表 7.3.2-2 (1/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における損傷速度[JENDL-3.2]

OP内側表面から Ocm (α, n)反応

(α, n)反	応								[損傷速度:	dpa/sec]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
中性子	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	1.09E-17	7.90E-18	4.74E-18	4.01E-18	3.10E-18	1.84E-18	8.79E-19	4.08E-19	1.96E-19	7.68E-20	2.08E-20
1MeV以上	1.97E-17	1.42E-17	8.51E-18	7.20E-18	5.56E-18	3.30E-18	1.57E-18	7.27E-19	3.50E-19	1.36E-19	3.68E-20
Total	3.06E-17	2.21E-17	1.33E-17	1.12E-17	8.65E-18	5.15E-18	2.45E-18	1.13E-18	5.46E-19	2.13E-19	5.76E-20

自発核分裂

[損傷速度:dpa/sec]

					ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
中性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$^{1500}_{\sim 2000}$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$	
	1MeV以下	2.03E-17	1.33E-17	5.60E-18	3.86E-18	1.85E-18	3.32E-19	1.01E-19	9.35E-20	8.71E-20	5.31E-20	2.46E-20
	1MeV以上	1.89E-17	1.24E-17	5.22E-18	3.59E-18	1.73E-18	3.09E-19	9.36E-20	8.71E-20	8.10E-20	4.94E-20	2.29E-20
	Total	3.93E-17	2.57E-17	1.08E-17	7.45E-18	3.58E-18	6.41E-19	1.94E-19	1.81E-19	1.68E-19	1.03E-19	4.75E-20

中性子合計 =	(α,	n)反応 +	自発核分析	裂 【各経	過期間で	の累積】		
				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間	[年]
								_

[損傷速度:dpa/sec]

中性于	$0 \sim 1$	$1\!\sim\!30$	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50 \sim \! 100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \sim 10000$
1MeV以下	3.13E-17	2.12E-17	1.03E-17	7.87E-18	4.95E-18	2.18E-18	9.80E-19	5.01E-19	2.83E-19	1.30E-19	4.54E-20
1MeV以上	3.86E-17	2.66E-17	1.37E-17	1.08E-17	7.28E-18	3.61E-18	1.67E-18	8.14E-19	4.31E-19	1.86E-19	5.97E-20
Total	6.99E-17	4.78E-17	2.41E-17	1.87E-17	1.22E-17	5.79E-18	2.65E-18	1.32E-18	7.14E-19	3.16E-19	1.05E-19

中性子合計 =	(α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【ガラ	ス固化体	生成後0か	らの累積]	[損傷速度:	dpa/sec]
中性子				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0 \sim 1000$	$0 \sim \! 1500$	$0 \sim 2000$	$0 \sim 5000$	$0\!\sim\!10000$
1MeV以下	3.13E-17	2.15E-17	1.92E-17	4.14E-17	1.79E-17	4.32E-18	2.71E-18	2.69E-18	2.83E-18	9.19E-19	4.31E-19
1MeV以上	3.86E-17	2.70E-17	2.43E-17	5.27E-17	2.36E-17	6.36E-18	4.11E-18	4.10E-18	4.32E-18	1.39E-18	6.47E-19
Total	6.99E-17	4.85E-17	4.35E-17	9.41E-17	4.16E-17	1.07E-17	6.81E-18	6.79E-18	7.15E-18	2.31E-18	1.08E-18

(a, n)反	応								[損傷速度:	dpa/sec]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	3.62E-22	2.60E-22	1.55E-22	1.31E-22	1.01E-22	5.98E-23	2.84E-23	1.32E-23	6.35E-24	2.48E-24	6.67E-25
1MeV以上	2.49E-21	1.81E-21	1.09E-21	9.20E-22	6.99E-22	4.06E-22	1.92E-22	8.87E-23	4.27E-23	1.69E-23	4.61E-24
Total	2.85E-21	2.07E-21	1.25E-21	1.05E-21	8.00E-22	4.66E-22	2.21E-22	1.02E-22	4.90E-23	1.94E-23	5.28E-24

自発核分裂									[損傷速度:	dpa/sec]
				ガラ	ラス固化体	生成後の約	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	4.69E-22	3.06E-22	1.29E-22	8.89E-23	4.27E-23	7.65E-24	2.32E-24	2.16E-24	2.01E-24	1.22E-24	5.67E-25
1MeV以上	4.77E-21	3.11E-21	1.31E-21	9.04E-22	4.34E-22	7.78E-23	2.36E-23	2.19E-23	2.04E-23	1.24E-23	5.76E-24
Total	5.23E-21	3.42E-21	1.44E-21	9.93E-22	4.77E-22	8.54E-23	2.59E-23	2.41E-23	2.24E-23	1.37E-23	6.33E-24

Fission Product

[損傷速度 : dpa/sec]

ガンフ娘			ガラス固化体生成後の経過期間し年」											
	ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 10$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	500~1000	1000	1500	2000	5000		
	0 - 1	1 - 30	30 - 40	40 - 30	30 - 100	100 - 500	500 - 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000			
	1MeV以下	1.57E-15	8.83E-16	3.52E-16	2.77E-16	1.61E-16	3.91E-17	9.66E-19	5.47E-19	3.56E-19	2.27E-19	1.32E-19		
	1MeV以上	1.54E-14	8.66E-15	3.45E-15	2.72E-15	1.58E-15	3.83E-16	9.47E-18	5.36E-18	3.50E-18	2.23E-18	1.29E-18		
	Total	1.70E-14	9.54E-15	3.80E-15	3.00E-15	1.74E-15	4.22E-16	1.04E-17	5.91E-18	3.85E-18	2.46E-18	1.43E-18		

ガンマ線合計 = (α	, n)反応 +	- 自発核分裂 + Fission Prod	act 【各経過期間での累積】	[損傷速度:dpa/se	ec]
-------------	----------	------------------------	-----------------	--------------	-----

	r v . data				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
	ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
L		0 1	1 50	00 Ŧ0	40 00	00 100	100 000	000 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
l	1MeV以下	1.57E-15	8.83E-16	3.52E-16	2.77E-16	1.61E-16	3.91E-17	9.66E-19	5.47E-19	3.56E-19	2.27E-19	1.32E-19
I	1MeV以上	1.54E-14	8.66E-15	3.45E-15	2.72E-15	1.58E-15	3.83E-16	9.47E-18	5.37E-18	3.50E-18	2.23E-18	1.29E-18
l	Total	1.70E-14	9.54E-15	3.80E-15	3.00E-15	1.74E-15	4.22E-16	1.04E-17	5.91E-18	3.85E-18	2.46E-18	1.43E-18

ガンマ線合計= (α, n))反応+自発核分裂+Fission Product	【ガラス固化体生成後0からの累積】	[損傷速度:dpa/sec]
ガンマ線	ガラス固化体	本生成後の経過期間「年]	

I	カンマ緑				カラ	フス固化体	生成後の前	全心期间 し	年」			
	合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0\!\sim\!2000$	$0\!\sim\!5000$	$0\!\sim\!10000$
I	1MeV以下	1.57E-15	9.06E-16	7.87E-16	1.67E-15	6.92E-16	1.27E-16	6.40E-17	5.79E-17	5.81E-17	1.68E-17	7.43E-18
I	1MeV以上	1.54E-14	8.88E-15	7.72E-15	1.64E-14	6.78E-15	1.25E-15	6.28E-16	5.68E-16	5.70E-16	1.65E-16	7.28E-17
I	Total	1.70E-14	9.79E-15	8.50E-15	1.81E-14	7.48E-15	1.37E-15	6.92E-16	6.26E-16	6.28E-16	1.81E-16	8.03E-17

表 7.3.2-2 (2/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における損傷速度[JENDL-4.0]

OP内側表面から Ocm

0111100371011	.) 00m										
(a, n)反	応								[損傷速度:	dpa/sec]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間〔	年]			
中性子	$0 \sim 1$	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	9.76E-18	7.03E-18	4.20E-18	3.55E-18	2.74E-18	1.63E-18	7.77E-19	3.60E-19	1.74E-19	6.80E-20	1.84E-20
1MeV以上	1.88E-17	1.35E-17	8.10E-18	6.84E-18	5.27E-18	3.13E-18	1.49E-18	6.88E-19	3.31E-19	1.29E-19	3.50E-20
Total	2.85E-17	2.06E-17	1.23E-17	1.04E-17	8.01E-18	4.76E-18	2.27E-18	1.05E-18	5.04E-19	1.97E-19	5.33E-20

自発核分裂

[損傷速度:dpa/sec]

				ガ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
甲性子	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40\!\sim\!50$	$50\!\sim\!100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$	$^{1000}_{\sim 1500}$	$^{1500}_{\sim 2000}$	2000 ~5000	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	1.83E-17	1.20E-17	5.04E-18	3.47E-18	1.67E-18	2.99E-19	9.06E-20	8.42E-20	7.84E-20	4.78E-20	2.21E-20
1MeV以上	1.83E-17	1.20E-17	5.04E-18	3.47E-18	1.67E-18	2.99E-19	9.06E-20	8.42E-20	7.84E-20	4.78E-20	2.21E-20
Total	3.66E-17	2.39E-17	1.01E-17	6.94E-18	3.34E-18	5.98E-19	1.81E-19	1.68E-19	1.57E-19	9.56E-20	4.43E-20

中性子合計	=	(α,	n)	反応 +	ŀ	自発核分裂	【各経過期間での累積】
							ガラス固化体生成後の

[損傷速度:dpa/sec]

I					カー	フス固化体	生成後の絶	査 週期間 [牛」			
I	中性子	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 10$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	500~1000	1000	1500	2000	5000
l		0 - 1	1 - 50	30 - 40	40 - 50	50 - 100	100 - 300	500 - 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
l	1MeV以下	2.81E-17	1.90E-17	9.25E-18	7.02E-18	4.41E-18	1.93E-18	8.67E-19	4.44E-19	2.52E-19	1.16E-19	4.05E-20
I	1MeV以上	3.71E-17	2.55E-17	1.31E-17	1.03E-17	6.94E-18	3.43E-18	1.58E-18	7.73E-19	4.09E-19	1.77E-19	5.71E-20
ĺ	Total	6.51E-17	4.45E-17	2.24E-17	1.73E-17	1.13E-17	5.36E-18	2.45E-18	1.22E-18	6.61E-19	2.93E-19	9.76E-20

中性子合計 =	(α, n)反応 +	自発核分裂	裂 【ガラ	ス固化体	生成後0か	らの累積]	[損傷速度:	dpa/sec]
中性子				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
合計	$0 \sim 1 \qquad 0 \sim 30 \qquad 0 \sim 40 \qquad 0 \sim 50 \qquad 0 \sim 100 \qquad 0 \sim 500 \qquad 0 \sim 1000 \qquad 0 \sim 1500 \qquad 0 \sim 2000 \qquad 0 \sim 5000 \qquad 0 \sim 1000 $										
1MeV以下	2.81E-17	1.93E-17	1.72E-17	3.71E-17	1.60E-17	3.85E-18	2.41E-18	2.39E-18	2.52E-18	8.18E-19	3.83E-19
1MeV以上	3.71E-17	2.59E-17	2.33E-17	5.06E-17	2.26E-17	6.06E-18	3.91E-18	3.90E-18	4.11E-18	1.33E-18	6.16E-19
Total	6.51E-17	4.52E-17	4.05E-17	8.76E-17	3.87E-17	9.92E-18	6.32E-18	6.29E-18	6.63E-18	2.14E-18	9.99E-19

(a, n)反)	芯								[損傷速度:	dpa/sec]
				ガラ	ラス固化体	生成後の経	&過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$									$5000 \\ \sim 10000$	
1MeV以下	3.75E-22	2.70E-22	1.62E-22	1.36E-22	1.04E-22	6.20E-23	2.96E-23	1.37E-23	6.60E-24	2.57E-24	6.98E-25
1MeV以上	2.61E-21	1.88E-21	1.13E-21	9.69E-22	7.46E-22	4.41E-22	2.11E-22	9.70E-23	4.62E-23	1.81E-23	4.79E-24
Total	2.98E-21	2.15E-21	1.29E-21	1.11E-21	8.51E-22	5.03E-22	2.40E-22	1.11E-22	5.28E-23	2.06E-23	5.49E-24

自発核分裂									[損傷速度:	dpa/sec]
				ガラ	ラス固化体	生成後の約	圣過期間 [年]			
2次ガンマ緑	$0 \sim 1$	1~30	$30\!\sim\!40$	$40 \sim 50$	$50\!\sim\!100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$
1MeV以下	4.90E-22	3.20E-22	1.35E-22	9.29E-23	4.47E-23	8.00E-24	2.42E-24	2.25E-24	2.10E-24	1.28E-24	5.92E-25
1MeV以上	4.54E-21	2.97E-21	1.25E-21	8.61E-22	4.14E-22	7.41E-23	2.25E-23	2.09E-23	1.94E-23	1.19E-23	5.49E-24
Total	5.03E-21	3.29E-21	1.39E-21	9.54E-22	4.59E-22	8.21E-23	2.49E-23	2.31E-23	2.15E-23	1.31E-23	6.08E-24

Fission Product

[損傷速度:dpa/sec]

12. <i>la</i> h				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 10$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	500~1000	1000	1500	2000	5000
	0 - 1	1 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 100	100 - 500	500 - 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	1.57E-15	8.83E-16	3.52E-16	2.77E-16	1.61E-16	3.91E-17	9.66E-19	5.47E-19	3.56E-19	2.27E-19	1.32E-19
1MeV以上	1.54E-14	8.66E-15	3.45E-15	2.72E-15	1.58E-15	3.83E-16	9.47E-18	5.36E-18	3.50E-18	2.23E-18	1.29E-18
Total	1.70E-14	9.54E-15	3.80E-15	3.00E-15	1.74E-15	4.22E-16	1.04E-17	5.91E-18	3.85E-18	2.46E-18	1.43E-18

ガンマ線合計 = (α, n) 反応 + 自発核分裂 + Fission Produ	ct 【各経過期間での累積】	[損傷速度:dpa/sec]
--	----------------	----------------

r v . data				ガラ	ラス固化体	生成後の経	圣過期間 [年]			
ガンマ緑	$0 \sim 1$	$1 \sim 30$	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 500$	$500 \sim 1000$	1000	1500	2000	5000
	0 1	1 50	00 Ŧ0	40 00	00 100	100 000	000 1000	~ 1500	~ 2000	~ 5000	~ 10000
1MeV以下	1.57E-15	8.83E-16	3.52E-16	2.77E-16	1.61E-16	3.91E-17	9.66E-19	5.47E-19	3.56E-19	2.27E-19	1.32E-19
1MeV以上	1.54E-14	8.66E-15	3.45E-15	2.72E-15	1.58E-15	3.83E-16	9.47E-18	5.37E-18	3.50E-18	2.23E-18	1.29E-18
Total	1.70E-14	9.54E-15	3.80E-15	3.00E-15	1.74E-15	4.22E-16	1.04E-17	5.91E-18	3.85E-18	2.46E-18	1.43E-18

ガンマ線合計= (α, n))反応+自発核分裂+Fission Product	【ガラス固化体生成後0からの累積】	[損傷速度:dpa/sec]
ガンマ線	ガラス固化体	本生成後の経過期間「年]	

I	カンマ緑		カフス固化体生成後の経過期間「牛」												
	合計	$0 \sim 1$	$0 \sim 30$	$0 \sim 40$	$0 \sim 50$	$0 \sim 100$	$0 \sim 500$	$0\!\sim\!1000$	$0\!\sim\!1500$	$0 \sim 2000$	$0\!\sim\!5000$	$0\!\sim\!10000$			
I	1MeV以下	1.57E-15	9.06E-16	7.87E-16	1.67E-15	6.92E-16	1.27E-16	6.40E-17	5.79E-17	5.81E-17	1.68E-17	7.43E-18			
l	1MeV以上	1.54E-14	8.88E-15	7.72E-15	1.64E-14	6.78E-15	1.25E-15	6.28E-16	5.68E-16	5.70E-16	1.65E-16	7.28E-17			
I	Total	1.70E-14	9.79E-15	8.50E-15	1.81E-14	7.48E-15	1.37E-15	6.92E-16	6.26E-16	6.28E-16	1.81E-16	8.03E-17			

表 7.3.2-2 (3/3) PHITS によるオーバーパック内側表面における 損傷速度[event generator mode]

OP内側表面から Ocm

(α, n) 反応

(α, n) 反応 [損傷速度												: dpa/sec]
中世 7					ガラス	固化体生成	後の経過期間	『[年]				
中注于	$0 \sim 1$	1~30	$30 \sim 40$	$40 \!\sim\! 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$	$1000 \\ \sim 1500$	$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	$1\!\sim\!10000$
Total	3.30E-17	2.38E-17	1.42E-17	1.21E-17	9.40E-18	5.63E-18	2.68E-18	1.24E-18	5.94E-19	2.30E-19	6.15E-20	1.39E-18

自発核分裂

ſ

[損傷速度 : dpa/sec]

山松乙		ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
中压于	0~1	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \!\sim\! 500$	$500 \sim 1000$		$1500 \\ \sim 2000$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	1~10000	
Total	3.78E-17	2.47E-17	1.04E-17	7.16E-18	3.44E-18	6.16E-19	1.87E-19	1.74E-19	1.62E-19	1.29E-19	7.57E-20	4.75E-19	

合計 = (a, n) 反応 + 自発核分裂

[損傷速度 : dpa/sec]

中性子		ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
合計	$0 \sim 1$	1~30	$30 \sim 40$	$40 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100\!\sim\!500$	$500 \sim 1000$		$^{1500}_{\sim 2000}$	$2000 \\ \sim 5000$	$5000 \\ \sim 10000$	$1\!\sim\!10000$		
Total	7.08E-17	4.85E-17	2.46E-17	1.92E-17	1.28E-17	6.25E-18	2.86E-18	1.41E-18	7.55E-19	3.59E-19	1.37E-19	1.87E-18		

7.4 照射脆化予測に関する検討

7.4.1 ミクロ組織変化の推定に関する検討

本項では、最初に軽水炉圧力容器鋼のこれまでの照射脆化に関する研究から得られた知 見を整理する。そして、軽水炉圧力容器鋼の照射脆化予測式の構成を調査し、オーバーパ ックの長時間、低線量率、低温という照射条件下への適用の可能性について検討する。そ れらの結果から、オーバーパックの照射条件に適用できる照射脆化予測式の構築方法につ いて検討する。また、文献調査および既存の脆化予測モデルを用いた予備計算から、来年 度以降に必要となる材料照射試験の条件について検討する。

(1) モデル計算手法に関する検討

1) 検討方針

高レベル放射性廃棄物の処分容器であるオーバーパックは、現状では 1000 年間、 100℃未満の環境において 3.5×10³ n/cm²/s 程度の中性子線の照射を受ける[14]。この ような長時間、低温、低線量率という照射条件下での炭素鋼の照射損傷については、 スウェーデンにおけるキャニスターの脆化評価の例がある。

スウェーデンでは、鉄および銅原子に対して、10万年間のはじき出し損傷量[dpa] を数値計算によって求めている[15]。はじき出しを生じさせる放射線としては、中性 子線およびガンマ線が考慮されている。線量を評価する位置を図 7.4.1-1のD点およ びI点に示す。はじき出し損傷量の計算結果を表 7.4.1-1に示す。どの条件でも損傷 量は 10⁻⁶ dpa 以下である。照射実験[16]-[18]において 10⁻⁶ dpa 以下では照射による機 械特性の変化は生じていないことから、キャニスターの照射脆化については設計にお いて考慮する必要はないと報告されている。しかしながら、照射実験[16]-[18]は RTNS-II (Rotating Target Neutron Source-II)を用いた照射実験であり、材料に与え られる線量率は 2×10¹⁵ n/m²/s とオーバーパック照射条件に比べてかなり大きい。さ らに、照射される中性子のエネルギーは 14 MeV であり、オーバーパックの照射条件 に比べて高い。このような照射条件の違いによって、実際の照射条件下で 10⁻⁶ dpa ま で照射した場合では材料のミクロ構造変化、機械的特性の変化が異なる可能性がある。

照射脆化予測の研究は、これまで主に原子炉圧力容器鋼を対象とした研究が実施されている[19]-[21]。軽水炉の脆化予測では、照射脆化の予測を数値シミュレーション と照射実験の双方を組み合わせて実施している。その具体例として、圧力容器鋼の照 射脆化予測式が挙げられる。近年、日本で使われているJEAC4201-2007では、最初 に照射損傷の機構論をもとに照射脆化予測式を構築し、その後、圧力容器鋼監視試験 片などの実験結果をもとに定量評価を行っている。しかし、BWRの原子炉圧力容器 の照射条件は、照射時間約 40 年、温度約 280℃であり、オーバーパックの照射条件 と大きな差がある。そのため、照射条件および鋼種の違いを考慮し、オーバーパック の照射脆化を予測できるように改善する方法について検討する。本項では、軽水炉圧 力容器鋼の脆化研究について文献調査を行い、得られた知見をもとにしてオーバーパ ックの照射脆化の検討を行うこととする。

BWR の燃料集合体 鉄 銅 (燃焼度 38 - 40 MWd) 位置 D 位置 I 位置 I 位置 A 初期損傷速度 [10⁻¹⁰ dpa/year] 中性子線 1.274.392.452.44ガンマ線 32.29 1.771.070.08 10⁵年後の損傷量 [10⁻⁷ dpa) 中性子線 5.793.233.221.68ガンマ線 0.070.04 0.003 1.50

表 7.4.1-1 スウェーデンにおけるキャニスターの照射線量評価[15]



BWR type

図 7.4.1-1 スウェーデンにおけるキャニスターの照射脆化の評価位置[15]

2) 照射損傷のマルチスケール性と計算手法の検討

核反応によって生じた中性子およびガンマ線などの照射によって材料内の原子は 格子位置からはじき出され、材料中に欠陥(格子間原子および空孔)が生成する。こ のはじき出し過程は、空間スケールで数nm、時間スケールで数psという、非常にミ クロな現象になる。その後、これらの複数の欠陥が拡散により集合し、集合体(ボイ ドおよび転位ループ)を形成する。この過程が欠陥拡散過程であり、数 µm、数 mm および数 m 秒、数日という大きいスケールに広がる。これらの照射損傷過程を図 7.4.1-2 に示す。こうした材料内のミクロ構造変化がもとになって、体積膨張(ボイド スエリング)、延性-脆性遷移温度の上昇や上部棚エネルギの低下で表される脆化、 照射誘起応力腐食割れなどが発生する。照射脆化は照射により形成された欠陥集合体 が転位の運動を阻害することにより生じる。このように、材料照射損傷プロセスは、 原子レベルのミクロな現象から、材料の機械的特性の変化といったマクロな現象まで、 時間的にも空間的にもマルチスケールな現象を内包している。

照射脆化量の予測は、軽水炉圧力容器鋼の照射脆化予測式のようにシミュレーショ ンを利用して評価される。照射損傷プロセスを詳細にシミュレーションするには、マ ルチスケールモデリングが有効であることが報告されている[22]。数 nm、数 ps のス ケールで生じるはじき出し過程には、Ab-initio(第一原理計算)、MD(分子動力学 法)を用いることで詳細なシミュレーションが可能になる。照射欠陥の拡散プロセス には KMC(キネティックモンテカルロ法)、反応速度論などのシミュレーション手 法が有効とされている。照射脆化などにより材料の機械特性が変化した場合は、FEM (有限要素法)によってシステム全体の挙動をシミュレーションすることができる。 マルチスケールモデリングとは、それぞれの手法で使われるパラメータを受け渡し

(parameter passing)、スケール全体を連結させ、現象の全体像を明らかにする手 法である。照射脆化を精度よく予測するには、こうしたマルチスケールプロセスを組 み合わせてシミュレーションすることが重要である。



図 7.4.1-2 材料照射損傷のメカニズム概要図

3) 照射脆化予測モデルに取り入れる項目の検討

材料の照射脆化は、照射により形成された析出物および転位ループなどの欠陥集合 体が転位の運動を阻害することが大きな原因である。本項目では、まず転位の運動を 阻害する因子である脆化種を示す。そして、脆化種形成の照射条件依存性を評価する。

a.脆化種について

オーバーパックの候補材料は炭素鋼(SFVC1, SF340 など)である。JIS G 3202 に規定される SFVC1 の組成を表 7.4.1-2 に示す[23]。現状ではオーバーパックの候 補材料の一つである炭素鋼の照射脆化についての研究は少なく、照射損傷の現象が 十分に理解されているとはいえない。そのため、鋼種は異なるが、実績のある軽水 炉の照射脆化研究を参考にして炭素鋼の照射脆化量を予測する方法について検討す る。軽水炉の圧力容器鋼は ASTM A533 に示される低合金鋼 A533B (Fe-2.5%Cr 鋼) が主に使用されている。また、ASTM A533 に準拠して JIS 規格では JIS G 3120 が 規定された[24]。JIS G 3120 に規定されている SQV の組成の質量分率を表 7.4.1-3 に示す。また、SQV の種類によってニッケルの含有量は 0 から 1.0wt%の間で定め られている。

表 7.4.1-2 JIS G 3202 に示される SFVC1 の化学成分組成[23]

С	Si	Mn
0.30wt%以下	0.35wt%以下	0.40 m wt% - 1.35 m wt%
Р	S	
0.030wt%以下	0.030wt%以下	

表 7.4.1-3 JIS G 3120 に示される SQV の化学成分組成[24]

С	Si	Mn	Р
0.25wt%以下	0.15 wt% - 0.4 wt%	$1.15 \mathrm{~wt\%} - 1.5 \mathrm{wt\%}$	0.002wt%以下
S	Mo	Cu	Cr
0.002wt%以下	0.45wt% $- 0.60$ wt%	0.40wt%以下	0.30wt%以下
Nb	V	Ti	В
0.02wt%以下	0.03wt%以下	0.03wt%以下	0.001wt%以下

軽水炉の圧力容器鋼は中性子の照射を受けて、硬化、脆化する。中性子照射脆化の主なメカニズムとして、格子欠陥の形成および溶質原子の析出という2つがG.R.

Odette らにより報告されている[19]。さらに、高照射領域で顕在化する可能性があ る脆化因子としては、リンの偏析による粒界脆化が挙げられている[25][26]。以下に 原子炉圧力容器で生じる脆化種を示す。

圧力容器鋼の脆化種

- ① 格子欠陥(転位ループ、ボイド)による転位運動の阻害
- 溶質原子(Cu, Mn, Ni, P など)の析出クラスターによる転位運動の阻害
- ③ 鋼中に溶質したリン等による粒界脆化

これらの脆化種について以下に詳細を説明する。

① 格子欠陥集合体(転位ループ、ボイド)による転位運動の阻害[18],[19]

中性子照射によって材料内に形成される格子欠陥が転位の運動を阻害し、材料の 脆化を引き起こす。転位ループは、脆化予測式に考慮されている脆化種の一つであ る。一方でボイドは、空孔と格子間原子の拡散係数の違いから、照射後にある程度 の時間が経過することにより形成される。軽水炉ではボイドが多く形成される照射 量まで達していないことから、議論されることは少ない。

欠陥集合体の形成は、核生成理論を用いて表現されている。核生成理論とは、過 飽和水蒸気から水滴が生成する現象および過冷却水が氷となる現象の詳細を扱う理 論である。そこでは、系の自由エネルギーを液滴サイズの関数として記述し、ある サイズ(臨界サイズ)まで成長すると核生成したと考え、臨界サイズ以上の液滴は 安定に成長するという理論である。Watanabeらは欠陥のエネルギー論を詳細に取り 入れた反応速度論計算を行った[27]。Watanabeらによると、転位ループの臨界サイ ズは2であり、照射温度には依存しない(図 7.4.1-3)。一方で、ボイドの臨界サイ ズは、照射温度の増加とともに増大する傾向がある。これは、ボイドから空孔が流 出する速度(空孔流出フラックス)が、高温になるほど増加することを意味してい る。そのため、温度が高くなるとボイドの核生成は抑制されることがわかる。この ように核生成理論からも照射条件によって、欠陥集合体の形成が異なると考えられ る。



図 7.4.1-3 ボイドおよび転位ループの臨界サイズ

- ② 溶質原子(Cu, Mn, Ni, Pなど)の析出クラスターによる転位運動の阻害 銅、マンガン、ニッケル、リンなどの溶質原子が析出したクラスターが転位の運 動を阻害することで脆化に寄与する。Odette らの研究[19]では、析出物は銅が中心 となる銅濃縮クラスターとされ、銅含有率の少ない鋼材では析出物は形成されない とされてきた。しかし、最近の研究[28][29]では、銅含有量が少ない場合でも、ニッ ケル、マンガン、シリコンが主成分である析出物が形成されることが明らかになっ た。
- ③ 溶質したリン等による粒界脆化[25],[26]

長期間照射された場合、中性子照射および熱によって材料中の不純物原子である リン等が結晶粒界に偏析する。偏析したリン等により粒界強度が弱められて、粒界 破壊が生じることにより脆化する。英国の天然ウラン・炭酸ガス冷却型原子炉に長 期間装荷されていた圧力容器鋼(C-Mn 鋼)溶接金属の監視試験片において、研究炉 を用いた追加の照射実験でリンの粒界偏析による粒界脆化が確認されている。これ を受けて、日本でも高照射量域の照射脆化予測研究では粒界脆化を考慮することが 多い。しかし、実際に日本の圧力容器鋼監視試験片においてリンの粒界偏析による 粒界脆化はまだ確認されていない[30]。そのため、日本の圧力容器照射脆化予測式に は、リン等による粒界偏析は取り入れられていない。

以上の脆化種は軽水炉の照射条件において圧力容器鋼中に確認されたものである。 オーバーパックでは材料組成が異なるうえに、照射条件も大きく異なる。したがっ て、ここで紹介されていない脆化種が顕在化する可能性は十分に考えられる。 b.脆化種形成の照射温度依存性

転位ループによる脆化の照射温度依存性を図 7.4.1-4 に示す。Jones と Williams は 100℃から 350℃の幅広い温度で照射された実験結果に基づき、転位ループの形成 による脆化量(降伏応力の増分Δσm)は照射量*φt*の平方根に比例する結果を得た。

 $\Delta \sigma = A'_T \sqrt{\phi t}$

比例係数A'rは以下の式で表させる。

 $A'_{T} = A'_{190^{\circ}C} F_{T}$

ここで $A'_{190℃}$ は照射温度 190℃における脆化量、 F_T は温度 T [℃]の一次関数として $F_T = 1.869 - 4.58 \times 10^{-3}T$ により記述できることを提案した(図 7.4.1-4) [31]。こ の結果を利用して、曽根田らは転位ループの核生成率が損傷速度に比例するとして、 その比例係数の温度依存性に F_T を使用している[28]。

ボイド数密度に対する損傷速度と温度依存性を図 7.4.1-5 示す[32]。ボイド数密度 は温度に対してピークを持つことがわかる。この原因としては、低温では欠陥の動 きが遅いことから、十分にボイドが生成・成長していないため、数密度が低下した ことが考えられる。高温ではボイドの臨界サイズが増加することから、核生成を形 成しにくくなっているため、数密度が低下する。図 7.4.1-6 にボイド平均直径に対す る損傷速度と温度依存性について示す。温度増加に対してボイド平均直径は大きく なり、損傷速度の増加とともにその立ち上がりは高温側にシフトする。図 7.4.1-5 に 示したボイドの数密度および図 7.4.1-6 に示したボイド平均直径の結果から、高温で はサイズの大きなボイドが点々と存在している状態であり、低温ではサイズの小さ いボイドが数多く分布していることを示している。

さらに、脆化種の一つである溶質原子析出物に関しても、照射温度依存性がある と考えられる。



図 7.4.1-4 転位ループの形成による脆化量の照射温度依存性[31]



図 7.4.1-5 照射量 1dpa における損傷速度(dpa/s)および照射温度 に対するボイド数密度[32]



図 7.4.1-6 照射量 1dpa における損傷速度(dpa/s)および照射温度 に対するボイド平均直径[32]

c.脆化種形成の損傷速度依存性

中性子束の大きさは格子欠陥の形成に影響を与える。損傷速度とは材料中の照射 欠陥の導入速度を意味する。原子炉の炉心付近では、損傷速度と中性子束には比例 関係があることが報告されている[32]。福谷らによると、転位ループの数密度は損傷 速度が速いほど増加する傾向があることが実験により確認されている[33]。また、 Muroga らは、照射温度 723K において転位ループの数密度が損傷速度の 1/2 乗に比 例することを示した(図 7.4.1-7)[34]。

ボイド数密度は照射温度に対してピークを持ち、損傷速度が高いほどピークは高 温側に移動する(図 7.4.1-2)。損傷速度の増加により、ボイドへの空孔流入フラッ クスが増加する。この時、空孔の流入と流出のバランスを保つには、温度を上昇さ せて、空孔流出フラックスも増加させる必要がある。これらの効果により、ピーク 温度は増加したと考えられる。このことから、加速照射を行うときは、同時に照射 温度も増加させて欠陥の拡散フラックスも同時に加速させることが重要であること がわかる。

脆化に関しては、同一の中性子照射量において軽水炉の圧力容器内部に設置され た監視試験片は材料照射試験炉で加速照射された試験片より脆化が促進されること が Nagai らにより確認された[2](図 7.1.1-1)。これは、材料内に形成される転位 ループなどの格子欠陥と溶質原子の析出物の 2 つの形成状態が、中性子束の違いに よって異なるためである。中性子束が低いほど、同じ中性子照射量に達するまでに 多くの時間を費やすため、溶質原子クラスターの析出量は多くなる。その結果、同 じ照射量でも析出による脆化の影響は増大し、脆化が進行する。

これらの欠陥形成の挙動は、欠陥集合体の核生成を簡易的に検討することでも明 らかになる。照射欠陥の定常濃度(数密度)Cは中性子束 φ と以下の関係がある。

- $C \propto \sqrt{\phi}$... 再結合反応優勢
- $C \propto \phi$ …シンク吸収反応優勢

再結合反応優勢とは中性子束が高い条件、照射温度が高い条件、シンク(転位線や 粒界)が少ない条件において、生成した点欠陥である空孔と格子間原子が再結合し、 消滅する反応がシンクへの吸収消滅反応よりも優勢に生じることである。シンク吸 収反応優勢とは中性子束が低い条件、照射温度が低い条件、シンク(転位線や粒界) が多い条件において、シンクへの吸収消滅反応が優勢に生じることである。

Watanabe らの結果から照射条件によらず転位ループの核生成を di-interstitial モデル(格子間原子が2つ集まると転位ループは安定に成長する)と仮定できる[27]。

この場合、核生成率 $\frac{dC_{Loop}}{dt}$ は格子間原子の濃度の二乗に比例する。

$$\frac{dC_{Loop}}{dt} \propto C_i \times C_i$$

$$C_{Loop} \propto \phi t - \phi^2 t$$

ここでC_iは格子間原子の濃度、C_{Loop}は転位ループの濃度を示す。

銅の拡散機構は空孔拡散機構であるため、銅の拡散には空孔(V)が伴う。よって、 Cu-Vの移動により銅濃縮クラスター(CRP)の形成が生じると考えられる。Cu-Vの 形成は空孔濃度に比例するため、CRPの形成速度を空孔濃度の1乗に比例すると仮 定する。

$$\frac{dC_{CRP}}{dt} \propto C_{Cu-V}C_{Cu} \propto C_{v}C_{Cu} \cdot C_{Cu} \propto C_{v}$$

 $C_{CRP} \propto \phi^{\overline{2}t} - \phi t$ ここで C_v は空孔の濃度、 C_{CRP} は CRP の濃度を示す。以上をまとめると欠陥濃度は以下のようになる。

$$C_{Loop} \propto \phi^{0} \cdot (\phi t) - \phi^{1} \cdot (\phi t)$$
$$C_{CRP} \propto \phi^{-\frac{1}{2}} \cdot (\phi t) - \phi^{0} \cdot (\phi t)$$

これは、照射量**¢***t*に対して欠陥濃度は線形的に増加することを示す。さらに、その 傾きは中性子束によって異なることがわかる。転位ループの場合、中性子束が増加 すると傾きは増加するため、その形成は多くなる。一方で、銅濃縮クラスターにつ いては中性子束の増加とともに傾きは減少することから、銅濃縮クラスターの形成 は少なくなる。

材料のミクロ構造変化と機械特性変化は以下の式で扱う[28]。

$$\Delta T \propto \sqrt{V_f}$$

ここで、 ΔT は延性脆性遷移温度の増加量であり、 V_f は析出物の体積率である。析出物1つの体積が材料中で一定とすると、 V_f は欠陥の濃度 Cに比例することになる。

 $\varDelta T \propto \sqrt{C}$

したがって、転位ループおよび銅濃縮クラスターによる脆化量*AT*は以下である。

$$\Delta T_{Loop} \propto \phi^0 \cdot (\phi t)^{\frac{1}{2}} - \phi^{\frac{1}{2}} \cdot (\phi t)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta T_{CRP} \propto \phi^{-\frac{1}{4}} \cdot (\phi t)^{\frac{1}{2}} - \phi^0 \cdot (\phi t)^{\frac{1}{2}}$$

照射量*φt*の平方根に対して*ΔT*は線形的に増加し、その傾きは中性子束に依存する。 この傾きの中性子束依存性を図 7.4.1-8 に示す。中性子束の増加に伴い、転位ループ による脆化量(延性脆性遷移温度の増加分)は増加し、銅濃縮クラスターの脆化量 は減少する。

これらの傾向は、上述した転位ループの数密度の実験結果[33][34]および Nagai らによる監視試験片の実験結果[2]と一致する。



図 7.4.1-7 転位ループ数密度の損傷速度依存性



図 7.4.1-8 √ 女t 依存性の傾きの中性子束依存性

d.ガンマ線の効果

オーバーパックはガンマ線の照射を強く受ける。Mansur らはガンマ線の照射に着 目して、オークリッジ国際研究所の研究用原子炉 HFIR の圧力容器鋼の照射脆化に ついて議論した。HFIR の圧力容器はガンマ線の照射量が比較的多く、ガンマ線によ る照射脆化の効果が無視できないことを指摘した。図 7.4.1-9 は照射量[dpa]と脆化 量の関係を示している。ここから、ガンマ線による原子のはじき出しを dpa の形で 計算し、中性子によるはじき出し量に加えることで、脆化量に対して整理できるが 示された[35]。したがって、オーバーパックについてもガンマ線をはじき出し損傷に 考慮することが重要と考えられる。



図 7.4.1-9 0.2%耐力と原子のはじき出し量の関係[35]

(2) 既存の脆化予測式の脆化種形成の照射条件依存性

図 7.4.1-10 には JEAC4201-2013 モデルの照射温度、中性子束依存性を示す[36]。 条件は中性子照射量 10¹⁹n/cm²、銅含有量 0.2wt%、ニッケル含有量 1.0wt%である。 ΔDBTT は照射温度が高いほど小さくなり、中性子束に対してピークを持つことがわ かる。図 7.4.1-11 および図 7.4.1-12 にはマトリクス損傷(転位ループ)による脆化 量の照射温度、中性子束依存性を示す。中性子束依存性は高中性子束側で脆化量は増 加し、温度上昇に対して減少する傾向がある。これらの挙動は実験で得られたものお よび図 7.4.1-8 で見られる傾向と一致する。図 7.4.1-13 および図 7.4.1-14 は、溶質 原子析出物による脆化量の照射温度、中性子束依存性を示す。温度依存性は見られず、 中性子束増加に対して脆化量は減少する。中性子束依存性は実験で得られた知見およ び図 7.4.1-8 で見られる傾向と一致する。しかし、適応範囲を超えた高中性子束側で は中性子束増加とともに脆化量は増大することから、従来の傾向を表現できていない。 照射温度依存性については大きく表れない。この原因としては、モデル中の拡散係数 に温度の効果を含んでいないためである。これはモデルの照射温度適応範囲が 270℃ から 290℃と狭い範囲であるため、拡散係数の温度依存性の必要性はないとしたと考 えられる。

図 7.4.1-15 には U.S. NRC 10CFR50.61a モデルの照射温度、中性子束依存性を示 す[37]。条件は中性子照射量 10¹⁹n/cm²、銅含有量 0.2wt%、ニッケル含有量 1.0wt% である。照射温度が高いほど ΔT₃₀ は小さくなり、中性子束増加に対して ΔT₃₀ は減少 し、一定になることがわかる。図 7.4.1-16 および図 7.4.1-17 にはマトリクス損傷(転 位ループ)による脆化量の照射温度、中性子束依存性を示す。中性子束依存性は高中 性子束側で脆化量は減少し、温度上昇に対して減少する傾向がある。本文献調査およ び JEAC4201-2013 では転位ループ数密度は中性子東増加とともに減少することから、 実験で得られている傾向を表現できていない。図 7.4.1-18 および図 7.4.1-19 は、銅 濃縮クラスター (CRP) による脆化量の照射温度、中性子束依存性を示す。中性子束 増加に対して脆化量は減少する。中性子束依存性は実験で得られた知見および図 7.4.1-8 で見られる傾向と一致する。温度依存性は見られない。この原因としては、 JEAC4201-2013 と同様に、モデルの照射温度適応範囲が 289℃から 299℃と狭い範 囲であるため、温度依存性を考慮されていないことが考えられる。



図 7.4.1-10 JEAC4201-2013 を用いた ΔDBTT の中性子束および温度依存性



図 7.4.1-11 JEAC4201-2013を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MDによる Δ DBTT の 中性子束および温度依存性(1)



図 7.4.1-12 JEAC4201-2013を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MDによる Δ DBTT の 中性子束および温度依存性(2)



図 7.4.1-13 JEAC4201-2013を用いた溶質原子クラスターSCによる Δ DBTT の中性子束 および温度依存性(1)



図 7.4.1-14 JEAC4201-2013を用いた溶質原子クラスターSCによる Δ DBTT の中性子束 および温度依存性(2)



図 7.4.1-15 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いた ΔT30 の中性子束および温度依存性



図 7.4.1-16 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MD による Δ T₃₀の中性子束および温度依存性(1)



図 7.4.1-17 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いたマトリクス損傷(転位ループ)MD による Δ T₃₀の中性子束および温度依存性(2)



図 7.4.1-18 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いた銅濃縮クラスター (CRP) による ΔT₃₀の 中性子束および温度依存性 (1)



図 7.4.1-19 U.S. NRC 10CFR50.61a を用いた銅濃縮クラスター (CRP) による ΔT₃₀の 中性子束および温度依存性 (2)

7.4.2 脆化予測モデルの概念構築

JEAC4201-2013 は U.S. NRC 10CFR50.61a に比べて脆化種形成の中性子束依存性の 再現性が良い。また、JEAC4201-2013 は照射脆化のメカニズムを取り入れているため、 照射条件の適応範囲外へ外挿を行う際にモデルを改善しやすい。そのため、オーバーパ ックの照射脆化予測モデルは JEAC4201-2013 を基に構築する。

JEAC4201-2013の適応範囲を拡大する際の問題点として、前項目で得られた知見より、 以下の二つが挙げられる。

①欠陥拡散係数に温度依存性が含まれていないこと

②適応範囲外の照射欠陥の中性子束依存性が表現できないこと

①の解決方法としては、拡散係数を固体物理学で取り扱う一般的なモデルに置き換えることである。それによって、広い温度範囲での欠陥拡散運動を取り扱えるようになると考えられる。

②については、モデルの構成を見直す必要があり、文献[32]にあるモデルを参考にする。 従来は、照射実験結果に基づく経験式により照射欠陥の挙動がモデル化されている。文 献[32]のモデルは、反応速度論をベースとしたものである。モデルでは単欠陥(格子間原 子および空孔)のみが移動するとし、それらの集合化や消滅、熱的解離が反応速度論に より表現されている。点欠陥およびサイズ 500 の集合体(点欠陥を 500 個含む集合体) までを個別に取り扱い、500 以上のサイズの欠陥集合体は平均的な取り扱いをして、反応 速度式を立てている。これらの反応速度式を解くことで、それぞれの欠陥濃度の経時変 化を得ることができる。集合体(転位ループおよびボイド)の熱的解離については分子 動力学法による結合エネルギーの計算結果を用いて表現しており、マルチスケールなモ デルである。このモデルを用いて照射欠陥のふるまいを記述することにより、欠陥挙動 の損傷速度依存性をより適切に表現できると考えられる。

Yoshiie らのモデル[38]を活用することも視野に入れている。このモデルは文献[32]の モデルに Cu などの溶質原子の拡散を取り入れたモデルである。Yoshiie らのモデルの欠 陥濃度の中性子束依存性を示す。これらの挙動は本調査で得られた知見と一致する。 Yoshiie らのモデルの問題点として、臨界サイズ2を超える欠陥集合体の核生成を厳密に 取り入れていないことがある。文献[32]のモデルでは、集合体のサイズ 500 までを個別に 計算している。これらのモデルを組み合わせることでより高度な脆化予測モデルが構築 できると考えられる。

モデリングにおいて重要な事柄は、各脆化種形成の照射条件依存性をモデル化するこ とである。JEAC4201-2013では照射による格子欠陥(転位ループ)と溶質原子クラスタ ーの 2 つの脆化種を取り扱っている。溶質原子クラスターは銅濃縮クラスター以外に Mn-Ni クラスターなどを総称している。溶質原子クラスターとして統合できる理由は Mn-Ni クラスターなどの形成の照射条件依存性が同じであるためである。したがって、 新しい脆化種を考慮する際には、その脆化種の照射条件依存性を把握し、同じ依存性が 見られる脆化種どうしを統一してモデル化することがモデリングの重要な点と考えられ る。



図 7.4.2-1 Yoshiie らのモデルを使った欠陥集合体数密度の損傷速度依存性(1)[38]



図 7.4.2-2 Yoshiie らのモデルを使った欠陥集合体数密度の損傷速度依存性(2)[38]

7.4.3 照射材料の試験条件に関する検討

これまで、原子炉圧力容器鋼の照射脆化を重点的に調査してきた。オーバーパック材料 についても同様に中性子やガンマ線の照射を受けるため、材料の脆化が懸念される。しか しながら、オーバーパックは炭素鋼であり、圧力容器鋼と材料組成が異なる。さらに、照 射条件もオーバーパックと軽水炉では大きく異なる。したがって、圧力容器鋼とオーバー パックでは形成される脆化種が異なる可能性がある。こうした圧力容器鋼とオーバーパッ ク材の類似点と相違点を踏まえつつ、オーバーパック材の照射脆化を検討する必要がある。 ここでは、オーバーパック材を用いた照射実験の条件および分析内容の提案を行う。

(1) 試験条件の決定

これまで得られた知見をもとに、照射量、照射温度、損傷速度および照射時間の検討を行う。

オーバーパックおよび主な照射施設の照射条件を表 7.4.3-1 に示す。オーバーパックの 受ける照射量は 1000 年間で 10¹⁴[n/cm²]と非常に低い。この照射量は原子炉照射では数 分間、イオン加速器では数ミリ秒間の照射時間に相当する。照射を行うにあたり最小の 照射時間は、原子炉照射では数週間から数か月以上、イオン加速器では数秒から数分以 上である。照射時間をこれらに合わせると、オーバーパック材を原子炉もしくはイオン 加速器で照射することは約 100 万年あるいは 1000 万年の照射に相当するため、オーバー パックの照射条件よりも過大に損傷を与えていることになる。しかしながら、原子炉、 イオン加速器によりオーバーパックの健全性が担保されていることを確認できるのであ れば、1000 年後の健全性も担保できると考えられる。一方で、健全性が担保されている ことを確認できないのであれば、モデル計算により、1000 年後のオーバーパックの健全 性の評価を行う必要がある。

原子炉およびイオン加速器を使用する場合では、オーバーパックの条件よりも損傷速 度は大きくなる。7.4.1 (1) 3)で述べたように、欠陥集合体の核生成の観点から、脆化種の 形成は損傷速度に強く依存することがわかっている。損傷速度の増加によって形成しに くくなる脆化種、形成しやすくなる脆化種が存在する。脆化種形成の損傷速度依存性を 把握するために、幅広い損傷速度の条件での試験データが必要である。損傷速度の増加 によって形成しにくくなる脆化種に関しては、同定されない脆化種が存在する可能性が あるため注意が必要である。

照射温度の設定は損傷速度と関連付けて考える必要がある。加速照射する場合は、照 射温度も同時に増加させて、欠陥の拡散も同時に促進させることが重要であることが本 調査で得られた知見の一つである。オーバーパックの照射試験は加速照射条件であり、 オーバーパックの温度である 100℃よりも高温側に数条件設定すると良い。(照射条件の 最高温度についてはさらなる検討が必要である。)

		オーバーパック[14]	原子炉	イオン加速器
損傷速度	[n/cm ² /s]	$3.5\! imes\!10^3$	$10^{10} - 10^{14}$	10^{17} *-
	[dpa/s]	$2.8{ imes}10^{-18}$ *	$10^{-11} - 10^{-7}$	10^{-4} -
10 ¹⁴ [n/cm ²]に 時間	達する照射]	1000 年	1秒-1000秒	1000秒—
			22.5	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

表 7.4.3-1 オーバーパックおよびイオン加速器、原子炉の照射条件

*はP[dpa/s] = 7.9 × $10^{-22}\phi[(n/cm^2)/s]$ により計算[32]

(2) 試験方法および分析項目

照射実験により確認すべき事項は、オーバーパック材料における脆化種の同定とその 形成条件の特定である。

脆化種の同定のため、照射によって形成された脆化種の組成、サイズ、数密度を電子 顕微鏡および 3D アトムプローブ試験などにより測定をする。また、硬さなどの機械特性 も同時に測定し、形成された脆化種が材料の脆化にどの程度寄与するか確認する。さら に、モデリングの際に重要なパラメータとなる欠陥の移動エネルギー及び形成エネルギ ーなども別途実験により得ることが望ましい。 7.5 まとめ

7.5.1 炭素鋼オーバーパックの損傷速度

最新の計算コード(ORIGEN2.2-upj)と核データライブラリ(JENDL3.2 および JENDL4.0)を用いてガラス固化体1本当たりの放射能を算出した。そして、MCNP-5 お よび PHITS252 を用いてオーバーパックに対する中性子線およびガンマ線の照射線量率と 累積照射量を求めた。その結果から、中性子線およびガンマ線による炭素鋼の損傷速度と 損傷量を求めた。得られた結果を以下に示す。

- ・HLW 第2次取りまとめのモデルガラス固化体に比べて、ORIGEN2.2-upjの計算結果では、Sr-90、Cs-137、Cm-243、Cm-244の放射能が3~6倍程度大きくなった。ただし、ガラス固化後50年時点での発熱量は2%低下した。
- ・オーバーパック内表面における中性子線とガンマ線の照射線量率に対する計算コード (MCNP-5、PHITS252)および核データライブラリ(JENDL3.2、JENDL4.0)の依 存性は小さかった。
- ・中性子およびガンマ線による炭素鋼の損傷速度は、ガンマ線による損傷速度が3桁程度速くなった。また、ガラス固化体生成後1000年で、中性子線による累積損傷量は2×10⁻⁵ dpa であり、ガンマ線による損傷量が2桁程度高くなった。

7.5.2 照射脆化予測に関する検討

7.4 節では、高レベル放射性廃棄物の処分容器であるオーバーパックの照射による脆化量 の予測モデル構築のための検討を実施した。最初に、脆化量予測のために、長年の実績の ある軽水炉圧力容器鋼の照射脆化予測式の構成について調査を行った。その結果、近年の 照射脆化予測式は照射脆化の物理プロセスをもとに構築されていることから、照射脆化予 測式の示す照射条件の適応範囲内であれば、脆化の照射条件依存性をよく表現できている ことがわかった。しかしながら、オーバーパックの照射条件は軽水炉と大きく異なるため、 照射脆化予測式をオーバーパック材の照射脆化予測に適用するにはさらなる改良が必要に なる。改良方法として、脆化種(材料を脆化させる要因であり、照射によって形成される 欠陥集合体(転位ループ、銅濃縮析出物)などを指す)の核生成プロセスをより詳細に取 り入れることが考えられる。また、オーバーパックの候補材料の一つである炭素鋼は、圧 力容器鋼と材料組成が異なる。そのため、圧力容器鋼とオーバーパックでは形成される脆 化種が異なる可能性がある。そして、炭素鋼で形成される脆化種を確認し、各脆化種形成 の照射条件依存性の違いを明らかにすることを視野に入れた照射実験の方法についての提 案も行った。 添付資料

添付表 7-1 (1/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2] 添付表 7-2 (1/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

