



高速増殖炉サイクル実用化 研究開発(FaCT)における 中間取りまとめの概要 (フェーズⅠとりまとめ)

2010年11月16日

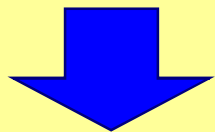
日本原子力研究開発機構
次世代原子力システム研究開発部門

これまでの経緯

- ◆ 実用化戦略調査研究(FS)の経緯
- ◆ FSフェーズII成果の国による評価
- ◆ 高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)の開始

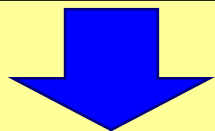
実用化戦略調査研究(FS)の経緯

「もんじゅ」2次系ナトリウム漏えい事故(1995年12月8日)



【原子力委員会『高速増殖炉懇談会』(1997年12月1日)】

将来のエネルギー源の一つの有力な選択肢として、高速増殖炉の実用化の可能性を技術的・社会的に追求するために、その研究開発を進めることが妥当



実用化戦略調査研究の開始

サイクル機構、電気事業者、電中研、原研等によるオールジャパン体制で、**1999年7月より、高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究を開始。**

実用化戦略調査研究の目標:

高速増殖炉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2015年頃に提示する

【原子力長計】

(2000年11月24日)

・高速増殖炉サイクル技術が技術的な多様性を備えていることに着目し、選択の幅を持たせ研究開発に柔軟性を持たせることが重要。サイクル機構において実施している「**実用化戦略調査研究**」等を引き続き推進する。

【原子力政策大綱】

(2005年10月11日)

・国は高速増殖炉サイクルの適切な実用化像と2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について**2015年頃から国としての検討を行うことを念頭に、実用化戦略調査研究フェーズIIの成果を速やかに評価して、その後の研究開発の方針を提示する。**

FSフェーズII成果の国による評価

「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」(2006年11月、文部科学省研究開発局)

<FSフェーズII成果の評価>

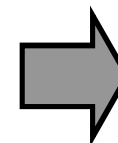
ナトリウム冷却炉(MOX燃料)+先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造



主概念

現在の知見で実用施設として実現性が最も高いと考えられる実用システム概念

ナトリウム冷却炉(金属燃料)+金属電解法再処理+射出鑄造法燃料製造



副概念

社会的な視点や技術的な視点から主概念の比べて不確実性がある

<研究開発方針>

- **主概念**を成立させるために必要な革新的な技術について**集中的に研究開発**を行うべきであり、**副概念**については、**基盤的な研究開発**として取組むべき。
- 2015年までに主概念の**革新的技術の採用可能性を判断できるところまで具体化**させ、開発目標・設計要求を満足する**概念設計**を得ることを目指す。
- 今後は「**高速増殖炉サイクル実用化研究開発**」として、実用化に集中した技術開発を行い、高速増殖炉サイクルの**研究開発を加速**すべきである。

FBRサイクル実用化研究開発の開始

- 「原子力政策大綱」(2005年10月、原子力委員会)
 - 高速増殖炉については、2050年頃からの商業ベースでの導入
- 第3期「科学技術基本計画」(2006年3月、閣議決定)
 - 高速増殖炉サイクル技術を国家基幹技術として位置付け
- 「原子力立国計画」(2006年8月、原子力部会)
 - 実証炉の2025年頃までの実現、2050年前の商業ベースでのFBRの導入
- 国によるFSフェーズIIの評価(2006年11月、前頁参照)
- 「高速増殖炉サイクル技術の今後10年程度の間における研究開発に関する基本方針」(2006年12月、原子力委員会決定)
 - 性能目標を達成できる高速増殖炉サイクルの実用施設及びその実証施設の概念設計並びに実用化に至るまでの研究開発計画を2015年に提示
 - 今後「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」として推進



FBRサイクルの実用化に重点を置いた
「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」の開始

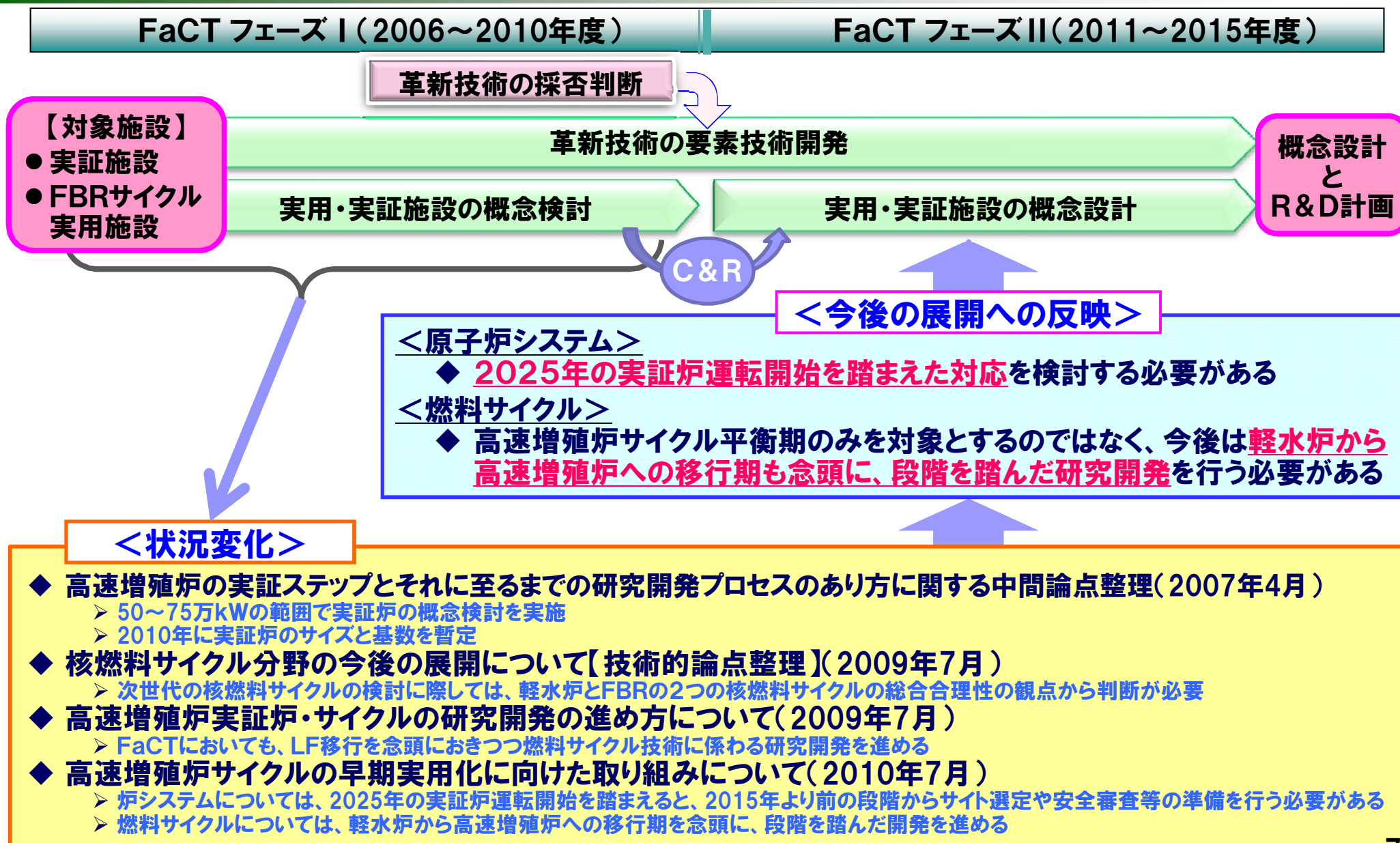
Fast Reactor **C**ycle **T**echnology Development Project
(通称“**FaCT**” Project)

