

資料1-4
第4回FaCT評価委員会
平成23年2月22日



今後の再処理技術開発の 基本的考え方

平成23年2月22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	△*

*: 開発の進捗に伴い新しい開発課題が見出されたため、「○」にはできなかったが、新規性・開発難易度共に高いものの導入時に大きな効果が期待できること及びサイクル関連の実用化技術は直ちに採否判断を行う必要にない状況であることから、「△」とした。

★ 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)

■ 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）し、FaCTで開発を行う技術を選定

■ 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-9）

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 -開発項目-

■ FaCTフェーズIIにおける技術開発

FaCTフェーズ I では、FBR平衡期のF再技術開発を進めてきたが、FaCTフェーズ II ではFBR平衡期のF再技術開発に加え、L/F移行期への対応も考慮したF再技術開発を実施する。

■ プラント概念検討

- 先進湿式法による低除染・MAサイクルのF再プラントの概念検討
- Co-processing法による高除染サイクルのF再プラントの概念検討

■ 個別の技術開発

- 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、開発技術を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開発の効率化を図る。

■ 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 ⇒ 遠心抽出器など

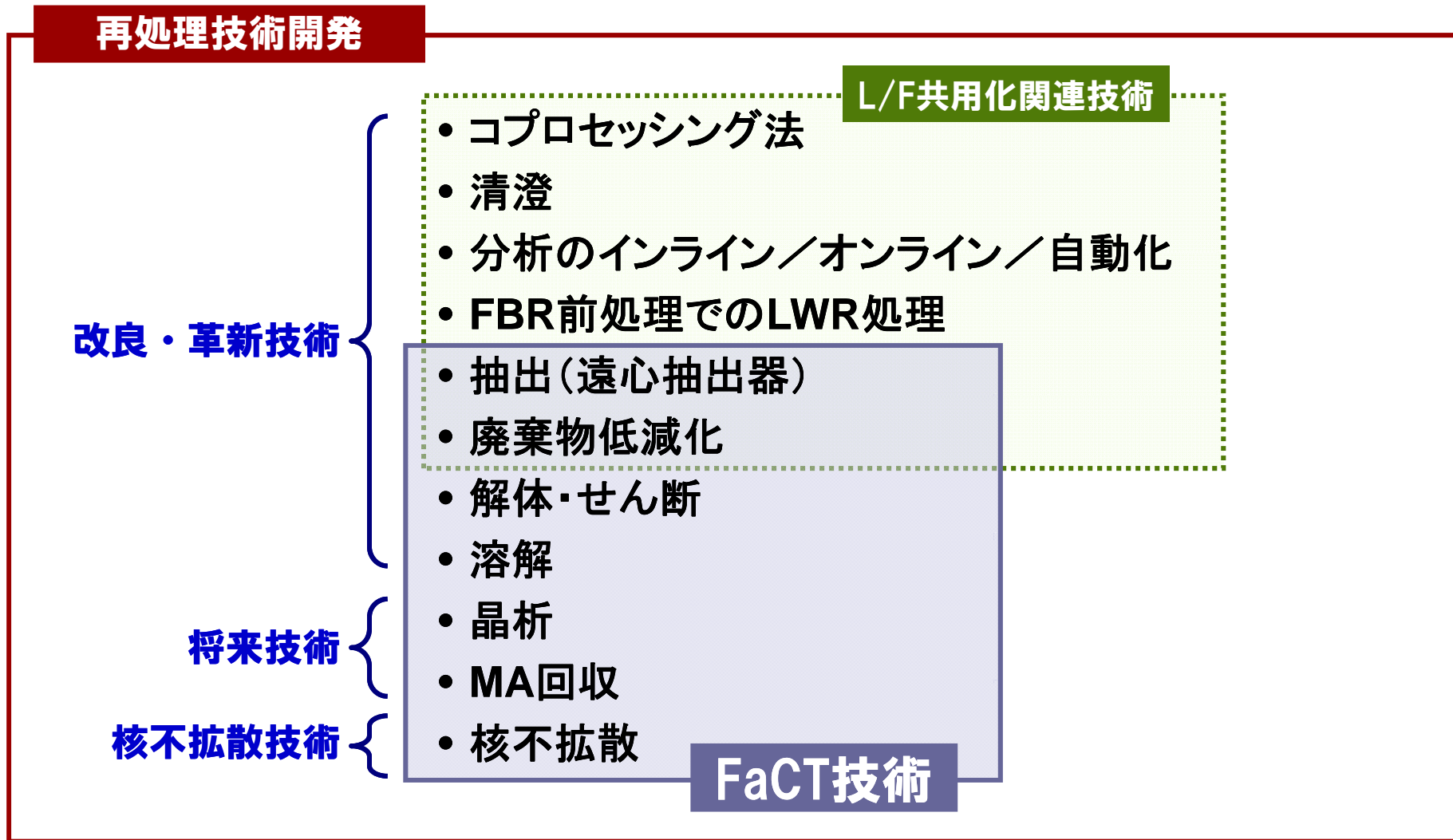
■ 将来技術

- 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 ⇒ 保障措置技術、核拡散抵抗性技術検討

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 ー主な技術開発項目の分類ー



■ 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、信頼性向上に係る検討を実施すること。
- 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。
- 産業界、大学、研究機関等の関係者のご意見にも留意すること。

■ 国際動向の注視

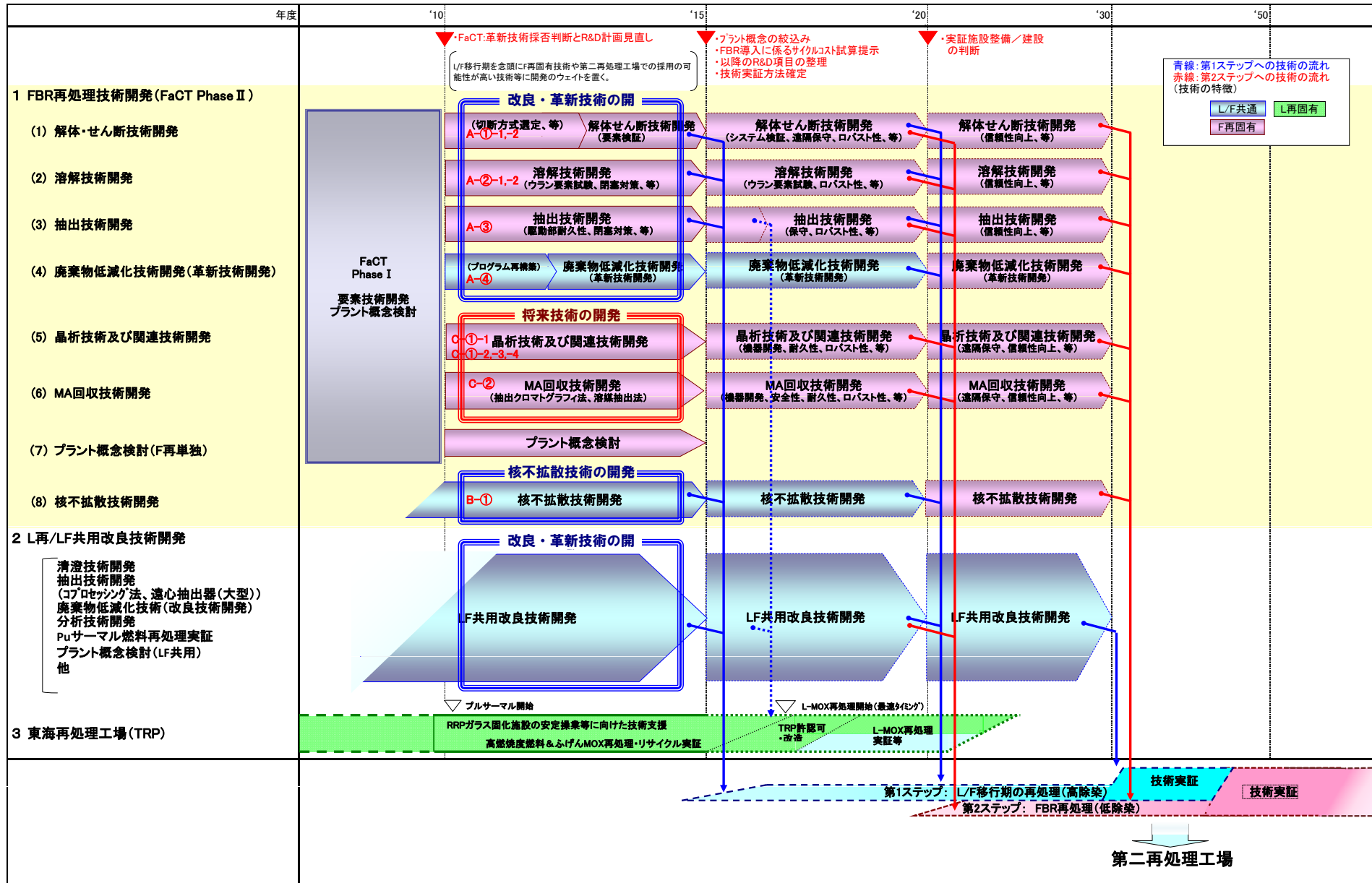
- 各国の特色、事情を十分踏まえたうえで、フランス等諸外国の開発動向に常に注意を払い必要な研究協力を実施すること。