添付表 7-1 (1/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 0cm

中性子	[flux(n/sec/cm2)]												
Energy	ガラス固化体生成後の経過期間 [年]												
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000	
4.14E-07	2.37E+00	2.08E+00	8.41E-01	8.42E-01	9.54E-01	3.13E-01	1.17E-01	6.39E-02	5.36E-02	2.23E-02	6.37E-03	3.99E-03	
1.12E-06	1.75E+01	1.71E+01	6.56E+00	4.99E+00	4.36E+00	1.92E+00	7.85E-01	3.55E-01	3.08E-01	1.22E-01	4.20E-02	2.49E-02	
3.06E-06	7.25E+01	6.78E+01	2.68E+01	1.94E+01	1.50E+01	6.36E+00	2.52E+00	1.35E+00	1.20E+00	4.63E-01	1.76E-01	1.00E-01	
1.07E-05	2.54E+02	2.43E+02	9.33E+01	6.81E+01	5.32E+01	2.14E+01	9.49E+00	4.81E+00	4.63E+00	1.63E+00	6.19E-01	3.59E-01	
2.90E-05	4.21E+02	4.08E+02	1.56E+02	1.19E+02	8.76E+01	3.73E+01	1.59E+01	7.90E+00	7.85E+00	2.74E+00	1.03E+00	6.18E-01	
1.01E-04	1.21E+03	1.15E+03	4.35E+02	3.28E+02	2.47E+02	1.04E+02	4.43E+01	2.25E+01	2.22E+01	7.69E+00	2.95E+00	1.71E+00	
5.83E-04	5.12E+03	4.86E+03	1.86E+03	1.38E+03	1.06E+03	4.42E+02	1.89E+02	9.44E+01	9.71E+01	3.25E+01	1.24E+01	7.19E+00	
3.35E-03	1.48E+04	1.41E+04	5.39E+03	4.01E+03	3.08E+03	1.31E+03	5.51E+02	2.76E+02	2.77E+02	9.57E+01	3.61E+01	2.08E+01	
1.11E-01	8.54E+04	8.17E+04	3.11E+04	2.33E+04	1.78E+04	7.58E+03	3.21E+03	1.61E+03	1.61E+03	5.52E+02	2.08E+02	1.21E+02	
5.50E-01	6.75E+04	6.45E+04	2.49E+04	1.86E+04	1.44E+04	6.27E+03	2.69E+03	1.34E+03	1.34E+03	4.48E+02	1.64E+02	9.60E+01	
1.11E+00	2.69E+04	2.57E+04	1.01E+04	7.58E+03	5.89E+03	2.69E+03	1.18E+03	5.75E+02	5.76E+02	1.86E+02	6.48E+01	3.86E+01	
1.83E+00	1.55E+04	1.48E+04	5.95E+03	4.54E+03	3.58E+03	1.74E+03	7.78E+02	3.76E+02	3.79E+02	1.15E+02	3.68E+01	2.26E+01	
2.35E+00	7.32E+03	7.00E+03	2.90E+03	2.24E+03	1.80E+03	9.42E+02	4.28E+02	2.04E+02	2.05E+02	5.89E+01	1.71E+01	1.10E+01	
2.46E+00	1.60E+03	1.54E+03	6.50E+02	5.13E+02	4.16E+02	2.26E+02	1.05E+02	4.97E+01	4.97E+01	1.38E+01	3.71E+00	2.46E+00	
3.01E+00	5.21E+03	4.95E+03	2.10E+03	1.65E+03	1.35E+03	7.49E+02	3.46E+02	1.64E+02	1.63E+02	4.45E+01	1.17E+01	7.82E+00	
4.06E+00	3.85E+03	3.67E+03	1.54E+03	1.21E+03	9.77E+02	5.28E+02	2.44E+02	1.16E+02	1.16E+02	3.23E+01	8.79E+00	5.78E+00	
4.96E+00	1.33E+03	1.27E+03	5.16E+02	3.99E+02	3.17E+02	1.62E+02	7.35E+01	3.49E+01	3.46E+01	9.93E+00	2.85E+00	1.77E+00	
6.36E+00	5.05E+02	4.84E+02	1.69E+02	1.21E+02	8.72E+01	2.54E+01	8.70E+00	4.96E+00	4.95E+00	2.46E+00	1.28E+00	6.64E-01	
8.18E+00	1.47E+02	1.42E+02	4.72E+01	3.24E+01	2.24E+01	3.98E+00	7.41E-01	6.88E-01	6.88E-01	5.96E-01	3.88E-01	1.91E-01	
1.00E+01	2.08E+01	2.00E+01	6.66E+00	4.58E+00	3.16E+00	5.62E-01	1.05E-01	9.72E-02	9.72E-02	8.42E-02	5.48E-02	2.70E-02	
1.22E+01	5.52E+00	5.31E+00	1.77E+00	1.22E+00	8.38E-01	1.49E-01	2.78E-02	2.58E-02	2.58E-02	2.23E-02	1.45E-02	7.16E-03	
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
TOTAL	2.37E+05	2.27E+05	8.79E+04	6.62E+04	5.12E+04	2.28E+04	9.88E+03	4.88E+03	4.89E+03	1.60E+03	5.73E+02	3.38E+02	
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]	
Energy		-			ガラス固	化体生成	後の経過期	間 [年]					
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000	
5.00E-02	6.82E+07	5.47E+07	1.25E+07	9.85E+06	7.72E+06	2.42E+06	1.18E+03	9.23E+02	1.43E+03	8.51E+02	6.99E+02	5.25E+02	
1.00E-01	5.76E+09	4.63E+09	1.19E+09	9.36E+08	7.40E+08	2.32E+08	2.65E+05	2.32E+05	3.61E+05	2.13E+05	1.67E+05	1.14E+05	
2.00E-01	6.82E+10	5.51E+10	1.42E+10	1.12E+10	8.87E+09	2.79E+09	1.92E+06	1.59E+06	2.48E+06	1.47E+06	1.18E+06	8.51E+05	
3.00E-01	5.27E+10	4.26E+10	1.08E+10	8.49E+09	6.72E+09	2.11E+09	7.82E+05	5.62E+05	8.91E+05	5.35E+05	4.65E+05	3.83E+05	
4_00E=01	3 89F+10	3 18E+10	8 46E±09	6 69E+09	5 30E+09	1 67E+09	3 97E+05	2 31E+05	3 70E±05	2 25E+05	2 10E+05	1 91E+05	

[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	6.82E+07	5.47E+07	1.25E+07	9.85E+06	7.72E+06	2.42E+06	1.18E+03	9.23E+02	1.43E+03	8.51E+02	6.99E+02	5.25E+02
1.00E-01	5.76E+09	4.63E+09	1.19E+09	9.36E+08	7.40E+08	2.32E+08	2.65E+05	2.32E+05	3.61E+05	2.13E+05	1.67E+05	1.14E+05
2.00E-01	6.82E+10	5.51E+10	1.42E+10	1.12E+10	8.87E+09	2.79E+09	1.92E+06	1.59E+06	2.48E+06	1.47E+06	1.18E+06	8.51E+05
3.00E-01	5.27E+10	4.26E+10	1.08E+10	8.49E+09	6.72E+09	2.11E+09	7.82E+05	5.62E+05	8.91E+05	5.35E+05	4.65E+05	3.83E+05
4.00E-01	3.89E+10	3.18E+10	8.46E+09	6.69E+09	5.30E+09	1.67E+09	3.97E+05	2.31E+05	3.70E+05	2.25E+05	2.10E+05	1.91E+05
6.00E-01	6.04E+10	4.95E+10	1.33E+10	1.05E+10	8.35E+09	2.63E+09	4.47E+05	1.85E+05	2.98E+05	1.83E+05	1.81E+05	1.77E+05
8.00E-01	1.50E+10	1.09E+10	1.64E+08	9.36E+07	5.78E+07	1.16E+07	1.36E+04	1.19E+04	1.86E+04	1.13E+04	1.09E+04	1.07E+04
1.00E+00	4.51E+09	3.32E+09	9.74E+07	5.17E+07	2.98E+07	4.78E+06	4.80E+03	4.05E+03	6.48E+03	3.91E+03	3.83E+03	3.84E+03
1.33E+00	2.08E+09	1.58E+09	9.04E+07	4.62E+07	2.52E+07	3.50E+06	2.60E+03	2.21E+03	3.55E+03	2.20E+03	2.24E+03	2.33E+03
1.66E+00	1.41E+08	8.21E+07	4.55E+06	2.62E+06	1.63E+06	3.31E+05	5.08E+01	2.36E+01	4.04E+01	2.91E+01	7.20E+01	1.85E+02
2.00E+00	1.27E+08	5.97E+07	1.19E+06	6.75E+05	4.24E+05	8.60E+04	5.28E+01	2.50E+01	3.28E+01	1.57E+01	3.55E+01	7.86E+01
2.50E+00	8.82E+07	3.81E+07	1.57E+03	7.78E+02	7.38E+02	4.48E+01	2.39E+01	1.71E+01	2.00E+01	8.91E+00	1.47E+01	3.12E+01
3.00E+00	2.88E+06	1.45E+06	1.01E+02	7.53E+01	5.93E+01	2.78E+01	1.68E+01	8.65E+00	1.10E+01	5.11E+00	2.83E+00	1.83E+00
4.00E+00	4.33E+05	2.19E+05	9.53E+01	6.84E+01	5.27E+01	2.29E+01	1.38E+01	9.80E+00	9.09E+00	4.29E+00	2.19E+00	1.48E+00
5.00E+00	1.54E+02	1.49E+02	5.56E+01	4.18E+01	3.14E+01	1.34E+01	7.79E+00	4.32E+00	5.21E+00	2.59E+00	1.45E+00	7.96E-01
6.50E+00	2.76E+02	2.60E+02	9.58E+01	6.98E+01	5.53E+01	2.33E+01	9.63E+00	5.02E+00	5.16E+00	1.92E+00	7.68E-01	3.84E-01
8.00E+00	2.41E+02	2.28E+02	8.71E+01	6.59E+01	4.94E+01	2.09E+01	8.61E+00	4.42E+00	4.36E+00	1.52E+00	5.88E-01	3.37E-01
1.00E+01	4.84E+01	4.55E+01	1.89E+01	1.39E+01	9.62E+00	4.77E+00	2.32E+00	1.10E+00	1.00E+00	3.43E-01	1.13E-01	7.00E-02
TOTAL	2.48E+11	2.00E+11	4.83E+10	3.81E+10	3.01E+10	9.45E+09	3.84E+06	2.82E+06	4.43E+06	2.65E+06	2.23E+06	1.74E+06

添付表 7-1 (2/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

OP内側表面から 1cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期	月間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	5.78E+00	5.18E+00	1.88E+00	1.67E+00	1.38E+00	2.97E-01	2.32E-01	9.70E-02	1.25E-01	4.52E-02	1.49E-02	7.64E-03
1.12E-06	3.35E+01	3.02E+01	1.15E+01	8.78E+00	6.84E+00	3.26E+00	1.35E+00	5.77E-01	5.00E-01	2.11E-01	7.49E-02	4.72E-02
3.06E-06	1.20E+02	1.15E+02	4.37E+01	3.19E+01	2.52E+01	1.07E+01	4.04E+00	2.13E+00	2.18E+00	7.58E-01	2.95E-01	1.72E-01
1.07E-05	3.99E+02	3.84E+02	1.44E+02	1.06E+02	8.13E+01	3.36E+01	1.49E+01	7.36E+00	7.48E+00	2.64E+00	9.69E-01	5.61E-01
2.90E-05	6.49E+02	6.23E+02	2.38E+02	1.75E+02	1.36E+02	5.94E+01	2.39E+01	1.23E+01	1.23E+01	4.20E+00	1.61E+00	9.28E-01
1.01E-04	1.66E+03	1.57E+03	5.97E+02	4.46E+02	3.41E+02	1.42E+02	5.97E+01	3.06E+01	3.17E+01	1.05E+01	4.03E+00	2.33E+00
5.83E-04	5.70E+03	5.44E+03	2.07E+03	1.54E+03	1.18E+03	4.93E+02	2.13E+02	1.06E+02	1.05E+02	3.66E+01	1.39E+01	8.06E+00
3.35E-03	1.43E+04	1.37E+04	5.20E+03	3.87E+03	2.98E+03	1.25E+03	5.30E+02	2.64E+02	2.65E+02	9.17E+01	3.49E+01	2.01E+01
1.11E-01	7.71E+04	7.36E+04	2.81E+04	2.10E+04	1.61E+04	6.89E+03	2.92E+03	1.46E+03	1.46E+03	4.99E+02	1.88E+02	1.09E+02
5.50E-01	6.39E+04	6.10E+04	2.36E+04	1.77E+04	1.37E+04	6.03E+03	2.60E+03	1.29E+03	1.29E+03	4.27E+02	1.55E+02	9.08E+01
1.11E+00	2.46E+04	2.35E+04	9.24E+03	6.99E+03	5.44E+03	2.52E+03	1.10E+03	5.40E+02	5.40E+02	1.72E+02	5.89E+01	3.54E+01
1.83E+00	1.34E+04	1.28E+04	5.15E+03	3.94E+03	3.13E+03	1.53E+03	6.84E+02	3.31E+02	3.30E+02	1.00E+02	3.17E+01	1.96E+01
2.35E+00	5.88E+03	5.61E+03	2.33E+03	1.82E+03	1.46E+03	7.71E+02	3.49E+02	1.67E+02	1.68E+02	4.75E+01	1.37E+01	8.82E+00
2.46E+00	1.20E+03	1.15E+03	4.85E+02	3.78E+02	3.07E+02	1.66E+02	7.70E+01	3.68E+01	3.67E+01	1.02E+01	2.77E+00	1.83E+00
3.01E+00	3.87E+03	3.67E+03	1.57E+03	1.24E+03	1.00E+03	5.55E+02	2.57E+02	1.22E+02	1.21E+02	3.32E+01	8.72E+00	5.80E+00
4.06E+00	2.78E+03	2.64E+03	1.11E+03	8.69E+02	7.00E+02	3.81E+02	1.75E+02	8.31E+01	8.33E+01	2.31E+01	6.31E+00	4.14E+00
4.96E+00	9.41E+02	8.97E+02	3.61E+02	2.82E+02	2.25E+02	1.14E+02	5.17E+01	2.46E+01	2.47E+01	6.97E+00	2.00E+00	1.26E+00
6.36E+00	3.69E+02	3.53E+02	1.24E+02	8.79E+01	6.37E+01	1.83E+01	6.31E+00	3.59E+00	3.59E+00	1.79E+00	9.29E-01	4.84E-01
8.18E+00	1.04E+02	9.96E+01	3.32E+01	2.28E+01	1.57E+01	2.80E+00	5.21E-01	4.84E-01	4.84E-01	4.19E-01	2.73E-01	1.34E-01
1.00E+01	1.70E+01	1.63E+01	5.43E+00	3.73E+00	2.58E+00	4.58E-01	8.53E-02	7.93E-02	7.93E-02	6.87E-02	4.47E-02	2.20E-02
1.22E+01	5.67E+00	5.45E+00	1.81E+00	1.25E+00	8.60E-01	1.53E-01	2.85E-02	2.65E-02	2.65E-02	2.29E-02	1.49E-02	7.35E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	2.17E+05	2.07E+05	8.04E+04	6.05E+04	4.69E+04	2.10E+04	9.06E+03	4.48E+03	4.48E+03	1.47E+03	5.24E+02	3.09E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy	ガラス固化体生成後の経過期間[年]											
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.41E+07	2.73E+07	5.97E+06	4.72E+06	3.69E+06	1.16E+06	3.83E+02	2.61E+02	4.10E+02	2.46E+02	2.13E+02	1.75E+02
1.00E-01	2.88E+09	2.32E+09	5.78E+08	4.56E+08	3.61E+08	1.13E+08	5.72E+04	4.44E+04	6.95E+04	4.13E+04	3.40E+04	2.56E+04
2.00E-01	3.55E+10	2.87E+10	7.17E+09	5.66E+09	4.48E+09	1.41E+09	6.37E+05	4.83E+05	7.57E+05	4.52E+05	3.76E+05	2.88E+05
3.00E-01	2.91E+10	2.35E+10	5.81E+09	4.58E+09	3.62E+09	1.14E+09	3.40E+05	2.24E+05	3.55E+05	2.15E+05	1.91E+05	1.65E+05
4.00E-01	2.09E+10	1.70E+10	4.37E+09	3.45E+09	2.73E+09	8.59E+08	1.87E+05	1.01E+05	1.62E+05	9.88E+04	9.30E+04	8.63E+04
6.00E-01	2.74E+10	2.23E+10	5.58E+09	4.40E+09	3.49E+09	1.10E+09	1.88E+05	7.88E+04	1.27E+05	7.79E+04	7.68E+04	7.55E+04
8.00E-01	7.16E+09	5.19E+09	8.53E+07	4.78E+07	2.93E+07	5.75E+06	6.61E+03	5.69E+03	9.02E+03	5.43E+03	5.30E+03	5.21E+03
1.00E+00	2.12E+09	1.57E+09	4.95E+07	2.63E+07	1.50E+07	2.36E+06	2.40E+03	1.99E+03	3.12E+03	1.88E+03	1.84E+03	1.85E+03
1.33E+00	1.04E+09	7.83E+08	4.47E+07	2.29E+07	1.25E+07	1.75E+06	1.31E+03	1.09E+03	1.75E+03	1.09E+03	1.10E+03	1.16E+03
1.66E+00	8.18E+07	4.68E+07	2.47E+06	1.42E+06	8.89E+05	1.77E+05	3.58E+01	1.77E+01	2.50E+01	1.59E+01	3.97E+01	9.91E+01
2.00E+00	7.18E+07	3.35E+07	6.25E+05	3.49E+05	2.23E+05	4.58E+04	3.81E+01	2.01E+01	2.31E+01	1.07E+01	2.00E+01	4.27E+01
2.50E+00	4.91E+07	2.11E+07	1.12E+03	7.36E+02	7.00E+02	3.88E+01	2.05E+01	1.23E+01	1.46E+01	6.11E+00	8.80E+00	1.80E+01
3.00E+00	1.67E+06	8.22E+05	9.77E+01	7.45E+01	5.74E+01	2.61E+01	1.45E+01	6.89E+00	8.81E+00	3.53E+00	1.68E+00	1.19E+00
4.00E+00	2.54E+05	1.24E+05	9.19E+01	6.76E+01	5.23E+01	2.04E+01	1.20E+01	8.21E+00	7.95E+00	3.15E+00	1.69E+00	1.06E+00
5.00E+00	1.62E+02	1.50E+02	6.01E+01	4.30E+01	3.20E+01	1.44E+01	7.72E+00	4.23E+00	4.89E+00	2.23E+00	1.29E+00	6.77E-01
6.50E+00	2.71E+02	2.60E+02	1.02E+02	7.56E+01	5.77E+01	2.47E+01	1.07E+01	5.24E+00	5.43E+00	1.90E+00	7.38E-01	3.95E-01
8.00E+00	2.57E+02	2.45E+02	9.54E+01	7.01E+01	5.43E+01	2.26E+01	9.79E+00	4.89E+00	4.79E+00	1.65E+00	6.22E-01	3.65E-01
1.00E+01	4.81E+01	4.78E+01	1.88E+01	1.46E+01	9.33E+00	3.77E+00	1.94E+00	9.85E-01	9.10E-01	3.52E-01	1.21E-01	7.40E-02
TOTAL	1.26E+11	1.01E+11	2.37E+10	1.86E+10	1.47E+10	4.62E+09	1.42E+06	9.41E+05	1.49E+06	8.95E+05	7.85E+05	6.58E+05

添付表 7-1 (3/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 2cm

甲性子											[flux(n/	sec/cm2)]		
Energy		ガラス固化体生成後の経過期間 [年]												
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000		
4.14E-07	8.71E+00	8.23E+00	4.00E+00	3.33E+00	2.87E+00	1.91E+00	9.29E-01	4.26E-01	4.26E-01	1.01E-01	1.76E-02	1.44E-02		
1.12E-06	2.55E+01	2.41E+01	1.17E+01	9.76E+00	8.39E+00	5.60E+00	2.72E+00	1.25E+00	1.25E+00	2.95E-01	5.16E-02	4.22E-02		
3.06E-06	6.91E+01	6.54E+01	3.18E+01	2.65E+01	2.28E+01	1.52E+01	7.37E+00	3.38E+00	3.38E+00	8.00E-01	1.40E-01	1.14E-01		
1.07E-05	3.11E+02	2.94E+02	1.43E+02	1.19E+02	1.02E+02	6.82E+01	3.31E+01	1.52E+01	1.52E+01	3.59E+00	6.28E-01	5.13E-01		
2.90E-05	4.43E+02	4.18E+02	2.03E+02	1.69E+02	1.46E+02	9.72E+01	4.72E+01	2.16E+01	2.16E+01	5.12E+00	8.95E-01	7.32E-01		
1.01E-04	1.22E+03	1.15E+03	5.61E+02	4.67E+02	4.01E+02	2.68E+02	1.30E+02	5.96E+01	5.96E+01	1.41E+01	2.47E+00	2.02E+00		
5.83E-04	4.12E+03	3.90E+03	1.90E+03	1.58E+03	1.36E+03	9.06E+02	4.40E+02	2.02E+02	2.02E+02	4.77E+01	8.34E+00	6.82E+00		
3.35E-03	1.05E+04	9.96E+03	4.85E+03	4.04E+03	3.47E+03	2.32E+03	1.12E+03	5.16E+02	5.16E+02	1.22E+02	2.13E+01	1.74E+01		
1.11E-01	5.49E+04	5.19E+04	2.52E+04	2.10E+04	1.81E+04	1.21E+04	5.85E+03	2.68E+03	2.68E+03	6.35E+02	1.11E+02	9.08E+01		
5.50E-01	4.44E+04	4.20E+04	2.04E+04	1.70E+04	1.46E+04	9.75E+03	4.74E+03	2.17E+03	2.17E+03	5.14E+02	8.98E+01	7.34E+01		
1.11E+00	1.63E+04	1.54E+04	7.47E+03	6.22E+03	5.35E+03	3.57E+03	1.73E+03	7.95E+02	7.95E+02	1.88E+02	3.29E+01	2.69E+01		
1.83E+00	7.47E+03	7.06E+03	3.43E+03	2.86E+03	2.46E+03	1.64E+03	7.97E+02	3.65E+02	3.65E+02	8.64E+01	1.51E+01	1.23E+01		
2.35E+00	3.03E+03	2.86E+03	1.39E+03	1.16E+03	9.96E+02	6.65E+02	3.23E+02	1.48E+02	1.48E+02	3.50E+01	6.12E+00	5.01E+00		
2.46E+00	4.77E+02	4.51E+02	2.19E+02	1.83E+02	1.57E+02	1.05E+02	5.09E+01	2.33E+01	2.33E+01	5.52E+00	9.65E-01	7.89E-01		
3.01E+00	1.72E+03	1.63E+03	7.91E+02	6.59E+02	5.66E+02	3.78E+02	1.84E+02	8.41E+01	8.41E+01	1.99E+01	3.48E+00	2.85E+00		
4.06E+00	1.21E+03	1.14E+03	5.56E+02	4.63E+02	3.98E+02	2.66E+02	1.29E+02	5.92E+01	5.92E+01	1.40E+01	2.45E+00	2.00E+00		
4.96E+00	4.26E+02	4.03E+02	1.96E+02	1.63E+02	1.40E+02	9.36E+01	4.55E+01	2.08E+01	2.08E+01	4.93E+00	8.62E-01	7.05E-01		
6.36E+00	3.47E+02	3.28E+02	1.59E+02	1.33E+02	1.14E+02	7.62E+01	3.70E+01	1.70E+01	1.70E+01	4.01E+00	7.01E-01	5.73E-01		
8.18E+00	1.09E+02	1.03E+02	4.99E+01	4.16E+01	3.57E+01	2.38E+01	1.16E+01	5.31E+00	5.31E+00	1.26E+00	2.20E-01	1.80E-01		
1.00E+01	1.24E+01	1.17E+01	5.71E+00	4.75E+00	4.09E+00	2.73E+00	1.32E+00	6.07E-01	6.07E-01	1.44E-01	2.51E-02	2.05E-02		
1.22E+01	2.85E+00	2.69E+00	1.31E+00	1.09E+00	9.37E-01	6.26E-01	3.04E-01	1.39E-01	1.39E-01	3.29E-02	5.76E-03	4.71E-03		
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
TOTAL	1.47E+05	1.39E+05	6.76E+04	5.63E+04	4.84E+04	3.23E+04	1.57E+04	7.19E+03	7.19E+03	1.70E+03	2.97E+02	2.43E+02		
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]		
Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期	間 [年]			-			
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000		
5.00E-02	1.82E+07	1.45E+07	3.07E+06	2.40E+06	1.91E+06	5.96E+05	1.66E+02	1.01E+02	1.62E+02	9.75E+01	8.82E+01	7.54E+01		
1.00E-01	1.55E+09	1.24E+09	3.00E+08	2.37E+08	1.87E+08	5.87E+07	2.09E+04	1.47E+04	2.32E+04	1.39E+04	1.18E+04	9.59E+03		
2.00E-01	1.92E+10	1.54E+10	3.74E+09	2.95E+09	2.33E+09	7.31E+08	2.56E+05	1.79E+05	2.82E+05	1.69E+05	1.45E+05	1.17E+05		

[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.82E+07	1.45E+07	3.07E+06	2.40E+06	1.91E+06	5.96E+05	1.66E+02	1.01E+02	1.62E+02	9.75E+01	8.82E+01	7.54E+01
1.00E-01	1.55E+09	1.24E+09	3.00E+08	2.37E+08	1.87E+08	5.87E+07	2.09E+04	1.47E+04	2.32E+04	1.39E+04	1.18E+04	9.59E+03
2.00E-01	1.92E+10	1.54E+10	3.74E+09	2.95E+09	2.33E+09	7.31E+08	2.56E+05	1.79E+05	2.82E+05	1.69E+05	1.45E+05	1.17E+05
3.00E-01	1.62E+10	1.30E+10	3.14E+09	2.48E+09	1.96E+09	6.15E+08	1.62E+05	1.00E+05	1.60E+05	9.65E+04	8.77E+04	7.75E+04
4.00E-01	1.15E+10	9.30E+09	2.31E+09	1.82E+09	1.44E+09	4.53E+08	9.38E+04	4.84E+04	7.77E+04	4.75E+04	4.50E+04	4.21E+04
6.00E-01	1.37E+10	1.10E+10	2.59E+09	2.04E+09	1.61E+09	5.06E+08	8.78E+04	3.72E+04	5.99E+04	3.67E+04	3.62E+04	3.56E+04
8.00E-01	3.73E+09	2.71E+09	4.74E+07	2.66E+07	1.61E+07	3.09E+06	3.53E+03	3.02E+03	4.78E+03	2.87E+03	2.79E+03	2.77E+03
1.00E+00	1.11E+09	8.16E+08	2.75E+07	1.46E+07	8.29E+06	1.30E+06	1.34E+03	1.08E+03	1.69E+03	1.01E+03	9.84E+02	9.94E+02
1.33E+00	5.68E+08	4.25E+08	2.43E+07	1.24E+07	6.80E+06	9.51E+05	7.17E+02	5.91E+02	9.53E+02	5.85E+02	5.94E+02	6.34E+02
1.66E+00	5.08E+07	2.87E+07	1.43E+06	8.13E+05	5.19E+05	1.04E+05	2.68E+01	1.30E+01	1.68E+01	1.02E+01	2.49E+01	5.88E+01
2.00E+00	4.36E+07	2.02E+07	3.55E+05	1.98E+05	1.28E+05	2.69E+04	2.72E+01	1.41E+01	1.65E+01	6.82E+00	1.17E+01	2.53E+01
2.50E+00	2.96E+07	1.27E+07	1.08E+03	7.02E+02	6.68E+02	3.55E+01	1.94E+01	1.05E+01	1.17E+01	4.86E+00	5.40E+00	1.03E+01
3.00E+00	1.04E+06	5.23E+05	8.80E+01	6.89E+01	5.27E+01	2.36E+01	1.11E+01	6.26E+00	7.22E+00	2.92E+00	1.41E+00	8.76E-01
4.00E+00	1.63E+05	7.58E+04	8.91E+01	6.39E+01	4.90E+01	2.11E+01	1.09E+01	6.41E+00	7.15E+00	2.59E+00	1.20E+00	6.63E-01
5.00E+00	1.53E+02	1.45E+02	5.73E+01	4.19E+01	3.24E+01	1.37E+01	6.35E+00	4.09E+00	4.54E+00	1.98E+00	1.11E+00	5.65E-01
6.50E+00	2.76E+02	2.65E+02	1.00E+02	7.71E+01	5.67E+01	2.54E+01	1.05E+01	5.27E+00	5.54E+00	1.73E+00	6.75E-01	3.99E-01
8.00E+00	2.79E+02	2.60E+02	9.48E+01	7.44E+01	5.77E+01	2.28E+01	9.69E+00	5.29E+00	5.22E+00	1.72E+00	6.59E-01	3.82E-01
1.00E+01	4.66E+01	4.48E+01	1.81E+01	1.31E+01	1.01E+01	4.21E+00	1.92E+00	9.78E-01	1.10E+00	3.31E-01	1.15E-01	6.15E-02
TOTAL	6.76E+10	5.41E+10	1.22E+10	9.58E+09	7.56E+09	2.37E+09	6.27E+05	3.85E+05	6.12E+05	3.70E+05	3.35E+05	2.96E+05

添付表 7-1 (4/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 3cm

1.66E+00

2.00E+00

2.50E+00

3.00E+00

4.00E+00

5.00E+00

6.50E+00

8.00E+00

1.00E+01

TOTAL

2.77E+07 1.27E+07

1.84E+07 7.92E+06

3.34E+05

5.31E+04

1.41E+02

2.74E+02

2.42E+02

4.47E+01 4.27E+01 1.59E+01

3.70E+10 2.95E+10 6.38E+09

6.79E+05

.03E+05

.48E+02

2.88E+02

2.61E+02

2.06E+05

1.02E+03

7.69E+01

7.96E+01

. 40E+01

1.06E+02

9.36E+01

中性子	[flux(n/sec/cm2)]											
Energy					ガラス国	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	9.32E+00	8.77E+00	2.94E+00	2.89E+00	2.12E+00	7.82E-01	3.32E-01	1.77E-01	1.66E-01	5.88E-02	2.23E-02	1.18E-02
1.12E-06	5.28E+01	5.25E+01	1.95E+01	1.45E+01	1.12E+01	4.53E+00	2.11E+00	1.14E+00	1.02E+00	3.55E-01	1.35E-01	7.94E-02
3.06E-06	1.80E+02	1.70E+02	6.59E+01	4.75E+01	3.64E+01	1.66E+01	6.86E+00	3.53E+00	3.39E+00	1.17E+00	4.37E-01	2.54E-01
1.07E-05	6.19E+02	5.85E+02	2.23E+02	1.67E+02	1.30E+02	5.41E+01	2.29E+01	1.16E+01	1.14E+01	3.99E+00	1.50E+00	8.73E-01
2.90E-05	9.96E+02	9.51E+02	3.61E+02	2.68E+02	2.09E+02	8.90E+01	3.66E+01	1.84E+01	1.90E+01	6.42E+00	2.44E+00	1.42E+00
1.01E-04	2.24E+03	2.15E+03	8.23E+02	6.13E+02	4.66E+02	2.01E+02	8.42E+01	4.15E+01	4.24E+01	1.45E+01	5.52E+00	3.18E+00
5.83E-04	6.16E+03	5.92E+03	2.23E+03	1.67E+03	1.29E+03	5.44E+02	2.26E+02	1.14E+02	1.16E+02	3.95E+01	1.51E+01	8.70E+00
3.35E-03	1.30E+04	1.25E+04	4.74E+03	3.52E+03	2.72E+03	1.15E+03	4.88E+02	2.43E+02	2.45E+02	8.39E+01	3.19E+01	1.84E+01
1.11E-01	6.50E+04	6.20E+04	2.38E+04	1.77E+04	1.36E+04	5.84E+03	2.48E+03	1.24E+03	1.24E+03	4.23E+02	1.58E+02	9.18E+01
5.50E-01	5.71E+04	5.45E+04	2.12E+04	1.60E+04	1.23E+04	5.53E+03	2.39E+03	1.18E+03	1.19E+03	3.86E+02	1.37E+02	8.14E+01
1.11E+00	2.02E+04	1.93E+04	7.62E+03	5.78E+03	4.53E+03	2.13E+03	9.37E+02	4.60E+02	4.57E+02	1.44E+02	4.82E+01	2.91E+01
1.83E+00	9.92E+03	9.46E+03	3.83E+03	2.93E+03	2.33E+03	1.16E+03	5.21E+02	2.53E+02	2.52E+02	7.49E+01	2.32E+01	1.45E+01
2.35E+00	3.87E+03	3.68E+03	1.53E+03	1.18E+03	9.53E+02	5.03E+02	2.31E+02	1.10E+02	1.10E+02	3.15E+01	9.04E+00	5.86E+00
2.46E+00	7.45E+02	7.09E+02	2.93E+02	2.31E+02	1.88E+02	1.02E+02	4.69E+01	2.20E+01	2.19E+01	6.21E+00	1.70E+00	1.12E+00
3.01E+00	2.40E+03	2.29E+03	9.68E+02	7.61E+02	6.15E+02	3.41E+02	1.59E+02	7.53E+01	7.39E+01	2.04E+01	5.45E+00	3.62E+00
4.06E+00	1.60E+03	1.53E+03	6.37E+02	4.98E+02	3.98E+02	2.16E+02	9.83E+01	4.68E+01	4.70E+01	1.32E+01	3.69E+00	2.39E+00
4.96E+00	5.23E+02	5.01E+02	2.03E+02	1.56E+02	1.24E+02	6.24E+01	2.86E+01	1.36E+01	1.37E+01	3.97E+00	1.12E+00	6.98E-01
6.36E+00	2.08E+02	2.01E+02	6.95E+01	4.96E+01	3.56E+01	1.02E+01	3.30E+00	1.91E+00	1.93E+00	1.00E+00	5.31E-01	2.74E-01
8.18E+00	6.21E+01	5.97E+01	1.99E+01	1.37E+01	9.42E+00	1.67E+00	3.12E-01	2.90E-01	2.90E-01	2.51E-01	1.63E-01	8.05E-02
1.00E+01	9.64E+00	9.27E+00	3.09E+00	2.12E+00	1.46E+00	2.60E-01	4.85E-02	4.50E-02	4.50E-02	3.90E-02	2.54E-02	1.25E-02
1.22E+01	1.63E+00	1.57E+00	5.22E-01	3.59E-01	2.47E-01	4.40E-02	8.19E-03	7.61E-03	7.61E-03	6.59E-03	4.29E-03	2.11E-03
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TOTAL	1.85E+05	1.77E+05	6.86E+04	5.16E+04	3.99E+04	1.80E+04	7.76E+03	3.84E+03	3.84E+03	1.25E+03	4.46E+02	2.64E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	9.97E+06	7.89E+06	1.61E+06	1.24E+06	9.79E+05	3.07E+05	7.71E+01	4.48E+01	7.16E+01	4.33E+01	4.04E+01	3.51E+01
1.00E-01	8.48E+08	6.81E+08	1.59E+08	1.25E+08	9.87E+07	3.10E+07	9.07E+03	5.87E+03	9.30E+03	5.55E+03	4.95E+03	4.16E+03
2.00E-01	1.05E+10	8.45E+09	1.98E+09	1.56E+09	1.23E+09	3.86E+08	1.13E+05	7.34E+04	1.16E+05	7.03E+04	6.18E+04	5.20E+04
3.00E-01	9.03E+09	7.27E+09	1.70E+09	1.34E+09	1.06E+09	3.32E+08	8.09E+04	4.72E+04	7.54E+04	4.58E+04	4.23E+04	3.80E+04
4.00E-01	6.36E+09	5.13E+09	1.23E+09	9.67E+08	7.65E+08	2.40E+08	4.82E+04	2.41E+04	3.87E+04	2.36E+04	2.26E+04	2.14E+04
6.00E-01	7.16E+09	5.72E+09	1.26E+09	9.86E+08	7.79E+08	2.44E+08	4.29E+04	1.84E+04	2.96E+04	1.81E+04	1.79E+04	1.76E+04
8.00E-01	2.03E+09	1.48E+09	2.76E+07	1.54E+07	9.20E+06	1.75E+06	1.95E+03	1.67E+03	2.63E+03	1.58E+03	1.54E+03	1.53E+03
1.00E+00	6.06E+08	4.47E+08	1.60E+07	8.49E+06	4.74E+06	7.39E+05	8.06E+02	6.27E+02	9.60E+02	5.62E+02	5.45E+02	5.58E+02
1.33E+00	3.25E+08	2.41E+08	1.38E+07	7.07E+06	3.88E+06	5.42E+05	4.10E+02	3.35E+02	5.40E+02	3.30E+02	3.35E+02	3.62E+02

7-78

1.25E+01

1.21E+01

8.98E+00

89E+00

5.87E+00

3.91E+00

5.54E+00

5.04E+00

9.13E-01

2.75E+05

7.36E+00 1.63E+01

4.84E+00 7.17E+00

3.33E+00

9.84E-01

8.65E-01

9.11E-01

7.06E-01

6.22E-01

3.06E-01 1.11E-01

1.68E+05 1.57E+05

3.59E+00

2.33E+00

2.14E+00

1.64E+00

1.88E+00

1.73E+00

3.62E+01

1.53E+01

6.38E+00

6.35E-01

5.56E-01

4.18E-01

4.13E-01

3.66E-01

6.22E-02

1.46E+05

3. 23E+07 1. 83E+07 8. 68E+05 4. 88E+05 3. 18E+05 6. 35E+04 1. 98E+01 1. 04E+01

1.18E+05

6.69E+02

5.88E+01

6.02E+01

4.07E+01

8.10E+01

6.96E+01

7.71E+04

6.33E+02

4.59E+01

4.54E+01

.01E+01

6.23E+01

5.44E+01

1.29E+01 8.94E+00

5.01E+09 3.95E+09

1.65E+04

3.08E+01

2.00E+01

1.92E+01

1.31E+01

2.62E+01

2.43E+01

4.30E+00

1.24E+09

2.21E+01

1.58E+01

9.95E+00

9.52E+00

. 35E+00

1.04E+01

1.06E+01

1.78E+00

2.98E+05 1.73E+05

1.06E+01

8.87E+00

5.12E+00

5.87E+00

3.41E+00

5.92E+00

5.03E+00

8.41E-01

添付表 7-1 (5/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 4cm

甲性于											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	间化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.19E+01	1.14E+01	4.10E+00	3.41E+00	2.28E+00	9.60E-01	4.36E-01	1.99E-01	1.78E-01	6.49E-02	2.82E-02	1.67E-02
1.12E-06	6.11E+01	5.72E+01	2.21E+01	1.67E+01	1.26E+01	5.52E+00	2.59E+00	1.18E+00	1.16E+00	4.06E-01	1.45E-01	8.74E-02
3.06E-06	2.17E+02	2.06E+02	7.79E+01	5.84E+01	4.52E+01	1.98E+01	7.76E+00	4.01E+00	4.06E+00	1.40E+00	5.38E-01	3.02E-01
1.07E-05	6.99E+02	6.68E+02	2.53E+02	1.93E+02	1.46E+02	6.33E+01	2.61E+01	1.33E+01	1.31E+01	4.58E+00	1.71E+00	9.93E-01
2.90E-05	1.11E+03	1.06E+03	4.05E+02	3.00E+02	2.31E+02	9.57E+01	4.13E+01	2.04E+01	2.08E+01	7.11E+00	2.72E+00	1.58E+00
1.01E-04	2.46E+03	2.34E+03	8.98E+02	6.64E+02	5.10E+02	2.18E+02	9.13E+01	4.57E+01	4.51E+01	1.58E+01	6.00E+00	3.48E+00
5.83E-04	6.17E+03	5.91E+03	2.24E+03	1.68E+03	1.28E+03	5.43E+02	2.29E+02	1.16E+02	1.16E+02	3.97E+01	1.51E+01	8.73E+00
3.35E-03	1.26E+04	1.19E+04	4.56E+03	3.38E+03	2.61E+03	1.10E+03	4.66E+02	2.35E+02	2.32E+02	8.00E+01	3.05E+01	1.77E+01
1.11E-01	5.99E+04	5.72E+04	2.19E+04	1.64E+04	1.26E+04	5.41E+03	2.30E+03	1.15E+03	1.15E+03	3.90E+02	1.46E+02	8.47E+01
5.50E-01	5.37E+04	5.12E+04	2.00E+04	1.50E+04	1.16E+04	5.24E+03	2.27E+03	1.12E+03	1.12E+03	3.65E+02	1.29E+02	7.65E+01
1.11E+00	1.82E+04	1.74E+04	6.85E+03	5.21E+03	4.08E+03	1.92E+03	8.46E+02	4.16E+02	4.16E+02	1.30E+02	4.32E+01	2.63E+01
1.83E+00	8.46E+03	8.05E+03	3.27E+03	2.52E+03	1.99E+03	1.00E+03	4.52E+02	2.19E+02	2.17E+02	6.42E+01	1.99E+01	1.25E+01
2.35E+00	3.19E+03	3.04E+03	1.27E+03	9.75E+02	7.88E+02	4.12E+02	1.89E+02	9.06E+01	9.06E+01	2.59E+01	7.43E+00	4.79E+00
2.46E+00	5.93E+02	5.65E+02	2.38E+02	1.86E+02	1.51E+02	8.13E+01	3.69E+01	1.77E+01	1.73E+01	4.92E+00	1.35E+00	9.00E-01
3.01E+00	1.88E+03	1.79E+03	7.59E+02	5.93E+02	4.83E+02	2.68E+02	1.25E+02	5.92E+01	5.93E+01	1.63E+01	4.29E+00	2.83E+00
4.06E+00	1.23E+03	1.17E+03	4.95E+02	3.90E+02	3.13E+02	1.69E+02	7.82E+01	3.69E+01	3.68E+01	1.03E+01	2.83E+00	1.85E+00
4.96E+00	4.12E+02	3.92E+02	1.59E+02	1.23E+02	9.71E+01	4.96E+01	2.25E+01	1.05E+01	1.06E+01	3.01E+00	8.77E-01	5.46E-01
6.36E+00	1.63E+02	1.57E+02	5.51E+01	3.88E+01	2.79E+01	7.90E+00	2.70E+00	1.56E+00	1.56E+00	7.91E-01	4.15E-01	2.12E-01
8.18E+00	4.78E+01	4.59E+01	1.53E+01	1.05E+01	7.26E+00	1.29E+00	2.40E-01	2.23E-01	2.23E-01	1.93E-01	1.26E-01	6.20E-02
1.00E+01	7.16E+00	6.88E+00	2.29E+00	1.58E+00	1.09E+00	1.93E-01	3.60E-02	3.34E-02	3.34E-02	2.90E-02	1.89E-02	9.28E-03
1.22E+01	2.32E+00	2.23E+00	7.44E-01	5.11E-01	3.53E-01	6.27E-02	1.17E-02	1.09E-02	1.09E-02	9.40E-03	6.12E-03	3.01E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.71E+05	1.63E+05	6.35E+04	4.77E+04	3.69E+04	1.66E+04	7.18E+03	3.56E+03	3.55E+03	1.16E+03	4.12E+02	2.44E+02

ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	5.57E+06	4.35E+06	8.43E+05	6.58E+05	5.08E+05	1.64E+05	3.78E+01	2.24E+01	3.26E+01	1.95E+01	1.91E+01	1.69E+01
1.00E-01	4.69E+08	3.75E+08	8.50E+07	6.66E+07	5.26E+07	1.65E+07	4.25E+03	2.61E+03	4.12E+03	2.49E+03	2.22E+03	1.93E+03
2.00E-01	5.81E+09	4.65E+09	1.05E+09	8.29E+08	6.54E+08	2.05E+08	5.34E+04	3.24E+04	5.16E+04	3.11E+04	2.81E+04	2.44E+04
3.00E-01	5.07E+09	4.06E+09	9.21E+08	7.24E+08	5.72E+08	1.79E+08	4.12E+04	2.32E+04	3.70E+04	2.25E+04	2.10E+04	1.91E+04
4.00E-01	3.55E+09	2.85E+09	6.57E+08	5.17E+08	4.08E+08	1.28E+08	2.52E+04	1.24E+04	1.97E+04	1.21E+04	1.16E+04	1.11E+04
6.00E-01	3.85E+09	3.05E+09	6.27E+08	4.91E+08	3.88E+08	1.21E+08	2.15E+04	9.36E+03	1.51E+04	9.24E+03	9.07E+03	8.92E+03
8.00E-01	1.14E+09	8.28E+08	1.65E+07	9.02E+06	5.46E+06	1.00E+06	1.12E+03	9.55E+02	1.49E+03	8.95E+02	8.67E+02	8.72E+02
1.00E+00	3.43E+08	2.53E+08	9.46E+06	5.01E+06	2.79E+06	4.23E+05	5.05E+02	3.79E+02	5.69E+02	3.29E+02	3.11E+02	3.20E+02
1.33E+00	1.91E+08	1.41E+08	8.05E+06	4.10E+06	2.26E+06	3.23E+05	2.49E+02	1.99E+02	3.13E+02	1.91E+02	1.95E+02	2.12E+02
1.66E+00	2.12E+07	1.16E+07	5.36E+05	3.08E+05	1.99E+05	4.12E+04	1.78E+01	8.25E+00	1.07E+01	4.82E+00	9.92E+00	2.31E+01
2.00E+00	1.80E+07	8.14E+06	1.25E+05	7.26E+04	4.68E+04	9.83E+03	1.68E+01	8.83E+00	9.36E+00	3.81E+00	5.41E+00	9.99E+00
2.50E+00	1.16E+07	5.08E+06	9.68E+02	6.34E+02	6.04E+02	2.80E+01	1.41E+01	7.48E+00	7.61E+00	2.94E+00	2.23E+00	4.20E+00
3.00E+00	4.46E+05	2.03E+05	7.40E+01	5.56E+01	4.19E+01	1.80E+01	8.82E+00	4.65E+00	5.00E+00	2.05E+00	7.68E-01	5.38E-01
4.00E+00	8.35E+04	4.81E+04	7.59E+01	5.63E+01	4.27E+01	1.93E+01	8.49E+00	5.05E+00	4.97E+00	1.91E+00	7.98E-01	5.01E-01
5.00E+00	1.44E+02	1.39E+02	5.40E+01	4.00E+01	3.04E+01	1.39E+01	6.26E+00	3.18E+00	3.47E+00	1.32E+00	7.57E-01	3.29E-01
6.50E+00	2.83E+02	2.72E+02	1.00E+02	7.61E+01	6.02E+01	2.60E+01	1.12E+01	5.31E+00	5.37E+00	1.89E+00	6.78E-01	3.90E-01
8.00E+00	2.75E+02	2.57E+02	9.88E+01	7.58E+01	5.68E+01	2.53E+01	1.01E+01	5.26E+00	5.04E+00	1.77E+00	6.74E-01	3.87E-01
1.00E+01	3.50E+01	3.34E+01	1.32E+01	1.03E+01	8.46E+00	3.94E+00	1.56E+00	7.41E-01	7.70E-01	2.19E-01	9.49E-02	5.43E-02
TOTAL	2.05E+10	1.62E+10	3.38E+09	2.65E+09	2.09E+09	6.52E+08	1.48E+05	8.25E+04	1.31E+05	8.09E+04	7.84E+04	7.70E+04

添付表 7-1 (6/20)	オーバーパック	の照射線量率の板厚方向	の変化[JENDL-3.2]
----------------	---------	-------------	----------------

OP内側表面から 5cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.37E+01	1.32E+01	5.01E+00	3.99E+00	2.88E+00	9.75E-01	4.76E-01	2.34E-01	2.47E-01	7.51E-02	3.47E-02	1.88E-02
1.12E-06	6.77E+01	6.34E+01	2.34E+01	1.89E+01	1.42E+01	6.30E+00	2.67E+00	1.32E+00	1.19E+00	4.47E-01	1.65E-01	9.17E-02
3.06E-06	2.43E+02	2.28E+02	8.71E+01	6.47E+01	4.91E+01	2.10E+01	8.82E+00	4.47E+00	4.43E+00	1.53E+00	5.93E-01	3.39E-01
1.07E-05	7.66E+02	7.40E+02	2.80E+02	2.06E+02	1.60E+02	7.05E+01	2.86E+01	1.49E+01	1.41E+01	4.99E+00	1.88E+00	1.10E+00
2.90E-05	1.21E+03	1.15E+03	4.31E+02	3.23E+02	2.50E+02	1.04E+02	4.36E+01	2.20E+01	2.23E+01	7.68E+00	2.93E+00	1.69E+00
1.01E-04	2.56E+03	2.46E+03	9.45E+02	6.98E+02	5.38E+02	2.23E+02	9.46E+01	4.80E+01	4.73E+01	1.67E+01	6.30E+00	3.64E+00
5.83E-04	6.05E+03	5.80E+03	2.21E+03	1.64E+03	1.26E+03	5.31E+02	2.23E+02	1.14E+02	1.12E+02	3.87E+01	1.49E+01	8.58E+00
3.35E-03	1.19E+04	1.13E+04	4.29E+03	3.20E+03	2.46E+03	1.04E+03	4.38E+02	2.21E+02	2.19E+02	7.57E+01	2.88E+01	1.67E+01
1.11E-01	5.53E+04	5.28E+04	2.02E+04	1.52E+04	1.16E+04	5.02E+03	2.13E+03	1.07E+03	1.07E+03	3.61E+02	1.35E+02	7.85E+01
5.50E-01	4.99E+04	4.76E+04	1.86E+04	1.40E+04	1.09E+04	4.93E+03	2.14E+03	1.06E+03	1.06E+03	3.44E+02	1.20E+02	7.13E+01
1.11E+00	1.62E+04	1.55E+04	6.13E+03	4.65E+03	3.65E+03	1.74E+03	7.71E+02	3.75E+02	3.75E+02	1.16E+02	3.85E+01	2.34E+01
1.83E+00	7.17E+03	6.85E+03	2.80E+03	2.15E+03	1.70E+03	8.64E+02	3.87E+02	1.87E+02	1.86E+02	5.50E+01	1.69E+01	1.06E+01
2.35E+00	2.62E+03	2.50E+03	1.04E+03	8.02E+02	6.48E+02	3.43E+02	1.57E+02	7.51E+01	7.52E+01	2.14E+01	6.11E+00	3.91E+00
2.46E+00	4.77E+02	4.52E+02	1.91E+02	1.50E+02	1.21E+02	6.39E+01	2.95E+01	1.40E+01	1.41E+01	3.86E+00	1.09E+00	7.17E-01
3.01E+00	1.49E+03	1.42E+03	5.98E+02	4.69E+02	3.81E+02	2.13E+02	9.91E+01	4.63E+01	4.71E+01	1.28E+01	3.41E+00	2.25E+00
4.06E+00	9.72E+02	9.16E+02	3.87E+02	3.04E+02	2.45E+02	1.31E+02	6.00E+01	2.89E+01	2.85E+01	7.95E+00	2.22E+00	1.43E+00
4.96E+00	3.06E+02	2.94E+02	1.18E+02	9.17E+01	7.28E+01	3.68E+01	1.68E+01	7.89E+00	8.12E+00	2.34E+00	6.61E-01	4.10E-01
6.36E+00	1.25E+02	1.19E+02	4.19E+01	2.92E+01	2.11E+01	5.87E+00	1.93E+00	1.15E+00	1.15E+00	6.00E-01	3.15E-01	1.61E-01
8.18E+00	3.40E+01	3.27E+01	1.09E+01	7.48E+00	5.16E+00	9.18E-01	1.71E-01	1.59E-01	1.59E-01	1.38E-01	8.96E-02	4.41E-02
1.00E+01	5.72E+00	5.49E+00	1.83E+00	1.26E+00	8.68E-01	1.54E-01	2.87E-02	2.67E-02	2.67E-02	2.31E-02	1.51E-02	7.41E-03
1.22E+01	1.80E+00	1.73E+00	5.76E-01	3.96E-01	2.73E-01	4.85E-02	9.05E-03	8.40E-03	8.40E-03	7.28E-03	4.74E-03	2.33E-03
1.50E+01	0.00E+00											

Energy					ガラス国	1化体生成	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.12E+06	2.44E+06	4.49E+05	3.46E+05	2.75E+05	8.58E+04	1.93E+01	1.07E+01	1.77E+01	1.04E+01	9.60E+00	8.63E+
1.00E-01	2.62E+08	2.07E+08	4.52E+07	3.56E+07	2.81E+07	8.79E+06	2.05E+03	1.19E+03	1.90E+03	1.15E+03	1.07E+03	9.68E+
2.00E-01	3.25E+09	2.59E+09	5.64E+08	4.43E+08	3.50E+08	1.09E+08	2.63E+04	1.51E+04	2.40E+04	1.46E+04	1.34E+04	1.19E+
3.00E-01	2.85E+09	2.27E+09	4.98E+08	3.90E+08	3.08E+08	9.66E+07	2.14E+04	1.16E+04	1.86E+04	1.13E+04	1.06E+04	9.79E+
4.00E-01	1.99E+09	1.59E+09	3.52E+08	2.77E+08	2.18E+08	6.84E+07	1.33E+04	6.42E+03	1.03E+04	6.30E+03	6.04E+03	5.77E+
6.00E-01	2.11E+09	1.66E+09	3.18E+08	2.49E+08	1.96E+08	6.12E+07	1.11E+04	4.88E+03	7.87E+03	4.81E+03	4.72E+03	4.64E+
8.00E-01	6.51E+08	4.72E+08	9.92E+06	5.41E+06	3.25E+06	5.88E+05	6.45E+02	5.44E+02	8.51E+02	5.15E+02	5.02E+02	5.06E+
1.00E+00	1.99E+08	1.46E+08	5.69E+06	3.01E+06	1.70E+06	2.53E+05	3.28E+02	2.36E+02	3.46E+02	1.94E+02	1.82E+02	1.88E+
1.33E+00	1.15E+08	8.41E+07	4.75E+06	2.42E+06	1.31E+06	1.87E+05	1.52E+02	1.20E+02	1.82E+02	1.10E+02	1.14E+02	1.27E+
1.66E+00	1.39E+07	7.66E+06	3.37E+05	1.94E+05	1.25E+05	2.45E+04	1.46E+01	7.29E+00	8.56E+00	3.56E+00	6.17E+00	1.48E+
2.00E+00	1.19E+07	5.32E+06	6.60E+04	4.15E+04	2.51E+04	5.31E+03	1.35E+01	6.57E+00	7.03E+00	3.02E+00	3.87E+00	6.39E+
2.50E+00	7.47E+06	3.28E+06	5.32E+02	3.51E+02	3.28E+02	2.40E+01	1.19E+01	6.24E+00	6.61E+00	2.36E+00	1.54E+00	2.59E+
3.00E+00	2.84E+05	1.15E+05	6.34E+01	4.46E+01	3.65E+01	1.58E+01	7.49E+00	3.91E+00	4.22E+00	1.76E+00	6.58E-01	4.67E-
4.00E+00	5.39E+04	3.04E+04	6.83E+01	5.27E+01	3.90E+01	1.77E+01	8.47E+00	4.40E+00	3.94E+00	1.50E+00	6.48E-01	3.82E-
5.00E+00	1.44E+02	1.42E+02	5.22E+01	4.08E+01	3.06E+01	1.33E+01	5.48E+00	2.83E+00	3.10E+00	1.18E+00	5.52E-01	2.60E-
6.50E+00	2.82E+02	2.64E+02	9.77E+01	7.29E+01	5.74E+01	2.46E+01	1.06E+01	5.41E+00	5.21E+00	1.81E+00	6.76E-01	3.90E-
8.00E+00	2.70E+02	2.56E+02	9.79E+01	7.22E+01	5.62E+01	2.32E+01	9.73E+00	5.13E+00	5.06E+00	1.78E+00	6.65E-01	3.75E-
1.00E+01	3.36E+01	3.08E+01	1.34E+01	9.86E+00	7.60E+00	3.27E+00	1.61E+00	7.89E-01	7.94E-01	2.59E-01	8.22E-02	5.58E-
TOTAL	1.15E+10	9.04E+09	1.80E+09	1.41E+09	1.11E+09	3.46E+08	7 59E+04	4 11E+04	6 56E±04	4 09E+04	4 16E+04	4 39E+

