

高速増殖炉サイクルの
実用化戦略調査研究フェーズⅡ
最終報告書（FSⅡ報告書）の
評価について

平成18年5月25日
文部科学省研究開発局

目次

1. 審議の経緯
2. 評価の視点（3月30日 第14回委員会資料2-5抜粋）
3. 実用化までのロードマップの検討について
4. 開発目標について

（参考）

- ・2015年までの研究開発課題について

1. 審議の経緯

- ・ 原子力分野の研究開発に関する委員会（主として政策的評価）
 - 第14回(3/30) 評価の視点
 - 第15回(4/26) 国家戦略的視点、資源配分的視点
- ・ 原子力研究開発作業部会（主として技術的評価）
 - 第5回(4/14) 評価の視点
 - 第6回(4/27) 2005年までの成果（開発目標適合性、技術的実現性等）
 - 第7回(5/12) 2006年以降の進め方（開発目標、設計要求等）
 - 第8回(5/24) 研究開発課題の選定、スケジュール等

2. 評価の視点

2015年頃までに、技術的に整合性のとれた実用的な「高速増殖炉システム」と「燃料サイクルシステム」全体の概念設計の特定・明確化がなされることや、必要な技術データが効率的・効果的に蓄積されることが必要。

⇒ そのために、FSⅡ報告書をどのように評価し、2015年頃までの研究開発方針を提示していくべきか…

【評価の視点(案)】

FSⅡ報告書で示された技術的な結論の妥当性を評価するとともに、最近の諸情勢を踏まえ、今後10年間の研究開発方針の提示を行う。

①大局的評価(主として政策的評価)

○国家戦略的視点(政策大綱の実現性、国際戦略(競争・協調)など)

○資源配分的視点(選択と集中、柔軟性など)

○目的実現方策(計画性・有効性・効率性、実施・連携体制、事業(交付金、公募事業など)の在り方)

○その他(社会受容性(安全性、透明性等)、波及効果など)

②FSⅡ報告書の妥当性(主として技術的評価)

○開発目標(2005年まで:安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核不拡散抵抗性への適合性)

(2006年以降:開発目標の追加・修正、優先順位)など

○技術的实现性(新材料、革新技術、代替技術、スケジュールなど)

③上記を踏まえた研究開発方針

本日の
ポイント

《評価の視点案(1) ～主として政策的観点からの評価～》

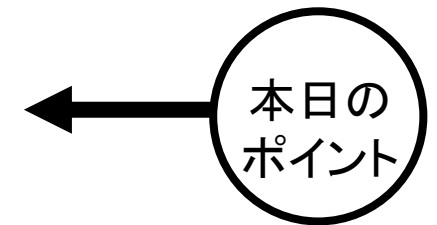
高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書については、主として以下の視点から評価等を行うことが適当ではないか。

- :主として「委員会」で評価する事項
●:主として「作業部会」で評価する事項

【大局的な分析・判断(主として政策的観点からの評価)】

○国家戦略的視点

- ・原子力政策大綱の方向性と適合しているか
⇒意義、必要性、公益性、核燃料サイクル政策上の位置付け、スケジュール など
- ・社会諸情勢に鑑み適切か
- ・国際的動向に鑑み適切か
⇒GNEP、GIF、中国・インド情勢、フランス・ロシア情勢、エルバラダイ構想 など



○社会受容性など

- ・国民に受け入れ可能な安全性が確保されているか
- ・研究開発の透明性が確保されているか
- ・各方面への波及効果は期待できるか

《評価の視点案(2) ～主として技術的観点からの評価～》

【選択と集中の妥当性(主として技術的観点からの評価)】

●開発目標適合性

- ・開発目標(安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核不拡散抵抗性)の設定は妥当か(追加すべき目標があるか等)
- ・各開発目標が適切に確保されるものとなっているか
- ・各開発目標の優先順位付けは適切になされているか

●技術的実現性

- ・各課題の技術的実現性の見込み(スケジュール含む)は妥当か
- ・炉システム・燃料サイクルシステムを含めたFBRサイクルシステム全体の整合性が図られているか
- ・状況の変化等に対して技術的に柔軟に対応することが可能か
- ・国際的な技術開発動向・協力関係が適切に踏まえられているか

《評価の視点案(3) ～研究開発方針の提示関係～》

【研究開発方針の提示関係】

●研究開発課題の選定

- ・FS報告書で示されている研究開発課題は妥当か
- ・主概念、補完概念の考え方による研究開発課題の選択が適切か

●資源配分的方針

- ・必要な研究開発費はどの程度と見込まれるか
- ・主な研究開発課題への重点化はどの程度とすべきか

○目的実現方策

- ・どのような研究開発体制をとることが適切か
⇒開発・設計責任主体の体制・位置づけ、産・学・官・海外の知の結集方策、
主概念とその他の概念における国際協力の在り方 など
- ・国によるサポートはどのようなものであるべきか
⇒運営費交付金の手当、公募事業の在り方 など

◎スケジュール

- ・FS報告書で示されている研究開発スケジュールは妥当か(●)
- ・研究開発継続・変更・断念の評価・判断をどのように行うか(●)
- ・状況の変化等に対するスケジュールの見直し・対応策について(○)

3. 実用化までのロードマップの検討について

- 作業部会では、技術的観点から以下のロードマップが検討されているが、国家戦略的視点から適切か
- FS報告書に基づいたロードマップ例
 - (ケース1) 原子炉を建設・運転する方策
 - (ケース2) 大型試験施設(コールド施設)による方策
 - (ケース3) 「もんじゅ」を大幅に改造する方策
- 新たなロードマップ例の提案
 - (加速ケース) スケジュールを前倒しする方策
 - 政策的視点: 国際競争力を維持するために前倒しが必要
 - 技術的視点: 国際協力を考慮すれば前倒しできる可能性

(ケース 1) 原子炉を運転・建設するケース

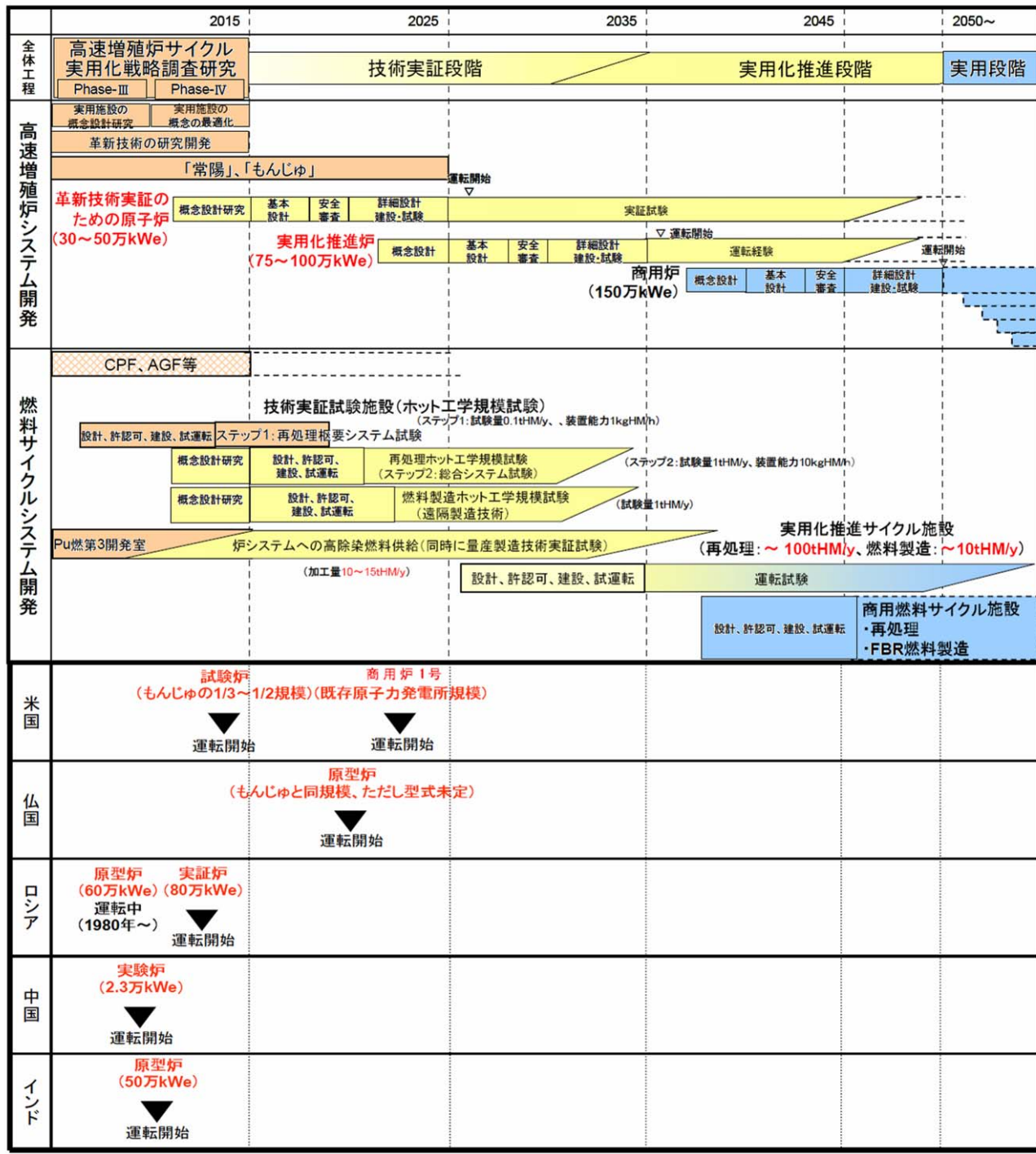
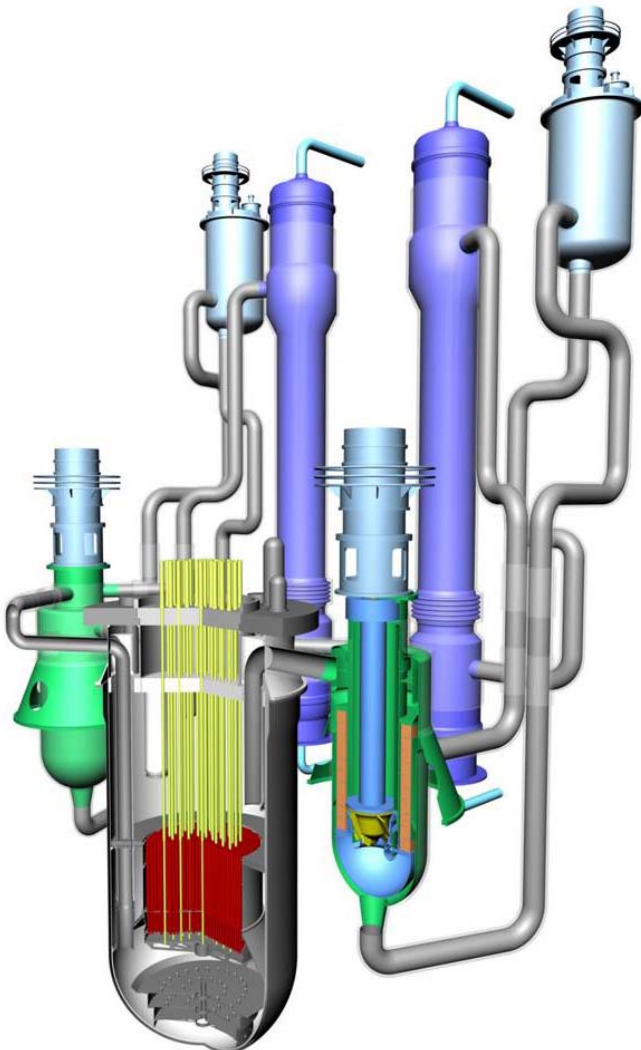