■ 核燃料サイクル全体の最適化

- 炉、燃料製造と整合のとれた開発を行うこと。
- 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。
- 代替技術や代替技術採用が各工程へ与える影響についての検討も行うこと。



4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 再処理技術開発ロードマップ案 -



4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(1/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
改良・革新技術	解体・せん断 A-①-1: 解体 A-①-2: 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。	A-①-1 もんじゅ燃料を主な対象として、解体機の開発を実施してきた。 解体機としては、機械式切断機とレーザー式減容機の解体機構造を構築している。また、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。尚、切断条件によっては切断工具(砥石)に欠け等が生じたものの、その後の改善により、ほぼ克服できるとものと判断した	≪方針≫ 解体技術については、解体操作の容易性を考慮した集合体構造の検討を行うと共に、レーザー式切断と機械式の比較評価を実施し、2013年頃に切断技術の絞り込みを行う。また、解体システムの信頼性向上の観点から各種要素試験を実施する。 尚、解体システムの遠隔保守構造の改良や実寸大燃料集合体を用いたシステム検証試験については、2016年度以降に実施する予定。 【1】燃料集合体構造の改良と解体操作の合理化 解体操作の合理化を図るため、実証炉/実用炉燃料集合体構造について、燃料製造や炉心設計部署等と検討を進め、現行の解体方法を改良する。 【2】切断方式の改善(レーザー切断技術の判断を含む) 実用炉・実証炉燃料集合体構造の検討状況と連動しながら、レーザー式切断技術について、一般産業界の知見を反映しつつ、小型試験体を用いた要素試験により、ドロス発生量、ラッパ管と燃料ピンの溶着、燃料ピンの損傷を低減できる切断条件を選定する。 機械式切断技術については、模擬燃料集合体を用いた解体試験を行い、切断速度の向上や異常時を想定した性能評価を行う。2013年頃にはレーザー式と機械式について切断技術の絞り込みを行う。 【3】信頼性の向上 解体システムの頑強性の向上として、2015年迄は緊急性の高い粉じん対策又は溶融ドロス対策について、選定した切断方式による要素試験を行い、回収性能、防塵対策の有効性を評価する。破損や変形燃料集合体等に対する頑強性の評価では、小型要素試験体を用いた検証試験を行う。	実用炉燃料集合体構造に整合した合理的な解体方法を選定し、実用化に向けた解体・せん断システムの技術的な成立性を確認する。
			A-①-2 せん断機については、工学規模試験を実施し、せん断長さやピンの開口率等の短尺せん断データを取得するとともに、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。	≪方針≫ せん断技術については、燃料ピンの照射後特性に配慮しつつ、通常長さ(約3cm)のせん断データの拡充を図る。また、稼働率を確保する上で重要な粉塵対策を検討する。 尚、せん断機の保守構造改良やシステム全体の検証試験は2016年度以降を予定。 【1】照射後燃料ピンの影響評価 照射後の燃料ペレットや被覆管(ODS鋼等)の物性情報を収集し、照射特性を考慮した模擬燃料ピンを製作、工学規模せん断試験装置を用いて、FBR燃料ピンのせん断データ(主に被覆管等の脆化や燃料物性変化に着目)の拡充を図る。 【2】信頼性の向上(一部は2016年以降に実施) せん断機では、稼働率向上の観点から、せん断工程でのラッピングワイヤや粉塵の影響を評価、効果的な対策を講じる必要がある。TRP等の先行プラントでの経験を参考として、粉塵除去方法を構築し、要素試験によりその効果を確認する。尚、具体的な保守構造の改良や変形燃料ピンを多量に用いた検証試験等については、2016年以降に実施する予定。	