添付表 7-1 (7/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 6cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.51E+01	1.38E+01	4.77E+00	3.92E+00	2.77E+00	1.20E+00	5.80E-01	2.43E-01	2.50E-01	9.65E-02	3.64E-02	2.07E-02
1.12E-06	7.43E+01	7.20E+01	2.56E+01	2.07E+01	1.57E+01	6.43E+00	3.03E+00	1.39E+00	1.39E+00	4.80E-01	1.79E-01	1.06E-01
3.06E-06	2.54E+02	2.44E+02	9.22E+01	6.99E+01	5.36E+01	2.30E+01	9.84E+00	4.75E+00	4.78E+00	1.66E+00	6.26E-01	3.61E-01
1.07E-05	8.14E+02	7.84E+02	2.98E+02	2.20E+02	1.70E+02	7.28E+01	2.95E+01	1.50E+01	1.52E+01	5.35E+00	2.00E+00	1.16E+00
2.90E-05	1.23E+03	1.18E+03	4.50E+02	3.33E+02	2.56E+02	1.09E+02	4.59E+01	2.30E+01	2.31E+01	7.98E+00	2.99E+00	1.73E+00
1.01E-04	2.64E+03	2.52E+03	9.54E+02	7.07E+02	5.42E+02	2.26E+02	9.64E+01	4.86E+01	4.82E+01	1.69E+01	6.40E+00	3.69E+00
5.83E-04	5.80E+03	5.55E+03	2.12E+03	1.58E+03	1.20E+03	5.09E+02	2.14E+02	1.08E+02	1.08E+02	3.72E+01	1.42E+01	8.19E+00
3.35E-03	1.11E+04	1.06E+04	4.03E+03	3.01E+03	2.31E+03	9.71E+02	4.13E+02	2.07E+02	2.07E+02	7.06E+01	2.70E+01	1.56E+01
1.11E-01	5.08E+04	4.86E+04	1.87E+04	1.40E+04	1.07E+04	4.64E+03	1.98E+03	9.88E+02	9.85E+02	3.33E+02	1.24E+02	7.22E+01
5.50E-01	4.64E+04	4.43E+04	1.73E+04	1.30E+04	1.01E+04	4.63E+03	2.01E+03	9.94E+02	9.93E+02	3.19E+02	1.12E+02	6.64E+01
1.11E+00	1.44E+04	1.37E+04	5.47E+03	4.16E+03	3.27E+03	1.57E+03	6.89E+02	3.36E+02	3.35E+02	1.04E+02	3.42E+01	2.09E+01
1.83E+00	6.17E+03	5.82E+03	2.37E+03	1.83E+03	1.45E+03	7.36E+02	3.34E+02	1.60E+02	1.60E+02	4.71E+01	1.44E+01	9.03E+00
2.35E+00	2.11E+03	2.01E+03	8.38E+02	6.54E+02	5.25E+02	2.80E+02	1.28E+02	6.09E+01	6.10E+01	1.72E+01	4.88E+00	3.15E+00
2.46E+00	3.71E+02	3.51E+02	1.50E+02	1.16E+02	9.52E+01	5.11E+01	2.44E+01	1.12E+01	1.14E+01	3.14E+00	8.48E-01	5.58E-01
3.01E+00	1.19E+03	1.14E+03	4.84E+02	3.83E+02	3.11E+02	1.69E+02	7.86E+01	3.70E+01	3.72E+01	1.02E+01	2.73E+00	1.81E+00
4.06E+00	7.66E+02	7.26E+02	3.05E+02	2.38E+02	1.91E+02	1.01E+02	4.65E+01	2.22E+01	2.21E+01	6.27E+00	1.74E+00	1.13E+00
4.96E+00	2.41E+02	2.32E+02	9.38E+01	7.17E+01	5.61E+01	2.82E+01	1.29E+01	6.13E+00	6.04E+00	1.73E+00	5.18E-01	3.21E-01
6.36E+00	9.63E+01	9.31E+01	3.24E+01	2.28E+01	1.64E+01	4.50E+00	1.51E+00	9.31E-01	8.95E-01	4.60E-01	2.46E-01	1.27E-01
8.18E+00	2.64E+01	2.54E+01	8.44E+00	5.80E+00	4.00E+00	7.12E-01	1.33E-01	1.23E-01	1.23E-01	1.07E-01	6.95E-02	3.42E-02
1.00E+01	4.52E+00	4.34E+00	1.45E+00	9.94E-01	6.86E-01	1.22E-01	2.27E-02	2.11E-02	2.11E-02	1.83E-02	1.19E-02	5.86E-03
1.22E+01	9.19E-01	8.83E-01	2.94E-01	2.02E-01	1.40E-01	2.48E-02	4.62E-03	4.29E-03	4.29E-03	3.72E-03	2.42E-03	1.19E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.44E+05	1.38E+05	5.37E+04	4.04E+04	3.13E+04	1.41E+04	6.12E+03	3.02E+03	3.02E+03	9.82E+02	3.48E+02	2.06E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy	ガラス固化体生成後の経過期間 [年]											
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.76E+06	1.36E+06	2.42E+05	1.88E+05	1.48E+05	4.51E+04	1.06E+01	4.66E+00	8.29E+00	4.95E+00	4.70E+00	4.65E+00
1.00E-01	1.47E+08	1.16E+08	2.42E+07	1.90E+07	1.50E+07	4.71E+06	1.05E+03	5.69E+02	9.16E+02	5.61E+02	5.30E+02	4.75E+02
2.00E-01	1.82E+09	1.45E+09	3.03E+08	2.38E+08	1.87E+08	5.86E+07	1.32E+04	7.29E+03	1.17E+04	7.09E+03	6.57E+03	5.99E+03
3.00E-01	1.61E+09	1.28E+09	2.69E+08	2.11E+08	1.66E+08	5.20E+07	1.11E+04	5.90E+03	9.53E+03	5.78E+03	5.43E+03	5.07E+03
4.00E-01	1.12E+09	8.93E+08	1.89E+08	1.49E+08	1.17E+08	3.65E+07	7.03E+03	3.39E+03	5.40E+03	3.31E+03	3.18E+03	3.06E+03
6.00E-01	1.17E+09	9.17E+08	1.64E+08	1.28E+08	1.01E+08	3.14E+07	5.73E+03	2.57E+03	4.13E+03	2.53E+03	2.48E+03	2.45E+03
8.00E-01	3.77E+08	2.73E+08	6.02E+06	3.31E+06	1.96E+06	3.40E+05	3.90E+02	3.26E+02	5.03E+02	3.01E+02	2.93E+02	2.96E+02
1.00E+00	1.18E+08	8.66E+07	3.51E+06	1.84E+06	1.02E+06	1.52E+05	2.25E+02	1.55E+02	2.19E+02	1.22E+02	1.11E+02	1.13E+02
1.33E+00	7.02E+07	5.11E+07	2.80E+06	1.44E+06	7.82E+05	1.14E+05	9.97E+01	7.59E+01	1.11E+02	6.73E+01	6.96E+01	7.84E+01
1.66E+00	9.36E+06	4.98E+06	2.15E+05	1.23E+05	8.14E+04	1.52E+04	1.22E+01	6.04E+00	7.19E+00	2.97E+00	3.91E+00	9.40E+00
2.00E+00	7.85E+06	3.56E+06	4.10E+04	2.77E+04	1.61E+04	3.20E+03	1.15E+01	5.94E+00	5.78E+00	2.39E+00	2.83E+00	4.25E+00
2.50E+00	4.93E+06	2.16E+06	4.65E+02	3.09E+02	4.47E+01	2.10E+01	1.01E+01	5.37E+00	5.81E+00	1.98E+00	1.15E+00	1.76E+00
3.00E+00	1.75E+05	7.73E+04	5.66E+01	4.23E+01	3.23E+01	1.58E+01	6.69E+00	3.50E+00	3.74E+00	1.35E+00	5.39E-01	4.08E-01
4.00E+00	4.04E+04	2.23E+04	6.58E+01	4.95E+01	3.80E+01	1.65E+01	7.05E+00	3.86E+00	3.81E+00	1.37E+00	6.03E-01	3.47E-01
5.00E+00	1.27E+02	1.24E+02	4.52E+01	3.48E+01	2.68E+01	1.16E+01	5.23E+00	2.75E+00	2.85E+00	9.87E-01	4.66E-01	2.04E-01
6.50E+00	2.61E+02	2.48E+02	9.48E+01	6.95E+01	5.54E+01	2.40E+01	1.00E+01	4.97E+00	5.09E+00	1.78E+00	6.32E-01	3.73E-01
8.00E+00	2.52E+02	2.42E+02	9.35E+01	6.99E+01	5.39E+01	2.49E+01	1.00E+01	4.89E+00	4.82E+00	1.65E+00	6.09E-01	3.57E-01
1.00E+01	3.53E+01	3.67E+01	1.38E+01	1.05E+01	7.75E+00	3.42E+00	1.43E+00	7.67E-01	6.76E-01	2.45E-01	8.94E-02	5.38E-02
TOTAL	6.46E+09	5.07E+09	9.62E+08	7.51E+08	5.90E+08	1.84E+08	3.95E+04	2.13E+04	3.40E+04	2.18E+04	2.37E+04	2.76E+04
添付表 7-1 (8/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

OP内側表面から 7cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.48E+01	1.35E+01	4.81E+00	4.01E+00	2.82E+00	1.26E+00	5.50E-01	2.74E-01	2.47E-01	9.05E-02	3.44E-02	2.09E-02
1.12E-06	7.79E+01	7.50E+01	2.78E+01	2.17E+01	1.64E+01	7.05E+00	2.88E+00	1.47E+00	1.43E+00	5.01E-01	1.91E-01	1.11E-01
3.06E-06	2.67E+02	2.53E+02	9.65E+01	7.21E+01	5.49E+01	2.34E+01	9.54E+00	4.89E+00	4.73E+00	1.69E+00	6.44E-01	3.73E-01
1.07E-05	8.39E+02	7.98E+02	3.02E+02	2.26E+02	1.74E+02	7.40E+01	3.06E+01	1.57E+01	1.57E+01	5.35E+00	2.04E+00	1.19E+00
2.90E-05	1.27E+03	1.22E+03	4.61E+02	3.44E+02	2.66E+02	1.11E+02	4.61E+01	2.32E+01	2.30E+01	8.22E+00	3.09E+00	1.80E+00
1.01E-04	2.59E+03	2.47E+03	9.37E+02	6.96E+02	5.35E+02	2.25E+02	9.69E+01	4.82E+01	4.84E+01	1.65E+01	6.30E+00	3.62E+00
5.83E-04	5.47E+03	5.24E+03	1.99E+03	1.50E+03	1.14E+03	4.77E+02	2.03E+02	1.03E+02	1.03E+02	3.52E+01	1.34E+01	7.73E+00
3.35E-03	1.03E+04	9.81E+03	3.73E+03	2.78E+03	2.14E+03	9.10E+02	3.83E+02	1.92E+02	1.94E+02	6.59E+01	2.50E+01	1.45E+01
1.11E-01	4.70E+04	4.49E+04	1.72E+04	1.29E+04	9.89E+03	4.28E+03	1.83E+03	9.10E+02	9.08E+02	3.07E+02	1.14E+02	6.66E+01
5.50E-01	4.28E+04	4.10E+04	1.60E+04	1.21E+04	9.40E+03	4.31E+03	1.87E+03	9.24E+02	9.21E+02	2.96E+02	1.03E+02	6.14E+01
1.11E+00	1.28E+04	1.22E+04	4.85E+03	3.71E+03	2.90E+03	1.40E+03	6.18E+02	3.00E+02	3.00E+02	9.27E+01	3.03E+01	1.85E+01
1.83E+00	5.26E+03	5.01E+03	2.04E+03	1.57E+03	1.26E+03	6.33E+02	2.85E+02	1.37E+02	1.36E+02	4.02E+01	1.23E+01	7.73E+00
2.35E+00	1.75E+03	1.67E+03	6.93E+02	5.37E+02	4.32E+02	2.31E+02	1.06E+02	5.01E+01	5.02E+01	1.42E+01	4.05E+00	2.61E+00
2.46E+00	2.98E+02	2.88E+02	1.20E+02	9.38E+01	7.47E+01	4.14E+01	1.94E+01	9.10E+00	9.15E+00	2.51E+00	6.84E-01	4.49E-01
3.01E+00	9.50E+02	9.03E+02	3.82E+02	3.00E+02	2.43E+02	1.34E+02	6.16E+01	2.92E+01	2.96E+01	8.08E+00	2.17E+00	1.45E+00
4.06E+00	6.01E+02	5.74E+02	2.39E+02	1.87E+02	1.50E+02	8.02E+01	3.66E+01	1.77E+01	1.75E+01	4.94E+00	1.37E+00	8.88E-01
4.96E+00	1.90E+02	1.80E+02	7.36E+01	5.59E+01	4.39E+01	2.18E+01	9.93E+00	4.77E+00	4.67E+00	1.37E+00	4.11E-01	2.53E-01
6.36E+00	7.93E+01	7.72E+01	2.67E+01	1.84E+01	1.35E+01	3.52E+00	1.09E+00	6.76E-01	6.74E-01	3.72E-01	2.03E-01	1.04E-01
8.18E+00	2.32E+01	2.23E+01	7.41E+00	5.10E+00	3.52E+00	6.25E-01	1.16E-01	1.08E-01	1.08E-01	9.37E-02	6.10E-02	3.00E-02
1.00E+01	3.32E+00	3.19E+00	1.06E+00	7.30E-01	5.04E-01	8.95E-02	1.67E-02	1.55E-02	1.55E-02	1.34E-02	8.74E-03	4.30E-03
1.22E+01	1.17E+00	1.12E+00	3.74E-01	2.57E-01	1.77E-01	3.15E-02	5.87E-03	5.46E-03	5.46E-03	4.73E-03	3.08E-03	1.51E-03
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TOTAL	1.33E+05	1.27E+05	4.92E+04	3.71E+04	2.87E+04	1.30E+04	5.61E+03	2.77E+03	2.77E+03	9.01E+02	3.19E+02	1.89E+02
14. At											5 m ()	4
カンマ緑						- // // / · N	(// /mt) [] ##	199 5443			[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラスは	化体生成	後の経過男	間[年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.01E+06	7.58E+05	1.29E+05	1.01E+05	8.04E+04	2.42E+04	5.02E+00	3.27E+00	4.59E+00	2.54E+00	2.47E+00	2.29E+00
1.00E-01	8.36E+07	6.61E+07	1.31E+07	1.02E+07	8.03E+06	2.51E+06	5.52E+02	2.99E+02	4.70E+02	2.84E+02	2.67E+02	2.41E+02
2.00E-01	1.03E+09	8.14E+08	1.63E+08	1.27E+08	1.00E+08	3.13E+07	6.87E+03	3.61E+03	5.75E+03	3.52E+03	3.32E+03	3.06E+03
3.00E-01	9.12E+08	7.22E+08	1.46E+08	1.14E+08	8.97E+07	2.81E+07	5.95E+03	3.06E+03	4.90E+03	2.97E+03	2.85E+03	2.66E+03
4.00E-01	6.34E+08	5.02E+08	1.02E+08	7.97E+07	6.27E+07	1.96E+07	3.74E+03	1.79E+03	2.86E+03	1.75E+03	1.68E+03	1.62E+03
6.00E-01	6.59E+08	5.13E+08	8.56E+07	6.65E+07	5.22E+07	1.62E+07	3.05E+03	1.38E+03	2.22E+03	1.35E+03	1.33E+03	1.31E+03
8.00E-01	2.21E+08	1.60E+08	3.72E+06	2.03E+06	1.21E+06	2.06E+05	2.42E+02	1.98E+02	3.03E+02	1.79E+02	1.73E+02	1.76E+02
1.00E+00	7.06E+07	5.18E+07	2.13E+06	1.12E+06	6.30E+05	9.23E+04	1.59E+02	1.04E+02	1.43E+02	7.53E+01	6.73E+01	6.78E+01

0.001 01	2.211.00	1.001.00	5.121.00	2.031.00	1.211.00	2.001.05	2.421.02	1. 501.02	5.051.02	1.151.02	1.151.02	1.101.02
1.00E+00	7.06E+07	5.18E+07	2.13E+06	1.12E+06	6.30E+05	9.23E+04	1.59E+02	1.04E+02	1.43E+02	7.53E+01	6.73E+01	6.78E+01
1.33E+00	4.32E+07	3.13E+07	1.70E+06	8.75E+05	4.77E+05	7.07E+04	6.56E+01	4.93E+01	7.33E+01	4.23E+01	4.35E+01	4.87E+01
1.66E+00	6.44E+06	3.41E+06	1.43E+05	8.44E+04	5.49E+04	1.02E+04	1.03E+01	5.15E+00	5.66E+00	2.26E+00	2.88E+00	6.12E+00
2.00E+00	5.24E+06	2.36E+06	2.66E+04	1.74E+04	1.03E+04	2.04E+03	9.50E+00	4.84E+00	5.02E+00	1.85E+00	2.14E+00	2.87E+00
2.50E+00	3.33E+06	1.44E+06	4.44E+02	2.92E+02	4.05E+01	1.80E+01	8.70E+00	4.59E+00	4.74E+00	1.64E+00	8.66E-01	1.35E+00
3.00E+00	1.18E+05	5.76E+04	5.11E+01	3.92E+01	2.99E+01	1.33E+01	5.85E+00	2.80E+00	3.38E+00	1.28E+00	4.89E-01	3.48E-01
4.00E+00	3.05E+04	1.28E+04	6.27E+01	4.64E+01	3.60E+01	1.54E+01	6.79E+00	3.54E+00	3.40E+00	1.28E+00	5.59E-01	3.11E-01
5.00E+00	1.24E+02	1.22E+02	4.56E+01	3.35E+01	2.56E+01	1.12E+01	4.77E+00	2.19E+00	2.80E+00	9.50E-01	4.38E-01	1.99E-01
6.50E+00	2.64E+02	2.52E+02	9.15E+01	7.08E+01	5.40E+01	2.30E+01	9.94E+00	5.08E+00	4.86E+00	1.68E+00	6.25E-01	3.70E-01
8.00E+00	2.52E+02	2.40E+02	9.09E+01	6.81E+01	5.38E+01	2.18E+01	9.81E+00	4.87E+00	4.91E+00	1.66E+00	6.14E-01	3.60E-01
1.00E+01	2.86E+01	2.78E+01	1.07E+01	8.38E+00	6.47E+00	2.89E+00	1.47E+00	6.45E-01	6.25E-01	2.00E-01	7.01E-02	4.09E-02
TOTAL	3.67E+09	2.87E+09	5.17E+08	4.02E+08	3.16E+08	9.81E+07	2.12E+04	1.15E+04	1.83E+04	1.22E+04	1.48E+04	1.92E+04

添付表 7-1 (9/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 8cm

1.33E+00 1.66E+00

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.40E+01	1.39E+01	5.28E+00	3.99E+00	2.74E+00	1.27E+00	5.41E-01	2.40E-01	2.52E-01	9.39E-02	3.52E-02	1.98E-02
1.12E-06	7.71E+01	7.40E+01	2.80E+01	2.10E+01	1.62E+01	7.09E+00	2.98E+00	1.45E+00	1.42E+00	5.05E-01	1.90E-01	1.09E-01
3.06E-06	2.68E+02	2.57E+02	9.89E+01	7.37E+01	5.62E+01	2.33E+01	9.81E+00	5.09E+00	4.97E+00	1.74E+00	6.57E-01	3.86E-01
1.07E-05	8.40E+02	8.00E+02	3.04E+02	2.27E+02	1.75E+02	7.29E+01	3.05E+01	1.55E+01	1.56E+01	5.38E+00	2.03E+00	1.18E+00
2.90E-05	1.27E+03	1.21E+03	4.61E+02	3.43E+02	2.61E+02	1.10E+02	4.64E+01	2.29E+01	2.37E+01	8.15E+00	3.10E+00	1.78E+00
1.01E-04	2.49E+03	2.38E+03	9.09E+02	6.72E+02	5.20E+02	2.20E+02	9.24E+01	4.62E+01	4.68E+01	1.60E+01	6.08E+00	3.52E+00
5.83E-04	5.12E+03	4.91E+03	1.86E+03	1.40E+03	1.06E+03	4.54E+02	1.92E+02	9.61E+01	9.64E+01	3.31E+01	1.25E+01	7.21E+00
3.35E-03	9.46E+03	9.01E+03	3.46E+03	2.58E+03	1.98E+03	8.37E+02	3.56E+02	1.77E+02	1.78E+02	6.06E+01	2.31E+01	1.33E+01
1.11E-01	4.31E+04	4.11E+04	1.58E+04	1.18E+04	9.09E+03	3.94E+03	1.68E+03	8.40E+02	8.38E+02	2.82E+02	1.05E+02	6.09E+01
5.50E-01	3.95E+04	3.77E+04	1.48E+04	1.11E+04	8.67E+03	3.99E+03	1.74E+03	8.54E+02	8.55E+02	2.73E+02	9.47E+01	5.65E+01
1.11E+00	1.13E+04	1.08E+04	4.31E+03	3.30E+03	2.58E+03	1.24E+03	5.47E+02	2.67E+02	2.66E+02	8.18E+01	2.68E+01	1.65E+01
1.83E+00	4.42E+03	4.20E+03	1.71E+03	1.31E+03	1.05E+03	5.34E+02	2.40E+02	1.16E+02	1.17E+02	3.42E+01	1.03E+01	6.53E+00
2.35E+00	1.42E+03	1.36E+03	5.61E+02	4.36E+02	3.51E+02	1.88E+02	8.61E+01	4.14E+01	4.17E+01	1.16E+01	3.28E+00	2.15E+00
2.46E+00	2.37E+02	2.25E+02	9.41E+01	7.50E+01	6.08E+01	3.35E+01	1.55E+01	7.28E+00	7.33E+00	2.02E+00	5.38E-01	3.58E-01
3.01E+00	7.54E+02	7.17E+02	3.04E+02	2.38E+02	1.94E+02	1.06E+02	4.94E+01	2.34E+01	2.33E+01	6.42E+00	1.72E+00	1.14E+00
4.06E+00	4.72E+02	4.45E+02	1.88E+02	1.45E+02	1.16E+02	6.17E+01	2.86E+01	1.36E+01	1.39E+01	3.86E+00	1.08E+00	6.93E-01
4.96E+00	1.51E+02	1.42E+02	5.74E+01	4.48E+01	3.44E+01	1.75E+01	7.77E+00	3.71E+00	3.61E+00	1.09E+00	3.25E-01	1.98E-01
6.36E+00	6.05E+01	5.80E+01	2.02E+01	1.40E+01	1.02E+01	2.90E+00	8.47E-01	5.41E-01	5.28E-01	2.87E-01	1.55E-01	8.00E-02
8.18E+00	1.71E+01	1.64E+01	5.46E+00	3.76E+00	2.59E+00	4.60E-01	8.58E-02	7.97E-02	7.97E-02	6.90E-02	4.49E-02	2.21E-02
1.00E+01	2.73E+00	2.62E+00	8.74E-01	6.00E-01	4.14E-01	7.36E-02	1.37E-02	1.27E-02	1.27E-02	1.10E-02	7.19E-03	3.54E-03
1.22E+01	8.09E-01	7.78E-01	2.59E-01	1.78E-01	1.23E-01	2.18E-02	4.07E-03	3.78E-03	3.78E-03	3.27E-03	2.13E-03	1.05E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.21E+05	1.15E+05	4.49E+04	3.38E+04	2.62E+04	1.18E+04	5.12E+03	2.53E+03	2.53E+03	8.23E+02	2.91E+02	1.73E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	副化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	5.94E+05	4.31E+05	7.27E+04	5.43E+04	4.29E+04	1.33E+04	2.80E+00	1.56E+00	2.62E+00	1.24E+00	1.30E+00	1.40E+00
1.00E-01	4.74E+07	3.72E+07	7.12E+06	5.52E+06	4.33E+06	1.35E+06	2.92E+02	1.50E+02	2.32E+02	1.42E+02	1.35E+02	1.26E+02
2.00E-01	5.85E+08	4.59E+08	8.81E+07	6.88E+07	5.40E+07	1.68E+07	3.60E+03	1.85E+03	3.02E+03	1.79E+03	1.71E+03	1.60E+03
3.00E-01	5.19E+08	4.08E+08	7.91E+07	6.15E+07	4.85E+07	1.51E+07	3.20E+03	1.61E+03	2.58E+03	1.56E+03	1.49E+03	1.40E+03
4.00E-01	3.61E+08	2.84E+08	5.49E+07	4.29E+07	3.37E+07	1.05E+07	2.01E+03	9.66E+02	1.54E+03	9.41E+02	9.00E+02	8.84E+02
6.00E-01	3.76E+08	2.90E+08	4.50E+07	3.48E+07	2.73E+07	8.46E+06	1.62E+03	7.55E+02	1.19E+03	7.30E+02	7.20E+02	7.08E+02
8.00E-01	1.31E+08	9.44E+07	2.29E+06	1.24E+06	7.40E+05	1.25E+05	1.49E+02	1.22E+02	1.89E+02	1.07E+02	1.05E+02	1.04E+02
1 00E+00	4 29E+07	3 14E+07	1 32E+06	6 91E+05	3 84E+05	5 74E+04	1 15E+02	7_03E+01	9 23E+01	4 76E+01	4 06E+01	4 21E+01

2.00E+00	3.53E+06	1.57E+06	2.14E+04	1.40E+04	7.84E+03	1.58E+03	8.12E+00	4.22E+00	4.04E+00	1.38E+00	1.56E+00	2.06E+00
2.50E+00	2.28E+06	1.01E+06	6.33E+01	4.73E+01	3.72E+01	1.66E+01	7.62E+00	3.87E+00	4.09E+00	1.47E+00	6.76E-01	9.56E-01
3.00E+00	8.99E+04	4.63E+04	4.73E+01	3.43E+01	2.64E+01	1.18E+01	5.37E+00	2.65E+00	2.77E+00	1.03E+00	3.77E-01	2.55E-01
4.00E+00	1.99E+04	8.67E+03	5.54E+01	4.11E+01	3.18E+01	1.38E+01	5.78E+00	3.14E+00	3.14E+00	1.13E+00	4.91E-01	2.78E-01
5.00E+00	1.11E+02	1.05E+02	4.13E+01	3.05E+01	2.44E+01	1.01E+01	4.31E+00	2.23E+00	2.43E+00	7.62E-01	3.77E-01	1.78E-01
6.50E+00	2.34E+02	2.23E+02	8.68E+01	6.30E+01	5.01E+01	2.24E+01	8.64E+00	4.85E+00	4.36E+00	1.57E+00	5.64E-01	3.35E-01
8.00E+00	2.34E+02	2.27E+02	8.51E+01	6.57E+01	5.06E+01	2.07E+01	9.18E+00	4.68E+00	4.55E+00	1.58E+00	5.84E-01	3.34E-01
1.00E+01	3.05E+01	2.96E+01	1.14E+01	8.58E+00	6.39E+00	2.69E+00	1.32E+00	6.31E-01	5.96E-01	2.01E-01	7.43E-02	4.42E-02
TOTAL	2.10E+09	1.63E+09	2.79E+08	2.16E+08	1.69E+08	5.25E+07	1.16E+04	6.59E+03	1.04E+04	7.36E+03	1.01E+04	1.49E+04

2. 70E+07 1. 93E+07 1. 04E+06 5. 42E+05 2. 95E+05 4. 45E+04 4. 28E+01 3. 15E+01 4. 58E+01 2. 64E+01 2. 63E+01 2. 98E+01

4. 37E+06 2. 31E+06 9. 84E+04 5. 70E+04 3. 65E+04 7. 13E+03 9. 06E+00 4. 52E+00 4. 72E+00 1. 72E+00 2. 15E+00 4. 17E+00

添付表 7-1 (10/20) オーバーパックの	照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2	2]
--------------------------	-------------------------	----

0P内側表面から 9cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.42E+01	1.37E+01	4.77E+00	3.90E+00	2.79E+00	1.46E+00	5.44E-01	2.37E-01	2.55E-01	9.24E-02	3.33E-02	2.01E-02
1.12E-06	7.65E+01	7.35E+01	2.84E+01	2.12E+01	1.58E+01	7.14E+00	3.08E+00	1.49E+00	1.40E+00	4.98E-01	1.89E-01	1.10E-01
3.06E-06	2.66E+02	2.55E+02	9.63E+01	7.05E+01	5.52E+01	2.30E+01	9.96E+00	4.96E+00	4.95E+00	1.69E+00	6.47E-01	3.72E-01
1.07E-05	8.34E+02	7.98E+02	3.04E+02	2.27E+02	1.73E+02	7.18E+01	3.04E+01	1.53E+01	1.52E+01	5.34E+00	2.04E+00	1.18E+00
2.90E-05	1.22E+03	1.18E+03	4.42E+02	3.28E+02	2.52E+02	1.05E+02	4.44E+01	2.25E+01	2.26E+01	7.80E+00	2.99E+00	1.73E+00
1.01E-04	2.38E+03	2.27E+03	8.71E+02	6.40E+02	4.92E+02	2.08E+02	8.78E+01	4.43E+01	4.37E+01	1.52E+01	5.78E+00	3.36E+00
5.83E-04	4.73E+03	4.55E+03	1.73E+03	1.29E+03	9.86E+02	4.16E+02	1.77E+02	8.90E+01	8.95E+01	3.05E+01	1.15E+01	6.66E+00
3.35E-03	8.68E+03	8.29E+03	3.17E+03	2.35E+03	1.80E+03	7.64E+02	3.24E+02	1.62E+02	1.63E+02	5.57E+01	2.12E+01	1.22E+01
1.11E-01	3.93E+04	3.76E+04	1.45E+04	1.08E+04	8.29E+03	3.62E+03	1.54E+03	7.69E+02	7.65E+02	2.58E+02	9.56E+01	5.58E+01
5.50E-01	3.60E+04	3.44E+04	1.35E+04	1.02E+04	7.93E+03	3.66E+03	1.60E+03	7.86E+02	7.87E+02	2.50E+02	8.62E+01	5.15E+01
1.11E+00	9.89E+03	9.44E+03	3.76E+03	2.88E+03	2.26E+03	1.10E+03	4.89E+02	2.37E+02	2.37E+02	7.22E+01	2.34E+01	1.44E+01
1.83E+00	3.73E+03	3.57E+03	1.45E+03	1.12E+03	8.87E+02	4.56E+02	2.05E+02	9.79E+01	9.91E+01	2.89E+01	8.73E+00	5.54E+00
2.35E+00	1.18E+03	1.12E+03	4.63E+02	3.61E+02	2.90E+02	1.55E+02	7.03E+01	3.39E+01	3.37E+01	9.56E+00	2.72E+00	1.77E+00
2.46E+00	1.94E+02	1.85E+02	7.83E+01	6.03E+01	4.88E+01	2.74E+01	1.26E+01	5.79E+00	5.92E+00	1.61E+00	4.42E-01	2.88E-01
3.01E+00	6.10E+02	5.84E+02	2.47E+02	1.96E+02	1.56E+02	8.61E+01	4.00E+01	1.87E+01	1.88E+01	5.18E+00	1.40E+00	9.32E-01
4.06E+00	3.77E+02	3.54E+02	1.49E+02	1.18E+02	9.33E+01	5.04E+01	2.32E+01	1.10E+01	1.10E+01	3.09E+00	8.52E-01	5.55E-01
4.96E+00	1.24E+02	1.18E+02	4.73E+01	3.62E+01	2.79E+01	1.41E+01	6.15E+00	3.02E+00	2.92E+00	8.64E-01	2.59E-01	1.58E-01
6.36E+00	4.68E+01	4.47E+01	1.55E+01	1.10E+01	7.92E+00	2.19E+00	6.89E-01	4.30E-01	4.14E-01	2.24E-01	1.19E-01	6.13E-02
8.18E+00	1.43E+01	1.37E+01	4.57E+00	3.14E+00	2.17E+00	3.85E-01	7.18E-02	6.67E-02	6.67E-02	5.77E-02	3.76E-02	1.85E-02
1.00E+01	2.13E+00	2.04E+00	6.81E-01	4.68E-01	3.23E-01	5.74E-02	1.07E-02	9.93E-03	9.93E-03	8.60E-03	5.60E-03	2.76E-03
1.22E+01	4.47E-01	4.30E-01	1.43E-01	9.85E-02	6.79E-02	1.21E-02	2.25E-03	2.09E-03	2.09E-03	1.81E-03	1.18E-03	5.80E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.10E+05	1.05E+05	4.08E+04	3.07E+04	2.38E+04	1.08E+04	4.66E+03	2.30E+03	2.30E+03	7.47E+02	2.64E+02	1.57E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス間	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.37E+05	2.46E+05	3.63E+04	2.90E+04	2.25E+04	6.92E+03	1.61E+00	1.08E+00	1.38E+00	8.16E-01	8.32E-01	7.17E-01
1.00E-01	2.70E+07	2.14E+07	3.85E+06	3.00E+06	2.34E+06	7.34E+05	1.53E+02	8.10E+01	1.21E+02	7.55E+01	6.95E+01	6.60E+01
2.00E-01	3.34E+08	2.62E+08	4.75E+07	3.69E+07	2.89E+07	9.01E+06	1.96E+03	9.78E+02	1.58E+03	9.58E+02	9.03E+02	8.45E+02
3.00E-01	2.96E+08	2.33E+08	4.26E+07	3.31E+07	2.59E+07	8.10E+06	1.71E+03	8.46E+02	1.38E+03	8.29E+02	7.87E+02	7.65E+02
4.00E-01	2.06E+08	1.61E+08	2.97E+07	2.30E+07	1.80E+07	5.63E+06	1.09E+03	5.18E+02	8.23E+02	5.05E+02	4.84E+02	4.71E+02

5.00E 02	5.57E±05	2.46E+05	3.63E+04	2.90E+04	2.25E+04	6.92E+03	1.61E+00	1.08E+00	1.38E+00	8.16E-01	8.32E-01	7.17E-01
1.00E-01	2.70E+07	2.14E+07	3.85E+06	3.00E+06	2.34E+06	7.34E+05	1.53E+02	8.10E+01	1.21E+02	7.55E+01	6.95E+01	6.60E+01
2.00E-01	3.34E+08	2.62E+08	4.75E+07	3.69E+07	2.89E+07	9.01E+06	1.96E+03	9.78E+02	1.58E+03	9.58E+02	9.03E+02	8.45E+02
3.00E-01	2.96E+08	2.33E+08	4.26E+07	3.31E+07	2.59E+07	8.10E+06	1.71E+03	8.46E+02	1.38E+03	8.29E+02	7.87E+02	7.65E+02
4.00E-01	2.06E+08	1.61E+08	2.97E+07	2.30E+07	1.80E+07	5.63E+06	1.09E+03	5.18E+02	8.23E+02	5.05E+02	4.84E+02	4.71E+02
6.00E-01	2.15E+08	1.65E+08	2.39E+07	1.84E+07	1.43E+07	4.43E+06	8.85E+02	4.16E+02	6.48E+02	3.95E+02	3.92E+02	3.87E+02
8.00E-01	7.75E+07	5.63E+07	1.42E+06	7.74E+05	4.56E+05	7.70E+04	9.90E+01	7.52E+01	1.16E+02	6.61E+01	6.42E+01	6.35E+01
1.00E+00	2.65E+07	1.92E+07	8.35E+05	4.37E+05	2.40E+05	3.62E+04	8.74E+01	5.08E+01	6.49E+01	3.24E+01	2.60E+01	2.61E+01
1.33E+00	1.69E+07	1.21E+07	6.47E+05	3.36E+05	1.81E+05	2.81E+04	2.75E+01	2.02E+01	2.92E+01	1.59E+01	1.63E+01	1.89E+01
1.66E+00	2.98E+06	1.60E+06	6.16E+04	3.62E+04	2.28E+04	4.93E+03	7.41E+00	3.95E+00	3.89E+00	1.42E+00	1.70E+00	2.87E+00
2.00E+00	2.43E+06	1.07E+06	1.38E+04	8.87E+03	4.85E+03	9.75E+02	7.04E+00	3.65E+00	3.39E+00	1.18E+00	1.01E+00	1.54E+00
2.50E+00	1.54E+06	6.79E+05	5.71E+01	4.29E+01	3.31E+01	1.47E+01	6.52E+00	3.32E+00	3.52E+00	1.26E+00	6.03E-01	7.05E-01
3.00E+00	7.40E+04	3.68E+04	4.13E+01	3.17E+01	2.55E+01	1.06E+01	4.87E+00	2.25E+00	2.45E+00	8.69E-01	3.37E-01	2.16E-01
4.00E+00	1.25E+04	3.82E+03	5.02E+01	3.90E+01	2.81E+01	1.30E+01	5.35E+00	2.75E+00	2.66E+00	9.91E-01	3.86E-01	2.47E-01
5.00E+00	1.09E+02	1.06E+02	4.08E+01	3.14E+01	2.27E+01	9.66E+00	3.93E+00	2.16E+00	2.11E+00	7.27E-01	3.30E-01	1.52E-01
6.50E+00	2.28E+02	2.20E+02	8.50E+01	6.30E+01	4.78E+01	2.10E+01	8.90E+00	4.46E+00	4.32E+00	1.47E+00	5.55E-01	3.19E-01
8.00E+00	2.24E+02	2.12E+02	8.11E+01	6.01E+01	4.53E+01	2.01E+01	8.66E+00	4.34E+00	4.09E+00	1.42E+00	5.32E-01	3.16E-01
1.00E+01	2.97E+01	2.69E+01	1.05E+01	7.81E+00	5.72E+00	2.58E+00	1.09E+00	5.33E-01	4.91E-01	1.81E-01	7.05E-02	4.20E-02
TOTAL	1.21E+09	9.33E+08	1.50E+08	1.16E+08	9.05E+07	2.81E+07	6.57E+03	4.01E+03	6.29E+03	4.89E+03	7.75E+03	1.27E+04

添付表 7-1 (11/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 10cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.29E+01	1.24E+01	4.50E+00	3.45E+00	2.60E+00	1.14E+00	4.87E-01	2.09E-01	2.31E-01	8.47E-02	2.96E-02	1.81E-02
1.12E-06	7.32E+01	7.10E+01	2.71E+01	2.04E+01	1.54E+01	6.66E+00	2.76E+00	1.47E+00	1.42E+00	4.90E-01	1.76E-01	1.07E-01
3.06E-06	2.57E+02	2.44E+02	9.32E+01	6.77E+01	5.31E+01	2.29E+01	9.36E+00	4.90E+00	4.65E+00	1.63E+00	6.22E-01	3.56E-01
1.07E-05	7.96E+02	7.70E+02	2.91E+02	2.18E+02	1.66E+02	6.99E+01	2.94E+01	1.48E+01	1.45E+01	5.13E+00	1.96E+00	1.13E+00
2.90E-05	1.16E+03	1.10E+03	4.20E+02	3.15E+02	2.40E+02	1.00E+02	4.26E+01	2.15E+01	2.10E+01	7.40E+00	2.83E+00	1.63E+00
1.01E-04	2.21E+03	2.12E+03	8.03E+02	5.99E+02	4.58E+02	1.96E+02	8.17E+01	4.17E+01	4.14E+01	1.43E+01	5.38E+00	3.11E+00
5.83E-04	4.39E+03	4.18E+03	1.59E+03	1.19E+03	9.08E+02	3.80E+02	1.64E+02	8.13E+01	8.23E+01	2.83E+01	1.07E+01	6.17E+00
3.35E-03	7.85E+03	7.51E+03	2.87E+03	2.14E+03	1.64E+03	6.94E+02	2.95E+02	1.48E+02	1.50E+02	5.03E+01	1.92E+01	1.11E+01
1.11E-01	3.58E+04	3.43E+04	1.32E+04	9.87E+03	7.58E+03	3.29E+03	1.41E+03	7.02E+02	7.01E+02	2.36E+02	8.71E+01	5.08E+01
5.50E-01	3.27E+04	3.12E+04	1.22E+04	9.26E+03	7.21E+03	3.33E+03	1.46E+03	7.14E+02	7.14E+02	2.27E+02	7.83E+01	4.68E+01
1.11E+00	8.65E+03	8.27E+03	3.30E+03	2.53E+03	1.98E+03	9.61E+02	4.28E+02	2.08E+02	2.07E+02	6.33E+01	2.05E+01	1.26E+01
1.83E+00	3.17E+03	3.03E+03	1.23E+03	9.54E+02	7.57E+02	3.87E+02	1.76E+02	8.41E+01	8.46E+01	2.47E+01	7.41E+00	4.69E+00
2.35E+00	9.76E+02	9.26E+02	3.79E+02	2.98E+02	2.40E+02	1.27E+02	5.82E+01	2.76E+01	2.78E+01	7.88E+00	2.24E+00	1.45E+00
2.46E+00	1.54E+02	1.46E+02	6.05E+01	4.80E+01	3.92E+01	2.07E+01	1.02E+01	4.59E+00	4.69E+00	1.25E+00	3.52E-01	2.31E-01
3.01E+00	4.90E+02	4.67E+02	1.96E+02	1.54E+02	1.25E+02	6.89E+01	3.23E+01	1.52E+01	1.52E+01	4.19E+00	1.10E+00	7.35E-01
4.06E+00	3.00E+02	2.84E+02	1.18E+02	9.26E+01	7.44E+01	4.02E+01	1.82E+01	8.83E+00	8.79E+00	2.46E+00	6.70E-01	4.39E-01
4.96E+00	9.70E+01	9.36E+01	3.68E+01	2.87E+01	2.17E+01	1.04E+01	4.88E+00	2.39E+00	2.36E+00	6.71E-01	2.08E-01	1.25E-01
6.36E+00	3.83E+01	3.66E+01	1.27E+01	8.94E+00	6.47E+00	1.74E+00	5.47E-01	3.25E-01	3.47E-01	1.76E-01	9.68E-02	4.94E-02
8.18E+00	1.07E+01	1.03E+01	3.42E+00	2.35E+00	1.62E+00	2.88E-01	5.37E-02	4.99E-02	4.99E-02	4.32E-02	2.81E-02	1.38E-02
1.00E+01	1.74E+00	1.67E+00	5.58E-01	3.83E-01	2.64E-01	4.70E-02	8.76E-03	8.14E-03	8.14E-03	7.05E-03	4.59E-03	2.26E-03
1.22E+01	2.42E-01	2.33E-01	7.75E-02	5.33E-02	3.67E-02	6.53E-03	1.22E-03	1.13E-03	1.13E-03	9.79E-04	6.37E-04	3.14E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	9.92E+04	9.48E+04	3.69E+04	2.78E+04	2.15E+04	9.71E+03	4.22E+03	2.08E+03	2.08E+03	6.75E+02	2.39E+02	1.42E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期	間 [年]				

Energy					カフス国	间化体生成	俊の栓適界	月間 [牛]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.93E+05	1.45E+05	1.83E+04	1.44E+04	1.07E+04	3.73E+03	1.00E+00	6.60E-01	7.65E-01	3.80E-01	3.51E-01	3.30E-01
1.00E-01	1.55E+07	1.19E+07	2.06E+06	1.60E+06	1.24E+06	3.85E+05	8.24E+01	4.20E+01	6.55E+01	3.89E+01	3.88E+01	3.57E+01
2.00E-01	1.92E+08	1.49E+08	2.58E+07	1.99E+07	1.56E+07	4.82E+06	1.03E+03	5.15E+02	8.08E+02	4.97E+02	4.68E+02	4.53E+02
3.00E-01	1.70E+08	1.33E+08	2.31E+07	1.80E+07	1.40E+07	4.38E+06	9.22E+02	4.50E+02	7.39E+02	4.43E+02	4.26E+02	4.11E+02
4.00E-01	1.19E+08	9.23E+07	1.59E+07	1.24E+07	9.70E+06	3.00E+06	6.03E+02	2.90E+02	4.39E+02	2.73E+02	2.64E+02	2.54E+02
6.00E-01	1.25E+08	9.53E+07	1.28E+07	9.84E+06	7.65E+06	2.35E+06	4.86E+02	2.34E+02	3.62E+02	2.17E+02	2.14E+02	2.13E+02
8.00E-01	4.67E+07	3.40E+07	8.85E+05	4.82E+05	2.83E+05	4.73E+04	6.64E+01	4.66E+01	7.10E+01	3.92E+01	3.90E+01	3.81E+01
1.00E+00	1.62E+07	1.18E+07	5.26E+05	2.78E+05	1.53E+05	2.25E+04	6.51E+01	3.82E+01	4.73E+01	2.13E+01	1.70E+01	1.66E+01
1.33E+00	1.07E+07	7.51E+06	4.12E+05	2.07E+05	1.09E+05	1.79E+04	1.83E+01	1.35E+01	1.87E+01	9.87E+00	1.03E+01	1.21E+01
1.66E+00	2.09E+06	1.08E+06	4.15E+04	2.29E+04	1.41E+04	2.55E+03	5.86E+00	3.10E+00	3.20E+00	1.20E+00	1.23E+00	1.89E+00
2.00E+00	1.64E+06	7.11E+05	9.11E+03	7.26E+03	3.63E+03	6.70E+02	6.14E+00	2.87E+00	2.83E+00	9.36E-01	8.09E-01	1.10E+00
2.50E+00	1.02E+06	4.41E+05	4.90E+01	3.71E+01	2.92E+01	1.28E+01	5.81E+00	2.90E+00	2.95E+00	1.00E+00	4.41E-01	4.96E-01
3.00E+00	5.06E+04	2.10E+04	3.53E+01	2.72E+01	2.11E+01	8.89E+00	4.29E+00	2.09E+00	2.12E+00	7.82E-01	2.75E-01	1.67E-01
4.00E+00	6.94E+03	1.74E+03	4.51E+01	3.32E+01	2.63E+01	1.20E+01	4.83E+00	2.56E+00	2.51E+00	8.78E-01	3.25E-01	1.76E-01
5.00E+00	9.94E+01	9.25E+01	3.62E+01	2.76E+01	2.09E+01	8.95E+00	3.75E+00	2.04E+00	1.95E+00	6.55E-01	2.76E-01	1.39E-01
6.50E+00	2.13E+02	2.00E+02	7.67E+01	5.66E+01	4.39E+01	1.95E+01	8.11E+00	3.97E+00	3.85E+00	1.41E+00	5.13E-01	2.97E-01
8.00E+00	2.12E+02	2.02E+02	7.69E+01	5.69E+01	4.43E+01	1.81E+01	8.01E+00	3.92E+00	4.17E+00	1.35E+00	5.07E-01	2.96E-01
1.00E+01	2.44E+01	2.32E+01	9.32E+00	6.94E+00	5.45E+00	2.19E+00	1.06E+00	5.54E-01	4.92E-01	1.63E-01	5.83E-02	3.57E-02
TOTAL	6,99E+08	5.37E+08	8.15E+07	6.28E+07	4.88E+07	1.50E+07	3.83E+03	2.65E+03	4.08E+03	3.55E+03	6.48E+03	1.14E+04

添付表 7-1 (12/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 11cm

Energy					ガラス国	化体生成	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.24E+01	1.15E+01	4.53E+00	3.22E+00	2.62E+00	1.28E+00	4.64E-01	2.35E-01	2.54E-01	7.61E-02	2.97E-02	1.74E-0
1.12E-06	7.19E+01	6.90E+01	2.59E+01	1.95E+01	1.46E+01	6.17E+00	2.71E+00	1.36E+00	1.39E+00	4.72E-01	1.76E-01	1.02E-0
3.06E-06	2.43E+02	2.32E+02	8.93E+01	6.57E+01	5.03E+01	2.12E+01	9.10E+00	4.57E+00	4.38E+00	1.55E+00	5.95E-01	3.46E-0
1.07E-05	7.46E+02	7.11E+02	2.72E+02	2.02E+02	1.55E+02	6.55E+01	2.76E+01	1.36E+01	1.36E+01	4.83E+00	1.83E+00	1.06E+0
2.90E-05	1.07E+03	1.03E+03	3.90E+02	2.91E+02	2.21E+02	9.27E+01	3.95E+01	2.02E+01	2.00E+01	6.88E+00	2.61E+00	1.51E+0
1.01E-04	2.05E+03	1.97E+03	7.51E+02	5.58E+02	4.25E+02	1.81E+02	7.57E+01	3.81E+01	3.79E+01	1.31E+01	4.99E+00	2.89E+0
5.83E-04	3.92E+03	3.75E+03	1.43E+03	1.07E+03	8.12E+02	3.48E+02	1.46E+02	7.35E+01	7.33E+01	2.53E+01	9.57E+00	5.53E+0
3.35E-03	7.04E+03	6.75E+03	2.57E+03	1.91E+03	1.47E+03	6.23E+02	2.64E+02	1.34E+02	1.34E+02	4.53E+01	1.72E+01	9.95E+0
1.11E-01	3.25E+04	3.11E+04	1.19E+04	8.93E+03	6.87E+03	2.99E+03	1.27E+03	6.36E+02	6.38E+02	2.14E+02	7.89E+01	4.60E+
5.50E-01	2.95E+04	2.81E+04	1.10E+04	8.35E+03	6.50E+03	3.00E+03	1.32E+03	6.46E+02	6.44E+02	2.05E+02	7.05E+01	4.22E+
1.11E+00	7.55E+03	7.19E+03	2.88E+03	2.20E+03	1.73E+03	8.40E+02	3.74E+02	1.82E+02	1.82E+02	5.52E+01	1.78E+01	1.10E+
1.83E+00	2.67E+03	2.55E+03	1.04E+03	8.05E+02	6.38E+02	3.26E+02	1.49E+02	7.10E+01	7.08E+01	2.08E+01	6.28E+00	3.97E+
2.35E+00	7.87E+02	7.45E+02	3.10E+02	2.44E+02	1.98E+02	1.04E+02	4.83E+01	2.28E+01	2.29E+01	6.43E+00	1.81E+00	1.18E+
2.46E+00	1.30E+02	1.23E+02	5.06E+01	3.98E+01	3.22E+01	1.74E+01	8.07E+00	3.75E+00	3.82E+00	1.06E+00	2.88E-01	1.92E-
3.01E+00	3.92E+02	3.74E+02	1.59E+02	1.25E+02	1.01E+02	5.57E+01	2.59E+01	1.21E+01	1.21E+01	3.35E+00	8.98E-01	5.97E-
4.06E+00	2.40E+02	2.30E+02	9.44E+01	7.39E+01	6.10E+01	3.23E+01	1.47E+01	6.90E+00	7.00E+00	1.97E+00	5.48E-01	3.53E-
4.96E+00	7.68E+01	7.45E+01	2.95E+01	2.27E+01	1.76E+01	8.44E+00	3.81E+00	1.90E+00	1.90E+00	5.48E-01	1.67E-01	1.02E-
6.36E+00	3.10E+01	2.95E+01	1.05E+01	7.28E+00	5.15E+00	1.41E+00	4.48E-01	2.44E-01	2.58E-01	1.43E-01	7.93E-02	4.09E-
8.18E+00	1.03E+01	9.87E+00	3.29E+00	2.26E+00	1.56E+00	2.77E-01	5.16E-02	4.80E-02	4.80E-02	4.15E-02	2.70E-02	1.33E-
1.00E+01	1.62E+00	1.56E+00	5.18E-01	3.56E-01	2.46E-01	4.37E-02	8.14E-03	7.56E-03	7.56E-03	6.55E-03	4.26E-03	2.10E-
1.22E+01	3.40E-01	3.27E-01	1.09E-01	7.49E-02	5.16E-02	9.18E-03	1.71E-03	1.59E-03	1.59E-03	1.38E-03	8.96E-04	4.41E-
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+										
TOTAL	8.90E+04	8.50E+04	3.31E+04	2.49E+04	1.93E+04	8.72E+03	3.78E+03	1.87E+03	1.87E+03	6.06E+02	2.14E+02	1.27E+

Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.17E+05	8.21E+04	1.24E+04	8.49E+03	6.22E+03	1.84E+03	5.79E-01	2.41E-01	4.02E-01	1.83E-01	1.82E-01	1.81E-01
1.00E-01	8.95E+06	7.02E+06	1.10E+06	8.63E+05	6.86E+05	2.07E+05	4.63E+01	2.17E+01	3.68E+01	2.04E+01	2.04E+01	2.07E+01
2.00E-01	1.11E+08	8.60E+07	1.38E+07	1.07E+07	8.37E+06	2.58E+06	5.72E+02	2.85E+02	4.39E+02	2.67E+02	2.55E+02	2.43E+02
3.00E-01	9.91E+07	7.64E+07	1.26E+07	9.69E+06	7.60E+06	2.34E+06	5.15E+02	2.40E+02	3.78E+02	2.36E+02	2.24E+02	2.22E+02
4.00E-01	6.82E+07	5.30E+07	8.69E+06	6.68E+06	5.24E+06	1.62E+06	3.25E+02	1.57E+02	2.45E+02	1.48E+02	1.42E+02	1.41E+02
6.00E-01	7.25E+07	5.51E+07	6.88E+06	5.24E+06	4.05E+06	1.24E+06	2.79E+02	1.37E+02	2.04E+02	1.23E+02	1.20E+02	1.18E+02
8.00E-01	2.82E+07	2.05E+07	5.61E+05	2.98E+05	1.73E+05	2.92E+04	4.54E+01	3.08E+01	4.68E+01	2.50E+01	2.38E+01	2.38E+01
1.00E+00	1.02E+07	7.35E+06	3.24E+05	1.79E+05	9.87E+04	1.46E+04	5.22E+01	2.98E+01	3.43E+01	1.52E+01	1.16E+01	1.10E+01
1.33E+00	6.86E+06	4.77E+06	2.61E+05	1.30E+05	7.01E+04	1.17E+04	1.31E+01	9.11E+00	1.25E+01	6.11E+00	6.37E+00	7.93E+00
1.66E+00	1.46E+06	7.23E+05	2.82E+04	1.44E+04	8.71E+03	1.78E+03	5.16E+00	2.61E+00	2.69E+00	9.35E-01	7.93E-01	1.21E+00
2.00E+00	1.12E+06	4.96E+05	6.47E+03	5.58E+03	2.71E+03	5.06E+02	5.45E+00	2.56E+00	2.48E+00	8.06E-01	5.59E-01	7.27E-01
2.50E+00	6.96E+05	2.99E+05	4.46E+01	3.35E+01	2.63E+01	1.13E+01	5.29E+00	2.61E+00	2.59E+00	9.31E-01	3.75E-01	4.10E-01
3.00E+00	3.84E+04	1.27E+04	3.35E+01	2.56E+01	1.97E+01	8.25E+00	3.66E+00	1.91E+00	1.83E+00	7.18E-01	2.52E-01	1.60E-01
4.00E+00	3.79E+03	1.67E+03	4.24E+01	3.17E+01	2.45E+01	1.01E+01	4.42E+00	2.25E+00	2.32E+00	8.25E-01	3.12E-01	1.64E-01
5.00E+00	8.80E+01	8.32E+01	3.22E+01	2.37E+01	1.84E+01	7.97E+00	3.27E+00	1.66E+00	1.72E+00	5.90E-01	2.44E-01	1.21E-01
6.50E+00	1.90E+02	1.81E+02	7.01E+01	5.19E+01	4.13E+01	1.73E+01	7.24E+00	3.68E+00	3.60E+00	1.26E+00	4.63E-01	2.67E-01
8.00E+00	1.99E+02	1.87E+02	7.09E+01	5.36E+01	4.06E+01	1.82E+01	7.34E+00	3.82E+00	3.70E+00	1.26E+00	4.77E-01	2.76E-01
1.00E+01	2.11E+01	1.93E+01	7.68E+00	5.59E+00	4.36E+00	2.08E+00	9.38E-01	4.47E-01	4.38E-01	1.57E-01	5.03E-02	3.15E-02
TOTAL	4.08E+08	3.12E+08	4.42E+07	3.38E+07	2.63E+07	8.05E+06	2.39E+03	1.93E+03	2.92E+03	2.85E+03	5.81E+03	1.08E+04