FaCTプロジェクトの概要

- ◆ FBRサイクル研究開発計画
- ◆ FaCTプロジェクト開始後の状況変化(五者協議会での合意事項)と2010年度時点のポイント
- ◆ FBRサイクル実用化候補概念
- ◆ FaCTプロジェクトの進め方
- ◆ 開発目標
- ◆ 推進体制
- ◆ 研究開発課題(革新技術)
- ◆ 革新技術の採否判断結果の概要

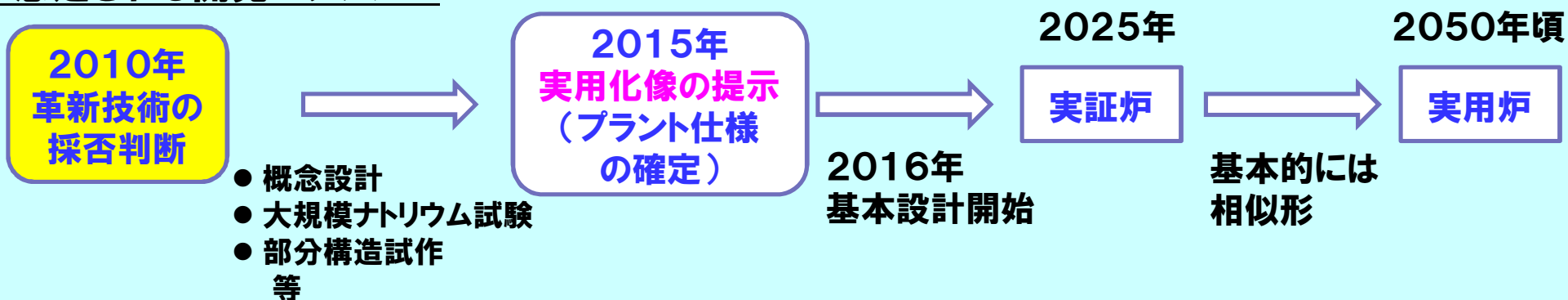


FaCTを取り巻く状況変化と今後の展開



2010年度時点のポイント(原子炉システム)

<想定される開発ステップ>



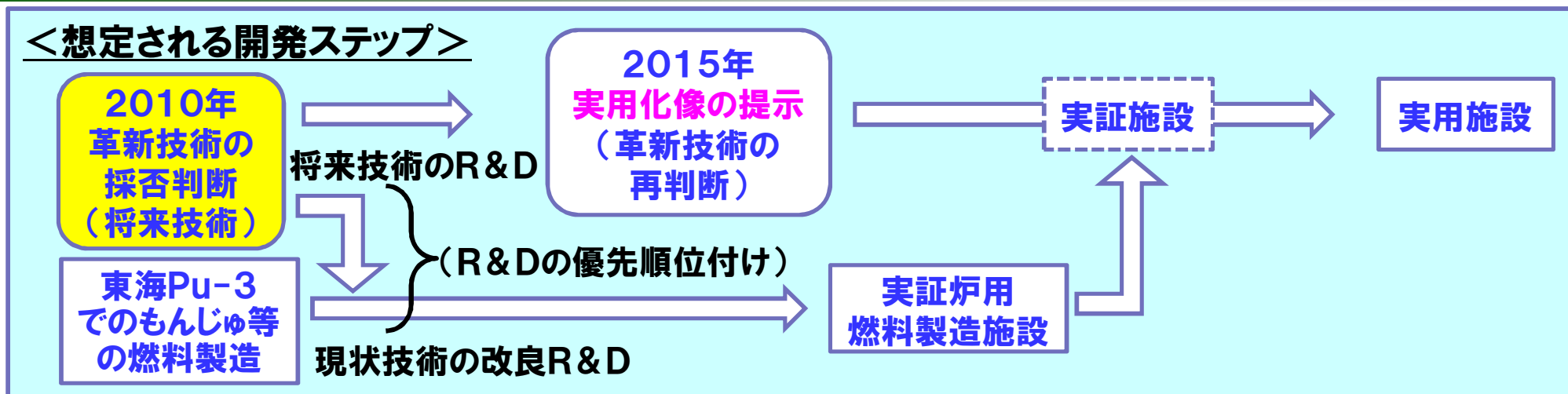
現状認識と2010年度の位置付け

- 今回の革新技術採否判断は、実証炉、実用炉のプラント仕様決定に向けた重要な位置付け
- 各技術の成立性、システムとしての成立性の両面からの判断が重要
- 革新技術の採否判断が、今後の研究開発計画に直結

<主要な着目点>

- ◆ 実用炉のプラントシステムとしての成立性
- ◆ 革新技術の成立性
- ◆ FBRサイクル全体での性能目標達成度(炉はその構成要素)
- ◆ 実証炉実現のための研究開発計画

2010年度時点のポイント(燃料製造技術)



現状認識と2010年度の位置付け

- 今回の革新技术採否判断は、実用施設に向けた将来技術についての現時点での採否判断
- FBR平衡期におけるFBRサイクルの性能を判断する上では重要
- 2025年実証炉実現のため、その数年前から実証炉初装荷燃料の製造を開始する必要がある
- 段階を踏んだ燃料開発を目指す(第1ステップ:高除染MOX燃料 ⇒ 第2ステップ:低除染MA含有燃料)
- 実証炉初期燃料の製造技術としての改良・高度化とさらなる将来技術開発を加えた実用化技術の実現と段階的に開発を進める
- 今後のR&D計画では、将来技術R&D、現状技術の改良R&D全体での優先順位付けが重要

<主要な着目点>

- ◆ 革新技术の成立性
- ◆ FBRサイクル全体での性能目標達成度(燃料製造はその構成要素)
- ◆ 実証炉への燃料供給の役割を担いつつ開発を進める段階的研究開発計画

2010年度時点のポイント(再処理技術)

<想定される開発ステップ>



現状認識と2010年度の位置付け

- 今回の革新技術採否判断は、将来のF再単独施設を対象とした現時点での採否判断
- FBR平衡期におけるFBRサイクルの性能を判断する上では重要
- 実用化候補の探索等に時間を要し、実用化すべき技術システムの概念設計確定は容易ではない
- F再が本格的に必要な時期は、FBR実用化後、数年から10年程度経た時期
- 今後の研究開発計画では、L再、F再全体での優先順位付けが重要
- 今回の判断結果は、LF移行に関する調査・検討結果とともに、今後の研究開発計画検討の判断材料となる

<主要な着目点>

- ◆ 革新技術の成立性
- ◆ FBRサイクル全体での性能目標達成度(再処理はその構成要素)
- ◆ 再処理技術全体(LF移行を考慮した)の合理的な研究開発計画

FBRサイクルの実用化候補概念(FaCT開始時)

