

たたき台

今後の核燃料サイクル実用化のシナリオ (素案)

平成17年12月26日

資源エネルギー庁



1. 『原子力政策大綱』での整理

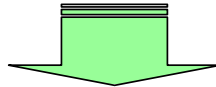
今般閣議決定された『原子力政策大綱』では、核燃料サイクルの確立に向けた今後の取組について、次のような基本的な方針を提示。

- 2030年前後から始まる既設炉の代替に際しては、現行の軽水炉を改良したものを採用。
- 「高速増殖炉(FBR)サイクルの実用化戦略調査研究」やFBR原型炉「もんじゅ」等の成果に基づいた実用化への取組を踏まえつつ、FBRの2050年頃からの商業ベースでの導入を目指す。なお、導入条件が整う時期が前後することも予想されるが、これが遅れる場合には、改良型軽水炉の導入を継続。
- 使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用するという基本的方針を踏まえ、当面、プルサーマルを着実に推進。
- 使用済燃料は、当面は、利用可能になる再処理能力の範囲で再処理を行うこととし、これを超えて発生するものは中間貯蔵する。
- 中間貯蔵された使用済燃料及びプルサーマルに伴って発生する使用済燃料の処理の方策は、2010年頃から検討を開始。その処理のための施設の操業が六ヶ所再処理工場の操業終了に十分に間に合う時期までに結論を得る。



2. 問題の所在

FBRサイクルへの移行を着実に進める上で、現在の軽水炉による発電やFBR原型炉「もんじゅ」から商業ベースでのFBRサイクルへの移行のシナリオが明確になっていない。



国民や立地地域の理解の得るためには、現在の軽水炉による発電や原型炉「もんじゅ」の段階から、将来の商業ベースでのFBRサイクルの段階への移行のシナリオを国民に提示する必要があるのではないか。

これにより、FBRサイクルへの移行に必要な技術開発課題等の政策ニーズを明らかにして、体系的に対応する必要があるのではないか。

その際、技術動向や国際情勢など将来における不確実性が極めて大きいことから、軽水炉からFBRへの基本線は保持した上で、シナリオや時期については柔軟に対応できるようにしておくべきではないか。

また、取組を進めるに当たっては、技術の涵養やセキュリティの観点から国内での実施を基本としつつ、国際協力の進展、世界の核不拡散政策の動向等に応じて、海外の活用についても柔軟性をもって考えるべきではないか。



3. 想定するシナリオ ～「基本シナリオ」～

「原子力政策大綱」の基本的な方針に沿ったものとして、次のような「基本シナリオ」を想定してはどうか。

< 基本シナリオ >

- 1) 早期にFBR原型炉「もんじゅ」を再開し、“発電プラントとしての信頼性の実証”と“運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立”を実現する。
- 2) 商業ベースでのFBR導入までは、軽水炉使用済燃料を再処理して回収したプルトニウムはプルサーマルで再利用し、プルサーマル使用済燃料はFBR用に貯蔵する。
- 3) 2015年までに「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」を完了し、FBRサイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究開発計画を提示する。
(今年度末の実用化戦略調査研究の途中段階での取りまとめにおいては、研究開発の重点化の考え方、2015年頃までの研究開発計画、2015年以降の研究開発における課題等が盛り込まれる予定。)
- 4) その後、実用化戦略調査研究の検討結果を踏まえ、「ポストもんじゅ」等の関連施設を2030年前後までに設置し、必要な実証プロセスを実施する。併せて、FBRサイクルの実用化に向けた再処理及び燃料加工に関するホット工学規模試験及び実用規模試験を行う。
(どのような施設が適切かについては、「4. 各シナリオに共通する主な課題」(P13)第三欄参照)
- 5) 2030年前後から始まる既設炉の代替に伴う大量建設に際しては、次世代軽水炉を開発して対応する。