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(2/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
改良・革新技術	溶解プロセス開発 A-②-1	FBR燃料に適した溶解プロセスの確立を目的とする。	A-②-1 FBR照射済燃料を用いたピュカスケール溶解試験で、基本的な溶解プロセス条件を把握した。	<p>《方針》 溶解プロセス開発では、溶解速度の精度向上に反映するための溶解プロセスデータの拡充とモリブデン酸ジルコニウム等のスラッジ基礎データの蓄積を重点的に実施する。尚、溶解液濃度は晶析技術の導入を想定しない中濃度条件を対象とする。</p> <p>【1】溶解プロセスデータ(燃料性状、攪拌条件)の拡充 溶解反応に与える攪拌効果の影響を定量化するとともに、溶解速度式評価の精度向上のため、各種燃料性状(Pu富化度、燃焼度)及び各種攪拌条件下での溶解プロセスデータを蓄積する。</p> <p>【2】スラッジ基礎データの蓄積 スラッジ中へのPu移行量の把握、及び信頼性向上(機器寿命、保守方式等)へ与えるスラッジの影響(溶解槽内のスラッジの付着・閉塞等)を評価するため、スラッジの発生条件、組成、物性等の基礎データを取得する。また、スラッジ挙動の中で特に機器・プロセスへの影響度の大きい物質や不足データについては、その後の回収方法や除去方法への反映を考慮して、2016年以降もデータ取得を行う予定である。</p>	FBR燃料特有の溶解データ及びスラッジ等のデータを蓄積し、機器開発に反映させる。
	溶解機器開発 A-②-2	信頼性・経済性に優れた溶解機器である回転ドラム型連続溶解槽の実用化を目的とする。	A-②-2 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。	<p>《方針》 連続溶解槽の開発については、信頼性及び稼働率向上の観点から、最も重要性の高い耐閉塞性確保と駆動部の耐久性確保に向けた開発を重点的に実施する。また、スケールアップに向けて、溶解性能の影響評価、臨界安全シナリオの検討を進める。尚、遠隔保守構造の改良や工学規模試験装置を用いた長期運転時の安定性(耐久性・耐閉塞性)に関わる検討については、2016年度以降の実施を計画している。</p> <p>【1】信頼性の向上 (閉塞発生要因及び対策の検討) ドラム内でのスラッジ等に起因する閉塞の発生状況(要因、頻度等)を把握するとともに緩和策及び解除方法を構築するため、ステージ間の連通管を模擬した要素モデルを用いて閉塞に関する基礎データを取得する。 (駆動部の耐久性の検討) 硝酸ミストや放射線の影響が混在する実運転条件下において長期の運転を可能とする軸受部の構造を構築するため、耐酸性/耐放性に優れた軸受及び軸封部の構造を検討するとともに、駆動部の構造を模擬した要素モデルを用いて長期運転時の耐久性を評価する。</p> <p>【2】スケールアップに伴う溶解性能への影響評価 溶解槽のスケールアップに伴い変更となるステージ形状や揺動条件が溶解速度に及ぼす影響を把握するため、要素試験装置を用いた試験により基礎データを取得する。</p> <p>【3】臨界安全シナリオ、未臨界構造の検討 100 t/yを超えるスケールアップ時の溶解槽の臨界安全性を確保するため、臨界安全シナリオ及び溶解槽構造の見直しを行い、必要により付加すべき設備を検討する。</p>	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、及び、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。