- 2006年のFSフェーズII成果の国の評価において
「**現在の知見で実用施設として実現性が最も高いと考えられる**」
として選定された**主概念**

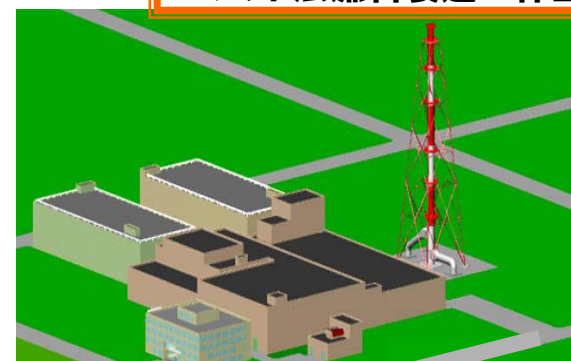
電気出力 150万kWe
● 増殖比 1.03~1.2
● 燃焼度 約15万MWd/t (炉心平均)



ナトリウム冷却FBR



● 処理能力 200tHM/年
● 先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造一体型施設

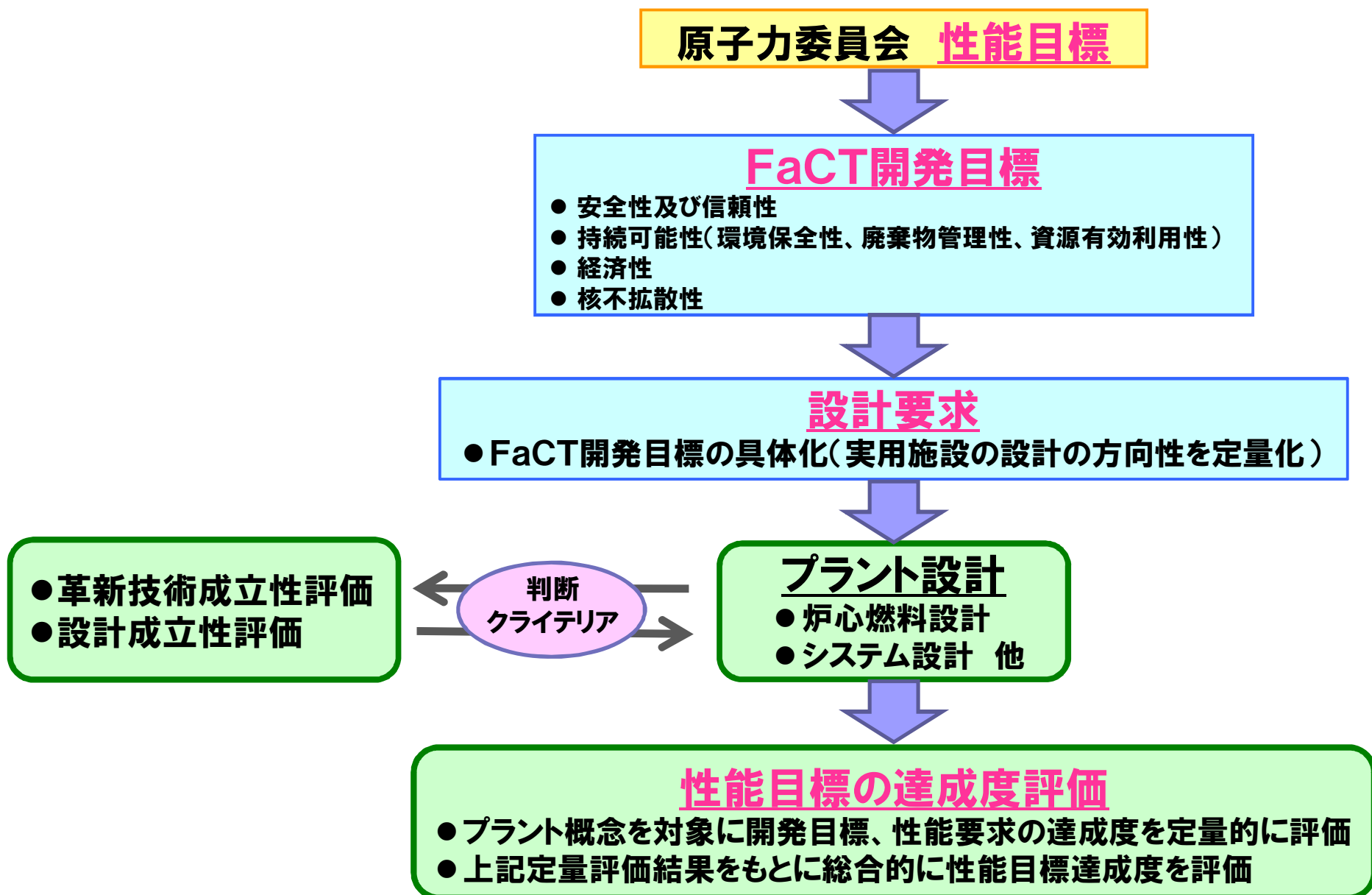


先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造

安全性	受動的安全機構等の各種試験を実施中
資源有効利用性	増殖比 1.03~1.2 リプレイス最短期間 60年程度
環境負荷低減性	低除染多重リサイクル可能 LWR使用済燃料からのMA受入れ可能 (MA含有率5%まで)
経済性 (資本費 ≤ 20万円/kWe)	建設単価90%程度

安全性	現行の指針等を踏襲できる
経済性 (燃料費 ≤ 1.1円/kWh)	大型プラント 約70%(200tHM/年)
環境負荷低減性 (高レ ≤ 0.5L/GWh TRU, 高βγ ≤ 1.6L/GWh)	高レベル廃棄物固化体量 約60% TRU、高βγ廃棄物量 約85%
核拡散抵抗性	U,Pu,Npの共回収、低除染製品

FaCTプロジェクトの進め方



原子力委員会の性能目標とFaCTの開発目標・設計要求の関係(1/2)

原子力委員会の性能目標		FaCTの開発目標・設計要求の概要	
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・シビアアクシデントの発生確率が十分低い ・従業員と公衆の健康リスクが十分小さい 	安全性及び信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ● 軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の安全性の確保 <ul style="list-style-type: none"> - 設計基準事象の範囲内で周辺公衆に著しい放射線被ばくリスクを与えない - 大量の放射性物質又は放射線の放出事象の発生可能性を十分に抑制 - 炉心損傷等の発生確率の目標設定 - 炉心損傷を想定しても炉内終息 ● 軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の信頼性の確保 <ul style="list-style-type: none"> - 施設の運転・保守・補修性の向上 - 放射線作業従事者の被ばく低減
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ・運転期間を通じての発電コストが、他のエネルギー技術と競合できる ・初期投資や出力規模が過大でないこと、建設期間が短いことも重要であることに留意 	経済性	<ul style="list-style-type: none"> ● ライフサイクルによる不確定性を考慮し、発電原価が軽水炉等に匹敵 ● 軽水炉サイクルと比較し、大きな投資リスクがない ● 軽水炉サイクルと比較し、大きな外部コストがない
環境影響	<ul style="list-style-type: none"> ・気体、液体、固体放射性廃棄物発生量(高レベルを含む)が、軽水炉技術のそれを超えない ・高レベル廃棄物にマイナーアクチニドが含まれないことが、処分場面積を低減することに留意 	環境保全性	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射性気体及び液体廃棄物の環境への実効線量が軽水炉サイクルを下回る ● ライフサイクルを通し環境移行物質の影響を抑制
		持続可能性 廃棄物管理性	<ul style="list-style-type: none"> ● 軽水炉サイクルと比較し、ライフサイクルを通した放射性廃棄物の発生量の低減及び質の向上、並びに潜在的有害度の低減(マイナーアクチニドのリサイクル)