添付表 7-1 (13/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 12cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.37E+01	1.23E+01	4.87E+00	3.65E+00	2.58E+00	1.22E+00	4.53E-01	2.07E-01	2.20E-01	7.97E-02	3.24E-02	1.91E-02
1.12E-06	6.65E+01	6.38E+01	2.36E+01	1.83E+01	1.36E+01	5.73E+00	2.47E+00	1.25E+00	1.23E+00	4.28E-01	1.62E-01	9.61E-02
3.06E-06	2.24E+02	2.13E+02	8.22E+01	6.08E+01	4.71E+01	1.99E+01	8.44E+00	4.09E+00	4.02E+00	1.44E+00	5.48E-01	3.16E-01
1.07E-05	6.80E+02	6.50E+02	2.50E+02	1.86E+02	1.42E+02	6.03E+01	2.56E+01	1.27E+01	1.27E+01	4.37E+00	1.66E+00	9.66E-01
2.90E-05	9.67E+02	9.26E+02	3.55E+02	2.62E+02	2.02E+02	8.57E+01	3.61E+01	1.87E+01	1.81E+01	6.27E+00	2.36E+00	1.37E+00
1.01E-04	1.85E+03	1.77E+03	6.76E+02	4.98E+02	3.83E+02	1.62E+02	6.80E+01	3.43E+01	3.45E+01	1.19E+01	4.49E+00	2.61E+00
5.83E-04	3.48E+03	3.32E+03	1.27E+03	9.44E+02	7.26E+02	3.06E+02	1.30E+02	6.53E+01	6.57E+01	2.24E+01	8.45E+00	4.89E+00
3.35E-03	6.20E+03	5.93E+03	2.27E+03	1.69E+03	1.29E+03	5.49E+02	2.34E+02	1.18E+02	1.17E+02	4.00E+01	1.52E+01	8.76E+00
1.11E-01	2.92E+04	2.79E+04	1.08E+04	8.03E+03	6.18E+03	2.69E+03	1.15E+03	5.75E+02	5.74E+02	1.93E+02	7.09E+01	4.14E+01
5.50E-01	2.63E+04	2.51E+04	9.85E+03	7.47E+03	5.81E+03	2.69E+03	1.18E+03	5.81E+02	5.81E+02	1.84E+02	6.30E+01	3.78E+01
1.11E+00	6.54E+03	6.23E+03	2.50E+03	1.91E+03	1.50E+03	7.32E+02	3.28E+02	1.59E+02	1.58E+02	4.81E+01	1.54E+01	9.50E+00
1.83E+00	2.24E+03	2.13E+03	8.72E+02	6.75E+02	5.35E+02	2.71E+02	1.24E+02	5.96E+01	5.91E+01	1.74E+01	5.23E+00	3.32E+00
2.35E+00	6.44E+02	6.13E+02	2.55E+02	1.97E+02	1.60E+02	8.46E+01	3.87E+01	1.84E+01	1.85E+01	5.23E+00	1.48E+00	9.74E-01
2.46E+00	9.93E+01	9.41E+01	3.98E+01	3.12E+01	2.54E+01	1.37E+01	6.50E+00	2.95E+00	3.03E+00	8.45E-01	2.27E-01	1.49E-01
3.01E+00	3.15E+02	2.99E+02	1.26E+02	9.86E+01	8.06E+01	4.48E+01	2.07E+01	9.85E+00	9.90E+00	2.70E+00	7.12E-01	4.70E-01
4.06E+00	1.89E+02	1.84E+02	7.48E+01	5.91E+01	4.75E+01	2.60E+01	1.19E+01	5.56E+00	5.61E+00	1.57E+00	4.33E-01	2.79E-01
4.96E+00	6.23E+01	5.92E+01	2.39E+01	1.79E+01	1.45E+01	7.03E+00	3.12E+00	1.49E+00	1.49E+00	4.50E-01	1.33E-01	8.28E-02
6.36E+00	2.58E+01	2.48E+01	8.66E+00	6.09E+00	4.38E+00	1.23E+00	4.00E-01	2.13E-01	2.19E-01	1.21E-01	6.66E-02	3.43E-02
8.18E+00	8.13E+00	7.82E+00	2.60E+00	1.79E+00	1.23E+00	2.19E-01	4.09E-02	3.80E-02	3.80E-02	3.29E-02	2.14E-02	1.05E-02
1.00E+01	1.48E+00	1.42E+00	4.74E-01	3.26E-01	2.25E-01	3.99E-02	7.44E-03	6.91E-03	6.91E-03	5.98E-03	3.90E-03	1.92E-03
1.22E+01	2.47E-01	2.37E-01	7.90E-02	5.43E-02	3.74E-02	6.66E-03	1.24E-03	1.15E-03	1.15E-03	9.98E-04	6.50E-04	3.20E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	7.91E+04	7.56E+04	2.94E+04	2.22E+04	1.72E+04	7.76E+03	3.37E+03	1.67E+03	1.67E+03	5.40E+02	1.91E+02	1.13E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy					ガラス園	目化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	7.44E+04	5.11E+04	6.06E+03	4.69E+03	3.50E+03	1.11E+03	4.65E-01	2.27E-01	2.41E-01	1.15E-01	1.33E-01	1.15E-01
1.00E-01	5.33E+06	4.02E+06	6.26E+05	4.65E+05	3.55E+05	1.09E+05	2.69E+01	1.13E+01	2.07E+01	1.04E+01	1.10E+01	1.13E+01
2.00E-01	6.38E+07	4.91E+07	7.68E+06	5.86E+06	4.60E+06	1.41E+06	3.28E+02	1.64E+02	2.48E+02	1.46E+02	1.42E+02	1.37E+02
3.00E-01	5.75E+07	4.38E+07	6.84E+06	5.24E+06	4.10E+06	1.26E+06	2.80E+02	1.41E+02	2.21E+02	1.27E+02	1.25E+02	1.19E+02
4.00E-01	3.99E+07	3.07E+07	4.81E+06	3.61E+06	2.85E+06	8.86E+05	1.92E+02	8.80E+01	1.40E+02	8.33E+01	7.87E+01	7.67E+01
6.00E-01	4.26E+07	3.23E+07	3.70E+06	2.80E+06	2.16E+06	6.54E+05	1.64E+02	8.09E+01	1.21E+02	7.22E+01	6.82E+01	6.68E+01
8.00E-01	1.72E+07	1.25E+07	3.45E+05	1.90E+05	1.06E+05	1.89E+04	3.15E+01	2.07E+01	3.05E+01	1.61E+01	1.51E+01	1.51E+01
1.00E+00	6.45E+06	4.52E+06	2.07E+05	1.10E+05	6.30E+04	8.74E+03	4.15E+01	2.31E+01	2.50E+01	1.04E+01	7.19E+00	7.27E+00
1.33E+00	4.48E+06	3.01E+06	1.62E+05	8.47E+04	4.65E+04	7.55E+03	9.45E+00	6.41E+00	8.74E+00	4.07E+00	4.14E+00	5.28E+00
1.66E+00	9.92E+05	4.95E+05	1.85E+04	1.00E+04	5.49E+03	1.05E+03	4.69E+00	2.27E+00	2.38E+00	7.76E-01	5.61E-01	8.34E-01
2.00E+00	7.79E+05	3.51E+05	4.16E+03	3.80E+03	1.44E+03	3.19E+02	4.51E+00	2.17E+00	2.08E+00	6.54E-01	4.44E-01	5.58E-01
2.50E+00	4.58E+05	1.93E+05	3.92E+01	2.87E+01	2.29E+01	1.01E+01	4.25E+00	2.25E+00	2.19E+00	8.17E-01	3.37E-01	3.20E-01
3.00E+00	2.64E+04	1.08E+04	2.86E+01	2.09E+01	1.62E+01	7.35E+00	3.46E+00	1.70E+00	1.64E+00	5.82E-01	2.24E-01	1.36E-01
4.00E+00	3.65E+03	1.60E+03	3.70E+01	2.81E+01	2.13E+01	1.00E+01	3.93E+00	2.04E+00	1.90E+00	7.45E-01	2.79E-01	1.43E-01
5.00E+00	7.73E+01	7.33E+01	2.88E+01	2.18E+01	1.64E+01	7.28E+00	2.97E+00	1.51E+00	1.58E+00	5.28E-01	2.13E-01	1.10E-01
6.50E+00	1.80E+02	1.71E+02	6.54E+01	4.91E+01	3.83E+01	1.59E+01	6.96E+00	3.49E+00	3.31E+00	1.17E+00	4.39E-01	2.52E-01
8.00E+00	1.71E+02	1.64E+02	6.18E+01	4.74E+01	3.65E+01	1.60E+01	6.90E+00	3.34E+00	3.40E+00	1.10E+00	4.18E-01	2.44E-01
1.00E+01	2.08E+01	1.94E+01	7.41E+00	5.55E+00	4.37E+00	1.99E+00	8.01E-01	4.24E-01	3.81E-01	1.32E-01	5.02E-02	2.95E-02
TOTAL	2.40E+08	1.81E+08	2.44E+07	1.84E+07	1.43E+07	4.36E+06	1.61E+03	1.56E+03	2.33E+03	2.48E+03	5.45E+03	1.04E+04

添付表 7-1 (14/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 13cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成:	後の経過期	月間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.11E+01	1.02E+01	3.88E+00	3.06E+00	2.22E+00	9.94E-01	4.42E-01	1.90E-01	2.25E-01	6.93E-02	2.62E-02	1.56E-02
1.12E-06	6.09E+01	5.72E+01	2.19E+01	1.68E+01	1.27E+01	5.31E+00	2.29E+00	1.14E+00	1.17E+00	3.94E-01	1.48E-01	8.54E-02
3.06E-06	2.03E+02	1.93E+02	7.37E+01	5.42E+01	4.30E+01	1.83E+01	7.39E+00	3.81E+00	3.75E+00	1.30E+00	4.91E-01	2.86E-01
1.07E-05	6.20E+02	5.96E+02	2.26E+02	1.68E+02	1.28E+02	5.37E+01	2.29E+01	1.15E+01	1.14E+01	3.97E+00	1.52E+00	8.75E-01
2.90E-05	8.70E+02	8.29E+02	3.18E+02	2.37E+02	1.80E+02	7.69E+01	3.19E+01	1.63E+01	1.61E+01	5.60E+00	2.12E+00	1.23E+00
1.01E-04	1.62E+03	1.54E+03	5.90E+02	4.41E+02	3.36E+02	1.42E+02	5.98E+01	3.02E+01	3.01E+01	1.03E+01	3.93E+00	2.28E+00
5.83E-04	3.03E+03	2.89E+03	1.11E+03	8.23E+02	6.29E+02	2.66E+02	1.14E+02	5.72E+01	5.69E+01	1.94E+01	7.34E+00	4.27E+00
3.35E-03	5.40E+03	5.18E+03	1.98E+03	1.47E+03	1.13E+03	4.77E+02	2.04E+02	1.02E+02	1.02E+02	3.48E+01	1.32E+01	7.63E+00
1.11E-01	2.61E+04	2.49E+04	9.58E+03	7.17E+03	5.52E+03	2.40E+03	1.02E+03	5.13E+02	5.11E+02	1.72E+02	6.33E+01	3.69E+01
5.50E-01	2.32E+04	2.22E+04	8.72E+03	6.59E+03	5.15E+03	2.39E+03	1.04E+03	5.14E+02	5.13E+02	1.63E+02	5.56E+01	3.33E+01
1.11E+00	5.62E+03	5.36E+03	2.14E+03	1.63E+03	1.29E+03	6.27E+02	2.82E+02	1.37E+02	1.37E+02	4.14E+01	1.32E+01	8.14E+00
1.83E+00	1.87E+03	1.78E+03	7.30E+02	5.66E+02	4.47E+02	2.31E+02	1.05E+02	5.04E+01	5.08E+01	1.46E+01	4.35E+00	2.76E+00
2.35E+00	5.28E+02	5.07E+02	2.10E+02	1.63E+02	1.31E+02	7.10E+01	3.27E+01	1.54E+01	1.53E+01	4.35E+00	1.22E+00	7.92E-01
2.46E+00	7.88E+01	7.52E+01	3.18E+01	2.55E+01	2.03E+01	1.13E+01	5.10E+00	2.40E+00	2.35E+00	6.73E-01	1.82E-01	1.20E-01
3.01E+00	2.58E+02	2.46E+02	1.05E+02	8.08E+01	6.61E+01	3.59E+01	1.64E+01	7.84E+00	8.05E+00	2.18E+00	5.78E-01	3.78E-01
4.06E+00	1.54E+02	1.47E+02	6.06E+01	4.74E+01	3.78E+01	1.99E+01	9.36E+00	4.40E+00	4.40E+00	1.24E+00	3.47E-01	2.27E-01
4.96E+00	4.65E+01	4.51E+01	1.80E+01	1.39E+01	1.11E+01	5.32E+00	2.55E+00	1.18E+00	1.19E+00	3.35E-01	1.01E-01	6.19E-02
6.36E+00	2.02E+01	1.95E+01	6.81E+00	4.68E+00	3.41E+00	9.03E-01	3.13E-01	1.74E-01	1.69E-01	9.39E-02	5.26E-02	2.68E-02
8.18E+00	5.80E+00	5.57E+00	1.86E+00	1.28E+00	8.80E-01	1.56E-01	2.91E-02	2.71E-02	2.71E-02	2.34E-02	1.53E-02	7.51E-03
1.00E+01	1.14E+00	1.10E+00	3.66E-01	2.51E-01	1.73E-01	3.08E-02	5.75E-03	5.34E-03	5.34E-03	4.62E-03	3.01E-03	1.48E-03
1.22E+01	3.69E-01	3.55E-01	1.18E-01	8.13E-02	5.61E-02	9.96E-03	1.86E-03	1.72E-03	1.72E-03	1.49E-03	9.73E-04	4.79E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	6.97E+04	6.66E+04	2.59E+04	1.95E+04	1.51E+04	6.83E+03	2.96E+03	1.47E+03	1.46E+03	4.75E+02	1.68E+02	9.95E+01
		-										
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成	後の経過期	1間 [年]				

Energy		ガラス固化体生成後の経過期間[年]													
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000			
5.00E-02	3.97E+04	3.27E+04	3.89E+03	2.53E+03	1.85E+03	4.93E+02	2.51E-01	1.42E-01	1.58E-01	1.06E-01	9.55E-02	5.32E-02			
1.00E-01	3.08E+06	2.38E+06	3.17E+05	2.47E+05	1.88E+05	5.70E+04	1.60E+01	6.61E+00	1.29E+01	6.57E+00	5.32E+00	5.19E+00			
2.00E-01	3.75E+07	2.86E+07	4.11E+06	3.12E+06	2.48E+06	7.51E+05	1.94E+02	9.31E+01	1.39E+02	8.11E+01	7.42E+01	7.26E+01			
3.00E-01	3.41E+07	2.59E+07	3.73E+06	2.85E+06	2.24E+06	6.90E+05	1.62E+02	7.83E+01	1.20E+02	7.15E+01	6.61E+01	6.64E+01			
4.00E-01	2.32E+07	1.78E+07	2.57E+06	1.98E+06	1.55E+06	4.76E+05	1.08E+02	4.93E+01	7.70E+01	4.68E+01	4.35E+01	4.47E+01			
6.00E-01	2.53E+07	1.91E+07	2.00E+06	1.51E+06	1.15E+06	3.46E+05	9.63E+01	4.98E+01	7.05E+01	4.13E+01	3.85E+01	3.78E+01			
8.00E-01	1.05E+07	7.50E+06	2.19E+05	1.15E+05	6.67E+04	1.06E+04	2.28E+01	1.54E+01	1.99E+01	1.03E+01	9.40E+00	9.11E+00			
1.00E+00	4.07E+06	2.84E+06	1.37E+05	7.12E+04	3.99E+04	5.38E+03	3.34E+01	1.74E+01	1.82E+01	7.23E+00	4.78E+00	4.93E+00			
1.33E+00	2.93E+06	1.93E+06	1.04E+05	5.53E+04	2.94E+04	5.30E+03	7.01E+00	4.70E+00	6.06E+00	2.68E+00	2.59E+00	3.26E+00			
1.66E+00	6.95E+05	3.35E+05	1.22E+04	5.83E+03	3.65E+03	7.51E+02	4.08E+00	1.93E+00	2.00E+00	6.84E-01	4.91E-01	5.46E-01			
2.00E+00	5.57E+05	2.51E+05	2.79E+03	2.64E+03	8.95E+02	1.70E+02	3.68E+00	1.83E+00	1.78E+00	5.60E-01	3.57E-01	3.89E-01			
2.50E+00	3.17E+05	1.38E+05	3.35E+01	2.54E+01	2.11E+01	8.51E+00	3.92E+00	1.85E+00	1.99E+00	7.24E-01	2.80E-01	2.42E-01			
3.00E+00	1.57E+04	8.37E+03	2.53E+01	1.80E+01	1.44E+01	6.15E+00	2.94E+00	1.52E+00	1.43E+00	5.26E-01	1.97E-01	1.25E-01			
4.00E+00	4.39E+03	1.53E+03	3.31E+01	2.43E+01	1.86E+01	8.70E+00	3.38E+00	1.82E+00	1.85E+00	6.06E-01	2.35E-01	1.41E-01			
5.00E+00	6.90E+01	6.61E+01	2.45E+01	1.86E+01	1.49E+01	6.15E+00	2.77E+00	1.33E+00	1.26E+00	4.58E-01	1.78E-01	9.71E-02			
6.50E+00	1.59E+02	1.51E+02	5.86E+01	4.28E+01	3.34E+01	1.35E+01	6.02E+00	2.99E+00	3.04E+00	1.01E+00	3.86E-01	2.26E-01			
8.00E+00	1.56E+02	1.45E+02	5.62E+01	4.21E+01	3.22E+01	1.36E+01	6.06E+00	2.98E+00	3.03E+00	1.00E+00	3.73E-01	2.15E-01			
1.00E+01	1.68E+01	1.53E+01	6.27E+00	4.51E+00	3.43E+00	1.52E+00	7.14E-01	3.15E-01	3.21E-01	1.23E-01	3.93E-02	2.54E-02			
TOTAL	1.42E+08	1.07E+08	1.32E+07	9.96E+06	7.75E+06	2.34E+06	1.17E+03	1.33E+03	1.98E+03	2.27E+03	5.25E+03	1.02E+04			

添付表 7-1 (15/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 14cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	9.49E+00	9.64E+00	3.47E+00	2.66E+00	2.09E+00	9.26E-01	4.00E-01	1.93E-01	1.63E-01	5.85E-02	2.29E-02	1.42E-02
1.12E-06	5.15E+01	4.93E+01	1.86E+01	1.41E+01	1.08E+01	4.69E+00	2.07E+00	9.59E-01	1.04E+00	3.41E-01	1.26E-01	7.32E-02
3.06E-06	1.83E+02	1.72E+02	6.69E+01	4.83E+01	3.75E+01	1.54E+01	6.41E+00	3.38E+00	3.34E+00	1.16E+00	4.46E-01	2.57E-01
1.07E-05	5.39E+02	5.17E+02	1.97E+02	1.45E+02	1.12E+02	4.73E+01	2.01E+01	1.01E+01	9.90E+00	3.45E+00	1.31E+00	7.62E-01
2.90E-05	7.52E+02	7.15E+02	2.73E+02	2.03E+02	1.56E+02	6.68E+01	2.79E+01	1.40E+01	1.41E+01	4.85E+00	1.83E+00	1.06E+00
1.01E-04	1.39E+03	1.32E+03	5.05E+02	3.76E+02	2.88E+02	1.23E+02	5.14E+01	2.63E+01	2.61E+01	8.87E+00	3.39E+00	1.95E+00
5.83E-04	2.60E+03	2.47E+03	9.49E+02	7.00E+02	5.41E+02	2.28E+02	9.70E+01	4.87E+01	4.86E+01	1.66E+01	6.32E+00	3.64E+00
3.35E-03	4.58E+03	4.38E+03	1.67E+03	1.24E+03	9.63E+02	4.07E+02	1.74E+02	8.73E+01	8.67E+01	2.95E+01	1.12E+01	6.45E+00
1.11E-01	2.28E+04	2.18E+04	8.38E+03	6.27E+03	4.84E+03	2.11E+03	9.02E+02	4.50E+02	4.50E+02	1.50E+02	5.54E+01	3.23E+01
5.50E-01	2.02E+04	1.94E+04	7.61E+03	5.76E+03	4.49E+03	2.08E+03	9.14E+02	4.47E+02	4.47E+02	1.42E+02	4.85E+01	2.90E+01
1.11E+00	4.77E+03	4.55E+03	1.83E+03	1.39E+03	1.10E+03	5.37E+02	2.41E+02	1.16E+02	1.16E+02	3.50E+01	1.13E+01	6.92E+00
1.83E+00	1.54E+03	1.48E+03	6.08E+02	4.71E+02	3.73E+02	1.93E+02	8.76E+01	4.22E+01	4.20E+01	1.21E+01	3.61E+00	2.28E+00
2.35E+00	4.23E+02	4.07E+02	1.69E+02	1.31E+02	1.05E+02	5.59E+01	2.59E+01	1.25E+01	1.23E+01	3.50E+00	9.84E-01	6.43E-01
2.46E+00	6.55E+01	6.13E+01	2.64E+01	1.97E+01	1.62E+01	9.04E+00	4.09E+00	1.92E+00	1.93E+00	5.47E-01	1.50E-01	9.89E-02
3.01E+00	2.09E+02	1.99E+02	8.43E+01	6.69E+01	5.29E+01	2.87E+01	1.34E+01	6.43E+00	6.42E+00	1.80E+00	4.69E-01	3.07E-01
4.06E+00	1.19E+02	1.15E+02	4.75E+01	3.75E+01	2.97E+01	1.61E+01	7.26E+00	3.46E+00	3.49E+00	9.74E-01	2.71E-01	1.79E-01
4.96E+00	3.74E+01	3.58E+01	1.42E+01	1.11E+01	9.02E+00	4.33E+00	1.89E+00	9.21E-01	8.59E-01	2.66E-01	7.97E-02	5.04E-02
6.36E+00	1.64E+01	1.57E+01	5.49E+00	3.79E+00	2.77E+00	7.81E-01	2.44E-01	1.38E-01	1.39E-01	7.63E-02	4.24E-02	2.18E-02
8.18E+00	4.24E+00	4.08E+00	1.36E+00	9.33E-01	6.44E-01	1.14E-01	2.13E-02	1.98E-02	1.98E-02	1.72E-02	1.12E-02	5.50E-03
1.00E+01	9.49E-01	9.12E-01	3.04E-01	2.09E-01	1.44E-01	2.56E-02	4.77E-03	4.43E-03	4.43E-03	3.84E-03	2.50E-03	1.23E-03
1.22E+01	2.02E-01	1.94E-01	6.47E-02	4.45E-02	3.07E-02	5.46E-03	1.02E-03	9.45E-04	9.45E-04	8.18E-04	5.33E-04	2.62E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	6.04E+04	5.77E+04	2.25E+04	1.69E+04	1.31E+04	5.93E+03	2.58E+03	1.27E+03	1.27E+03	4.11E+02	1.45E+02	8.61E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)
Energy					ガラス固	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
F												

Energy					カフス国	间化体生成	俊の栓適界	间[牛]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	2.40E+04	1.63E+04	2.09E+03	1.62E+03	1.15E+03	4.02E+02	2.06E-01	1.19E-01	1.23E-01	6.26E-02	3.73E-02	4.37E-02
1.00E-01	1.74E+06	1.35E+06	1.73E+05	1.26E+05	9.96E+04	2.98E+04	8.43E+00	4.45E+00	6.30E+00	3.78E+00	2.80E+00	3.08E+00
2.00E-01	2.19E+07	1.65E+07	2.20E+06	1.68E+06	1.32E+06	3.99E+05	1.14E+02	5.54E+01	7.68E+01	4.29E+01	3.99E+01	4.06E+01
3.00E-01	1.96E+07	1.50E+07	2.06E+06	1.58E+06	1.22E+06	3.74E+05	9.80E+01	4.80E+01	7.13E+01	4.07E+01	3.81E+01	3.70E+01
4.00E-01	1.37E+07	1.04E+07	1.40E+06	1.07E+06	8.48E+05	2.49E+05	6.39E+01	3.14E+01	4.41E+01	2.62E+01	2.44E+01	2.38E+01
6.00E-01	1.50E+07	1.12E+07	1.10E+06	8.16E+05	6.15E+05	1.84E+05	6.01E+01	3.13E+01	4.21E+01	2.42E+01	2.24E+01	2.22E+01
8.00E-01	6.52E+06	4.63E+06	1.36E+05	7.45E+04	4.37E+04	6.91E+03	1.64E+01	1.06E+01	1.33E+01	6.68E+00	5.91E+00	5.89E+00
1.00E+00	2.61E+06	1.82E+06	8.64E+04	4.50E+04	2.65E+04	3.84E+03	2.63E+01	1.36E+01	1.45E+01	5.58E+00	3.18E+00	3.12E+00
1.33E+00	1.90E+06	1.26E+06	6.92E+04	3.70E+04	1.77E+04	3.28E+03	5.15E+00	3.18E+00	4.14E+00	1.75E+00	1.71E+00	2.20E+00
1.66E+00	4.78E+05	2.23E+05	8.72E+03	3.87E+03	2.29E+03	4.96E+02	3.13E+00	1.54E+00	1.64E+00	5.91E-01	3.65E-01	3.68E-01
2.00E+00	3.71E+05	1.85E+05	1.81E+03	1.85E+03	6.23E+02	1.97E+02	3.20E+00	1.57E+00	1.56E+00	5.44E-01	2.89E-01	2.92E-01
2.50E+00	2.07E+05	9.08E+04	3.05E+01	2.23E+01	1.73E+01	7.13E+00	3.46E+00	1.70E+00	1.75E+00	6.14E-01	2.19E-01	1.92E-01
3.00E+00	1.26E+04	6.44E+03	2.18E+01	1.62E+01	1.29E+01	5.68E+00	2.54E+00	1.23E+00	1.28E+00	4.75E-01	1.70E-01	1.09E-01
4.00E+00	4.24E+03	1.47E+03	2.85E+01	2.07E+01	1.58E+01	7.65E+00	2.91E+00	1.55E+00	1.64E+00	5.43E-01	2.00E-01	1.09E-01
5.00E+00	6.39E+01	5.99E+01	2.28E+01	1.67E+01	1.30E+01	5.75E+00	2.58E+00	1.25E+00	1.23E+00	4.08E-01	1.67E-01	8.66E-02
6.50E+00	1.30E+02	1.26E+02	4.78E+01	3.59E+01	2.73E+01	1.21E+01	5.15E+00	2.56E+00	2.60E+00	8.54E-01	3.19E-01	1.86E-01
8.00E+00	1.32E+02	1.29E+02	4.94E+01	3.61E+01	2.84E+01	1.27E+01	5.25E+00	2.58E+00	2.58E+00	8.76E-01	3.31E-01	1.87E-01
1.00E+01	1.59E+01	1.46E+01	5.76E+00	4.11E+00	3.05E+00	1.40E+00	6.39E-01	2.94E-01	2.96E-01	9.59E-02	3.59E-02	2.07E-02
TOTAL	8.40E+07	6.27E+07	7.24E+06	5.44E+06	4.20E+06	1.25E+06	9.21E+02	1.21E+03	1.79E+03	2.16E+03	5.14E+03	1.01E+04

添付表 7-1 (16/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

OP内側表面から 15cm

1.00E+01

TOTAL

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成	後の経過期	月間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	8.21E+00	7.53E+00	2.99E+00	2.38E+00	1.70E+00	7.01E-01	3.48E-01	1.53E-01	1.50E-01	5.61E-02	2.01E-02	1.12E-02
1.12E-06	4.39E+01	4.13E+01	1.58E+01	1.20E+01	9.05E+00	4.15E+00	1.76E+00	8.64E-01	8.34E-01	2.81E-01	1.05E-01	6.33E-02
3.06E-06	1.51E+02	1.42E+02	5.51E+01	4.05E+01	3.07E+01	1.33E+01	5.58E+00	2.82E+00	2.85E+00	9.57E-01	3.59E-01	2.10E-01
1.07E-05	4.52E+02	4.32E+02	1.65E+02	1.22E+02	9.35E+01	3.91E+01	1.69E+01	8.35E+00	8.36E+00	2.89E+00	1.10E+00	6.40E-01
2.90E-05	6.22E+02	5.96E+02	2.28E+02	1.69E+02	1.29E+02	5.52E+01	2.33E+01	1.16E+01	1.17E+01	4.01E+00	1.53E+00	8.77E-01
1.01E-04	1.15E+03	1.10E+03	4.20E+02	3.11E+02	2.38E+02	1.00E+02	4.23E+01	2.16E+01	2.15E+01	7.35E+00	2.80E+00	1.62E+00
5.83E-04	2.15E+03	2.05E+03	7.82E+02	5.81E+02	4.47E+02	1.87E+02	8.00E+01	4.00E+01	3.96E+01	1.38E+01	5.23E+00	3.02E+00
3.35E-03	3.79E+03	3.63E+03	1.38E+03	1.03E+03	7.97E+02	3.38E+02	1.43E+02	7.21E+01	7.19E+01	2.46E+01	9.26E+00	5.38E+00
1.11E-01	1.98E+04	1.89E+04	7.26E+03	5.43E+03	4.18E+03	1.83E+03	7.80E+02	3.90E+02	3.89E+02	1.30E+02	4.80E+01	2.80E+01
5.50E-01	1.73E+04	1.65E+04	6.47E+03	4.91E+03	3.83E+03	1.79E+03	7.79E+02	3.83E+02	3.83E+02	1.21E+02	4.13E+01	2.48E+01
1.11E+00	3.99E+03	3.81E+03	1.52E+03	1.16E+03	9.19E+02	4.51E+02	2.02E+02	9.75E+01	9.77E+01	2.94E+01	9.41E+00	5.81E+00
1.83E+00	1.27E+03	1.21E+03	4.99E+02	3.87E+02	3.08E+02	1.59E+02	7.21E+01	3.43E+01	3.46E+01	9.97E+00	2.98E+00	1.89E+00
2.35E+00	3.45E+02	3.30E+02	1.39E+02	1.08E+02	8.72E+01	4.61E+01	2.13E+01	1.01E+01	1.00E+01	2.83E+00	7.97E-01	5.17E-01
2.46E+00	5.26E+01	5.03E+01	2.09E+01	1.60E+01	1.30E+01	7.11E+00	3.24E+00	1.62E+00	1.59E+00	4.50E-01	1.17E-01	7.96E-02
3.01E+00	1.66E+02	1.58E+02	6.75E+01	5.26E+01	4.24E+01	2.38E+01	1.11E+01	5.21E+00	5.27E+00	1.45E+00	3.81E-01	2.49E-01
4.06E+00	9.68E+01	9.32E+01	3.87E+01	3.05E+01	2.37E+01	1.26E+01	5.81E+00	2.75E+00	2.83E+00	8.09E-01	2.25E-01	1.45E-01
4.96E+00	3.04E+01	2.94E+01	1.18E+01	9.31E+00	7.05E+00	3.54E+00	1.55E+00	7.14E-01	7.47E-01	2.14E-01	6.57E-02	3.99E-02
6.36E+00	1.43E+01	1.36E+01	4.70E+00	3.33E+00	2.47E+00	6.73E-01	1.92E-01	1.16E-01	1.11E-01	6.59E-02	3.62E-02	1.87E-02
8.18E+00	4.05E+00	3.90E+00	1.30E+00	8.92E-01	6.15E-01	1.09E-01	2.04E-02	1.89E-02	1.89E-02	1.64E-02	1.07E-02	5.26E-03
1.00E+01	7.44E-01	7.15E-01	2.38E-01	1.64E-01	1.13E-01	2.01E-02	3.74E-03	3.48E-03	3.48E-03	3.01E-03	1.96E-03	9.65E-04
1.22E+01	1.48E-01	1.42E-01	4.75E-02	3.26E-02	2.25E-02	4.00E-03	7.46E-04	6.92E-04	6.92E-04	6.00E-04	3.90E-04	1.92E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	5.14E+04	4.91E+04	1.91E+04	1.44E+04	1.12E+04	5.05E+03	2.19E+03	1.08E+03	1.08E+03	3.51E+02	1.24E+02	7.34E+01
L	•							•				
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.58E+04	1.09E+04	1.08E+03	9.51E+02	6.11E+02	1.90E+02	1.09E-01	7.70E-02	1.18E-01	2.86E-02	1.92E-02	1.60E-02
1.00E-01	1.08E+06	8.73E+05	1.06E+05	7.60E+04	5.56E+04	1.68E+04	6.17E+00	3.12E+00	4.54E+00	2.00E+00	1.88E+00	2.19E+00
2.00E-01	1.33E+07	1.00E+07	1.24E+06	9.60E+05	7.31E+05	2.17E+05	6.43E+01	3.61E+01	4.98E+01	2.65E+01	2.20E+01	2.28E+01
3.00E-01	1.19E+07	8.85E+06	1.15E+06	8.73E+05	6.80E+05	2.01E+05	6.25E+01	3.32E+01	4.20E+01	2.32E+01	2.07E+01	2.04E+01
4.00E-01	8.14E+06	6.09E+06	7.78E+05	5.82E+05	4.44E+05	1.33E+05	3.81E+01	1.96E+01	2.90E+01	1.54E+01	1.45E+01	1.36E+01
6.00E-01	9.06E+06	6.74E+06	6.18E+05	4.48E+05	3.34E+05	9.98E+04	3.85E+01	2.09E+01	2.59E+01	1.48E+01	1.29E+01	1.26E+01
8.00E-01	4.09E+06	2.90E+06	9.20E+04	4.94E+04	2.83E+04	4.67E+03	1.29E+01	7.65E+00	9.29E+00	4.71E+00	3.67E+00	3.86E+00
1.00E+00	1.66E+06	1.15E+06	5.75E+04	3.14E+04	1.63E+04	2.40E+03	2.08E+01	1.05E+01	1.12E+01	4.04E+00	2.14E+00	2.08E+00
1.33E+00	1.24E+06	8.24E+05	4.65E+04	2.44E+04	1.10E+04	2.14E+03	4.24E+00	2.35E+00	2.68E+00	1.22E+00	1.13E+00	1.50E+00
1.66E+00	3.35E+05	1.59E+05	5.94E+03	2.32E+03	1.21E+03	2.17E+02	2.88E+00	1.44E+00	1.36E+00	5.05E-01	3.36E-01	3.17E-01
2.00E+00	2.65E+05	1.21E+05	8.09E+02	8.99E+02	4.24E+02	8.37E+01	2.56E+00	1.33E+00	1.29E+00	4.47E-01	2.00E-01	2.81E-01
2.50E+00	1.42E+05	6.57E+04	2.29E+01	1.77E+01	1.40E+01	5.96E+00	2.65E+00	1.34E+00	1.38E+00	4.87E-01	1.70E-01	1.42E-01
3.00E+00	1.14E+04	3.36E+03	1.78E+01	1.26E+01	1.02E+01	4.70E+00	2.23E+00	1.05E+00	1.03E+00	3.61E-01	1.44E-01	9.14E-02
4.00E+00	2.67E+03	1.79E+03	2.54E+01	1.83E+01	1.43E+01	6.31E+00	2.62E+00	1.33E+00	1.42E+00	4.72E-01	1.83E-01	9.39E-02
5.00E+00	5.06E+01	4.89E+01	1.95E+01	1.40E+01	1.10E+01	4.75E+00	2.09E+00	9.99E-01	9.48E-01	3.40E-01	1.35E-01	7.18E-02
6.50E+00	1.10E+02	1.07E+02	4.15E+01	2.98E+01	2.30E+01	1.06E+01	4.19E+00	2.15E+00	2.15E+00	7.29E-01	2.72E-01	1.58E-01
8.00E+00	1.15E+02	1.07E+02	4.16E+01	3.10E+01	2.41E+01	1.04E+01	4.46E+00	2.28E+00	2.30E+00	7.37E-01	2.77E-01	1.61E-01

 1. 27E+01
 1. 15E+01
 4. 43E+00
 3. 57E+00
 2. 43E+00
 1. 13E+00
 5. 75E-01
 2. 61E-01
 2. 87E-01
 9. 06E-02
 2. 97E-02
 1. 80E-02

 5. 12E+07
 3. 78E+07
 4. 09E+06
 3. 05E+06
 2. 30E+06
 6. 77E+05
 7. 72E+02
 1. 15E+03
 1. 69E+03
 2. 10E+03
 5. 08E+03
 1. 01E+04

添付表 7-1 (17/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 16cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期	月間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	6.57E+00	6.45E+00	2.57E+00	1.77E+00	1.41E+00	5.89E-01	2.52E-01	1.21E-01	1.28E-01	4.25E-02	1.68E-02	1.02E-02
1.12E-06	3.56E+01	3.40E+01	1.31E+01	9.33E+00	7.33E+00	3.25E+00	1.35E+00	6.87E-01	6.71E-01	2.29E-01	8.47E-02	4.93E-02
3.06E-06	1.19E+02	1.14E+02	4.27E+01	3.19E+01	2.42E+01	1.05E+01	4.38E+00	2.16E+00	2.22E+00	7.52E-01	2.89E-01	1.70E-01
1.07E-05	3.58E+02	3.45E+02	1.32E+02	9.66E+01	7.42E+01	3.15E+01	1.32E+01	6.71E+00	6.65E+00	2.32E+00	8.72E-01	5.10E-01
2.90E-05	4.99E+02	4.78E+02	1.82E+02	1.37E+02	1.04E+02	4.38E+01	1.84E+01	9.32E+00	9.39E+00	3.19E+00	1.22E+00	7.02E-01
1.01E-04	9.16E+02	8.81E+02	3.36E+02	2.49E+02	1.90E+02	7.97E+01	3.36E+01	1.71E+01	1.71E+01	5.85E+00	2.25E+00	1.29E+00
5.83E-04	1.66E+03	1.59E+03	6.11E+02	4.52E+02	3.47E+02	1.47E+02	6.29E+01	3.15E+01	3.17E+01	1.07E+01	4.07E+00	2.35E+00
3.35E-03	3.01E+03	2.88E+03	1.10E+03	8.22E+02	6.32E+02	2.69E+02	1.14E+02	5.72E+01	5.73E+01	1.95E+01	7.36E+00	4.26E+00
1.11E-01	1.66E+04	1.59E+04	6.12E+03	4.57E+03	3.53E+03	1.53E+03	6.57E+02	3.29E+02	3.27E+02	1.10E+02	4.03E+01	2.36E+01
5.50E-01	1.44E+04	1.37E+04	5.40E+03	4.09E+03	3.20E+03	1.49E+03	6.51E+02	3.19E+02	3.20E+02	1.01E+02	3.44E+01	2.06E+01
1.11E+00	3.28E+03	3.12E+03	1.25E+03	9.56E+02	7.56E+02	3.70E+02	1.67E+02	8.03E+01	8.06E+01	2.40E+01	7.72E+00	4.76E+00
1.83E+00	1.03E+03	9.82E+02	4.04E+02	3.12E+02	2.48E+02	1.29E+02	5.85E+01	2.79E+01	2.81E+01	8.16E+00	2.39E+00	1.52E+00
2.35E+00	2.78E+02	2.65E+02	1.12E+02	8.67E+01	6.97E+01	3.65E+01	1.70E+01	8.03E+00	8.12E+00	2.27E+00	6.39E-01	4.14E-01
2.46E+00	4.22E+01	3.94E+01	1.67E+01	1.33E+01	1.09E+01	5.83E+00	2.76E+00	1.30E+00	1.29E+00	3.66E-01	9.59E-02	6.12E-02
3.01E+00	1.36E+02	1.30E+02	5.42E+01	4.23E+01	3.42E+01	1.83E+01	8.62E+00	4.13E+00	4.03E+00	1.13E+00	3.11E-01	2.00E-01
4.06E+00	7.57E+01	7.23E+01	3.03E+01	2.38E+01	1.87E+01	9.76E+00	4.49E+00	2.15E+00	2.14E+00	6.05E-01	1.73E-01	1.12E-01
4.96E+00	2.64E+01	2.50E+01	1.01E+01	7.70E+00	6.02E+00	2.96E+00	1.29E+00	6.05E-01	6.25E-01	1.84E-01	5.47E-02	3.29E-02
6.36E+00	1.15E+01	1.10E+01	3.80E+00	2.68E+00	1.98E+00	4.89E-01	1.46E-01	9.26E-02	8.69E-02	5.15E-02	2.96E-02	1.53E-02
8.18E+00	3.11E+00	2.99E+00	9.95E-01	6.84E-01	4.72E-01	8.38E-02	1.56E-02	1.45E-02	1.45E-02	1.26E-02	8.18E-03	4.03E-03
1.00E+01	6.26E-01	6.01E-01	2.00E-01	1.38E-01	9.50E-02	1.69E-02	3.15E-03	2.92E-03	2.92E-03	2.53E-03	1.65E-03	8.11E-04
1.22E+01	1.09E-01	1.05E-01	3.49E-02	2.40E-02	1.65E-02	2.94E-03	5.48E-04	5.09E-04	5.09E-04	4.41E-04	2.87E-04	1.41E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	4.24E+04	4.06E+04	1.58E+04	1.19E+04	9.25E+03	4.18E+03	1.82E+03	8.98E+02	8.97E+02	2.90E+02	1.02E+02	6.07E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	国化体生成	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	9.12E+03	7.57E+03	4.99E+02	4.68E+02	3.42E+02	7.48E+01	1.41E-01	5.23E-02	8.30E-02	3.64E-02	1.10E-02	1.37E-02
1.00E-01	7.08E+05	4.66E+05	5.49E+04	3.94E+04	3.05E+04	9.55E+03	4.27E+00	1.92E+00	2.59E+00	1.42E+00	1.25E+00	1.17E+00

[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	9.12E+03	7.57E+03	4.99E+02	4.68E+02	3.42E+02	7.48E+01	1.41E-01	5.23E-02	8.30E-02	3.64E-02	1.10E-02	1.37E-02
1.00E-01	7.08E+05	4.66E+05	5.49E+04	3.94E+04	3.05E+04	9.55E+03	4.27E+00	1.92E+00	2.59E+00	1.42E+00	1.25E+00	1.17E+00
2.00E-01	7.89E+06	6.02E+06	6.94E+05	5.03E+05	4.04E+05	1.23E+05	4.18E+01	2.04E+01	2.75E+01	1.62E+01	1.38E+01	1.28E+01
3.00E-01	7.03E+06	5.18E+06	6.43E+05	4.71E+05	3.72E+05	1.15E+05	3.62E+01	1.99E+01	2.33E+01	1.40E+01	1.19E+01	1.20E+01
4.00E-01	4.72E+06	3.60E+06	4.26E+05	3.13E+05	2.49E+05	7.42E+04	2.57E+01	1.29E+01	1.76E+01	8.85E+00	7.57E+00	7.67E+00
6.00E-01	5.53E+06	4.06E+06	3.43E+05	2.47E+05	1.84E+05	5.42E+04	2.59E+01	1.50E+01	1.63E+01	9.00E+00	7.78E+00	7.62E+00
8.00E-01	2.56E+06	1.81E+06	5.96E+04	3.02E+04	1.63E+04	2.70E+03	9.06E+00	5.27E+00	6.24E+00	3.17E+00	2.63E+00	2.50E+00
1.00E+00	1.06E+06	7.21E+05	3.86E+04	2.16E+04	1.14E+04	1.53E+03	1.64E+01	8.57E+00	8.55E+00	2.91E+00	1.52E+00	1.41E+00
1.33E+00	8.13E+05	5.49E+05	3.08E+04	1.65E+04	7.68E+03	1.50E+03	3.09E+00	1.81E+00	2.04E+00	8.79E-01	7.48E-01	8.79E-01
1.66E+00	2.27E+05	1.15E+05	3.98E+03	1.47E+03	8.38E+02	1.33E+02	2.32E+00	1.20E+00	1.15E+00	4.21E-01	2.42E-01	2.08E-01
2.00E+00	1.91E+05	8.83E+04	7.83E+02	6.77E+02	3.32E+02	8.08E+01	2.12E+00	1.12E+00	1.10E+00	3.57E-01	1.61E-01	2.22E-01
2.50E+00	1.09E+05	4.87E+04	2.00E+01	1.51E+01	1.17E+01	5.07E+00	2.19E+00	1.07E+00	1.13E+00	4.35E-01	1.27E-01	1.10E-01
3.00E+00	9.43E+03	2.30E+03	1.51E+01	1.15E+01	8.77E+00	3.92E+00	1.83E+00	8.00E-01	7.85E-01	2.58E-01	1.12E-01	6.89E-02
4.00E+00	2.01E+03	1.72E+03	2.10E+01	1.59E+01	1.20E+01	5.19E+00	2.16E+00	1.12E+00	1.15E+00	3.97E-01	1.59E-01	8.03E-02
5.00E+00	4.27E+01	4.04E+01	1.56E+01	1.20E+01	9.02E+00	3.91E+00	1.69E+00	8.53E-01	8.60E-01	2.75E-01	1.15E-01	6.05E-02
6.50E+00	9.38E+01	8.96E+01	3.41E+01	2.62E+01	2.00E+01	8.77E+00	3.69E+00	1.77E+00	1.84E+00	6.06E-01	2.30E-01	1.29E-01
8.00E+00	9.39E+01	8.75E+01	3.47E+01	2.57E+01	1.93E+01	8.44E+00	3.60E+00	1.81E+00	1.85E+00	5.97E-01	2.29E-01	1.31E-01
1.00E+01	1.15E+01	1.07E+01	4.39E+00	2.99E+00	2.52E+00	9.73E-01	4.81E-01	2.20E-01	2.25E-01	6.94E-02	2.77E-02	1.67E-02
TOTAL	3.09E+07	2.27E+07	2.29E+06	1.64E+06	1.28E+06	3.82E+05	6.83E+02	1.10E+03	1.61E+03	2.06E+03	5.05E+03	1.00E+04

添付表 7-1 (18/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 17cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	5.27E+00	4.93E+00	1.71E+00	1.30E+00	1.00E+00	4.23E-01	1.66E-01	9.45E-02	8.34E-02	3.01E-02	1.22E-02	7.10E-03
1.12E-06	2.56E+01	2.46E+01	9.57E+00	7.10E+00	5.28E+00	2.29E+00	9.49E-01	4.99E-01	4.69E-01	1.67E-01	6.29E-02	3.72E-02
3.06E-06	8.74E+01	8.37E+01	3.16E+01	2.38E+01	1.81E+01	7.74E+00	3.22E+00	1.68E+00	1.61E+00	5.64E-01	2.15E-01	1.24E-01
1.07E-05	2.63E+02	2.52E+02	9.64E+01	7.10E+01	5.46E+01	2.29E+01	9.81E+00	4.87E+00	4.88E+00	1.68E+00	6.40E-01	3.74E-01
2.90E-05	3.67E+02	3.50E+02	1.33E+02	9.92E+01	7.61E+01	3.21E+01	1.37E+01	6.74E+00	6.83E+00	2.33E+00	8.98E-01	5.13E-01
1.01E-04	6.62E+02	6.36E+02	2.43E+02	1.78E+02	1.39E+02	5.78E+01	2.45E+01	1.25E+01	1.23E+01	4.23E+00	1.61E+00	9.28E-01
5.83E-04	1.22E+03	1.17E+03	4.45E+02	3.31E+02	2.54E+02	1.07E+02	4.58E+01	2.31E+01	2.30E+01	7.78E+00	2.97E+00	1.72E+00
3.35E-03	2.24E+03	2.14E+03	8.21E+02	6.11E+02	4.67E+02	1.99E+02	8.41E+01	4.25E+01	4.22E+01	1.45E+01	5.46E+00	3.16E+00
1.11E-01	1.35E+04	1.29E+04	4.97E+03	3.72E+03	2.87E+03	1.25E+03	5.35E+02	2.67E+02	2.67E+02	8.93E+01	3.28E+01	1.92E+01
5.50E-01	1.15E+04	1.10E+04	4.33E+03	3.29E+03	2.56E+03	1.19E+03	5.23E+02	2.56E+02	2.57E+02	8.11E+01	2.76E+01	1.66E+01
1.11E+00	2.61E+03	2.50E+03	9.99E+02	7.67E+02	6.05E+02	2.96E+02	1.32E+02	6.43E+01	6.43E+01	1.93E+01	6.16E+00	3.80E+00
1.83E+00	8.20E+02	7.88E+02	3.25E+02	2.48E+02	1.97E+02	1.02E+02	4.65E+01	2.24E+01	2.25E+01	6.49E+00	1.90E+00	1.22E+00
2.35E+00	2.21E+02	2.10E+02	8.82E+01	6.73E+01	5.37E+01	2.87E+01	1.31E+01	6.31E+00	6.24E+00	1.79E+00	5.05E-01	3.31E-01
2.46E+00	3.39E+01	3.22E+01	1.35E+01	1.01E+01	8.27E+00	4.54E+00	2.13E+00	1.01E+00	9.88E-01	2.77E-01	7.58E-02	4.94E-02
3.01E+00	1.09E+02	1.03E+02	4.35E+01	3.42E+01	2.77E+01	1.47E+01	6.76E+00	3.31E+00	3.30E+00	9.15E-01	2.48E-01	1.62E-01
4.06E+00	5.94E+01	5.74E+01	2.38E+01	1.84E+01	1.47E+01	7.85E+00	3.46E+00	1.69E+00	1.73E+00	4.87E-01	1.37E-01	8.68E-02
4.96E+00	2.05E+01	1.96E+01	8.05E+00	5.96E+00	4.66E+00	2.18E+00	9.24E-01	4.49E-01	4.47E-01	1.39E-01	4.37E-02	2.58E-02
6.36E+00	8.68E+00	8.37E+00	2.86E+00	2.03E+00	1.44E+00	3.85E-01	1.04E-01	7.20E-02	6.36E-02	3.86E-02	2.20E-02	1.17E-02
8.18E+00	2.86E+00	2.75E+00	9.17E-01	6.30E-01	4.35E-01	7.73E-02	1.44E-02	1.34E-02	1.34E-02	1.16E-02	7.54E-03	3.71E-03
1.00E+01	5.78E-01	5.56E-01	1.85E-01	1.27E-01	8.78E-02	1.56E-02	2.91E-03	2.70E-03	2.70E-03	2.34E-03	1.52E-03	7.50E-04
1.22E+01	3.35E-02	3.22E-02	1.07E-02	7.38E-03	5.09E-03	9.04E-04	1.69E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.36E-04	8.83E-05	4.35E-05
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	3.38E+04	3.23E+04	1.26E+04	9.48E+03	7.36E+03	3.32E+03	1.45E+03	7.15E+02	7.14E+02	2.31E+02	8.14E+01	4.83E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	5.44E+03	3.61E+03	2.19E+02	2.01E+02	2.46E+02	3.26E+01	7.15E-02	4.23E-02	4.50E-02	1.68E-02	1.50E-02	8.17E-03
1.00E-01	3.63E+05	2.93E+05	3.35E+04	2.36E+04	1.79E+04	5.56E+03	2.81E+00	1.51E+00	1.35E+00	6.39E-01	5.35E-01	4.71E-01
2.00E-01	4.59E+06	3.47E+06	3.69E+05	2.80E+05	2.06E+05	6.01E+04	2.74E+01	1.42E+01	2.06E+01	9.45E+00	8.11E+00	7.35E+00
3.00E-01	4.28E+06	3.07E+06	3.51E+05	2.61E+05	2.01E+05	6.04E+04	2.61E+01	1.20E+01	1.65E+01	7.92E+00	7.17E+00	6.83E+00
4.00E-01	2.84E+06	2.15E+06	2.43E+05	1.73E+05	1.39E+05	4.22E+04	1.70E+01	8.13E+00	1.08E+01	4.78E+00	4.44E+00	4.26E+00

5.00E-02	5.44E+03	3.61E+03	2.19E+02	2.01E+02	2.46E+02	3.26E+01	7.15E-02	4.23E-02	4.50E-02	1.68E-02	1.50E-02	8.17E-03
1.00E-01	3.63E+05	2.93E+05	3.35E+04	2.36E+04	1.79E+04	5.56E+03	2.81E+00	1.51E+00	1.35E+00	6.39E-01	5.35E-01	4.71E-01
2.00E-01	4.59E+06	3.47E+06	3.69E+05	2.80E+05	2.06E+05	6.01E+04	2.74E+01	1.42E+01	2.06E+01	9.45E+00	8.11E+00	7.35E+00
3.00E-01	4.28E+06	3.07E+06	3.51E+05	2.61E+05	2.01E+05	6.04E+04	2.61E+01	1.20E+01	1.65E+01	7.92E+00	7.17E+00	6.83E+00
4.00E-01	2.84E+06	2.15E+06	2.43E+05	1.73E+05	1.39E+05	4.22E+04	1.70E+01	8.13E+00	1.08E+01	4.78E+00	4.44E+00	4.26E+00
6.00E-01	3.35E+06	2.47E+06	1.96E+05	1.37E+05	1.01E+05	2.98E+04	1.88E+01	1.04E+01	1.10E+01	5.60E+00	5.22E+00	4.48E+00
8.00E-01	1.60E+06	1.11E+06	3.87E+04	1.97E+04	1.11E+04	1.64E+03	7.24E+00	4.03E+00	5.16E+00	2.39E+00	1.71E+00	1.56E+00
1.00E+00	6.94E+05	4.52E+05	2.19E+04	1.30E+04	7.73E+03	1.01E+03	1.29E+01	6.66E+00	6.69E+00	2.27E+00	1.09E+00	1.02E+00
1.33E+00	5.53E+05	3.65E+05	2.10E+04	1.08E+04	5.23E+03	1.16E+03	2.51E+00	1.37E+00	1.44E+00	5.71E-01	4.70E-01	5.87E-01
1.66E+00	1.56E+05	7.55E+04	2.92E+03	1.10E+03	6.85E+02	9.86E+01	1.76E+00	9.53E-01	9.14E-01	3.06E-01	2.07E-01	1.50E-01
2.00E+00	1.31E+05	6.06E+04	2.98E+02	3.28E+02	1.60E+02	2.71E+01	1.60E+00	8.52E-01	8.28E-01	2.84E-01	1.12E-01	1.58E-01
2.50E+00	7.96E+04	3.31E+04	1.57E+01	1.17E+01	9.44E+00	4.36E+00	1.92E+00	8.65E-01	9.52E-01	3.49E-01	1.03E-01	8.40E-02
3.00E+00	8.01E+03	2.23E+03	1.15E+01	8.86E+00	6.66E+00	2.96E+00	1.39E+00	7.23E-01	7.08E-01	2.06E-01	8.56E-02	5.53E-02
4.00E+00	6.55E+02	6.77E+02	1.62E+01	1.23E+01	9.47E+00	4.23E+00	1.70E+00	8.65E-01	9.28E-01	3.36E-01	1.37E-01	7.01E-02
5.00E+00	3.43E+01	3.37E+01	1.33E+01	9.64E+00	7.63E+00	3.00E+00	1.38E+00	6.60E-01	6.99E-01	2.22E-01	9.49E-02	4.92E-02
6.50E+00	7.50E+01	7.27E+01	2.77E+01	2.05E+01	1.59E+01	7.33E+00	2.90E+00	1.45E+00	1.40E+00	4.68E-01	2.04E-01	1.06E-01
8.00E+00	7.58E+01	7.18E+01	2.77E+01	2.06E+01	1.63E+01	6.57E+00	2.79E+00	1.43E+00	1.49E+00	5.02E-01	1.85E-01	1.06E-01
1.00E+01	7.97E+00	8.02E+00	3.15E+00	2.26E+00	1.82E+00	7.63E-01	3.59E-01	1.65E-01	1.66E-01	5.32E-02	1.94E-02	1.14E-02
TOTAL	1.87E+07	1.36E+07	1.28E+06	9.21E+05	6.90E+05	2.02E+05	6.31E+02	1.07E+03	1.58E+03	2.04E+03	5.03E+03	1.00E+04

