

資料2-2
第3回FaCT評価委員会
平成23年1月18日



今後の再処理技術開発の 基本的考え方

平成23年1月18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フェーズ I の評価及びFaCTを取り巻く状況として、
実証プロセス研究会で検討されたL/F移行期の検討や、
その後の検討(プラント型式、採用技術比較、開発すべき
技術の検討、核不拡散検討等)を踏まえ、今後の再処理
技術開発の基本的考え方を検討

2. FaCTフェーズ I のまとめ

実用化戦略調査研究(FS- I、II) (1999 - 2005年度)

再処理技術の調査・比較評価
↓
先進湿式法を主概念に選択
《革新技術6課題を抽出》

- 革新技術6課題**
- ◆解体・せん断技術
 - ◆高効率溶解技術
 - ◆晶析による効率的ウラン回収技術
 - ◆U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム
 - ◆抽出クロマト法によるMA回収技術
 - ◆廃棄物低減化(二極化)技術

実用化研究開発(FaCT) (2006年度~2010年度)

革新技術6課題の研究開発
FBR再処理単独プラントの設計研究

採否判断の視点

技術的成立性
各課題の2010年成果目標(採否判断基準)に対する達成度の評価

開発目標・設計要求
開発目標・設計要求に対する達成度・貢献度の評価

★ 2010年段階の革新技術の採否判断(案)

	[結果]
◆ 解体・せん断技術	○
◆ 高効率溶解技術	○
◆ 晶析による効率的ウラン回収技術	△
◆ U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム	○
◆ 抽出クロマト法によるMA回収技術	△
◆ 廃棄物低減化(二極化)技術	△

★ **実証プロセス研究会での検討**

- FBR平衡期の前に相当長期にわたるL/F移行期が存在することを強く認識
- FBR導入に対応したL/F移行期の再処理需要を整理
- L/F共用化プラントが合理性を有する可能性も認識
- 各種プロセス技術の開発状況等を整理し、有望と考えられる技術の認識を共有化

… 他

★ **その後の検討**

★ **開発計画を策定する上で考慮すべきその他の主な事項**

- 六カ所再処理工場の操業経験を踏まえた今後の技術課題の整理が重要
- 核不拡散に係る国際的動向も考慮
- これまでの技術経験を踏まえた技術の高度化の視点

今後の再処理技術開発の進め方

- FBR平衡期の前に相当長期にわたるL/F移行期が存在 (参考-1)
- FBR導入に対応したL/F移行期の再処理需要を整理 (参考-2)
- L/F共用プラントが合理性を有する可能性も存在 (参考-3)
- 各種プロセス技術の開発状況等を整理し、
有望と考えられる技術の認識を共有化 (参考-4)

3. 研究開発を取り巻く状況 – 実証プロセス研究会以降の検討 –

■ プラントのバリエーション

プラント概念は軽水炉再処理施設とFBR再処理施設を独立に建設する場合、両施設を共用する場合が想定され、現時点でいずれかに絞り込むことは困難。また、一括集中型プラントの他に、Pu安定供給性などを考慮した分割型プラント、モジュール型プラントを提案（参考-5）

■ 諸量評価の見直し

原子力発電設備容量、プルサーマル計画、六ヶ所再処理操業開始時期等の変更による再処理需要の見直し（参考-6）

■ L/F移行期の再処理技術の比較

Co-processing法、先進湿式法、FLUOREX法、超臨界直接抽出法でL/F共用プラントを構成した場合の比較検討によりCo-processing法が有利（参考-7）

■ 開発すべき技術の検討（これまでの技術経験を踏まえた技術の高度化）

L/F共用プラント、L/F独立プラントの各工程毎に開発すべき技術を整理（参考-8、9）

■ 核不拡散

技術的な抵抗性向上策と保障措置との組み合わせで抵抗性向上を図るべき。核拡散抵抗性向上に係る将来の要求の高まりを考慮し少なくともPuの非単離技術の開発を目指す。

（参考-10）

■ プラント概念検討

- L/F共用プラント(一極集中型、分割型、モジュール型)、L/F独立プラントの検討

■ 個別の技術開発

- FaCT革新技術の採否判断に係る議論、L/F移行期も念頭に置くことの重要性、核不拡散に係る国際動向等を踏まえつつ、従来のFaCTにおける再処理技術開発の進め方を見直し、技術開発項目を大きく3つに再整理し、当面「改良・革新技術」及び「核不拡散技術」に開発のウェイトを置くとともに、「将来技術」は基礎的な開発に集中することで再処理技術開発全体の効率化を図る。

■ 改良・革新技術

- F再固有技術
⇒ 解体機、せん断機、溶解槽など
- プラント概念に係わらず開発効果が高く第二再処理工場での採用の可能性が高いと目される技術
⇒ コプロセッシング法、遠心抽出器、遠心清澄機など

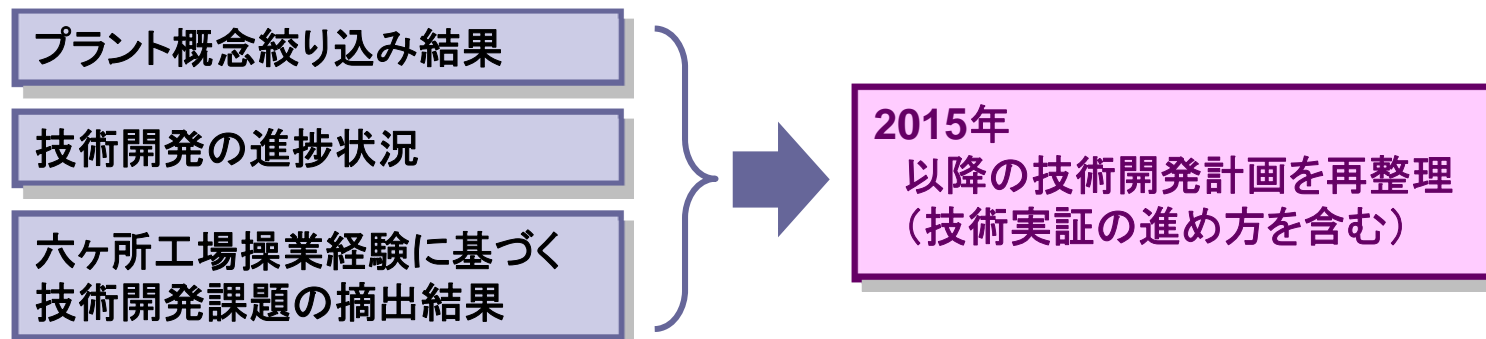
■ 将来技術

- 開発効果は高いが、実現までに長期間を要する技術
⇒ 晶析法、MA回収、アミド法など

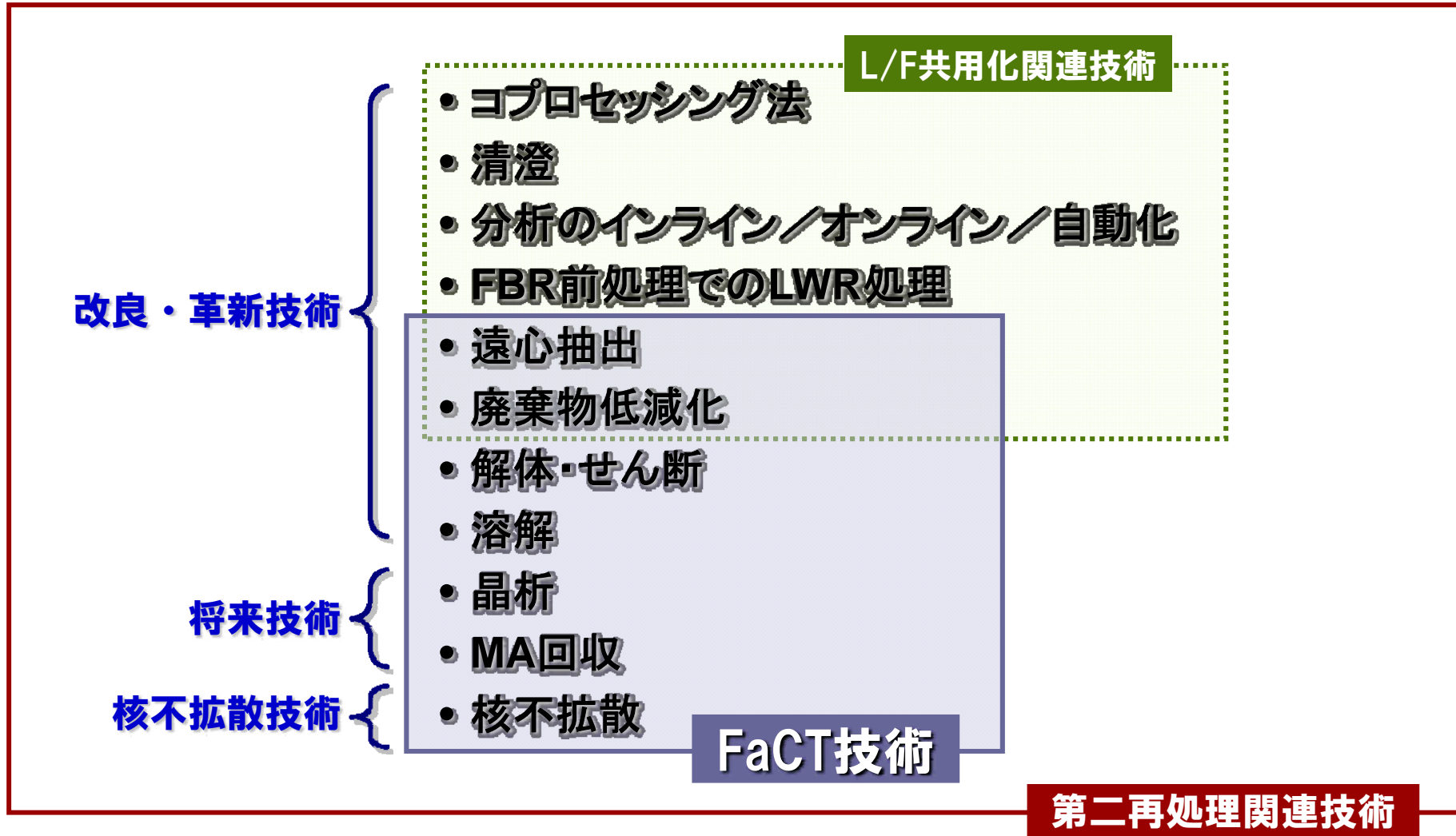
■ 核不拡散技術

- 国際的な動向から今後開発が必要と考えられる技術
⇒ 核拡散抵抗性検討、保障措置技術

- **プラント概念検討**
 - プラント概念の絞り込みを目指す
- **個別の技術開発**
 - 改良・革新技術
 - 実用化に向けた成立性を見通しを得ることを目指す
 - 将来技術
 - 方向性を決めるためのプロセスデータの取得を目指す
 - 核不拡散技術
 - 第二再処理を転用や盗取に対し十分非魅力的であると主張できる不拡散性を設定し、そのための開発計画提示を目指す