原子力委員会の性能目標とFaCTの開発目標・設計要求の関係(2/2)

原子力委員会の性能目標		FaCTの開発目標・設計要求の概要	
資源の利用効率	<ul style="list-style-type: none"> ・1をある程度超える増殖比の実現 ・倍增時間の短縮(増殖比を大きく、炉外サイクル時間を短く)により、導入速度が大きくなることに留意 	持続可能性(続き)	<ul style="list-style-type: none"> ● 低増殖から高増殖まで柔軟に対応可能とする(増殖比1.0~1.2) <ul style="list-style-type: none"> - FBR導入開始後は、新規に軽水炉を建設することなく、FBRへ移行できる程度の燃料生産を可能にする - エネルギー需給や資源の不確かさ、海外展開も視野に入れる
核拡散抵抗性	<ul style="list-style-type: none"> ・Puが、常にマイナーアクチニド等と混合された状態であること ・我が国が国際燃料供給を行うというビジネスモデルでは、倍增時間短縮が重要となる可能性が高いことに留意 	核不拡散性	<ul style="list-style-type: none"> ● 核拡散抵抗性を高めた技術の採用 <ul style="list-style-type: none"> 他の原子力システムと同等以上の核拡散抵抗性を有し、国際的に容認されるものとする - Puを単離せず、常にウランもしくはマイナーアクチニド等と混合された状態 - 効果的・効率的な保障措置システムの適用 ● 核物質等の盗取と施設の妨害破壊行を抑制できる核物質防護システムを持つ
軽水炉と高速炉の共生	<ul style="list-style-type: none"> ・軽水炉と高速炉を共存させる燃料サイクルシステムの整備が重要であることに留意 		他の開発目標、設計要求の中で関連要求事項有り <ul style="list-style-type: none"> ● 軽水炉からFBRへの移行期に想定される増殖比や炉心へのMA含有量を前提とした設計等

FaCTの推進体制

全体の進め方

五者協議会*
(文科省、経産省、電気事業者、
メーカ、原子力機構)

*正式名称:「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの
円滑移行に関する五者協議会」(2006.7.13設置)

国 内閣府(基本的方向性)

内閣府
(総合科学技術会議)

内閣府
(原子力委員会)

基本的方向性

文科省

連携

経産省

方針・予算

成果

日本原子力研究開発機構(実施主体)

FBRサイクル関連技術開発推進会議
(議長:原子力機構 理事長)

経営企画部
他関係部門

方針・指示 ↓ ↑ 報告

次世代原子力システム
研究開発部門

東海・大洗・
敦賀拠点

外部評価

研究開発・評価委員会等

電気事業者(原電)

協力協定

・技術者出向
・出資(一部分)

出資(大部分)

三菱FBRシステムズ(株)
(MFBR)

独立した専門組織により、FBR開発
に係るエンジニアリングなどの関連業
務を効率的に一括実施

基本協定

一括発注

・技術者出向
・R&D成果の提供

メーカ

炉システムの研究開発に係る体制

ナトリウム冷却炉の研究開発課題

1. 高燃焼度炉心・燃料

⑦高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

2. 安全性向上技術

⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却

⑫炉心損傷時の再臨界回避技術

3. コンパクト化原子炉構造

④原子炉容器のコンパクト化

⑩保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発

⑬大型炉の炉心耐震技術

4. 9Cr鋼大口徑配管を用いた2ループシステム

①配管短縮のための高クロム鋼の開発

②システム簡素化のための冷却系2ループ化

⑧配管2重化によるNa漏洩対策と技術開発

5. ポンプ組込型中間熱交換器

③1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発

6. 直管2重伝熱管蒸気発生器

①配管短縮のための高クロム鋼の開発

⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発

⑩保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発

7. 自然循環除熱式崩壊熱除去システム

⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却

8. 簡素化燃料取扱いシステム

⑤システム簡素化のための燃料取扱系の開発

9. SC造格納容器

⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化

10. 高速炉用免震システム

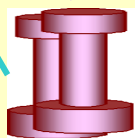
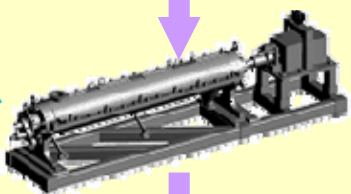


◆ 実用炉の目標仕様を満たすために必要な革新技術(13課題)をFSで摘出
◆ 革新技術の採否は、単独技術としてのR&Dの進捗と成立性評価だけでは不十分で、炉心及びプラントに組み込んだ設計成立性やプラントとしての機能発揮に基づく判断が必要

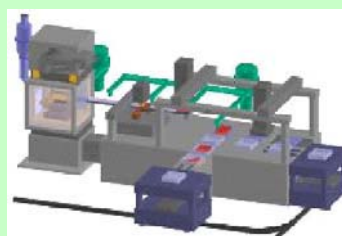
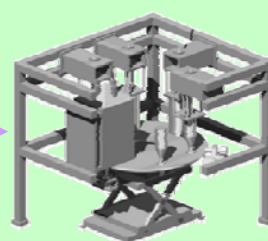
◆ プラントを構成する機器等に革新技術を組込んだ10種の評価対象技術に再分類し、適合性を評価

燃料サイクルの研究開発課題

先進湿式法再処理



簡素化ペレット法燃料製造



①解体・せん断技術の開発

②高効率溶解技術の開発

③晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発

④U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発

⑤抽出クロマト法によるMA回収技術の開発

⑥廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発

⑦脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発

⑧ダイ潤滑成型技術の開発

⑨焼結・O/M調整技術の開発

⑩燃料基礎物性研究

⑪セル内遠隔設備開発

⑫TRU燃料取扱い技術

○燃料サイクルシステム的设计研究

革新技术の採用可能性判断結果の概要

炉システム、再処理技術、燃料製造技術の革新技术の採否暫定判断

■ 炉システムの革新技术の採否

- 8課題は採用可能と判断
- 1課題は、代替技術を採用
- 1課題は、代替案を含めた検討を実施し、再評価

■ 再処理技術の革新技术の採否

- 3課題は採用可能と判断
- 残りの3課題は技術的成立性と性能目標への貢献度について、更に検討を進めた上で判断

■ 燃料製造技術の革新技术の採否

- 3課題は採用可能と判断
- 残りの2課題は技術的成立性と性能目標への貢献度について、更に検討を進めた上で判断

炉システムの採否判断

従来実施してきた13の革新技术を10の課題に再整理して評価

8課題採用

- ・ 安全性向上技術(SASS、再臨界回避技術)
- ・ コンパクト化原子炉構造
- ・ 自然循環除熱式崩壊熱除去システム
- ・ 高速炉用免震システム
- ・ 9Cr鋼大口徑配管を用いた2ループシステム
- ・ ポンプ組込型中間熱交換器
- ・ 簡素化燃料取扱システム
- ・ SC造格納容器

1課題 代替技術 採用

- ・ 直管2重伝熱管蒸気発生器(代替伝熱管として開発を進めた防護管付き伝熱管を採用)

