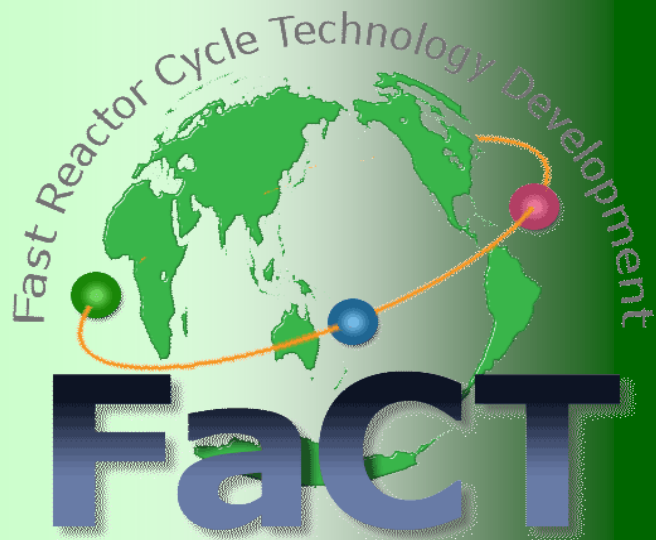


資料1

第2回FaCT評価委員会

平成22年12月16日



FBRサイクルシステム概念の 性能目標への達成度評価

平成22年12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



FaCTプロジェクトの進め方

原子力委員会 **性能目標**

FaCT開発目標

- 安全性及び信頼性
- 持続可能性(環境保全性、廃棄物管理性、資源有効利用性)
- 経済性
- 核不拡散性

設計要求

- FaCT開発目標の具体化(実用施設の設計の方向性を定量化)