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(3/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
改良・革新技術	遠心抽出器 A-③	高燃焼度MOX燃料の処理において特長を発揮し、コストや稼働率の観点で従来機器に対して競争力のある遠心抽出器システムの確立を目的とする。	<p>A-③</p> <p>単段型の遠心抽出器をベースに、ウラン試験によるシステム基本性能を把握するとともに耐久性(連続運転)/耐放射線性に関するデータを取得し、直接保守および遠隔保守構造の検討を進めた。これにより、50t/y規模機の基本構造を確立した。</p> <p>また、多段型遠心抽出器についても情報収集を進めるとともに、単段/多段型遠心抽出器内におけるスラッジ堆積に関する評価検討を開始した。</p> <p>さらに、スケールアップ性の検討では、単段型について臨界安全評価を実施するとともに、中性子吸収材を内包した大型機(200t/y規模相当)を製作し、所定の流動性能を確認した。</p>	<p>《方針》 遠心抽出器については、信頼性及び稼働率向上の観点から、最も重要性の高い駆動部の耐久性確保に関する検討を重点的に実施する。また、抽出器の型式選定の観点から、単段/多段型遠心抽出器の選定に関する比較評価についても検討を開始する。</p> <p>尚、200t/y規模を超える大型機の抽出性能評価(ウラン試験)、ホット環境下での機器実証については、2016年度以降の実施を想定している。</p> <p>【1】信頼性の向上(高耐久性駆動部の開発) 磁気軸受型駆動部の長期連続運転データの蓄積を図るとともに、F再用遠心抽出器の基本構造を構築する。また、一般産業界の回転機器の保守・信頼性の知見を加え、各保守方式(遠隔保守/直接保守)に対応した構造と保守方法(補修、交換方法等)を検討し、稼働率向上のための機器・運転保守の情報を整理する。</p> <p>【2】ロバスト性の評価 プロセス条件変動に強い遠心抽出システムを構築することを目的として、抽出計算コードを活用し、遠心抽出器を用いたフローシート条件下で想定される異常事象の影響を推定・評価しつつ、小型遠心抽出器を用いたコールド/ウラン試験等により遠心抽出器システムにおけるロバスト性を評価する。尚、これらの評価は、一部、2016年以降も継続する予定である。</p>	<p>実用に供する遠心抽出器の基本構造を確立する。</p> <p>ここで、遠心抽出器システムが達成すべき性能条件は別途定める。</p>

