

高速炉技術評価の提案書に記載すべき内容と評価クライテリア 2023 年度版

(1) 技術の成熟度と必要な研究開発

- ① 提案する技術(炉システム)の概要(冷却材、燃料、熱出力・電気出力、システム基本構成図を含む)を説明し、提案技術(炉システム)を成立させるために必要と考えられる主要な要素技術のリストと、各技術の概要を記載。また、提案する炉システムに適合しうる燃料サイクルシステム(燃料製造、再処理)の概要と主要な要素技術を説明。

【記載すべき内容】

- 炉システムの主要な要素技術については、(別表1)の大項目と中項目に記載した設備・技術を網羅すること。(提案炉型に当該設備が存在しない場合を除く。) 中項目よりも細分化した小項目の記載を妨げるものではない。
- 提案する炉システムについて、プラント寿命中の耐震性や熱過渡耐性に関する設計成立性を見通しを解析結果等に基づいて説明すること。耐震性については、国内既設サイトの条件を考慮した耐震条件を設定して評価を行うこと。
- 提案する炉システムについて、多様なユーザーニーズに対応できるように、出力規模の変更可能範囲について、出力規模の変更に伴う仕様変更と成立性限界を踏まえて説明すること。
- 提案する炉システムの実現に向けて、システム成立性、技術的実現性、開発費用等を勘案した総合的な見地から、提案者が重要と認識している研究開発課題について説明すること。(別紙1に例を示す。)
- 提案する炉システムに適合しうる燃料サイクル技術(燃料製造、再処理)の概要(燃料仕様、システムの基本構成、施設の規模等)と主要要素技術を説明すること。JAEA及び提案者の関係機関等で開発を進めている技術を用いる場合は、JAEA及び提案者の関係機関等における検討状況を参照の上、記載すること。

【評価クライテリア】

- 提案する炉システムの概念(安全設備を含むシステム構成、炉心概念、主要機器構造概念)と出力等の基本的な仕様、用いられる要素技術が明確になっていること。プラント寿命中の耐震性や熱過渡耐性に関する設計成立性を見通しが示されていること。耐震性については、国内既設サイトの条件を考慮した耐震条件での評価結果が示され、国内の広い範囲での耐震条件に適合可能な見通しであること。
- 提案する炉システムが、(2)①で示される想定市場に柔軟に対応できる出力規模の変更可能性を有すること。
- 提案する炉システムに適合しうる燃料サイクルシステムに求められる性能(燃料仕様と炉心性能に応じた年間製造量・再処理量等)と技術の概要が明確になっていること。

- ② 提案する炉システムのシステム全体、主要要素技術の 2023 年度末時点での技術成熟度を記載。適合する燃料サイクルシステムのシステム全体、及び主要要素技術の 2023 年度末時点での技術成熟度を記載。

【記載すべき内容】

- 提案技術(炉システム及び燃料サイクルシステム)のシステム全体に加えて、(1)①で羅列した要素技術の技術成熟度(TRL)の評価とその具体的根拠、前提とする条件など。
 - ※ TRL の定義は(別表 2)の通りとすること。
 - ※ 提案技術(炉システム及び燃料サイクルシステム)のシステム全体の TRL は、先行プラントにおける実績と要素技術の TRL を踏まえて、システム全体の成立性・実現性の観点から評価すること。
 - ※ 高い性能が期待されるが開発難度が高い要素技術について、その代替技術も検討している場合は、代替技術の技術成熟度及びそれを採用することによる性能への影響の程度を示すこと。
 - ※ 燃料サイクルシステムについては、JAEA 及び提案者の関係機関等で開発を進めている技術を用いる場合は、JAEA 及び提案者の関係機関等による TRL 評価を参照の上、記載すること。

【評価クライテリア】

- 提案する炉システム及び主要な要素技術が、2023 年度末時点で概念設計を開始できる技術習熟度に到達していること。
- 対応する燃料サイクルシステム及び主要な要素技術については、2023 年度末時点における技術成熟度が明確にされていること。