プラント設計

- 炉心燃料設計
- システム設計 他

- 革新技術成立性評価
- 設計成立性評価

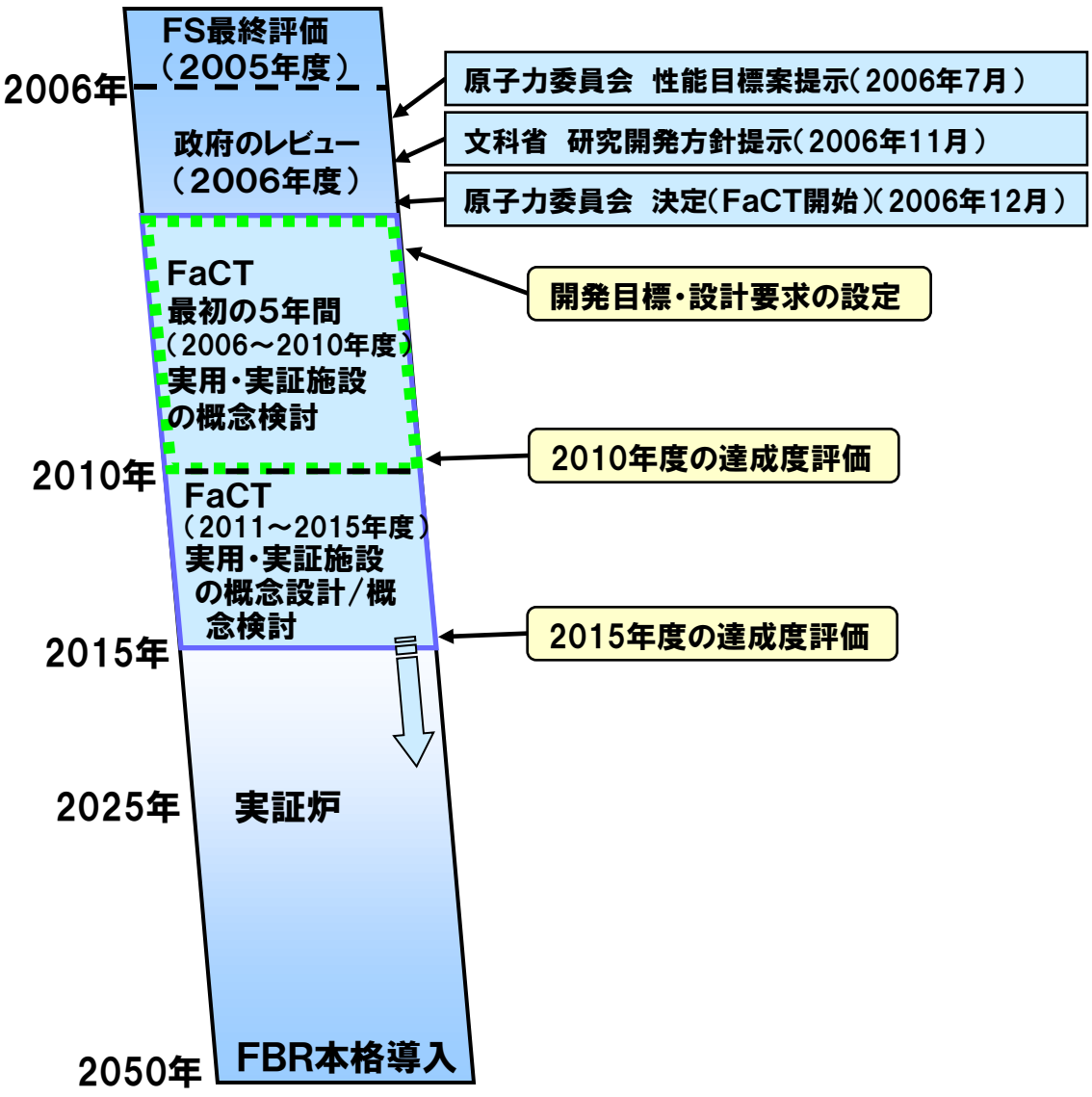
判断
クライテリア

性能目標の達成度評価

- プラント概念を対象に開発目標、性能要求の達成度を定量的に評価
- 上記定量評価結果をもとに総合的に性能目標達成度を評価



原子力委員会の性能目標とFaCTの開発目標と設計要求の関係



FaCTの開発目標、設計要求の設定

○ 文部科学省の基本方針や原子力委員会の性能目標等を受け、高速増殖炉サイクルの主概念を対象とした。

開発目標

➢ 2050年頃の本格導入時におけるFBRサイクル技術仕様の目標。性能目標を具体化、細分化したもの。

設計要求

- 開発目標の達成に向け、2010年(FaCTの最初の5年間)までに行う実用施設の設計の方向性をできるだけ定量的に示すもの
- 設計の努力目標として高い目標値を設定

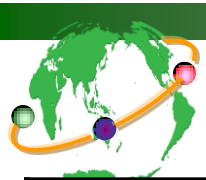
開発目標、設計要求の見直しの経緯

- 1999年のFBRサイクルの实用化戦略調査研究(FS) フェーズI 開始時から5つの開発目標と設計要求を設定
- FSフェーズI 終了 / FSフェーズII 開始時(2001年)に 開発目標と設計要求を見直し
- FSフェーズII 終了 / FaCTフェーズI 開始時(2006年)に、FaCTの開発目標と設計要求を設定(見直し)
- 2010年度の達成度評価を開始するに当たり、開発目標と設計要求の見直しの必要性を検討
 - 一部の追加(航空機テロへの配慮等)を除き、現時点で大きな見直しは不要と判断
- 今後も、研究開発成果、原子力を取り巻く状況、内外の動向を考慮し、開発目標と設計要求は適時に見直し予定



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
			<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
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"> 放射線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
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 	持続可能性	<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じ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)
		環境保全性 廃棄物管理性	



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)	資源有効 利用性 <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ノ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ノ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為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



性能目標達成度評価の方法(1/7)

◆ 2010年の性能目標達成度評価の位置付け

(目的)

- 原子力委員会が提示した性能目標への達成状況を現時点で評価し、**研究開発の基本的方向性に問題が無いことを確認**
- 次フェーズに向けた**課題を抽出**

(留意事項)

- 2015年に向けた中間段階であり、すべての項目に対する定量評価は困難
- 炉、燃料製造、再処理の開発フェーズが異なり、設計のレベルが異なる

◆ 性能目標達成度評価の流れ

【リファレンスプラント概念の達成度評価】

2010年度時点までの革新技術採否判断結果を踏まえた実用プラント概念を対象

FaCTの開発目標/設計要求の各指標に対する達成度を定量的に評価(一部定性評価)

指標毎に上記の評価結果を総合的に判断し、原子力委員会の性能目標への達成度を判断

研究開発の基本的方向性の確認 (次フェーズの設計研究や目標設定に対する対応方針の明確化)

【パラメータ影響評価】

設備利用率の幅、技術開発に係わる不確実性や将来の原子力シナリオへの柔軟性などを考慮してパラメータ影響評価を実施

各パラメータ項目が達成度に及ぼす影響を把握

次フェーズへの課題抽出



性能目標達成度評価の方法(2/7)