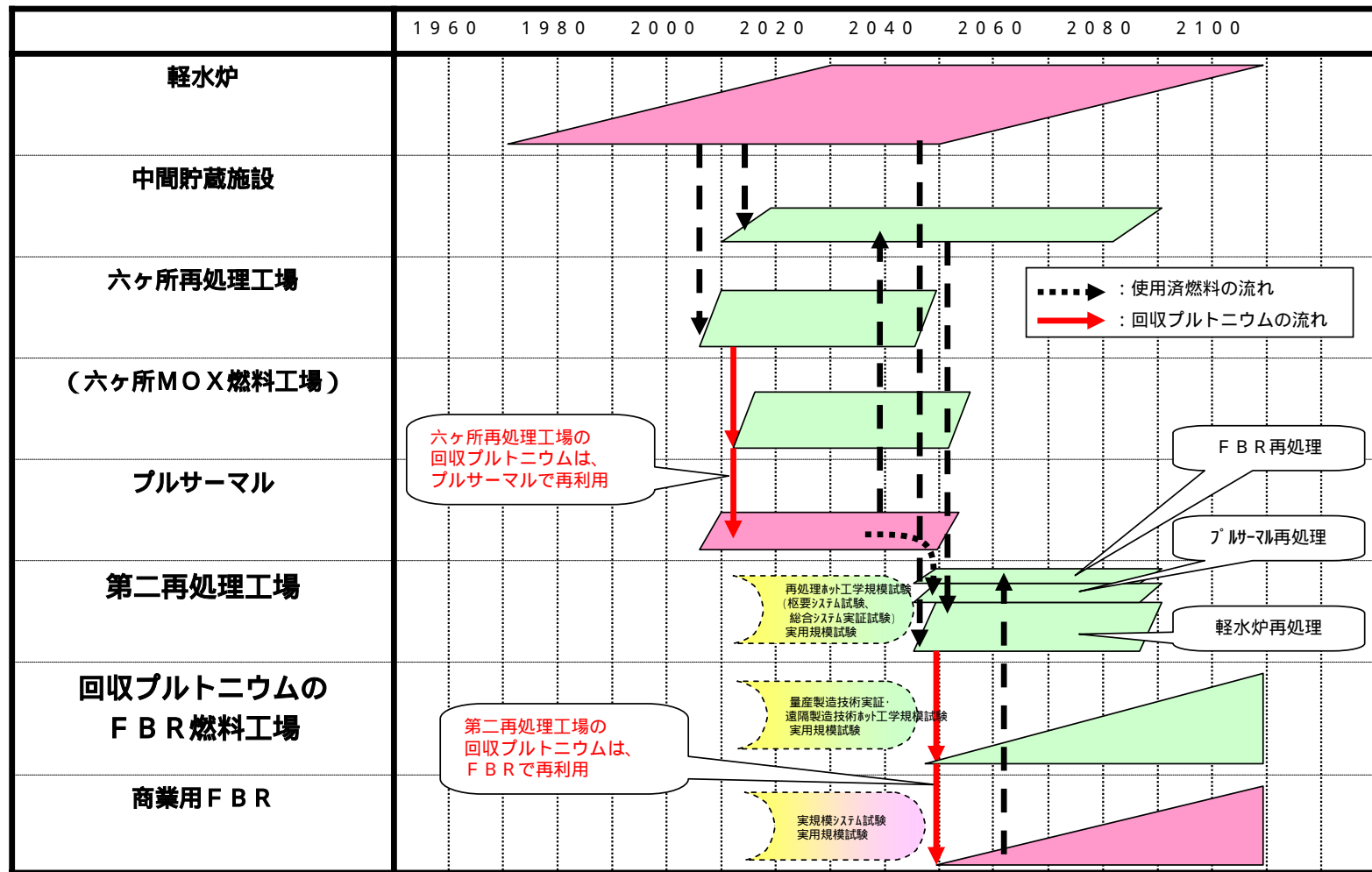


3. 想定するシナリオ ～「基本シナリオ」～

< 基本シナリオ（つづき） >

- 6) 2050年頃の商業ベースでのFBRの導入に間に合うように、炉及び核燃料サイクル関係施設の実証プロセスを完了する。
- 7) 六ヶ所再処理工場の操業終了時頃（2045年頃）に第二再処理工場の操業を開始し、回収されるプルトニウムはFBRで再利用する。
- 8) 2050年頃に商業ベースでのFBRの導入を開始し、以降、運転を終える既設の軽水炉は順次FBRでリプレースする。

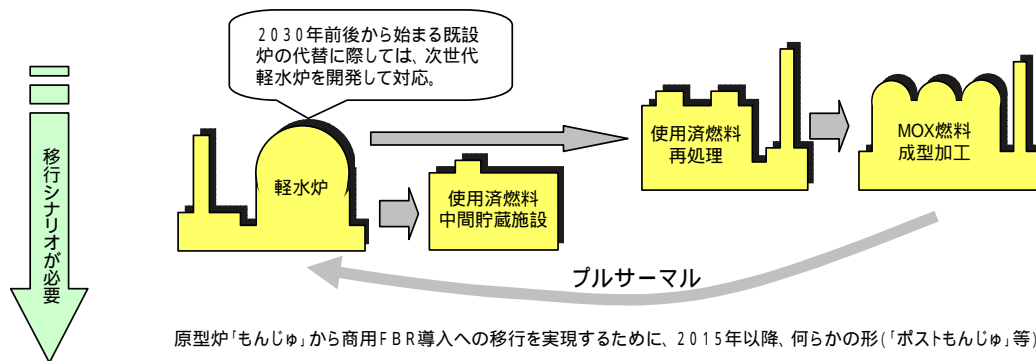
3. 想定するシナリオ ~「基本シナリオ」のイメージ~



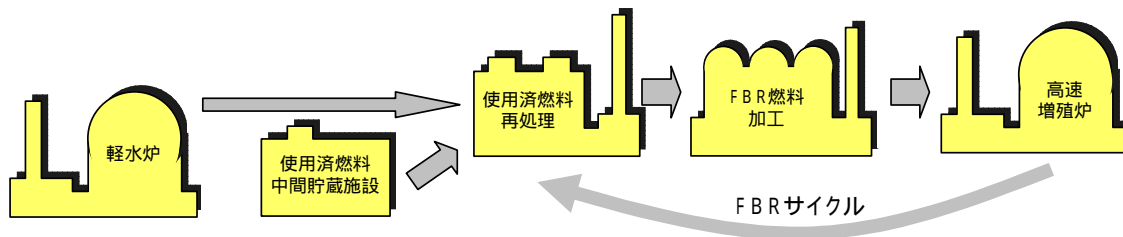
3. 想定するシナリオ ~「基本シナリオ」~

「基本シナリオ」

FBR稼働以前(2050年頃以前)