図-1 原子炉を建設・運転する方策の開発工程

<p>概要</p>	<p>技術実証段階では、商用炉に採用する全ての革新技术を用いて30～50万kWe級の新たな原子炉を建設・運転。 この経験を活かして実用化推進段階では、実用化推進炉として75～100万kWe級を建設・運転。</p>	
<p>特徴</p>	<p>技術実証段階：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 商用炉に採用する全ての革新技术について、原子炉を用いて試験を行うため、商用炉と同様の環境で実証できる。 ・ 新たな原子炉の建設費は大きいですが、売電収入により運転維持費や建設費等への一部充当が期待できる。 ・ 中型炉規模の実用化は2030年頃に実現できる可能性があり、ウラン需給が予想以上に逼迫した場合にも対応可能と考えられる。 ・ GIF/SFRの開発工程に合致し、国際標準となることを目指した高速炉開発を進めていくことが期待できる。そのためには、2010年頃に原子炉の概念設計を開始する必要がある。 (注) GIF/SFR; GIFで検討するナトリウム冷却炉 <p>実用化推進段階：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スケールアップの仕方は、実用化推進炉は革新技术を実証するための原子炉から2倍、商用炉は実用化推進炉から1.5倍であり、開発リスクは比較的小さくなる。 ・ 商用炉に必要な革新技术の実証と原子炉としての運転経験を、新たな原子炉・実用化推進炉と2つの原子炉を連続的に建設・運転して進めていけるため、商用炉建設に必要な技術を維持・発展させていくことが可能と考えられる。 	 <p>原子炉概念 (30～50万kWe級)</p>

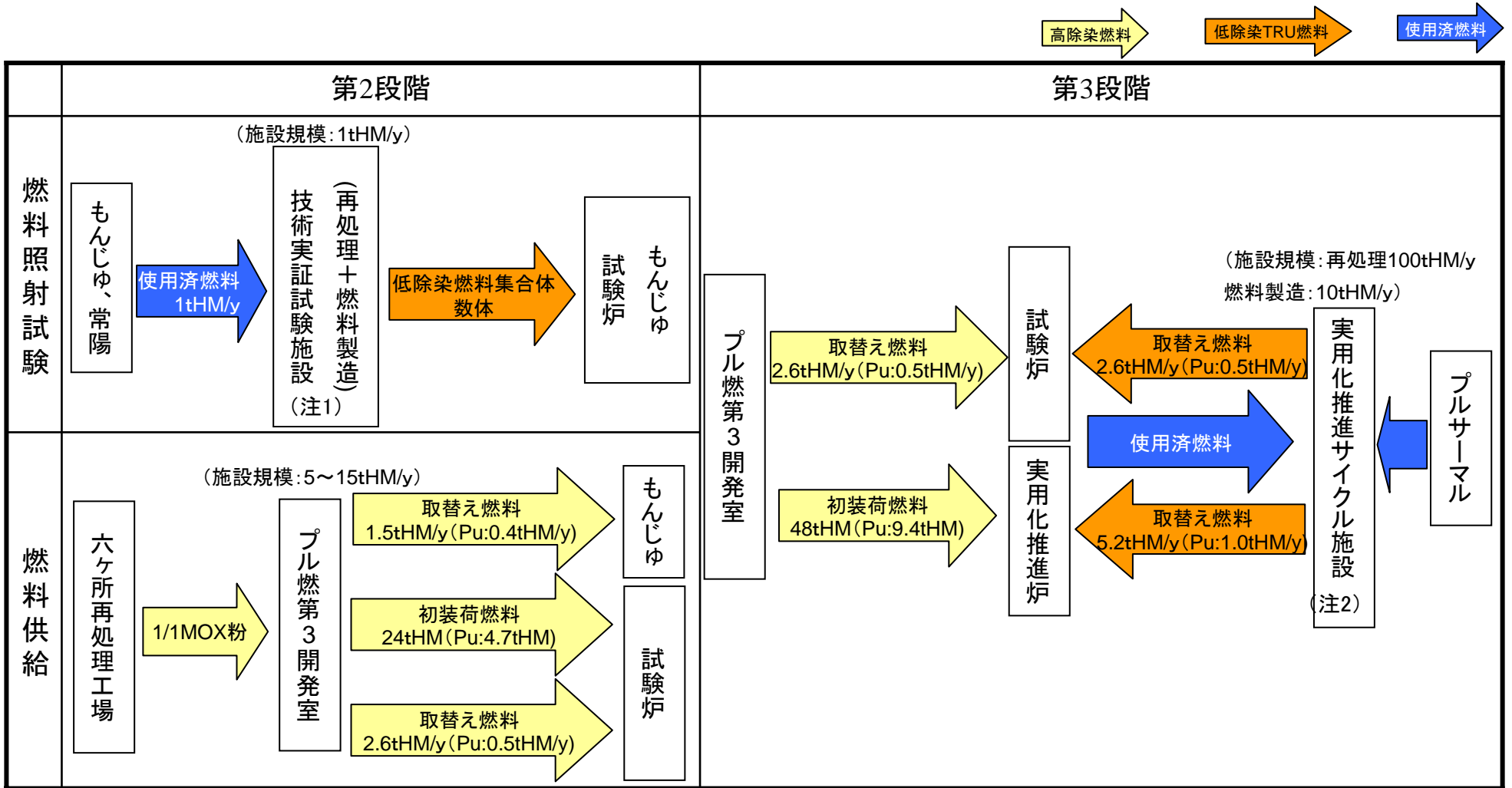
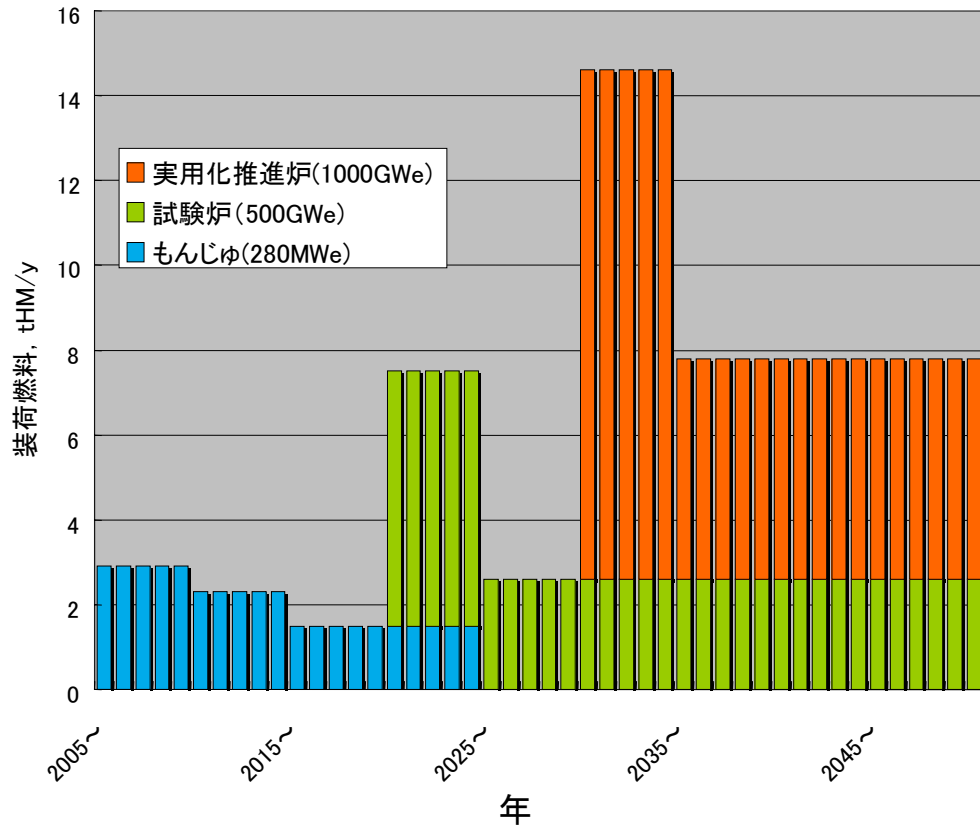


図-3 原子炉を建設・運転する方策の核燃料物質の流れ

炉システムに必要な核燃料物質量の推移(ケース1)



炉システムに供給する燃料加工量の推移(ケース1)