- ③ 初号機運転開始に向けての 2024 年度以降の開発工程、技術成熟度の達成目標(アウトプット目標、アウトカム目標)と研究開発計画を記載。

【記載すべき内容】

- 2024 年度以降の開発工程としては、初号機の概念設計、基本設計、詳細設計、安全審査、建設、初号機運転までに行うべき実証試験を含む工程を提示すること。海外技術や施設を用いる場合は、海外での開発工程に加えて、技術導入と国内での許認可・建設・運転に対応するための検討に必要な工程を含めること。
- 技術成熟度のアウトプット目標としては、少なくとも、概念設計終了時点での達成目標に加えて、建設開始時点、運転開始時点の達成目標について具体的論拠とともに記載すること。
技術成熟度のアウトカム目標としては、提案する炉システムとそれに必要な燃料サイクルシステムの運転によって高速炉システムの技術成熟度が実用化を見通せるレベルに達することを、稼働率を含めた発電性能や MA を含めた燃料リサイクル性能の確認等を含めて具体的に記載すること。これらの目標には、初号機運転に必要な燃料サイクルシステムに関する事項を含めること。
 - ※ (別表 3)に記載すること。

- アウトプット目標とする技術成熟度を達成するために、炉システムの概念設計段階で実施すべき研究開発計画を必要予算とともに示すこと。その際、高速炉特有の燃料照射、安全性や機器開発に関する試験や評価技術開発を含む JAEA に期待する研究成果や研究施設を同定すること。
- 燃料サイクル技術についても、初号機への燃料供給と初号機の使用済み燃料の再処理を含めた全体工程を示した上で、初号機の概念設計段階で実施すべき研究開発計画を必要予算とともに示すこと。その際、JAEA 及び提案者の関係機関等ですでに開発を進めている場合は、それらを取り込んで炉システムの開発と整合のとれた計画とすること(必要に応じて JAEA 及び提案者の関係機関等と相談して記載すること)。

【評価クライテリア】

- 初号機運転開始に向けての開発工程が、燃料製造と再処理技術の開発を含めて明確化されていること。
- 2024 年度以降の技術成熟度の達成目標（アウトプット目標及びアウトカム目標）が明確化され、また、実現が見通せるものであること。
- 概念設計段階で実施すべき研究開発計画（燃料製造と再処理技術を含む）が役割分担、必要予算、使用する研究施設を含めて明確化されていること。
- JAEA 及び関係機関に期待する研究開発が使用する研究施設とともに明確化されていること。
- 海外技術を用いる場合、技術の自立化（技術を有する海外メーカ等の動向変化の影響を受けないこと）・国産化（知財の保有元を明確化するとともに、設計・製作を国内で実施できること）を可能とする研究開発計画であること。

（２）実用化された際の市場性

- ① 海外あるいは国内におけるニーズを踏まえた市場性(導入が想定される分野・用途、出力規模や基数、ユーザー、対応する燃料サイクル施設の処理能力等)に関する分析を具体的論拠とともに記載。

【評価クライテリア】

- 経済性、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減、再生可能エネルギーとの共存等の柔軟性確保への貢献を目標としつつ、将来の市場の規模等の想定が適切になされ、提案するシステムの実用化時期、実用化像等が明確化されていること。
- 立地条件の制約が厳しい国内を市場とする場合、需要の増大に対応するための考え方（単機当たりの出力増大あるいは小型モジュール化など）と国内で選定可能な立地条件（敷地面積、地盤条件、ヒートシンク、人口分布など）を考慮した上で、想定する市場規模に見合った導入が可能であることを示すこと。

- ② 経済性に関する分析・評価、実用化段階の達成目標(アウトカム目標)を具体的な根拠、前提とする条件などとともに記載。

【記載すべき内容】

- 代替・競合技術と比較した場合の競争力分析・評価、将来的な経済性向上に向けた見通し、非発電用途を想定する場合、システム全体でのコストを示すこと（蓄熱設備を備える場合の経済性効果、水素製造に供する場合の他の製造技術との競合性など）。
- 燃料サイクルシステムを伴う発電システムの場合、炉システムの建設費や燃料サイクル費等の算定に基づくシステム全体としての発電コストを示すこと。その際、炉システム及び燃料サイクルシステムの設計上の特性と関連付けた評価を行うこと。（例えば、建設コストであれば、プラント物量と炉出力との関係、燃料コストであれば、燃焼度とサイクル施設の建設費、運転費等の関係に基づいて評価する）。
- 市場性のうち経済性に関するアウトカム目標を（別表3）に記載すること。