FBR稼働以降(2050年頃以降)



3. 想定するシナリオ ～「サブシナリオ1」～

ただし、技術動向・ウラン需給動向や国際情勢など原子力を取り巻く環境等が変化する場合があり得ることから、将来における不確実性に対応できるように柔軟性をもたせておくために、「基本シナリオ」とは別に「サブシナリオ」として、次の2つのシナリオを想定してはどうか。

<サブシナリオ1（“FBR導入遅れケース”）>

= FBRの技術開発が大幅に遅れたり、ウランの需給が長期的に大幅に緩む場合

1) は「基本シナリオ」と同様。

2) 商業ベースでのFBR導入までは、軽水炉使用済燃料を再処理して回収したプルトニウムをプルサーマルで再利用し、プルサーマル使用済燃料はFBR用に貯蔵することとするが、必要に応じて再処理して回収プルトニウムを再度プルサーマル燃料として利用する。

3)～5) は「基本シナリオ」と同様

6) 商業ベースでのFBRの導入が大幅に遅れる。

7) 第二再処理工場の操業開始は、六ヶ所再処理工場の操業終了時頃（2045年頃）とする。この場合、第二再処理工場は、軽水炉プルサーマル用の再処理工場となり、FBR用の再処理工場はそれに続く再処理工場以降とする。

なお、この「サブシナリオ1（FBR導入遅れケース）」において、第二再処理工場の操業開始時期が六ヶ所再処理工場の操業終了から大幅に遅れることになると、

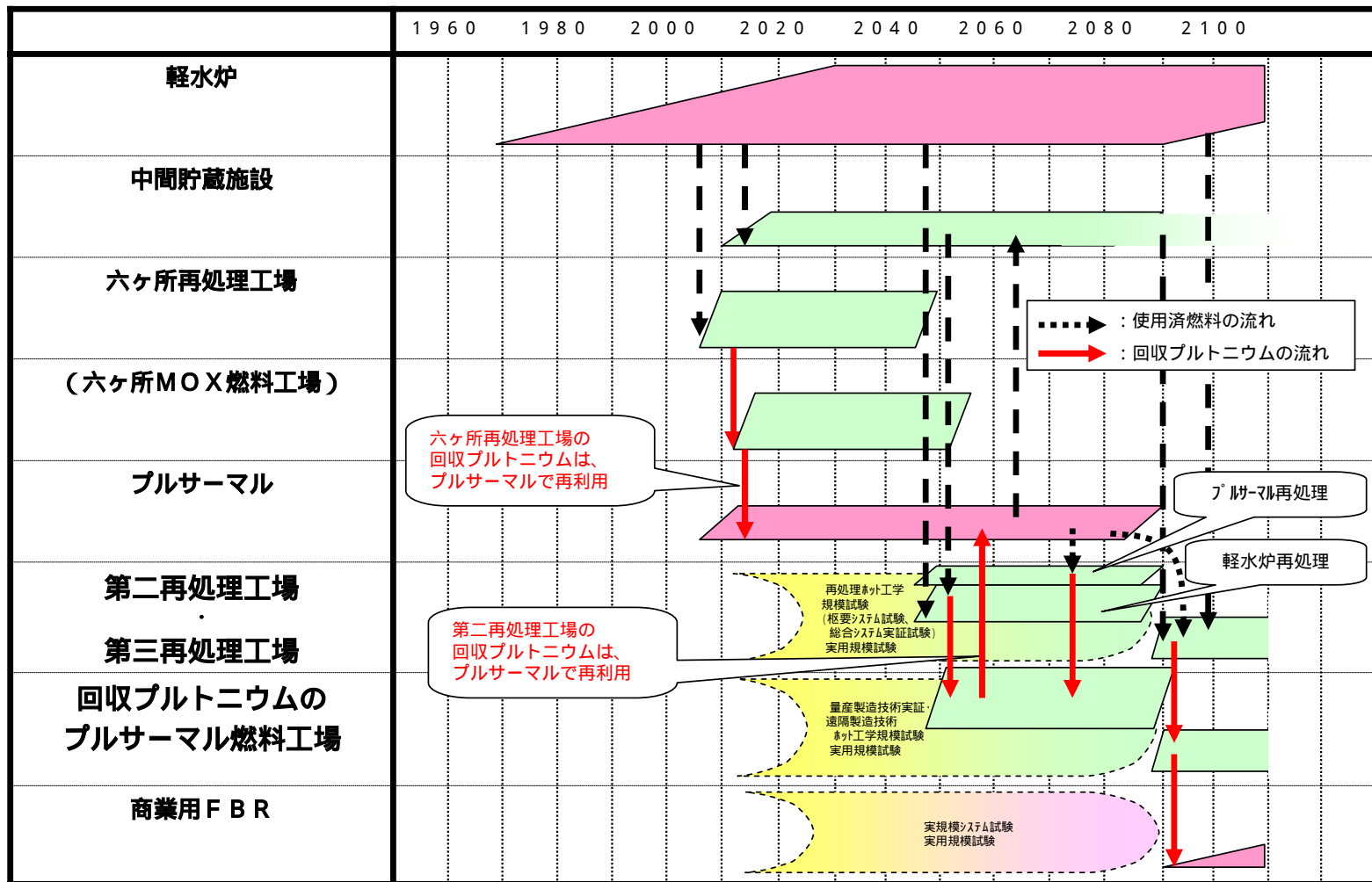
再処理技術の継承が難しくなる 使用済燃料の貯蔵量が大幅に増加し、十分な中間貯蔵施設の確保が難しくなる