4. 今後の再処理技術開発の進め方 – 主な技術開発項目の分類 –



■ 十分な工学的信頼性の確保

- 六ヶ所のガラスや東海での経験を踏まえたR&Dを実施すること。
- 湿式再処理共通の横断的な技術、稼働率向上のための共通技術にも注目すること。

■ 十分なロバスト性の確保

- 工程条件の変動、性能の変化に対して対応可能であること。

■ 技術的な盲点の排除

- 東海や六ヶ所再処理工場等、運転・保守経験を反映すること。

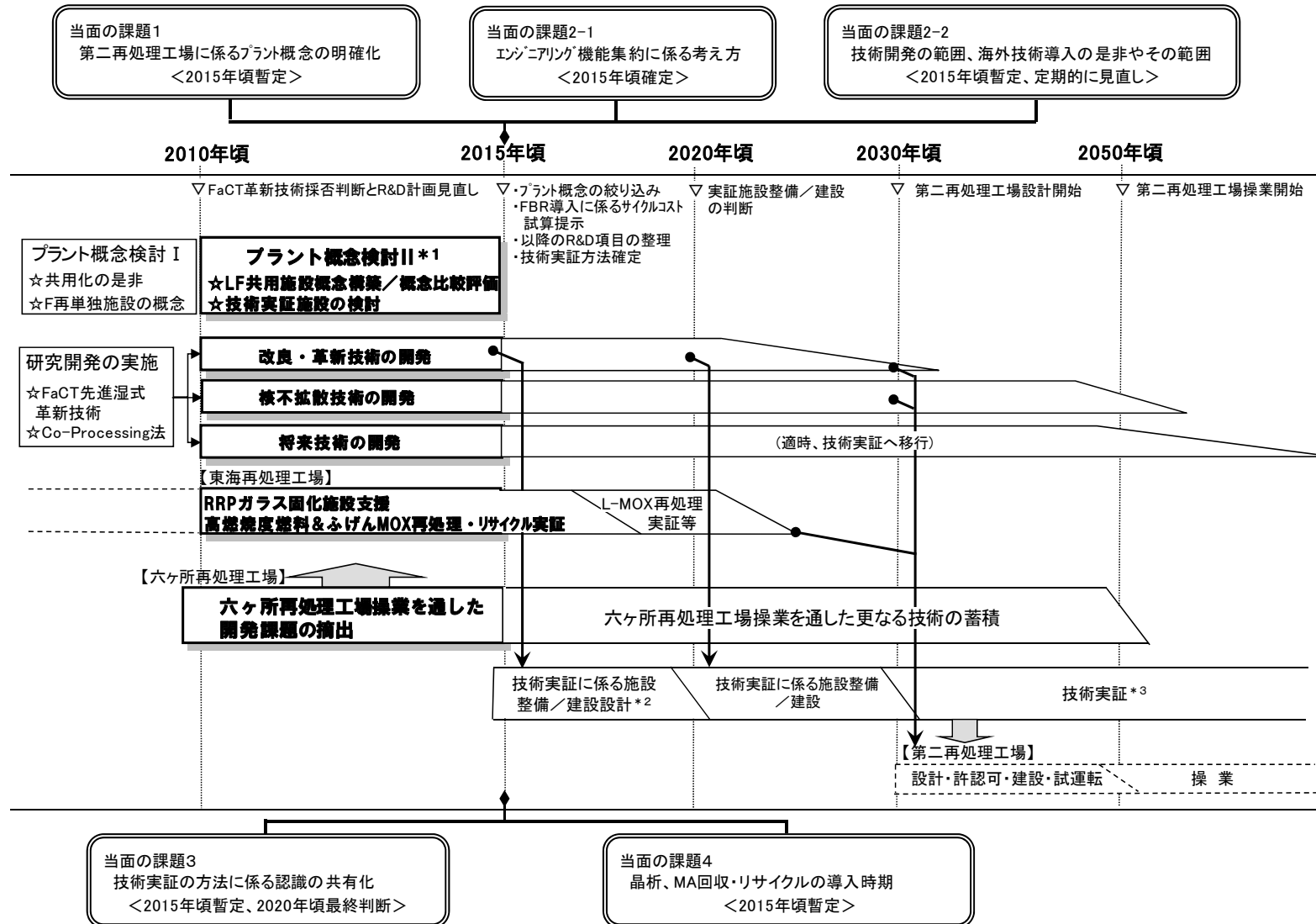
■ 国際動向の注視

- 各国の特色、事情を十分踏まえたうえで、フランス等諸外国の開発動向に常に注意を払い必要な研究協力を実施すること。

■ 核燃料サイクル全体の最適化

- 廃棄物に対しては、MAリサイクルや低除染化等に伴う種々の得失を評価し、総合的な視点から取り組み方を決めること。

4. 今後の再処理技術開発の進め方 — 2015年頃までの再処理開発の進め方と以降の展開構想及び当面の課題 —

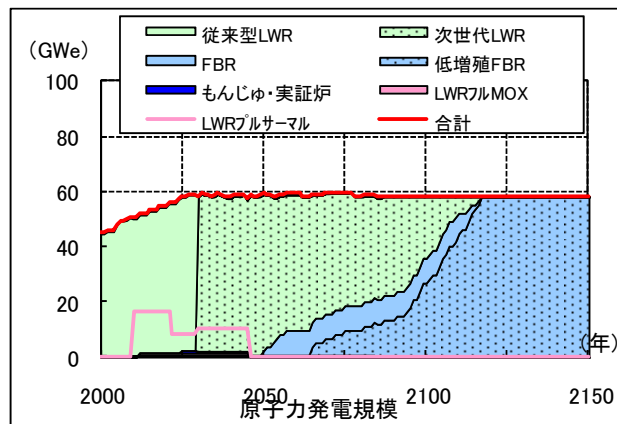


*1: FBR実証炉の建設を決定(2015年頃)するまでに、サイクルコストをある程度の確度で見積もることが必要。このため、同時期までに第二再処理工場のプラント概念の比較評価・絞り込み及び技術実証方法を固めていくための新規施設概念検討を実施。
*2: 技術実証のための施設整備/建設の設計を2015年頃に開始するまでに技術実証の規模や実証を行うべき採用技術を決定。
*3: 第二再処理工場の設計を開始する頃までに、技術実証を開始。

参考資料

長期間にわたる軽水炉からFBRへの移行期

- 軽水炉から高速炉への移行期は60年以上
⇒ FBR平衡期は今から100年後



原子力発電規模の推移（原子力発電規模58GWe, 2050年FBR導入開始, 緩やかなFBR導入ペース）

軽水炉からFBRへの移行期の特徴

- 膨大な軽水炉ストックの存在
- 初期の軽水炉中心から後期のFBR中心への再処理需要の移行及び規模の変動
- 再処理施設の寿命に匹敵する「軽水炉から高速炉への移行期」の長さ
- FBR導入時期の不確かさ
- 「軽水炉から高速炉への移行期」の長さの不確かさ
- 長い「軽水炉から高速炉への移行期」に起因する将来再処理技術の可能性

- 核燃料サイクル：FBRの平衡期に比べ遥かに複雑
- 再処理プロセス選定：考慮すべき事項が多く、選択支も多数存在

◆ 「軽水炉からFBRへの移行期」の核燃料サイクルに係る視点が不可欠

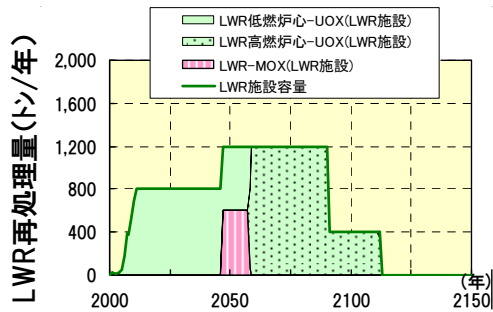
- 軽水炉サイクルとFBRサイクルの2つのサイクルを技術的・産業的に調和させることが不可欠
- 次世代の核燃料サイクルの検討に際しては、両サイクルの統合合理性の観点から判断が必要

FBR導入開始以降は寿命を終えた軽水炉が順次FBRに代替されると想定し、FBR導入を維持できる再処理需要等物量を計算。

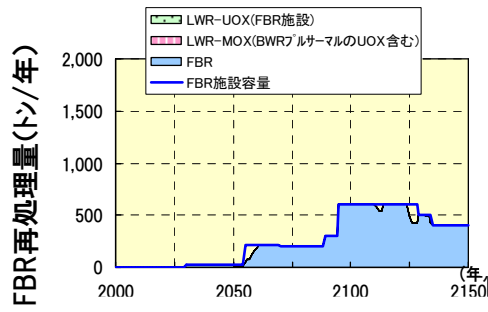
【必要なプルトニウム量を確保するための再処理需要】

— 代表的な導入ペース —

FBR本格導入後に廃止される軽水炉を全てFBRで代替し、移行期間60年。



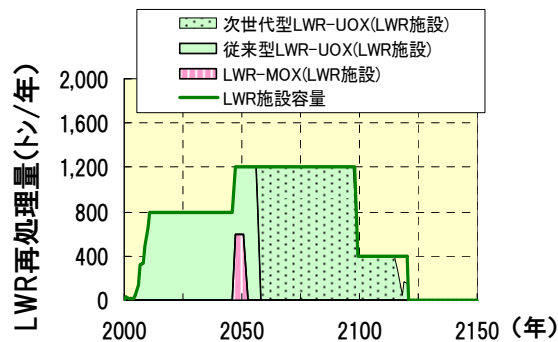
2047年から1200tHM/y程度の処理が必要



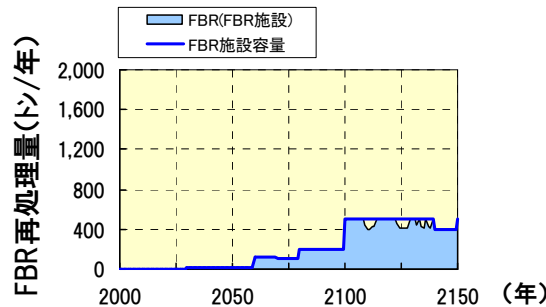
- ・ 2060年に200tHM/y程度の処理が必要
- ・ 2080年に100tHM/y程度の処理量増加が必要
- ・ 最大規模：600tHM/y程度

— 緩やかな導入ペース —

電力各社のFBR初号機はLWR初号機の導入実績をトレスするものとし、その後電力各社毎にFBR初号機導入から10年後から全てのLWRをFBRで代替する。移行期間約70年。

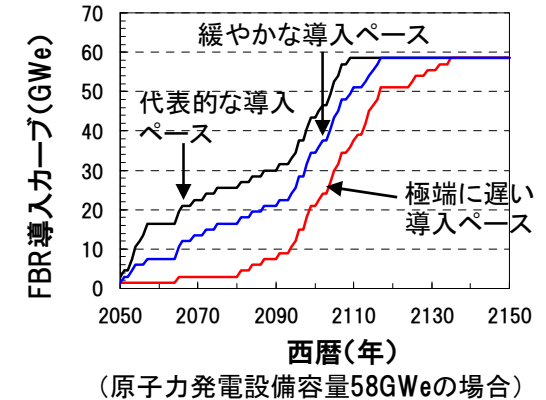


2047年から1200tHM/y程度の処理が必要



- ・ 2060年に100tHM/y程度の処理が必要
- ・ 2080年に100tHM/y程度の処理量増加が必要
- ・ 最大規模：500tHM/y程度

【FBR導入ペースの想定条件】



(原子力発電設備容量58GWeの場合)

【多くの試算ケースを包絡する再処理需要】

- ・ FBR導入時期：2050年～2065年、原子力発電規模：58～80GWeの範囲であれば概ね以下の再処理需要で包絡
 - 軽水炉需要：六ヶ所再処理工場に引き続き2047年から1200t-HM/年程度
 - FBR再処理需要：導入開始後5～10年に100～200t-HM/年程度。その後10～20年後に100～200t-HM/年程度増加、最大規模は500～800t-HM/年程度