対象としたプラント概念(炉)

将来の基幹電源となり得る「安全性、信頼性、経済性」を実現し、ウラン資源の持続的利用を達成できるナトリウム冷却高速増殖炉

プラント概念の特徴

◆安全性向上

- 受動的な炉停止機構(制御棒の自重挿入)
- 自然循環による炉心冷却

◆信頼性向上

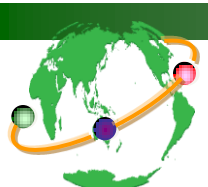
- ナトリウム配管・容器の2重化
- 蒸気発生器水リーク時の伝熱管破損伝播防止
- ナトリウム中機器・構造の保守性向上

◆経済性向上

- 燃料の高燃焼度化(15万MWd/t)と18~26ヶ月の長期運転サイクルによる、燃料費及び運転費の低減
- 2ループ構成で大出力化(150万kWe級)、高クロム鋼による配管短縮、ポンプ組込型中間熱交換器等の採用によるプラント物量削減による建設費の低減

主要仕様及び性能

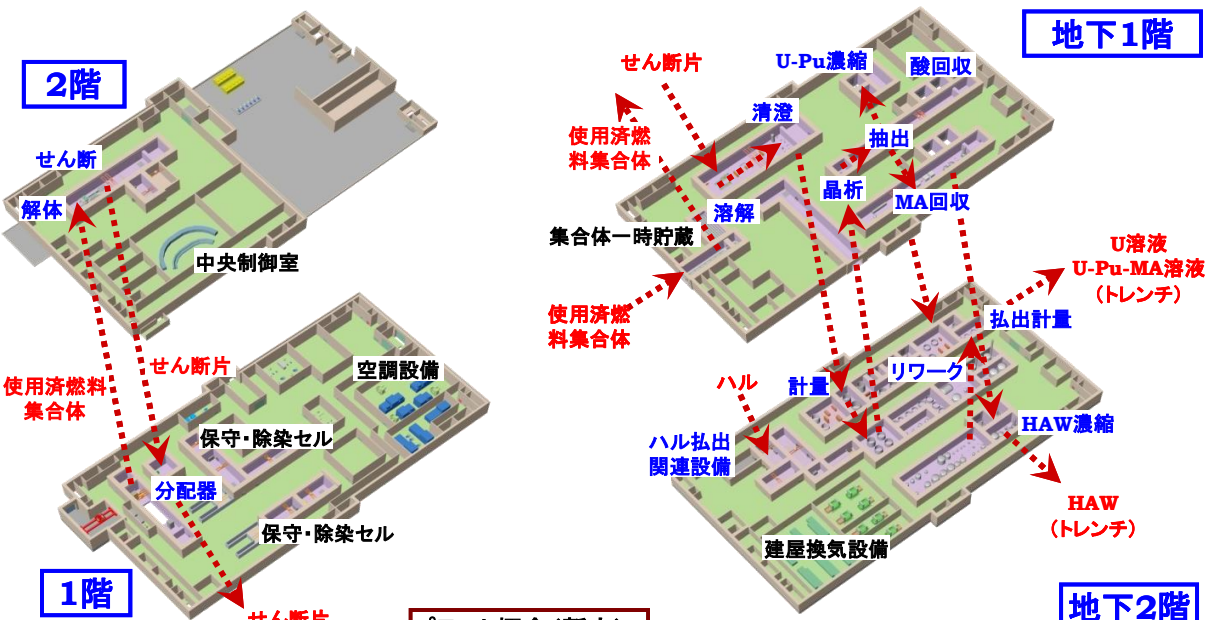
項目	性能
炉形式	Na冷却アドバンスドループ型
炉心・燃料形式	均質2領域炉心(MOX燃料高内部転換型)
燃料集合体形式	改良内部ダクト型集合体
ヒートバランス	1次系:550/395℃、2次系:520/335℃
ループ数	2ループ
崩壊熱除去系	直接炉心冷却系×1、1次系共用型炉心冷却系×2系統
主循環ポンプ及び中間熱交換器	1次系ポンプ組込型IHX
蒸気発生器形式	一体貫流型縦置有液面直管型 防護管付き伝熱管
構造材料	原子炉容器:316FR鋼、冷却系機器:改良9Cr-1Mo鋼
免震方式	高速炉用免震装置による建屋免震
プラント熱効率	約42%
増殖比	約1.1(約1.03、約1.2も影響評価)
稼働率	90%以上(80%、60%も影響を評価)