添付表 7-1 (19/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 18cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	3.52E+00	3.15E+00	1.12E+00	8.14E-01	5.94E-01	2.60E-01	1.17E-01	4.96E-02	6.20E-02	1.96E-02	7.99E-03	4.27E-03
1.12E-06	1.65E+01	1.63E+01	6.05E+00	4.42E+00	3.36E+00	1.48E+00	5.94E-01	3.10E-01	2.94E-01	1.05E-01	4.08E-02	2.41E-02
3.06E-06	5.41E+01	5.13E+01	1.96E+01	1.47E+01	1.14E+01	4.64E+00	2.04E+00	1.01E+00	1.06E+00	3.50E-01	1.32E-01	7.70E-02
1.07E-05	1.62E+02	1.57E+02	5.93E+01	4.40E+01	3.41E+01	1.44E+01	6.18E+00	3.07E+00	3.04E+00	1.05E+00	3.96E-01	2.33E-01
2.90E-05	2.27E+02	2.14E+02	8.31E+01	6.12E+01	4.66E+01	1.97E+01	8.63E+00	4.22E+00	4.25E+00	1.46E+00	5.51E-01	3.15E-01
1.01E-04	4.14E+02	3.97E+02	1.50E+02	1.12E+02	8.54E+01	3.62E+01	1.54E+01	7.88E+00	7.72E+00	2.67E+00	1.01E+00	5.78E-01
5.83E-04	7.61E+02	7.25E+02	2.77E+02	2.07E+02	1.57E+02	6.74E+01	2.88E+01	1.44E+01	1.43E+01	4.89E+00	1.86E+00	1.08E+00
3.35E-03	1.46E+03	1.40E+03	5.35E+02	4.00E+02	3.06E+02	1.31E+02	5.51E+01	2.78E+01	2.78E+01	9.46E+00	3.57E+00	2.07E+00
1.11E-01	1.03E+04	9.85E+03	3.79E+03	2.84E+03	2.18E+03	9.52E+02	4.06E+02	2.03E+02	2.03E+02	6.81E+01	2.50E+01	1.46E+01
5.50E-01	8.63E+03	8.27E+03	3.25E+03	2.45E+03	1.92E+03	8.92E+02	3.91E+02	1.92E+02	1.92E+02	6.06E+01	2.07E+01	1.24E+01
1.11E+00	1.95E+03	1.86E+03	7.45E+02	5.73E+02	4.51E+02	2.23E+02	9.93E+01	4.77E+01	4.77E+01	1.45E+01	4.58E+00	2.83E+00
1.83E+00	6.24E+02	5.96E+02	2.47E+02	1.89E+02	1.51E+02	7.75E+01	3.52E+01	1.69E+01	1.70E+01	4.94E+00	1.45E+00	9.29E-01
2.35E+00	1.70E+02	1.62E+02	6.77E+01	5.21E+01	4.18E+01	2.26E+01	1.03E+01	4.95E+00	4.87E+00	1.39E+00	3.79E-01	2.50E-01
2.46E+00	2.76E+01	2.58E+01	1.08E+01	8.30E+00	6.93E+00	3.72E+00	1.70E+00	7.90E-01	8.27E-01	2.15E-01	5.86E-02	3.95E-02
3.01E+00	8.17E+01	7.87E+01	3.25E+01	2.56E+01	2.08E+01	1.12E+01	5.22E+00	2.53E+00	2.54E+00	6.91E-01	1.83E-01	1.23E-01
4.06E+00	4.72E+01	4.39E+01	1.89E+01	1.47E+01	1.16E+01	5.94E+00	2.79E+00	1.32E+00	1.34E+00	3.84E-01	1.06E-01	6.87E-02
4.96E+00	1.62E+01	1.52E+01	6.30E+00	4.84E+00	3.86E+00	1.75E+00	7.70E-01	3.68E-01	3.85E-01	1.12E-01	3.51E-02	2.16E-02
6.36E+00	6.49E+00	6.18E+00	2.14E+00	1.50E+00	1.08E+00	2.95E-01	8.84E-02	6.07E-02	5.48E-02	3.03E-02	1.63E-02	8.74E-03
8.18E+00	2.13E+00	2.05E+00	6.82E-01	4.69E-01	3.23E-01	5.75E-02	1.07E-02	9.95E-03	9.95E-03	8.62E-03	5.61E-03	2.76E-03
1.00E+01	3.34E-01	3.21E-01	1.07E-01	7.35E-02	5.07E-02	9.02E-03	1.68E-03	1.56E-03	1.56E-03	1.35E-03	8.80E-04	4.33E-04
1.22E+01	6.27E-02	6.02E-02	2.01E-02	1.38E-02	9.51E-03	1.69E-03	3.15E-04	2.93E-04	2.93E-04	2.54E-04	1.65E-04	8.13E-05
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	2.50E+04	2.39E+04	9.30E+03	7.00E+03	5.43E+03	2.46E+03	1.07E+03	5.29E+02	5.29E+02	1.71E+02	6.01E+01	3.57E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期	間 [年]				

Energy		ガラス固化体生成後の経過期間[年]												
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000		
5.00E-02	2.20E+03	3.10E+03	1.66E+02	9.73E+01	7.29E+01	2.62E+01	4.84E-02	2.44E-02	2.71E-02	8.41E-03	1.18E-02	5.58E-03		
1.00E-01	2.15E+05	1.63E+05	1.81E+04	1.11E+04	6.76E+03	2.77E+03	1.69E+00	8.66E-01	1.27E+00	4.08E-01	3.51E-01	3.60E-01		
2.00E-01	2.62E+06	1.89E+06	2.14E+05	1.47E+05	1.15E+05	3.51E+04	1.78E+01	9.35E+00	1.17E+01	5.25E+00	4.74E+00	4.14E+00		
3.00E-01	2.51E+06	1.80E+06	1.95E+05	1.42E+05	1.13E+05	3.25E+04	1.69E+01	7.81E+00	8.91E+00	5.12E+00	3.97E+00	4.17E+00		
4.00E-01	1.65E+06	1.25E+06	1.31E+05	1.00E+05	7.66E+04	2.21E+04	9.98E+00	4.45E+00	6.38E+00	2.92E+00	2.62E+00	2.69E+00		
6.00E-01	2.04E+06	1.45E+06	1.09E+05	7.93E+04	5.45E+04	1.66E+04	1.20E+01	6.72E+00	6.77E+00	3.26E+00	3.01E+00	2.91E+00		
8.00E-01	1.03E+06	7.18E+05	2.43E+04	1.29E+04	7.56E+03	8.47E+02	5.29E+00	2.87E+00	2.98E+00	1.47E+00	9.73E-01	1.07E+00		
1.00E+00	4.50E+05	3.01E+05	1.44E+04	8.12E+03	4.43E+03	5.64E+02	9.43E+00	4.68E+00	4.71E+00	1.59E+00	8.15E-01	6.38E-01		
1.33E+00	3.80E+05	2.41E+05	1.32E+04	6.92E+03	3.28E+03	7.33E+02	2.07E+00	1.07E+00	1.09E+00	3.93E-01	2.82E-01	4.01E-01		
1.66E+00	1.09E+05	5.67E+04	1.80E+03	6.02E+02	4.29E+02	1.11E+02	1.36E+00	7.83E-01	7.67E-01	2.75E-01	1.89E-01	1.14E-01		
2.00E+00	8.50E+04	4.22E+04	4.83E+01	1.90E+02	1.04E+02	9.99E+00	1.37E+00	6.72E-01	5.94E-01	2.16E-01	8.35E-02	1.13E-01		
2.50E+00	5.58E+04	2.29E+04	1.23E+01	9.19E+00	7.13E+00	3.15E+00	1.36E+00	6.59E-01	6.86E-01	2.54E-01	8.01E-02	6.27E-02		
3.00E+00	5.88E+03	1.91E+03	9.13E+00	6.68E+00	5.19E+00	2.51E+00	9.91E-01	5.23E-01	5.33E-01	1.59E-01	6.69E-02	4.23E-02		
4.00E+00	5.45E+02	5.80E+02	1.22E+01	9.61E+00	6.94E+00	3.24E+00	1.30E+00	6.27E-01	6.22E-01	2.48E-01	1.02E-01	5.58E-02		
5.00E+00	2.61E+01	2.56E+01	1.01E+01	7.11E+00	5.73E+00	2.16E+00	9.72E-01	5.37E-01	5.62E-01	1.76E-01	6.49E-02	3.83E-02		
6.50E+00	5.44E+01	5.31E+01	2.00E+01	1.52E+01	1.15E+01	5.04E+00	2.09E+00	1.05E+00	1.05E+00	3.54E-01	1.45E-01	7.83E-02		
8.00E+00	5.46E+01	5.24E+01	2.07E+01	1.48E+01	1.19E+01	5.04E+00	2.10E+00	1.10E+00	1.06E+00	3.61E-01	1.33E-01	7.77E-02		
1.00E+01	6.77E+00	6.49E+00	2.60E+00	1.91E+00	1.63E+00	5.53E-01	2.49E-01	1.37E-01	1.38E-01	4.20E-02	1.55E-02	9.29E-03		
TOTAL	1.12E+07	7.93E+06	7.22E+05	5.08E+05	3.81E+05	1.12E+05	5.87E+02	1.04E+03	1.55E+03	2.02E+03	5.02E+03	1.00E+04		

添付表 7-1 (20/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-3.2]

0P内側表面から 19cm (=0P外側表面/材質は空気)

[flux(n/sec/cm2)]

Energy					ガラス固	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.30E+00	1.28E+00	4.62E-01	3.32E-01	2.73E-01	1.04E-01	4.00E-02	2.44E-02	2.11E-02	7.61E-03	3.24E-03	1.82E-03
1.12E-06	5.83E+00	5.53E+00	2.15E+00	1.58E+00	1.14E+00	4.91E-01	2.11E-01	1.10E-01	1.13E-01	3.70E-02	1.45E-02	8.44E-03
3.06E-06	1.94E+01	1.83E+01	7.01E+00	5.28E+00	4.04E+00	1.63E+00	7.09E-01	3.48E-01	3.50E-01	1.24E-01	4.69E-02	2.76E-02
1.07E-05	5.90E+01	5.63E+01	2.15E+01	1.60E+01	1.23E+01	5.07E+00	2.11E+00	1.08E+00	1.11E+00	3.79E-01	1.44E-01	8.21E-02
2.90E-05	8.27E+01	7.82E+01	2.99E+01	2.24E+01	1.73E+01	7.30E+00	3.02E+00	1.50E+00	1.55E+00	5.17E-01	2.01E-01	1.16E-01
1.01E-04	1.49E+02	1.43E+02	5.39E+01	4.06E+01	3.11E+01	1.31E+01	5.53E+00	2.82E+00	2.87E+00	9.62E-01	3.62E-01	2.08E-01
5.83E-04	2.82E+02	2.69E+02	1.02E+02	7.55E+01	5.86E+01	2.45E+01	1.05E+01	5.27E+00	5.25E+00	1.83E+00	6.83E-01	3.98E-01
3.35E-03	6.20E+02	5.93E+02	2.27E+02	1.68E+02	1.29E+02	5.49E+01	2.33E+01	1.17E+01	1.16E+01	3.99E+00	1.51E+00	8.71E-01
1.11E-01	6.59E+03	6.30E+03	2.42E+03	1.82E+03	1.40E+03	6.12E+02	2.61E+02	1.31E+02	1.31E+02	4.37E+01	1.60E+01	9.37E+00
5.50E-01	5.33E+03	5.09E+03	2.00E+03	1.51E+03	1.18E+03	5.47E+02	2.40E+02	1.18E+02	1.18E+02	3.72E+01	1.28E+01	7.67E+00
1.11E+00	1.23E+03	1.18E+03	4.70E+02	3.62E+02	2.86E+02	1.40E+02	6.22E+01	3.03E+01	3.02E+01	9.19E+00	2.89E+00	1.80E+00
1.83E+00	4.20E+02	4.01E+02	1.64E+02	1.25E+02	1.01E+02	5.21E+01	2.34E+01	1.13E+01	1.14E+01	3.31E+00	9.73E-01	6.21E-01
2.35E+00	1.15E+02	1.10E+02	4.62E+01	3.61E+01	2.91E+01	1.58E+01	7.20E+00	3.37E+00	3.33E+00	9.75E-01	2.65E-01	1.73E-01
2.46E+00	1.80E+01	1.74E+01	7.46E+00	5.84E+00	4.61E+00	2.48E+00	1.15E+00	5.74E-01	6.01E-01	1.53E-01	4.13E-02	2.71E-02
3.01E+00	5.98E+01	5.70E+01	2.41E+01	1.85E+01	1.51E+01	8.31E+00	3.89E+00	1.86E+00	1.83E+00	5.00E-01	1.34E-01	8.75E-02
4.06E+00	3.58E+01	3.39E+01	1.39E+01	1.09E+01	8.59E+00	4.54E+00	2.11E+00	1.00E+00	9.95E-01	2.95E-01	8.00E-02	5.27E-02
4.96E+00	1.15E+01	1.09E+01	4.36E+00	3.41E+00	2.96E+00	1.26E+00	6.13E-01	2.84E-01	2.85E-01	8.11E-02	2.63E-02	1.61E-02
6.36E+00	5.12E+00	4.95E+00	1.71E+00	1.17E+00	8.48E-01	2.17E-01	6.52E-02	4.04E-02	4.36E-02	2.33E-02	1.29E-02	6.83E-03
8.18E+00	1.41E+00	1.35E+00	4.51E-01	3.10E-01	2.14E-01	3.80E-02	7.09E-03	6.58E-03	6.58E-03	5.70E-03	3.71E-03	1.83E-03
1.00E+01	1.89E-01	1.82E-01	6.05E-02	4.16E-02	2.87E-02	5.10E-03	9.50E-04	8.83E-04	8.83E-04	7.64E-04	4.98E-04	2.45E-04
1.22E+01	6.78E-02	6.52E-02	2.17E-02	1.49E-02	1.03E-02	1.83E-03	3.41E-04	3.17E-04	3.17E-04	2.74E-04	1.79E-04	8.79E-05
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.50E+04	1.44E+04	5.60E+03	4.23E+03	3.29E+03	1.49E+03	6.47E+02	3.20E+02	3.20E+02	1.03E+02	3.62E+01	2.15E+01

ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.29E-01	2.36E-01	8.25E-02	5.85E-02	9.54E-02	3.19E-02	1.23E-02	4.17E-03	5.22E-03	1.07E-03	5.23E-04	2.75E-04
1.00E-01	3.37E+04	2.19E+04	2.57E+03	2.94E+03	1.76E+03	4.57E+02	2.71E-01	9.21E-02	1.05E-01	6.32E-02	1.00E-02	7.85E-02
2.00E-01	7.78E+05	5.75E+05	5.93E+04	4.60E+04	3.27E+04	9.66E+03	5.53E+00	2.44E+00	3.17E+00	1.82E+00	1.22E+00	1.33E+00
3.00E-01	1.13E+06	8.08E+05	9.02E+04	6.71E+04	4.93E+04	1.40E+04	6.46E+00	3.64E+00	3.85E+00	2.15E+00	1.90E+00	1.78E+00
4.00E-01	9.52E+05	7.05E+05	7.53E+04	5.26E+04	3.97E+04	1.11E+04	5.44E+00	2.91E+00	2.81E+00	1.39E+00	1.60E+00	1.56E+00
6.00E-01	1.23E+06	8.88E+05	6.11E+04	4.44E+04	3.12E+04	9.45E+03	6.65E+00	3.53E+00	4.03E+00	1.90E+00	1.73E+00	1.67E+00
8.00E-01	6.80E+05	4.75E+05	1.68E+04	8.47E+03	5.03E+03	5.91E+02	3.56E+00	1.86E+00	1.83E+00	8.50E-01	5.83E-01	7.51E-01
1.00E+00	2.98E+05	1.99E+05	9.36E+03	5.46E+03	2.41E+03	3.30E+02	4.98E+00	2.53E+00	2.56E+00	9.35E-01	4.14E-01	3.86E-01
1.33E+00	2.47E+05	1.55E+05	8.64E+03	4.40E+03	2.36E+03	4.87E+02	1.29E+00	6.87E-01	7.33E-01	2.79E-01	2.12E-01	2.96E-01
1.66E+00	8.20E+04	4.28E+04	1.33E+03	5.37E+02	2.24E+02	9.17E+01	9.39E-01	5.29E-01	4.50E-01	1.65E-01	1.14E-01	8.24E-02
2.00E+00	6.18E+04	2.92E+04	7.15E+00	1.60E+02	7.71E+01	1.92E+00	8.57E-01	4.50E-01	4.22E-01	1.42E-01	5.64E-02	7.58E-02
2.50E+00	3.99E+04	1.64E+04	8.54E+00	6.09E+00	4.83E+00	2.08E+00	8.79E-01	4.49E-01	4.60E-01	1.76E-01	5.36E-02	4.62E-02
3.00E+00	4.51E+03	1.30E+03	6.23E+00	4.44E+00	3.35E+00	1.72E+00	6.54E-01	3.30E-01	3.35E-01	1.08E-01	4.92E-02	3.26E-02
4.00E+00	5.21E+02	5.55E+02	7.98E+00	6.05E+00	4.93E+00	2.10E+00	8.52E-01	4.34E-01	4.47E-01	1.55E-01	6.33E-02	3.14E-02
5.00E+00	1.68E+01	1.66E+01	6.52E+00	4.72E+00	3.88E+00	1.58E+00	6.65E-01	3.35E-01	3.47E-01	1.15E-01	4.25E-02	2.45E-02
6.50E+00	3.64E+01	3.41E+01	1.34E+01	1.04E+01	7.34E+00	3.42E+00	1.33E+00	6.71E-01	6.86E-01	2.30E-01	9.82E-02	5.26E-02
8.00E+00	3.33E+01	3.21E+01	1.22E+01	9.31E+00	6.94E+00	3.07E+00	1.42E+00	7.02E-01	6.28E-01	2.20E-01	8.21E-02	4.84E-02
1.00E+01	4.10E+00	4.16E+00	1.60E+00	1.18E+00	9.39E-01	3.65E-01	1.89E-01	8.11E-02	8.30E-02	3.11E-02	9.63E-03	6.09E-03
TOTAL	5.53E+06	3.92E+06	3.25E+05	2.32E+05	1.65E+05	4.64E+04	5.42E+02	1.02E+03	1.52E+03	2.01E+03	5.01E+03	1.00E+04

添付表 7-2(1/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 0cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	国化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	4.43E+00	3.54E+00	1.32E+00	8.30E-01	8.09E-01	3.71E-01	1.36E-01	7.08E-02	5.98E-02	2.06E-02	9.08E-03	5.08E-03
1.12E-06	2.04E+01	1.95E+01	6.86E+00	5.05E+00	3.86E+00	1.83E+00	6.98E-01	3.21E-01	3.33E-01	1.26E-01	4.95E-02	2.80E-02
3.06E-06	5.73E+01	5.75E+01	2.20E+01	1.62E+01	1.23E+01	5.45E+00	2.09E+00	1.17E+00	1.18E+00	4.16E-01	1.44E-01	8.24E-02
1.07E-05	2.21E+02	2.06E+02	7.56E+01	5.64E+01	4.40E+01	1.89E+01	7.63E+00	3.99E+00	3.70E+00	1.35E+00	5.08E-01	2.93E-01
2.90E-05	3.63E+02	3.56E+02	1.36E+02	9.83E+01	7.70E+01	3.15E+01	1.36E+01	6.85E+00	6.91E+00	2.36E+00	9.13E-01	5.10E-01
1.01E-04	1.02E+03	9.60E+02	3.70E+02	2.73E+02	2.04E+02	8.85E+01	3.73E+01	1.84E+01	1.83E+01	6.60E+00	2.45E+00	1.40E+00
5.83E-04	4.27E+03	4.11E+03	1.57E+03	1.18E+03	8.87E+02	3.72E+02	1.56E+02	7.87E+01	7.97E+01	2.74E+01	1.06E+01	6.07E+00
3.35E-03	1.24E+04	1.18E+04	4.50E+03	3.34E+03	2.55E+03	1.06E+03	4.50E+02	2.25E+02	2.25E+02	7.83E+01	3.03E+01	1.74E+01
1.11E-01	6.75E+04	6.48E+04	2.47E+04	1.84E+04	1.40E+04	5.93E+03	2.50E+03	1.26E+03	1.26E+03	4.35E+02	1.66E+02	9.55E+01
5.50E-01	5.74E+04	5.48E+04	2.11E+04	1.58E+04	1.22E+04	5.31E+03	2.30E+03	1.14E+03	1.13E+03	3.79E+02	1.39E+02	8.11E+01
1.11E+00	2.63E+04	2.53E+04	9.86E+03	7.45E+03	5.80E+03	2.64E+03	1.15E+03	5.64E+02	5.67E+02	1.83E+02	6.33E+01	3.78E+01
1.83E+00	1.53E+04	1.46E+04	5.84E+03	4.47E+03	3.51E+03	1.73E+03	7.71E+02	3.73E+02	3.71E+02	1.12E+02	3.64E+01	2.24E+01
2.35E+00	6.82E+03	6.54E+03	2.70E+03	2.09E+03	1.68E+03	8.77E+02	3.99E+02	1.90E+02	1.90E+02	5.51E+01	1.61E+01	1.03E+01
2.46E+00	1.61E+03	1.50E+03	6.32E+02	4.99E+02	4.01E+02	2.21E+02	1.04E+02	4.96E+01	4.84E+01	1.35E+01	3.64E+00	2.42E+00
3.01E+00	4.96E+03	4.74E+03	2.02E+03	1.59E+03	1.29E+03	7.22E+02	3.31E+02	1.57E+02	1.58E+02	4.29E+01	1.13E+01	7.49E+00
4.06E+00	3.79E+03	3.62E+03	1.52E+03	1.19E+03	9.61E+02	5.18E+02	2.42E+02	1.15E+02	1.14E+02	3.18E+01	8.71E+00	5.71E+00
4.96E+00	1.24E+03	1.21E+03	5.04E+02	3.88E+02	3.10E+02	1.62E+02	7.12E+01	3.39E+01	3.32E+01	9.54E+00	2.68E+00	1.69E+00
6.36E+00	4.98E+02	4.74E+02	1.66E+02	1.18E+02	8.52E+01	2.45E+01	8.70E+00	4.91E+00	4.91E+00	2.45E+00	1.25E+00	6.53E-01
8.18E+00	1.47E+02	1.41E+02	4.70E+01	3.23E+01	2.23E+01	3.96E+00	7.39E-01	6.86E-01	6.86E-01	5.94E-01	3.87E-01	1.91E-01
1.00E+01	2.28E+01	2.19E+01	7.29E+00	5.01E+00	3.46E+00	6.14E-01	1.15E-01	1.06E-01	1.06E-01	9.21E-02	6.00E-02	2.95E-02
1.22E+01	5.19E+00	4.99E+00	1.66E+00	1.14E+00	7.87E-01	1.40E-01	2.61E-02	2.42E-02	2.42E-02	2.10E-02	1.37E-02	6.73E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	2.04E+05	1.95E+05	7.58E+04	5.70E+04	4.41E+04	1.97E+04	8.55E+03	4.22E+03	4.21E+03	1.38E+03	4.93E+02	2.91E+02
ガンマ線	·										[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	国化体生成	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	6.85E+07	5.48E+07	1.25E+07	9.78E+06	7.74E+06	2.41E+06	1.18E+03	9.29E+02	1.44E+03	8.50E+02	7.01E+02	5.26E+02
1.00E-01	5.76E+09	4.63E+09	1.19E+09	9.35E+08	7.39E+08	2.32E+08	2.65E+05	2.32E+05	3.61E+05	2.14E+05	1.67E+05	1.14E+05

Lmevj	0	1	50	10	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	6.85E+07	5.48E+07	1.25E+07	9.78E+06	7.74E+06	2.41E+06	1.18E+03	9.29E+02	1.44E+03	8.50E+02	7.01E+02	5.26E+02
1.00E-01	5.76E+09	4.63E+09	1.19E+09	9.35E+08	7.39E+08	2.32E+08	2.65E+05	2.32E+05	3.61E+05	2.14E+05	1.67E+05	1.14E+05
2.00E-01	6.82E+10	5.51E+10	1.42E+10	1.12E+10	8.87E+09	2.79E+09	1.92E+06	1.59E+06	2.48E+06	1.47E+06	1.18E+06	8.50E+05
3.00E-01	5.26E+10	4.26E+10	1.08E+10	8.49E+09	6.72E+09	2.11E+09	7.81E+05	5.62E+05	8.90E+05	5.35E+05	4.65E+05	3.83E+05
4.00E-01	3.89E+10	3.18E+10	8.45E+09	6.68E+09	5.29E+09	1.66E+09	3.97E+05	2.31E+05	3.69E+05	2.25E+05	2.10E+05	1.91E+05
6.00E-01	6.04E+10	4.95E+10	1.33E+10	1.05E+10	8.35E+09	2.63E+09	4.48E+05	1.85E+05	2.99E+05	1.83E+05	1.81E+05	1.77E+05
8.00E-01	1.50E+10	1.09E+10	1.64E+08	9.36E+07	5.79E+07	1.17E+07	1.36E+04	1.20E+04	1.87E+04	1.13E+04	1.09E+04	1.08E+04
1.00E+00	4.51E+09	3.32E+09	9.78E+07	5.20E+07	2.99E+07	4.80E+06	4.92E+03	4.13E+03	6.48E+03	3.88E+03	3.82E+03	3.80E+03
1.33E+00	2.08E+09	1.58E+09	9.10E+07	4.70E+07	2.53E+07	3.48E+06	2.64E+03	2.24E+03	3.65E+03	2.23E+03	2.27E+03	2.29E+03
1.66E+00	1.43E+08	8.27E+07	4.47E+06	2.50E+06	1.62E+06	3.22E+05	6.25E+01	2.56E+01	3.93E+01	2.76E+01	7.59E+01	1.78E+02
2.00E+00	1.28E+08	6.05E+07	1.09E+06	7.44E+05	4.06E+05	8.59E+04	5.45E+01	2.73E+01	3.35E+01	1.52E+01	3.76E+01	9.19E+01
2.50E+00	8.76E+07	3.75E+07	1.45E+03	1.37E+02	5.13E+02	5.05E+01	2.81E+01	1.83E+01	2.32E+01	9.31E+00	1.34E+01	2.56E+01
3.00E+00	2.86E+06	1.45E+06	1.21E+02	8.97E+01	6.96E+01	3.38E+01	1.80E+01	8.60E+00	1.05E+01	4.76E+00	2.46E+00	9.78E-01
4.00E+00	4.00E+05	1.88E+05	1.11E+02	8.20E+01	6.29E+01	2.81E+01	1.47E+01	9.97E+00	9.14E+00	5.01E+00	2.17E+00	4.32E-01
5.00E+00	1.89E+02	1.77E+02	6.60E+01	5.00E+01	3.89E+01	1.50E+01	6.55E+00	3.44E+00	4.97E+00	2.29E+00	1.26E+00	2.67E-01
6.50E+00	2.43E+02	2.26E+02	8.78E+01	6.33E+01	4.96E+01	2.01E+01	8.82E+00	4.50E+00	4.54E+00	1.48E+00	5.77E-01	3.48E-01
8.00E+00	1.99E+02	1.86E+02	6.90E+01	5.37E+01	3.94E+01	1.73E+01	6.84E+00	3.65E+00	3.65E+00	1.29E+00	4.68E-01	2.71E-01
1.00E+01	3.70E+01	3.61E+01	1.31E+01	1.01E+01	8.09E+00	3.60E+00	1.61E+00	8.97E-01	7.34E-01	2.57E-01	9.91E-02	5.12E-02
TOTAL	2.48E+11	2.00E+11	4.83E+10	3.81E+10	3.01E+10	9.45E+09	3.84E+06	2.82E+06	4.43E+06	2.65E+06	2.23E+06	1.74E+06

添付表 7-2 (2/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

OP内側表面から 1cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	国化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	5.49E+00	5.34E+00	2.04E+00	1.32E+00	1.13E+00	5.57E-01	1.72E-01	1.63E-01	1.08E-01	3.91E-02	1.30E-02	6.74E-03
1.12E-06	3.00E+01	3.00E+01	1.15E+01	8.79E+00	6.46E+00	2.74E+00	1.05E+00	5.93E-01	5.41E-01	1.94E-01	7.72E-02	4.51E-02
3.06E-06	1.04E+02	9.49E+01	3.64E+01	2.83E+01	2.07E+01	8.57E+00	3.56E+00	1.84E+00	1.92E+00	6.41E-01	2.40E-01	1.41E-01
1.07E-05	3.39E+02	3.24E+02	1.23E+02	8.94E+01	6.91E+01	2.88E+01	1.18E+01	6.03E+00	6.14E+00	2.19E+00	8.28E-01	4.60E-01
2.90E-05	5.68E+02	5.46E+02	2.07E+02	1.54E+02	1.16E+02	4.59E+01	2.05E+01	1.06E+01	1.06E+01	3.63E+00	1.38E+00	7.90E-01
1.01E-04	1.44E+03	1.35E+03	5.18E+02	3.76E+02	2.91E+02	1.22E+02	5.10E+01	2.60E+01	2.57E+01	9.08E+00	3.47E+00	1.95E+00
5.83E-04	4.76E+03	4.55E+03	1.73E+03	1.29E+03	9.88E+02	4.18E+02	1.74E+02	8.61E+01	8.69E+01	3.04E+01	1.16E+01	6.71E+00
3.35E-03	1.18E+04	1.13E+04	4.30E+03	3.20E+03	2.44E+03	1.02E+03	4.28E+02	2.14E+02	2.14E+02	7.54E+01	2.90E+01	1.67E+01
1.11E-01	6.05E+04	5.80E+04	2.21E+04	1.65E+04	1.26E+04	5.31E+03	2.24E+03	1.13E+03	1.13E+03	3.90E+02	1.48E+02	8.55E+01
5.50E-01	5.31E+04	5.09E+04	1.96E+04	1.47E+04	1.14E+04	4.99E+03	2.15E+03	1.07E+03	1.07E+03	3.54E+02	1.29E+02	7.57E+01
1.11E+00	2.45E+04	2.34E+04	9.18E+03	6.94E+03	5.39E+03	2.48E+03	1.08E+03	5.30E+02	5.30E+02	1.71E+02	5.88E+01	3.52E+01
1.83E+00	1.34E+04	1.27E+04	5.10E+03	3.92E+03	3.10E+03	1.52E+03	6.84E+02	3.29E+02	3.30E+02	9.94E+01	3.15E+01	1.96E+01
2.35E+00	5.50E+03	5.34E+03	2.19E+03	1.71E+03	1.36E+03	7.14E+02	3.28E+02	1.57E+02	1.57E+02	4.53E+01	1.30E+01	8.40E+00
2.46E+00	1.23E+03	1.14E+03	4.81E+02	3.78E+02	3.05E+02	1.66E+02	7.82E+01	3.69E+01	3.71E+01	1.03E+01	2.78E+00	1.81E+00
3.01E+00	3.68E+03	3.53E+03	1.50E+03	1.18E+03	9.61E+02	5.29E+02	2.45E+02	1.17E+02	1.16E+02	3.17E+01	8.38E+00	5.62E+00
4.06E+00	2.70E+03	2.60E+03	1.08E+03	8.55E+02	6.89E+02	3.74E+02	1.73E+02	8.16E+01	8.17E+01	2.27E+01	6.23E+00	4.12E+00
4.96E+00	9.07E+02	8.81E+02	3.62E+02	2.76E+02	2.20E+02	1.14E+02	5.03E+01	2.42E+01	2.40E+01	6.93E+00	1.97E+00	1.24E+00
6.36E+00	3.63E+02	3.54E+02	1.24E+02	8.73E+01	6.32E+01	1.83E+01	6.31E+00	3.63E+00	3.52E+00	1.75E+00	9.29E-01	4.81E-01
8.18E+00	1.03E+02	9.91E+01	3.30E+01	2.27E+01	1.56E+01	2.78E+00	5.18E-01	4.81E-01	4.81E-01	4.17E-01	2.71E-01	1.34E-01
1.00E+01	1.66E+01	1.59E+01	5.31E+00	3.65E+00	2.52E+00	4.48E-01	8.34E-02	7.75E-02	7.75E-02	6.71E-02	4.37E-02	2.15E-02
1.22E+01	4.86E+00	4.67E+00	1.56E+00	1.07E+00	7.38E-01	1.31E-01	2.44E-02	2.27E-02	2.27E-02	1.97E-02	1.28E-02	6.30E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.85E+05	1.77E+05	6.87E+04	5.17E+04	4.00E+04	1.79E+04	7.73E+03	3.82E+03	3.82E+03	1.25E+03	4.48E+02	2.65E+02
ガンマ線	1										[flux(g/	sec/cm2)]
Energy	1				ガラス国	目化体生成	後の経過其	1間 [年]				

Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.40E+07	2.73E+07	5.94E+06	4.75E+06	3.69E+06	1.16E+06	3.75E+02	2.64E+02	4.13E+02	2.45E+02	2.14E+02	1.76E+02
1.00E-01	2.87E+09	2.32E+09	5.78E+08	4.56E+08	3.61E+08	1.13E+08	5.72E+04	4.46E+04	6.99E+04	4.13E+04	3.42E+04	2.55E+04
2.00E-01	3.55E+10	2.86E+10	7.17E+09	5.65E+09	4.48E+09	1.41E+09	6.37E+05	4.82E+05	7.58E+05	4.52E+05	3.76E+05	2.87E+05
3.00E-01	2.90E+10	2.35E+10	5.80E+09	4.59E+09	3.62E+09	1.14E+09	3.40E+05	2.24E+05	3.56E+05	2.15E+05	1.91E+05	1.65E+05
4.00E-01	2.09E+10	1.70E+10	4.36E+09	3.44E+09	2.73E+09	8.59E+08	1.87E+05	1.01E+05	1.63E+05	9.88E+04	9.31E+04	8.64E+04
6.00E-01	2.74E+10	2.23E+10	5.58E+09	4.41E+09	3.49E+09	1.10E+09	1.88E+05	7.88E+04	1.27E+05	7.79E+04	7.68E+04	7.56E+04
8.00E-01	7.16E+09	5.19E+09	8.54E+07	4.76E+07	2.93E+07	5.85E+06	6.63E+03	5.76E+03	9.01E+03	5.47E+03	5.27E+03	5.36E+03
1.00E+00	2.12E+09	1.57E+09	4.96E+07	2.66E+07	1.51E+07	2.37E+06	2.46E+03	2.03E+03	3.13E+03	1.87E+03	1.85E+03	1.83E+03
1.33E+00	1.04E+09	7.81E+08	4.51E+07	2.33E+07	1.25E+07	1.75E+06	1.28E+03	1.09E+03	1.80E+03	1.10E+03	1.12E+03	1.18E+03
1.66E+00	8.27E+07	4.74E+07	2.45E+06	1.39E+06	8.94E+05	1.74E+05	3.91E+01	1.74E+01	2.24E+01	1.64E+01	3.96E+01	1.02E+02
2.00E+00	7.25E+07	3.38E+07	5.84E+05	3.88E+05	2.11E+05	4.25E+04	3.72E+01	1.92E+01	2.31E+01	9.89E+00	1.84E+01	4.49E+01
2.50E+00	4.91E+07	2.12E+07	1.53E+02	1.16E+02	4.81E+02	4.24E+01	2.22E+01	1.16E+01	1.33E+01	5.38E+00	7.19E+00	1.78E+01
3.00E+00	1.53E+06	8.09E+05	1.05E+02	7.92E+01	6.22E+01	2.80E+01	1.57E+01	6.73E+00	7.45E+00	3.19E+00	1.56E+00	9.00E-01
4.00E+00	2.51E+05	1.26E+05	9.44E+01	6.94E+01	5.34E+01	2.32E+01	1.35E+01	8.63E+00	8.16E+00	3.25E+00	1.64E+00	3.62E-01
5.00E+00	1.69E+02	1.66E+02	6.21E+01	4.76E+01	3.53E+01	1.45E+01	6.00E+00	2.90E+00	4.34E+00	2.08E+00	1.16E+00	2.48E-01
6.50E+00	2.25E+02	2.17E+02	8.00E+01	6.34E+01	4.75E+01	1.98E+01	8.31E+00	4.24E+00	3.96E+00	1.43E+00	5.66E-01	3.14E-01
8.00E+00	2.21E+02	2.04E+02	7.56E+01	5.71E+01	4.31E+01	1.92E+01	7.45E+00	3.72E+00	4.08E+00	1.37E+00	5.03E-01	2.96E-01
1.00E+01	4.11E+01	3.58E+01	1.33E+01	9. 98E+00	8.70E+00	3.55E+00	1.28E+00	7.47E-01	6.80E-01	2.31E-01	8.84E-02	5.01E-02
TOTAL	1.26E+11	1.01E+11	2.37E+10	1.86E+10	1.47E+10	4.62E+09	1.42E+06	9.41E+05	1.49E+06	8.95E+05	7.85E+05	6.59E+05

添付表 7-2 (3/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 2cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	8.71E+00	8.23E+00	4.00E+00	3.33E+00	2.87E+00	1.91E+00	9.29E-01	4.26E-01	4.26E-01	1.01E-01	1.76E-02	1.44E-02
1.12E-06	2.55E+01	2.41E+01	1.17E+01	9.76E+00	8.39E+00	5.60E+00	2.72E+00	1.25E+00	1.25E+00	2.95E-01	5.16E-02	4.22E-02
3.06E-06	6.91E+01	6.54E+01	3.18E+01	2.65E+01	2.28E+01	1.52E+01	7.37E+00	3.38E+00	3.38E+00	8.00E-01	1.40E-01	1.14E-01
1.07E-05	3.11E+02	2.94E+02	1.43E+02	1.19E+02	1.02E+02	6.82E+01	3.31E+01	1.52E+01	1.52E+01	3.59E+00	6.28E-01	5.13E-01
2.90E-05	4.43E+02	4.18E+02	2.03E+02	1.69E+02	1.46E+02	9.72E+01	4.72E+01	2.16E+01	2.16E+01	5.12E+00	8.95E-01	7.32E-01
1.01E-04	1.22E+03	1.15E+03	5.61E+02	4.67E+02	4.01E+02	2.68E+02	1.30E+02	5.96E+01	5.96E+01	1.41E+01	2.47E+00	2.02E+00
5.83E-04	4.12E+03	3.90E+03	1.90E+03	1.58E+03	1.36E+03	9.06E+02	4.40E+02	2.02E+02	2.02E+02	4.77E+01	8.34E+00	6.82E+00
3.35E-03	1.05E+04	9.96E+03	4.85E+03	4.04E+03	3.47E+03	2.32E+03	1.12E+03	5.16E+02	5.16E+02	1.22E+02	2.13E+01	1.74E+01
1.11E-01	5.49E+04	5.19E+04	2.52E+04	2.10E+04	1.81E+04	1.21E+04	5.85E+03	2.68E+03	2.68E+03	6.35E+02	1.11E+02	9.08E+01
5.50E-01	4.44E+04	4.20E+04	2.04E+04	1.70E+04	1.46E+04	9.75E+03	4.74E+03	2.17E+03	2.17E+03	5.14E+02	8.98E+01	7.34E+01
1.11E+00	1.63E+04	1.54E+04	7.47E+03	6.22E+03	5.35E+03	3.57E+03	1.73E+03	7.95E+02	7.95E+02	1.88E+02	3.29E+01	2.69E+01
1.83E+00	7.47E+03	7.06E+03	3.43E+03	2.86E+03	2.46E+03	1.64E+03	7.97E+02	3.65E+02	3.65E+02	8.64E+01	1.51E+01	1.23E+01
2.35E+00	3.03E+03	2.86E+03	1.39E+03	1.16E+03	9.96E+02	6.65E+02	3.23E+02	1.48E+02	1.48E+02	3.50E+01	6.12E+00	5.01E+00
2.46E+00	4.77E+02	4.51E+02	2.19E+02	1.83E+02	1.57E+02	1.05E+02	5.09E+01	2.33E+01	2.33E+01	5.52E+00	9.65E-01	7.89E-01
3.01E+00	1.72E+03	1.63E+03	7.91E+02	6.59E+02	5.66E+02	3.78E+02	1.84E+02	8.41E+01	8.41E+01	1.99E+01	3.48E+00	2.85E+00
4.06E+00	1.21E+03	1.14E+03	5.56E+02	4.63E+02	3.98E+02	2.66E+02	1.29E+02	5.92E+01	5.92E+01	1.40E+01	2.45E+00	2.00E+00
4.96E+00	4.26E+02	4.03E+02	1.96E+02	1.63E+02	1.40E+02	9.36E+01	4.55E+01	2.08E+01	2.08E+01	4.93E+00	8.62E-01	7.05E-01
6.36E+00	3.47E+02	3.28E+02	1.59E+02	1.33E+02	1.14E+02	7.62E+01	3.70E+01	1.70E+01	1.70E+01	4.01E+00	7.01E-01	5.73E-01
8.18E+00	1.09E+02	1.03E+02	4.99E+01	4.16E+01	3.57E+01	2.38E+01	1.16E+01	5.31E+00	5.31E+00	1.26E+00	2.20E-01	1.80E-01
1.00E+01	1.24E+01	1.17E+01	5.71E+00	4.75E+00	4.09E+00	2.73E+00	1.32E+00	6.07E-01	6.07E-01	1.44E-01	2.51E-02	2.05E-02
1.22E+01	2.85E+00	2.69E+00	1.31E+00	1.09E+00	9.37E-01	6.26E-01	3.04E-01	1.39E-01	1.39E-01	3.29E-02	5.76E-03	4.71E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.47E+05	1.39E+05	6.76E+04	5.63E+04	4.84E+04	3.23E+04	1.57E+04	7.19E+03	7.19E+03	1.70E+03	2.97E+02	2.43E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.83E+07	1.45E+07	3.07E+06	2.42E+06	1.91E+06	5.89E+05	1.70E+02	1.04E+02	1.57E+02	9.62E+01	8.88E+01	7.45E+01
1.00E-01	1.55E+09	1.24E+09	3.00E+08	2.37E+08	1.87E+08	5.86E+07	2.10E+04	1.47E+04	2.31E+04	1.39E+04	1.19E+04	9.62E+03
2.00E-01	1.92E+10	1.54E+10	3.73E+09	2.94E+09	2.33E+09	7.31E+08	2.56E+05	1.79E+05	2.83E+05	1.69E+05	1.45E+05	1.17E+05

[Mev]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.83E+07	1.45E+07	3.07E+06	2.42E+06	1.91E+06	5.89E+05	1.70E+02	1.04E+02	1.57E+02	9.62E+01	8.88E+01	7.45E+01
1.00E-01	1.55E+09	1.24E+09	3.00E+08	2.37E+08	1.87E+08	5.86E+07	2.10E+04	1.47E+04	2.31E+04	1.39E+04	1.19E+04	9.62E+03
2.00E-01	1.92E+10	1.54E+10	3.73E+09	2.94E+09	2.33E+09	7.31E+08	2.56E+05	1.79E+05	2.83E+05	1.69E+05	1.45E+05	1.17E+05
3.00E-01	1.62E+10	1.30E+10	3.15E+09	2.48E+09	1.96E+09	6.15E+08	1.62E+05	9.99E+04	1.60E+05	9.63E+04	8.75E+04	7.76E+04
4.00E-01	1.15E+10	9.31E+09	2.31E+09	1.83E+09	1.44E+09	4.53E+08	9.34E+04	4.83E+04	7.74E+04	4.74E+04	4.50E+04	4.21E+04
6.00E-01	1.37E+10	1.10E+10	2.59E+09	2.04E+09	1.61E+09	5.06E+08	8.80E+04	3.72E+04	6.00E+04	3.67E+04	3.62E+04	3.57E+04
8.00E-01	3.74E+09	2.71E+09	4.73E+07	2.65E+07	1.61E+07	3.13E+06	3.53E+03	3.04E+03	4.78E+03	2.87E+03	2.81E+03	2.83E+03
1.00E+00	1.11E+09	8.16E+08	2.76E+07	1.48E+07	8.35E+06	1.30E+06	1.38E+03	1.10E+03	1.67E+03	1.00E+03	9.75E+02	9.51E+02
1.33E+00	5.66E+08	4.24E+08	2.45E+07	1.27E+07	6.85E+06	9.50E+05	6.94E+02	5.86E+02	9.77E+02	5.92E+02	6.05E+02	6.27E+02
1.66E+00	5.07E+07	2.93E+07	1.40E+06	8.23E+05	5.17E+05	1.02E+05	2.75E+01	1.33E+01	1.74E+01	1.01E+01	2.57E+01	6.13E+01
2.00E+00	4.42E+07	2.05E+07	3.34E+05	1.92E+05	1.20E+05	2.41E+04	2.62E+01	1.36E+01	1.61E+01	6.76E+00	1.14E+01	2.44E+01
2.50E+00	2.95E+07	1.26E+07	1.29E+02	9.88E+01	4.49E+02	3.82E+01	1.76E+01	9.38E+00	9.64E+00	3.97E+00	3.98E+00	9.53E+00
3.00E+00	9.61E+05	5.07E+05	9.28E+01	6.92E+01	5.23E+01	2.44E+01	1.23E+01	6.46E+00	6.33E+00	2.63E+00	9.22E-01	8.28E-01
4.00E+00	1.73E+05	8.04E+04	8.41E+01	6.35E+01	4.75E+01	2.09E+01	1.15E+01	6.90E+00	7.38E+00	2.24E+00	1.08E+00	3.19E-01
5.00E+00	1.45E+02	1.42E+02	5.43E+01	4.07E+01	3.07E+01	1.18E+01	5.43E+00	2.68E+00	4.14E+00	1.67E+00	1.04E+00	2.11E-01
6.50E+00	2.25E+02	2.13E+02	8.16E+01	6.08E+01	4.62E+01	2.04E+01	7.88E+00	4.15E+00	4.27E+00	1.46E+00	5.48E-01	3.13E-01
8.00E+00	2.15E+02	2.08E+02	7.87E+01	5.78E+01	4.35E+01	1.92E+01	8.02E+00	3.79E+00	4.04E+00	1.38E+00	5.10E-01	3.00E-01
1.00E+01	4.11E+01	3.09E+01	1.13E+01	8.68E+00	5.96E+00	3.05E+00	1.11E+00	6.24E-01	6.39E-01	2.27E-01	6.74E-02	4.54E-02
TOTAL	6.76E+10	5.41E+10	1.22E+10	9.59E+09	7.56E+09	2.37E+09	6.27E+05	3.85E+05	6.13E+05	3.70E+05	3.35E+05	2.97E+05

添付表 7-2(4/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 3cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	间化体生成	後の経過期	月間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	8.81E+00	9.13E+00	3.38E+00	2.41E+00	2.06E+00	7.67E-01	2.36E-01	1.61E-01	1.57E-01	5.14E-02	2.32E-02	1.32E-02
1.12E-06	5.48E+01	4.87E+01	1.86E+01	1.33E+01	1.00E+01	4.16E+00	1.82E+00	9.12E-01	9.30E-01	3.20E-01	1.24E-01	6.84E-02
3.06E-06	1.74E+02	1.63E+02	5.87E+01	4.52E+01	3.37E+01	1.45E+01	5.97E+00	3.01E+00	3.06E+00	1.05E+00	4.13E-01	2.44E-01
1.07E-05	5.26E+02	5.00E+02	1.90E+02	1.44E+02	1.09E+02	4.56E+01	1.95E+01	9.65E+00	9.89E+00	3.37E+00	1.30E+00	7.39E-01
2.90E-05	8.76E+02	8.20E+02	3.12E+02	2.30E+02	1.75E+02	7.15E+01	3.06E+01	1.58E+01	1.56E+01	5.44E+00	2.09E+00	1.19E+00
1.01E-04	1.90E+03	1.84E+03	6.96E+02	5.20E+02	3.97E+02	1.64E+02	7.08E+01	3.53E+01	3.48E+01	1.22E+01	4.69E+00	2.69E+00
5.83E-04	5.17E+03	4.95E+03	1.88E+03	1.40E+03	1.07E+03	4.47E+02	1.89E+02	9.33E+01	9.47E+01	3.30E+01	1.27E+01	7.30E+00
3.35E-03	1.08E+04	1.03E+04	3.90E+03	2.91E+03	2.22E+03	9.33E+02	3.88E+02	1.94E+02	1.97E+02	6.86E+01	2.64E+01	1.52E+01
1.11E-01	4.96E+04	4.76E+04	1.81E+04	1.35E+04	1.03E+04	4.40E+03	1.86E+03	9.37E+02	9.33E+02	3.22E+02	1.22E+02	7.04E+01
5.50E-01	4.64E+04	4.45E+04	1.72E+04	1.29E+04	9.98E+03	4.45E+03	1.92E+03	9.48E+02	9.48E+02	3.13E+02	1.12E+02	6.62E+01
1.11E+00	2.07E+04	1.97E+04	7.75E+03	5.89E+03	4.60E+03	2.15E+03	9.40E+02	4.62E+02	4.62E+02	1.46E+02	4.93E+01	2.96E+01
1.83E+00	1.00E+04	9.56E+03	3.86E+03	2.97E+03	2.36E+03	1.18E+03	5.29E+02	2.58E+02	2.57E+02	7.64E+01	2.35E+01	1.47E+01
2.35E+00	3.71E+03	3.56E+03	1.46E+03	1.14E+03	9.21E+02	4.80E+02	2.20E+02	1.05E+02	1.05E+02	3.01E+01	8.64E+00	5.56E+00
2.46E+00	7.13E+02	7.03E+02	2.97E+02	2.33E+02	1.87E+02	1.03E+02	4.66E+01	2.19E+01	2.20E+01	6.06E+00	1.69E+00	1.12E+00
3.01E+00	2.29E+03	2.14E+03	9.10E+02	7.18E+02	5.85E+02	3.22E+02	1.49E+02	6.99E+01	7.13E+01	1.93E+01	5.06E+00	3.38E+00
4.06E+00	1.59E+03	1.51E+03	6.32E+02	4.96E+02	4.04E+02	2.15E+02	1.00E+02	4.73E+01	4.71E+01	1.32E+01	3.62E+00	2.36E+00
4.96E+00	5.35E+02	5.08E+02	2.07E+02	1.59E+02	1.26E+02	6.46E+01	2.89E+01	1.39E+01	1.38E+01	3.93E+00	1.14E+00	7.15E-01
6.36E+00	2.03E+02	2.00E+02	6.95E+01	4.96E+01	3.50E+01	9.83E+00	3.38E+00	2.00E+00	1.99E+00	9.98E-01	5.27E-01	2.74E-01
8.18E+00	6.10E+01	5.86E+01	1.95E+01	1.34E+01	9.26E+00	1.65E+00	3.07E-01	2.85E-01	2.85E-01	2.47E-01	1.61E-01	7.91E-02
1.00E+01	9.29E+00	8.93E+00	2.98E+00	2.05E+00	1.41E+00	2.51E-01	4.67E-02	4.34E-02	4.34E-02	3.76E-02	2.45E-02	1.20E-02
1.22E+01	1.87E+00	1.80E+00	5.99E-01	4.11E-01	2.84E-01	5.04E-02	9.40E-03	8.73E-03	8.73E-03	7.56E-03	4.92E-03	2.42E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.55E+05	1.49E+05	5.76E+04	4.34E+04	3.36E+04	1.51E+04	6.50E+03	3.22E+03	3.22E+03	1.05E+03	3.75E+02	2.22E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス園	目化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.02E+07	7.89E+06	1.58E+06	1.24E+06	9.74E+05	3.09E+05	8.00E+01	4.46E+01	6.81E+01	4.25E+01	4.00E+01	3.75E+01
1.00E-01	8.48E+08	6.83E+08	1.59E+08	1.25E+08	9.87E+07	3.11E+07	8.97E+03	5.79E+03	9.23E+03	5.51E+03	4.90E+03	4.18E+03
2.00E-01	1.05E+10	8.44E+09	1.97E+09	1.55E+09	1.23E+09	3.86E+08	1.14E+05	7.32E+04	1.16E+05	7.02E+04	6.17E+04	5.20E+04

2.00E-01	1.05E+10	8.44E+09	1.97E+09	1.55E+09	1.23E+09	3.86E+08	1.14E+05	7.32E+04	1.16E+05	7.02E+04	6.17E+04	5.20E+04
3.00E-01	9.03E+09	7.26E+09	1.70E+09	1.34E+09	1.06E+09	3.32E+08	8.07E+04	4.72E+04	7.55E+04	4.57E+04	4.21E+04	3.80E+04
4.00E-01	6.35E+09	5.13E+09	1.23E+09	9.70E+08	7.64E+08	2.40E+08	4.78E+04	2.40E+04	3.87E+04	2.36E+04	2.26E+04	2.14E+04
6.00E-01	7.17E+09	5.73E+09	1.26E+09	9.87E+08	7.79E+08	2.44E+08	4.31E+04	1.84E+04	2.98E+04	1.82E+04	1.79E+04	1.76E+04
8.00E-01	2.03E+09	1.47E+09	2.75E+07	1.54E+07	9.24E+06	1.78E+06	1.96E+03	1.69E+03	2.64E+03	1.59E+03	1.56E+03	1.59E+03
1.00E+00	6.06E+08	4.47E+08	1.62E+07	8.51E+06	4.79E+06	7.33E+05	8.37E+02	6.48E+02	9.69E+02	5.53E+02	5.46E+02	5.41E+02
1.33E+00	3.23E+08	2.40E+08	1.39E+07	7.16E+06	3.91E+06	5.40E+05	3.85E+02	3.30E+02	5.49E+02	3.33E+02	3.45E+02	3.53E+02
1.66E+00	3.23E+07	1.85E+07	8.34E+05	4.79E+05	3.20E+05	5.94E+04	1.99E+01	9.60E+00	1.28E+01	7.05E+00	1.72E+01	3.87E+01
2.00E+00	2.77E+07	1.27E+07	1.92E+05	1.12E+05	7.20E+04	1.49E+04	2.08E+01	9.91E+00	1.21E+01	5.29E+00	7.44E+00	1.49E+01
2.50E+00	1.82E+07	7.80E+06	1.11E+02	8.64E+01	4.23E+02	3.13E+01	1.55E+01	8.06E+00	7.88E+00	2.95E+00	2.78E+00	6.56E+00
3.00E+00	6.02E+05	3.27E+05	7.82E+01	5.80E+01	4.38E+01	2.01E+01	9.88E+00	5.13E+00	5.52E+00	1.99E+00	6.91E-01	7.48E-01
4.00E+00	1.07E+05	4.42E+04	7.32E+01	5.60E+01	4.14E+01	1.76E+01	9.51E+00	5.33E+00	6.10E+00	1.88E+00	7.83E-01	2.84E-01
5.00E+00	1.29E+02	1.31E+02	5.05E+01	3.76E+01	2.74E+01	1.18E+01	4.77E+00	2.58E+00	3.76E+00	1.28E+00	7.15E-01	1.95E-01
6.50E+00	2.06E+02	2.05E+02	7.86E+01	5.72E+01	4.41E+01	1.86E+01	8.52E+00	4.08E+00	3.78E+00	1.40E+00	5.07E-01	2.98E-01
8.00E+00	2.39E+02	2.15E+02	8.14E+01	6.14E+01	4.53E+01	2.06E+01	8.03E+00	4.30E+00	4.25E+00	1.37E+00	5.34E-01	3.10E-01
1.00E+01	3.11E+01	3.06E+01	1.08E+01	8.56E+00	6.84E+00	2.79E+00	1.25E+00	6.04E-01	5.93E-01	2.02E-01	7.14E-02	4.29E-02
TOTAL	3.69E+10	2.94E+10	6.38E+09	5.01E+09	3.95E+09	1.24E+09	2.98E+05	1.72E+05	2.75E+05	1.68E+05	1.57E+05	1.46E+05