(1) 共用化に係る認識

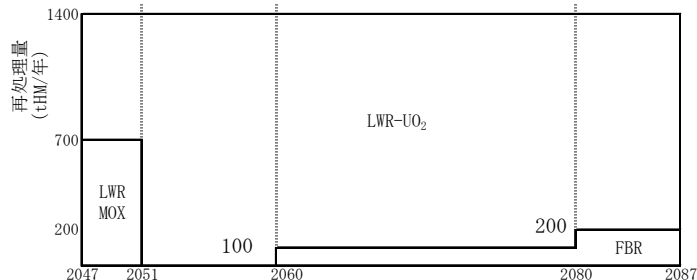
軽水炉、FBR再処理ライン共用化度合い:大
 ⇒ 建設費: 減
 試薬、ユーティリティなどの共通性の高いプロセスを組み合わせ
 ⇒ 建設費、運転費: 減

共用を行わない場合や共通性の低いプロセスを組み合わせる場合にあっては、以下の検証が必要

- ・ 経済合理性
- ・ 当該組み合わせによるメリットが経済合理性の低下を補って余りあること

(2) 第二再処理工場における再処理ラインの共用化に対応したプラントイメージ

【再処理需要に応じた再処理工場の一例】

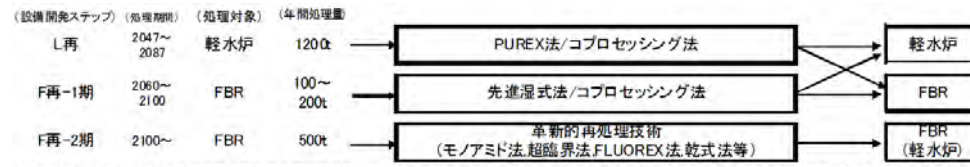


【第二再処理工場のバリエーション】

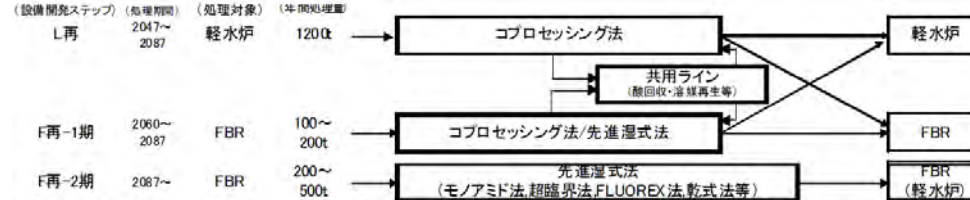
プロセスの視点	物理的視点	イメージ
異なる	異なる	軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 異なるサイト FBR → FBR用ライン → FBR
異なる	併設	同一サイト 軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 FBR → FBR用ライン → FBR
一部共用	併設 一部共用	軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 FBR → FBR用ライン → FBR 共用ライン (酸回収・溶媒再生等)
大部分共用	併設 大部分共用	軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 FBR → FBR用ライン → FBR 軽水炉/FBR 共用ライン
同一	同一	軽水炉 → 軽水炉/FBR 共用ライン → 軽水炉 FBR → 軽水炉/FBR 共用ライン → FBR

【再処理工場のバリエーション毎の採用可能性が高いと考えられるプロセス】

<バリエーション1>



<バリエーション2>



<バリエーション3>



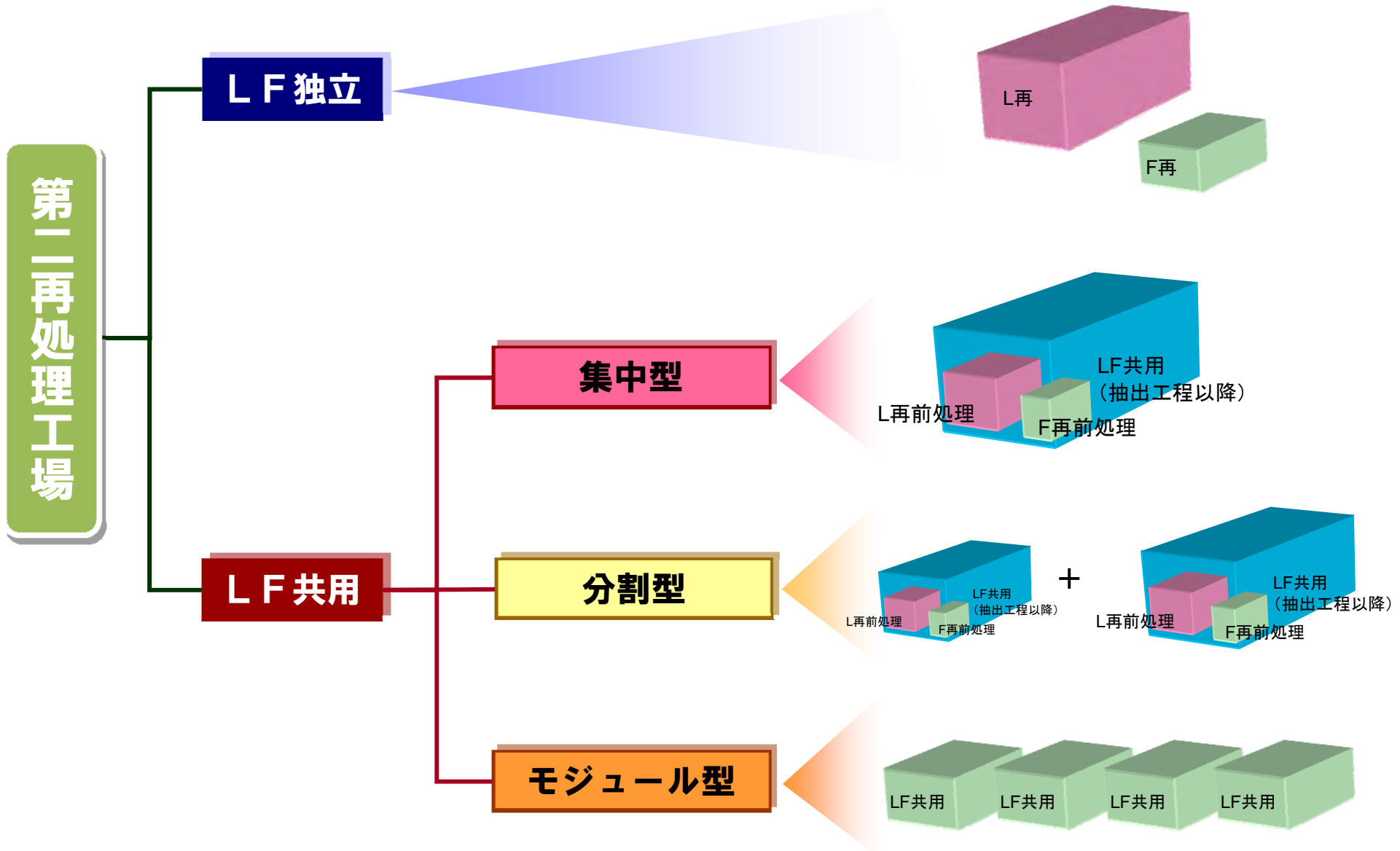
共用化に係る利害得失 (FBR燃料の安定供給性やその冗長性の確保、共用化に係る技術的成立性、設備稼働率、製品、廃棄物への影響等) についてサイクル全体の経済合理性の観点から比較検討することが重要