1課題 検討継続

- ・ 高燃焼度炉心・燃料(採用する被覆管を2010年度末、2013年度末の2段階で判断)

再処理システムの採否判断

3課題 採用

- ・ 解体・せん断技術
- ・ 高効率溶解技術
- ・ U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム

検討継続 3課題

- ・ 晶析技術による効率的ウラン回収技術
- ・ 抽出クロマト法によるMA 回収技術
- ・ 廃棄物低減化(廃液2極化)技術

燃料製造システムの採否判断

3課題 採用

- ・ 脱硝・転換・造粒一元処理技術
- ・ ダイ潤滑成型
- ・ TRU燃料取扱い技術

検討継続 2課題

- ・ 焼結・O/M調整技術
- ・ セル内遠隔設備

「燃料基礎物性研究」は、簡素化ペレット法燃料製造システム全体に係わる基盤物性の提供を目標としているため採否判断の対象から除外

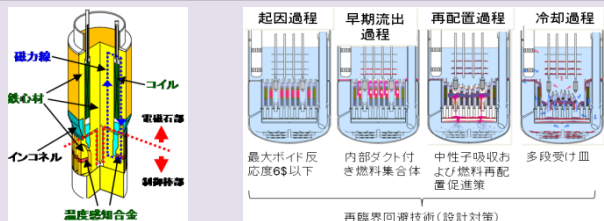
炉システムに係る革新技术の採否判断結果の概要(1/2)

②安全性向上技術 (SASS、再臨界回避技術)

【評価結果】

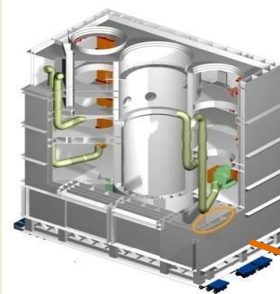
- ・自動的炉停止系(SASS)
制御棒保持力、切り離れ温度、応答性、炉停止能力は成立性あり。
- ・再臨界回避技術
起因過程、早期流出過程、再配置過程、冷却過程のシナリオの成立性あり。

【判断結果】:採用



【採用の定義】実用炉に採用できる見通しが得られ、実証炉の概念設計に適用する技術として対象とできる技術であること

※ここで示した6技術は代替技術を検討せずすべて「採用」

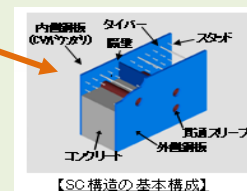


⑨SC造格納容器

【評価結果】

安全上想定する事象に対する支持及び自立機能並びにバウンダリ機能の成立性が見込まれる。また、製作性(大型ユニット工法の成立性)、運転・保守性も確保できる。

【判断結果】:採用

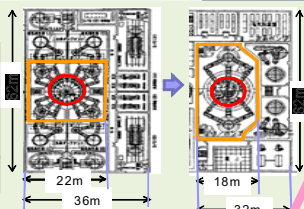


④9Cr鋼製大口径配管を用いた2ループシステム

【評価結果】

配管の構造健全性やLBB成立性等の設計成立性が見込まれ、配管の製作性及び運転保守性が確保できる。

【判断結果】:採用



⑦自然循環除熱式崩壊熱除去システム

【評価結果】

崩壊熱除去に関する安全設計や熱交換器の除熱性能の成立性が見込まれ、9Cr鋼製熱交換器の製作性及び運転保守性が確保できる。

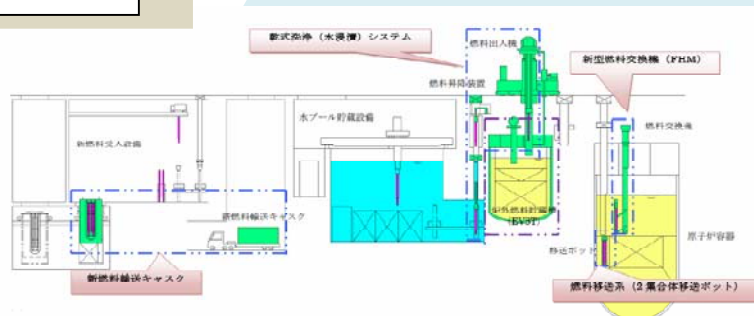
【判断結果】:採用

⑧簡素化燃料取扱システム

【評価結果】

安全評価事象の選定と評価、燃料交換機の耐震性、位置決め精度、2集合体移送ボットの除熱性能、燃料洗浄システムのナトリウム除去性能等の成立性が見込まれる。また、運転・保守性も確保できる。

【判断結果】:採用

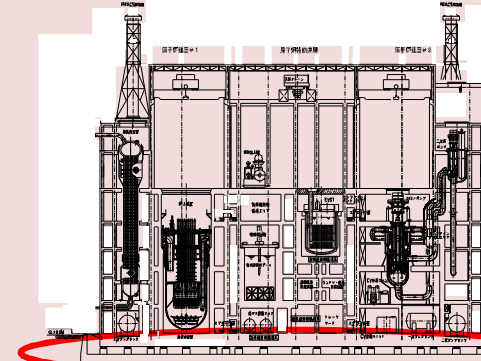
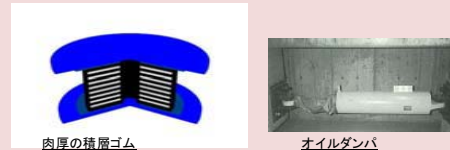


⑩高速炉用免震システム

【評価結果】

免震性能、配置性、積層ゴム・オイルダンパの適用性及び指針基準類の適用性について成立が見込まれ、製作性及び運転保守性も確保できる。

【判断結果】:採用



炉システムに係る革新技术の採否判断結果の概要(2/2)

①高燃焼度炉心・燃料

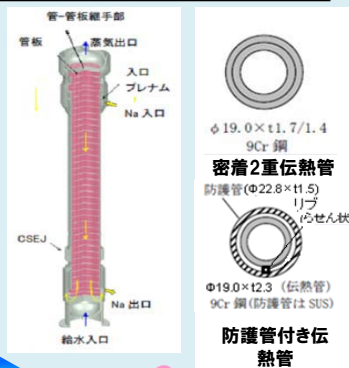
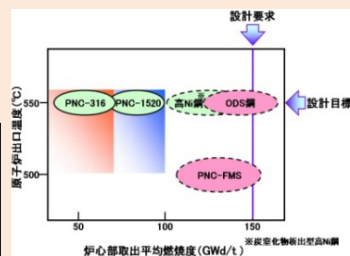
【評価結果】

- ・経済性向上のため、高い燃焼度(150GWd/t)と炉心出口温度(550℃)が見込めるODS鋼被覆管を開発してきた。
- ・海外照射試験でODS被覆管燃料ピンの破損事例や被覆管肉厚内で特異な組織を確認。ただし、原因、再発防止の方向性(品質安定化)も概ね把握。
- ・再処理時の溶解量が多く、分離工程を追加するなどの対策が必要。
- ・ODS鋼被覆材の開発見通し合意を得るには追加の実験的検討が必要。
- ・代替として高燃焼度を維持しつつ、設計温度を下げる案も協議されたが、経済性への影響が少ない高Ni鋼を検討することを選択。