添付表 7-2 (5/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 4cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.44E+01	1.25E+01	4.18E+00	3.09E+00	2.14E+00	8.21E-01	3.92E-01	2.71E-01	2.26E-01	6.86E-02	3.07E-02	1.75E-02
1.12E-06	6.01E+01	5.49E+01	2.09E+01	1.57E+01	1.19E+01	4.91E+00	2.28E+00	1.03E+00	1.06E+00	3.76E-01	1.38E-01	8.03E-02
3.06E-06	1.97E+02	1.81E+02	6.66E+01	5.22E+01	3.92E+01	1.62E+01	7.14E+00	3.36E+00	3.35E+00	1.22E+00	4.66E-01	2.64E-01
1.07E-05	6.35E+02	5.88E+02	2.21E+02	1.66E+02	1.26E+02	5.27E+01	2.27E+01	1.09E+01	1.10E+01	3.88E+00	1.49E+00	8.65E-01
2.90E-05	9.75E+02	9.30E+02	3.52E+02	2.60E+02	1.99E+02	8.17E+01	3.39E+01	1.72E+01	1.73E+01	6.12E+00	2.37E+00	1.36E+00
1.01E-04	2.04E+03	1.97E+03	7.51E+02	5.61E+02	4.27E+02	1.77E+02	7.50E+01	3.77E+01	3.80E+01	1.32E+01	5.05E+00	2.91E+00
5.83E-04	5.10E+03	4.89E+03	1.86E+03	1.38E+03	1.06E+03	4.43E+02	1.87E+02	9.46E+01	9.39E+01	3.24E+01	1.25E+01	7.19E+00
3.35E-03	1.00E+04	9.60E+03	3.65E+03	2.72E+03	2.08E+03	8.76E+02	3.66E+02	1.83E+02	1.86E+02	6.42E+01	2.46E+01	1.42E+01
1.11E-01	4.53E+04	4.34E+04	1.65E+04	1.23E+04	9.44E+03	4.02E+03	1.70E+03	8.56E+02	8.53E+02	2.93E+02	1.11E+02	6.42E+01
5.50E-01	4.34E+04	4.15E+04	1.61E+04	1.21E+04	9.35E+03	4.18E+03	1.81E+03	8.95E+02	8.95E+02	2.94E+02	1.05E+02	6.18E+01
1.11E+00	1.92E+04	1.82E+04	7.14E+03	5.43E+03	4.24E+03	1.99E+03	8.73E+02	4.28E+02	4.28E+02	1.34E+02	4.53E+01	2.73E+01
1.83E+00	8.74E+03	8.32E+03	3.36E+03	2.59E+03	2.07E+03	1.03E+03	4.67E+02	2.23E+02	2.24E+02	6.66E+01	2.05E+01	1.27E+01
2.35E+00	3.09E+03	2.93E+03	1.22E+03	9.39E+02	7.60E+02	3.98E+02	1.82E+02	8.68E+01	8.80E+01	2.51E+01	7.15E+00	4.60E+00
2.46E+00	5.76E+02	5.57E+02	2.33E+02	1.86E+02	1.48E+02	7.98E+01	3.73E+01	1.73E+01	1.73E+01	4.86E+00	1.34E+00	8.82E-01
3.01E+00	1.80E+03	1.71E+03	7.15E+02	5.61E+02	4.54E+02	2.53E+02	1.18E+02	5.62E+01	5.58E+01	1.53E+01	4.03E+00	2.70E+00
4.06E+00	1.24E+03	1.18E+03	4.95E+02	3.90E+02	3.13E+02	1.70E+02	7.77E+01	3.69E+01	3.72E+01	1.03E+01	2.82E+00	1.86E+00
4.96E+00	4.16E+02	3.95E+02	1.62E+02	1.24E+02	9.72E+01	5.01E+01	2.23E+01	1.06E+01	1.03E+01	3.02E+00	8.90E-01	5.53E-01
6.36E+00	1.56E+02	1.55E+02	5.44E+01	3.88E+01	2.76E+01	7.86E+00	2.69E+00	1.53E+00	1.55E+00	7.85E-01	4.10E-01	2.14E-01
8.18E+00	4.59E+01	4.41E+01	1.47E+01	1.01E+01	6.96E+00	1.24E+00	2.31E-01	2.14E-01	2.14E-01	1.86E-01	1.21E-01	5.95E-02
1.00E+01	6.79E+00	6.52E+00	2.17E+00	1.49E+00	1.03E+00	1.83E-01	3.41E-02	3.17E-02	3.17E-02	2.75E-02	1.79E-02	8.80E-03
1.22E+01	2.21E+00	2.13E+00	7.09E-01	4.87E-01	3.36E-01	5.98E-02	1.11E-02	1.03E-02	1.03E-02	8.96E-03	5.83E-03	2.87E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.43E+05	1.36E+05	5.29E+04	3.98E+04	3.09E+04	1.38E+04	5.98E+03	2.96E+03	2.96E+03	9.68E+02	3.45E+02	2.04E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy					ガラス固	1化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	5.57E+06	4.33E+06	8.33E+05	6.55E+05	5.13E+05	1.64E+05	3.80E+01	2.18E+01	2.95E+01	1.84E+01	1.87E+01	1.82E+01
1.00E-01	4.68E+08	3.75E+08	8.48E+07	6.62E+07	5.27E+07	1.65E+07	4.28E+03	2.58E+03	4.16E+03	2.51E+03	2.21E+03	1.94E+03
2.00E-01	5.82E+09	4.66E+09	1.05E+09	8.29E+08	6.55E+08	2.05E+08	5.36E+04	3.24E+04	5.13E+04	3.12E+04	2.81E+04	2.44E+04
3.00E-01	5.07E+09	4.06E+09	9.21E+08	7.26E+08	5.71E+08	1.79E+08	4.14E+04	2.34E+04	3.70E+04	2.24E+04	2.10E+04	1.95E+04
4.00E-01	3.55E+09	2.85E+09	6.55E+08	5.16E+08	4.08E+08	1.28E+08	2.52E+04	1.23E+04	1.97E+04	1.21E+04	1.16E+04	1.11E+04
6.00E-01	3.85E+09	3.06E+09	6.27E+08	4.91E+08	3.87E+08	1.21E+08	2.17E+04	9.45E+03	1.52E+04	9.28E+03	9.07E+03	8.98E+03
8.00E-01	1.14E+09	8.27E+08	1.66E+07	8.99E+06	5.48E+06	1.02E+06	1.12E+03	9.74E+02	1.50E+03	9.07E+02	8.72E+02	8.91E+02
1.00E+00	3.43E+08	2.53E+08	9.50E+06	5.13E+06	2.84E+06	4.16E+05	5.22E+02	3.88E+02	5.66E+02	3.22E+02	3.19E+02	3.06E+02
1.33E+00	1.91E+08	1.41E+08	8.13E+06	4.09E+06	2.28E+06	3.23E+05	2.36E+02	1.96E+02	3.31E+02	1.90E+02	2.01E+02	2.12E+02
1.66E+00	2.12E+07	1.18E+07	5.24E+05	3.15E+05	2.00E+05	4.04E+04	1.71E+01	7.68E+00	1.02E+01	4.34E+00	9.80E+00	2.42E+01
2.00E+00	1.79E+07	8.14E+06	1.20E+05	7.41E+04	4.61E+04	9.11E+03	1.71E+01	8.14E+00	8.98E+00	3.79E+00	5.33E+00	8.36E+00
2.50E+00	1.17E+07	5.05E+06	8.94E+01	7.07E+01	3.98E+02	2.50E+01	1.27E+01	6.49E+00	6.77E+00	2.37E+00	1.41E+00	3.90E+00
3.00E+00	4.07E+05	2.09E+05	6.84E+01	5.12E+01	3.93E+01	1.74E+01	8.20E+00	4.50E+00	3.74E+00	1.69E+00	6.21E-01	6.97E-01
4.00E+00	8.71E+04	3.89E+04	6.72E+01	4.92E+01	3.81E+01	1.63E+01	8.71E+00	4.77E+00	5.38E+00	1.74E+00	5.91E-01	2.52E-01
5.00E+00	1.27E+02	1.26E+02	4.71E+01	3.51E+01	2.63E+01	1.07E+01	4.93E+00	2.47E+00	3.52E+00	1.16E+00	6.80E-01	1.85E-01
6.50E+00	2.17E+02	2.02E+02	7.61E+01	5.78E+01	4.29E+01	1.78E+01	7.87E+00	3.95E+00	4.07E+00	1.36E+00	5.12E-01	2.91E-01
8.00E+00	2.20E+02	2.08E+02	8.05E+01	5.96E+01	4.48E+01	1.93E+01	7.45E+00	4.15E+00	4.20E+00	1.44E+00	5.37E-01	3.13E-01
1.00E+01	2.59E+01	2.53E+01	1.03E+01	7.36E+00	5.79E+00	2.02E+00	1.18E+00	5.50E-01	4.82E-01	2.15E-01	6.48E-02	3.80E-02
TOTAL	2.05E+10	1.63E+10	3.38E+09	2.65E+09	2.08E+09	6.52E+08	1.49E+05	8.28E+04	1.31E+05	8.09E+04	7.84E+04	7.74E+04

添付表 7-2(6/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

OP内側表面から 5cm

中性子		[flux(n/sec/cm2)]												
Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期	間 [年]						
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000		
4.14E-07	1.17E+01	1.09E+01	4.10E+00	2.82E+00	2.43E+00	9.66E-01	4.22E-01	2.56E-01	2.00E-01	7.08E-02	2.73E-02	1.58E-02		
1.12E-06	6.43E+01	6.14E+01	2.25E+01	1.74E+01	1.34E+01	5.42E+00	2.18E+00	1.23E+00	1.11E+00	4.07E-01	1.56E-01	8.87E-02		
3.06E-06	2.12E+02	2.01E+02	7.55E+01	5.69E+01	4.28E+01	1.81E+01	7.96E+00	3.80E+00	3.78E+00	1.33E+00	5.11E-01	2.95E-01		
1.07E-05	6.62E+02	6.36E+02	2.39E+02	1.80E+02	1.35E+02	5.61E+01	2.39E+01	1.23E+01	1.19E+01	4.22E+00	1.62E+00	9.22E-01		
2.90E-05	1.00E+03	9.59E+02	3.69E+02	2.71E+02	2.08E+02	8.67E+01	3.75E+01	1.84E+01	1.84E+01	6.41E+00	2.46E+00	1.40E+00		
1.01E-04	2.20E+03	2.09E+03	7.90E+02	5.91E+02	4.53E+02	1.89E+02	7.98E+01	3.92E+01	3.94E+01	1.38E+01	5.35E+00	3.07E+00		
5.83E-04	5.01E+03	4.78E+03	1.81E+03	1.35E+03	1.03E+03	4.33E+02	1.83E+02	9.18E+01	9.16E+01	3.18E+01	1.22E+01	7.02E+00		
3.35E-03	9.47E+03	9.04E+03	3.43E+03	2.57E+03	1.96E+03	8.25E+02	3.45E+02	1.71E+02	1.74E+02	6.05E+01	2.32E+01	1.33E+01		
1.11E-01	4.16E+04	3.99E+04	1.52E+04	1.13E+04	8.67E+03	3.68E+03	1.57E+03	7.85E+02	7.80E+02	2.69E+02	1.02E+02	5.87E+01		
5.50E-01	4.08E+04	3.90E+04	1.51E+04	1.14E+04	8.80E+03	3.93E+03	1.71E+03	8.45E+02	8.39E+02	2.75E+02	9.82E+01	5.80E+01		
1.11E+00	1.73E+04	1.66E+04	6.53E+03	4.97E+03	3.90E+03	1.82E+03	8.08E+02	3.91E+02	3.94E+02	1.23E+02	4.13E+01	2.49E+01		
1.83E+00	7.53E+03	7.25E+03	2.94E+03	2.26E+03	1.79E+03	8.98E+02	4.05E+02	1.96E+02	1.95E+02	5.79E+01	1.78E+01	1.12E+01		
2.35E+00	2.53E+03	2.42E+03	1.00E+03	7.78E+02	6.31E+02	3.27E+02	1.50E+02	7.22E+01	7.18E+01	2.05E+01	5.86E+00	3.81E+00		
2.46E+00	4.74E+02	4.44E+02	1.87E+02	1.46E+02	1.20E+02	6.48E+01	2.95E+01	1.38E+01	1.37E+01	3.97E+00	1.08E+00	6.95E-01		
3.01E+00	1.44E+03	1.35E+03	5.73E+02	4.49E+02	3.64E+02	2.04E+02	9.23E+01	4.40E+01	4.41E+01	1.22E+01	3.20E+00	2.14E+00		
4.06E+00	9.74E+02	9.34E+02	3.93E+02	3.05E+02	2.49E+02	1.33E+02	6.13E+01	2.86E+01	2.90E+01	8.09E+00	2.23E+00	1.47E+00		
4.96E+00	3.31E+02	3.07E+02	1.25E+02	9.67E+01	7.52E+01	3.94E+01	1.69E+01	8.09E+00	7.82E+00	2.33E+00	6.80E-01	4.20E-01		
6.36E+00	1.31E+02	1.25E+02	4.34E+01	3.05E+01	2.19E+01	5.97E+00	1.98E+00	1.22E+00	1.21E+00	6.03E-01	3.27E-01	1.70E-01		
8.18E+00	3.50E+01	3.36E+01	1.12E+01	7.70E+00	5.31E+00	9.43E-01	1.76E-01	1.63E-01	1.63E-01	1.41E-01	9.21E-02	4.53E-02		
1.00E+01	5.00E+00	4.81E+00	1.60E+00	1.10E+00	7.60E-01	1.35E-01	2.52E-02	2.34E-02	2.34E-02	2.02E-02	1.32E-02	6.49E-03		
1.22E+01	2.41E+00	2.32E+00	7.73E-01	5.31E-01	3.66E-01	6.51E-02	1.21E-02	1.13E-02	1.13E-02	9.76E-03	6.35E-03	3.13E-03		
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
TOTAL	1.32E+05	1.26E+05	4.88E+04	3.68E+04	2.85E+04	1.27E+04	5.52E+03	2.72E+03	2.72E+03	8.92E+02	3.18E+02	1.88E+02		
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]		
Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期]間 [年]						
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000		
5.00E-02	3.08E+06	2.42E+06	4.54E+05	3.31E+05	2.77E+05	8.56E+04	1.98E+01	1.08E+01	1.85E+01	1.07E+01	9.79E+00	9.48E+00		
1.00E-01	2.61E+08	2.07E+08	4.54E+07	3.57E+07	2.81E+07	8.79E+06	2.00E+03	1.15E+03	1.87E+03	1.16E+03	1.07E+03	1.00E+03		
2.00E-01	3.24E+09	2.58E+09	5.61E+08	4.40E+08	3.49E+08	1.09E+08	2.64E+04	1.51E+04	2.37E+04	1.46E+04	1.34E+04	1.20E+04		
3.00E-01	2.85E+09	2.28E+09	4.97E+08	3.90E+08	3.08E+08	9.66E+07	2.14E+04	1.16E+04	1.86E+04	1.12E+04	1.05E+04	9.85E+03		
4.00E-01	1.99E+09	1.59E+09	3.52E+08	2.76E+08	2.18E+08	6.83E+07	1.33E+04	6.41E+03	1.03E+04	6.31E+03	6.01E+03	5.78E+03		

1.00E-01	2.61E+08	2.07E+08	4.54E+07	3.57E+07	2.81E+07	8.79E+06	2.00E+03	1.15E+03	1.87E+03	1.16E+03	1.07E+03	1.00E+03
2.00E-01	3.24E+09	2.58E+09	5.61E+08	4.40E+08	3.49E+08	1.09E+08	2.64E+04	1.51E+04	2.37E+04	1.46E+04	1.34E+04	1.20E+04
3.00E-01	2.85E+09	2.28E+09	4.97E+08	3.90E+08	3.08E+08	9.66E+07	2.14E+04	1.16E+04	1.86E+04	1.12E+04	1.05E+04	9.85E+03
4.00E-01	1.99E+09	1.59E+09	3.52E+08	2.76E+08	2.18E+08	6.83E+07	1.33E+04	6.41E+03	1.03E+04	6.31E+03	6.01E+03	5.78E+03
6.00E-01	2.11E+09	1.66E+09	3.18E+08	2.50E+08	1.96E+08	6.13E+07	1.12E+04	4.92E+03	7.87E+03	4.82E+03	4.73E+03	4.61E+03
8.00E-01	6.50E+08	4.72E+08	9.83E+06	5.27E+06	3.25E+06	5.89E+05	6.51E+02	5.60E+02	8.36E+02	5.22E+02	5.02E+02	5.19E+02
1.00E+00	1.98E+08	1.46E+08	5.76E+06	3.03E+06	1.72E+06	2.51E+05	3.41E+02	2.36E+02	3.50E+02	1.91E+02	1.84E+02	1.83E+02
1.33E+00	1.15E+08	8.39E+07	4.76E+06	2.39E+06	1.34E+06	1.88E+05	1.31E+02	1.12E+02	1.79E+02	1.06E+02	1.16E+02	1.19E+02
1.66E+00	1.39E+07	7.50E+06	3.26E+05	2.05E+05	1.27E+05	2.43E+04	1.42E+01	6.43E+00	8.42E+00	2.94E+00	6.19E+00	1.78E+01
2.00E+00	1.18E+07	5.31E+06	5.80E+04	3.60E+04	2.40E+04	4.25E+03	1.29E+01	6.59E+00	6.19E+00	2.96E+00	4.31E+00	4.38E+00
2.50E+00	7.58E+06	3.23E+06	8.27E+01	6.24E+01	4.89E+01	2.23E+01	1.08E+01	5.50E+00	6.58E+00	2.09E+00	9.65E-01	1.80E+00
3.00E+00	2.42E+05	1.11E+05	5.99E+01	4.40E+01	3.33E+01	1.51E+01	7.55E+00	3.90E+00	3.17E+00	1.59E+00	6.83E-01	5.71E-01
4.00E+00	5.14E+04	2.54E+04	6.26E+01	4.64E+01	3.68E+01	1.52E+01	7.50E+00	3.83E+00	4.09E+00	1.40E+00	4.14E-01	2.40E-01
5.00E+00	1.24E+02	1.19E+02	4.37E+01	3.37E+01	2.61E+01	1.07E+01	4.44E+00	2.34E+00	2.83E+00	1.08E+00	5.15E-01	1.74E-01
6.50E+00	2.11E+02	1.96E+02	7.28E+01	5.47E+01	4.40E+01	1.79E+01	7.30E+00	3.65E+00	3.71E+00	1.32E+00	5.02E-01	2.86E-01
8.00E+00	2.09E+02	1.95E+02	7.56E+01	5.68E+01	4.23E+01	1.89E+01	7.58E+00	3.83E+00	4.16E+00	1.35E+00	5.02E-01	2.93E-01
1.00E+01	2.78E+01	2.72E+01	9.78E+00	6.90E+00	5.56E+00	2.23E+00	8.14E-01	5.32E-01	5.22E-01	1.82E-01	6.64E-02	3.79E-02
TOTAL	1.14E+10	9.03E+09	1.80E+09	1.40E+09	1.11E+09	3.45E+08	7.59E+04	4.11E+04	6.52E+04	4.09E+04	4.16E+04	4.41E+04

添付表 7-2 (7/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 6cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.40E+01	1.31E+01	4.86E+00	3.51E+00	2.71E+00	1.17E+00	4.88E-01	2.11E-01	2.44E-01	8.85E-02	3.37E-02	1.82E-02
1.12E-06	6.84E+01	6.41E+01	2.44E+01	1.83E+01	1.36E+01	5.78E+00	2.48E+00	1.16E+00	1.24E+00	4.38E-01	1.68E-01	9.28E-02
3.06E-06	2.27E+02	2.12E+02	8.06E+01	5.98E+01	4.55E+01	1.91E+01	8.24E+00	4.04E+00	3.94E+00	1.38E+00	5.37E-01	3.09E-01
1.07E-05	7.09E+02	6.77E+02	2.54E+02	1.90E+02	1.45E+02	5.98E+01	2.47E+01	1.26E+01	1.27E+01	4.47E+00	1.73E+00	9.88E-01
2.90E-05	1.04E+03	1.00E+03	3.85E+02	2.84E+02	2.16E+02	9.01E+01	3.81E+01	1.93E+01	1.91E+01	6.72E+00	2.58E+00	1.47E+00
1.01E-04	2.19E+03	2.09E+03	7.93E+02	5.92E+02	4.54E+02	1.91E+02	7.99E+01	4.04E+01	4.00E+01	1.39E+01	5.36E+00	3.07E+00
5.83E-04	4.81E+03	4.58E+03	1.74E+03	1.29E+03	9.88E+02	4.14E+02	1.72E+02	8.76E+01	8.78E+01	3.04E+01	1.18E+01	6.72E+00
3.35E-03	8.79E+03	8.44E+03	3.21E+03	2.39E+03	1.83E+03	7.68E+02	3.21E+02	1.62E+02	1.62E+02	5.59E+01	2.16E+01	1.24E+01
1.11E-01	3.81E+04	3.63E+04	1.39E+04	1.04E+04	7.93E+03	3.38E+03	1.44E+03	7.20E+02	7.16E+02	2.46E+02	9.27E+01	5.35E+01
5.50E-01	3.79E+04	3.62E+04	1.40E+04	1.06E+04	8.20E+03	3.69E+03	1.60E+03	7.90E+02	7.89E+02	2.57E+02	9.13E+01	5.40E+01
1.11E+00	1.59E+04	1.51E+04	5.96E+03	4.55E+03	3.56E+03	1.68E+03	7.42E+02	3.63E+02	3.62E+02	1.13E+02	3.75E+01	2.28E+01
1.83E+00	6.45E+03	6.25E+03	2.54E+03	1.96E+03	1.55E+03	7.87E+02	3.52E+02	1.68E+02	1.70E+02	5.02E+01	1.54E+01	9.67E+00
2.35E+00	2.06E+03	1.99E+03	8.25E+02	6.38E+02	5.15E+02	2.72E+02	1.24E+02	5.94E+01	5.98E+01	1.68E+01	4.85E+00	3.12E+00
2.46E+00	3.92E+02	3.60E+02	1.49E+02	1.15E+02	9.49E+01	5.28E+01	2.39E+01	1.14E+01	1.11E+01	3.16E+00	8.62E-01	5.57E-01
3.01E+00	1.13E+03	1.07E+03	4.49E+02	3.50E+02	2.89E+02	1.60E+02	7.43E+01	3.48E+01	3.52E+01	9.62E+00	2.55E+00	1.70E+00
4.06E+00	7.50E+02	7.35E+02	3.07E+02	2.41E+02	1.95E+02	1.05E+02	4.80E+01	2.29E+01	2.31E+01	6.38E+00	1.75E+00	1.16E+00
4.96E+00	2.54E+02	2.37E+02	9.69E+01	7.44E+01	5.80E+01	3.01E+01	1.32E+01	6.35E+00	6.27E+00	1.78E+00	5.32E-01	3.21E-01
6.36E+00	1.02E+02	9.85E+01	3.41E+01	2.39E+01	1.70E+01	4.72E+00	1.51E+00	9.63E-01	9.37E-01	4.81E-01	2.60E-01	1.35E-01
8.18E+00	2.86E+01	2.75E+01	9.16E+00	6.30E+00	4.34E+00	7.72E-01	1.44E-01	1.34E-01	1.34E-01	1.16E-01	7.54E-02	3.71E-02
1.00E+01	4.82E+00	4.63E+00	1.54E+00	1.06E+00	7.32E-01	1.30E-01	2.42E-02	2.25E-02	2.25E-02	1.95E-02	1.27E-02	6.25E-03
1.22E+01	1.05E+00	1.01E+00	3.35E-01	2.30E-01	1.59E-01	2.82E-02	5.26E-03	4.89E-03	4.89E-03	4.23E-03	2.76E-03	1.36E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.21E+05	1.15E+05	4.48E+04	3.37E+04	2.61E+04	1.17E+04	5.06E+03	2.50E+03	2.50E+03	8.18E+02	2.92E+02	1.72E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy					ガラス固	目化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.71E+06	1.34E+06	2.45E+05	1.90E+05	1.47E+05	4.51E+04	1.02E+01	4.48E+00	8.69E+00	4.55E+00	4.51E+00	5.27E+00
1.00E-01	1.46E+08	1.15E+08	2.40E+07	1.91E+07	1.50E+07	4.70E+06	9.99E+02	5.52E+02	8.88E+02	5.56E+02	5.26E+02	4.73E+02
2.00E-01	1.82E+09	1.44E+09	3.03E+08	2.38E+08	1.87E+08	5.87E+07	1.31E+04	7.25E+03	1.16E+04	7.09E+03	6.54E+03	6.10E+03
3.00E-01	1.61E+09	1.28E+09	2.69E+08	2.12E+08	1.66E+08	5.22E+07	1.11E+04	5.89E+03	9.35E+03	5.78E+03	5.42E+03	5.08E+03
4.00E-01	1.12E+09	8.91E+08	1.90E+08	1.49E+08	1.17E+08	3.65E+07	7.09E+03	3.45E+03	5.34E+03	3.34E+03	3.17E+03	3.11E+03
6.00E-01	1.17E+09	9.19E+08	1.65E+08	1.29E+08	1.01E+08	3.15E+07	5.79E+03	2.62E+03	4.15E+03	2.55E+03	2.48E+03	2.43E+03
8.00E-01	3.76E+08	2.74E+08	6.05E+06	3.29E+06	1.96E+06	3.45E+05	3.96E+02	3.31E+02	5.01E+02	2.98E+02	2.93E+02	2.84E+02
1.00E+00	1.17E+08	8.62E+07	3.51E+06	1.82E+06	1.03E+06	1.51E+05	2.24E+02	1.51E+02	2.18E+02	1.18E+02	1.11E+02	1.06E+02
1.33E+00	6.99E+07	5.08E+07	2.78E+06	1.42E+06	7.94E+05	1.11E+05	8.68E+01	7.17E+01	1.12E+02	6.31E+01	7.12E+01	7.22E+01
1.66E+00	9.25E+06	4.86E+06	2.06E+05	1.27E+05	8.12E+04	1.42E+04	1.16E+01	5.45E+00	6.31E+00	2.53E+00	4.22E+00	1.25E+01
2.00E+00	7.79E+06	3.61E+06	4.05E+04	2.31E+04	1.68E+04	2.94E+03	1.10E+01	5.60E+00	5.22E+00	2.46E+00	3.09E+00	2.45E+00
2.50E+00	5.04E+06	2.10E+06	7.14E+01	5.28E+01	4.19E+01	1.94E+01	8.49E+00	4.87E+00	5.05E+00	1.57E+00	8.65E-01	1.70E+00
3.00E+00	1.58E+05	7.41E+04	5.65E+01	3.98E+01	3.17E+01	1.38E+01	6.58E+00	2.88E+00	2.87E+00	1.36E+00	4.95E-01	5.37E-01
4.00E+00	4.07E+04	2.27E+04	5.73E+01	4.22E+01	3.23E+01	1.34E+01	6.41E+00	3.25E+00	3.78E+00	1.25E+00	3.72E-01	2.21E-01
5.00E+00	1.13E+02	1.12E+02	4.07E+01	3.15E+01	2.34E+01	1.01E+01	4.00E+00	2.14E+00	2.57E+00	9.23E-01	4.81E-01	1.60E-01
6.50E+00	1.91E+02	1.84E+02	7.05E+01	5.31E+01	4.09E+01	1.75E+01	7.30E+00	3.56E+00	3.75E+00	1.27E+00	4.65E-01	2.62E-01
8.00E+00	2.03E+02	1.95E+02	7.43E+01	5.60E+01	4.25E+01	1.75E+01	7.52E+00	3.85E+00	3.87E+00	1.32E+00	5.02E-01	3.00E-01
1.00E+01	2.00E+01	2.44E+01	8.75E+00	6.60E+00	5.49E+00	2.27E+00	8.29E-01	4.68E-01	4.65E-01	1.53E-01	6.13E-02	3.59E-02
TOTAL	6.46E+09	5.07E+09	9.63E+08	7.54E+08	5.91E+08	1.84E+08	3.93E+04	2.13E+04	3.37E+04	2.18E+04	2.36E+04	2.77E+04

添付表 7-2 (8/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

OP内側表面から 7cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.24E+01	1.32E+01	4.65E+00	3.67E+00	2.67E+00	1.05E+00	5.32E-01	2.63E-01	2.49E-01	8.66E-02	3.43E-02	1.91E-02
1.12E-06	7.07E+01	6.87E+01	2.69E+01	1.87E+01	1.52E+01	5.94E+00	2.53E+00	1.24E+00	1.32E+00	4.51E-01	1.78E-01	9.90E-02
3.06E-06	2.38E+02	2.23E+02	8.44E+01	6.18E+01	4.81E+01	1.97E+01	8.33E+00	4.33E+00	4.08E+00	1.45E+00	5.66E-01	3.16E-01
1.07E-05	7.33E+02	6.93E+02	2.61E+02	1.92E+02	1.47E+02	6.07E+01	2.57E+01	1.31E+01	1.30E+01	4.59E+00	1.76E+00	1.02E+00
2.90E-05	1.06E+03	1.01E+03	3.85E+02	2.82E+02	2.16E+02	9.11E+01	3.89E+01	1.94E+01	1.93E+01	6.76E+00	2.60E+00	1.49E+00
1.01E-04	2.17E+03	2.07E+03	7.90E+02	5.87E+02	4.48E+02	1.87E+02	7.81E+01	3.96E+01	3.99E+01	1.38E+01	5.31E+00	3.06E+00
5.83E-04	4.50E+03	4.32E+03	1.64E+03	1.22E+03	9.27E+02	3.89E+02	1.65E+02	8.25E+01	8.33E+01	2.86E+01	1.11E+01	6.34E+00
3.35E-03	8.16E+03	7.82E+03	2.97E+03	2.21E+03	1.69E+03	7.08E+02	2.97E+02	1.50E+02	1.50E+02	5.22E+01	2.00E+01	1.15E+01
1.11E-01	3.47E+04	3.32E+04	1.27E+04	9.46E+03	7.24E+03	3.09E+03	1.31E+03	6.58E+02	6.57E+02	2.25E+02	8.46E+01	4.90E+01
5.50E-01	3.53E+04	3.37E+04	1.31E+04	9.86E+03	7.66E+03	3.43E+03	1.49E+03	7.39E+02	7.39E+02	2.41E+02	8.50E+01	5.04E+01
1.11E+00	1.45E+04	1.38E+04	5.45E+03	4.16E+03	3.26E+03	1.53E+03	6.80E+02	3.31E+02	3.31E+02	1.03E+02	3.44E+01	2.09E+01
1.83E+00	5.61E+03	5.43E+03	2.21E+03	1.70E+03	1.35E+03	6.81E+02	3.04E+02	1.47E+02	1.47E+02	4.37E+01	1.34E+01	8.36E+00
2.35E+00	1.71E+03	1.64E+03	6.81E+02	5.31E+02	4.25E+02	2.25E+02	1.04E+02	4.90E+01	4.94E+01	1.41E+01	4.02E+00	2.57E+00
2.46E+00	2.81E+02	2.85E+02	1.19E+02	9.16E+01	7.51E+01	4.20E+01	1.90E+01	9.03E+00	9.06E+00	2.50E+00	6.87E-01	4.44E-01
3.01E+00	9.10E+02	8.59E+02	3.59E+02	2.81E+02	2.30E+02	1.28E+02	5.80E+01	2.79E+01	2.77E+01	7.58E+00	2.04E+00	1.36E+00
4.06E+00	6.05E+02	5.80E+02	2.44E+02	1.91E+02	1.53E+02	8.22E+01	3.83E+01	1.82E+01	1.78E+01	5.04E+00	1.38E+00	9.11E-01
4.96E+00	1.96E+02	1.90E+02	7.69E+01	5.96E+01	4.64E+01	2.38E+01	1.06E+01	4.84E+00	5.01E+00	1.47E+00	4.26E-01	2.59E-01
6.36E+00	7.95E+01	7.61E+01	2.64E+01	1.86E+01	1.34E+01	3.77E+00	1.15E+00	7.08E-01	6.73E-01	3.68E-01	2.01E-01	1.05E-01
8.18E+00	2.24E+01	2.15E+01	7.16E+00	4.92E+00	3.40E+00	6.04E-01	1.13E-01	1.05E-01	1.05E-01	9.05E-02	5.89E-02	2.90E-02
1.00E+01	3.77E+00	3.63E+00	1.21E+00	8.31E-01	5.73E-01	1.02E-01	1.90E-02	1.76E-02	1.76E-02	1.53E-02	9.94E-03	4.89E-03
1.22E+01	1.11E+00	1.07E+00	3.55E-01	2.44E-01	1.68E-01	2.99E-02	5.58E-03	5.18E-03	5.18E-03	4.49E-03	2.92E-03	1.44E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.11E+05	1.06E+05	4.11E+04	3.09E+04	2.39E+04	1.07E+04	4.63E+03	2.29E+03	2.29E+03	7.52E+02	2.68E+02	1.58E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス間	化体生成	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.02E+06	7.63E+05	1.35E+05	9.74E+04	7.88E+04	2.36E+04	5.14E+00	3.37E+00	4.98E+00	2.63E+00	2.63E+00	2.25E+00

LHCI SJ					74 7 7 E		反 * / 庄 地 / y	31H3 E I J				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.02E+06	7.63E+05	1.35E+05	9.74E+04	7.88E+04	2.36E+04	5.14E+00	3.37E+00	4.98E+00	2.63E+00	2.63E+00	2.25E+00
1.00E-01	8.30E+07	6.57E+07	1.32E+07	1.00E+07	8.04E+06	2.52E+06	5.41E+02	3.02E+02	4.50E+02	2.77E+02	2.55E+02	2.47E+02
2.00E-01	1.03E+09	8.16E+08	1.63E+08	1.27E+08	1.00E+08	3.15E+07	6.90E+03	3.61E+03	5.70E+03	3.53E+03	3.31E+03	3.12E+03
3.00E-01	9.10E+08	7.22E+08	1.45E+08	1.14E+08	8.98E+07	2.80E+07	6.03E+03	3.06E+03	4.81E+03	2.95E+03	2.85E+03	2.64E+03
4.00E-01	6.33E+08	5.01E+08	1.02E+08	7.99E+07	6.27E+07	1.96E+07	3.74E+03	1.80E+03	2.82E+03	1.75E+03	1.67E+03	1.62E+03
6.00E-01	6.60E+08	5.13E+08	8.57E+07	6.68E+07	5.22E+07	1.63E+07	3.08E+03	1.40E+03	2.27E+03	1.36E+03	1.33E+03	1.29E+03
8.00E-01	2.20E+08	1.60E+08	3.74E+06	2.10E+06	1.21E+06	2.11E+05	2.42E+02	2.02E+02	3.02E+02	1.82E+02	1.74E+02	1.77E+02
1.00E+00	7.03E+07	5.13E+07	2.10E+06	1.09E+06	6.30E+05	9.35E+04	1.57E+02	1.00E+02	1.42E+02	7.04E+01	6.56E+01	6.26E+01
1.33E+00	4.30E+07	3.12E+07	1.69E+06	8.15E+05	4.90E+05	7.02E+04	5.98E+01	4.74E+01	7.42E+01	3.95E+01	4.40E+01	4.42E+01
1.66E+00	6.35E+06	3.34E+06	1.39E+05	9.13E+04	5.34E+04	9.18E+03	9.61E+00	4.68E+00	5.35E+00	2.06E+00	3.36E+00	8.38E+00
2.00E+00	5.29E+06	2.37E+06	2.37E+04	1.88E+04	1.07E+04	1.95E+03	8.89E+00	4.37E+00	4.27E+00	1.62E+00	2.28E+00	1.55E+00
2.50E+00	3.31E+06	1.38E+06	5.96E+01	4.67E+01	3.65E+01	1.71E+01	7.50E+00	4.32E+00	4.10E+00	1.27E+00	5.16E-01	1.34E+00
3.00E+00	9.41E+04	5.76E+04	4.68E+01	3.32E+01	2.51E+01	1.16E+01	5.83E+00	2.61E+00	3.10E+00	1.23E+00	3.70E-01	4.98E-01
4.00E+00	2.98E+04	1.67E+04	5.13E+01	3.72E+01	2.83E+01	1.20E+01	6.24E+00	2.94E+00	3.09E+00	1.14E+00	3.29E-01	1.90E-01
5.00E+00	1.08E+02	9.74E+01	3.67E+01	2.88E+01	2.19E+01	9.41E+00	3.74E+00	1.99E+00	2.38E+00	8.75E-01	4.33E-01	1.47E-01
6.50E+00	1.83E+02	1.73E+02	6.37E+01	4.86E+01	3.76E+01	1.62E+01	6.85E+00	3.41E+00	3.46E+00	1.14E+00	4.33E-01	2.48E-01
8.00E+00	1.96E+02	1.89E+02	7.16E+01	5.38E+01	4.17E+01	1.75E+01	7.27E+00	3.73E+00	3.82E+00	1.25E+00	4.75E-01	2.77E-01
1.00E+01	2.22E+01	2.30E+01	8.55E+00	6.34E+00	4.44E+00	2.16E+00	8.66E-01	4.76E-01	4.47E-01	1.59E-01	5.93E-02	3.36E-02
TOTAL	3.66E+09	2.87E+09	5.17E+08	4.02E+08	3.15E+08	9.83E+07	2.13E+04	1.15E+04	1.81E+04	1.22E+04	1.47E+04	1.92E+04

添付表 7-2 (9/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 8cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	间化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.55E+01	1.42E+01	5.51E+00	4.03E+00	2.76E+00	1.11E+00	4.46E-01	2.47E-01	2.56E-01	9.73E-02	3.63E-02	2.04E-02
1.12E-06	6.76E+01	6.80E+01	2.64E+01	1.90E+01	1.48E+01	6.21E+00	2.68E+00	1.30E+00	1.36E+00	4.46E-01	1.74E-01	9.83E-02
3.06E-06	2.33E+02	2.25E+02	8.54E+01	6.28E+01	4.81E+01	2.03E+01	8.82E+00	4.31E+00	4.27E+00	1.49E+00	5.74E-01	3.23E-01
1.07E-05	7.17E+02	6.86E+02	2.60E+02	1.91E+02	1.48E+02	6.12E+01	2.63E+01	1.29E+01	1.30E+01	4.58E+00	1.76E+00	9.95E-01
2.90E-05	1.07E+03	1.01E+03	3.82E+02	2.83E+02	2.19E+02	9.07E+01	3.82E+01	1.94E+01	1.91E+01	6.75E+00	2.60E+00	1.49E+00
1.01E-04	2.08E+03	1.99E+03	7.58E+02	5.67E+02	4.34E+02	1.82E+02	7.62E+01	3.85E+01	3.80E+01	1.33E+01	5.12E+00	2.96E+00
5.83E-04	4.20E+03	4.00E+03	1.52E+03	1.13E+03	8.65E+02	3.65E+02	1.55E+02	7.70E+01	7.70E+01	2.68E+01	1.02E+01	5.91E+00
3.35E-03	7.44E+03	7.15E+03	2.72E+03	2.02E+03	1.55E+03	6.53E+02	2.75E+02	1.37E+02	1.38E+02	4.77E+01	1.83E+01	1.05E+01
1.11E-01	3.14E+04	3.02E+04	1.16E+04	8.59E+03	6.61E+03	2.82E+03	1.20E+03	6.02E+02	5.98E+02	2.05E+02	7.70E+01	4.46E+01
5.50E-01	3.27E+04	3.13E+04	1.22E+04	9.18E+03	7.11E+03	3.20E+03	1.39E+03	6.85E+02	6.86E+02	2.24E+02	7.89E+01	4.68E+01
1.11E+00	1.32E+04	1.26E+04	4.99E+03	3.79E+03	2.98E+03	1.41E+03	6.20E+02	3.04E+02	3.03E+02	9.44E+01	3.14E+01	1.90E+01
1.83E+00	4.85E+03	4.69E+03	1.91E+03	1.47E+03	1.16E+03	5.92E+02	2.66E+02	1.28E+02	1.29E+02	3.78E+01	1.15E+01	7.25E+00
2.35E+00	1.43E+03	1.36E+03	5.61E+02	4.39E+02	3.51E+02	1.86E+02	8.54E+01	4.06E+01	4.04E+01	1.17E+01	3.29E+00	2.14E+00
2.46E+00	2.31E+02	2.24E+02	9.36E+01	7.44E+01	6.09E+01	3.34E+01	1.51E+01	7.30E+00	7.16E+00	2.02E+00	5.42E-01	3.57E-01
3.01E+00	7.19E+02	6.90E+02	2.93E+02	2.28E+02	1.82E+02	9.99E+01	4.72E+01	2.24E+01	2.21E+01	6.11E+00	1.64E+00	1.09E+00
4.06E+00	4.78E+02	4.64E+02	1.93E+02	1.53E+02	1.22E+02	6.52E+01	2.97E+01	1.42E+01	1.41E+01	4.04E+00	1.11E+00	7.24E-01
4.96E+00	1.68E+02	1.51E+02	6.20E+01	4.73E+01	3.64E+01	1.90E+01	8.14E+00	3.85E+00	3.87E+00	1.14E+00	3.42E-01	2.08E-01
6.36E+00	6.44E+01	6.25E+01	2.15E+01	1.50E+01	1.07E+01	2.94E+00	9.84E-01	5.64E-01	5.55E-01	3.06E-01	1.63E-01	8.46E-02
8.18E+00	1.78E+01	1.71E+01	5.69E+00	3.91E+00	2.70E+00	4.80E-01	8.94E-02	8.30E-02	8.30E-02	7.19E-02	4.68E-02	2.31E-02
1.00E+01	2.90E+00	2.79E+00	9.28E-01	6.38E-01	4.40E-01	7.82E-02	1.46E-02	1.35E-02	1.35E-02	1.17E-02	7.64E-03	3.76E-03
1.22E+01	1.10E+00	1.06E+00	3.53E-01	2.43E-01	1.67E-01	2.98E-02	5.55E-03	5.15E-03	5.15E-03	4.46E-03	2.91E-03	1.43E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.01E+05	9.68E+04	3.76E+04	2.83E+04	2.19E+04	9.81E+03	4.24E+03	2.10E+03	2.09E+03	6.87E+02	2.45E+02	1.45E+02
ガンマ線	-										[flux(g/	sec/cm2)]
Energy		-	_	-	ガラス国	目化体生成	後の経過期]間 [年]	-	-	-	
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	5.92E+05	4.11E+05	7.15E+04	6.22E+04	4.13E+04	1.32E+04	2.68E+00	1.96E+00	2.66E+00	1.08E+00	1.66E+00	1.93E+00
1.00E-01	4.80E+07	3.71E+07	7.07E+06	5.17E+06	4.32E+06	1.35E+06	2.85E+02	1.48E+02	2.37E+02	1.39E+02	1.31E+02	1.19E+02
2.00E-01	5.88E+08	4.62E+08	8.79E+07	6.91E+07	5.41E+07	1.69E+07	3.66E+03	1.85E+03	2.96E+03	1.82E+03	1.69E+03	1.55E+03
2 005-01	5 205+08	1 095+09	7 005+07	6 91E±07	4 975+07	1 525±07	2 195±02	1 615+02	2 195+02	1 575+02	1 405+02	1 255+02

5.00E-02	5.92E+05	4.11E+05	7.15E+04	6.22E+04	4.13E+04	1.32E+04	2.68E+00	1.96E+00	2.66E+00	1.08E+00	1.66E+00	1.93E+00
1.00E-01	4.80E+07	3.71E+07	7.07E+06	5.17E+06	4.32E+06	1.35E+06	2.85E+02	1.48E+02	2.37E+02	1.39E+02	1.31E+02	1.19E+02
2.00E-01	5.88E+08	4.62E+08	8.79E+07	6.91E+07	5.41E+07	1.69E+07	3.66E+03	1.85E+03	2.96E+03	1.82E+03	1.69E+03	1.55E+03
3.00E-01	5.20E+08	4.08E+08	7.99E+07	6.21E+07	4.87E+07	1.53E+07	3.18E+03	1.61E+03	2.48E+03	1.57E+03	1.49E+03	1.35E+03
4.00E-01	3.60E+08	2.84E+08	5.50E+07	4.29E+07	3.37E+07	1.05E+07	2.01E+03	9.63E+02	1.57E+03	9.40E+02	8.98E+02	8.87E+02
6.00E-01	3.75E+08	2.90E+08	4.51E+07	3.50E+07	2.72E+07	8.47E+06	1.63E+03	7.72E+02	1.21E+03	7.28E+02	7.20E+02	7.14E+02
8.00E-01	1.30E+08	9.39E+07	2.28E+06	1.26E+06	7.27E+05	1.24E+05	1.49E+02	1.26E+02	1.91E+02	1.09E+02	1.07E+02	1.11E+02
1.00E+00	4.27E+07	3.09E+07	1.32E+06	6.88E+05	3.85E+05	5.92E+04	1.12E+02	6.51E+01	9.14E+01	4.37E+01	3.95E+01	3.68E+01
1.33E+00	2.69E+07	1.94E+07	1.03E+06	5.20E+05	3.03E+05	4.26E+04	4.24E+01	3.10E+01	4.89E+01	2.45E+01	2.74E+01	2.52E+01
1.66E+00	4.33E+06	2.29E+06	8.57E+04	5.67E+04	3.63E+04	6.24E+03	8.28E+00	3.97E+00	4.53E+00	1.60E+00	2.48E+00	5.45E+00
2.00E+00	3.62E+06	1.60E+06	1.99E+04	1.66E+04	8.96E+03	1.42E+03	6.54E+00	4.08E+00	3.64E+00	1.32E+00	1.81E+00	1.74E+00
2.50E+00	2.21E+06	9.26E+05	5.40E+01	3.95E+01	3.11E+01	1.42E+01	6.48E+00	3.35E+00	3.53E+00	1.13E+00	4.80E-01	7.77E-01
3.00E+00	7.55E+04	4.95E+04	4.27E+01	3.09E+01	2.40E+01	1.00E+01	5.25E+00	2.28E+00	2.23E+00	9.09E-01	3.48E-01	4.72E-01
4.00E+00	2.11E+04	1.19E+04	4.60E+01	3.41E+01	2.71E+01	1.06E+01	5.41E+00	2.82E+00	2.85E+00	1.03E+00	3.10E-01	1.77E-01
5.00E+00	9.62E+01	9.47E+01	3.62E+01	2.75E+01	1.95E+01	8.49E+00	3.52E+00	1.80E+00	2.21E+00	6.27E-01	4.16E-01	1.37E-01
6.50E+00	1.91E+02	1.76E+02	6.48E+01	4.94E+01	3.72E+01	1.57E+01	6.90E+00	3.33E+00	3.26E+00	1.15E+00	4.40E-01	2.54E-01
8.00E+00	1.79E+02	1.72E+02	6.67E+01	4.93E+01	3.81E+01	1.63E+01	7.12E+00	3.38E+00	3.47E+00	1.17E+00	4.40E-01	2.57E-01
1.00E+01	1.93E+01	1.90E+01	7.34E+00	5.62E+00	4.42E+00	2.03E+00	9.39E-01	4.12E-01	3.99E-01	1.42E-01	4.96E-02	2.67E-02
TOTAL	2.10E+09	1.63E+09	2.80E+08	2.17E+08	1.70E+08	5.26E+07	1.16E+04	6.59E+03	1.03E+04	7.39E+03	1.01E+04	1.48E+04

添付表 7-2 (10/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 9cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.44E+01	1.33E+01	4.98E+00	3.66E+00	2.98E+00	1.19E+00	4.94E-01	2.63E-01	2.51E-01	8.88E-02	3.42E-02	2.04E-02
1.12E-06	6.80E+01	6.69E+01	2.60E+01	1.91E+01	1.47E+01	5.94E+00	2.62E+00	1.30E+00	1.30E+00	4.39E-01	1.67E-01	9.57E-02
3.06E-06	2.27E+02	2.22E+02	8.29E+01	6.19E+01	4.86E+01	2.01E+01	8.52E+00	4.19E+00	4.06E+00	1.46E+00	5.65E-01	3.25E-01
1.07E-05	7.05E+02	6.77E+02	2.57E+02	1.92E+02	1.46E+02	5.96E+01	2.59E+01	1.28E+01	1.27E+01	4.48E+00	1.73E+00	1.00E+00
2.90E-05	1.02E+03	9.68E+02	3.70E+02	2.74E+02	2.10E+02	8.80E+01	3.64E+01	1.86E+01	1.87E+01	6.53E+00	2.49E+00	1.44E+00
1.01E-04	2.00E+03	1.90E+03	7.30E+02	5.38E+02	4.15E+02	1.73E+02	7.21E+01	3.66E+01	3.59E+01	1.26E+01	4.88E+00	2.81E+00
5.83E-04	3.92E+03	3.72E+03	1.41E+03	1.06E+03	8.08E+02	3.35E+02	1.43E+02	7.12E+01	7.11E+01	2.48E+01	9.53E+00	5.49E+00
3.35E-03	6.77E+03	6.50E+03	2.47E+03	1.84E+03	1.41E+03	5.90E+02	2.51E+02	1.26E+02	1.25E+02	4.38E+01	1.67E+01	9.61E+00
1.11E-01	2.86E+04	2.74E+04	1.05E+04	7.84E+03	6.00E+03	2.57E+03	1.09E+03	5.45E+02	5.45E+02	1.86E+02	6.99E+01	4.06E+01
5.50E-01	3.04E+04	2.90E+04	1.13E+04	8.49E+03	6.59E+03	2.98E+03	1.29E+03	6.39E+02	6.39E+02	2.07E+02	7.29E+01	4.32E+01
1.11E+00	1.19E+04	1.14E+04	4.52E+03	3.44E+03	2.69E+03	1.27E+03	5.66E+02	2.77E+02	2.75E+02	8.55E+01	2.84E+01	1.72E+01
1.83E+00	4.25E+03	4.04E+03	1.64E+03	1.27E+03	1.01E+03	5.09E+02	2.30E+02	1.11E+02	1.12E+02	3.25E+01	9.93E+00	6.27E+00
2.35E+00	1.17E+03	1.12E+03	4.65E+02	3.61E+02	2.94E+02	1.53E+02	7.11E+01	3.36E+01	3.32E+01	9.60E+00	2.72E+00	1.77E+00
2.46E+00	1.97E+02	1.85E+02	7.82E+01	6.17E+01	4.95E+01	2.71E+01	1.26E+01	5.69E+00	5.77E+00	1.67E+00	4.48E-01	2.92E-01
3.01E+00	5.74E+02	5.50E+02	2.32E+02	1.85E+02	1.48E+02	8.07E+01	3.82E+01	1.79E+01	1.79E+01	4.96E+00	1.32E+00	8.78E-01
4.06E+00	3.88E+02	3.79E+02	1.58E+02	1.21E+02	9.76E+01	5.29E+01	2.38E+01	1.14E+01	1.11E+01	3.21E+00	8.84E-01	5.84E-01
4.96E+00	1.22E+02	1.15E+02	4.74E+01	3.62E+01	2.81E+01	1.44E+01	6.77E+00	3.10E+00	3.08E+00	8.91E-01	2.68E-01	1.62E-01
6.36E+00	5.02E+01	4.83E+01	1.69E+01	1.19E+01	8.39E+00	2.32E+00	7.61E-01	4.58E-01	4.59E-01	2.45E-01	1.27E-01	6.54E-02
8.18E+00	1.40E+01	1.35E+01	4.49E+00	3.09E+00	2.13E+00	3.78E-01	7.05E-02	6.55E-02	6.55E-02	5.67E-02	3.69E-02	1.82E-02
1.00E+01	2.30E+00	2.21E+00	7.37E-01	5.07E-01	3.50E-01	6.21E-02	1.16E-02	1.08E-02	1.08E-02	9.32E-03	6.07E-03	2.99E-03
1.22E+01	8.08E-01	7.77E-01	2.59E-01	1.78E-01	1.23E-01	2.18E-02	4.07E-03	3.78E-03	3.78E-03	3.27E-03	2.13E-03	1.05E-03
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	9.24E+04	8.83E+04	3.43E+04	2.58E+04	2.00E+04	8.93E+03	3.87E+03	1.91E+03	1.91E+03	6.27E+02	2.23E+02	1.32E+02
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy					ガラス固	目化体生成	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.37E+05	2.58E+05	3.85E+04	3.28E+04	2.22E+04	7.14E+03	1.58E+00	1.38E+00	1.76E+00	7.30E-01	8.32E-01	7.47E-01
1.00E-01	2.70E+07	2.13E+07	3.76E+06	3.16E+06	2.33E+06	7.33E+05	1.51E+02	8.63E+01	1.27E+02	7.69E+01	6.78E+01	5.13E+01
2.00E-01	3.35E+08	2.62E+08	4.72E+07	3.70E+07	2.88E+07	8.99E+06	1.96E+03	9.90E+02	1.61E+03	9.57E+02	9.20E+02	8.20E+02
3.00E-01	2.96E+08	2.32E+08	4.25E+07	3.36E+07	2.59E+07	8.11E+06	1.70E+03	8.50E+02	1.41E+03	8.22E+02	7.87E+02	7.50E+02
4.00E-01	2.05E+08	1.61E+08	2.96E+07	2.28E+07	1.80E+07	5.61E+06	1.12E+03	5.22E+02	8.37E+02	5.07E+02	4.78E+02	4.87E+02
6.00E-01	2.14E+08	1.65E+08	2.39E+07	1.83E+07	1.43E+07	4.44E+06	8.70E+02	4.25E+02	6.62E+02	3.99E+02	3.95E+02	3.96E+02
8.00E-01	7.69E+07	5.62E+07	1.44E+06	7.53E+05	4.54E+05	7.93E+04	9.96E+01	7.45E+01	1.19E+02	6.58E+01	6.43E+01	5.98E+01
1.00E+00	2.66E+07	1.90E+07	8.18E+05	4.35E+05	2.44E+05	3.49E+04	8.19E+01	4.77E+01	6.12E+01	2.95E+01	2.64E+01	2.38E+01
1.33E+00	1.69E+07	1.21E+07	6.35E+05	2.95E+05	1.85E+05	2.64E+04	2.69E+01	1.94E+01	2.82E+01	1.42E+01	1.68E+01	1.39E+01
1.66E+00	3.01E+06	1.53E+06	5.25E+04	3.70E+04	2.30E+04	4.17E+03	7.15E+00	3.40E+00	3.53E+00	1.16E+00	1.78E+00	3.42E+00
2.00E+00	2.46E+06	1.08E+06	1.13E+04	4.66E+03	5.56E+03	9.03E+02	5.97E+00	3.34E+00	2.79E+00	1.15E+00	8.91E-01	1.66E+00
2.50E+00	1.45E+06	6.16E+05	4.73E+01	3.62E+01	2.77E+01	1.24E+01	5.66E+00	2.74E+00	3.06E+00	1.03E+00	4.31E-01	1.75E-01
3.00E+00	6.43E+04	3.84E+04	3.59E+01	2.70E+01	2.10E+01	8.82E+00	4.58E+00	1.92E+00	1.92E+00	7.09E-01	3.01E-01	4.38E-01
4.00E+00	1.18E+04	4.63E+03	4.06E+01	2.95E+01	2.33E+01	9.75E+00	4.08E+00	2.38E+00	2.34E+00	8.29E-01	2.61E-01	1.50E-01
5.00E+00	9.25E+01	8.60E+01	3.40E+01	2.51E+01	1.84E+01	7.98E+00	3.55E+00	1.69E+00	1.69E+00	5.74E-01	2.97E-01	1.26E-01
6.50E+00	1.56E+02	1.54E+02	5.96E+01	4.43E+01	3.32E+01	1.41E+01	5.80E+00	3.07E+00	3.07E+00	1.08E+00	3.93E-01	2.29E-01
8.00E+00	1.82E+02	1.69E+02	6.39E+01	4.80E+01	3.67E+01	1.59E+01	6.68E+00	3.24E+00	3.17E+00	1.15E+00	4.22E-01	2.48E-01
1.00E+01	1.74E+01	1.60E+01	6.41E+00	4.51E+00	3.67E+00	1.67E+00	8.03E-01	3.58E-01	3.19E-01	1.06E-01	3.95E-02	2.41E-02
TOTAL	1.20E+09	9.32E+08	1.50E+08	1.16E+08	9.02E+07	2.80E+07	6.56E+03	4.04E+03	6.37E+03	4.88E+03	7.76E+03	1.26E+04