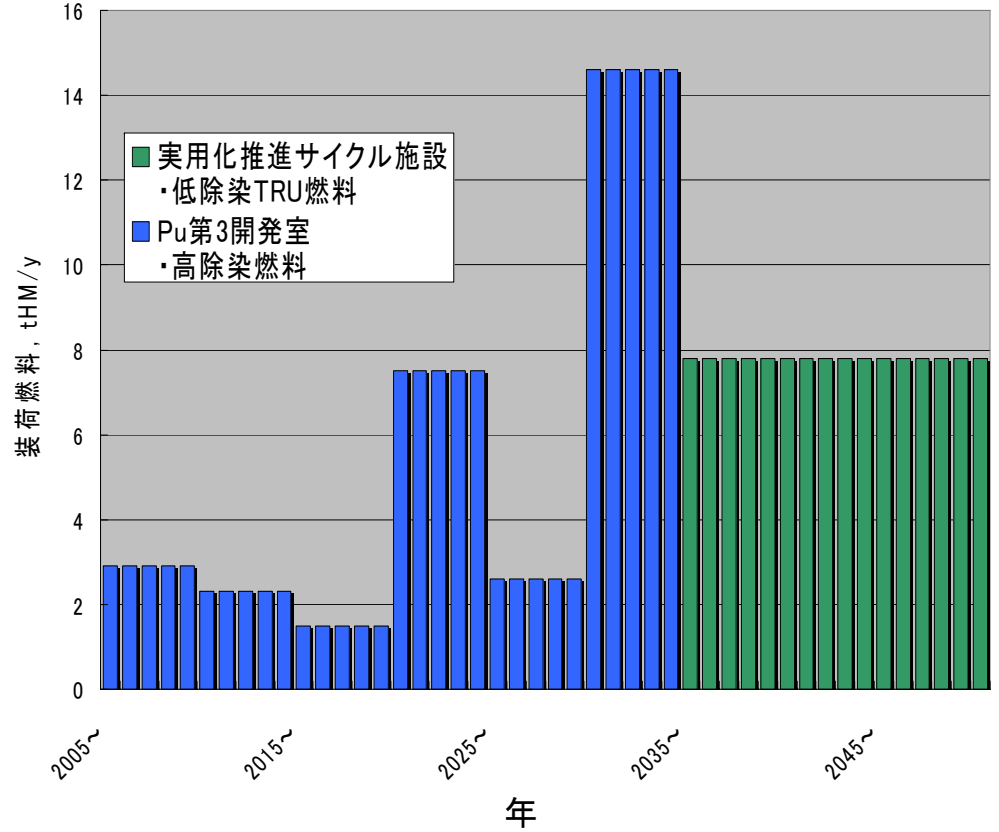


図-6 原子炉を建設・運転する方策に必要な核燃料物質の供給量

(ケース 2) 大型試験施設 (コールド施設) による方策

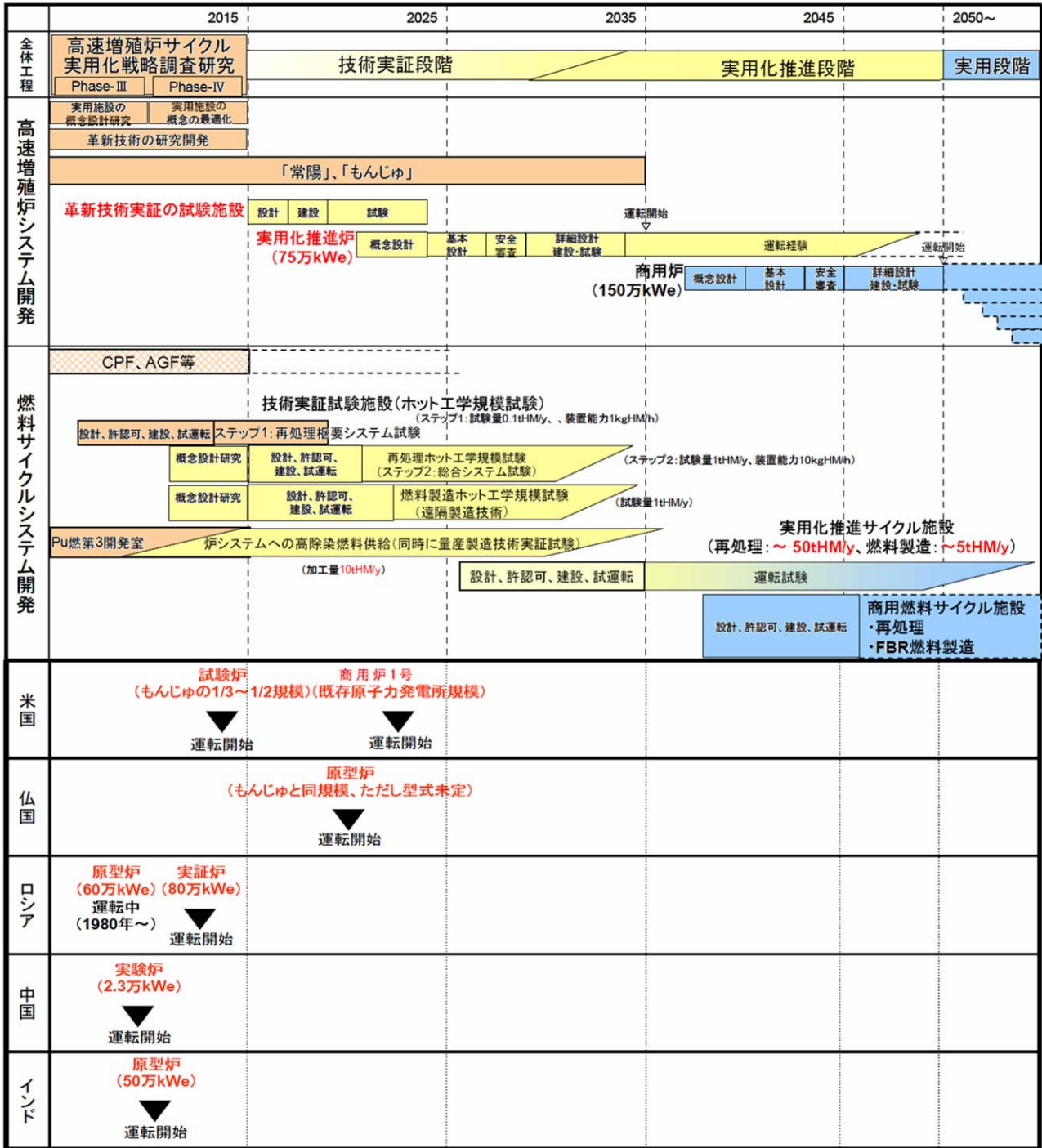


図-7 大型試験施設(コールド施設)による方策の開発工程

<p>概要</p>	<p>技術実証段階では、商用炉に採用する主な革新技術を、既存火力発電所、「もんじゅ2次系」等を熱源とした大型試験施設で実証。 この経験を活かして実用化推進段階では、実用化推進炉として75万kWe級を建設・運転。</p>	
<p>特徴</p>	<p>技術実証段階:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ プラント機器の主要な革新技術は熱出力30万kWt規模で実証し、炉心燃料は「もんじゅ」を用いて燃料集合体レベルで実証する。 ・ 大型試験施設の建設費は小さいが、試験施設の運転費に加え、燃料照射や実プラントの運転経験蓄積などのために「もんじゅ」の長期にわたる運転費が必要となる可能性がある。 ・ 大型試験施設の建設はリードタイムが短いため、実証試験を開始できるまでの期間を短縮できるなど、全体工程を早めることが可能と考えられる。 <p>実用化推進段階:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉を用いた実証は、実用化推進炉段階で実施することとなる。 ・ 75万kWe級1基の建設・運転経験から商用炉導入を判断するため、商用化段階での開発リスクがやや高くなると考えられる。 	<p>革新技術実証の試験施設の例 (火力発電所併設)</p>