【評価クライテリア】

- 実用化段階で想定する市場でのコスト競争力が見込め、経済性に関するアウトカム目標が明確になっていること。
- 発電システムの場合、実用化時の発電コストの推定値が他電源と競合できるレベルにあること（総合資源エネルギー調査会発電コスト検証WGの電源別発電コスト試算結果を参照）。

③ 資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減に関する優位性、実用化段階の達成目標（アウトカム目標）を具体的な根拠、前提とする条件などとともに記載。

【記載すべき内容】

- 資源の有効利用の観点から、以下の事項への対応能力についての評価結果を示すこと。
 - ・ 軽水炉及び軽水炉のプルサーマル利用からの円滑な移行（高次化したプルトニウムを含む軽水炉使用済み燃料のリサイクル能力）
 - ・ エネルギー需給や資源の不確かさへの対処など、社会のニーズに合った運用の柔軟性
 - ・ 将来的に天然ウランを不要とできる「閉じた燃料サイクル」とできる可能性または、将来的に「閉じた燃料サイクル」に移行できる可能性
- 高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減の観点から、以下の評価結果を示すこと。
 - ・ マイナーアクチニド（MA）の、炉心への装荷可能量と取り出し量
 - ◇ 軽水炉のプルサーマル利用を含めた燃料サイクルで発生するMAを高レベル放射性廃棄物として処分するのではなく、燃料として利用する燃料サイクルが構築できるポテンシャルを評価する。
 - ・ 炉、燃料製造、再処理の建設・運転・廃止措置を通じて発生する放射性廃棄物量（高レベル放射性廃棄物を含む）
 - ◇ 軽水炉及びその燃料サイクルシステムを参照して、合理的に実現可能な能力を評価する。
- 市場性のうち資源有効利用性と環境負荷低減性に関するアウトカム目標を（別表3）に記載すること。

【評価クライテリア】

- 将来的に天然ウランを不要とできる「閉じた燃料サイクル」実現に向けてのシナリオが示されていること。
- 将来の原子力の利用状況に応じて、導入可能なように柔軟な燃料の増殖性能を有すること。
- 燃料サイクルシステムの機能とあいまって、高次化したプルトニウムを含む軽水炉使用済み燃料をリサイクルすることで、使用済み燃料蓄積を抑制しつつ軽水炉サイクルからの円滑な移行が可能であること。
- 高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減が可能な、マイナーアクチニド（MA）リサイクル性能を有すること。
- 以上について、実用化段階で想定する市場と原子力利用規模に応じたアウトカム目標が明確化されていること。

④ 再生可能エネルギーとの共存等の柔軟性確保ための方策、実用化段階の達成目標(アウトカム目標)を具体的な根拠、前提とする条件などとともに記載。

【記載すべき内容】

- 提案技術（炉システム）が負荷追従（蓄熱技術を含む）、発電以外の多目的利用等、柔軟性の観点で優位性を有する場合、適用技術とシステム構成、必要な敷地面積等の諸元、及び負荷追従速度、蓄熱量、水素の単位時間当たりの製造能力等の期待される性能について記載すること。
- 市場性のうち柔軟性に関するアウトカム目標を（別表3）に記載すること。

【評価クライテリア】

- 再生可能エネルギーとの共存等のための負荷追従運転、蓄熱、水素製造等を行う場合の具体的なシステム構成と性能が示されていること。
- 実用化段階で想定する市場規模に応じたアウトカム目標が明確化されていること。