添付表 7-2 (11/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 10cm

卫性于											LIIUX (II/	sec/cmz)
Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.42E+01	1.29E+01	4.94E+00	3.67E+00	2.69E+00	1.08E+00	4.54E-01	2.89E-01	2.80E-01	8.69E-02	3.32E-02	2.02E-0
1.12E-06	6.93E+01	6.44E+01	2.48E+01	1.83E+01	1.42E+01	5.87E+00	2.46E+00	1.24E+00	1.21E+00	4.32E-01	1.65E-01	9.26E-0
3.06E-06	2.18E+02	2.12E+02	8.17E+01	6.02E+01	4.67E+01	1.94E+01	8.14E+00	4.15E+00	3.95E+00	1.40E+00	5.47E-01	3.14E-0
1.07E-05	6.68E+02	6.44E+02	2.46E+02	1.82E+02	1.38E+02	5.73E+01	2.45E+01	1.22E+01	1.24E+01	4.28E+00	1.65E+00	9.42E-0
2.90E-05	9.61E+02	9.20E+02	3.52E+02	2.61E+02	2.00E+02	8.39E+01	3.54E+01	1.78E+01	1.76E+01	6.26E+00	2.37E+00	1.36E+0
1.01E-04	1.85E+03	1.76E+03	6.78E+02	5.02E+02	3.82E+02	1.59E+02	6.73E+01	3.39E+01	3.39E+01	1.18E+01	4.53E+00	2.60E+0
5.83E-04	3.57E+03	3.39E+03	1.29E+03	9.59E+02	7.33E+02	3.07E+02	1.29E+02	6.45E+01	6.48E+01	2.26E+01	8.69E+00	4.98E+0
3.35E-03	6.08E+03	5.81E+03	2.21E+03	1.64E+03	1.26E+03	5.29E+02	2.26E+02	1.13E+02	1.13E+02	3.90E+01	1.49E+01	8.58E+0
1.11E-01	2.61E+04	2.49E+04	9.52E+03	7.11E+03	5.46E+03	2.34E+03	9.92E+02	4.98E+02	4.96E+02	1.69E+02	6.34E+01	3.68E+0
5.50E-01	2.78E+04	2.66E+04	1.04E+04	7.81E+03	6.06E+03	2.75E+03	1.19E+03	5.91E+02	5.90E+02	1.91E+02	6.70E+01	3.98E+
1.11E+00	1.08E+04	1.03E+04	4.09E+03	3.11E+03	2.44E+03	1.16E+03	5.15E+02	2.50E+02	2.50E+02	7.74E+01	2.56E+01	1.56E+
1.83E+00	3.65E+03	3.49E+03	1.42E+03	1.10E+03	8.72E+02	4.44E+02	2.00E+02	9.55E+01	9.50E+01	2.82E+01	8.58E+00	5.38E+
2.35E+00	9.60E+02	9.24E+02	3.85E+02	2.98E+02	2.42E+02	1.30E+02	5.89E+01	2.81E+01	2.80E+01	7.98E+00	2.24E+00	1.45E+
2.46E+00	1.56E+02	1.53E+02	6.20E+01	4.93E+01	3.87E+01	2.22E+01	1.01E+01	4.74E+00	4.76E+00	1.32E+00	3.62E-01	2.36E-
3.01E+00	4.61E+02	4.43E+02	1.86E+02	1.48E+02	1.18E+02	6.70E+01	3.03E+01	1.47E+01	1.45E+01	4.06E+00	1.06E+00	7.04E-0
4.06E+00	3.09E+02	3.00E+02	1.25E+02	9.72E+01	7.79E+01	4.24E+01	1.91E+01	9.10E+00	9.15E+00	2.58E+00	7.07E-01	4.67E-0
4.96E+00	9.86E+01	9.42E+01	3.69E+01	2.90E+01	2.28E+01	1.16E+01	5.17E+00	2.37E+00	2.45E+00	7.16E-01	2.04E-01	1.30E-
6.36E+00	4.24E+01	4.01E+01	1.40E+01	9.98E+00	7.08E+00	1.94E+00	6.02E-01	3.63E-01	3.56E-01	1.96E-01	1.07E-01	5.47E-
8.18E+00	1.11E+01	1.07E+01	3.55E+00	2.44E+00	1.68E+00	2.99E-01	5.58E-02	5.18E-02	5.18E-02	4.49E-02	2.92E-02	1.44E-0
1.00E+01	1.76E+00	1.69E+00	5.62E-01	3.87E-01	2.67E-01	4.74E-02	8.83E-03	8.20E-03	8.20E-03	7.11E-03	4.63E-03	2.28E-
1.22E+01	5.82E-01	5.59E-01	1.86E-01	1.28E-01	8.84E-02	1.57E-02	2.93E-03	2.72E-03	2.72E-03	2.35E-03	1.53E-03	7.55E-
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+0										
TOTAL	8.39E+04	8.01E+04	3.11E+04	2.34E+04	1.81E+04	8.12E+03	3.52E+03	1.74E+03	1.74E+03	5.68E+02	2.02E+02	1.19E+

Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.98E+05	1.49E+05	1.61E+04	1.46E+04	1.09E+04	3.61E+03	1.06E+00	6.04E-01	7.94E-01	3.21E-01	3.22E-01	1.96E-01
1.00E-01	1.59E+07	1.20E+07	2.07E+06	1.63E+06	1.24E+06	3.82E+05	7.99E+01	3.83E+01	6.59E+01	3.67E+01	3.75E+01	3.52E+01
2.00E-01	1.90E+08	1.48E+08	2.55E+07	1.97E+07	1.56E+07	4.81E+06	1.05E+03	5.34E+02	8.35E+02	4.96E+02	4.73E+02	4.44E+02
3.00E-01	1.68E+08	1.32E+08	2.30E+07	1.84E+07	1.41E+07	4.38E+06	9.10E+02	4.54E+02	7.49E+02	4.46E+02	4.33E+02	4.11E+02
4.00E-01	1.18E+08	9.21E+07	1.59E+07	1.22E+07	9.68E+06	2.98E+06	6.05E+02	2.98E+02	4.42E+02	2.76E+02	2.62E+02	2.72E+02
6.00E-01	1.24E+08	9.50E+07	1.28E+07	9.92E+06	7.64E+06	2.35E+06	4.89E+02	2.40E+02	3.67E+02	2.19E+02	2.14E+02	2.17E+02
8.00E-01	4.64E+07	3.39E+07	9.03E+05	5.08E+05	2.84E+05	4.89E+04	6.64E+01	4.75E+01	7.64E+01	3.92E+01	3.95E+01	4.05E+01
1.00E+00	1.63E+07	1.17E+07	5.28E+05	2.97E+05	1.56E+05	2.24E+04	6.26E+01	3.66E+01	4.21E+01	2.02E+01	1.71E+01	1.57E+01
1.33E+00	1.09E+07	7.65E+06	4.21E+05	2.04E+05	1.16E+05	1.83E+04	1.93E+01	1.45E+01	1.99E+01	9.56E+00	9.97E+00	7.58E+00
1.66E+00	2.14E+06	1.05E+06	3.71E+04	2.56E+04	1.35E+04	2.20E+03	5.67E+00	2.82E+00	2.82E+00	1.01E+00	1.32E+00	2.02E+00
2.00E+00	1.67E+06	7.17E+05	7.18E+03	3.74E+03	4.35E+03	6.86E+02	4.90E+00	2.41E+00	2.31E+00	8.31E-01	7.79E-01	1.90E+00
2.50E+00	9.59E+05	4.21E+05	4.16E+01	3.13E+01	2.37E+01	1.09E+01	4.90E+00	2.32E+00	2.27E+00	7.53E-01	2.70E-01	1.53E-01
3.00E+00	4.53E+04	1.78E+04	3.19E+01	2.35E+01	1.86E+01	8.15E+00	3.83E+00	1.72E+00	1.76E+00	6.16E-01	2.00E-01	1.18E-01
4.00E+00	2.58E+03	2.09E+03	3.63E+01	2.79E+01	2.16E+01	9.08E+00	3.86E+00	1.91E+00	1.92E+00	7.42E-01	2.45E-01	1.44E-01
5.00E+00	7.98E+01	7.86E+01	3.05E+01	2.31E+01	1.76E+01	7.35E+00	3.42E+00	1.48E+00	1.51E+00	5.35E-01	2.10E-01	1.18E-01
6.50E+00	1.51E+02	1.49E+02	5.78E+01	4.34E+01	3.23E+01	1.39E+01	5.92E+00	2.95E+00	2.88E+00	1.02E+00	3.86E-01	2.21E-01
8.00E+00	1.60E+02	1.54E+02	6.02E+01	4.32E+01	3.44E+01	1.42E+01	6.18E+00	3.05E+00	2.92E+00	1.02E+00	3.96E-01	2.30E-01
1.00E+01	1.35E+01	1.34E+01	5.75E+00	4.12E+00	3.25E+00	1.55E+00	6.88E-01	3.51E-01	3.06E-01	1.07E-01	3.59E-02	2.18E-02
TOTAL	6.95E+08	5.35E+08	8.13E+07	6.29E+07	4.88E+07	1.50E+07	3.82E+03	2.68E+03	4.12E+03	3.55E+03	6.49E+03	1.14E+04

添付表 7-2 (12/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 11cm

Energy					ガラス園	化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.37E+01	1.33E+01	5.20E+00	3.71E+00	2.85E+00	1.09E+00	4.43E-01	2.07E-01	2.61E-01	8.17E-02	3.53E-02	2.03E-0
1.12E-06	6.55E+01	6.13E+01	2.35E+01	1.76E+01	1.31E+01	5.41E+00	2.34E+00	1.15E+00	1.17E+00	4.06E-01	1.56E-01	9.37E-
3.06E-06	2.09E+02	2.03E+02	7.72E+01	5.69E+01	4.34E+01	1.76E+01	7.70E+00	3.77E+00	3.81E+00	1.34E+00	5.15E-01	2.95E-
1.07E-05	6.28E+02	6.09E+02	2.32E+02	1.72E+02	1.32E+02	5.48E+01	2.29E+01	1.15E+01	1.13E+01	4.02E+00	1.56E+00	9.00E-
2.90E-05	8.97E+02	8.63E+02	3.28E+02	2.44E+02	1.86E+02	7.80E+01	3.29E+01	1.66E+01	1.65E+01	5.79E+00	2.21E+00	1.27E+
1.01E-04	1.70E+03	1.62E+03	6.20E+02	4.62E+02	3.51E+02	1.47E+02	6.22E+01	3.11E+01	3.14E+01	1.08E+01	4.18E+00	2.39E+
5.83E-04	3.16E+03	3.04E+03	1.16E+03	8.60E+02	6.56E+02	2.76E+02	1.16E+02	5.81E+01	5.83E+01	2.03E+01	7.78E+00	4.46E+
3.35E-03	5.45E+03	5.20E+03	1.98E+03	1.47E+03	1.13E+03	4.77E+02	2.02E+02	1.01E+02	1.01E+02	3.48E+01	1.33E+01	7.66E+
1.11E-01	2.35E+04	2.25E+04	8.60E+03	6.40E+03	4.91E+03	2.11E+03	8.95E+02	4.49E+02	4.49E+02	1.53E+02	5.72E+01	3.32E+
5.50E-01	2.55E+04	2.44E+04	9.52E+03	7.17E+03	5.57E+03	2.53E+03	1.10E+03	5.41E+02	5.43E+02	1.76E+02	6.14E+01	3.66E+
1.11E+00	9.78E+03	9.26E+03	3.69E+03	2.81E+03	2.20E+03	1.05E+03	4.62E+02	2.27E+02	2.27E+02	7.01E+01	2.30E+01	1.41E+
1.83E+00	3.16E+03	3.00E+03	1.22E+03	9.40E+02	7.53E+02	3.82E+02	1.72E+02	8.25E+01	8.34E+01	2.43E+01	7.35E+00	4.62E+
2.35E+00	7.95E+02	7.68E+02	3.22E+02	2.51E+02	2.01E+02	1.06E+02	4.86E+01	2.33E+01	2.31E+01	6.63E+00	1.87E+00	1.23E+
2.46E+00	1.18E+02	1.19E+02	5.13E+01	3.89E+01	3.17E+01	1.77E+01	8.39E+00	3.69E+00	3.93E+00	1.05E+00	2.89E-01	1.92E-
3.01E+00	3.74E+02	3.60E+02	1.53E+02	1.22E+02	9.78E+01	5.47E+01	2.41E+01	1.18E+01	1.15E+01	3.23E+00	8.57E-01	5.73E-
4.06E+00	2.51E+02	2.40E+02	1.00E+02	7.84E+01	6.29E+01	3.37E+01	1.53E+01	7.30E+00	7.28E+00	2.06E+00	5.66E-01	3.77E-
4.96E+00	8.46E+01	7.59E+01	3.02E+01	2.32E+01	1.82E+01	9.40E+00	4.15E+00	1.98E+00	1.91E+00	5.69E-01	1.72E-01	1.06E-
6.36E+00	3.43E+01	3.20E+01	1.14E+01	7.98E+00	5.73E+00	1.56E+00	4.44E-01	2.97E-01	2.83E-01	1.56E-01	8.53E-02	4.38E-
8.18E+00	9.21E+00	8.85E+00	2.95E+00	2.03E+00	1.40E+00	2.48E-01	4.63E-02	4.30E-02	4.30E-02	3.72E-02	2.42E-02	1.19E-
1.00E+01	1.72E+00	1.65E+00	5.51E-01	3.79E-01	2.61E-01	4.64E-02	8.66E-03	8.04E-03	8.04E-03	6.96E-03	4.53E-03	2.23E-
1.22E+01	4.04E-01	3.88E-01	1.29E-01	8.89E-02	6.14E-02	1.09E-02	2.03E-03	1.89E-03	1.89E-03	1.64E-03	1.06E-03	5.24E-
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+										
TOTAL	7.58E+04	7.24E+04	2.81E+04	2.11E+04	1.64E+04	7.35E+03	3.17E+03	1.57E+03	1.57E+03	5.14E+02	1.83E+02	1.08E+

Energy					ガラス固	目化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.12E+05	8.03E+04	1.35E+04	8.33E+03	6.54E+03	1.95E+03	7.26E-01	2.29E-01	3.98E-01	1.75E-01	1.43E-01	1.76E-01
1.00E-01	8.94E+06	7.19E+06	1.14E+06	9.01E+05	6.87E+05	2.11E+05	4.23E+01	2.10E+01	3.64E+01	1.97E+01	2.37E+01	1.84E+01
2.00E-01	1.11E+08	8.62E+07	1.37E+07	1.05E+07	8.36E+06	2.59E+06	5.61E+02	2.81E+02	4.57E+02	2.66E+02	2.67E+02	2.44E+02
3.00E-01	9.93E+07	7.64E+07	1.27E+07	1.00E+07	7.63E+06	2.36E+06	4.90E+02	2.38E+02	3.70E+02	2.35E+02	2.32E+02	2.13E+02
4.00E-01	6.75E+07	5.27E+07	8.79E+06	6.54E+06	5.25E+06	1.61E+06	3.26E+02	1.58E+02	2.30E+02	1.48E+02	1.40E+02	1.51E+02
6.00E-01	7.22E+07	5.50E+07	6.86E+06	5.31E+06	4.04E+06	1.24E+06	2.78E+02	1.38E+02	2.01E+02	1.23E+02	1.19E+02	1.16E+02
8.00E-01	2.80E+07	2.04E+07	5.67E+05	2.97E+05	1.75E+05	2.92E+04	4.19E+01	3.14E+01	4.89E+01	2.54E+01	2.41E+01	2.12E+01
1.00E+00	1.03E+07	7.40E+06	3.34E+05	2.05E+05	1.01E+05	1.51E+04	5.03E+01	2.86E+01	3.14E+01	1.49E+01	1.16E+01	9.88E+00
1.33E+00	6.96E+06	4.80E+06	2.55E+05	1.19E+05	7.58E+04	1.17E+04	1.34E+01	9.11E+00	1.26E+01	5.57E+00	6.21E+00	4.56E+00
1.66E+00	1.44E+06	6.66E+05	2.35E+04	1.40E+04	8.27E+03	1.49E+03	4.44E+00	2.18E+00	2.15E+00	7.85E-01	9.66E-01	1.50E+00
2.00E+00	1.13E+06	5.05E+05	5.43E+03	2.42E+03	3.02E+03	3.70E+02	4.16E+00	1.92E+00	2.09E+00	6.38E-01	5.23E-01	1.09E+00
2.50E+00	6.63E+05	2.80E+05	3.70E+01	2.70E+01	2.14E+01	9.94E+00	4.73E+00	1.96E+00	2.02E+00	6.82E-01	2.42E-01	1.39E-01
3.00E+00	3.03E+04	1.08E+04	2.86E+01	2.12E+01	1.67E+01	7.22E+00	3.07E+00	1.51E+00	1.53E+00	6.30E-01	1.86E-01	1.08E-01
4.00E+00	2.50E+03	2.01E+03	3.45E+01	2.48E+01	1.86E+01	8.37E+00	3.34E+00	1.69E+00	1.75E+00	5.96E-01	2.27E-01	1.31E-01
5.00E+00	6.84E+01	6.80E+01	2.70E+01	1.99E+01	1.54E+01	6.38E+00	2.83E+00	1.40E+00	1.37E+00	4.55E-01	1.75E-01	1.03E-01
6.50E+00	1.41E+02	1.40E+02	5.34E+01	3.91E+01	2.92E+01	1.24E+01	5.37E+00	2.60E+00	2.43E+00	9.38E-01	3.54E-01	1.98E-01
8.00E+00	1.47E+02	1.42E+02	5.47E+01	3.97E+01	3.13E+01	1.36E+01	5.78E+00	2.76E+00	2.71E+00	9.80E-01	3.61E-01	2.07E-01
1.00E+01	1.35E+01	1.28E+01	5.25E+00	3.61E+00	2.70E+00	1.32E+00	6.42E-01	2.82E-01	2.91E-01	1.02E-01	3.30E-02	1.89E-02
TOTAL	4.08E+08	3.12E+08	4.44E+07	3.39E+07	2.63E+07	8.08E+06	2.34E+03	1.92E+03	2.90E+03	2.84E+03	5.83E+03	1.08E+04

添付表 7-2 (13/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 12cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.29E+01	1.15E+01	4.56E+00	3.43E+00	2.41E+00	9.94E-01	4.21E-01	2.56E-01	2.12E-01	8.00E-02	3.03E-02	1.72E-02
1.12E-06	5.91E+01	5.62E+01	2.13E+01	1.60E+01	1.25E+01	5.09E+00	2.24E+00	1.06E+00	1.14E+00	3.89E-01	1.46E-01	8.61E-02
3.06E-06	1.97E+02	1.89E+02	7.13E+01	5.21E+01	3.98E+01	1.65E+01	7.15E+00	3.52E+00	3.54E+00	1.24E+00	4.76E-01	2.78E-01
1.07E-05	5.80E+02	5.60E+02	2.12E+02	1.57E+02	1.20E+02	5.06E+01	2.16E+01	1.06E+01	1.05E+01	3.69E+00	1.43E+00	8.18E-01
2.90E-05	8.17E+02	7.86E+02	3.00E+02	2.23E+02	1.70E+02	7.10E+01	3.01E+01	1.52E+01	1.51E+01	5.24E+00	2.02E+00	1.16E+00
1.01E-04	1.54E+03	1.46E+03	5.59E+02	4.14E+02	3.16E+02	1.32E+02	5.55E+01	2.80E+01	2.78E+01	9.75E+00	3.74E+00	2.16E+00
5.83E-04	2.84E+03	2.70E+03	1.02E+03	7.64E+02	5.81E+02	2.45E+02	1.03E+02	5.14E+01	5.23E+01	1.81E+01	6.91E+00	3.97E+00
3.35E-03	4.81E+03	4.59E+03	1.74E+03	1.30E+03	9.95E+02	4.17E+02	1.78E+02	8.84E+01	8.84E+01	3.08E+01	1.17E+01	6.74E+00
1.11E-01	2.11E+04	2.01E+04	7.69E+03	5.74E+03	4.40E+03	1.89E+03	8.02E+02	4.03E+02	4.02E+02	1.37E+02	5.12E+01	2.98E+01
5.50E-01	2.33E+04	2.23E+04	8.66E+03	6.54E+03	5.09E+03	2.31E+03	1.00E+03	4.95E+02	4.94E+02	1.60E+02	5.59E+01	3.32E+01
1.11E+00	8.75E+03	8.35E+03	3.31E+03	2.52E+03	1.98E+03	9.40E+02	4.17E+02	2.03E+02	2.04E+02	6.29E+01	2.07E+01	1.26E+01
1.83E+00	2.74E+03	2.60E+03	1.05E+03	8.11E+02	6.45E+02	3.27E+02	1.49E+02	7.14E+01	7.15E+01	2.09E+01	6.32E+00	3.99E+00
2.35E+00	6.67E+02	6.43E+02	2.67E+02	2.09E+02	1.68E+02	8.88E+01	3.96E+01	1.92E+01	1.93E+01	5.53E+00	1.56E+00	1.01E+00
2.46E+00	1.00E+02	9.83E+01	3.97E+01	3.19E+01	2.65E+01	1.48E+01	6.51E+00	3.07E+00	3.14E+00	8.71E-01	2.38E-01	1.54E-01
3.01E+00	3.07E+02	2.94E+02	1.25E+02	9.68E+01	7.93E+01	4.34E+01	2.01E+01	9.61E+00	9.42E+00	2.62E+00	6.94E-01	4.72E-01
4.06E+00	2.04E+02	1.95E+02	8.22E+01	6.35E+01	4.97E+01	2.70E+01	1.23E+01	5.94E+00	5.74E+00	1.68E+00	4.62E-01	3.02E-01
4.96E+00	6.67E+01	6.05E+01	2.44E+01	1.88E+01	1.46E+01	7.16E+00	3.30E+00	1.63E+00	1.52E+00	4.45E-01	1.36E-01	8.20E-02
6.36E+00	2.72E+01	2.59E+01	9.06E+00	6.34E+00	4.55E+00	1.21E+00	3.53E-01	2.24E-01	2.13E-01	1.29E-01	6.87E-02	3.53E-02
8.18E+00	7.20E+00	6.92E+00	2.31E+00	1.58E+00	1.09E+00	1.94E-01	3.62E-02	3.36E-02	3.36E-02	2.91E-02	1.90E-02	9.34E-03
1.00E+01	1.44E+00	1.38E+00	4.60E-01	3.16E-01	2.18E-01	3.87E-02	7.22E-03	6.71E-03	6.71E-03	5.81E-03	3.78E-03	1.86E-03
1.22E+01	3.39E-01	3.26E-01	1.08E-01	7.46E-02	5.14E-02	9.14E-03	1.70E-03	1.58E-03	1.58E-03	1.37E-03	8.92E-04	4.39E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	6.81E+04	6.50E+04	2.52E+04	1.90E+04	1.47E+04	6.58E+03	2.85E+03	1.41E+03	1.41E+03	4.61E+02	1.64E+02	9.69E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	7.26E+04	4.74E+04	4.92E+03	4.59E+03	3.60E+03	1.21E+03	4.38E-01	1.91E-01	1.36E-01	1.08E-01	1.84E-01	1.03E-01
1.00E-01	5.32E+06	3.97E+06	6.42E+05	4.60E+05	3.68E+05	1.10E+05	2.88E+01	1.06E+01	2.44E+01	1.08E+01	1.14E+01	1.39E+01
2.00E-01	6.37E+07	4.88E+07	7.51E+06	6.00E+06	4.63E+06	1.41E+06	3.29E+02	1.61E+02	2.42E+02	1.43E+02	1.36E+02	1.57E+02
2 00E 01	E GERIOZ	4 205107	6 04E+06	E 12E+06	4 195:06	1 955:06	9.775+09	1 495:09	9.945109	1 905+09	1 995+09	1 995109

5.00E-02	7.26E+04	4.74E+04	4.92E+03	4.59E+03	3.60E+03	1.21E+03	4.38E-01	1.91E-01	1.36E-01	1.08E-01	1.84E-01	1.03E-01
1.00E-01	5.32E+06	3.97E+06	6.42E+05	4.60E+05	3.68E+05	1.10E+05	2.88E+01	1.06E+01	2.44E+01	1.08E+01	1.14E+01	1.39E+01
2.00E-01	6.37E+07	4.88E+07	7.51E+06	6.00E+06	4.63E+06	1.41E+06	3.29E+02	1.61E+02	2.42E+02	1.43E+02	1.36E+02	1.57E+02
3.00E-01	5.65E+07	4.30E+07	6.84E+06	5.13E+06	4.12E+06	1.25E+06	2.77E+02	1.42E+02	2.34E+02	1.29E+02	1.22E+02	1.28E+02
4.00E-01	3.99E+07	3.05E+07	4.99E+06	3.73E+06	2.87E+06	8.83E+05	1.97E+02	9.20E+01	1.45E+02	8.83E+01	7.65E+01	8.66E+01
6.00E-01	4.25E+07	3.23E+07	3.72E+06	2.80E+06	2.16E+06	6.57E+05	1.74E+02	8.17E+01	1.19E+02	7.25E+01	6.86E+01	7.20E+01
8.00E-01	1.72E+07	1.24E+07	3.69E+05	1.95E+05	1.07E+05	1.92E+04	2.92E+01	2.09E+01	3.29E+01	1.66E+01	1.55E+01	1.41E+01
1.00E+00	6.59E+06	4.65E+06	2.11E+05	1.19E+05	6.62E+04	8.42E+03	4.01E+01	2.28E+01	2.36E+01	9.79E+00	6.77E+00	6.74E+00
1.33E+00	4.55E+06	3.05E+06	1.60E+05	7.11E+04	5.02E+04	7.67E+03	1.07E+01	6.31E+00	8.55E+00	3.93E+00	3.91E+00	3.28E+00
1.66E+00	9.81E+05	4.62E+05	1.53E+04	1.12E+04	5.28E+03	1.00E+03	3.94E+00	1.99E+00	2.09E+00	6.70E-01	6.43E-01	1.23E+00
2.00E+00	7.65E+05	3.59E+05	4.15E+03	1.19E+03	1.64E+03	2.88E+02	3.62E+00	1.76E+00	1.78E+00	5.45E-01	3.87E-01	8.55E-01
2.50E+00	4.22E+05	1.62E+05	3.28E+01	2.40E+01	1.89E+01	8.10E+00	3.61E+00	1.69E+00	1.82E+00	5.82E-01	2.88E-01	1.24E-01
3.00E+00	1.67E+04	9.01E+03	2.39E+01	1.87E+01	1.41E+01	6.14E+00	2.74E+00	1.33E+00	1.24E+00	5.41E-01	1.55E-01	9.04E-02
4.00E+00	2.40E+03	1.94E+03	2.91E+01	2.18E+01	1.69E+01	7.13E+00	3.35E+00	1.62E+00	1.57E+00	5.28E-01	1.93E-01	1.14E-01
5.00E+00	6.50E+01	6.34E+01	2.48E+01	1.79E+01	1.36E+01	5.77E+00	2.55E+00	1.24E+00	1.26E+00	4.20E-01	1.64E-01	9.24E-02
6.50E+00	1.28E+02	1.22E+02	4.67E+01	3.49E+01	2.65E+01	1.11E+01	4.90E+00	2.49E+00	2.31E+00	8.22E-01	3.10E-01	1.77E-01
8.00E+00	1.35E+02	1.28E+02	5.07E+01	3.70E+01	2.76E+01	1.19E+01	5.01E+00	2.61E+00	2.49E+00	8.97E-01	3.25E-01	1.90E-01
1.00E+01	1.31E+01	1.19E+01	4.70E+00	3.52E+00	2.66E+00	1.08E+00	4.75E-01	3.01E-01	2.89E-01	7.91E-02	3.23E-02	1.84E-02
TOTAL	2.39E+08	1.80E+08	2.45E+07	1.85E+07	1.44E+07	4.34E+06	1.62E+03	1.55E+03	2.35E+03	2.48E+03	5.44E+03	1.05E+04

添付表 7-2 (14/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 13cm

Energy	1				ガラス国	化体生成	後の経過期	1間 [年]				5667, cm27 j
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.05E+01	9.49E+00	3.63E+00	2.75E+00	2.23E+00	9.36E-01	3.31E-01	2.06E-01	2.00E-01	6.90E-02	2.57E-02	1.46E-02
1.12E-06	5.16E+01	4.98E+01	1.96E+01	1.44E+01	1.16E+01	4.75E+00	2.00E+00	1.01E+00	1.03E+00	3.53E-01	1.31E-01	7.62E-02
3.06E-06	1.77E+02	1.71E+02	6.37E+01	4.80E+01	3.63E+01	1.53E+01	6. 42E+00	3.31E+00	3. 22E+00	1.13E+00	4.30E-01	2.49E-01
1.07E-05	5.19E+02	4.99E+02	1.90E+02	1.42E+02	1.06E+02	4.51E+01	1.94E+01	9.58E+00	9.59E+00	3.34E+00	1.28E+00	7.35E-01
2.90E-05	7.29E+02	6.96E+02	2.67E+02	1.97E+02	1.52E+02	6.35E+01	2.63E+01	1.34E+01	1.34E+01	4.69E+00	1.79E+00	1.02E+00
1.01E-04	1.35E+03	1.29E+03	4.92E+02	3,65E+02	2.78E+02	1.16E+02	4.93E+01	2,48E+01	2.47E+01	8.56E+00	3.32E+00	1.90E+00
5.83E-04	2.43E+03	2.32E+03	8.89E+02	6.56E+02	5.02E+02	2.12E+02	8.88E+01	4.44E+01	4.51E+01	1.56E+01	5.96E+00	3.42E+00
3.35E-03	4.13E+03	3.95E+03	1.51E+03	1.13E+03	8.60E+02	3.64E+02	1.54E+02	7.64E+01	7.69E+01	2.67E+01	1.02E+01	5.85E+00
1.11E-01	1.87E+04	1.78E+04	6.82E+03	5.10E+03	3.91E+03	1.68E+03	7.13E+02	3.58E+02	3.56E+02	1.22E+02	4.54E+01	2.64E+01
5.50E-01	2.11E+04	2.01E+04	7.85E+03	5.92E+03	4.60E+03	2.09E+03	9.07E+02	4.48E+02	4.47E+02	1.44E+02	5.07E+01	3.01E+01
1.11E+00	7.79E+03	7.45E+03	2.96E+03	2.26E+03	1.77E+03	8.44E+02	3.71E+02	1.81E+02	1.81E+02	5.61E+01	1.85E+01	1.13E+01
1.83E+00	2.30E+03	2.21E+03	9.00E+02	6.95E+02	5.52E+02	2.79E+02	1.27E+02	6.13E+01	6.14E+01	1.80E+01	5.42E+00	3.41E+00
2.35E+00	5.48E+02	5.24E+02	2.19E+02	1.71E+02	1.39E+02	7.39E+01	3.35E+01	1.57E+01	1.59E+01	4.52E+00	1.28E+00	8.36E-01
2.46E+00	8.48E+01	7.93E+01	3.26E+01	2.58E+01	2.14E+01	1.18E+01	5.16E+00	2.51E+00	2.59E+00	7.08E-01	1.91E-01	1.24E-01
3.01E+00	2.53E+02	2.38E+02	1.01E+02	7.93E+01	6.36E+01	3.45E+01	1.62E+01	7.75E+00	7.45E+00	2.14E+00	5.73E-01	3.81E-01
4.06E+00	1.60E+02	1.57E+02	6.59E+01	5.04E+01	4.04E+01	2.20E+01	9.80E+00	4.72E+00	4.62E+00	1.33E+00	3.69E-01	2.41E-01
4.96E+00	5.33E+01	4.79E+01	1.90E+01	1.45E+01	1.18E+01	5.77E+00	2.70E+00	1.33E+00	1.20E+00	3.62E-01	1.05E-01	6.43E-02
6.36E+00	2.17E+01	2.10E+01	7.40E+00	5.20E+00	3.75E+00	1.05E+00	3.09E-01	1.93E-01	1.75E-01	1.07E-01	5.70E-02	2.91E-02
8.18E+00	6.25E+00	6.01E+00	2.00E+00	1.38E+00	9.49E-01	1.69E-01	3.14E-02	2.92E-02	2.92E-02	2.53E-02	1.65E-02	8.11E-03
1.00E+01	9.97E-01	9.58E-01	3.19E-01	2.19E-01	1.51E-01	2.69E-02	5.01E-03	4.66E-03	4.66E-03	4.03E-03	2.63E-03	1.29E-03
1.22E+01	4.28E-01	4.12E-01	1.37E-01	9.43E-02	6.50E-02	1.16E-02	2.15E-03	2.00E-03	2.00E-03	1.73E-03	1.13E-03	5.55E-04
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00						
TOTAL	6.05E+04	5.77E+04	2.24E+04	1.69E+04	1.31E+04	5.86E+03	2.53E+03	1.25E+03	1.25E+03	4.10E+02	1.46E+02	8.62E+01

Energy					ガラス国	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.13E+04	3.44E+04	3.77E+03	2.56E+03	1.81E+03	5.28E+02	1.85E-01	1.12E-01	1.49E-01	1.14E-01	7.71E-02	3.69E-02
1.00E-01	3.04E+06	2.37E+06	3.45E+05	2.59E+05	2.03E+05	6.00E+04	1.59E+01	6.85E+00	1.51E+01	7.01E+00	5.87E+00	4.49E+00
2.00E-01	3.69E+07	2.86E+07	4.19E+06	3.23E+06	2.50E+06	7.58E+05	1.87E+02	8.69E+01	1.38E+02	7.72E+01	7.49E+01	7.82E+01
3.00E-01	3.38E+07	2.56E+07	3.72E+06	2.85E+06	2.26E+06	6.88E+05	1.56E+02	7.94E+01	1.10E+02	7.34E+01	6.49E+01	6.56E+01
4.00E-01	2.31E+07	1.76E+07	2.63E+06	2.02E+06	1.57E+06	4.78E+05	1.15E+02	5.26E+01	7.46E+01	4.88E+01	4.08E+01	4.86E+01
6.00E-01	2.55E+07	1.93E+07	2.05E+06	1.53E+06	1.15E+06	3.48E+05	9.99E+01	5.06E+01	7.09E+01	4.30E+01	3.88E+01	3.81E+01
8.00E-01	1.06E+07	7.41E+06	2.27E+05	1.21E+05	7.03E+04	1.13E+04	2.01E+01	1.47E+01	1.96E+01	1.07E+01	1.00E+01	8.44E+00
1.00E+00	4.10E+06	2.93E+06	1.47E+05	6.97E+04	4.19E+04	4.56E+03	3.29E+01	1.67E+01	1.76E+01	7.24E+00	4.57E+00	5.56E+00
1.33E+00	3.02E+06	1.97E+06	1.05E+05	4.61E+04	3.12E+04	5.28E+03	7.33E+00	4.61E+00	6.59E+00	2.63E+00	2.39E+00	1.78E+00
1.66E+00	7.03E+05	3.28E+05	9.16E+03	5.88E+03	3.44E+03	7.05E+02	3.28E+00	1.64E+00	1.69E+00	5.05E-01	4.81E-01	8.48E-01
2.00E+00	5.37E+05	2.49E+05	3.15E+03	1.15E+03	1.01E+03	2.10E+02	2.91E+00	1.46E+00	1.49E+00	4.72E-01	3.54E-01	6.46E-01
2.50E+00	2.89E+05	1.20E+05	2.77E+01	2.09E+01	1.70E+01	7.05E+00	2.95E+00	1.53E+00	1.47E+00	4.89E-01	2.54E-01	1.08E-01
3.00E+00	1.28E+04	8.74E+03	2.08E+01	1.56E+01	1.19E+01	5.30E+00	2.23E+00	1.11E+00	1.12E+00	4.97E-01	1.35E-01	8.11E-02
4.00E+00	4.50E+03	1.87E+03	2.63E+01	1.99E+01	1.49E+01	6.51E+00	2.66E+00	1.37E+00	1.36E+00	4.79E-01	1.74E-01	9.89E-02
5.00E+00	5.67E+01	5.78E+01	2.20E+01	1.61E+01	1.21E+01	5.25E+00	2.17E+00	1.14E+00	1.17E+00	3.78E-01	1.48E-01	8.76E-02
6.50E+00	1.17E+02	1.08E+02	4.05E+01	3.03E+01	2.34E+01	9.87E+00	4.22E+00	2.19E+00	2.04E+00	7.21E-01	2.71E-01	1.56E-01
8.00E+00	1.14E+02	1.10E+02	4.25E+01	3.17E+01	2.40E+01	1.07E+01	4.59E+00	2.31E+00	2.24E+00	7.88E-01	2.88E-01	1.67E-01
1.00E+01	1.33E+01	1.12E+01	4.01E+00	2.97E+00	2.26E+00	1.15E+00	3.98E-01	2.38E-01	2.24E-01	8.30E-02	2.80E-02	1.58E-02
TOTAL	1.42E+08	1.07E+08	1.34E+07	1.01E+07	7.83E+06	2.36E+06	1.16E+03	1.33E+03	1.97E+03	2.27E+03	5.24E+03	1.03E+04

添付表 7-2 (15/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 14cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	化体生成	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	9.73E+00	9.29E+00	3.70E+00	2.86E+00	2.12E+00	8.80E-01	3.45E-01	1.85E-01	1.76E-01	6.44E-02	2.46E-02	1.38E-02
1.12E-06	4.90E+01	4.58E+01	1.78E+01	1.31E+01	1.04E+01	4.18E+00	1.82E+00	8.83E-01	8.89E-01	3.10E-01	1.20E-01	6.85E-02
3.06E-06	1.56E+02	1.48E+02	5.63E+01	4.23E+01	3.18E+01	1.39E+01	5.65E+00	2.91E+00	2.88E+00	9.99E-01	3.80E-01	2.18E-01
1.07E-05	4.62E+02	4.42E+02	1.67E+02	1.24E+02	9.37E+01	3.99E+01	1.65E+01	8.40E+00	8.25E+00	2.90E+00	1.12E+00	6.40E-01
2.90E-05	6.37E+02	6.08E+02	2.32E+02	1.73E+02	1.31E+02	5.48E+01	2.34E+01	1.17E+01	1.16E+01	4.05E+00	1.56E+00	8.97E-01
1.01E-04	1.17E+03	1.11E+03	4.19E+02	3.11E+02	2.38E+02	1.00E+02	4.22E+01	2.10E+01	2.12E+01	7.31E+00	2.84E+00	1.63E+00
5.83E-04	2.07E+03	1.98E+03	7.55E+02	5.60E+02	4.29E+02	1.81E+02	7.53E+01	3.79E+01	3.79E+01	1.31E+01	5.07E+00	2.91E+00
3.35E-03	3.53E+03	3.37E+03	1.29E+03	9.55E+02	7.29E+02	3.06E+02	1.30E+02	6.48E+01	6.52E+01	2.27E+01	8.65E+00	4.96E+00
1.11E-01	1.64E+04	1.57E+04	5.99E+03	4.48E+03	3.44E+03	1.47E+03	6.28E+02	3.13E+02	3.13E+02	1.07E+02	3.99E+01	2.32E+01
5.50E-01	1.89E+04	1.80E+04	7.03E+03	5.30E+03	4.13E+03	1.87E+03	8.14E+02	4.04E+02	3.99E+02	1.30E+02	4.53E+01	2.70E+01
1.11E+00	6.93E+03	6.58E+03	2.63E+03	1.99E+03	1.56E+03	7.49E+02	3.31E+02	1.61E+02	1.61E+02	5.00E+01	1.64E+01	9.97E+00
1.83E+00	1.95E+03	1.88E+03	7.71E+02	5.96E+02	4.74E+02	2.41E+02	1.09E+02	5.24E+01	5.19E+01	1.53E+01	4.64E+00	2.93E+00
2.35E+00	4.45E+02	4.34E+02	1.80E+02	1.42E+02	1.13E+02	6.04E+01	2.78E+01	1.30E+01	1.31E+01	3.74E+00	1.06E+00	6.83E-01
2.46E+00	6.69E+01	6.49E+01	2.67E+01	2.15E+01	1.74E+01	9.18E+00	4.37E+00	2.02E+00	2.05E+00	5.81E-01	1.56E-01	1.01E-01
3.01E+00	2.02E+02	1.92E+02	8.23E+01	6.47E+01	5.08E+01	2.87E+01	1.30E+01	6.17E+00	6.12E+00	1.70E+00	4.63E-01	3.08E-01
4.06E+00	1.28E+02	1.24E+02	5.19E+01	3.97E+01	3.17E+01	1.77E+01	8.04E+00	3.77E+00	3.67E+00	1.07E+00	2.96E-01	1.88E-01
4.96E+00	4.18E+01	3.95E+01	1.68E+01	1.23E+01	9.80E+00	4.92E+00	2.02E+00	9.53E-01	9.97E-01	3.12E-01	9.23E-02	5.60E-02
6.36E+00	1.90E+01	1.79E+01	6.20E+00	4.37E+00	3.09E+00	7.46E-01	2.40E-01	1.42E-01	1.48E-01	8.69E-02	4.80E-02	2.44E-02
8.18E+00	5.40E+00	5.19E+00	1.73E+00	1.19E+00	8.20E-01	1.46E-01	2.72E-02	2.52E-02	2.52E-02	2.19E-02	1.42E-02	7.01E-03
1.00E+01	9.22E-01	8.86E-01	2.95E-01	2.03E-01	1.40E-01	2.49E-02	4.64E-03	4.31E-03	4.31E-03	3.73E-03	2.43E-03	1.20E-03
1.22E+01	4.28E-01	4.11E-01	1.37E-01	9.41E-02	6.49E-02	1.15E-02	2.15E-03	2.00E-03	2.00E-03	1.73E-03	1.13E-03	5.55E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	5.31E+04	5.07E+04	1.97E+04	1.48E+04	1.15E+04	5.16E+03	2.23E+03	1.10E+03	1.10E+03	3.61E+02	1.28E+02	7.58E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	2.50E+04	1.54E+04	1.97E+03	1.62E+03	1.26E+03	4.54E+02	1.29E-01	1.78E-01	9.20E-02	6.91E-02	2.72E-02	4.70E-02
1.00E-01	1.59E+06	1.28E+06	1.58E+05	1.05E+05	9.31E+04	2.83E+04	6.91E+00	3.20E+00	7.11E+00	3.80E+00	2.34E+00	2.16E+00
2.00E-01	2.17E+07	1.63E+07	2.14E+06	1.60E+06	1.35E+06	4.03E+05	1.03E+02	5.47E+01	7.34E+01	4.42E+01	3.80E+01	4.89E+01
3.00E-01	1.99E+07	1.52E+07	2.09E+06	1.68E+06	1.22E+06	3.75E+05	9.90E+01	5.03E+01	6.92E+01	4.00E+01	3.88E+01	3.38E+01
4.00E-01	1.38E+07	1.04E+07	1.47E+06	1.15E+06	8.56E+05	2.54E+05	5.98E+01	2.99E+01	3.55E+01	2.61E+01	2.27E+01	2.62E+01
6.00E-01	1.49E+07	1.11E+07	1.16E+06	8.29E+05	6.20E+05	1.88E+05	5.77E+01	3.11E+01	4.26E+01	2.39E+01	2.23E+01	2.54E+01
8.00E-01	6.53E+06	4.63E+06	1.42E+05	7.46E+04	4.63E+04	7.45E+03	1.54E+01	9.99E+00	1.20E+01	6.49E+00	6.27E+00	5.58E+00
1.00E+00	2.60E+06	1.83E+06	8.49E+04	4.09E+04	2.81E+04	3.25E+03	2.74E+01	1.33E+01	1.42E+01	5.59E+00	2.94E+00	3.28E+00
1.33E+00	1.93E+06	1.29E+06	6.95E+04	2.81E+04	1.84E+04	3.13E+03	4.59E+00	2.84E+00	4.99E+00	1.57E+00	1.44E+00	8.62E-01
1.66E+00	4.74E+05	2.22E+05	5.77E+03	2.30E+03	2.15E+03	4.87E+02	2.97E+00	1.44E+00	1.39E+00	4.40E-01	2.95E-01	4.85E-01
2.00E+00	3.56E+05	1.92E+05	2.76E+03	1.61E+01	7.73E+02	2.71E+02	2.52E+00	1.26E+00	1.25E+00	4.02E-01	2.36E-01	7.90E-01
2.50E+00	1.85E+05	8.72E+04	2.31E+01	1.74E+01	1.32E+01	6.13E+00	2.49E+00	1.31E+00	1.36E+00	4.12E-01	1.51E-01	8.79E-02
3.00E+00	1.25E+04	7.22E+03	1.82E+01	1.36E+01	1.05E+01	4.24E+00	1.90E+00	9.58E-01	1.00E+00	4.44E-01	1.24E-01	7.06E-02
4.00E+00	4.34E+03	1.81E+03	2.25E+01	1.70E+01	1.31E+01	5.70E+00	2.35E+00	1.22E+00	1.18E+00	4.05E-01	1.53E-01	8.81E-02
5.00E+00	4.92E+01	4.78E+01	1.86E+01	1.35E+01	1.06E+01	4.64E+00	1.81E+00	1.01E+00	9.30E-01	3.18E-01	1.26E-01	7.34E-02
6.50E+00	1.01E+02	9.49E+01	3.60E+01	2.56E+01	1.99E+01	8.20E+00	3.76E+00	1.79E+00	1.83E+00	6.17E-01	2.38E-01	1.38E-01
8.00E+00	1.09E+02	1.01E+02	3.92E+01	2.92E+01	2.17E+01	9.80E+00	3.78E+00	2.03E+00	2.05E+00	6.95E-01	2.63E-01	1.51E-01
1.00E+01	9.18E+00	9.28E+00	3.23E+00	2.35E+00	2.04E+00	9.19E-01	4.29E-01	2.04E-01	1.99E-01	6.33E-02	2.28E-02	1.32E-02
TOTAL	8.41E+07	6.26E+07	7.34E+06	5.51E+06	4.24E+06	1.26E+06	8.96E+02	1.21E+03	1.77E+03	2.16E+03	5.14E+03	1.01E+04

添付表 7-2(16/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 15cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成:	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	7.34E+00	7.23E+00	2.75E+00	1.99E+00	1.59E+00	7.44E-01	2.56E-01	1.53E-01	1.51E-01	5.12E-02	1.87E-02	1.04E-02
1.12E-06	3.87E+01	3.63E+01	1.41E+01	1.06E+01	8.18E+00	3.71E+00	1.54E+00	7.43E-01	7.13E-01	2.51E-01	9.42E-02	5.46E-02
3.06E-06	1.33E+02	1.27E+02	4.80E+01	3.55E+01	2.68E+01	1.16E+01	4.67E+00	2.39E+00	2.33E+00	8.38E-01	3.20E-01	1.86E-01
1.07E-05	3.81E+02	3.71E+02	1.40E+02	1.04E+02	7.96E+01	3.35E+01	1.40E+01	7.00E+00	7.00E+00	2.43E+00	9.45E-01	5.42E-01
2.90E-05	5.38E+02	5.08E+02	1.93E+02	1.44E+02	1.10E+02	4.58E+01	1.91E+01	9.79E+00	9.79E+00	3.39E+00	1.30E+00	7.45E-01
1.01E-04	9.54E+02	9.10E+02	3.46E+02	2.57E+02	1.96E+02	8.34E+01	3.44E+01	1.73E+01	1.74E+01	6.12E+00	2.32E+00	1.34E+00
5.83E-04	1.71E+03	1.63E+03	6.22E+02	4.62E+02	3.53E+02	1.50E+02	6.24E+01	3.12E+01	3.16E+01	1.09E+01	4.18E+00	2.41E+00
3.35E-03	2.91E+03	2.77E+03	1.05E+03	7.85E+02	6.02E+02	2.54E+02	1.07E+02	5.35E+01	5.35E+01	1.86E+01	7.10E+00	4.07E+00
1.11E-01	1.41E+04	1.35E+04	5.17E+03	3.87E+03	2.97E+03	1.27E+03	5.40E+02	2.71E+02	2.71E+02	9.18E+01	3.44E+01	2.00E+01
5.50E-01	1.67E+04	1.59E+04	6.23E+03	4.69E+03	3.65E+03	1.66E+03	7.22E+02	3.55E+02	3.56E+02	1.15E+02	4.02E+01	2.39E+01
1.11E+00	6.08E+03	5.81E+03	2.31E+03	1.75E+03	1.38E+03	6.60E+02	2.92E+02	1.42E+02	1.41E+02	4.39E+01	1.45E+01	8.81E+00
1.83E+00	1.68E+03	1.60E+03	6.50E+02	5.04E+02	4.00E+02	2.05E+02	9.25E+01	4.42E+01	4.42E+01	1.30E+01	3.93E+00	2.47E+00
2.35E+00	3.62E+02	3.55E+02	1.51E+02	1.16E+02	9.32E+01	4.97E+01	2.29E+01	1.08E+01	1.07E+01	3.08E+00	8.75E-01	5.62E-01
2.46E+00	5.46E+01	5.25E+01	2.24E+01	1.70E+01	1.43E+01	7.48E+00	3.44E+00	1.57E+00	1.63E+00	4.73E-01	1.28E-01	8.53E-02
3.01E+00	1.66E+02	1.55E+02	6.64E+01	5.17E+01	4.10E+01	2.25E+01	1.02E+01	4.96E+00	5.13E+00	1.39E+00	3.73E-01	2.49E-01
4.06E+00	1.01E+02	9.94E+01	4.16E+01	3.30E+01	2.56E+01	1.41E+01	6.37E+00	3.03E+00	2.88E+00	8.32E-01	2.39E-01	1.57E-01
4.96E+00	3.49E+01	3.11E+01	1.27E+01	9.68E+00	7.67E+00	3.78E+00	1.61E+00	7.82E-01	7.85E-01	2.36E-01	6.85E-02	4.24E-02
6.36E+00	1.39E+01	1.32E+01	4.59E+00	3.27E+00	2.28E+00	6.35E-01	1.90E-01	1.15E-01	1.26E-01	6.28E-02	3.53E-02	1.82E-02
8.18E+00	4.83E+00	4.64E+00	1.55E+00	1.06E+00	7.34E-01	1.30E-01	2.43E-02	2.26E-02	2.26E-02	1.95E-02	1.27E-02	6.27E-03
1.00E+01	7.91E-01	7.60E-01	2.53E-01	1.74E-01	1.20E-01	2.13E-02	3.98E-03	3.69E-03	3.69E-03	3.20E-03	2.08E-03	1.03E-03
1.22E+01	2.77E-01	2.67E-01	8.88E-02	6.10E-02	4.21E-02	7.48E-03	1.39E-03	1.30E-03	1.30E-03	1.12E-03	7.30E-04	3.60E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	4.60E+04	4.39E+04	1.71E+04	1.28E+04	9.96E+03	4.48E+03	1.94E+03	9.55E+02	9.56E+02	3.12E+02	1.11E+02	6.56E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	副化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.84E+04	1.09E+04	9.42E+02	6.90E+02	6.55E+02	2.31E+02	1.06E-01	5.47E-02	6.04E-02	2.54E-02	1.75E-02	1.09E-02
1.00E-01	1.10E+06	8.14E+05	1.27E+05	8.53E+04	5.90E+04	1.78E+04	5.58E+00	3.47E+00	3.44E+00	1.75E+00	2.36E+00	8.81E-01
2.00E-01	1.33E+07	1.01E+07	1.32E+06	9.91E+05	7.66E+05	2.17E+05	6.32E+01	3.49E+01	4.91E+01	2.42E+01	2.28E+01	2.31E+01
3.00E-01	1.18E+07	8.89E+06	1.16E+06	8.80E+05	6.83E+05	1.97E+05	5.44E+01	3.31E+01	3.60E+01	2.18E+01	2.24E+01	2.36E+01
4.00E-01	8.14E+06	6.26E+06	8.30E+05	6.12E+05	4.48E+05	1.33E+05	3.89E+01	1.78E+01	2.24E+01	1.53E+01	1.42E+01	1.49E+01
6.00E-01	9.02E+06	6.65E+06	6.06E+05	4.28E+05	3.29E+05	1.00E+05	3.91E+01	2.07E+01	2.36E+01	1.44E+01	1.27E+01	1.39E+01

5.00E-02	1.84E+04	1.09E+04	9.42E+02	6.90E+02	6.55E+02	2.31E+02	1.06E-01	5.47E-02	6.04E-02	2.54E-02	1.75E-02	1.09E-02
1.00E-01	1.10E+06	8.14E+05	1.27E+05	8.53E+04	5.90E+04	1.78E+04	5.58E+00	3.47E+00	3.44E+00	1.75E+00	2.36E+00	8.81E-01
2.00E-01	1.33E+07	1.01E+07	1.32E+06	9.91E+05	7.66E+05	2.17E+05	6.32E+01	3.49E+01	4.91E+01	2.42E+01	2.28E+01	2.31E+01
3.00E-01	1.18E+07	8.89E+06	1.16E+06	8.80E+05	6.83E+05	1.97E+05	5.44E+01	3.31E+01	3.60E+01	2.18E+01	2.24E+01	2.36E+01
4.00E-01	8.14E+06	6.26E+06	8.30E+05	6.12E+05	4.48E+05	1.33E+05	3.89E+01	1.78E+01	2.24E+01	1.53E+01	1.42E+01	1.49E+01
6.00E-01	9.02E+06	6.65E+06	6.06E+05	4.28E+05	3.29E+05	1.00E+05	3.91E+01	2.07E+01	2.36E+01	1.44E+01	1.27E+01	1.39E+01
8.00E-01	4.10E+06	2.85E+06	9.90E+04	4.75E+04	2.93E+04	5.48E+03	1.08E+01	7.04E+00	9.10E+00	4.24E+00	3.78E+00	3.38E+00
1.00E+00	1.65E+06	1.16E+06	5.64E+04	3.29E+04	1.77E+04	1.85E+03	2.25E+01	1.05E+01	1.11E+01	4.04E+00	1.93E+00	1.83E+00
1.33E+00	1.27E+06	8.45E+05	4.72E+04	1.77E+04	1.14E+04	2.08E+03	3.71E+00	2.07E+00	2.97E+00	1.15E+00	9.30E-01	5.05E-01
1.66E+00	3.10E+05	1.54E+05	5.29E+03	1.86E+03	1.27E+03	1.73E+02	2.44E+00	1.20E+00	1.23E+00	3.77E-01	2.90E-01	3.94E-01
2.00E+00	2.54E+05	1.33E+05	9.28E+02	1.37E+01	5.06E+02	1.15E+02	2.06E+00	1.02E+00	1.02E+00	3.20E-01	1.21E-01	6.45E-01
2.50E+00	1.29E+05	5.97E+04	2.01E+01	1.54E+01	1.14E+01	5.24E+00	2.19E+00	1.18E+00	1.08E+00	3.61E-01	1.34E-01	7.90E-02
3.00E+00	1.28E+04	5.81E+03	1.50E+01	1.07E+01	8.33E+00	3.67E+00	1.67E+00	7.97E-01	8.20E-01	3.18E-01	9.41E-02	5.57E-02
4.00E+00	3.60E+03	2.89E+03	1.96E+01	1.47E+01	1.13E+01	4.50E+00	2.04E+00	9.80E-01	1.01E+00	3.39E-01	1.31E-01	7.69E-02
5.00E+00	4.22E+01	4.25E+01	1.57E+01	1.16E+01	9.35E+00	4.01E+00	1.58E+00	8.42E-01	8.13E-01	2.81E-01	1.05E-01	6.06E-02
6.50E+00	8.24E+01	8.06E+01	3.05E+01	2.33E+01	1.75E+01	7.44E+00	3.26E+00	1.47E+00	1.58E+00	5.44E-01	2.09E-01	1.19E-01
8.00E+00	8.99E+01	8.54E+01	3.35E+01	2.50E+01	1.86E+01	8.27E+00	3.39E+00	1.64E+00	1.72E+00	5.80E-01	2.16E-01	1.22E-01
1.00E+01	8.33E+00	9.07E+00	3.68E+00	2.44E+00	1.90E+00	8.43E-01	3.68E-01	1.77E-01	1.90E-01	5.81E-02	2.17E-02	1.23E-02
TOTAL	5.12E+07	3.80E+07	4.25E+06	3.10E+06	2.35E+06	6.76E+05	7.57E+02	1.14E+03	1.67E+03	2.09E+03	5.08E+03	1.01E+04