性能目標達成度評価の方法(3/7)

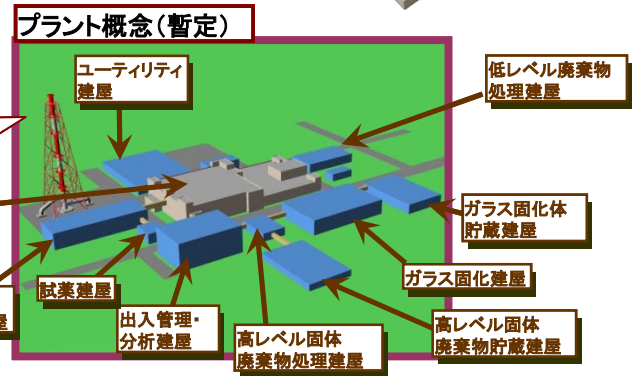
対象としたプラント概念(再処理)

<F再単独プラント概念>



F再単独プラントの主要スペック

項目	仕様
再処理能力	200tHM/y
年間操業日数	200日(80日程度に低下したときの影響も評価)
処理対象燃料	1,500MWeのJSFRから排出される使用済燃料
・増殖比	1.1(約1.03~1.2も影響評価)
・全炉心平均燃焼度	89.1GWd/t
・冷却期間	4年
・炉心燃料	Pu富化度(内側/外側): 18.2/20.6wt% 燃料形態(炉心/軸ブラ): 中空MOX/中実UO ₂
・径方向ブランケット	燃料形態: 中実UO ₂
炉心/径方向ブランケット混合処理比率	内側炉心燃料:外側炉心燃料:径方向ブランケット燃料=3:3:1



再処理主工程は単一の建屋であるが、付帯・共用設備、燃料製造設備は独立の建屋方式とした場合。

(保守・補修方針を検討した上で配置検討に反映)

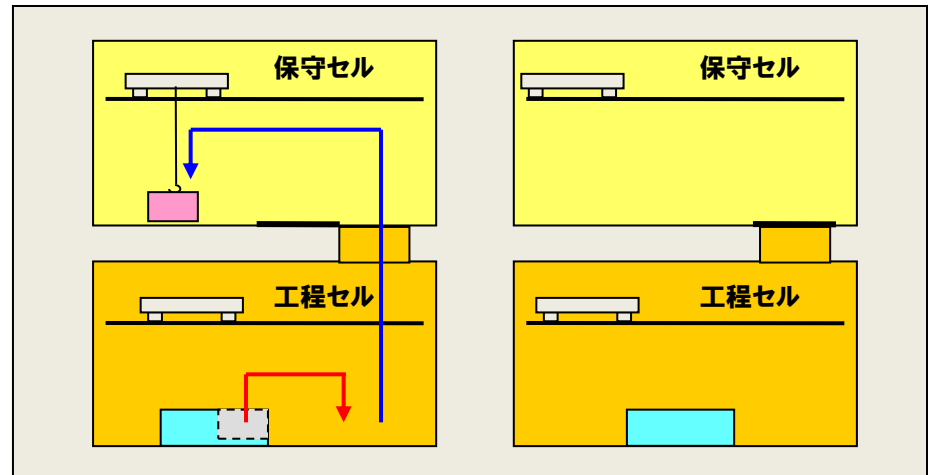


性能目標達成度評価の方法(4/7)

対象としたプラント概念(燃料製造)

実用燃料施設プラント概念

対象燃料	低除染TRU燃料
年間製造量	200tHM (炉設備利用率に連動して低下した場合も評価)
プロセス	簡素化ペレット法
建家配置	機能別独立建家
工程配置	小型セル方式(1セル1工程)
臨界管理	質量管理
保守設備	工程セル毎に専用設備
特徴	実現性が高い。 故障停止影響を限定できる。 保守設備が増大