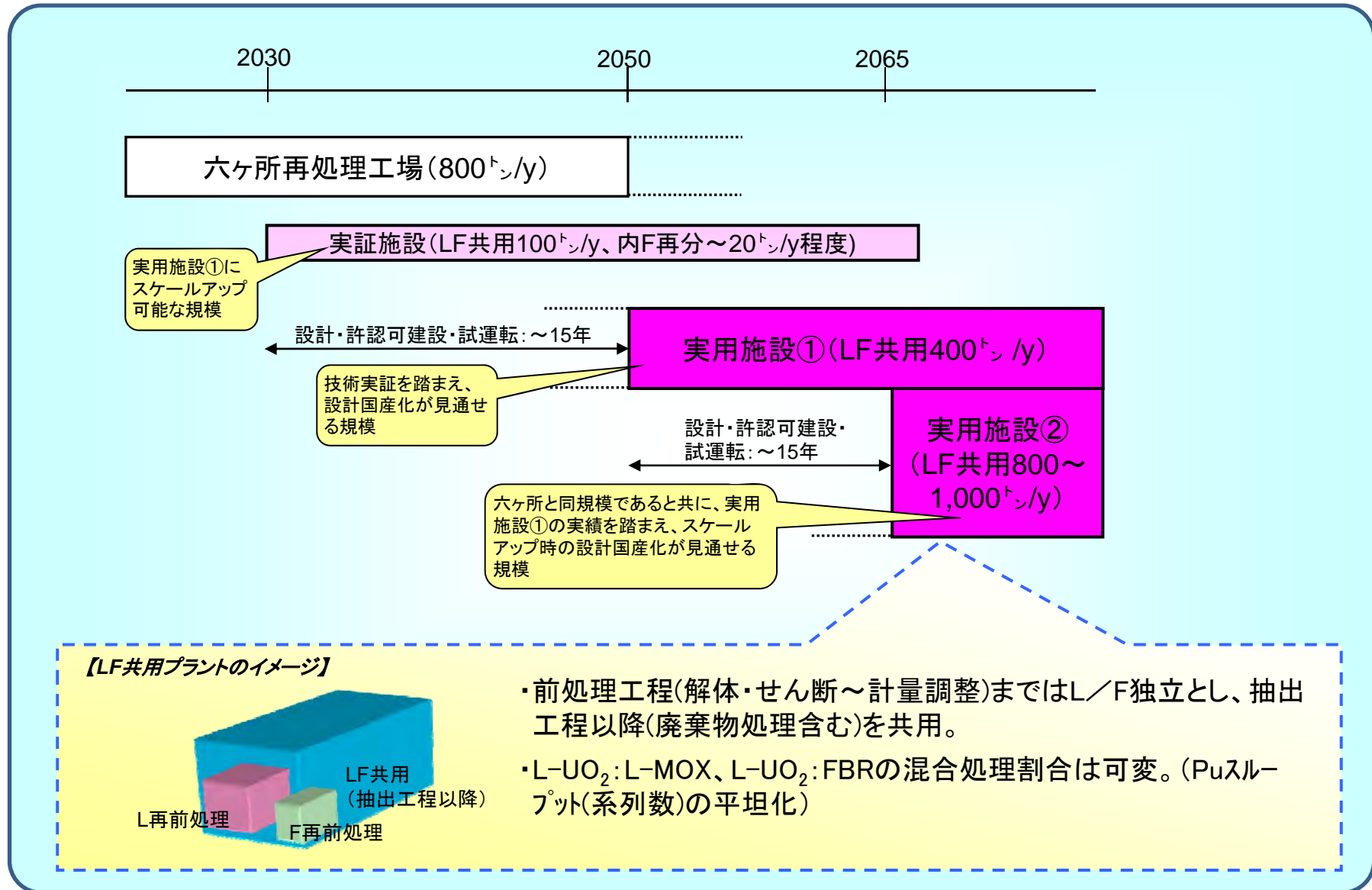
(3) 第二再処理工場に係る特定要件

第二再処理工場の具体化に当たって、回収ウランの再濃縮利用やMA回収・リサイクルについても考えておく必要あり

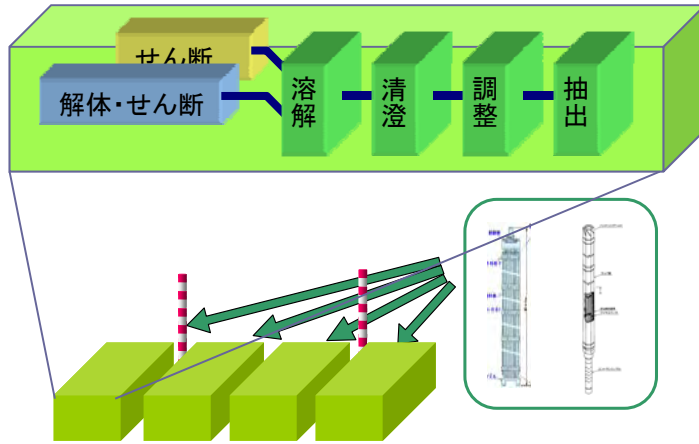
プロセス	原理	開発の狙い	現開発段階と今後の課題	技術開発の難易度と位置づけ
コプロセッシング法	Uの一部を常にPuに同伴させることにより再処理工程内でPuを単体で抽出した状態が存在しないようにPUREX法を改良した技術。	溶媒抽出工程でPuを単離しないことにより、PUREX法に比べて核拡散抵抗性を向上。	<ul style="list-style-type: none"> ・LWR/FBRの実使用済燃料を用いた小規模フローシート試験で成立性を確認。 ・プロセス制御技術の成立性が見極めが課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に伴うハードルは低い。 ・第二再処理工場用の最も有力な候補プロセスとして開発を進めておくべき技術。
先進湿式法	燃料溶解液へ晶析法を適用してUを粗回収し、後段の溶媒抽出工程でU-Pu-Npの共回収を行う。	晶析法によるU粗分離による核拡散抵抗性の向上、それに伴う抽出工程物量低減と遠心抽出器の採用による経済性向上及び廃棄物低減。	<ul style="list-style-type: none"> ・晶析法についてはFBRの実使用済燃料を用いた小規模試験、Uを用いた工学規模試験を実施。幾つかの課題点が明らかとなった段階。 ・U-Pu-Npの共回収については、FBRの実使用済燃料を用いた小規模試験を実施し、成立性を見通しを確認。 ・遠心抽出器は不溶解残渣による閉塞事象機構の解明が課題。 ・低除染製品を取り扱うため、サイクルシステム全体の合理性検証が重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・晶析法の技術開発に伴うハードルは高い。 ・遠心抽出器開発には中程度のハードルがある。 ・晶析法については2010年頃に採否判断を行うことが妥当な技術。 ・前処理工程や遠心抽出器については、他プロセスでも必要になる要素を含むことから開発を継続することが妥当な技術。
モノアミド法	溶媒抽出工程においてTBPの代わりにモノアミド抽出剤(CHON元素からなる抽出剤)を用いる。	廃溶媒に起因する廃棄物発生量を低減。多様な選択分離性能を持たせることにより、核拡散抵抗性向上、工程簡素化が可能。	<ul style="list-style-type: none"> ・U、Pu、模擬FPを用いた小規模試験により、性能確認及びフローシート開発を実施中。 ・ホット環境での性能・安定性・安全性確認、溶媒洗浄等の付帯プロセス開発を進めることが課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に伴うハードルは高い。 ・新たな機器開発が不要であることと、潜在的な可能性を考慮し、第二再処理工場の候補技術として基礎的な研究を着実に進めるべき技術。
FLUOREX法	粉体化した使用済燃料を高温度でフッ素ガスト反応させることにより一部のUをUF ₆ として揮発させ高除染で分離する。残ったU-Pu-FPIは酸化物に再転換後、溶解して溶媒抽出によりU-Puを共回収。	ウランの粗分離により後段工程の物量を低減。分離したUは高除染のUF ₆ であることから再濃縮利用に適している。	<ul style="list-style-type: none"> ・U、Pu及び使用済燃料を用いた小規模試験でプロセス成立性を見極めている段階。 ・工程の複雑さに起因する経済性の立証、粉体取扱い技術の確立、フッ化プロセスにおける核種挙動の把握、後段の湿式工程へのフッ素混入の影響評価等が課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に伴うハードルは非常に高い。 ・第二再処理工場の設計が開始されると目される頃までに課題解決が見通せる段階に至ることは簡単ではないと予想される。 ・2010年頃に以降の開発規模やその継続の是非を再評価すべき技術。

プロセス	原理	開発の狙い	現開発段階と今後の課題	技術開発の難易度と位置づけ
NCP 沈殿法	使用済燃料溶解液にU選択性の高い沈殿剤を添加して、Uの一部を沈殿・分離回収し、次にU-Pu選択性の高い沈殿剤によりU-Puを沈殿・分離する。回収した沈殿物は焼成によりペレット燃料とする。	沈殿剤の組み合わせにより工程を合理化。 CHON元素で構成された沈殿剤を用いることで二次廃棄物を発生させない。	<ul style="list-style-type: none"> ・U、Pu、模擬FPIによる小規模試験によるプロセス成立性確認、U・コールド試験による工学規模の沈殿槽・遠心分離装置の試験を実施している段階。 ・廃液側へのU-Pu移行率の把握、固液ハンドリング装置の信頼性・耐久性・保守性の確立、製品への炭素移行率の把握などが課題。 ・低除染製品を取り扱うため、サイクルシステム全体の合理性検証が重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に伴うハードルは非常に高い。 ・2010年頃に以降の開発規模やその継続の是非を再評価すべき技術。
超臨界 直接 抽出法	粉化した使用済燃料と超臨界CO ₂ に溶解させたTBP硝酸錯体を接触させて、固体からU-Pu-MAを直接抽出する。	固体から直接抽出するため抽出工程を大幅に簡素化。 硝酸使用量が最小限度であるため廃液濃縮が簡素化。	<ul style="list-style-type: none"> ・U、Pu及び使用済燃料を用いた小規模試験によるプロセス成立性確認、高圧シールバルブの工学規模試作によるシール性能確認を実施している段階。 ・燃料の脱被覆・粉化装置、粉体取扱い技術、高圧シールバルブの開発、除染性能や抽出メカニズムの解明、高圧に起因する安全性評価等が課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に伴うハードルは非常に高い。 ・2010年頃に以降の開発規模やその継続の是非を再評価すべき技術。
イオン 交換法	使用済燃料溶解液をイオン交換樹脂に通液させてU-PuとFPを分離する。	プロセス全体がコンパクト化。	<ul style="list-style-type: none"> ・U、Pu及び使用済燃料を用いた小規模試験によるプロセス成立性確認が過去に実施された段階。 ・樹脂と硝酸の反応等による火災爆発に係る安全性の確認、スラッジによる塔閉塞対策などが課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に伴うハードルは非常に高い。 ・開発主体不在であり、本技術の開発を再開することは現実的な選択ではない。
海外技術 ※代表的なプロセスのみ記載	COEX法(フランス):コプロセッシング法に似たものと推定される抽出工程とU-Puのシュウ酸共沈法を組み合わせたもの。	核拡散抵抗性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・小型のパルスカラムを使ったホット試験を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・海外技術については継続して情報収集、文献調査を実施していくことが必要である。

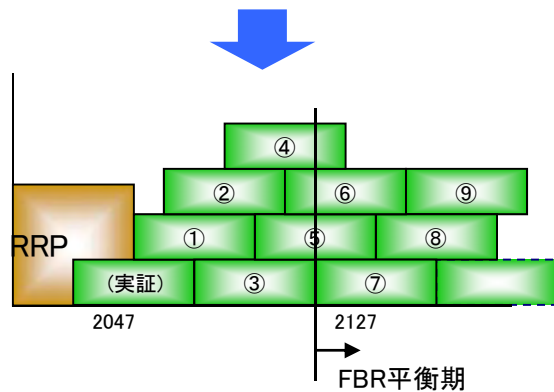




(モジュール型システム)



LF共用中規模モジュール型プラント
(~300t/y × 数ライン)



施設整備イメージ

特徴と狙い

LF共用 中規模 モジュール繰返し建設
建設インターバル: **8~10年**

LF共用プラント

- ・Pu需要に容易に追随
- ・高い利用率

中規模プラント

- ・適度な経済性

モジュール繰返し建設

- ・技術伝承が容易
- ・技術の高度化が容易
(研究開発成果のタイムリーな反映)
- ・KAIZENが容易(運転経験の反映)

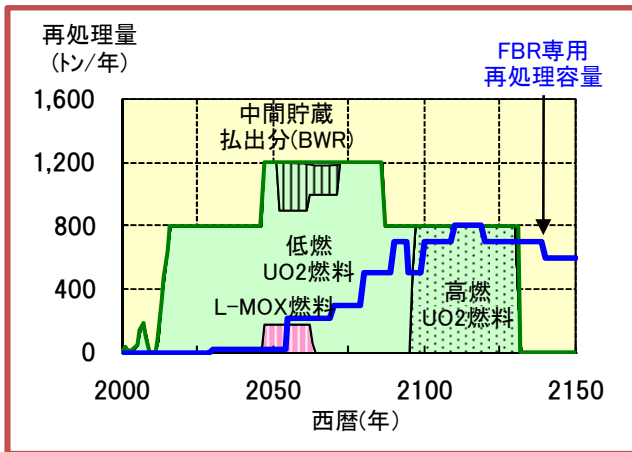
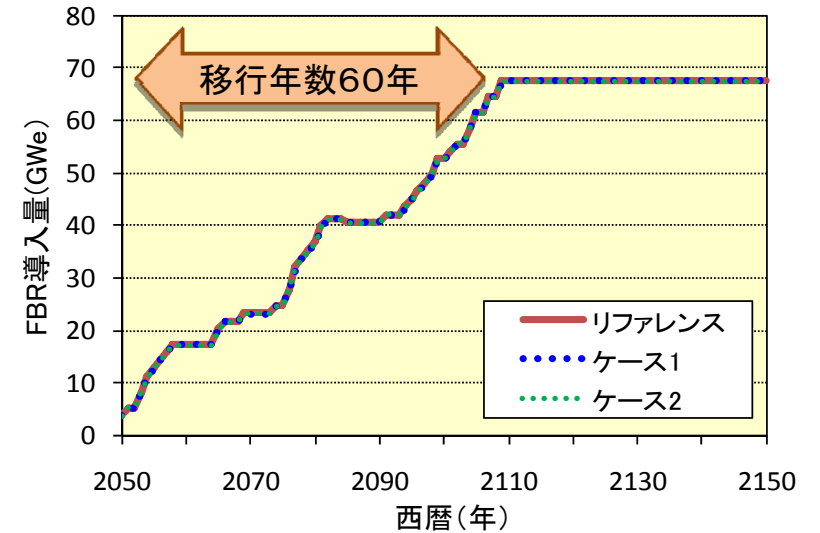
- 信頼性の向上
- 再処理単価コストダウン
- 情勢変化への柔軟な対応