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(4/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
改良・革新技術	廃棄物低減化 A-④	再処理工程において発生する種々の放射性廃棄物を合理化することを目的とする。	<p>A-④</p> <p>再処理工程より排出される種々の放射性廃棄物のうち放射性廃液に着目し、これを極低レベル廃液と高レベル廃液へ2極化する技術開発を進めている。2極化に当たっては、安定した廃液濃縮運転操作及び大きな濃縮比の確保の観点のためNa廃液の低減(ソルトフリー化)が重要となることから、Na廃液の主な発生原因である溶媒洗浄工程をソルトフリー化する技術について優先して開発を実施しており、技術的な成立性を概ね見通せている。</p>	<p>《方針》液体廃棄物のみならず再処理施設において考慮する必要のある廃棄物全般にかかる総合的な合理化を念頭に、まず廃棄物合理化技術に係る研究開発プログラムを改めて構築した上で、プログラムに基づいて開発を進める。なお廃液2極化概念の実現に向けた研究開発についても新プログラムに反映し以降そのプログラムに基づいて実施する。</p> <p>【1】廃棄物合理化プログラム構築 再処理工程より発生する種々の廃棄物を合理化し、その処分を軽減することを念頭に、廃棄物合理化技術に係る研究開発プログラムを構築する。各種廃棄物・廃液の発生経路・発生量を明らかにした上で、その種類と量の両面から合理化する方策について検討する。廃液2極化もこの検討の対象に含めることとする。さらに、検討した合理化方策を実現するための技術開発計画を立案する。</p> <p>【2】廃棄物合理化プログラムに基づいた技術開発の実施 上記で構築したプログラムに基づいて開発を行う。なお本プログラムで提示される課題のうちL/F移行期(2050年頃)の実用化を想定する技術についてはLF共通技術開発として、それ以外についてはFaCTの一環として実施する。後者の候補としては、廃液を対象とした高減容濃縮技術等があげられる。</p> <p>【3】濃縮妨害要因の同定 プログラム構築に先立ち、廃液2極化に係る研究開発の一環として、模擬廃液を用いたピーカースケールでの濃縮試験により、蒸発濃縮操作の妨害となる要因を特定する。その結果は廃棄物合理化プログラム構築作業に反映し、プログラム構築後は廃液2極化に係る研究開発も【2】の中で実施する。</p>	再処理工程における廃棄物合理化のための開発プログラムを提示する。

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(5/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
核不拡散技術	核不拡散技術 B-①	<p>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。</p>	<p>B-① 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。</p>	<p>《方針》核不拡散性についてはフェーズ2より技術開発を開始することを踏まえ、採用すべき核不拡散性技術、特に保障措置関連技術の特定を重視した開発を進める。</p> <p>【1】保障措置概念設計研究 将来の再処理施設においては、既存施設においても改良が進められている最新の保障措置技術を反映するほか、そのPu取扱量の多さ、統合保障措置の実施等に伴う新たな保障措置要求に対応できるよう設計時から考慮する必要がある。かかる観点から、既存施設及び国際的議論における保障措置の動向を踏まえつつ、施設設計の進捗に合わせて、保障措置にかかる設計研究を実施する。当該研究においては、上記保障措置要求への対応と施設の運転を両立させることのできる計量管理方法の検討(物質収支区域、枢要測定点及び使用する計量・分析機器の検討並びに当該条件におけるMUF評価期間の検討等)を実施する。</p> <p>【2】保障措置要素技術開発 将来の再処理施設に要求される保障措置概念に対応するため、その際に必要となるNRTA対応分析・計装技術開発等の要素技術について、国内外の技術の進捗を反映しつつ開発計画を立案し、その計画に基づく開発に着手する。</p> <p>【3】核拡散抵抗性技術検討 核拡散抵抗性向上に貢献する再処理技術としては、既に検討を進めているPuを単離しない技術としての先進湿式法及びピコプロセス法がある。FaCTフェーズIIにおいてはそれに加え、例えばPuの単離を目的とした改造を困難にするような技術など、更に核拡散抵抗性を向上させる技術とその効果、成立性等について検討する。</p>	<p>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ともに、2016年以降の核不拡散技術開発プログラムを提示する。</p>