【判断結果】:2010年度末、2013年度末の2段階で再評価

- ・高燃焼、高温設計(550℃)を志向。
- ・2010年度末:ODS鋼の再現確認による破損原因等の究明及び改善可能性の評価。
- ・高Ni鋼の高温強度等の特性を評価。不採要因の有無を判断。
- ・2013年度末:ODS鋼改善材料の試作・試験により改善(品質安定性)見通しを評価。
- ・高Ni鋼の炉外照射試験評価等により見通しを検討し、以後の照射による性能評価計画を立案。最終的に代替材開発の要否を含めて被覆管材料を選定。
- ・開発時期の見直しに対応し、実証炉初期装荷用にPNC316を採用。

「採用」:実用炉に採用できる見通しが得られ、実証炉の概念設計に適用する技術として対象とできる技術であること
※ここで示した4技術は代替技術を検討した上で採否を判断



⑥直管2重伝熱管蒸気発生器

【評価結果】

- ・伝熱管破損伝播防止シナリオ、管板・伝熱管・CSEJの構造健全性などの設計成立性が見込まれる。
- ・2重伝熱管の安全ロジックに関する許認可性に懸念。
- ・国内に密着2重伝熱管の製造設備がなく投資が必要。

【判断結果】:代替技術を採用

- ・代替技術として検討した防護管付き伝熱管は、技術的成立性が見込めるとともに、工業的実現性(工業製品としての伝熱管量産可能性)が密着2重伝熱管より高いと評価し、主概念として採用。
- ・密着2重伝熱管は代替技術として採用(工業的実現性が得られた際には主概念として採用)。
- ・将来の大型鍛鋼品製造設備への投資リスクに対応し、2分割SGを代替技術として採用。

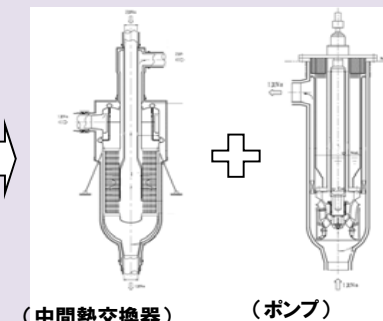
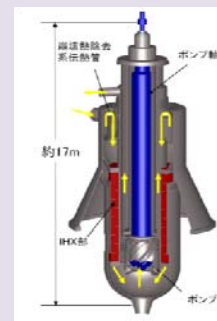
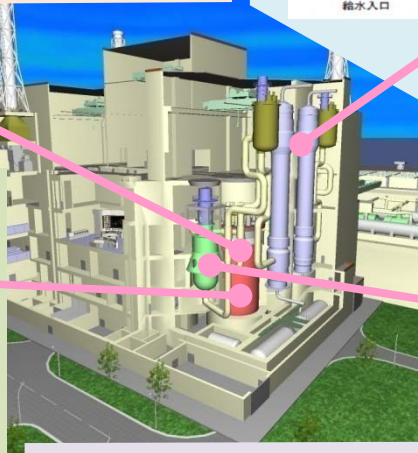
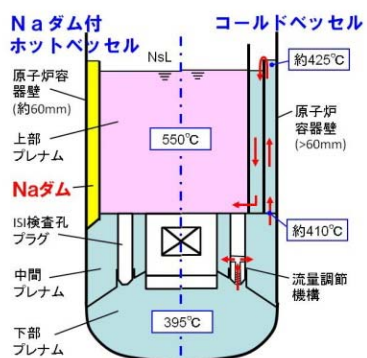
③コンパクト化原子炉構造

【評価結果】

- ・耐震条件が厳しくなったため、炉容器肉厚が増加(30→60mm)。この条件下で設計成立性が見込め、想定される地震条件に対して約2倍以上の耐震裕度を確保できることを確認。
- ・耐熱裕度拡大のためNaダム方式を採用することにより、必要起動日数は約1.5日と評価、熱流動上有意な課題は存在しない。

【判断結果】:採用

- ・代替技術として検討したコールドベッセル概念は、設計成立性が見込めるものの、バブル振動などの熱流動課題に対する試験での検証や炉壁冷却構造部の保守・補修性に対する詳細検討が必要であり、ホットベッセル概念に比べ経済性が劣ることから、不採用と判断。



⑤ポンプ組込型中間熱交換器

【評価結果】

- ・以下の構造対策によりポンプ軸長が伸びる可能性があるため、回転安定性を確認する必要がある。
- ・中間熱交換器上部プレナムの製作性確保のために構造見直しの可能性。
- ・コールドレグ配管入口部での液中渦対策のため配管口径増大の可能性。

【判断結果】:採用

- ・代替技術として検討したIHXとポンプの分離方式は、技術的成立性が見込めるものの、機器合体方式に比べ経済性が劣ることから不採用と判断。

再処理技術に係る革新技術の採否判断結果の概要

◆ ① 解体・せん断技術



- 「もんじゅ」模擬集合体を用いた解体試験にて、2時間程度で解体が可能であることを確認。ただし、切断時に砥石が破損する事象が複数回発生。
- 「もんじゅ」模擬集合体を用いたせん断試験にて、2時間以内のせん断及び短尺せん断が可能であることを確認。

【判断結果】

採用

解体技術については、砥石破損の防止方策の有効性を2010年度に確認する。

◆ ② 高効率溶解技術



- 使用済燃料溶解試験にて、400gHM/Lまでの高効率溶解を確認し、シミュレーションにより目標(500gHM/L)達成見通し。2010年度に500gHM/Lを確認予定。
- 連続溶解槽モックアップ試験にて、ハルの排出性、燃料の保持性を確認。

【判断結果】

採用

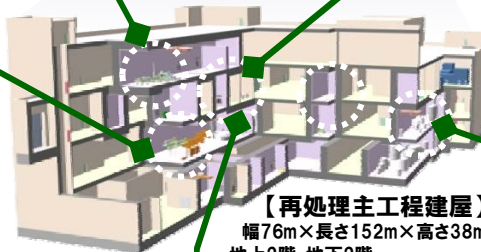
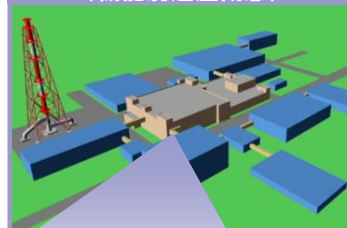
◆ ⑥ 廃棄物低減化(廃液二極化)技術

- ソルトフリー洗浄試薬の性能試験にて、Zr、Ruについて目標とした洗浄性能の達成を確認。Puについては未確認。
- 試薬分解試験において分解性能は目標達成。さらに、分解生成物の気相への移行率は十分低いことを確認。ただし、気相中での挙動評価が課題。

【判断結果】
検討継続

投資対効果を考慮しつつ、廃棄物低減化技術に係る研究開発プログラムを再構築した上で、2013年度末までにサイクル技術全体の開発計画の中で検討。

燃料サイクル施設全景
(機能別建屋概念)



【再処理主工程建屋】
幅76m×長さ152m×高さ38m
地上2階・地下2階

◆ ③ 晶析技術による効率的ウラン回収技術

- 所定のU回収率条件では、液体不純物のDFは目標達成(DF=100)したが、固体不純物(Cs、Ba)は不足。
- 装置開発では0℃前後の低温域での晶析システムや非定常事象検知方法の有効性を確認。