項目	これまでに公表されている目標・計画など	試算において用いる想定条件
原子力発電設備容量	<p>68GWe →「エネルギー基本計画」(2010年6月閣議決定)の記載を元に計算される値。計画では、2030年までに少なくとも14基以上の原子力発電所の新增設を目指すとしており、2010年度電力供給計画通りに14基の原子力発電所が新設されて現在の約48.8GWeから約68GWeに増大すると考えられる。</p>	左記に同じ
軽水炉の取出平均燃焼度	<p>【2007年頃】 UO₂燃料 最大55GWd/t MOX燃料 BWR:最大40GWd/t、PWR:最大45GWd/t 【2014～2015年以降】 UO₂燃料 BWR:55GWd/t超、PWR:72GWd/t(PWR高度化燃料、BWR高度化燃料) →「燃料高度化技術戦略マップの概要について」(日本原子力学会 核燃料部会 燃料高度化ロードマップ実行委員会) 【2030年以降】 UO₂燃料 ABWR:70GWd/t以上、APWR:70～90GWd/t (HP-ABWRおよびHP-APWRを想定) MOX燃料 (Full MOX対応) →「次世代軽水炉開発の今後の取組について」(2010年7月29日 第43回原子力委員会資料3-4)に記載</p>	<p>【2029年まで】 UO₂燃料 BWR:45GWd/t、PWR:49GWd/t MOX燃料 BWR:45GWd/t、PWR:42GWd/t →「新計画策定会議」(2004年8月24日)にて用いた条件 【2030年以降】 UO₂燃料 BWR:60GWd/t、PWR:60GWd/t MOX燃料 BWR:60GWd/t、PWR:60GWd/t なお、新設炉のみ高燃焼度炉心を採用し、既存炉の燃焼度は変更しない(Bケース) →現状、60GWd/tを超える燃焼度の使用済燃料の組成を解析するための技術的知見が無いため。* * 仕様調査、再計算を実施中</p>
軽水炉の設備利用率	<p>2020年までに、設備利用率85%を目指す 2030年までに、設備利用率90%を目指す →原子力発電推進行動計画(2010年6月)を参照</p>	<p>2020年の設備利用率 85% 2030年までに設備利用率が段階的に90%へ上昇(その後一定) →左記を参考に今回設定</p>
プルサーマルおよび大間全MOX	<p>【プルサーマル】 2010年 プルサーマル開始 2015年までに、プルサーマルは16～18基導入を計画 →「六ヶ所再処理工場で回収されるプルトニウムの利用計画の見直し及びプルサーマル計画の見直しについて」(2009年6月16日 第22回原子力委員会資料2)を参照 【大間全MOX】 2014年 運転開始 →大間原子力発電所の建設計画を参照 (http://www.jpower.co.jp/bs/field/gensiryoku/project/scheme/index.html)</p>	<p>【プルサーマル】 2010年 プルサーマル開始 2015年 プルサーマル容量17.556GWe (電事連プルサーマル計画をもとに、JAEAで想定した数値) 2016年以降 Pu需給状況に応じて調整 【大間全MOX】 左記に同じ。但し、FBR導入のため、2048年以降はMOX炉心をUO₂炉心へ切り替え</p>

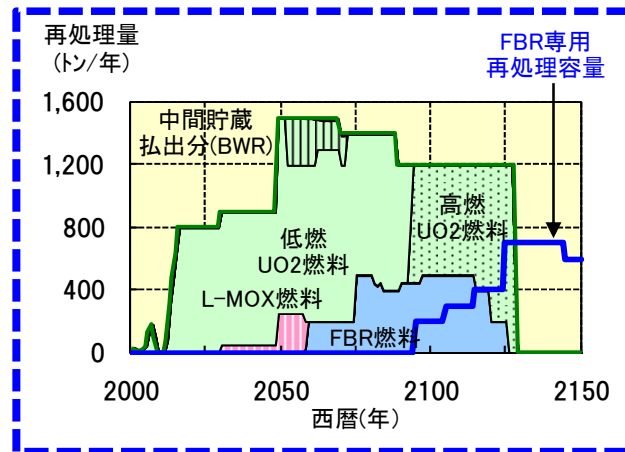
諸量評価見直しに当たっての前提となる諸元(その2)

項目	これまでに公表されている目標・計画など	試算において用いる想定条件
FBR	<p>もんじゅ：運転開始2010年 実証炉：運転開始2025年 電気出力 750MWe 実用炉：2050年導入開始 電気出力 1500MWe →高速増殖炉サイクルの研究開発方針について (2006年11月2日 文部科学省研究開発局)</p>	<p>もんじゅ：運転開始2010年、運転期間20年 実証炉：運転開始2025年、運転期間60年 電気出力 750MWe 実用炉：2050年導入開始、運転期間60年 高増殖型FBR：増殖比1.2炉心※ 低増殖型FBR：増殖比1.03炉心※※ 炉心新燃料のMA濃度上限：5wt% (但し、新燃料集合体の発熱制限2.6kW/体を超えないようMA濃度を調整) →「新計画策定会議」(2004年8月24日)にて用いた条件 一部、FaCT-I※およびFS※※で検討した内容を含む</p>
軽水炉からFBRへのリプレースの仕方	現状未定	<p>FBR導入開始以降に廃止される軽水炉を全てFBRに置き換えるリプレースの仕方。 →実証プロセス研究会にて検討した条件</p>
軽水炉再処理	<p>六ヶ所再処理工場 操業開始 2012年 運転停止 2052年(仮定) 処理量 2012年(80トン/年)、2013年(320トン/年) 2014年(480トン/年)、2015年(640トン/年) 2016年～2051年(800トン/年)、MA回収無し →日本原燃の公表情報(2010年9月10日)</p>	左記に同じ
FBR再処理	<p>実証施設 操業開始 2030年 処理量 10トン/年 →高速増殖炉サイクルの研究開発方針について (2006年11月2日 文部科学省研究開発局)</p>	<p>実証施設 操業開始 2030年 運転期間 40年 処理量 20トン/年 →左記を参考 運転期間は「新計画策定会議」(2004年8月24日)にて用いたもの</p>
炉外サイクル時間	---	<p>LWRサイクル：最短4年 FBRサイクル：最短5年 →「新計画策定会議」(2004年8月24日)にて用いた条件</p>

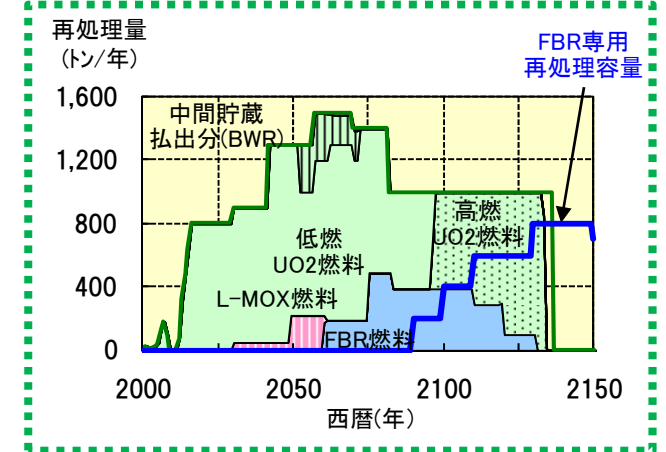
- LF独立プラント概念、LF共用プラント概念(集中型、分割型)のいずれのケースでも、**2050年FBR導入開始後(以降、軽水炉全基をFBRにリプレイス)、FBR導入ペースの維持(軽水炉からFBRへの移行年数:60年)に必要なとされるPu需要を満たすことが可能。**
(LF共用(モジュール型)についても同様)



リファレンスケース **LF独立**プラント概念



ケース1 **LF共用集中型**概念



ケース2 **LF共用分割型**概念

● 再処理プロセス技術

- Co-processing法
- 先進湿式法
- FLUOREX法
- 超臨界直接抽出法

高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会
「核燃料サイクル分野の今後の展開について【技術的論点整理】」
(平成21年7月2日)
8. (1)再処理プロセスプロファイルから得られた必要調査事項
より

● LF共用プラントの設計検討（プラントイメージの整理）

- プロセスフローダイアグラム（PFD）
- 物質収支図
- 主要機器リスト

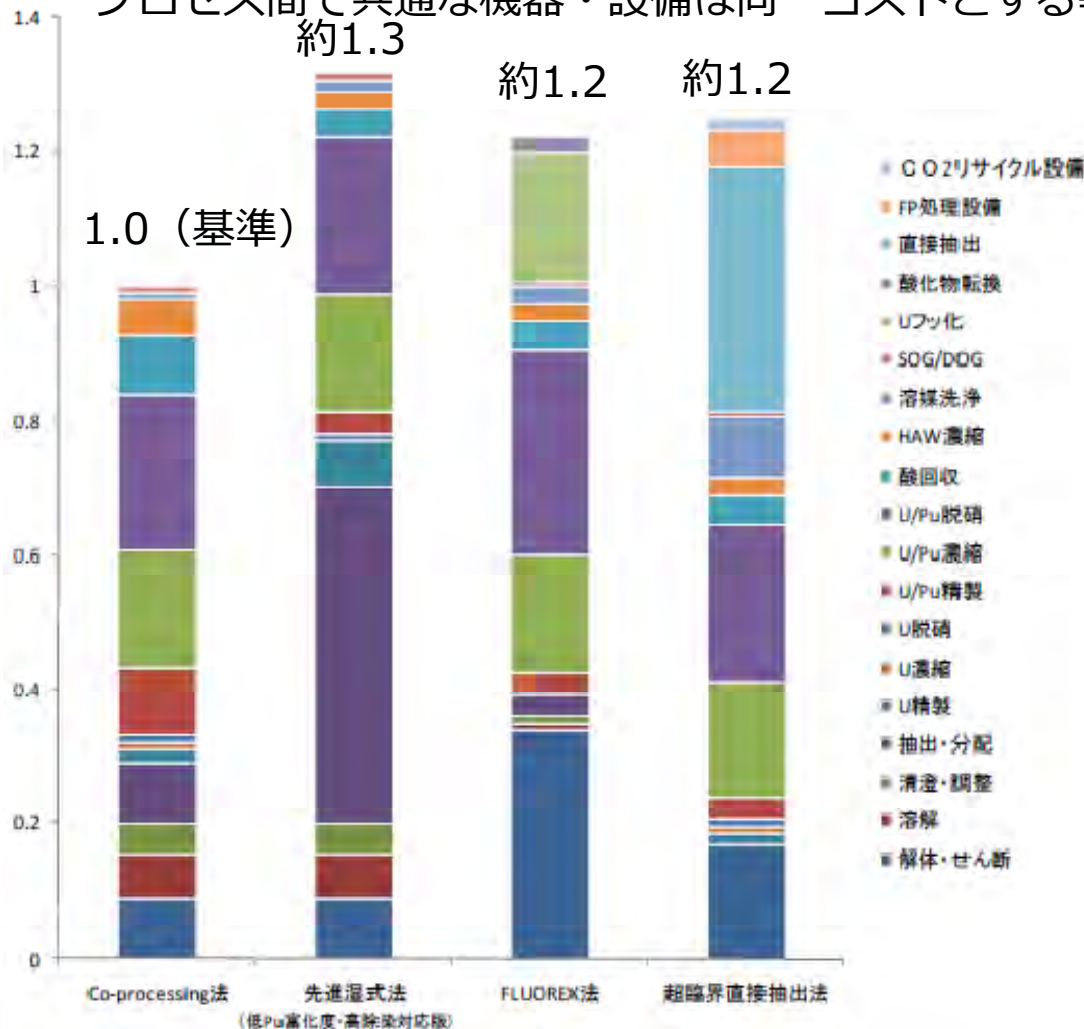
● 相互比較

- 経済合理性の観点：主要機器製作コスト（ ← 主要機器リスト）
- 環境負荷低減の観点：ガラス固化体発生量（ ← 物質収支）
- 核拡散抵抗性の観点：計量ポイント（ ← PFD）
- 技術的成立性の観点：主要な開発課題

● 総合比較

L/F移行期の再処理プロセス技術の比較 – 主要機器製作コストの比較 –

- 主要機器リストより、主要機器の製作コスト（材料費及び加工費）を試算
- 同様の設備に対しても、JAEA及び検討参画メーカ各社の算定にばらつきが認められた。
- このような、プロセスの相違とは異なる要因によるコストの相違を極力排除するため、プロセス間で共通な機器・設備は同一コストとする等の補正を行った。