（3）具体的な開発体制の構築と国際的な連携体制

① 国際協力を含めた自社と他機関を含む全体の開発体制を記載。

【記載すべき内容】

- 概念設計段階における開発体制（自社・コンソーシアムに加え、国際連携を含めた将来の連携・協力機関の見通し、協力覚書等を締結している場合は添付）。
- 提案者が、提案概念を実現するために必ずしもすべての作業を自ら実施する必要はない。但し、提案者がカバーする範囲を明らかにすることが求められる。
- 関係者間で合意が得られている場合、個社名も含めた実証プロジェクト全体の体制、その中での提案者の役割（IP等、提案者が持てる強みを含む）、実施内容を示すこと。
- 開発体制において JAEA に期待する役割を明確にすること。
- ユーザー獲得に向けた取組、現状の獲得状況について示すこと。
 - ※ 開発において電力等のユーザーが参画している場合には、どのような形で参画をしているかを含め示すこと。

- ※ 水素供給等の非発電利用を想定している場合には、水素供給事業者やユーザー等に関する検討結果を示すこと。

【評価クライテリア】

- JAEAに期待する範囲を明確化したうえで、提案する範囲の開発を、責任をもって遂行できる開発体制が提案されていること。
- 国際標準化等の技術戦略を考慮した体制となっていること。

② 提案者及び想定している中核企業の実施体制と技術的能力について記載。

【記載すべき内容】

- 提案者及び想定している中核企業に関する以下の事項
 - ・ 高速炉開発に関する実績と今後の事業展開の方針
 - ・ 高速炉開発に関する我が国産業全体の実力を涵養するための方針
 - ・ 高速炉に係る国際協力の実績と方針
 - ・ 実施体制（プロジェクトリーダー・主要プロジェクトメンバーの氏名・履歴、プロジェクトメンバー総数、うち40歳以下の若手の人数/割合を含む）
 - ・ （1）で示した研究開発項目について、必要な研究基盤・施設

【評価クライテリア】

- 提案者及び想定している中核企業は、以下の条件を満足すること。
 - ・ 提案する高速炉の設計及び要素技術開発等を、必要に応じてJAEAと協力しつつ、責任を持って遂行できる総合的エンジニアリング能力を有する企業であること。
 - ・ 国際協力を活用する場合、海外研究機関や海外メーカーと円滑な協力を実施する能力を有する企業であること。
 - ・ 高速炉開発に関する我が国産業全体の実力を涵養する能力を有する企業であること。
 - ・ 高速炉開発に関する実績を有する企業であること。

③ 製品供給のためのサプライチェーンについて記載。

【記載すべき内容】

- （1）①で羅列した要素技術について、国内の主たる想定サプライヤーとその状況（事業者名、脆弱度、優位性）について評価を可能な限り記載すること。「×」「△」評価について、そのように評価をした根拠、対処法も簡潔に記載すること。
 - ※ サプライヤーの「脆弱度」については、当該サプライヤーが置かれている現在の原子力事業環境を踏まえ、サプライチェーンの脆弱性（サプライヤーの当該製造事業からの撤退や当該設計・製造技能の継承が困難になるリスク等）について、提案者の立場から主観的判断を記載。需要が今後も見込まれ、サプライチェーンに懸念がない場合には「○」、脆弱化リスクが想定される場合については「×」、どちらとも言えない場合は「△」を記載すること。

※ サプライヤーの「優位性」については、海外市場で海外サプライヤーとの競争を想定したときに、海外市場の獲得を狙える比較優位性を有する場合には「○」、そうでない場合には「×」、場合によっては優位性がある又はどちらとも言えない場合には「△」を記載すること。

➤ 以上で整理したサプライチェーンを維持・発展させるための方策を示すこと。

【評価クライテリア】

- 提案者及び想定している中核企業は、高速炉を構成する要素技術について、サプライヤーの状況を把握しており、サプライチェーンの維持・発展に貢献する具体的方策を有する企業であること。
- 海外技術を用いる場合、技術の自律性（技術・サプライチェーンを有する海外メーカ等の動向変化の影響を受けにくいこと）確保が可能であること。

（４）実用化する際の規制対応

- ① 提案された炉型の安全確保に対する考え方・提案された炉型における深層防護の実装（レベル1～4）の考え方・事故シーケンス・外部ハザードに対する安全対策の考え方について、設計基準を越えた近傍付近でクリフエッジの発生を回避する方策も含めて示すこと。