図-8 大型試験施設(コールド施設)による方策の評価

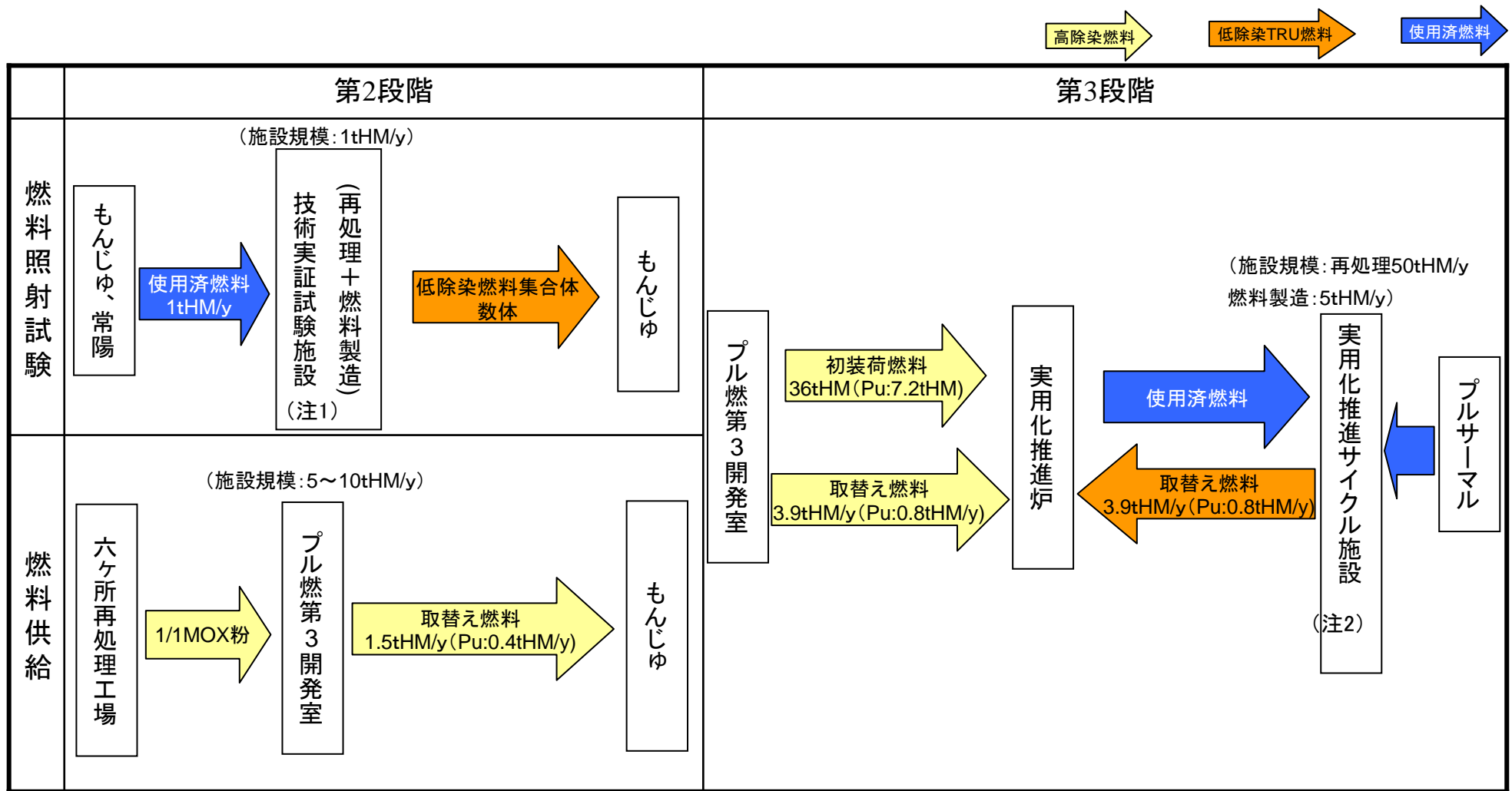


図-9 大型試験施設(コールド施設)による方策の核燃料物質の流れ

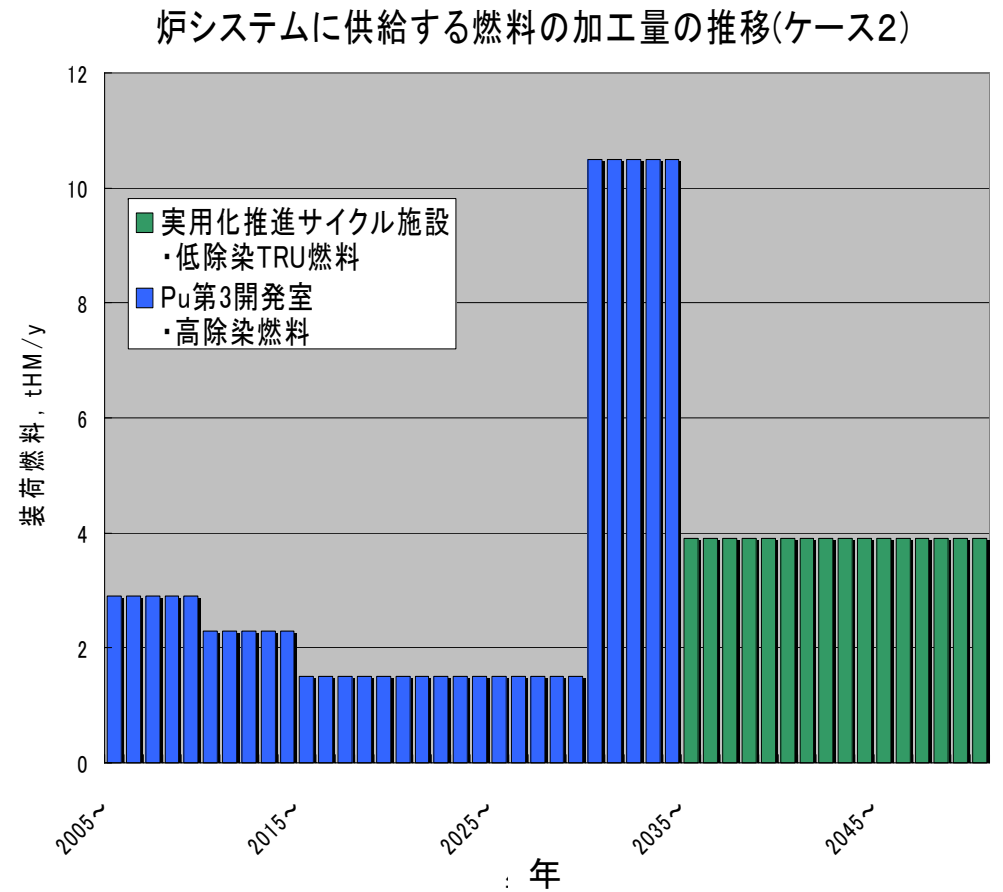
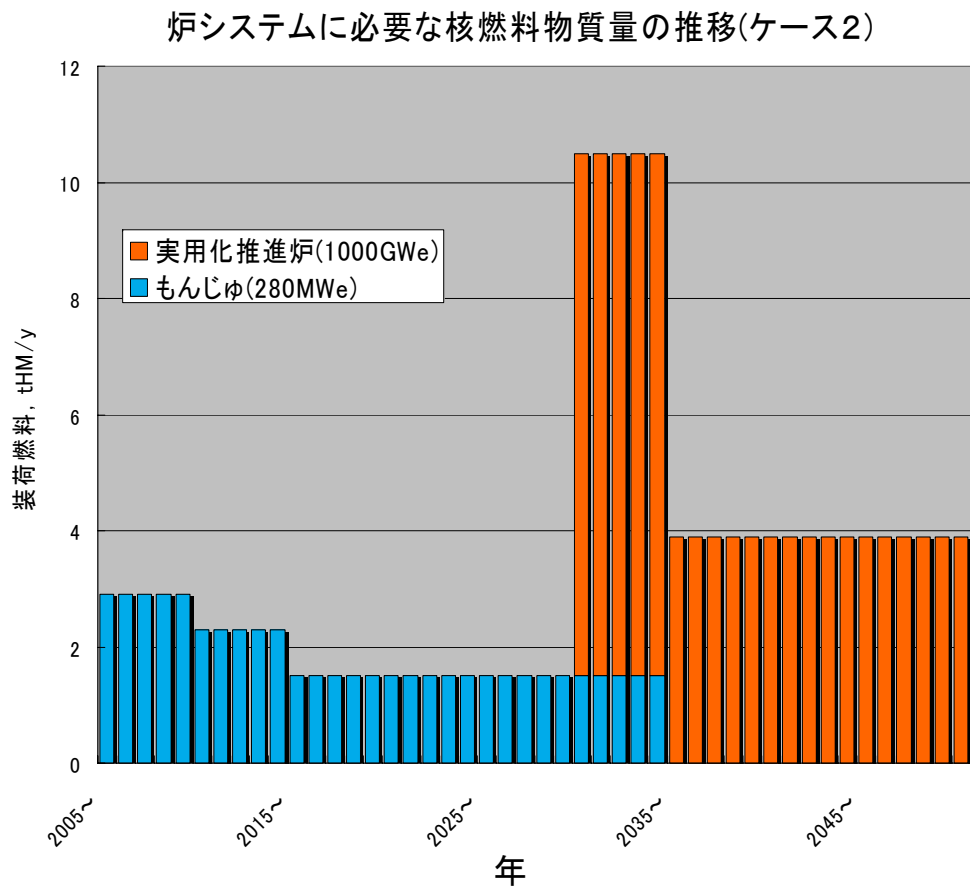