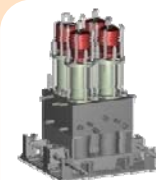


【判断結果】
検討継続

検討を継続し、技術的成立性に関する課題についてR&Dで見通しを確認した上で、2015年までに実用化までのR&Dの進め方を決定。リスク回避の観点からコプロセス法についても並行してR&Dを実施。

◆ ④ U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム

- 使用済燃料溶解液を用いた試験にて、目標とした回収率・除染係数の達成見通し。
- 遠心抽出器試験において、目標とした装置性能(流量、段効率)の達成及び装置安定性を確認。
- 機械的耐久性は3年・耐放射線性は2年までを達成(さらに継続中)



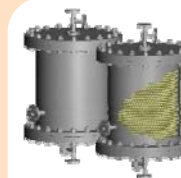
遠心抽出器

【判断結果】

採用

◆ ⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術

- 複数の抽出剤候補から最も有望なTODGAとR-BTPの組み合わせを選定。
- FPのDFはほぼ目標達成見通し(Tc以外は100以上)であるが、MA(Am・Cm)回収率は不足(95%)。



MA抽出
クロマト塔

- 火災・爆発に関する安全性確保に関して通水による除熱、吸着材拔出による発熱源排除などの対策が実施可能。

【判断結果】
検討継続

検討を継続し、技術的成立性に関する課題についてR&Dで見通しを確認した上で、2015年までに実用化までのR&Dの進め方を決定。

「採用」: 技術的成立性が見通しが得られ、開発目標・設計要求の達成に向けて大きな効果が期待できる技術であること

燃料製造技術に係る革新技術の採否判断結果の概要

◆① 脱硝・転換・造粒一元処理技術

- 浅皿型脱硝容器を選定。試作及びシミュレーションにより大容量マイクロ波脱硝装置の成立性を確認。
- 転動造粒により、所期の品質と回収率で造粒粉を製造できることを確認。
- これらの技術は、経済性向上等の開発目標・設計要求に貢献する。

【判断結果】

採用

溶液混合によるプルトニウム富化度調整



転動造粒



脱硝、焙焼、還元

◆② ダイ潤滑成型

- 模擬試料試験により、良好な潤滑性能が、幅広い運転条件で得られることを確認。
- 所期の成型速度が得られ、量産性を満足することを確認。
- これまでの照射試験用ペレットの製造経験等の成果を勘案し、技術的成立性の見通しありと判断。
- 粉末取扱工程の合理化等により、経済性向上等の開発目標・設計要求に貢献する。

【判断結果】

採用

◆③ 焼結・O/M調整技術

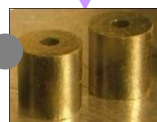
- 低除染TRU燃料及び高燃焼度化に必要、また経済性や環境負荷低減の点で必要な技術。
- 太径・中空・高密度ペレットの焼結について、プルトニウム燃料技術開発センターでのこれまでの製造実績や製造試験実績から技術的成立性の見通しがあると判断。
- 熱処理中のO/M比変化を、各種パラメータ(雰囲気中の水素/水分比、熱処理温度、熱処理時間、ペレット径等)から理論的に予測・評価することができる。
- O/M調整の量産性については、炭素助剤による改良の可能性があるものの、試験データが不足。

【判断結果】

検討継続

- 今後、簡素化ペレット法で作成した成型体を用い、炭素助剤による方法等を含めた焼結・O/M調整試験を実施。
- O/M比調整時間とバラツキの試験データに基づいた見通しを示した上で、2015年までにR&Dの進め方を決定。

ダイ潤滑成型



焼結、O/M調整

◆⑤ セル内遠隔設備

- グローブボックス用自動設備にモジュール交換機能を付加し、セル内遠隔設備を開発する。ペレット成型設備を代表として、モジュールで構成するペレット成型設備の概念設計を構築。代表的モジュールとロボットアーム制御技術とを組み合わせたモックアップ試験を行い、本保守概念の成立を確認。
- さらに精密なペレット検査及び造粒粉末の分析設備への本保守概念の適用性を確認。
- 燃料製造工程は大量のペレットを取り扱うことになることから、保守作業を含めセル内遠隔操作技術の実機への適用に当たっては、万一の場合の補修復旧に相当期間を要する恐れがあることから、(グローブボックス内で)相当期間の実績に基づく高い信頼性の確認が必須である。

【判断結果】

検討継続

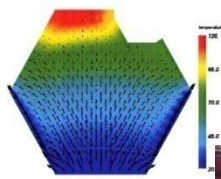
当面、造粒設備等新規に導入する設備の自動化技術開発に軸足を置くこととし、これらの今後の成果や設計検討に基づき本保守概念の成立性を再度見通した上で、晶析技術及びMA回収技術開の動向を踏まえつつ、2015年までにR&Dの進め方を決定。

◆⑥ TRU燃料取扱技術

- モックアップ試験の結果、燃料要素バンドルの空冷による冷却手法が成立。
- 冷却設備の異常等の非定常状態においても、所期の冷却が可能。
- MAリサイクルの実現を通し、開発目標・設計要求に貢献。