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(6/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
将来技術	晶析 C-①-1	FBR燃料再処理におけるUの粗分離及びU/Pu/MA製品のPu富化度粗調整を行う晶析工程を導入し、核拡散抵抗性・経済性に優れた先進湿式法再処理の実現を目指す。	<p>C-①-1 FS以前の開発ではホット基礎試験による原理確認、晶析装置の基本特性を確認し、導入時の経済性評価(建設費の約1割削減)より、革新技術として選定された。</p> <p>FaCT フェーズ1ではプロセス開発の結果、U回収率の制御性、固体不純物の同伴によるDF低下が課題として認識された。U回収率については試験条件によって数%の範囲で変動することが明らかとなった。一方、結晶精製技術の開発により固体不純物の精製見通しが得られたが、工程の複雑化等の課題も摘出された。また、晶析装置及び周辺機器については、非定常時を含む特性データを取得し、致命的な課題が無いことを確認した。</p>	<p>《方針》 晶析技術では、技術的成立性を判断する上で重要なU回収率の制御性と除染性能の確保に重点を置いた検討を実施する。本検討結果を基に2015年に採否判断を行う。</p> <p>尚、機器信頼性に関する検討については、プロセス成立性が見通せた段階で再開することとし、2016年度以降に進める。</p> <p>【1】U回収率の制御性に関する検討 U回収率の変動要因を解明し、U回収率に対する制御性を向上することを目的として、U回収率の一つの指標である単純系及び多成分系でのU溶解度等の基礎データを蓄積・拡充する。これによって、U晶析率に関する各種要因の影響を定量的に評価し制御性の向上に反映する。</p> <p>また、U回収率については結晶精製技術を導入することで、結晶精製時にU結晶の一部が融解することから、晶析装置において予め数%高いU晶析率を確保する必要がある。そのため、ウランを用いたビーカスケール規模の基礎試験を実施し、U回収率の向上の観点からも検討を行う。</p> <p>【2】U結晶の除染性に関する検討 結晶精製技術については、模擬物質の妥当性を評価しつつウラン試験等による基礎データの拡充を行う。また、結晶精製過程における影響因子の解明やPu-Cs複塩などの固体不純物の物性などの基礎データ拡充を進める。</p> <p>また、結晶精製技術の導入による影響(工程の複雑化等)を評価する。</p>	低除染燃料サイクルの観点から燃料、炉との整合性を考慮しつつ、晶析技術の成立性を基礎的研究レベルで評価する。処理性能の検討を深め、プロセス面から晶析技術の成立性を評価する。 2016年以降本格的に開発を開始する。

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(7/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
将来技術	単尺せん断 C-①-2	FBR燃料を対象とした短尺せん断技術の確立を目的とする。	C-①-2 模擬燃料ピンを用いたせん断試験により短尺せん断の条件を把握した。	(晶析技術に関する研究開発の結果を踏まえ、必要に応じ2016年以降対応する)	-
	高濃度溶解 C-①-3	FBR燃料を対象とした高濃度溶解プロセスの確立を目的とする。	C-①-3 FBR照射済燃料を用いたホット基礎試験により、高濃度溶解に対応したプロセス条件を把握した。	(晶析技術に関する研究開発の結果を踏まえ、必要に応じ2016年以降対応する)	-
	簡素化溶媒抽出プロセス C-①-4	FBR燃料の特性を活かして、適度な除染度のU-Pu-Np製品を回収する溶媒抽出工程の確立を目的とする。	C-①-4 Pu分配、Pu精製及びU精製を持たない単一サイクルの溶媒抽出技術の開発として、照射燃料と遠心抽出器を用いた向流多段抽出試験により、回収率と除染係数の達成の見通しを得ている。一部のFP(Zr等)については、除染係数が低く、改善の必要があることが明らかとなった。	<p>《方針》 溶媒抽出法に広く適用可能なFP元素の除染性能、遠心抽出器を用いた抽出工程を想定したロバスト性に関する基礎研究を実施する。 尚、フェーズ I における晶析法を適用した場合の単サイクル溶媒抽出法については、晶析技術に関する研究開発の結果を踏まえて対応する。</p> <p>【1】FP除染係数の向上 照射済燃料を用いたホット基礎試験により、比較的除染係数の向上が困難なFP核種(Zr等)に対する除染方法に関する基礎データの拡充を図り、フローシート上の制約条件を把握する。</p> <p>【2】フローシートのロバスト性の検討 抽出工程に遠心抽出器を適用した場合、異常時等のプロファイル変動の伝播速度はミキサーセトラやパルスカラムと比べて速いと考えられるため、この影響を定量的に把握し遠心抽出器や抽出工程の設計へ反映する必要がある。従って、フェーズ II ではTRP等のプラント運転経験や過去の研究成果を解析し、想定すべき変動条件や異常事象を摘出するとともに、抽出プロセスの動的変動を取り扱うことが可能な抽出計算コードを整備し、これを用いたフローシート検討を実施する。また、照射済燃料を用いたホット基礎試験を実施し、プロファイル変動の把握とフローシート検証を行う。これらの計算コード解析/検証試験を重ねることで、ロバスト性の高いフローシート構築を図る。</p>	<p>実用において想定される条件変動を受容することができ、所定の回収率および除染係数を達成するフローシートを実証する。 ここでの回収率と除染係数の目標値は、燃料サイクルシステムを総合的に考慮して別途定める。</p>