第二再処理工場の操業開始について国際社会の受容性が低下する可能性がある

我が国のウラン需要が大きくなり、そのウラン確保が難しくなる

等の問題が出てくる。

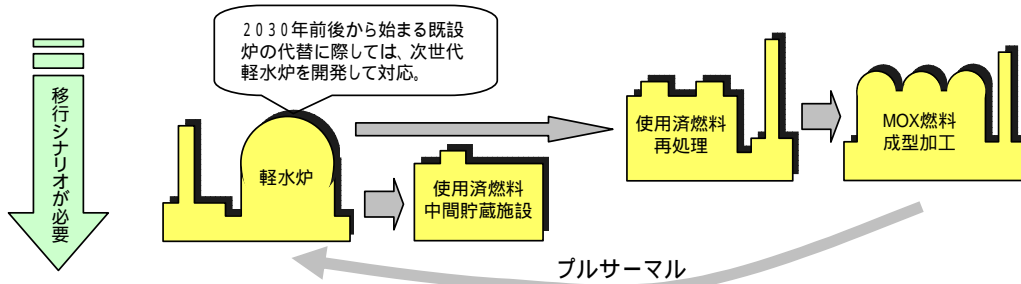
3. 想定するシナリオ ~「サブシナリオ1」のイメージ~



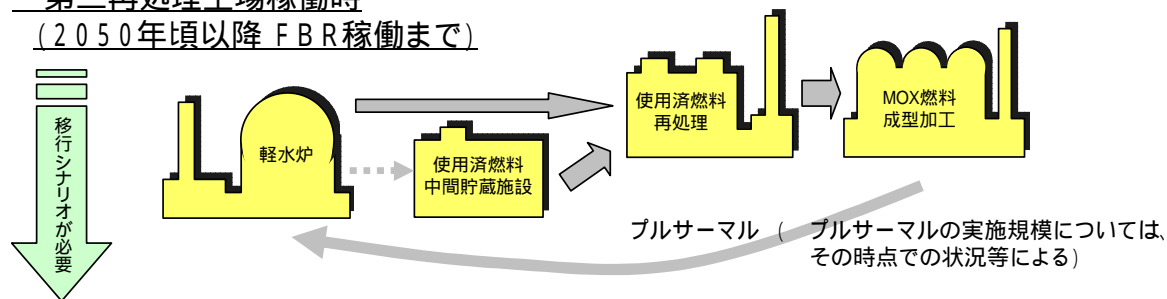
3. 想定するシナリオ ~「サブシナリオ1」~

「サブシナリオ1 (“FBR導入遅れケース”）」

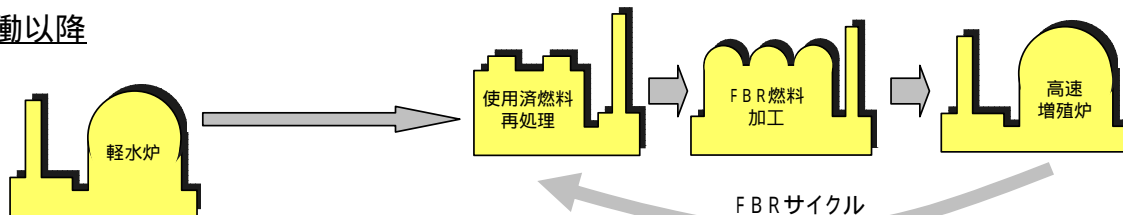
六ヶ所再処理工場稼働時(2050年頃以前)



第二再処理工場稼働時 (2050年頃以降 FBR稼働まで)