【評価クライテリア】

- 従来の設計基準事故対策に加えて、設計基準を超える重大事故対策および厳しい外的事象への対策を含む安全設計の考え方が明確になっていること。

- ② 実用化までに検討することが必要な安全設計方針・要件に関する項目・内容（その設定・確認のために必要と考えられる安全性試験、照射試験、実証試験を通じたデータ取得等を含む）、2024年度以降の規制対応に関する達成目標（アウトカム目標）と現時点での達成見通しを示すこと。

【記載すべき内容】

- 安全性試験、照射試験が必要な場合には、必要なスペック、海外も含めた安全性試験炉、照射炉の候補、スケジュールについて示すこと。（(1)に記載されている場合はその旨記載すること。）
 - ※ 現行規制上の課題をここで論じるのでは無く、新たな技術・システム・炉型をユーザーや規制当局に対して提案していくにあたって事業者が提示すべき安全設計の方針や要件を記載すること。
 - ※ 「現行規制では十分でない」、「学会等の場を活用して検討していく」との記載のみではなく、開発事業者がどのような安全設計方針・要件を具体的に検討していくかについての内容を記載すること。
- 上記検討を進めていく上でのアプローチについて示すこと。（開発事業者における検討が第一に重要であり体制に加え、その成果を活用して学会等で第三者の参加を得て検討していくための関係機関等の場の活用）

- 海外技術や施設を用いる場合、海外での許認可経験の反映方策を示すとともに、国内規制に対応するための課題を明確にし、対応に必要な仕様の見なおし等の技術導入プロセスについて記載すること。
- 参考となる海外諸国・国際機関における検討内容との分析・比較(安全設計に関する方針・要件、文書等)。海外展開を想定している場合には、想定国での規制対応についても記載すること。
- 「海外での実績」を根拠に TRL 評価を実施している場合、規制対応のためにそれらの詳細なデータ等の入手方法を明らかにすること。
- 現在進められている常陽の安全審査の動向(*)や、もんじゅを対象に検討された開発段階発電用原子炉の安全規制基準を参考に、特に重大事故等対処施設に関する規制基準への適合方針を示すこと。
*：参考文献：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所（南地区） 高速実験炉原子炉施設「常陽」の新規制基準適合性審査の状況及び 今後の審査方針案について、令和3年5月26日、原子力規制庁
- 2024年度以降の規制対応に関する達成目標（アウトカム目標）を具体的論拠とともに記載すること。
※（別表3）に記載すること。
- 代表的な事故事象についての安全設計成立性見通しを、安全解析の結果等に基づいて記載すること。

【評価クライテリア】

- 提案する安全設計を実現するための研究開発計画や規制対応方針が明確になっていること。
- 規制対応に関する達成目標（アウトカム目標）が明確化されていること。
- 代表的な事故事象についての安全設計成立性見通しが、安全解析の結果等に基づき示されていること。

③ 核拡散抵抗性および核物質防護の考え方を示すこと。その際、保障措置対応のための制度面だけでなく、設計対策についても示すこと。

【評価クライテリア】

- 核拡散抵抗性と核物質防護に関する設計対策を含めた対応方針が明確になっていること。

(5) 上記以外の検討項目

- ※（4）までに当てはまらないものの、アピールしたい成果がある場合は記載すること。
- ※ 提案の中に、他の炉型や非原子力分野等への貢献が期待される要素技術等がある場合には記載すること。
- ※ 事業計画や成果に関して対外発表の実績や、今後その予定がある場合はその旨知らせること。（国内外での学会発表、論文の寄稿等）。

(6) 事業成立性の見通しに関する総合的な評価

- 上記(1)～(4)を踏まえた事業成立性の見通しに関する総合的な評価を行うこと。
- 当該評価について貴事業者以外の第三者や将来のユーザーの意見を踏まえたものであるか、レビュー・評価を受けているか否かを明確化すること。該当する場合は、当該意見やレビュー等の内容を示すこと。

(以上)