図-10 大型試験施設(コールド施設)による方策に必要な核燃料物質の供給量

(ケース3) 「もんじゅ」を大幅に改造する方策

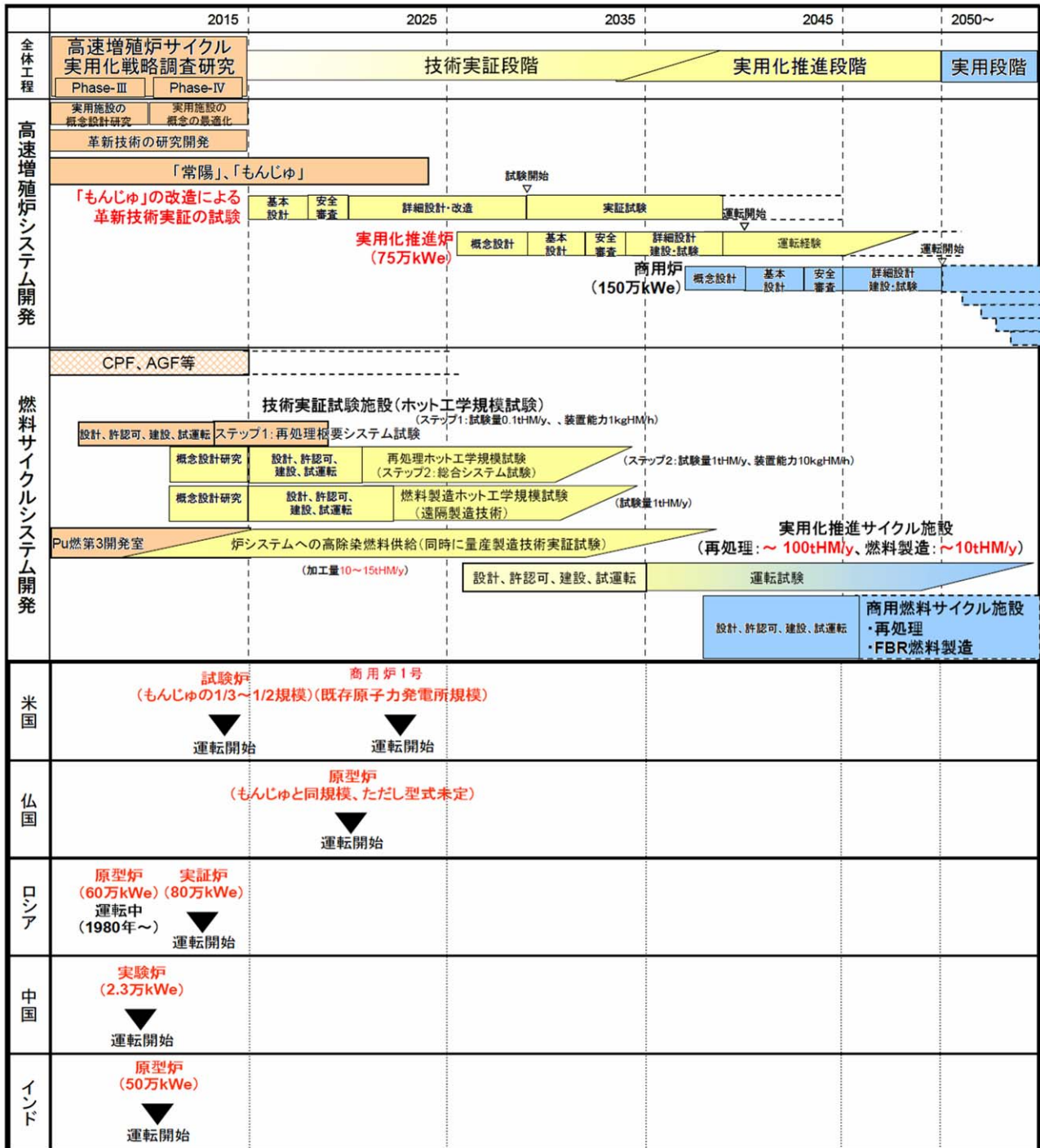


図-11 「もんじゅ」を大幅に改造する方策の開発工程

<p>概要</p>	<p>技術実証段階で、「もんじゅ」の炉心の出力増加及び主冷却系の改造を実施し、これに革新的技術を用いた冷却機器を組み込んで、プラント技術を実証。 この経験を活かして実用化推進段階では、実用化推進炉として75万kWe級を建設・運転。</p>	
<p>特徴</p>	<p>技術実証段階:</p> <ul style="list-style-type: none"> 33.3万kWt又は66.6万kWtと比較的大きな出力で主要な革新技術を実証可能である。炉心燃料は「もんじゅ」を用いて燃料集合体レベルで実証する。 原子炉容器、1次冷却系の改造工事は、全炉心燃料の待避、1次冷却材ドレーン、放射化部位の改造等、技術的な難易度が高い。 既設発電炉を原子炉容器から改造する大規模工事は、新規建設に比較して高コストで長期化すると考えられる。 <p>実用化推進段階:</p> <ul style="list-style-type: none"> 実用化推進炉で原子炉容器構造、炉心構造、温度条件などが商用炉と同じ仕様となり、それらに関する実証試験を実施することとなる。 商用炉に必要となる革新技術の実証と原子炉の運転経験蓄積を、もんじゅを大幅に改造した原子炉と実用化推進炉の2つの原子炉を連続的に建設・運転して進めていけるため、商用炉建設に必要な技術を維持・発展させていくことが可能と考えられる。 	

図-12 「もんじゅ」を大幅に改造する方策の評価

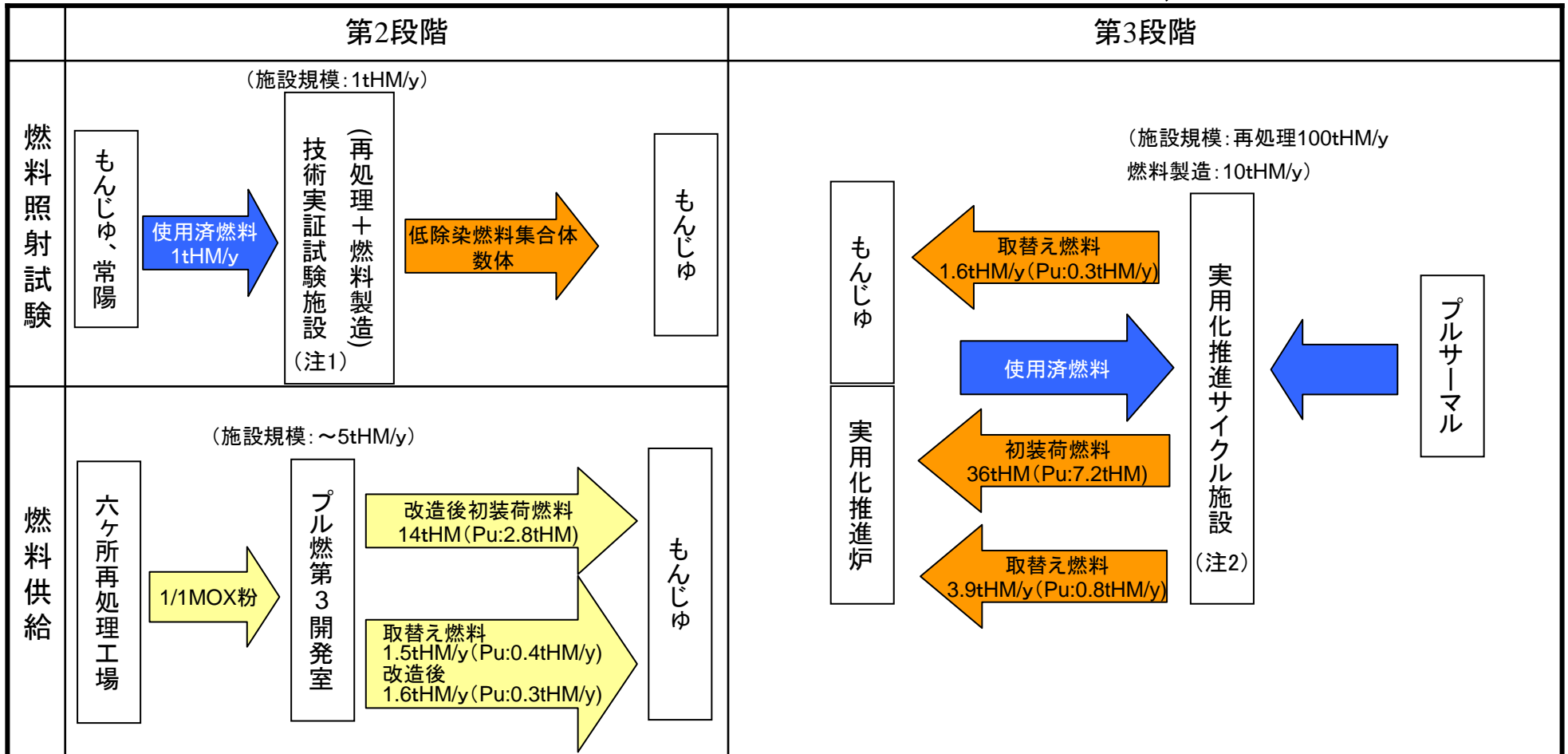
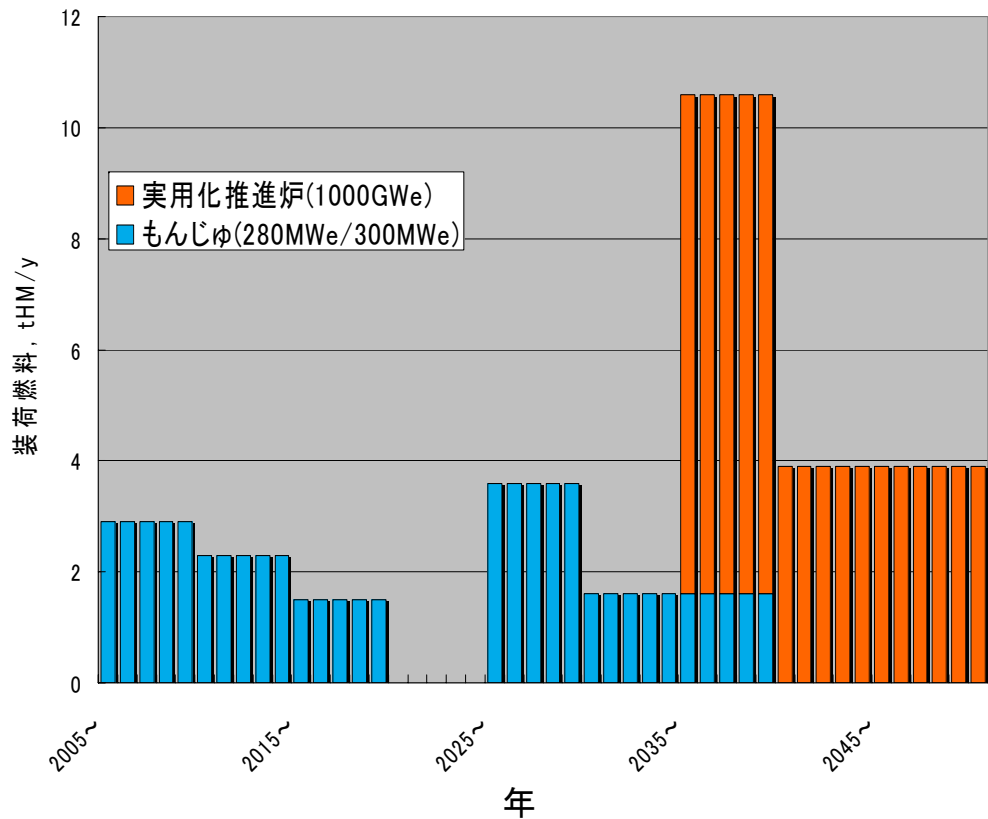


図-13 「もんじゅ」を大幅に改造する方策の核燃料物質の流れ

炉システムに必要な核燃料物質量の推移(ケース3)



炉システムに供給する燃料の加工量の推移(ケース3)