全体製作コスト (相対値)

(FLUOREX法のU製品はUF₆となることから、回収Uを再濃縮する際の転換費用まで含むコストとみることが適当)

再処理プロセス技術		Co-process -ing法	先進湿式法 (低Pu富化度・ 高除染対応版)	FLUO REX法	超臨界 直接抽出法	備考
経済合理性	建設コストのうちの 主要機器製作 コスト (相対値)	1 ○	1.3 △	1.2 △	1.2 △	
	操業コスト	今回評価せず				
	施設廃止コスト	今回評価せず				
柔軟性	MA回収への対応	今回評価せず				HAWからの回収の場合、相違は小さいと推測
環境負荷 低減	ガラス固化体 発生量 (相対値)	1 ○	1 ○	1.7 △	0.8* ○	*FPの一部は高放射性固体廃棄物へ移行
	低放射性 固体廃棄物	今回評価せず				
	環境放出放射能	気体放出量は同条件で検討、 液体放出量は今回評価せず				
核拡散 抵抗性	技術障壁	今回評価せず				各プロセスともPuを単体で取り扱わないため、 一定の技術障壁を有する
	制度障壁(保障措置)	今回評価せず				
	制度障壁(計量管理)	○	○	△	△	入出量計量ポイントを検討
技術的成立性		◎	○	△	△	
資源 有効利用	Pu同位体	今回評価せず				平成20年度に実施済。 再処理プロセス技術による差は小さいと推測
	U同位体					
ロバスト性	プロセス停止	今回評価せず				
	自然災害					
現時点での総合比較		◎	△	△	△	

第二再処理工場に向けた主なR&D項目(案)

(2015年頃、RRPの操業実績、第二再処理工場に係る概念検討結果を踏まえて見直しが必要)

黒字: 国産技術として設計・製作が可能と見込まれる設備・機器・プロセス

青字: 海外からの機器輸入orライセンス生産が見込まれる機器

緑字: 特定海外からの機器輸入が出来ない場合の代替措置

赤字: 第二再処理の国産化や技術の革新性を目指した技術開発を想定

太字: プラント成立上特に重要と考えられる項目

参考-8

■ FaCT主要六課題でR&Dを実施中のもの

番号	再処理工程	L再独立プラント、F再独立プラント (軽水炉再処理にてL-MOXを処理)		L/F共用プラント	今後の主なR&D項目について		
		軽水炉再処理 1200t/y(当初6年間L-MOX600t- HM/y含む)	FBR再処理 200t/yを想定	1400tHM/y 抽出工程以降をコプロで共用化した場合を想 定	実施項目	当面(2011~2015年) 実施すべき項目	
-	プラント概念の検討	未実施	FSの一環として1999年~2005年 の間概念検討を実施 2015年を目途に実用プラントの概 念検討を仕上げる計画	H20年度は経産省受託の一環として共用化の 範囲に係る比較検討を実施 H21年度は4つの候補プロセスの相互比較を 実施 2015年度を目途に、一旦、プラントの概念検討 を仕上げることを提案 (以下はコプロを想定して記載)	検討を深め、2015年頃を目途にプラント概念 を1個に絞り込み、以降のR&D計画に反映。	同左	
-	受入、貯蔵、燃 料取扱い	機器、装置	L-UO2処理に対し燃焼度クレジット を採用し、溶解~調整工程まで の工程機器の臨界制限寸法を緩和。 L-MOX処理時にも相応した技術 開発の実施の是非を要検討。	FBR使用済燃料に対する燃焼度 クレジットに相応した技術の採用 により関連機器の臨界形状寸法 の緩和が見込まれるので、相応し た技術開発の実施の是非を要検 討。	L-MOX及びFBR使用済燃料に対する燃焼度 クレジットに相応した技術開発の実施の是非 を要検討。	L-MOX及びFBR使用済燃料に対する燃焼度 クレジットに相応した技術の開発の実施の是非 を要検討。	- (実燃料による技術実証が 2015年以降)
①	解体	機器、装置	-	FaCTの一環として、解体機を開 発。	L再:- F再:F再独立プラントと同じ	FBR実用炉燃料用の解体・せん断機開発。	同左
②	せん断	機器、装置	せん断機(LWR用)	FaCTの一環として、せん断機を開 発。	L再:L再独立プラントと同じ F再:F再独立プラントと同じ	-	同左
③	グリッド・スパー サ取扱	機器、装置	-	-	溶解槽共用化(F再溶解槽でLWR燃料を溶解) の可能性検討	グリッド・スパーサ取扱の技術的成立性を検討	当面集合体構造等を調査の上R&D を計画
④	溶解	プロセス	通常溶解 L-MOX燃料の溶解条件と対応す る溶解速度、不溶性残渣の発生 量と性状等に関するデータの拡充 (UO2燃料との相違等)	FaCTの一環として、高効率溶解 (粉化)を開発。	L再:L再独立プラントと同じ F再:F再独立プラントと同じ	MOX燃料(L-MOX、FBR)の溶解条件と対応 する溶解速度、不溶性残渣の発生量と性状 等に関するデータの拡充(UO2燃料との相 違等)	FBR-MOX燃料の溶解条件と対応 する溶解速度、不溶性残渣の発生 量と性状等に関するデータの拡充 (UO2燃料との相違等) (L-MOX実燃料は2015年以降)
		機器、装置	水車型連続溶解槽 (代替措置として、①バッチ溶解槽 の英国からの輸入、②バッチ溶解 槽の国内開発(10年程度)、が想 定される) 水車型連続溶解槽のL-MOX溶解 への適合性評価と対応	FaCTの一環として、円筒型連続 溶解槽を開発。	L再:L再独立プラントと同じ F再:F再独立プラントと同じ	水車型連続溶解槽のL-MOX溶解への適合 性評価と対応 F再用連続溶解槽開発	F再用連続溶解槽開発 (L-MOX溶解はGd により見通し有り)
		機器、装置	ハル洗浄槽、エンドピース洗浄槽 (国産化に5~10年程度の開発を 要す)	ハル洗浄は円筒型連続溶解槽と 同等機器を用いて行う計画。	L再:L再独立プラントと同じ F再:F再独立プラントと同じ	-	-
⑤	清澄	機器、装置	遠心清澄機(ロバテル型) (遠心抽出器を使用する際、遠心 清澄機の性能向上(対ロバテル 型)の要否や臨界対応に係る検討 が必要。)	遠心清澄機(JAEA型) (遠心抽出器を用いる際、清澄機 とそれ以降の工程との整合性に ついて確認試験が必要。)	抽出器として、パルスカラムを用いる場合、遠 心清澄機(ロバテル型)の採用が想定される。 抽出器として、遠心抽出器を用いる場合、清 澄機と抽出器の整合性について確認試験が 必要(同左)。	遠心抽出器と整合性の取れた清澄装置の開 発及び大型化の検討	同左
⑥	晶析	プロセス	-	FaCTの一環として、晶析プロセス を開発。	抽出工程以降をコプロで共用化する場合、晶 析技術の開発は不要。	F再独立プラントを目指した開発の一環とし て、プロセス開発を継続。	プロセスデータの取得を継続
		機器、装置	-	FaCTの一環として、円環型晶析 装置、結晶分離装置を開発。	-	-	-
⑦	抽出、精製	プロセス	コプロセッシング法 (H20年度よりMETI受託としてプロ セス開発再開)	同左	同左	コプロセッシング法開発 (F/L組成に対応して)	同左
-	抽出、精製	プロセス	-	FaCTの一環として、簡素化溶媒 抽出を開発。	抽出工程以降をコプロで共用化する場合、簡 素化溶媒抽出技術の開発は不要。	F再独立プラントを目指した開発の一環とし て、晶析法開発とセットで簡素化溶媒抽出法 を開発	-
⑧	抽出、精製	機器、装置	パルスカラム、遠心抽出器 (代替措置として、パルスカラムor ミキサセトラの国産化に10年程度 を要す) 遠心抽出器を採用する場合、大型 化のR&Dが必要。	FaCTの一環として、遠心抽出器 (晶析法との組合せを考えた50t- HM/y機)を開発。 H20年度よりMETI受託として200t HM/yの機器開発に着手。	パルスカラム、遠心抽出器 (代替措置として、パルスカラムorミキサセトラ の国産化に10年程度を要す) 遠心抽出器を採用する場合には、大型化の R&Dが必要。	遠心抽出器を採用する場合、耐久性、耐ス ラッジ性の検討や、L再規模へのスケールアッ プ性の検討が必要	同左
⑨	溶媒洗浄	プロセス	L再:アルカリ洗浄	FaCTの一環として、ソルトフリー 試薬洗浄を開発。	L再独立プラントと同じ	廃液二極化技術	当面工程調査の上R&Dを計画
-	Pu又はU-Pu- Np製品濃縮	機器、装置	蒸発缶等 (コプロを採用した場合、U-Pu混 合濃縮が必要となり、臨界安全形 状を踏まえた上で、蒸発缶の処理 能力アップが必要。)	蒸発缶等 (コプロを採用した場合、U-Pu混 合濃縮が必要となり、臨界安全形 状を踏まえた上で、蒸発缶の処理 能力アップが必要。)	蒸発缶等 (コプロを採用した場合、U-Pu混合濃縮が必 要となり、臨界安全形状を踏まえた上で、蒸発 缶の処理能力アップが必要。)	蒸発缶等の処理能力の向上が必要(設計対 応になると見込まれる)	-
-	MOX混合転換	機器、装置	MH法脱硝転換 (臨界安全形状を踏まえた上で、 RRPの約4倍の処理能力を有した 設備が必要)	MH法脱硝転換 (臨界安全形状を踏まえた上で、 RRPの約2.5倍の処理能力を有し た設備が必要) (回収U-Pu製品が低除染の場 合、U-Pu脱硝工程や燃料製造工 程の遠隔自動化開発が不可欠と なる)	MH法脱硝転換 (臨界安全形状を踏まえた上で、RRPの約4倍 の処理能力を有した設備が必要)	MH法脱硝転換等の処理能力の向上開発が 必要(連続脱硝等の開発)	- (当面基礎的検討を実施)
-	U濃縮	機器、装置	蒸発缶等	同左	同左	-	-

第二再処理工場に向けた主なR&D項目(案)

(2015年頃、RRPの操業実績、第二再処理工場に係る概念検討結果を踏まえて見直しが必要)