添付表 7-2 (17/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 16cm

Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	6.13E+00	5.79E+00	2.18E+00	1.65E+00	1.29E+00	5.43E-01	1.99E-01	1.20E-01	1.24E-01	3.67E-02	1.46E-02	8.26E-0
1.12E-06	3.27E+01	3.10E+01	1.18E+01	8.69E+00	6.88E+00	2.94E+00	1.17E+00	5.71E-01	5.86E-01	2.02E-01	7.81E-02	4.46E-0
3.06E-06	1.06E+02	1.02E+02	3.84E+01	2.85E+01	2.15E+01	9.36E+00	3.72E+00	1.95E+00	1.86E+00	6.70E-01	2.60E-01	1.48E-0
1.07E-05	3.07E+02	2.93E+02	1.11E+02	8.28E+01	6.23E+01	2.66E+01	1.11E+01	5.56E+00	5.58E+00	1.95E+00	7.49E-01	4.26E-0
2.90E-05	4.29E+02	4.03E+02	1.52E+02	1.13E+02	8.73E+01	3.60E+01	1.55E+01	7.72E+00	7.72E+00	2.70E+00	1.03E+00	5.92E-0
1.01E-04	7.53E+02	7.17E+02	2.72E+02	2.02E+02	1.54E+02	6.53E+01	2.74E+01	1.37E+01	1.38E+01	4.75E+00	1.83E+00	1.05E+0
5.83E-04	1.35E+03	1.27E+03	4.85E+02	3.59E+02	2.73E+02	1.17E+02	4.90E+01	2.44E+01	2.45E+01	8.47E+00	3.25E+00	1.87E+0
3.35E-03	2.30E+03	2.19E+03	8.37E+02	6.20E+02	4.74E+02	2.00E+02	8.48E+01	4.25E+01	4.23E+01	1.47E+01	5.61E+00	3.23E+0
1.11E-01	1.20E+04	1.14E+04	4.38E+03	3.26E+03	2.51E+03	1.08E+03	4.58E+02	2.30E+02	2.29E+02	7.78E+01	2.90E+01	1.69E+0
5.50E-01	1.46E+04	1.39E+04	5.43E+03	4.09E+03	3.18E+03	1.44E+03	6.32E+02	3.10E+02	3.09E+02	1.00E+02	3.49E+01	2.08E+0
1.11E+00	5.28E+03	5.06E+03	2.01E+03	1.53E+03	1.20E+03	5.74E+02	2.54E+02	1.23E+02	1.23E+02	3.82E+01	1.26E+01	7.66E+0
1.83E+00	1.40E+03	1.33E+03	5.46E+02	4.23E+02	3.36E+02	1.71E+02	7.73E+01	3.69E+01	3.69E+01	1.08E+01	3.27E+00	2.06E+0
2.35E+00	3.02E+02	2.92E+02	1.22E+02	9.56E+01	7.66E+01	4.07E+01	1.86E+01	8.95E+00	8.93E+00	2.51E+00	7.14E-01	4.64E-0
2.46E+00	4.44E+01	4.26E+01	1.83E+01	1.41E+01	1.15E+01	6.22E+00	2.83E+00	1.27E+00	1.33E+00	3.71E-01	1.05E-01	6.66E-0
3.01E+00	1.29E+02	1.22E+02	5.24E+01	4.12E+01	3.33E+01	1.84E+01	8.43E+00	4.07E+00	3.98E+00	1.10E+00	2.92E-01	1.97E-0
4.06E+00	8.00E+01	7.93E+01	3.39E+01	2.64E+01	2.10E+01	1.18E+01	5.14E+00	2.45E+00	2.47E+00	6.81E-01	1.92E-01	1.25E-0
4.96E+00	2.80E+01	2.59E+01	1.07E+01	7.78E+00	6.08E+00	2.97E+00	1.25E+00	6.01E-01	6.45E-01	1.91E-01	5.80E-02	3.55E-0
6.36E+00	1.21E+01	1.15E+01	3.97E+00	2.77E+00	2.02E+00	4.73E-01	1.71E-01	9.98E-02	1.09E-01	5.67E-02	3.01E-02	1.57E-0
8.18E+00	3.66E+00	3.51E+00	1.17E+00	8.05E-01	5.55E-01	9.87E-02	1.84E-02	1.71E-02	1.71E-02	1.48E-02	9.63E-03	4.74E-0
1.00E+01	4.97E-01	4.78E-01	1.59E-01	1.09E-01	7.55E-02	1.34E-02	2.50E-03	2.32E-03	2.32E-03	2.01E-03	1.31E-03	6.45E-0
1.22E+01	1.49E-01	1.44E-01	4.79E-02	3.29E-02	2.27E-02	4.03E-03	7.52E-04	6.98E-04	6.98E-04	6.05E-04	3.94E-04	1.94E-0
1.50E+01	0.00E+00	0.00E+0										
TOTAL	3.91E+04	3.73E+04	1.45E+04	1.09E+04	8.46E+03	3.80E+03	1.65E+03	8.14E+02	8.13E+02	2.65E+02	9.40E+01	5.57E+0

Energy					ガラス固	目化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	1.09E+04	7.62E+03	7.98E+02	4.47E+02	4.13E+02	8.81E+01	2.32E-01	3.81E-02	3.71E-02	1.91E-02	8.12E-03	3.76E-03
1.00E-01	6.61E+05	4.19E+05	4.37E+04	6.08E+04	3.09E+04	9.02E+03	4.41E+00	1.72E+00	2.18E+00	1.18E+00	8.21E-01	5.07E-01
2.00E-01	7.88E+06	5.97E+06	6.74E+05	5.41E+05	4.11E+05	1.27E+05	4.25E+01	2.25E+01	2.63E+01	1.73E+01	1.31E+01	1.29E+01
3.00E-01	6.96E+06	5.34E+06	6.37E+05	4.71E+05	3.66E+05	1.15E+05	3.20E+01	1.74E+01	2.21E+01	1.26E+01	1.28E+01	1.23E+01
4.00E-01	4.63E+06	3.66E+06	4.32E+05	3.38E+05	2.54E+05	7.35E+04	2.59E+01	1.14E+01	1.40E+01	9.08E+00	6.60E+00	6.85E+00
6.00E-01	5.40E+06	4.03E+06	3.36E+05	2.48E+05	1.83E+05	5.47E+04	2.45E+01	1.46E+01	1.72E+01	8.88E+00	7.57E+00	1.04E+01
8.00E-01	2.56E+06	1.82E+06	6.10E+04	3.11E+04	1.67E+04	3.20E+03	8.76E+00	5.44E+00	5.55E+00	3.20E+00	2.74E+00	2.23E+00
1.00E+00	1.07E+06	7.38E+05	3.94E+04	2.19E+04	1.26E+04	1.16E+03	1.77E+01	8.63E+00	8.87E+00	2.99E+00	1.46E+00	1.22E+00
1.33E+00	8.48E+05	5.84E+05	3.17E+04	1.30E+04	7.82E+03	1.66E+03	3.16E+00	1.53E+00	2.58E+00	9.45E-01	4.98E-01	4.72E-01
1.66E+00	2.11E+05	1.07E+05	3.12E+03	5.91E+02	8.57E+02	5.45E+01	2.09E+00	8.70E-01	9.27E-01	3.10E-01	2.29E-01	1.92E-01
2.00E+00	1.93E+05	9.99E+04	9.01E+02	1.17E+01	3.73E+02	1.11E+02	1.80E+00	8.57E-01	8.11E-01	2.78E-01	9.84E-02	4.71E-01
2.50E+00	8.97E+04	4.11E+04	1.64E+01	1.19E+01	9.27E+00	4.22E+00	1.72E+00	8.81E-01	9.07E-01	3.37E-01	1.04E-01	6.11E-02
3.00E+00	9.81E+03	3.35E+03	1.33E+01	9.83E+00	7.16E+00	3.22E+00	1.29E+00	6.68E-01	6.47E-01	2.35E-01	8.79E-02	5.03E-02
4.00E+00	2.06E+03	2.80E+03	1.55E+01	1.12E+01	9.05E+00	3.79E+00	1.68E+00	8.91E-01	7.78E-01	2.67E-01	1.01E-01	6.05E-02
5.00E+00	3.48E+01	3.45E+01	1.31E+01	9.86E+00	7.45E+00	3.50E+00	1.37E+00	7.30E-01	6.66E-01	2.45E-01	8.94E-02	5.14E-02
6.50E+00	6.70E+01	6.35E+01	2.40E+01	1.77E+01	1.40E+01	6.24E+00	2.51E+00	1.29E+00	1.30E+00	4.33E-01	1.62E-01	9.31E-02
8.00E+00	7.55E+01	7.05E+01	2.67E+01	2.00E+01	1.53E+01	6.31E+00	2.61E+00	1.41E+00	1.31E+00	4.69E-01	1.82E-01	1.03E-01
1.00E+01	6.82E+00	6.83E+00	2.71E+00	1.78E+00	1.40E+00	6.63E-01	2.94E-01	1.41E-01	1.33E-01	4.73E-02	1.71E-02	8.96E-03
TOTAL	3.05E+07	2.28E+07	2.26E+06	1.73E+06	1.28E+06	3.85E+05	6.75E+02	1.09E+03	1.61E+03	2.06E+03	5.05E+03	1.00E+04

添付表 7-2(18/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 17cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス園	目化体生成:	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	4.27E+00	4.35E+00	1.75E+00	1.19E+00	9.84E-01	3.76E-01	1.50E-01	8.86E-02	9.94E-02	2.87E-02	1.14E-02	6.43E-03
1.12E-06	2.45E+01	2.32E+01	9.00E+00	6.60E+00	5.14E+00	2.13E+00	8.40E-01	4.30E-01	4.43E-01	1.52E-01	5.98E-02	3.39E-02
3.06E-06	7.58E+01	7.29E+01	2.75E+01	2.08E+01	1.54E+01	6.63E+00	2.73E+00	1.40E+00	1.41E+00	4.92E-01	1.86E-01	1.08E-01
1.07E-05	2.20E+02	2.13E+02	8.08E+01	6.07E+01	4.54E+01	1.95E+01	7.94E+00	4.02E+00	4.04E+00	1.44E+00	5.47E-01	3.13E-01
2.90E-05	3.09E+02	2.93E+02	1.11E+02	8.30E+01	6.36E+01	2.64E+01	1.12E+01	5.60E+00	5.61E+00	1.96E+00	7.51E-01	4.28E-01
1.01E-04	5.56E+02	5.25E+02	1.98E+02	1.48E+02	1.12E+02	4.74E+01	1.99E+01	1.00E+01	1.00E+01	3.48E+00	1.33E+00	7.67E-01
5.83E-04	9.60E+02	9.20E+02	3.51E+02	2.60E+02	1.99E+02	8.41E+01	3.51E+01	1.78E+01	1.80E+01	6.21E+00	2.35E+00	1.35E+00
3.35E-03	1.69E+03	1.62E+03	6.20E+02	4.59E+02	3.53E+02	1.47E+02	6.26E+01	3.14E+01	3.13E+01	1.09E+01	4.18E+00	2.39E+00
1.11E-01	9.72E+03	9.29E+03	3.56E+03	2.66E+03	2.04E+03	8.80E+02	3.74E+02	1.87E+02	1.87E+02	6.34E+01	2.37E+01	1.38E+01
5.50E-01	1.24E+04	1.18E+04	4.62E+03	3.48E+03	2.71E+03	1.23E+03	5.35E+02	2.64E+02	2.64E+02	8.51E+01	2.98E+01	1.78E+01
1.11E+00	4.52E+03	4.33E+03	1.72E+03	1.30E+03	1.02E+03	4.90E+02	2.15E+02	1.05E+02	1.05E+02	3.26E+01	1.08E+01	6.53E+00
1.83E+00	1.16E+03	1.11E+03	4.52E+02	3.47E+02	2.78E+02	1.42E+02	6.41E+01	3.06E+01	3.06E+01	9.05E+00	2.72E+00	1.72E+00
2.35E+00	2.48E+02	2.34E+02	9.76E+01	7.74E+01	6.19E+01	3.29E+01	1.50E+01	7.15E+00	7.14E+00	2.04E+00	5.77E-01	3.71E-01
2.46E+00	3.56E+01	3.36E+01	1.45E+01	1.13E+01	9.00E+00	4.75E+00	2.27E+00	1.05E+00	1.03E+00	2.92E-01	8.17E-02	5.50E-02
3.01E+00	1.10E+02	9.97E+01	4.26E+01	3.26E+01	2.61E+01	1.46E+01	6.68E+00	3.26E+00	3.13E+00	8.94E-01	2.37E-01	1.55E-01
4.06E+00	6.37E+01	6.38E+01	2.63E+01	2.05E+01	1.67E+01	9.02E+00	3.99E+00	1.90E+00	1.91E+00	5.45E-01	1.51E-01	9.63E-02
4.96E+00	2.07E+01	2.03E+01	8.43E+00	6.18E+00	5.23E+00	2.45E+00	1.13E+00	4.74E-01	4.86E-01	1.48E-01	4.57E-02	2.76E-02
6.36E+00	9.68E+00	9.48E+00	3.24E+00	2.24E+00	1.64E+00	3.87E-01	1.40E-01	7.97E-02	8.87E-02	4.48E-02	2.45E-02	1.27E-02
8.18E+00	3.09E+00	2.97E+00	9.90E-01	6.80E-01	4.69E-01	8.34E-02	1.55E-02	1.44E-02	1.44E-02	1.25E-02	8.14E-03	4.01E-03
1.00E+01	4.79E-01	4.60E-01	1.53E-01	1.05E-01	7.27E-02	1.29E-02	2.41E-03	2.24E-03	2.24E-03	1.94E-03	1.26E-03	6.21E-04
1.22E+01	1.43E-01	1.37E-01	4.57E-02	3.14E-02	2.17E-02	3.85E-03	7.17E-04	6.66E-04	6.66E-04	5.77E-04	3.76E-04	1.85E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	3.21E+04	3.07E+04	1.19E+04	8.98E+03	6.96E+03	3.14E+03	1.36E+03	6.71E+02	6.71E+02	2.19E+02	7.75E+01	4.59E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期	間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	4.20E+03	3.77E+03	1.76E+02	3.01E+02	1.79E+02	4.17E+01	6.27E-02	3.40E-02	3.94E-02	1.63E-02	9.88E-03	2.06E-03
1.00E-01	3.51E+05	2.84E+05	3.17E+04	2.12E+04	1.86E+04	4.68E+03	2.91E+00	1.26E+00	9.62E-01	8.65E-01	7.39E-01	9.65E-01
2.00E-01	4.54E+06	3.36E+06	3.80E+05	3.09E+05	2.01E+05	5.75E+04	2.49E+01	1.39E+01	2.26E+01	8.87E+00	9.59E+00	9.90E+00
3.00E-01	4.20E+06	2.98E+06	3.42E+05	2.68E+05	2.05E+05	6.00E+04	2.17E+01	1.17E+01	1.26E+01	8.43E+00	6.78E+00	8.56E+00
4.00E-01	2.83E+06	2.19E+06	2.35E+05	1.81E+05	1.39E+05	4.16E+04	1.50E+01	7.76E+00	1.09E+01	5.30E+00	4.02E+00	5.48E+00
6.00E-01	3.27E+06	2.49E+06	2.17E+05	1.36E+05	1.02E+05	3.05E+04	1.61E+01	9.27E+00	1.11E+01	5.72E+00	5.20E+00	4.89E+00
8.00E-01	1.65E+06	1.13E+06	3.88E+04	1.65E+04	1.06E+04	1.74E+03	6.69E+00	4.22E+00	4.16E+00	1.90E+00	1.37E+00	1.14E+00
1.00E+00	6.87E+05	4.54E+05	1.85E+04	1.34E+04	8.90E+03	7.51E+02	1.44E+01	6.89E+00	7.23E+00	2.47E+00	1.03E+00	1.19E+00

6.00E	2-01	3.27E+06	2.49E+06	2.17E+05	1.36E+05	1.02E+05	3.05E+04	1.61E+01	9.27E+00	1.11E+01	5.72E+00	5.20E+00	4.89E+00
8.00E	2-01	1.65E+06	1.13E+06	3.88E+04	1.65E+04	1.06E+04	1.74E+03	6.69E+00	4.22E+00	4.16E+00	1.90E+00	1.37E+00	1.14E+00
1.00E	00+0	6.87E+05	4.54E+05	1.85E+04	1.34E+04	8.90E+03	7.51E+02	1.44E+01	6.89E+00	7.23E+00	2.47E+00	1.03E+00	1.19E+00
1.33E	00+0	5.50E+05	3.74E+05	2.11E+04	7.94E+03	5.70E+03	1.46E+03	2.49E+00	1.21E+00	1.71E+00	6.98E-01	4.22E-01	3.15E-01
1.66E	2+00	1.59E+05	6.88E+04	2.41E+03	1.06E+01	8.32E+02	5.23E+01	1.54E+00	7.55E-01	7.92E-01	2.51E-01	2.04E-01	5.10E-02
2.00E	00+0	1.22E+05	6.93E+04	1.23E+01	9.08E+00	1.21E+02	3.28E+00	1.36E+00	6.73E-01	6.50E-01	2.18E-01	7.71E-02	1.79E-01
2.50E	00+0	7.24E+04	3.47E+04	1.32E+01	9.79E+00	7.43E+00	3.42E+00	1.52E+00	6.94E-01	7.07E-01	2.39E-01	8.45E-02	4.84E-02
3.00E	00+0	8.11E+03	3.25E+03	1.05E+01	7.71E+00	6.03E+00	2.72E+00	9.68E-01	5.00E-01	5.31E-01	1.78E-01	6.94E-02	3.88E-02
4.00E	2+00	3.36E+01	1.37E+03	1.34E+01	9.72E+00	7.30E+00	3.14E+00	1.36E+00	6.43E-01	6.66E-01	2.31E-01	8.60E-02	5.16E-02
5.00E	2+00	2.97E+01	2.71E+01	1.02E+01	7.91E+00	5.77E+00	2.67E+00	1.17E+00	5.54E-01	5.34E-01	1.88E-01	6.84E-02	4.13E-02
6.50E	2+00	5.46E+01	5.12E+01	1.95E+01	1.43E+01	1.08E+01	4.83E+00	2.02E+00	9.93E-01	9.85E-01	3.43E-01	1.28E-01	7.36E-02
8.00E	2+00	5.63E+01	5.45E+01	2.06E+01	1.57E+01	1.19E+01	5.38E+00	2.18E+00	1.05E+00	1.05E+00	3.59E-01	1.41E-01	7.90E-02
1.00E	2+01	5.20E+00	5.29E+00	2.12E+00	1.59E+00	1.30E+00	5.91E-01	1.70E-01	1.15E-01	1.01E-01	3.77E-02	1.43E-02	7.42E-03
TOT	AL	1.84E+07	1.34E+07	1.29E+06	9.53E+05	6.92E+05	1.98E+05	6.16E+02	1.06E+03	1.58E+03	2.04E+03	5.03E+03	1.00E+04

添付表 7-2 (19/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 18cm

中性子											[flux(n/	sec/cm2)]
Energy					ガラス固	目化体生成:	後の経過期	1間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	2.72E+00	2.65E+00	1.05E+00	7.97E-01	5.75E-01	2.56E-01	9.43E-02	6.34E-02	4.91E-02	1.89E-02	6.77E-03	4.20E-03
1.12E-06	1.48E+01	1.42E+01	5.42E+00	4.04E+00	3.07E+00	1.34E+00	5.43E-01	2.59E-01	2.87E-01	9.65E-02	3.57E-02	2.11E-02
3.06E-06	4.66E+01	4.55E+01	1.72E+01	1.32E+01	9.66E+00	4.20E+00	1.64E+00	8.86E-01	8.83E-01	3.09E-01	1.17E-01	6.77E-02
1.07E-05	1.43E+02	1.35E+02	5.14E+01	3.85E+01	2.88E+01	1.22E+01	5.12E+00	2.62E+00	2.59E+00	8.95E-01	3.49E-01	1.99E-01
2.90E-05	1.90E+02	1.81E+02	6.93E+01	5.20E+01	3.92E+01	1.68E+01	6.93E+00	3.47E+00	3.55E+00	1.24E+00	4.66E-01	2.66E-01
1.01E-04	3.43E+02	3.28E+02	1.24E+02	9.29E+01	7.03E+01	2.94E+01	1.26E+01	6.13E+00	6.19E+00	2.19E+00	8.34E-01	4.82E-01
5.83E-04	6.10E+02	5.81E+02	2.20E+02	1.64E+02	1.26E+02	5.30E+01	2.21E+01	1.13E+01	1.11E+01	3.89E+00	1.48E+00	8.52E-01
3.35E-03	1.10E+03	1.05E+03	4.00E+02	2.98E+02	2.26E+02	9.64E+01	4.04E+01	2.05E+01	2.03E+01	7.06E+00	2.69E+00	1.54E+00
1.11E-01	7.51E+03	7.16E+03	2.74E+03	2.04E+03	1.57E+03	6.77E+02	2.87E+02	1.44E+02	1.43E+02	4.88E+01	1.82E+01	1.06E+01
5.50E-01	1.01E+04	9.65E+03	3.77E+03	2.84E+03	2.20E+03	1.00E+03	4.36E+02	2.15E+02	2.14E+02	6.93E+01	2.43E+01	1.45E+01
1.11E+00	3.79E+03	3.59E+03	1.42E+03	1.08E+03	8.48E+02	4.05E+02	1.79E+02	8.71E+01	8.74E+01	2.71E+01	8.90E+00	5.43E+00
1.83E+00	9.33E+02	8.93E+02	3.61E+02	2.78E+02	2.22E+02	1.13E+02	5.07E+01	2.45E+01	2.46E+01	7.22E+00	2.17E+00	1.38E+00
2.35E+00	1.99E+02	1.87E+02	7.71E+01	5.99E+01	4.89E+01	2.54E+01	1.20E+01	5.54E+00	5.52E+00	1.61E+00	4.55E-01	2.95E-01
2.46E+00	2.82E+01	2.70E+01	1.12E+01	8.81E+00	7.00E+00	3.79E+00	1.78E+00	8.75E-01	7.87E-01	2.27E-01	6.23E-02	4.10E-02
3.01E+00	8.11E+01	7.62E+01	3.27E+01	2.55E+01	2.04E+01	1.12E+01	5.07E+00	2.45E+00	2.47E+00	6.80E-01	1.83E-01	1.23E-01
4.06E+00	5.34E+01	5.14E+01	2.14E+01	1.66E+01	1.29E+01	7.06E+00	3.20E+00	1.50E+00	1.47E+00	4.32E-01	1.23E-01	7.83E-02
4.96E+00	1.67E+01	1.63E+01	6.83E+00	5.00E+00	4.08E+00	1.95E+00	8.07E-01	3.86E-01	4.02E-01	1.21E-01	3.69E-02	2.16E-02
6.36E+00	7.88E+00	7.87E+00	2.71E+00	1.93E+00	1.37E+00	3.24E-01	1.09E-01	6.65E-02	6.75E-02	3.57E-02	2.08E-02	1.08E-02
8.18E+00	2.23E+00	2.15E+00	7.15E-01	4.91E-01	3.39E-01	6.03E-02	1.12E-02	1.04E-02	1.04E-02	9.04E-03	5.88E-03	2.90E-03
1.00E+01	4.20E-01	4.04E-01	1.34E-01	9.24E-02	6.38E-02	1.13E-02	2.11E-03	1.96E-03	1.96E-03	1.70E-03	1.11E-03	5.45E-04
1.22E+01	1.60E-01	1.54E-01	5.12E-02	3.52E-02	2.43E-02	4.31E-03	8.04E-04	7.47E-04	7.47E-04	6.47E-04	4.21E-04	2.07E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	2.52E+04	2.40E+04	9.34E+03	7.03E+03	5.45E+03	2.46E+03	1.07E+03	5.26E+02	5.25E+02	1.71E+02	6.05E+01	3.59E+01
ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]

Energy					ガラス国	目化体生成:	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	3.11E+03	3.06E+03	1.00E+02	4.25E+02	7.05E+01	4.48E+01	4.97E-02	2.01E-02	2.14E-02	7.40E-03	1.29E-02	1.64E-03
1.00E-01	1.87E+05	1.60E+05	2.03E+04	1.14E+04	7.33E+03	3.41E+03	1.19E+00	5.59E-01	1.06E+00	4.92E-01	2.20E-01	7.42E-01
2.00E-01	2.49E+06	1.88E+06	2.11E+05	1.50E+05	1.09E+05	3.11E+04	1.63E+01	8.66E+00	1.28E+01	4.50E+00	4.16E+00	6.18E+00
3.00E-01	2.53E+06	1.80E+06	1.93E+05	1.38E+05	1.14E+05	3.53E+04	1.51E+01	6.99E+00	6.37E+00	5.42E+00	3.65E+00	4.50E+00
4.00E-01	1.63E+06	1.24E+06	1.25E+05	8.56E+04	7.14E+04	2.02E+04	9.24E+00	4.22E+00	6.42E+00	2.86E+00	2.39E+00	3.74E+00
6.00E-01	2.04E+06	1.44E+06	1.12E+05	7.33E+04	5.54E+04	1.70E+04	1.23E+01	6.69E+00	6.60E+00	3.49E+00	3.09E+00	3.01E+00
8.00E-01	1.07E+06	7.14E+05	2.76E+04	1.37E+04	7.65E+03	7.64E+02	5.32E+00	2.77E+00	3.13E+00	1.36E+00	7.56E-01	1.01E+00
1.00E+00	4.35E+05	2.92E+05	9.38E+03	6.45E+03	5.02E+03	4.05E+02	1.08E+01	5.12E+00	5.02E+00	1.81E+00	7.33E-01	3.99E-01
1.33E+00	3.42E+05	2.48E+05	1.31E+04	7.28E+03	3.55E+03	9.04E+02	2.06E+00	8.71E-01	1.24E+00	4.71E-01	2.46E-01	2.93E-01
1.66E+00	1.06E+05	5.17E+04	1.60E+03	7.94E+00	5.58E+02	5.00E+01	1.14E+00	5.64E-01	5.93E-01	1.88E-01	1.58E-01	4.02E-02
2.00E+00	8.56E+04	5.00E+04	8.81E+00	6.63E+00	1.16E+02	2.73E+00	1.10E+00	4.64E-01	5.53E-01	1.62E-01	6.02E-02	1.62E-01
2.50E+00	5.29E+04	2.89E+04	9.73E+00	7.36E+00	5.31E+00	2.57E+00	1.13E+00	5.34E-01	5.10E-01	1.73E-01	6.32E-02	3.78E-02
3.00E+00	5.20E+03	3.16E+03	7.74E+00	5.82E+00	4.52E+00	1.97E+00	8.35E-01	4.10E-01	4.19E-01	1.42E-01	5.08E-02	2.88E-02
4.00E+00	2.73E+01	1.33E+03	1.04E+01	7.43E+00	5.72E+00	2.53E+00	1.07E+00	5.06E-01	4.96E-01	1.85E-01	6.66E-02	3.93E-02
5.00E+00	2.14E+01	2.18E+01	8.30E+00	6.01E+00	4.79E+00	2.00E+00	8.33E-01	4.04E-01	4.34E-01	1.39E-01	5.61E-02	3.25E-02
6.50E+00	4.19E+01	3.84E+01	1.51E+01	1.10E+01	8.24E+00	3.72E+00	1.59E+00	7.74E-01	7.37E-01	2.51E-01	9.93E-02	5.61E-02
8.00E+00	4.21E+01	4.15E+01	1.62E+01	1.19E+01	8.82E+00	3.86E+00	1.72E+00	7.57E-01	7.55E-01	2.82E-01	1.06E-01	6.01E-02
1.00E+01	4.04E+00	4.21E+00	1.82E+00	1.25E+00	9.43E-01	4.10E-01	1.60E-01	8.23E-02	7.81E-02	2.74E-02	1.14E-02	6.57E-03
TOTAL	1.10E+07	7.91E+06	7.13E+05	4.87E+05	3.74E+05	1.09E+05	5.82E+02	1.04E+03	1.55E+03	2.02E+03	5.02E+03	1.00E+04

添付表 7-2 (20/20) オーバーパックの照射線量率の板厚方向の変化[JENDL-4.0]

0P内側表面から 19cm (=0P外側表面/材質は空気)

rh	Ы	- 7.	
Т	13	C J	

[flux(n/sec/cm2)]	

Energy					ガラス固	化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
4.14E-07	1.11E+00	1.05E+00	3.76E-01	2.59E-01	2.07E-01	7.76E-02	3.65E-02	2.06E-02	1.89E-02	6.98E-03	2.62E-03	1.48E-03
1.12E-06	5.71E+00	5.08E+00	1.94E+00	1.46E+00	1.14E+00	4.65E-01	2.14E-01	8.74E-02	1.04E-01	3.16E-02	1.28E-02	7.40E-03
3.06E-06	1.79E+01	1.63E+01	6.15E+00	4.64E+00	3.51E+00	1.49E+00	6.38E-01	3.20E-01	3.14E-01	1.09E-01	4.17E-02	2.40E-02
1.07E-05	5.06E+01	4.82E+01	1.83E+01	1.37E+01	1.04E+01	4.31E+00	1.78E+00	9.49E-01	9.05E-01	3.13E-01	1.22E-01	7.14E-02
2.90E-05	7.09E+01	6.66E+01	2.52E+01	1.89E+01	1.44E+01	6.06E+00	2.46E+00	1.25E+00	1.23E+00	4.36E-01	1.70E-01	9.80E-02
1.01E-04	1.22E+02	1.19E+02	4.52E+01	3.41E+01	2.57E+01	1.08E+01	4.55E+00	2.28E+00	2.30E+00	7.89E-01	3.05E-01	1.77E-01
5.83E-04	2.23E+02	2.11E+02	7.92E+01	5.94E+01	4.51E+01	1.92E+01	8.09E+00	3.97E+00	4.12E+00	1.41E+00	5.34E-01	3.08E-01
3.35E-03	4.50E+02	4.33E+02	1.65E+02	1.24E+02	9.43E+01	3.96E+01	1.68E+01	8.40E+00	8.33E+00	2.91E+00	1.11E+00	6.38E-01
1.11E-01	4.90E+03	4.68E+03	1.79E+03	1.33E+03	1.03E+03	4.40E+02	1.88E+02	9.31E+01	9.36E+01	3.18E+01	1.19E+01	6.90E+00
5.50E-01	7.41E+03	7.05E+03	2.75E+03	2.07E+03	1.61E+03	7.30E+02	3.17E+02	1.57E+02	1.56E+02	5.07E+01	1.78E+01	1.06E+01
1.11E+00	2.87E+03	2.72E+03	1.08E+03	8.22E+02	6.42E+02	3.07E+02	1.35E+02	6.58E+01	6.61E+01	2.05E+01	6.76E+00	4.10E+00
1.83E+00	6.89E+02	6.57E+02	2.68E+02	2.04E+02	1.64E+02	8.32E+01	3.77E+01	1.79E+01	1.81E+01	5.31E+00	1.61E+00	1.02E+00
2.35E+00	1.45E+02	1.35E+02	5.63E+01	4.36E+01	3.51E+01	1.87E+01	8.70E+00	4.06E+00	4.02E+00	1.19E+00	3.29E-01	2.13E-01
2.46E+00	1.88E+01	1.90E+01	8.14E+00	6.47E+00	5.21E+00	2.80E+00	1.34E+00	6.26E-01	5.99E-01	1.67E-01	4.64E-02	3.03E-02
3.01E+00	5.92E+01	5.61E+01	2.34E+01	1.85E+01	1.50E+01	8.44E+00	3.77E+00	1.82E+00	1.85E+00	4.98E-01	1.33E-01	9.06E-02
4.06E+00	3.90E+01	3.79E+01	1.59E+01	1.19E+01	9.88E+00	5.27E+00	2.42E+00	1.16E+00	1.13E+00	3.23E-01	8.90E-02	5.87E-02
4.96E+00	1.34E+01	1.26E+01	5.05E+00	3.82E+00	3.06E+00	1.55E+00	6.59E-01	3.05E-01	3.20E-01	8.67E-02	2.82E-02	1.68E-02
6.36E+00	5.74E+00	5.79E+00	1.98E+00	1.39E+00	9.87E-01	2.34E-01	7.21E-02	4.51E-02	4.91E-02	2.63E-02	1.55E-02	7.99E-03
8.18E+00	1.79E+00	1.72E+00	5.74E-01	3.95E-01	2.72E-01	4.84E-02	9.02E-03	8.38E-03	8.38E-03	7.26E-03	4.72E-03	2.33E-03
1.00E+01	3.85E-01	3.70E-01	1.23E-01	8.48E-02	5.85E-02	1.04E-02	1.94E-03	1.80E-03	1.80E-03	1.56E-03	1.01E-03	5.00E-04
1.22E+01	1.11E-01	1.06E-01	3.54E-02	2.43E-02	1.68E-02	2.98E-03	5.56E-04	5.16E-04	5.16E-04	4.47E-04	2.91E-04	1.43E-04
1.50E+01	0.00E+00											
TOTAL	1.71E+04	1.63E+04	6.34E+03	4.77E+03	3.70E+03	1.68E+03	7.30E+02	3.59E+02	3.59E+02	1.17E+02	4.10E+01	2.43E+01

ガンマ線											[flux(g/	sec/cm2)]
Energy					ガラス国	目化体生成	後の経過期]間 [年]				
[MeV]	0	1	30	40	50	100	500	1000	1500	2000	5000	10000
5.00E-02	2.32E-01	2.63E-01	9.61E-02	8.95E-02	7.42E-02	3.57E-02	7.46E-03	5.41E-03	3.48E-03	2.05E-03	6.07E-04	3.25E-04
1.00E-01	3.73E+04	3.04E+04	3.58E+03	6.01E+03	1.64E+03	3.48E+02	3.58E-01	8.28E-02	8.15E-02	1.15E-01	9.09E-03	2.05E-01
2.00E-01	7.75E+05	6.11E+05	5.93E+04	5.44E+04	3.11E+04	8.83E+03	5.97E+00	2.43E+00	2.98E+00	1.98E+00	1.27E+00	7.71E-01
3.00E-01	1.10E+06	8.53E+05	8.64E+04	6.92E+04	5.03E+04	1.32E+04	6.57E+00	3.04E+00	2.18E+00	1.97E+00	2.06E+00	1.66E+00
4.00E-01	9.18E+05	6.77E+05	8.19E+04	3.74E+04	3.86E+04	1.10E+04	5.34E+00	2.70E+00	3.27E+00	1.77E+00	1.66E+00	1.70E+00
6.00E-01	1.27E+06	8.75E+05	6.13E+04	4.09E+04	3.15E+04	9.56E+03	7.07E+00	4.10E+00	4.83E+00	2.13E+00	1.70E+00	2.30E+00
8.00E-01	6.93E+05	4.80E+05	1.90E+04	1.09E+04	4.99E+03	4.20E+02	3.72E+00	1.81E+00	1.67E+00	7.98E-01	4.65E-01	6.08E-01
1.00E+00	2.86E+05	2.00E+05	8.14E+03	5.34E+03	2.80E+03	3.20E+02	5.63E+00	2.84E+00	2.87E+00	1.16E+00	4.90E-01	2.73E-01
1.33E+00	2.28E+05	1.59E+05	7.63E+03	4.11E+03	2.50E+03	5.93E+02	1.35E+00	5.92E-01	9.80E-01	3.39E-01	2.11E-01	2.71E-01
1.66E+00	7.27E+04	3.68E+04	7.67E+02	5.18E+00	3.30E+02	4.79E+01	7.67E-01	3.38E-01	3.83E-01	1.23E-01	1.23E-01	2.69E-02
2.00E+00	6.07E+04	3.33E+04	5.63E+00	4.30E+00	1.12E+02	1.61E+00	7.23E-01	3.36E-01	3.60E-01	1.04E-01	3.72E-02	2.30E-02
2.50E+00	3.58E+04	1.90E+04	6.47E+00	5.02E+00	3.62E+00	1.65E+00	7.14E-01	3.86E-01	3.49E-01	1.22E-01	4.03E-02	2.53E-02
3.00E+00	5.06E+03	3.07E+03	5.59E+00	3.93E+00	3.10E+00	1.29E+00	5.47E-01	3.04E-01	2.94E-01	9.45E-02	3.64E-02	2.17E-02
4.00E+00	1.93E+01	1.29E+03	7.33E+00	5.42E+00	4.04E+00	1.82E+00	7.78E-01	3.99E-01	3.55E-01	1.26E-01	4.81E-02	2.68E-02
5.00E+00	1.49E+01	1.39E+01	5.42E+00	3.97E+00	3.13E+00	1.22E+00	5.91E-01	2.83E-01	2.98E-01	9.79E-02	3.66E-02	2.19E-02
6.50E+00	2.89E+01	2.52E+01	9.91E+00	7.06E+00	5.48E+00	2.28E+00	9.13E-01	4.76E-01	4.96E-01	1.66E-01	6.50E-02	3.69E-02
8.00E+00	2.64E+01	2.59E+01	1.02E+01	7.59E+00	5.93E+00	2.33E+00	1.14E+00	5.11E-01	5.03E-01	1.74E-01	6.80E-02	3.92E-02
1.00E+01	2.15E+00	2.23E+00	9.57E-01	7.83E-01	5.98E-01	2.92E-01	9.87E-02	5.49E-02	5.52E-02	1.80E-02	6.95E-03	3.59E-03
TOTAL	5.48E+06	3.98E+06	3.28E+05	2.28E+05	1.64E+05	4.44E+04	5.42E+02	1.02E+03	1.52E+03	2.01E+03	5.01E+03	1.00E+04

第7章 参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構:我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的 信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ-別冊2 地層処分の工学技術, JNC-TN1400-99-022 (1999).
- [2] Nagai Y., Toyama T., Nishiyama Y., Suzuki M., Tang Z., Hasegawa M.: Kinetics of irradiation-induced Cu precipitation in nuclear reactor pressure vessel steels, APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.87, 261920 (2005).
- [3] Nakagawa, T. *et. al.*: Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-2: JENDL-3.2, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.32 No. 12, pp.1259-1271 (1995).
- [4] Shibata K., et. al.: JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.48 No. 1, pp.1-30 (2011).
- [5] 原子力整備促進・資金管理センター:平成25年度 地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学確証技術開発 報告書(第1分冊) ー人工バリア品質/健全性評価手法の構築-オーバーパック,(2014).
- [6] 核燃料サイクル開発機構:高レベル放射性廃棄物ガラス固化体のインベントリ評価 (研究報告),JNC-TN8400-99-085(1999).
- [7] コンピューターソフト開発株式会社: HLW ガラス固化体周辺の放射線状の解析(核 燃料サイクル開発機構 契約業務報告書), JNC-TJ1400-2003-03 (2002).
- [8] 日本原子力研究所: (α,n) 反応と自発核分裂による中性子収率を計算するためのデ
 ータブック, JAERI-1324 (1992).
- [9] 日本原子力研究開発機構核データ研究グループホームページ(閲覧日:2015/3/22) http://wwwndc.jaea.go.jp/index_J.html
- [10] Sato, T. *et. al.*: Particle and Heavy Ion Transport code System, PHITS, version
 2.52, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.50 No. 9, pp.913-923 (2013).
- [11] 核燃料サイクル開発機構 東海事業所:銅一炭素鋼 複合オーバーパックの試作(研 究報告), JNC-TN8400-99-049(1999).
- [12] ASTM: Standard Practice for Characterizing Neutron Exposures in Iron and Low Alloy Steels in Terms of Displacements Per Atom (DPA), E706 (ID), ASTM Designation E 693-01 (2001).
- [13] Fukuya K., Kimura I.: Calculation of gamma induced displacement cross-sections of iron considering positron contribution and using standard damage model, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.40 No. 6, pp.423-428 (2003).
- [14] ASANO H., ARITOMI M.: Long-Term Integrity of Waste Package Final Closure

for HLW Geological Disposal, (VI) Consistency of the Structural Integrity Evaluation Model for the Weld Joint, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.47-1, pp.70-83, (2010).

- [15] Michael W. G.: Radiation effects in spent nuclear fuel canisters, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Technical Report TR-01-32, (2001).
- [16] Heinishe H. L., Martinez C.: THE EFFECTS OF LOW DOSES OF 14 MeV NEUTRONS ON THE PROPERTIES OF VARIOUS COMMERCIAL COPPER ALLOYS, J. Nucl. Mater., 141–143, pp.883-887, (1986).
- [17] Aono Y, Kuramoto E, Yoshida N: THE EFFECT OF 14 MeV NEUTRON IRRADIATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-PURITY IRON AND MOLYBDENUM SINGLE CRYSTALS, J. Nucl. Mater., 155–157, pp.1164-1168, (1988).
- [18] Kinoshita T, Aono Y, Kuramoto E, Abe K: THE EFFECT OF 14 MeV NEUTRON IRRADIATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF Fe AND STAINLESS STEELS, J. Nucl. Mater., 155–157, pp.893-898, (1988).
- [19] Odette G. R., Lucas G. E.: Embrittlement of nuclear reactor pressure vessels, JOM, Vol. 53-7, pp 18-22, (2001).
- [20] 永井康介:1.照射脆化機構 最新のナノ組織解析手法による圧力容器鋼脆化機構の解明,原子力学会 2009 年春の年会 企画セッション 原子炉材料研究における現状の 課題と将来展望,(2009).
- [21] 軽水炉圧力容器鋼の脆化機構と研究動向, 2011-12, http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=06-01-01-30
- [22] 森下和功:小特集マルチスケールでのプラズマ・壁相互作用の理解の現状 5.マルチ スケールシミュレーション 5.2 核融合材料のマルチスケーリングモデル,J.
 Plasma Fusion Res., Vol.84, No.12, pp.941-945, (2008).
- [23] 日本工業規格: JIS G 3202 (2008).
- [24] 日本工業規格: JIS G 3120 (2014).
- [25] 高橋平七郎,竹山太郎:照射誘起偏析と材料特性への影響,日本原子力学会誌,Vol.
 27, No. 6, pp.507-514, (1985).
- [26] Nikolaeva A. V., Nikolaev Y. A., Kryukov A. M.: Grain boundary embrittlement due to reactor pressure vessel annealing, J. Nucl. Mater., Vol.211-3(2), pp.236-243, (1994).
- [27] Watanabe Y., Morishita K., Yamamoto Y., Hamaguchi D., Tanigawa H.: Displacement damage rate dependence of defect cluster formation in a Fe during irradiation, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 303, pp.100-103, (2013).

- [28] 曽根田直樹, 土肥謙次ら: 軽水炉圧力容器鋼材の照射脆化予測法の式化に関する研究・照射脆化予測法の開発・, 電力中央研究所報告書, 研究報告:Q06019, (2007).
- [29] 藤井克彦,福谷耕司:アトムプローブによる PWR 原子炉容器監視試験片のミクロ 組織分析, INSS JOURNAL, Vol.20, NT-8, (2013).
- [30] 曽根田直樹, 中島健一ら: "原子炉圧力容器鋼の照射脆化予測法の改良-高照射試験デ ータの予測の改善", 電力中央研究所報告書, 研究報告:Q12007, (2013).
- [31] Jones R. B., Williams T. J.: The dependence of radiation hardening and embrittlement on irradiation temperature, Effect of Radiation on Materials: 17th International Symposium, ASTM STP 1270D.S. Gelles, R.Nanstad, A.S.Kumar and E.A. Little, Eds., American Society for Testing and Materials, 569, (1996).
- [32] Nakasuji T., Yamamoto Y., Morishita K.: Numerical Evaluation of Material Degradation under Various Irradiation Conditions, E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.7 (2015), (submitted).
- [33] 福谷耕司,藤井克彦:中性子照射されたステンレス鋼の転位ループ形成および照射 誘起偏析の理論モデル, INSS JOURNAL, Vol.14, P-136, (2007).
- [34] Muroga T., Watanabe H., Yoshida N.,: Correlation of fast neutron, fusion neutron and electron irradiations based on the dislocation loop density, Journal of Nuclear Materials, vol. 174 (2-3), pp.282-288, (1990).
- [35] Mansur L. K., Farrell K.: Mechanisms of radiation-induced degradation of reactor vessel materials, J. Nucl. Mater., 244, pp.212-218, (1997).
- [36] (社)日本電気協会:原子炉構造材の監視. 試験方法,JEAC 4201-2007[2013 年追 補版].
- [37] U.S. NRC, 10CFR 50.61a: Alternate fracture toughness requirements for protection against pressurized thermal shock events, (2010).
- [38] Yoshiie T., Sato K., Xu Q., Nagai Y., Reaction kinetic analysis of reactor surveillance data, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, in press, (2015).
第8章 まとめ

8.1 オーバーパック健全性評価手法の構築

炭素鋼オーバーパックの腐食評価では、期待される寿命を達成するための腐食代の設定、 およびその根拠を提示することが目的となる。そのためには使用環境下で全面腐食挙動を 示すこと、その際の腐食総量または腐食速度が把握できること、この2つが重要である。 金属材料の腐食は環境因子と材料因子の組み合わせで生じる。しかしながら、実処分環境 はサイトが決まっていないことから、環境条件は Generic なものをリファレンスとする。 一方、材料因子は、母材の成分、溶接材料仕様の有無または成分、入熱を支配する溶接手 法といった設計・製作工程である程度制御可能であることから、材料の選定や入熱の観点 から腐食評価を実施し、仕様や製作技術の選択に資する知見を整備することとした。

オーバーパック構造評価のための荷重条件、破損要因、材料劣化事象について検討し、 破損要因としては、通常時には崩壊、溶接欠陥を起点とした破壊の2つを防止する必要が あることを示した。巨大地震などの異常時には、断層運動にともなうせん断負荷による弾 塑性破壊に対して、オーバーパックが耐えられる負荷の大きさを把握しておく必要がある。 材料劣化事象としては、埋設後の環境では、放射線照射および水素吸収による脆化による 材料強度の低下について検討する必要があることを示した。

埋設後の検査や補修を必要としない溶接構造物として、オーバーパックの健全性を保証 するための構造評価方法について検討した。オーバーパックの破損について、破壊の駆動 力と破壊抵抗の観点から検討し、強度評価および欠陥評価のフローチャート(案)を作成 した。その結果から、構造評価に関する研究開発課題を抽出し、H26 年度の研究開発課題 を設定した。

8.2 現象理解の腐食試験

実験室規模の単純系の腐食試験では低酸素雰囲気下での浸漬試験の維持管理を実施した。 低酸素雰囲気の炭素鋼溶接部の浸漬試験は、現在5年および10年間の長期のデータ取得特 に向けた試験を実施中である。またガラスアンプル法によるチタンの浸漬試験についても、 10年を目標にした試験浸漬試験を継続して実施した。

より実環境に近い複雑系の腐食試験は、平成25年度に策定した計画に基づき、幌延URL の地下350m 調査坑道において工学規模の腐食試験を開始した。試験の実施に際して、試 験概念に基づく地上/地下施設用の試験設備の詳細設計、地下施設用の試験設備の製作お よび試験設備の構築手順の確認、構築手順に従い幌延URLで工学規模試験装置の構築を行 い、地下環境で腐食試験を実施する際の有益な知見として提示した。工学規模試験装置設 置後より試験データの取得を開始した。地上施設で実施する工学規模試験については、幌 延URLでの試験状況を踏まえ、試験溶液などの試験条件の設定を行った。 腐食食計測技術の適用性確認調査として、大学などで検討されている最新のセンサー類 についての調査実施し、それらの有効性について整理した。

小規模要素試験では幌延 URL での工学規模試験を補完するために、次年度以降から実施 を予定している小規模要素試験条件等について分析し、試験ケースの案を提示した。

8.3 メカニズム解明の腐食試験

溶接部の腐食挙動に対して、溶接線の存在による材料側の不均一性がオーバーパックの 全面腐食挙動に及ぼす影響を評価するための試験を開始した。同一母材を使用して EBW、 や TIG 共金溶接により、化学成分を固定し金属組織のみを変化させた溶接試験体を製作し た。電気化学的手法による加速試験の結果、すべて原質組織である EBW では溶接金属全体 が腐食する傾向が確認された。一方、多重熱サイクルを受けた TIG 溶接試験体では、溶接 パスに対応するように縞状な腐食が認められた。以上より、金属組織の違いによっても溶 接部の選択腐食が発生することを確認した。

緩衝材中での電気化学的な特性について、簡便に種々の条件でデータ取得を行うための 緩衝材試料の調製手法や電気化学的挙動の測定手法を予備的に検討した。円盤状の緩衝材 を調製する方法を試行し、今回のようなイオン濃度が比較的高い溶液条件については、膨 潤変形の影響をあまり受けずに、良好に電気化学試験のための試料として供することがで きることを確認した。この試料を 2 電極間に挟む方法で電気化学的挙動を交流インピーダ ンス法で測定することを試行し、等価回路を想定して、各種の電気化学的パラメータの取 得を開始することができた。また併せて実施した試験溶液のみのブランク試験からは、溶 液抵抗や電荷移動抵抗について妥当な測定結果が得られ、測定システムとしての適用性を 確認する結果も得られている。

但し、現時点では交流インピーダンスのプロットのばらつきが大きいなど(特にブラン ク試験)の問題点があり、試験精度を向上させながら、さらに種々の条件での測定データ の拡充を進めていく必要がある。

8.4 溶接部の限界き裂寸法の解析的検討

炭素鋼製オーバーパックの落し蓋構造を対象として、有限要素解析により溶接部にモデ ル化したき裂先端の応力拡大係数を算出し、溶接部の限界き裂寸法を調べた。オーバーパ ックに作用する負荷としては、外圧(軸方向、径方向にそれぞれ 10.7 MPa)と溶接部残留 応力を想定した。オーバーパックの板厚は、強度層の 110 mm とし、溶接部のき裂は半楕 円の開口き裂(最大で板厚の半分の深さのき裂)とした。その結果、外圧による応力拡大 係数の変化は相対的に小さく、き裂を起点とする破損は残留応力が存在する場合に生じる 可能性があることがわかった。

現状では、き裂が存在する場合の破壊抵抗値である破壊靭性値が、放射線の照射や水素 吸収による脆化によりどの程度低下するか予測できない。そのため、限界き裂寸法と許容 残留応力の関係を破壊靭性値毎に求めて、図に整理した。この図を用いることで、以下の 検討が可能となる。

- 破壊靭性値と残留応力が与えられた場合、非破壊検査で発見すべきき裂サイズを推 定することができる。
- ② 破壊靭性値と非破壊検査で発見できるき裂深さが与えられた場合、許容される残留 応力値を算出することができる。
- 8.5 超音波探傷試験による欠陥寸法の定量化

超音波探傷試験により検出される欠陥寸法を定量化することを目的として、超音波シミ ュレーションおよび探傷試験を実施した。超音波シミュレーションでは、これまでに実施 した断面マクロ調査の結果から得られた欠陥形状を入力条件として与え、欠陥寸法および 位置の測定誤差が生じる要因について考察し、過大評価の主要因に欠陥形状の影響がある ことを確認した。また、開口寸法を変えて探傷試験を実施し、欠陥深さ位置と測定精度の 関係について調べ、欠陥識別性向上により精度向上の可能性を確認した。今後、健全性評 価における欠陥モデル化の検討を踏まえつつ、計測側からの制約(例えば、集合欠陥の評 価方法や、複雑な形状の欠陥の計測誤差を考慮したモデル化方法等)を考慮した検討が重 要と考える。

8.6 材料の脆化に関する検討

8.6.1 炭素鋼オーバーパックの損傷速度

最新の計算コード(ORIGEN2.2-upj)と核データライブラリ(JENDL3.2 および JENDL4.0)を用いてガラス固化体1本当たりの放射能を算出した。そして、MCNP-5 お よび PHITS252 を用いてオーバーパックに対する中性子線およびガンマ線の照射線量率 n/cm²/secと累積照射量 n/cm²を求めた。その結果から、中性子線およびガンマ線による炭 素鋼の損傷速度 dpa/sec と損傷量 dpa を求めた。得られた結果を以下に示す。

- ・HLW 第2次取りまとめのモデルガラス固化体に比べて、ORIGEN2.2-upjの計算結果では、Sr-90、Cs-137、Cm-243、Cm-244の放射能が3~6倍程度大きくなった。ただし、ガラス固化後50年時点での発熱量は2%低下した。
- ・オーバーパック内表面における中性子線とガンマ線の照射線量率に対する計算コード (MCNP-5、PHITS252)および核データライブラリ(JENDL3.2、JENDL4.0)の依 存性は小さかった。

- ・中性子およびガンマ線による炭素鋼の損傷速度は、3 桁程度ガンマ線による損傷速度が 速くなった。また、ガラス固化体生成後 1000 年で、中性子線による累積損傷量は 2× 10⁻⁷ dpa、ガンマ線による累積損傷量は 2×10⁻⁵ dpa であり、ガンマ線による損傷量が 2 桁程度高くなった。
- 8.6.2 照射脆化予測に関する検討

本研究では、高レベル放射性廃棄物の処分容器であるオーバーパックの照射による脆化 量の予測モデル構築のための検討を実施した。最初に、脆化量予測のために、長年の実績 のある軽水炉圧力容器鋼の照射脆化予測式の構成について調査を行った。その結果、近年 の照射脆化予測式は照射脆化の物理プロセスをもとに構築されていることから、照射脆化 予測式の示す照射条件の適応範囲内であれば、脆化の照射条件依存性をよく表現できてい ることがわかった。しかしながら、オーバーパックの照射条件は軽水炉と大きく異なるた め、照射脆化予測式をオーバーパック材の照射脆化予測に適用するにはさらなる改良が必 要になる。改良方法として、脆化種(材料を脆化させる要因であり、照射によって形成さ れる欠陥集合体(転位ループ、銅濃縮析出物)などを指す)の核生成プロセスをより詳細 に取り入れることが考えられる。また、オーバーパックの候補材料の一つである炭素鋼は、 圧力容器鋼と材料組成が異なる。そのため、圧力容器鋼とオーバーパックでは形成される 脆化種が異なる可能性がある。本検討では、炭素鋼で形成される脆化種を確認し、各脆化 種形成の照射条件依存性の違いを明らかにすることを視野に入れた照射実験の方法につい ての提案も行った。