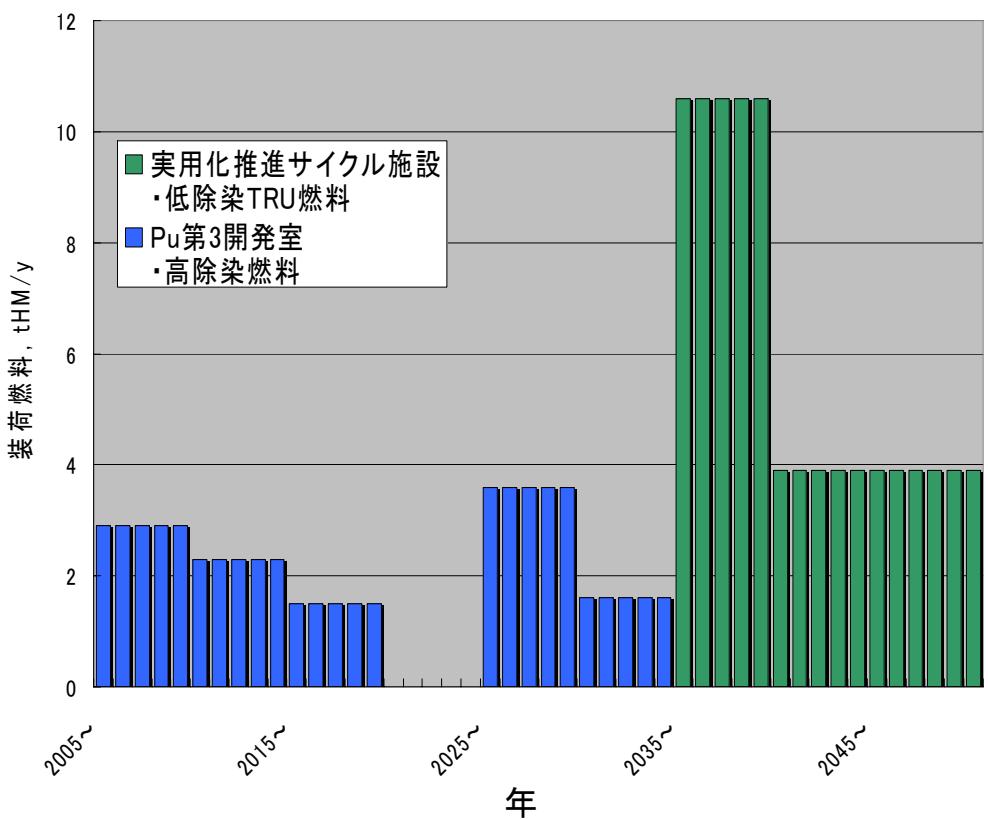


図-14 「もんじゅ」を大幅に改造する方策に必要な核燃料物質の供給量

(加速ケース) スケジュールを前倒しする方策²¹

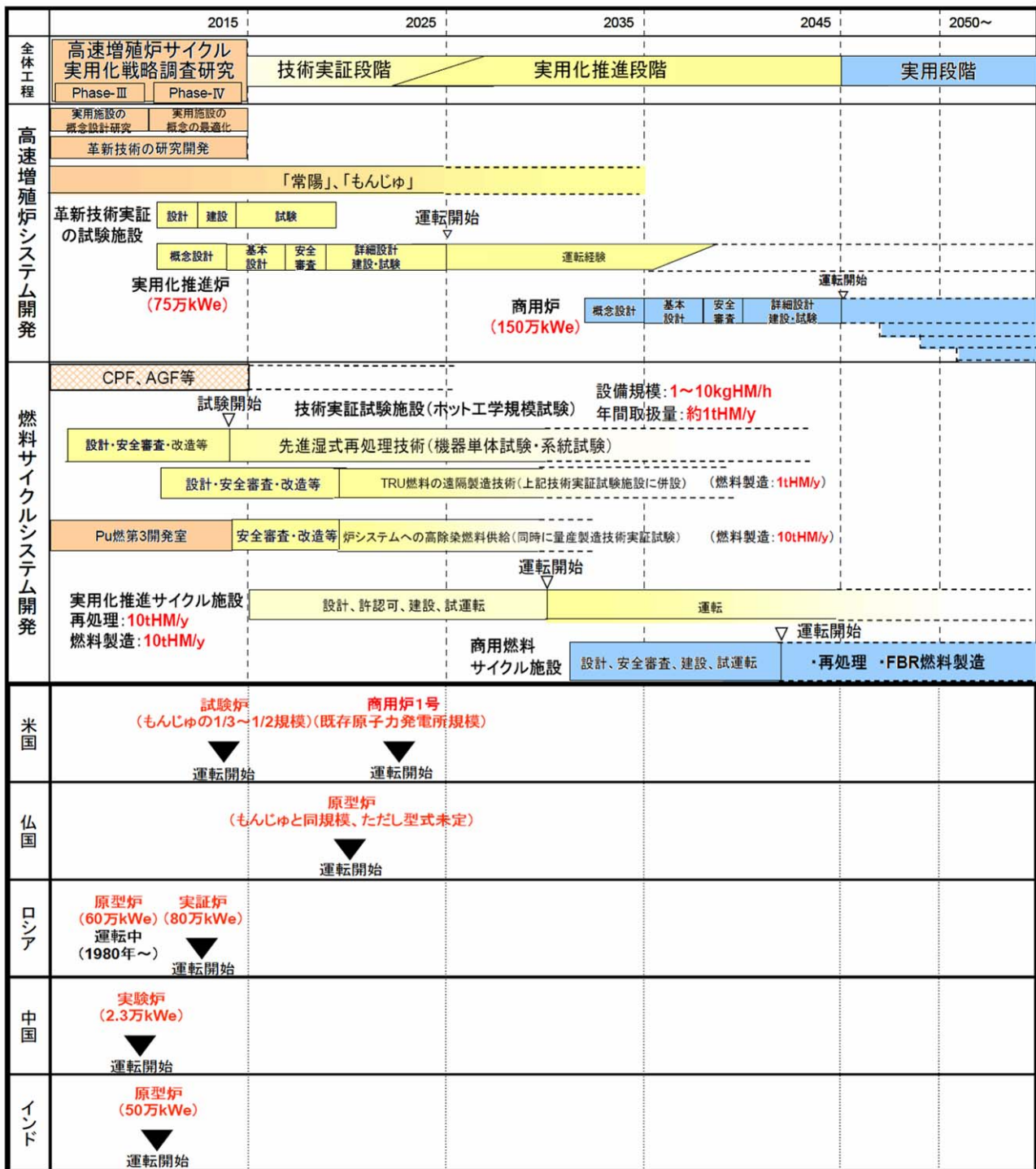


図 - 1 大型試験施設(コールド施設)による方策の開発工程 (加速ケース)

概要	<p>技術実証段階では、商用炉に採用する主な革新技術を、既存火力発電所、「もんじゅ2次系」等を熱源とした大型試験施設で実証。</p> <p>この経験を活かして実用化推進段階では、実用化推進炉として75万kWe級を建設・運転。</p>	
特徴	<p>技術実証段階:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ プラント機器の主要な革新技術は熱出力30万kWt規模*で実証し、炉心燃料は「もんじゅ」を用いて燃料集合体レベルで実証する。 ・ 大型試験施設の建設費は小さいが、試験施設の運転費に加え、燃料照射や実プラントの運転経験蓄積などのために「もんじゅ」の運転費が必要となる。 ・ 大型試験施設は、建設時に設置許可手続き等が不要であることから、実証試験を開始できるまでの期間を短縮できるなど、開発工程を加速することができる。 <p>*: 大型試験施設の実施規模、範囲については今後の検討が必要である。</p> <p>実用化推進段階:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉を用いた実証は、実用化推進炉段階で実施することとなる。 ・ 75万kWe級** 1基の建設・運転経験から商用炉導入を判断するため、商用化段階での開発リスクがやや高くなると考えられる。 <p>**: 原子炉出力についても、大型試験施設の実施規模と範囲との関連で検討する必要がある。</p>	<p>革新技術実証の試験施設の例 (火力発電所併設)</p>

図-2 実用化ロードマップの加速ケース

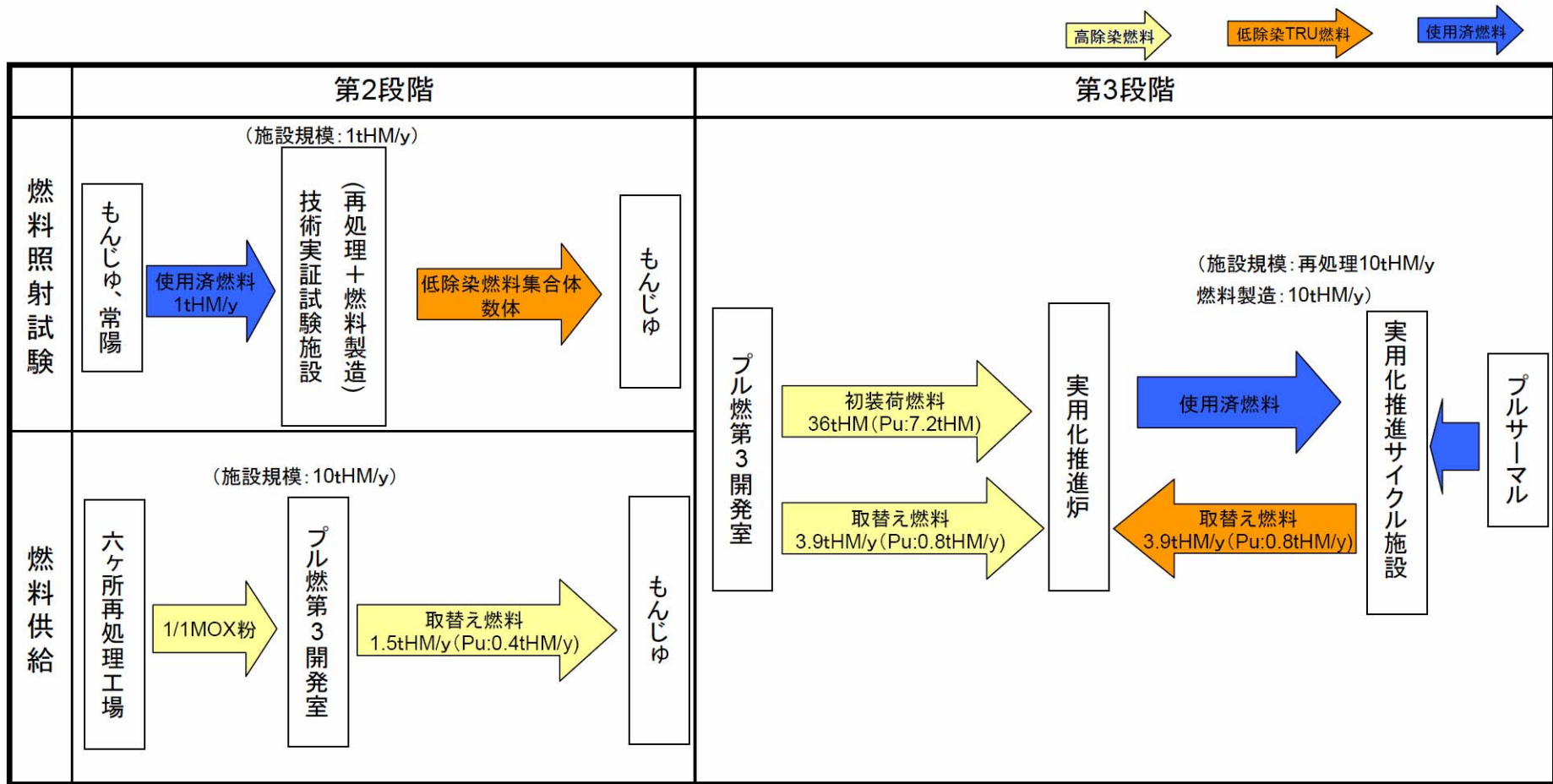
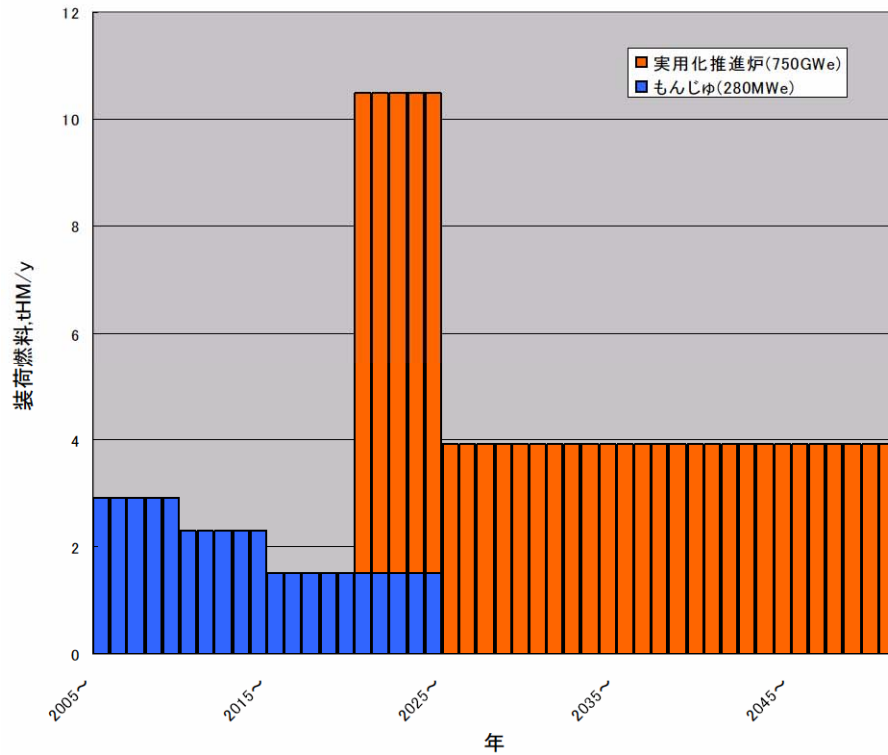