黒字: 国産技術として設計・製作が可能と見込まれる設備・機器・プロセス

青字: 海外からの機器輸入orライセンス生産が見込まれる機器

緑字: 特定海外からの機器輸入が出来ない場合の代替措置

赤字: 第二再処理の国産化や技術の革新性を旨とした技術開発を想定

太字: プラント成立上特に重要と考えられる項目

参考-8

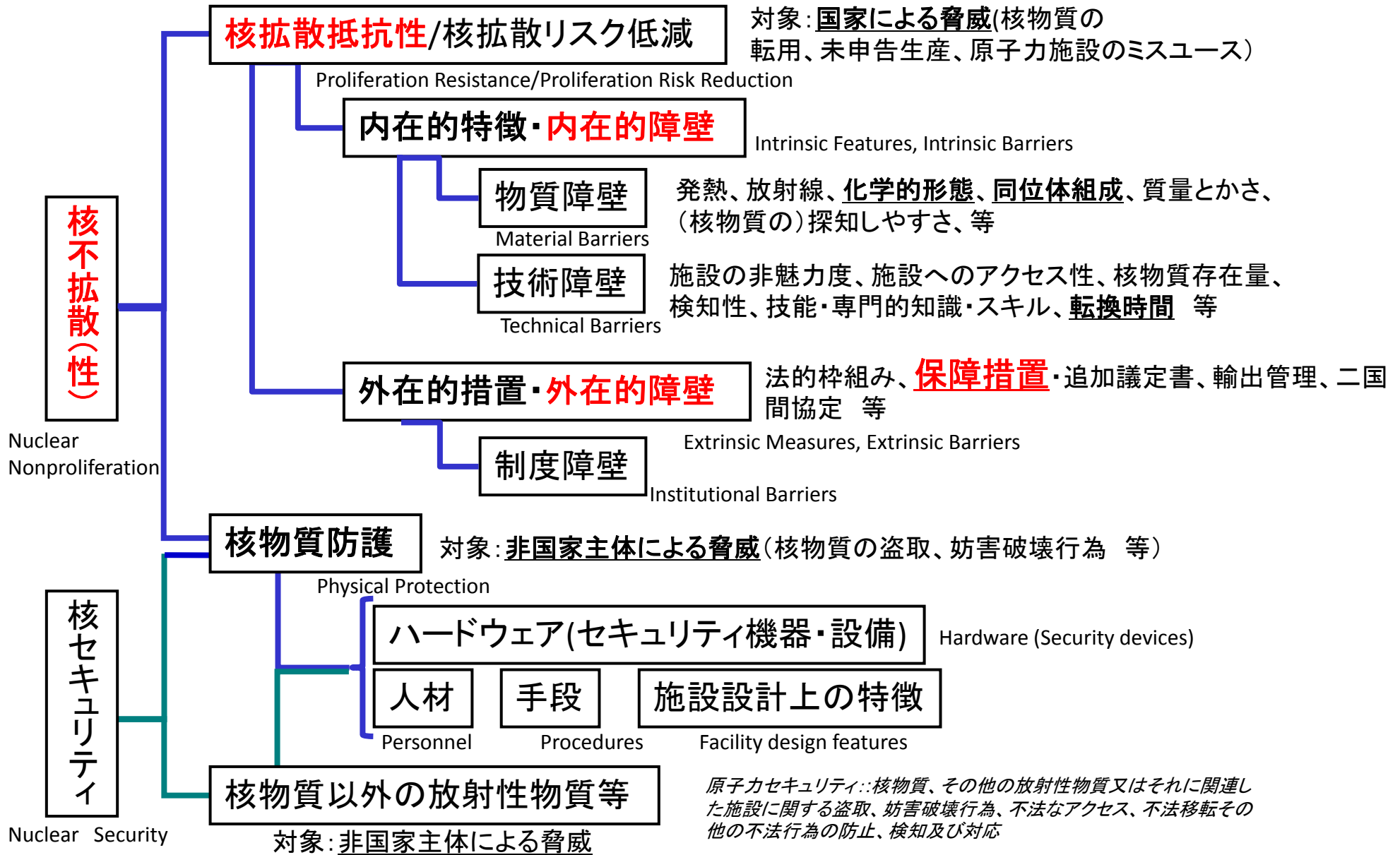
■ FaCT主要六課題でR&Dを実施中のもの

番号	再処理工程		L再独立プラント、F再独立プラント (軽水炉再処理にてL-MOXを処理)		L/F共用プラント	今後の主なR&D項目について		
			軽水炉再処理 1200t/y(当初6年間L-MOX600t- HM/y含む)	FBR再処理 200t/yを想定	1400tHM/y 抽出工程以降をコプロで共用化した場合を想 定	実施項目	当面(2011~2015年) 実施すべき項目	
-	U脱硝及び NOX回収	機器、装置	流動床式脱硝塔	流動床式脱硝塔 (低除染Uを回収する場合、U脱硝 設備以降の工程の遠隔自動化開 発が必要。)	流動床式脱硝塔	Uを低除染で回収する場合、U脱硝設備以降 の工程(回収Uの再利用を行うか否かで範囲 が異なる)の遠隔自動化開発が必要。	— (低除染の採否 に応じて実施)	
		機器、装置	U脱硝NOX回収装置 (スウィングプレッシャー法)	— (低除染Uを回収する場合、U脱硝 時に生じるNOXもかなりのアクティ ブを持つ事が想定されるので、 当該NOXをPu価数調整用試薬と して回収・再利用するかどうかの 見極めが必要。)	L再独立プラントと同じ	— 低除染Uを回収する場合、U脱硝時に生じる NOXもかなりのアクティブを持つ事が想定さ れるので、当該NOXをPu価数調整用試薬とし て回収・再利用するかどうかの見極めが必要。 要。	— (低除染の採否 に応じて実施)	
オフガス処理工程(気体)								
-	よう素追出し	機器、装置	追い出し槽等 (国産化に5年程度を要す)	追い出し塔	独立プラント(L再+F再)と同じ	—	—	—
-	換気系吸着、除 染	機器、装置	よう素吸着器、HEPAフィルター、 Ru吸着塔、オフガス洗浄、送・排 風機等 使用済よう素フィルターの処理	同左	同左	使用済よう素フィルターの処理	—	—
廃棄物処理工程(液体)								
-	高放射性廃液濃 縮	機器、装置	常圧蒸発缶	同左	同左	—	—	—
⑩	MA回収・分離		MA分離プロセス開発 (L-UO2単独処理やL-UO2とL- MOXの1:1混合処理時のMA回収 の有効性確認が必要。)	FaCTの一環として、MA分離プロ セスを開発。	MA分離プロセス開発 (L-UO2単独処理、L-UO2とL-MOXの1:1混 合処理、L-UO2とF-MOX混合処理時のMA回 収の有効性確認が必要。)	MA分離プロセス開発 (L-UO2単独処理、L-UO2とL-MOXの1:1混 合処理、L-UO2とF-MOX混合処理時のMA回 収の有効性確認が必要。)	—	プロセスデータの取得を継続 の有効性確認が必要。)
-	ガラス固化(ス ラッジ含む)	機器、装置	ガラス溶融炉(長寿命炉の開発)、 高減容技術の開発	ガラス溶融炉(長寿命炉の開発)、 高減容技術の開発	ガラス溶融炉(長寿命炉の開発)、高減容技術 の開発	長寿命溶融炉の開発 高減容技術の開発	—	現行再処理のための溶融炉の改 良開発を継続中*
-	溶媒回収	プロセス	TBP分離(TRP)、蒸留処理(RRP)	同左	同左	—	—	—
		機器、装置	蒸発缶、溶媒蒸留塔	同左	同左	—	—	—
-	廃溶媒処理	プロセス	エポキシ固化(TRP)、乾留分解式 (RRP)	同左	同左	—	—	—
		機器、装置	熱分解装置、燃焼装置、圧縮成型 装置等	同左	同左	—	—	—
-	酸回収	機器、装置	蒸発缶、精留塔等	同左	同左	—	—	—
⑨	低レベル廃液濃 縮	プロセス	廃液二極化	同左	同左	廃液二極化技術	—	当面工程調査の上R&Dを計画
		機器、装置	蒸発缶等	同左	同左	—	—	—
-	低レベル廃液固 化	プロセス	薄膜蒸発・ベレット化、セメント固 化、硝酸根分解	同左	同左	セメント固化技術開発、硝酸根分解技術開 発	—	現行再処理のためのセメント固 化技術、硝酸根分解技術の開発を継 続中*
		機器、装置	充填装置、硝酸根分解装置等	同左	同左	—	—	—
-	廃棄物処理工程(固体)		焼却炉、コンクリート固化等	同左	同左	—	—	—
-	U(IV)(Pu還元 材)製造等	機器、装置	水素還元、電解還元	—	同左	—	—	—
		U(IV)安定剤	水和HDZ(代替安定剤の開発)	—	同左	U(IV)安定剤として水和HDZに替わる代替安定 剤の開発の是非の検討	—	(文献等による調査が先決)
-	計測制御		工程モニタリング(αモニタ、nモニ タ等)、核計装インラインモニター 等のMOX使用済燃料への適合性 評価	同左	独立プラント(L再+F再)と同じ	工程モニタリング(αモニタ、nモニ タ等)、核計装インラインモニター等 のMOX使用済燃料への適合性評価	—	(実燃料による技術実証が 2015年以降)
⑪	分析		各種分析装置、GB等、省力化、 廃液低減化	同左	同左	分析作業の省力化、廃液発生量の低減化等 を旨とした技術開発	—	同左
-	サンプリング		サンプリング装置(国産化に5~10 年程度を要す)、サンプル移送装 置等	同左	同左	—	—	—
⑫	保障措置		先進保障措置技術	同左	同左	大量Pu取扱に向けた保障措置/計量管理の 効率化検討 技術的核拡散抵抗性手段の強化策検討	—	同左