FBR稼働以降



原型炉「もんじゅ」から商用FBR導入への移行を実現するために、何らかの形(ポストもんじゅ等)での実証プロセスを経ることが必要。



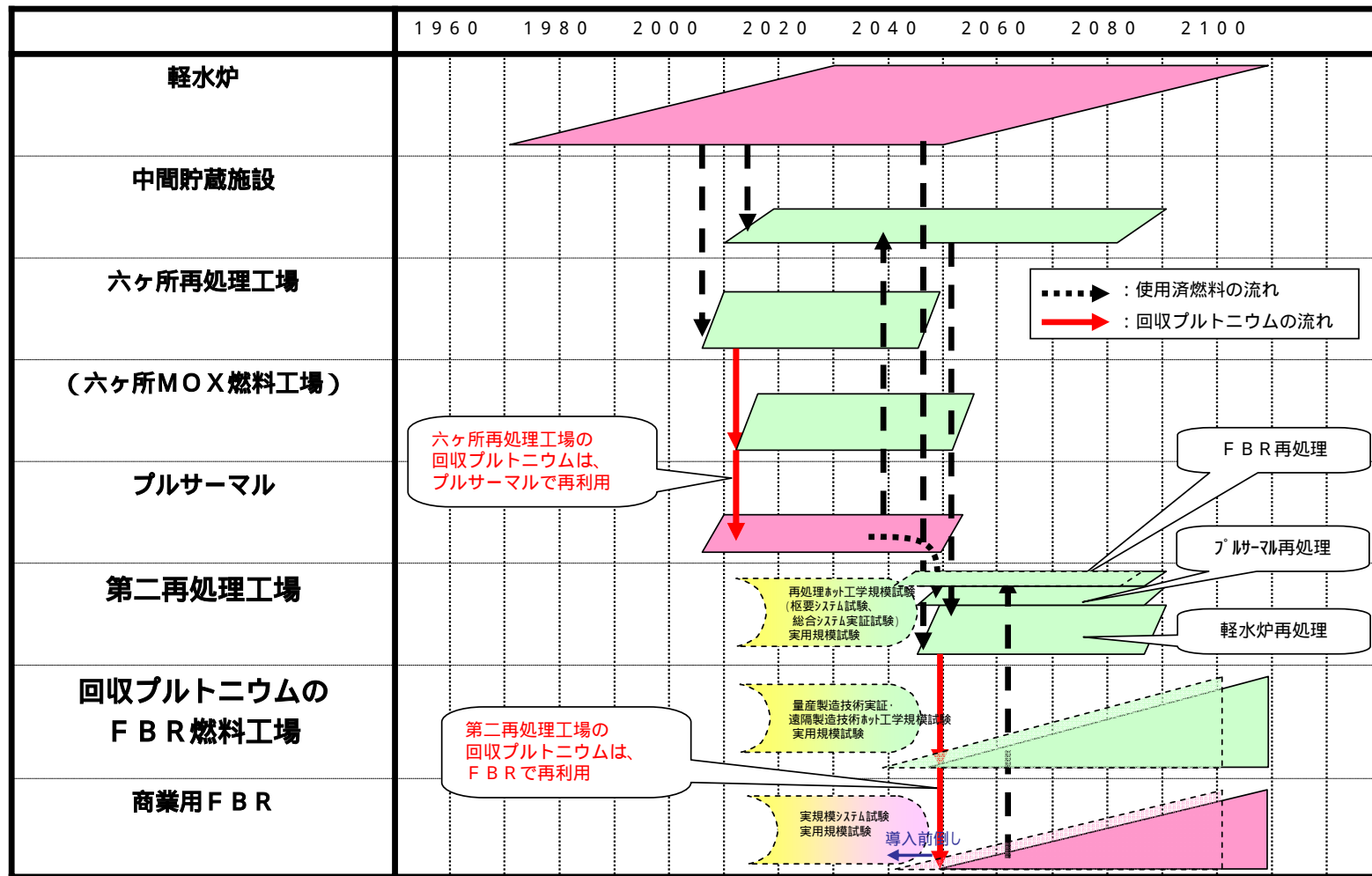
3. 想定するシナリオ ～「サブシナリオ2」～

<サブシナリオ2（“FBR導入前倒しケース”）>

= 世界的な原子力発電の急速な進展等によって早期にウラン需給が逼迫した場合や、長寿命核種の処理の要請への対応の必要性が高まった場合

- 1) ～ 5) は「基本シナリオ」と同様
- 6) 商業ベースでのFBRの導入を前倒しする。
- 7) FBRの導入に必要なプルトニウムは、六ヶ所再処理工場で軽水炉使用済燃料を再処理して回収したプルトニウムを再利用するが、それでもプルトニウムが不足する場合には、第二再処理工場を六ヶ所再処理工場の操業終了時頃（2045年頃）を待たずに操業開始し、必要なプルトニウムを確保する。