【判断結果】

採用。なお、今後の開発は、MA回収技術開発と整合した研究開発となるよう留意。



ピン加工



集集体組立

◆④ 燃料基礎物性研究

燃料製造システム全体に係わる基礎物性の提供を目標としているため、採否判断の対象から除外。

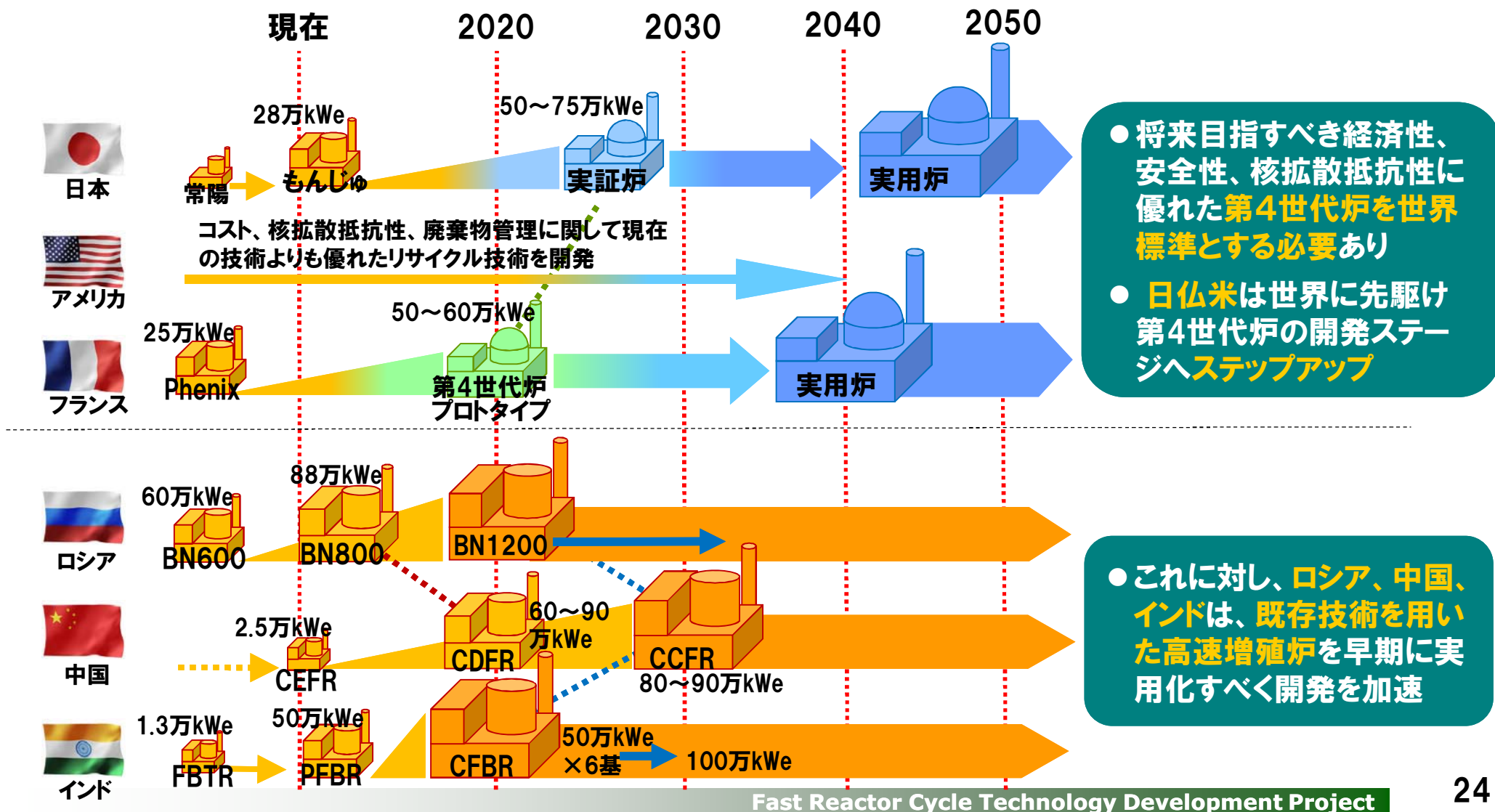
「採用」: 技術的成立性の見通しが得られ、開発目標・設計要求の達成に向けて大きな効果が期待できる技術であること

海外の開発動向と国際協力

- ◆ FBR開発を巡る今後の世界情勢
- ◆ 各国のFBR開発計画
- ◆ FaCTに関する国際協力

FBR開発を巡る今後の世界情勢

- ロシア、中国、インドは2030年頃の実用化を目指して開発、仏も2040年頃から第4世代炉を順次導入予定
- 将来の国際展開を狙った開発競争の激化



各国の高速炉開発計画

国	高速炉開発計画
日本	実験炉「常陽」(熱出力14万kWt) 2010年 原型炉「もんじゅ」(28万kW) 試運転再開 2025年 実証炉(50～75万kW) 運転開始 2050年前に商用炉(150万kW) 運転開始
フランス	2009年* 原型炉「フェニックス」(25万kW) 運転終了(*2010年2月にEnd-of-life試験を終了) 2020年 プロトタイプ炉(ASTRID)(50～60万kW) 運転開始 2040年 商用炉(150万kW) 運転開始
ロシア	実験炉BOR-60(1.2万kW)、原型炉BN-600(60万kW) 運転中 2014年 実証炉BN-800(88万kW) 運転開始 2020年 商用炉BN-1200(122万kW) 運転開始 2030年までに同規模の商用炉を少数基導入 [原子力発電設備容量: 現在 約2300万kW ⇒ 2050年 1億kW以上]
インド	実験炉FBTR(1.3万kW) 運転中 2012年 原型炉PFBR(50万kW) 運転開始 (2011年臨界) 2023年までに安全性、経済性を向上させた同規模の商用炉をさらに6基建設 2020年以降に100万kWの商用炉(金属燃料) 建設 [原子力発電設備容量: 現在 約400万kW ⇒ 2050年頃 2.7億kW*(高速炉は2.6億kW*)] (*インド政府は、2012～2020年の海外からの4000万kWの軽水炉導入を見込んで、数字を見直し中)
中国	2010年 実験炉CEFR(2万kW) 運転開始 (2010年臨界) 2018～2020年 実証炉(60～90万kW; ロシアとの協力状況に依存) 運転開始 2030年から同規模の商用炉を複数基導入 2028年 高増殖の実証炉(100～150万kW; 金属燃料) 運転開始 2030～2032年から同規模の商用炉を運転開始 [原子力発電設備容量: 現在 約900万kW ⇒ 2050年 2.4～2.5億kW(高速炉は約2億kW)]
韓国	2028年 実証炉(60万kW) 運転開始 2040年ごろから商用炉(120万kW)を導入

出典: 各国の高速炉開発計画はFR09(2009年12月7日～10日、京都)における各国の発表論文より引用

ロシアの2050年原子力発電設備容量 P.G. Shchedrovitsky, et al., "The Program of Fast Reactor Development in Russia." (2009)

インドの2050年頃の原子力発電設備容量 A. Kakodkar, "Nuclear Energy in India" (2004).

中国の2050年の原子力発電設備容量 Xu. Mi, "Fast Reactor Development for a Sustainable Nuclear Energy Supply in China." (2009)

FaCTに関する国際協力

国際協力のメリット

- FBRの効率的な開発
- 開発リスクの低減
- 世界標準技術の確立

日米仏三国協力

「ナトリウム冷却高速実証炉の協力に関する覚書」
(2008年1月覚書 → 2008年8月改正)

日米仏

ナトリウム冷却高速炉の協力に関する
覚書(MOU)改正(2010年10月)



協力の内容候補

- 設計基準の統一
- 研究施設の共同利用
- 機器の共同開発
- 概念設計の相互協力

日-米

日米原子力エネルギー共同行動計画
(JNEAP) 2007年4月

日-仏

JAEA-CEA フレームワーク協定(2005年12月)
JAEA-EDF 高速炉システム協力取決め(2008年10月)

協力協定の締結

設計クライテリアの統一化

- 安全、プラントシステム、構造
- 保守・補修性、検査技術
- PRPP(核拡散抵抗性・核物質防護)
- 他



INPRO

革新的原子炉・
燃料サイクルシステム
に関する国際プロジェクト

GIFに参加していない
インド等との情報交換



GIF

第4世代原子力システム
国際フォーラム

GIF-SFRメンバー国

・日本 ・フランス ・米国 ・中国
・韓国 ・ロシア ・EU

GIFを通じて国際的な設計
基準の統一化を検討

まとめ

- **FSフェーズII 成果に対する国の評価・方針に基づき、原子力機構が中核となって電力と協力しながらFaCTプロジェクトを開始し、主概念に係る革新技術(炉:13課題、燃料サイクル:12課題)に関する要素技術開発及び設計研究を実施**
- **関係機関(文科省、経産省、メーカ、電力、原子力機構)間の連携・認識共有のための五者協議会が設置されるとともに、FBR開発に係る中核メーカを選定し、開発体制を強化**
- **原子力機構と電気事業者・メーカが連携・協力し、上記革新技術の採用可能性判断を実施**
- **原子力機構は、革新技術採否判断結果を踏まえたFBRサイクルシステム概念を対象として性能目標達成度評価を実施**
- **原子力機構は、日仏米3国協力を基軸とする国際協力を追求**
- **関係五者は、FBRサイクルの早期実用化を一層着実に進めるための認識を共有し、課題を検討中**