*: 現行技術として別途開発中

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
改良・革新技術	①②解体・せん断	FBR燃料集合体を対象として、解体機とせん断機の整合の取れたシステムの開発を目的とする。	もんじゅ燃料を対象として、解体機とせん断機を開発を行ってきた。 解体機については、機械式切断機とレーザ式減容機の解体機構造を構築している。コールド環境下での工学試験等を通じて切断工具の選定と切断に影響を及ぼす切断速度、切断深さ等の基本性能を確認した。 せん断機については、工学規模試験を実施し、燃料ピン束の移送機構及びせん断機の基本性能を確認した。	実証炉/実用炉燃料集合体解体を対象として、集合体構造の詳細化に伴い解体方法を合理化するため、機械式切断技術とレーザ式切断技術の基本特性に基づき、ラップ管解体、燃料ピン切断へのレーザ切断技術の適用性を評価する。レーザ式減容機について、切断制御や保守方式等の検討を行い、廃棄物発生量を低減するとともに処理能力を向上させる。せん断機については、駆動部損傷防止や粉塵除去を含む保守性を向上させる。	レーザ式切断技術の適用性拡大、保守性の向上等により、実用化に向けた解体・せん断システムの技術的な成立性の見通しを得る。
	④溶解	FBR燃料を対象とした溶解槽の開発、Pu富化度等の燃料データに応じたプロセスデータの充実を目的とする。	回転ドラム型連続溶解槽（一基あたり50t/y規模）をベースに、100t/y/基規模の溶解槽装置概念構造を構築するとともに、固体成分のドラム内移送性等に関する基本的な性能を確認した。 高濃度溶解に対応した基本的な溶解プロセス条件を把握した。	回転ドラム型溶解槽として駆動部耐久性等の機械的性能の確保、ドラム内貫通口部の閉塞防止等に係る運転・保守性の確保を行う。臨界安全性評価等により、200t/y/基規模の大容量連続溶解槽の装置概念を構築する。 Pu富化度をパラメータとして通常溶解データ、揺動、加温効果に係るデータ、および、不溶性残渣や2次スラッジに係るデータを取得する。	回転ドラム型溶解槽として実用化に向けた技術的成立性、および、200t/y/基規模の大容量連続溶解槽の技術的成立性の見通しを得る。 FBR燃料特有の溶解データ、スラッジ等データの蓄積する。
	⑤清澄	遠心抽出器と整合の取れた高性能清澄システムや処理能力向上のための大型化開発を目的とする。	FBR燃料再処理用として、かつて50t/y規模の遠心清澄機の構造概念を検討してきたが、処理能力向上や2次スラッジを考慮した検討はなされていない。	燃料の高燃焼度化等による不溶性残渣の増大、2次スラッジ発生量増大、LWR燃料処理に対応した処理規模増大に対応するため、清澄効率を向上させた大型清澄機の構造を検討するとともに、必要に応じ補助清澄システムの検討を行う。また、遠心抽出器の耐スラッジ性との整合を図るための清澄性能要求事項を検討する。	高燃焼度燃料や2次スラッジに対応した清澄システム、および、LWR燃料処理に対応した大型化について、実用化に向けた概念の成立性見通しを得る。
	⑦コプロセスング法の開発	核拡散抵抗性を向上させた第二再処理工場用の最も有力な候補プロセスとして、現行のPUREX法をベースに、Puを単独で抽出した状態を存在させないコプロセスング法の開発を目的とする。	U/Pu共回収はかつてOTL、CPFでの試験実績があるが既存TRPへの適用やFBR燃料への適用を前提とするなど、各種燃料処理を行う新規プラントへの適用を考慮した詳細な検討はなされていない。2008年より研究開発を再開し、MIXSETコードによるフローシート検討や小規模U、Pu試験を開始したところである。	種々の燃料（軽水炉ウラン燃料、プルスーマル燃料、FBR燃料）に対して一定のU/Pu比の製品を排出するためのプロセス制御方法の検討、試薬流量の変更等によりPuが単独で分離されないプロセスの可能性追求、U/Pu製品溶液でPuが単離されていないことを常時モニタする技術の検討、Npの移行制御技術の可能性追求、除染性能の確認などを行う。試験はOTLで小型ミキサセトラによるU、Pu試験及びCPFで小型遠心抽出器による実溶液試験を計画する。	基本プロセスフローシートを提示し、実用化に向けたプロセス成立性の見通しを得る。
	⑧遠心抽出	設置スペース削減によるコストダウンや起動・停止の迅速化等のため、遠心抽出器の開発を目的とする。	FBR燃料再処理用として、U、Pu、Npを一括回収する基本プロセス条件をCPFにて確認した。 50t/y規模でのウランによる遠心抽出器システム成立性の見通しを確認した。また、数年間の耐放射線性と連続運転耐久性を確認した。さらに、単段/多段型遠心抽出器によるスラッジ等の影響評価を開始した。 L/F共用を視野に遠心抽出器の大型化を目指し、単段型原型機(200t/y規模相当)により流動性評価を開始した。	遠心抽出器の耐久性向上対策としてキーとなる磁気軸受け等の高度化開発を行う。 L/F共用を視野に入れた装置の大型化開発として、流動性評価を継続するとともに、臨界安全や機械的特性を考慮した基本構造を把握する。高性能清澄システムとの整合性や、単段型、多段型遠心抽出器についてスラッジ堆積時の耐性を比較評価し、運転保守対策等を検討する。	実用化に向けた遠心抽出器の基本構造を提示する。
	⑨廃棄物低減化	設備費・建設費・操業費の削減のため、再処理工程より排出される種々の放射性廃液を、極低レベル廃液と高レベル廃液に2極化し、廃棄物量を低減することを目的とする。	廃液蒸発缶での濃縮比を向上させた高濃度濃縮液と凝縮液に分ける手法で廃液2極化を目指している。しかし、廃液中に含まれるNa塩により高濃縮が阻害されている。蒸発缶での濃縮操作の妨げとなる廃液中のNa塩削減を検討し、Na廃液の主な発生原因である溶媒洗浄工程においてNa塩のない試薬採用の技術的な成立性を概ね見通している。	廃液濃縮によって廃液を2極化するにあたって、濃縮操作の妨害となる因子（Na塩量の多さ、分析試薬等による突沸等）を洗い出し、コールド試験により妨害因子の確認を行う。 それら妨害因子を排除する方策を検討し、より高い濃縮度を達成するための検討を行う。 これら検討により、再処理工程全体を踏まえた廃液2極化開発プログラムを構築する。	再処理工程における廃棄物低減化のための開発プログラムを提示する。
	⑩分析のインライン/オンライン/自動化の適用性検討	分析要員、設備の簡素化による建設費・運転操業費の削減や、分析に要する時間の短縮化による再処理プロセスの運転状態のタイムリーな把握を目的とする。	TRPではU、Pu、酸濃度分析を対象に、分析のインライン/オンライン化に関して電気化学測定法（ボルタンメトリ、導電率法）や吸光測定法（分光プローブ）を用いた基礎試験（U又はPuの単体溶液を使用）を、分析の自動化に関してフローインジェクション法、高速液体クロマトグラフィー法を用いた基礎試験を行い、分析用センサーの適用濃度範囲及び測定精度は確保可能との見通しを得ている。	インライン/オンライン分析については保守性を考慮したセンサー設置方法の試行をグローブボックス内で行い、再処理プロセス内溶液（溶解液、製品溶液、廃液）中のU、Pu、酸濃度分析を対象に非放射性FPを混ぜたU、Pu硝酸溶液による妨害元素の影響把握、遮蔽を施したFP溶液による耐放射線性・耐酸性の確認を行う。分析自動化についてはプロトタイプ装置をグローブボックス内に設置し、低線量の実液を用いた処理速度の確認を行う。	インライン/オンライン/自動化に適した分析技術を選定（成立性の確認）する。
	③FBR前処理設備での軽水炉燃料処理技術	FBR燃料前処理設備でLWR燃料を処理する方法の検討を行い、L/F共用再処理プラントの技術的成立性の可能性確認を目的とする。	これまでに開発してきた実績はない。	FBR前処理設備で軽水炉燃料処理を行うための基本要素事項（基本性能、マテリアルハンドリング等）を検討、整理する。 FBR燃料再処理のための溶解槽はLWRに比べ厳しい核的制限値があり、LWR燃料のグリッド・スペーサ部と燃料せん断片が一体の状態では溶解槽で受け入れられない。そのため、LWR燃料のグリッド・スペーサ部処理方策を検討し、装置概念の構築と取り合い条件を検討する。 それら処理方策について、溶解工程以降への影響の程度についても検討し、課題の抽出を行う。	LWR燃料をFBR再処理用の溶解設備で処理するための前処理設備の概念の提示と実用化に向けた技術的成立性可否の見通しを得る。

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
将来技術	⑥晶析	FBR燃料再処理の経済性向上、核拡散抵抗性向上を達成するため、晶析技術の開発を目的とする。	FBR使用済燃料溶解液を用いたホット基礎試験等により、U回収率と低除染燃料サイクルを前提とする液体不純物の除染係数について晶析プロセスとしての成立性見通しが得られた。しかし、U回収率の再現性や固体不純物に対する除染係数についての課題が生じ、これらの課題を評価するためのデータが不足している。 一般産業界の晶析装置、結晶精製装置を基に再処理施設に要求される基本性能を確認した。	U回収率と回収U製品純度に影響を及ぼす硝酸濃度、温度等との因果関係を初めとしたプロセスデータ取得の試験を行う。	FBR燃料再処理へ晶析技術の適用性を判断するためのプロセス基礎データを蓄積する。
	⑩MA回収	核燃料サイクルにおける環境負荷低減のため、効率的で経済性の高いMA回収技術の開発を目的とする。	溶媒抽出法と比較して廃液の低減化および設備の削減等が期待できる抽出クロマトグラフィ法を開発した。高レベル放射性廃液による基礎試験を実施し、MAの回収率や除染係数について評価した。 クロマトグラフィ装置のコード工学規模試験により、分離塔の流動特性、分離性能が良好であることを確認した。	抽出クロマトグラフィ法において、フローシート条件の改良等により、MA回収率を向上させるとともに、廃液発生量を把握する。抽出クロマトグラフィ法と溶媒抽出法の比較評価を行うため、溶媒抽出法によるMA回収率、廃液発生量等の基礎データを収集する。これらの基礎的試験から、フローシート改良によるプロセス性能向上の限界を評価し、抽出クロマトグラフィ法か溶媒抽出法かの方向性を検討する。 CPFにおいて高レベル放射性廃液からMAの有意量を回収し、MAの取扱に関する技術検討を行う。 なお、MA回収率については、サイクル全体を俯瞰し適切な目標値の検討を行う。	MA回収技術の将来の方向性を検討するため、MA回収率、除染係数、MA取扱技術等の各種データを蓄積する。
	○モノアミド法	TBPに代わりうる抽出剤として、C, H, O, Nのみの元素で構成され、TBPのようなリン酸塩廃棄物が発生しないモノアミドによる抽出分離プロセスの開発を目的とする。	U-Pu-模擬核分裂生成物 (FP) 溶液を用いた小型ミキサセトラによる基礎的試験を実施し、十分な分離度でUおよびPuを分離回収する条件には達していないものの、分離プロセス構築が可能であることを示した。 溶媒劣化や溶媒洗浄については、基礎的研究を実施している。	小型ミキサセトラによる基礎的試験として、U-Pu-模擬FP溶液による連続抽出試験とシミュレーション技術開発によるプロセス最適化検討、実燃料溶解液によるプロセス試験、連続洗浄試験による溶媒劣化評価と溶媒洗浄技術開発を行う。また、安全性検討を行う。	PUREXプロセスとの比較を行う際に必要な基盤データを蓄積する。
核不拡散技術	⑫核不拡散	将来の核燃料サイクル施設を、国家による転用や非国家主体による盗取に対して十分非魅力的とするのに必要となる核不拡散性と、その実現のための方策を示すことを目的とする。	国際的な検討の場 (GIF、INPRO等) においても将来の再処理システムが有すべき核拡散抵抗性概念を導く方法論は確立されていない。 現在の再処理施設に適用されているIAEA保障措置に対し、将来はPu取扱量の多さ、統合保障措置対応等を踏まえた対応が求められると考えられる。	将来の再処理施設においては、そのPu取扱量の多さ、統合保障措置の適用等に伴う新たな要求事項を考慮した保障措置設計が必要となることから、設計の進捗に合わせてその概念検討を実施する。また、その概念において必要となるNRTA関連技術開発等（遠心抽出器の計量管理方法の検討等）の要素技術開発を行う。 また、再処理施設の核拡散上の魅力度を下げる技術として、コプロセスング法及びMAリサイクルによるPu非単離等の開発を進めているが、国際的には更なる核拡散抵抗性向上が求められる可能性があることを踏まえ、技術障壁を更に向上させる技術について検討する。	将来再処理施設の特徴を踏まえた保障措置概念を示すと同時に、2015年以降の核不拡散技術開発プログラムを提示する。



保障措置適用性

- 既存大型再処理施設よりもさらに大量のPuを利用する次世代原子力システムでは、効率的な施設計量管理・量的検認手段＋補助的手段＋追加的手段が容易に講じられるよう、設計の段階から保障措置を考慮して効果的・効率的な保障措置適用性（Safeguardability）を備えたシステムとすることが目指すべき方向
- 低インベントリーなど核物質計量に適したプロセス設計（例：遠心抽出器）
- 徹底した設計検認
- 的確かつ迅速な計量管理、量的検認を基本的な手段とし（NRTAなど）、効率的な検認行為の補助的手段である封じ込め／監視システムを併用。
- 流れの検認（計量管理区域間移動検認）の低減化、あるいは推定値間接検認のためのプロセスモニタリング等申告通りの運転の確認のための追加的手段
- リモートモニタリング（査察）

核拡散抵抗性技術（保障措置適用性を除く）

- 低除染プロダクト、Pu/U共抽出
- MA添加（Pu238生成）
- 他

大量Pu取り扱いに適した保障措置適用性のあるプロセスおよび測定機器・システムの開発が重要

国際的な議論を重ね、「適度で効果的な抵抗性技術」を見極めることが重要