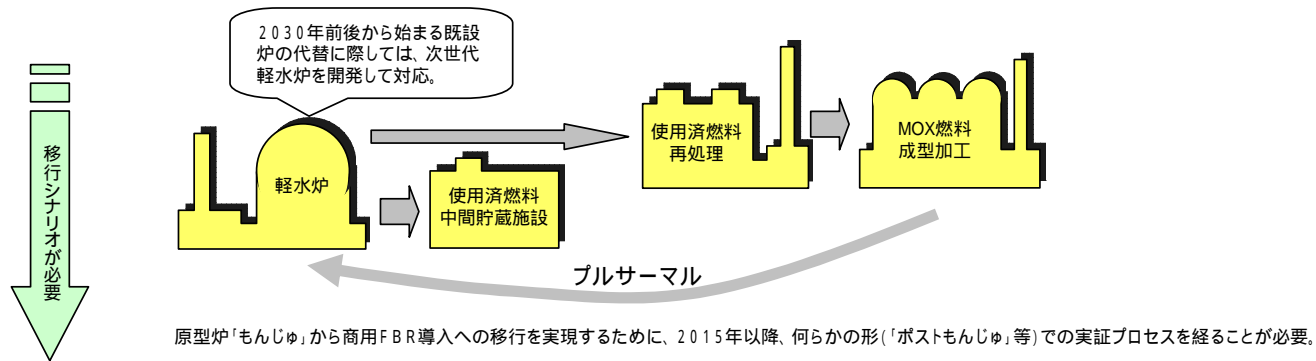
3. 想定するシナリオ ~「サブシナリオ2」のイメージ~



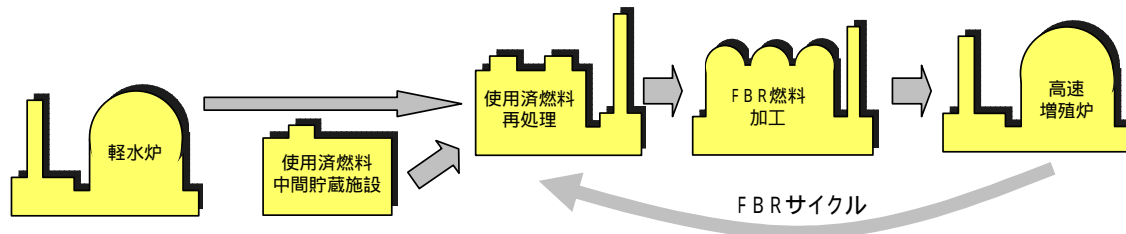
3. 想定するシナリオ ~「サブシナリオ2」~

「サブシナリオ2 (“FBR導入前倒し”ケース)」

FBR稼働以前



FBR稼働以降



4. 各シナリオに共通する主な課題

各シナリオの実現に必要な技術開発課題については、「7. 技術開発課題等」(P18～P21)を参照。

✓ FBRサイクルの実用化までのシナリオやそれを実現するための技術の選択に際しては、世界における技術開発の進捗状況、原子力発電の状況や市場の動向などを十分に踏まえて、日本が世界の中で孤立したり遅れたりすることのないように、一方で世界の動きをリードしていくことができるという観点が必要ではないか。

✓ FBRサイクルの構築に向けた「ポストもんじゅ」等の炉の開発・建設等については、
日本国内で実施
または 海外で国際共同開発の体制を構築して実施
等の方法が考えられるが、どのような方法が適切か。

(考慮事項) ・技術の涵養や人材の育成、セキュリティ等の観点からは国内立地が望ましいと考えられる一方、投資コストの分散等の観点からは海外での国際共同開発も考えられるか。

✓ 炉の開発について、原型炉「もんじゅ」から商用FBRサイクルへの実証プロセスとして、どのようなステップが適切か。
「ポストもんじゅ」及び 実用導入炉
または 「もんじゅ」の改造炉 及び 「ポストもんじゅ」
または コンポーネント試験のための大型試験施設 及び 「ポストもんじゅ」

(考慮事項) ・投資コスト抑制の観点からは、大型試験施設及び「ポストもんじゅ」による実証ステップ(上記)が望ましく、技術実証の信頼性確保の観点からは、「ポストもんじゅ」及び実用導入炉による実証ステップ(上記)を経ることが望ましいと考えられるか。
・また、「サブシナリオ2(FBR導入前倒しケース)」の場合には、大型試験施設及び「ポストもんじゅ」による実証プロセス(上記)以外はスケジュール的に実現困難と考えられるのではないか。

4. 各シナリオに共通する主な課題

✓ 第二再処理工場について、

- (1) 処理量一定の大規模施設とするか、処理量可変のモジュール型施設とするか。
- (2) 軽水炉使用済燃料専用とするか、軽水炉/プルサーマル/FBR 使用済燃料共用とするか。
- (3) FBR使用済燃料の再処理技術が間に合わない場合には、六ヶ所再処理工場の既存技術で対応可能か。

✓ 再処理技術等燃料サイクル技術の研究開発においては、

工学規模のFBR再処理施設を建設し、その設計・建設・運転に際しては、将来の第二再処理工場に向けた技術の伝承も考慮した体制であることが重要ではないか。また、海外との協力を通じたノウハウの維持等の方策についても検討する必要があるのではないか。更に、再処理工場の建設間隔(約40年)が原子力発電所に比べて長期であることを鑑みると、技術の継承のためには、これに加え、技術等のノウハウを工学的に体系化し、効果的に伝承する手法の研究が必要ではないか。

- ✓ 「もんじゅ」開発経験者(現在、メーカーや日本原子力研究開発機構等に在籍)が50歳を越えていることから、FBRサイクル関連技術・ノウハウ等を次の世代に継承していくためには、「もんじゅ」開発経験者が退職を迎えると想定される今後10年程度までに「ポストもんじゅ」を睨んだ開発作業に着手することが必要ではないか。



4. 各シナリオに共通する主な課題

- ✓ 開発段階から商用段階への技術開発成果の産業化において、段階間の技術移転・継承をどのように行うか。また、商用化までのスケジュールが長期化した場合にも、技術移転・継承の問題が生じると考えられるが、どのように対処すべきか。(体制、人事等)
- ✓ 核不拡散の議論が本格化し、日本のFBRサイクルシステムを(アジア等の)地域的な核燃料サイクルシステムの中で位置付ける必要が出てきた時に、どのような対応が考えられるか。