図-3 加速ケースの核燃料物質の流れ(加速ケース)

炉システムに必要な核燃料物質量の推移



炉システムに供給する燃料の加工量の推移

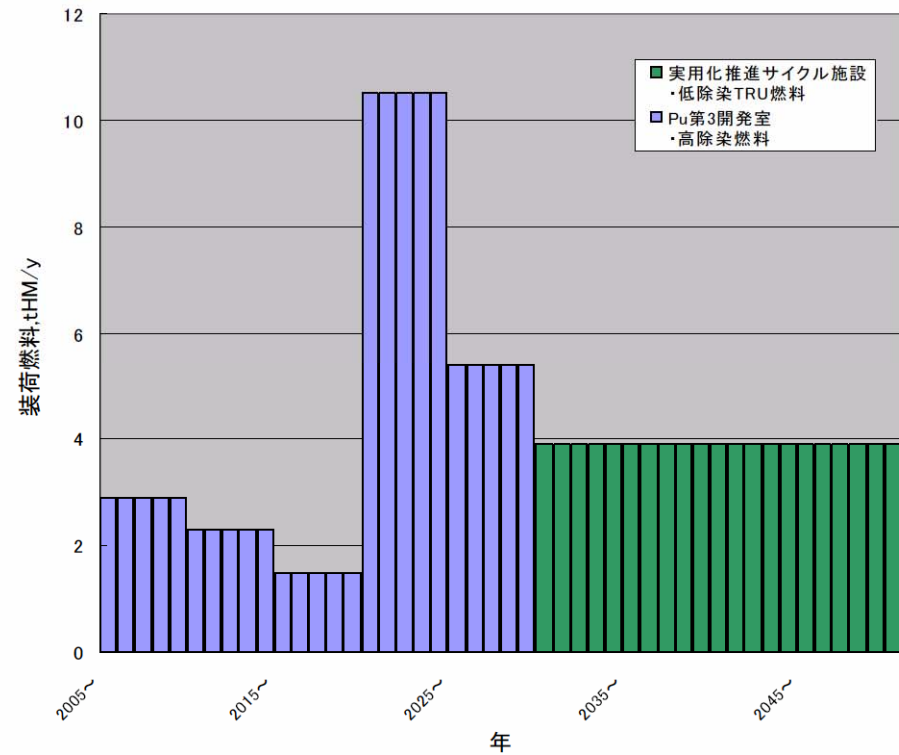


図-4 大型試験施設(コールド施設)による方策に必要な核燃料物質の供給量(加速ケース)

4. 開発目標について

- 作業部会では、技術的観点から開発目標が検討されているが、国家戦略的視点から適切か
- 2050年頃の実用施設に対して開発目標が設定されているが、次期施設に対して別途の開発目標が必要か
- 必要である場合、いかなる開発目標を設定すべきか



1. (3) 今後の研究開発目標(1/2)

2015年頃の技術体系整備に向けた目標

安全性

- 社会の既存リスクに比べて小さいこと

経済性

- 将来の国際標準軽水炉の発電単価に比肩すること

環境負荷低減性

- 放射性廃棄物による負荷を低減すること
 - －TRU(超ウラン元素)の燃焼による地層処分への負荷軽減
 - －運転保守および廃止措置に伴う廃棄物発生量の低減

資源有効利用性

- 持続的な核燃料を生産するとともに、多様なニーズへ対応できること

核拡散抵抗性

- 核物質防護および保障措置への負荷軽減

基礎的に研究開発を進めるべき環境負荷低減の目標

- LLFP(長寿命核分裂生成物)の分離変換による地層処分への負荷軽減

- フェーズⅢ以降の研究開発計画策定に向け、研究開発目標の見直しの要否について検討した結果、基本的にフェーズⅡで設定した研究開発目標と一貫性のある目標を設定し、2015年頃までに研究開発目標を満足する技術を準備することとした。
- LLFP(長寿命核分裂生成物)の分離変換については、課題が多く研究開発に長期間を要すると考えられるため、基礎的に研究開発を進めるべき目標とした。
- 研究開発目標については、今後も定期的に見直しを行う。

(参考)2015年までの研究開発課題について



2.(1) 高速増殖炉システム (a) ナトリウム冷却炉(1/3)

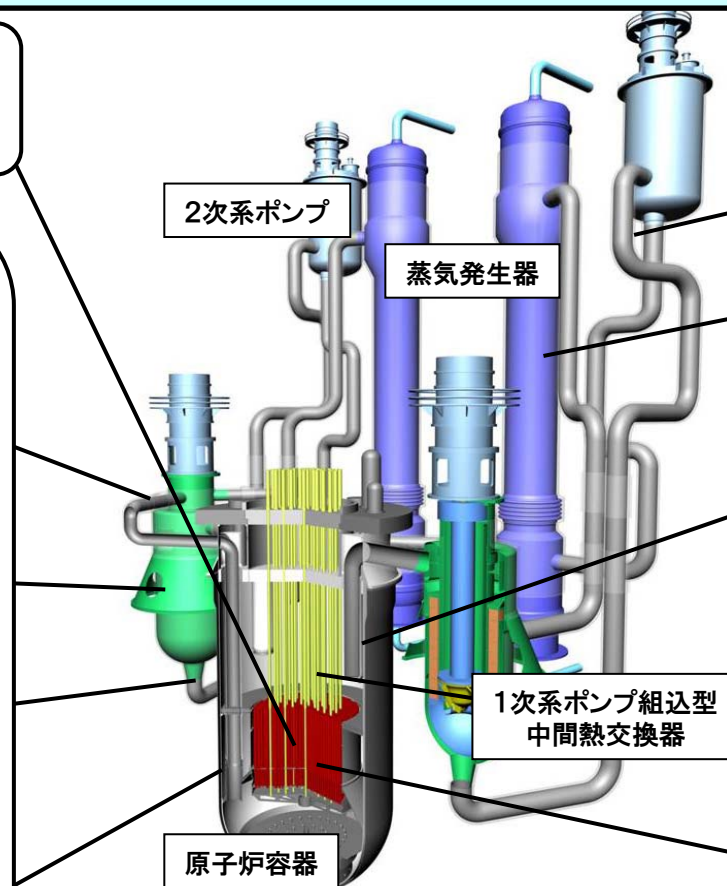
● システムの特徴

- 150万kWe大型炉の概念を構築。(酸化物燃料及び金属燃料)
- 革新技術の採用により物量、建屋容積を大幅に削減。
- ナトリウム固有の課題に対する対応策を設計に取り込むことで信頼性を確保。

高燃焼度化のための
ODS鋼被覆管

革新技術の採用による物量、
建屋容積の削減

- システム簡素化のための2
ループ化
- 配管短縮のための高クロム鋼
構造材料
- 1次冷却系統簡素化のための
ポンプ組込型中間熱交換器
- 原子炉容器のコンパクト化



ナトリウムの化学的活性

- 配管二重化の徹底
- 直管二重伝熱管蒸気発生器

保守・補修性を考慮した
プラント設計

炉心安全性の向上

- 受動的炉停止と自然循環に
よる炉心冷却
- 炉心損傷時の再臨界回避
を達成できる炉心概念

注) ナトリウム炉の仕様比較については、参考 I-1(OHP116) 参照



フェーズⅢ以降の技術課題 —ナトリウム冷却炉（1/2）—

(1) プラントシステム

課 題		フェーズⅢ以降の技術課題
ナ ト リ ウ ム 冷 却 炉	配管短縮のための高クロム鋼の開発	2010年まで:クリープ疲労強度、長時間延性・靱性、溶接施工性の確認による材料強度基準案の提案 2018年まで:長時間材料試験データ取得による材料の基準化
	システム簡素化のための冷却系2ループ化	2010年まで:流力振動に対する配管健全性確認、高速流による配管の耐エロージョン性の成立性見通し 2015年まで:高速流による配管の耐エロージョン性の成立性確認
	1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器の開発	2010年まで:振動抑制対策の有効性及び寿命中の伝熱管摩耗量 2015年まで:機器の流動成立性確認
	原子炉容器のコンパクト化	2010年まで:材料・構造の成立性確認、モデル試験と高温構造設計方針の整合見通し 2015年まで:高温構造設計方針の策定、プラント設計の整合性確認
	システム簡素化のための燃料取扱系の開発	2010年まで:高発熱使用済み燃料の除熱性、燃料交換機の機能、大型燃料集合体の落下時健全性確認 2015年まで:燃料出入機・燃料移送機の機能、燃料交換設備の操作性、冷却設備の有効性確認
	物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化	2010年まで:SC造格納容器成立性見通し 2015年まで:設計基準整備と設計の整合性確認
	配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化	2010年まで:高感度漏洩検出器の成立性見通し 2015年まで:2重配管の保守・補修性確認
	直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	2010年まで:2重伝熱管製作性、大型球形管板の成立性見通し 2015年まで:総合的な機能確認による成立性確認
	保守補修性を考慮したプラント設計	2010年まで:目視センサ、体積検査機器、二重伝熱管検査機器の成立性見通し 2015年まで:検査機器の分解能、処理能力と実機への適合性確認
	受動的炉停止と自然循環による炉心冷却	2015年まで:受動的炉停止装置の機能確認、自然循環による炉心冷却システムの成立性確認
	炉心損傷時の再臨界回避技術	2010年まで:S-FAIDUSの溶融燃料排出能力の実証、炉心損傷影響を炉内終息できる概略見通し 2015年まで:炉心損傷影響を炉内終息できることの実証
	建屋の3次元免震技術	2010年まで:3次元免震技術の成立性見通し 2015年まで:設計基準整備