小型セルにおける遠隔保守概念

FaCT燃料製造設備概要

工程	設備能力	設備系列数	備考
溶液受入	TRU溶液用3,700リットル U溶液用4,600リットル	8 (U溶液用4、TRU溶液用4)	貯槽容量は燃料製造2.5日分に相当。
富化度調整	貯槽容量2,900リットル	6	燃料製造2.5日分に相当
脱硝	5kgHM/バッチ 1h/バッチ	10	大径浅皿型脱硝容器を採用。 脱硝・焙焼・還元の3ステージで同時処理。 還元ステージは2バッチ分を一括して2時間で処理。
造粒	5kgHM/バッチ、1h/バッチ	10	水をバインダとした転動造粒。
バッチ拡大混合	180kgHM/バッチ	4	造粒粉180kgHM(脱硝・造粒36バッチ分)を混合。
成型	12連パンチ、7.5サイクル/分	4	ダイ潤滑方式のレシプロ式成型機。
焼結・O/M調整	30kgHM/バッチ、30h/バッチ	26	炉心燃料用焼結・O/M調整炉。焼結後に雰囲気切り替えて引き続きO/M調整を行う。
	30kgHM/h	2	ブランケット用連続焼結炉
ペレット検査	70,000個/日	4	外観・寸法・重量検査。



性能目標達成度評価の方法(5/7)

○ 2010年の性能目標達成度評価のポイント

(安全性)・・・炉、再処理、燃料製造個別に評価

- **炉**については、安全設計の成立性を、設計基準事象に対して保守的な事象想定(単一故障の重畳や結果が厳しくなる条件設定)を用いて安全解析し、暫定した**安全判断基準に対して適切な裕度を確保できる**ことを確認した。設計基準を越える多重故障等の事象についても、**受動的安全機構や事故管理方策によって炉心損傷を回避できる**ことを確認し、**シビアアクシデントの発生頻度が十分低減**されていることを確認した。さらに、影響緩和の観点から炉心損傷を想定した場合にも**再臨界に至ることなく炉内終息**できることを確認した。
- **燃料サイクル**については、安全設計評価を詳細に進める段階にはないことから、FSフェーズIIでの安全設計・評価結果をベースとして、革新技術開発の進捗により特段の安全課題が生じておらず、**適切な安全設計が可能**であることを確認した。



性能目標達成度評価の方法(6/7)

○ 2010年の性能目標達成度評価のポイント（続き）

（経済性）・・・主に、FBRサイクル全体で評価（初期投資の大きさは個別）

- FBRの特長(高い燃焼度等)を生かした経済性向上を目指すことが重要であることから、基本的には、サイクル全体で見た**発電コスト**での評価が重要となる。
- 実績の少ないFBRサイクルにおいては、建設費や稼働率の不確定性が高いことを考慮し、**発電コストを巾で評価して、軽水炉サイクルと競合できる可能性が高いことを確認した。**
- 炉の初期投資が適切であるかについては、**建設コストが軽水炉と同等レベルになる可能性**があることで評価し、その**可能性が高いことを確認した。**

（環境影響）・・・主に、FBRサイクル全体で評価

- 2010年の設計フェーズでは、放射性廃棄物量を詳細に定量化する重要性は低い。気体、液体、固体(低レベル、高レベル)の**放射性廃棄物の発生量を概略評価し、軽水炉サイクル程度以下に抑える方策がとれることを確認した。**
- MAをリサイクルした場合を想定した炉心設計、再処理プロセス、燃料製造プロセスの検討を行い、**MAをリサイクルする上での大きな課題がないことを確認した。**



性能目標達成度評価の方法(7/7)

○ 2010年の性能目標達成度評価のポイント（続き）

（資源の利用効率）・・・主に、炉、再処理、燃料製造個別に評価 （導入速度はFBRサイクル全体）

- 炉のプラント設計を共通とした上で、低増殖(BR=1.03)から高増殖(1.2)まで変更した場合の炉心設計を行い、増殖性のニーズに柔軟に対応した炉心設計が可能であることを確認した。
- FBRの導入期、移行期、平衡期を通じて変動する燃料の条件を想定しても、燃料サイクルを実現する上で大きな課題がないことを確認した。
- 我が国のエネルギー戦略上問題のない導入速度を実現できる可能性が高いことを確認した。

（核拡散抵抗性）・・・主に、FBRサイクル全体で評価

- 核拡散抵抗性を高める技術の採用を目指した設計、要素技術開発において大きな課題がないことを確認した。
- 我が国の核拡散抵抗性に関する考えについて、国際的なコンセンサスを得るための活動が進められていることを確認した。

（軽水炉と高速炉の共生）・・・主に、FBRサイクル全体で評価

- 共生に考慮した設計検討や開発が進められていることを確認した。