(別表1) TRLの記載項目について

大項目	中項目（記載すべき要素技術）	備考
安全関連設備の技術	工学的安全設備（制御棒駆動装置等）、受動炉停止系、自然循環崩壊熱除去など	
	格納容器健全性、シビアアクシデント対策	
	地震対策、津波対策、他の外部ハザード対策	
運転保守の技術	補修技術開発、検査技術開発	
	冷却材漏洩検知	
炉心燃料の技術	燃料・被覆管・集合体、MA含有燃料（該当する場合）	
	核/熱設計・評価手法、燃料構造設計・評価手法、遮蔽設計・評価手法	
原子炉構造の技術、 冷却材系の技術	冷却材系の構造材、冷却材系の耐震/耐熱設計・評価手法、燃料交換機	
	配管材料、弁構造、配管支持構造、熱交換器	
原子炉補助施設の技術	燃料出入機、燃料検査設備、燃料処理設備、冷却材純化装置（該当する場合）	
計装制御の技術	中性子計装、原子炉容器内計装、破損燃料検出装置、制御棒位置計装	
その他（原子炉本体外の技術）	原子炉熱利用施設、原子炉と熱利用施設との接続技術	熱利用を用途として想定する場合に記載
	核燃料サイクル関連技術（燃料製造技術または再処理技術）	

(別表2) TRL の定義について

技術開発の相対的なレベル	TRL	TRLの定義
システムの運転段階	TRL 9	想定される全ての条件で運転された実システム
システムの試運転段階	TRL 8	試験と実証を通じて完成し性能確認された実システム
	TRL 7	フルスケールで、同様な（原型的な）システムを、現実的な環境において実証しているレベル
技術の実証段階	TRL 6	工学規模で、同様な（原型的な）システムを、現実的な環境において検証しているレベル
技術の開発段階	TRL 5	実験室規模で、同様なシステムを、現実的な環境において検証しているレベル
	TRL 4	実験室環境で、機器・サブシステムを検証しているレベル
実現可能性を示すための研究段階	TRL 3	解析や実験によって、概念の重要な機能・特性を証明しているレベル
	TRL 2	技術概念・その適用性を確認しているレベル
基礎技術の研究段階	TRL 1	基本原理を確認しているレベル

Technology Readiness Assessment Guide, U.S. DOE, DOE G 413.3-4A, 9-15-2011

(別表3) アウトプット目標、アウトカム目標 (技術成熟度、市場性、規制対応)

研究開発目標 (アウトプット目標) の指標		研究開発目標 (アウトプット目標) ※具体的論拠含む
○年度		
○年度 (中間目標)		
○年度 (最終目標)		
研究開発成果 (アウトプット) の受け手		
アウトカム指標		アウトカム目標
○年度		
○年度		

※アウトプット目標について

- 研究開発の成否や達成度を測定・判断できるような指標を設定する。可能な限り定量指標とする。
(例:「○○%以上高速化」、「1/○以下に低コスト化」等)。
- 「採択件数」「実施件数」など、執行すれば自動的に達成する指標は「研究開発目標」として不可。

※アウトカム目標について

- 技術成熟度については、提案する炉システムとそれに必要な燃料サイクルシステムの運転によって、システム全体の技術成熟度が実用化を見通せるレベルに達することを、稼働率を含めた発電性能や MA を含めた燃料リサイクル性能の確認等を含めて具体的に記載すること。これらの目標には、初号機運転に必要な燃料サイクルシステムに関する事項を含めること。
- 市場性については、想定する市場規模とともに、経済性、資源有効利用性と環境負荷低減性、運転柔軟性に対する貢献をアウトカム目標として設定する。仮定に基づいた市場規模の予測結果を引用するのにとどまらず、プロジェクトが成功し、また、関連する活動が計画どおりに進捗した場合を想定し、将来のある時点での社会、経済に与える影響 (インパクト: 市場創成) を、具体的に (定量指標で) 記載する。
- 規制対応については、提案するシステムの安全設計概念を規制側に提示して、規制側との対話を通じて安全設計要件を確立するとともに、これらを満足する設計概念の有効性を示していく必要がある。実用高速炉の安全規制体系の見通しがつくことをアウトカム目標として含むこと。

※記載例については、下記 URL を参照すること :

https://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/e00/03/r03/J115.pdf