5. 各シナリオを検討するに当たっての主な留意点

< 天然ウラン需要量 >

- ・ 「基本シナリオ」や「サブシナリオ2 (FBR導入前倒しケース)」は、「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」に比べて、天然ウラン需要量を大幅に抑制することができる。
- ・ ウラン需給が逼迫した場合においては、「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」は、安定的なエネルギー供給の確保に支障を生じるおそれがある。

< 人材面 >

- ・ 「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」のようにFBR導入までの技術開発等の取組が長期間にわたる場合には、「基本シナリオ」や「サブシナリオ2 (FBR導入前倒しケース)」の場合と比べると、サイクル関係技術者の維持・確保や技術継承等の面での問題が生じる可能性が高い。

< 実用化に必要な信頼性の確保とタイムスケジュール >

- ・ 「基本シナリオ」は、商用ベースでのFBRサイクルの導入まで、「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」に比べて、より短期間で技術開発・信頼性のある実証等を進めることが求められる。
- ・ 「サブシナリオ2 (FBR導入前倒しケース)」においては、「基本シナリオ」よりもさらに期間が短縮されるため、実用化に必要な実証プロセスにおいて、その実証ステップの選択肢が制限される。(= 「ポストもんじゅ」と実用導入炉の2ステップアプローチは困難。)

< 技術開発面 >

- ・ 「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」においては、「基本シナリオ」または「サブシナリオ2 (FBR導入前倒しケース)」での技術開発課題に加えて、プルサーマル使用済燃料から回収されるプルトニウムを再度プルサーマルで利用するための技術的確認や技術開発が必要となる。(各シナリオの実現に必要な技術開発課題については、「7. 技術開発課題等」(P18 ~ P21)を参照。)

< 使用済燃料貯蔵量 >

- ・ 「基本シナリオ」及び「サブシナリオ2 (FBR導入前倒しケース)」は、使用済燃料の貯蔵量を「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」に比べて抑制することができる。



6. 結論(案)

上記の各シナリオの特徴や課題を踏まえると、「基本シナリオ」の実現を目指して、国際的動向を十分注視しながら、遅滞することなく、技術開発等() 必要な取組を進めるべきである。

あわせて、将来における不確実性に対応できるように柔軟性をもたせておくために、「サブシナリオ1」及び「サブシナリオ2」にも対応できるよう技術開発等() 必要な対応を進めておくべきである。

()各シナリオの実現に必要な技術開発課題については、「7. 技術開発課題等」(P18～P21)を参照。

7. 技術開発課題等

(1) FBRサイクルの技術開発に必要な施設

炉システム

- 既存・「常陽」(実験炉) : 燃料・材料の照射試験
() 1977年に運転開始しており、FBR導入以降にも必要となる機能や、併設すべき燃料試験設備も含めて、存続期間や代替設備を検討する必要がある。
- 既存・「もんじゅ」(原型炉) : 信頼性実証、ナトリウム取扱技術の確立などFBR技術の実証、FBRの実用化に向けた研究開発
- ・「ポストもんじゅ(仮称)」 : FBR実規模システム試験
- ・実用導入炉 : 開発目標達成の確認試験

燃料サイクルシステム

(再処理)

- ・再処理ホット工学規模試験施設 : 枢要システム試験、総合システム実証試験
- ・実用燃料サイクル施設 : 再処理実規模システム試験

(燃料加工製造)

- 既存・Pu燃料第3開発室 : 枢要技術開発、量産製造技術実証
- ・燃料製造ホット工学規模試験施設 : 遠隔製造技術実証
- ・実用燃料サイクル施設 : 燃料加工製造実規模システム試験



7. 技術開発課題等 ～「基本シナリオ」～

(2) 課題 「基本シナリオ」における技術開発課題

FBR(原子炉)技術

課題は、特に経済性、環境負荷低減性(MA含有低除染燃料の照射)、加えて保守・補修性等

⇒ ・2015年頃までは、日本原子力研究開発機構が「実用化戦略調査研究」において対応

再処理技術

対象は、FBR使用済燃料及びプルサーマルを含む軽水炉使用済燃料

課題は、経済性(低除染再処理)、核不拡散性(低除染再処理、MA回収)、環境適合性(MA回収)等

⇒ FBR使用済燃料については、2015年頃までは日本原子力研究開発機構が「実用化戦略調査研究」において対応

プルサーマルを含む軽水炉使用済燃料については、その成果を応用して対応することが必要
なお、「実用化戦略調査研究」でカバーされないような技術開発課題等が今後出てきた場合には、適宜必要な取組を追加して柔軟に対応

高燃焼度燃料の実証試験等の六ヶ所再処理工場のバックアップとしての技術開発も重要であり、日本原子力研究開発機構において実施

燃料加工技術

対象は、FBR燃料

課題は、MAを含有した低除染燃料(放射能レベルが高い)の経済的かつ安全な加工

⇒ ・2015年頃までは、日本原子力研究開発機構が「実用化戦略調査研究」において対応



7. 技術開発課題等 ～「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」～

(2) 課題 「サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)」における技術開発課題

プルサーマル(原子炉)技術

プルサーマル使用済燃料から回収されるプルトニウムが再度プルサーマルで利用できることの技術的確認
中間貯蔵後の軽水炉使用済燃料から回収されるプルトニウムがプルサーマルで利用できることの技術的確認
(長期間(40～50年間)貯蔵された使用済燃料から回収したプルトニウムは、熱中性子に対して大きな核分裂反応度を有するプルトニウム-241が減少)