(2) 炉心燃料

項目		フェーズⅢ以降の技術課題
炉心・燃料	高燃焼度燃料・材料の研究開発	<p>2010年まで: ODS被覆管燃料ピンの中燃焼度までの照射データ取得と高燃焼度達成見込みの外挿評価 (到達目標: 15万MWd/t、90dpa(実用化目標の40-60%)まで)</p> <p>2015年まで: ODS被覆管燃料ピンの実用化目標(250dpa, 25万MWd/t相当)までの照射データを取得と健全性確認・性能評価 ODSバンドルの中燃焼度までの照射データ取得と高燃焼度達成見込みの外挿評価 (到達目標: 15万MWd/t程度まで)</p>
	低除染TRU酸化物燃料の研究開発	<p>2010年まで: TRU酸化物燃料ピンの中燃焼度までの照射データ取得と高燃焼度達成見込みの外挿評価 (到達目標: 10万MWd/t(実用化目標の40%)まで) ショートプロセス中空燃料ピンの中燃焼度までの照射データ取得と高燃焼度達成見込みの外挿評価 (到達目標: 5万MWd/tまで)</p> <p>2015年まで: 低除染TRU酸化物燃料・ショートプロセス中空燃料ピンの実用化目標(25万MWd/t)までの照射データ取得と健全性確認・性能評価</p>
	再臨界回避集合体の研究開発	<p>2010年まで: 再臨界回避集合体の具体的構造の決定と炉外試験による成立性見通し評価</p> <p>2015年まで: 再臨界回避集合体の中燃焼度までの照射データ取得と高燃焼度達成見込みの外挿評価 (到達目標: 7万MWd/t程度まで)</p>



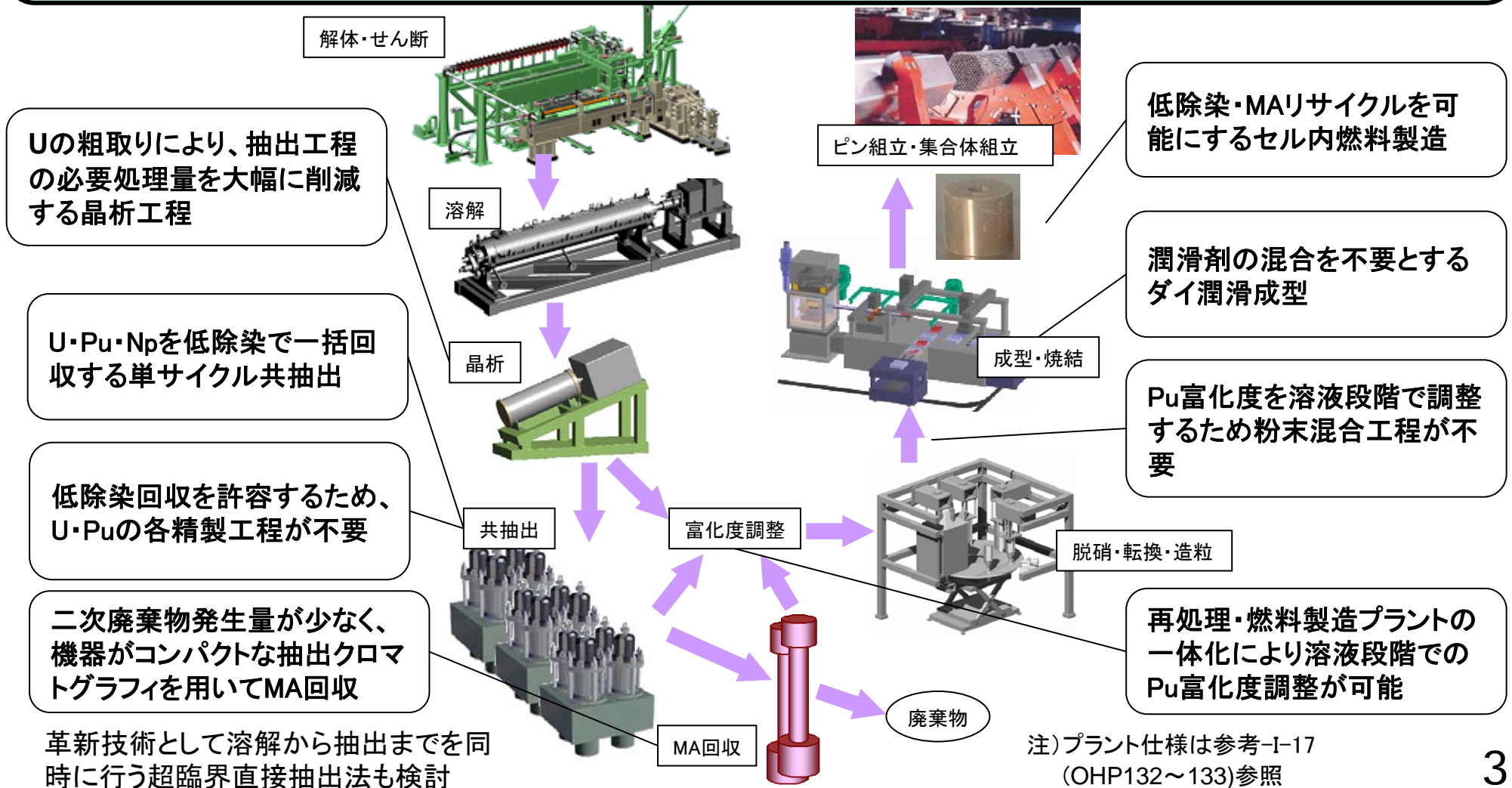
2.(2) 燃料サイクルシステム

(a) 先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造(1/3)

FS II 報告書概要抜粋

●システムの特徴

- 低除染燃料の使用が許容される高速増殖炉の特徴を生かし、回収/精製工程を合理化。
- 溶液段階でのPu富化度調整などにより、従来のペレット製造から粉末混合工程を削除。





フェーズⅢ以降の技術課題 —燃料サイクルシステム—

項目		フェーズⅢ以降の技術課題
先進湿式法	解体・せん断	2015年まで: 機械式/レーザ式の解体機種選定、一体型解体・せん断機の開発(機器開発) 2015年まで: 高濃度で効率的な溶解に最適なせん断条件(短尺せん断など)の設定
	溶解	2010年まで: せん断や晶析の条件(粉体化率、温度、等)と整合した溶解速度の確認(小規模ホット試験) 2015年まで: 実用化が見通せる規模(~10~40kg/h)での遠隔保守補修性や溶解速度など機器性能確認(機器開発)
	晶析	2010年まで: 晶析工程の元素毎の除染係数や結晶洗浄効果の確認を通した操業条件の最適化(小規模ホット試験) 2015年まで: U回収率のスケールアップの影響等の確認(枢要プロセス試験) 実用化が見通せる規模(~10~40kg/h)での遠隔保守補修性や処理速度など機器性能確認(機器開発)
	共除染・逆抽出	2010年まで: 晶析条件と整合した条件、異常時を想定した条件などにおける共除染・逆抽出データの拡充(小規模ホット試験) 2015年まで: 除染性能のスケールアップの影響等の確認(枢要プロセス試験) 実用化が見通せる規模(~10~40kg/h)での遠隔保守補修性、除染性能、耐久性など機器性能確認(機器開発)
	MA回収	2010年まで: 抽出クロマトグラフィによるMA回収の原理確認およびMA回収率達成の確認(小規模ホット試験) 2015年まで: 分離性能のスケールアップの影響等の確認(枢要プロセス試験) 実用化が見通せる規模(~10~40kg/h)での遠隔保守補修性や分離回収性能など機器性能確認(機器開発)
簡素化ペレット法	脱硝・転換・造粒	2010年まで: 小規模装置を用いたプロセスの再現性確認(簡素化ペレット試作試験) 2015年まで: 実用化が見通せる規模(~1kg/h)での遠隔保守補修性や量産性など機器性能確認(機器開発)
	成型	2010年まで: 小規模装置を用いたダイ潤滑成型プロセスの再現性確認(簡素化ペレット試作試験) 2015年まで: 実用化が見通せる規模(~1kg/h)での遠隔保守補修性や量産性など機器性能確認(機器開発)
	焼結	2010年まで: 小規模装置を用いた焼結性やO/M調整の再現性確認(簡素化ペレット試作試験) MA含有MOX原料等を用いた低除染MA含有簡素化ペレットの製造実証(小規模実証) 2015年まで: 実用化が見通せる規模(~1kg/h)での遠隔保守補修性や量産性など機器性能確認(機器開発)
金属電解法+射出鋳造法		2010年まで: U-Pu-Zr燃料ピン製造技術開発 小規模ホット試験計画の立案(詳細設計や施設整備に際しては国内外情勢により着手を判断) 操作性や物質移送等を考慮した主工程機器開発、計量管理技術開発、廃棄物固化体の最適化(主要機器開発、プロセス開発) 2015年まで: 上記主工程機器開発などによる実用機器の成立性確認