再処理技術

対象は、プルサーマルを含む軽水炉使用済燃料

課題は、プルサーマル使用済燃料の再処理方法の技術的確認、経済性(低除染再処理)、核不拡散性(低除染再処理)等

⇒ 「基本シナリオ」における技術開発課題に含まれる

「基本シナリオ」において開発される低除染再処理技術に、高除染精製工程を追加的に設けて、高除染燃料加工へとつなげる方法を採用する場合には、追加する高除染精製工程が課題
プルトニウム・ウランとMAの一括回収等の技術は、当面(FBRが稼働するまで)は適用されない

燃料加工技術

対象は、プルサーマル燃料加工

課題は、低除染燃料の経済的かつ安全な加工

⇒ 「基本シナリオ」における技術開発課題に含まれる

その他

超長期(2150年頃まで?)のウラン資源確保

(参考) サイクルの概要及び技術開発課題の比較

	基本シナリオ サブシナリオ2 (FBR導入前倒しケース)	サブシナリオ1 (FBR導入遅れケース)		六ヶ所再処理 (東海再処理)
		新しい再処理技術	従来の再処理技術	
核燃料サイクルの概要	<p>3種類の使用済燃料 ↓ 低除染再処理・MA回収 ↓ FBR用低除染・MA含有燃料 ↓ FBR</p>	<p>2種類の使用済燃料 ↓ 低除染再処理 ↓ プルトニウム用低除染燃料 ↓ プルトニウム プルトニウムフリー</p>	<p>2種類の使用済燃料 ↓ 高除染再処理 ↓ プルトニウム用高除染燃料 ↓ プルトニウム プルトニウムフリー</p>	<p>1種類の使用済燃料 ↓ 高除染再処理 ↓ プルトニウム用高除染燃料 ↓ プルトニウム プルトニウムフリー</p>
技術開発課題	原子炉技術 ・ FBR 再処理技術 ・ 低除染再処理 ・ MA回収 燃料加工技術 ・ FBR用の 低除染燃料加工 ・ MA含有燃料加工	原子炉技術 ・ 低除染燃料プルトニウムフリー 再処理技術 ・ 低除染再処理 燃料加工技術 ・ プルトニウムフリー用の 低除染燃料加工	再処理技術 ・ プルトニウムフリー再処理	再処理技術 ・ 高燃焼度燃料の ガラス固化



参 考 資 料

〔参考1〕 天然ウラン需要量の目安

〔参考2〕 地層処分されるMA(マイナーアクチニド)の量の目安

〔参考1〕 天然ウラン需要量の目安

	「基本シナリオ」	「サブシナリオ1」 (FBR導入遅れケース)
2005年 ~ 2050年頃	約40万トン	約40万トン
2050年頃 ~ 2100年頃	約30万トン	約50万トン
2100年頃 ~ 2150年頃	約1万トン	

**2050年頃～2150年頃の需要が
約40万トン増加**

注1) 上記需要量は、回収ウランを軽水炉で再利用する場合の目安。回収ウランを再利用しない場合には、需要量は約1割増加。

注2) 「サブシナリオ1(FBR導入遅れケース)」の天然ウラン需要量は、2090年頃にFBRが導入された場合の目安。

注3) 「サブシナリオ2(FBR導入前倒しケース)」の天然ウラン需要量は、商用ベースのFBR導入時期が「基本シナリオ」よりも1年前倒しするごとに1万トン程度抑制可能。

注4) 世界のウランの既知資源量は約460万トン、未発見資源量を加えると約1,440万トン。

() 出所: OECD/NEA・IAEA “URANIUM 2003 - RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND” (通称「レッドブック」)の「推定追加資源II」(既存鉱床の地質的延長に存在が間接的事実を基に推定される資源)及び「期待資源」(特定の地質鉱床地帯の中に期待される未発見資源)までを含んだもの。

〔参考2〕 地層処分されるMA(マイナーアクチニド)の量の目安

	「基本シナリオ」	「サブシナリオ1」 (FBR導入遅れケース)
海外再処理工場 及び 東海再処理工場	約0.8万トンの軽水炉使用済ウラン燃料を再処理し、地層処分されるMAの量は、 約12トン	
六ヶ所再処理工場	約3.2万トンの軽水炉使用済ウラン燃料を再処理し、地層処分されるMAの量は、 約48トン	
第二再処理工場	軽水炉使用済ウラン燃料、プルサーマル使用済燃料、高速増殖炉使用済燃料を再処理するが、MAはほとんど回収され、高速増殖炉で燃焼されるので、地層処分されるMAの量は ほぼゼロ	2～6万トンの軽水炉使用済ウラン燃料と約0.5万トンのプルサーマル使用済燃料を再処理し、地層処分されるMAの量は、 約90～約150トン
合計	約60トン のMAを地層処分	約150～210トン のMAを地層処分

注1)「サブシナリオ1(FBR導入遅れケース)」において地層処分されるMAの量は、2090年頃にFBRが導入された場合の目安。

注2)「サブシナリオ2(FBR導入前倒しケース)」において地層処分されるMAの量は、「基本シナリオ」と同じ。