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 - 2015年までの開発計画案(8/8) -

技術区分	開発要素	目的	現状	開発内容	目標
将来技術	MA回収技術 C-②	効率的で経済性の高いMA回収技術を確立し、核燃料サイクルにおける環境負荷を低減することとする。	<p>C-②</p> <p>抽出クロマトグラフィ法の開発では、TODGAとR-BTPの組合せを選定し、除染係数、回収率等の基礎特性を把握したが、廃液発生量の増大が顕在化した。</p> <p>一方、機器開発では分離塔の基本特性を確認したが、周辺システムについては今後の課題である。</p> <p>火災・爆発に関する安全性については、遠隔操作による対応策の有効性を確認したが、再処理施設における技術判断基準の整備等の課題が残る。</p> <p>一方、溶媒抽出法については、FaCTフェーズIでは未実施であり、FaCT以前の研究開発でSETFICS法等の基礎研究の実績を有するものの、本格的なプロセス開発には至っていない。</p>	<p>《方針》 抽出クロマトグラフィ法では、廃液発生量の低減と回収率、FP除染係数の両立、及び機器開発が重要課題である。2015年迄の研究開発では、プロセス成立性を重視して廃液発生量の低減と回収率、FP除染係数の両立について研究開発を行う。尚、機器開発については、プロセス成立性が見通せた段階で本格的な開発を再開するが、成立性判断に不可欠な重要課題(安全性等)については、机上検討をベースに可能な範囲で実施方策を検討する。</p> <p>一方、溶媒抽出法について、抽出剤の選定、フローシートの構築等を行い、溶媒抽出法と抽出クロマトグラフィ法との比較評価を実施する。 本検討結果を基に2015年に採否判断を行う。</p> <p>【1】フローシート開発(抽出クロマトグラフィ法) フェーズIにおける抽出クロマトグラフィ法によるMA回収プロセスの研究では、廃液発生量の増大が経済性に大きな影響を与えると評価された。そこで、回収率、FP除染係数を維持しつつ使用液量の削減を図ることを目的として、吸着帯移動速度の制御、理論段数の増加、及び吸着材構造の最適化を中心にMA回収プロセスのフローシート改良を行う。また、これにより抽出クロマトグラフィ法の知見を蓄積する。</p> <p>【2】シミュレーションコードの開発(抽出クロマトグラフィ法) 限られた資源で効率的にフローシートや吸着材構造の最適化を行うため、抽出クロマトグラフィ挙動や反応メカニズムを反映したシミュレーションコードを開発し、上記のフローシート改良の検討に反映する。</p> <p>【3】フローシート開発(溶媒抽出法) MA回収技術の方向性検討に資するため、機構内での基礎的研究実績や国内外の関連する文献情報などを基に候補となる抽出剤を選定し、基礎的研究により溶媒抽出法によるMA回収プロセスのフローシートを構築する。</p>	<p>MA回収技術として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。</p> <p>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。</p>

4. FaCTフェーズIIにおける再処理技術開発の進め方 -2015年時点の成果イメージ-

■ プラント概念検討

- 先進湿式法による低除染・MAサイクルのF再プラント及びCo-processing法による高除染サイクルのF再プラントの概念検討結果をもとに、別途実施するL/F共用プラントの概念検討結果も活用し、F再プラントの実用化像(プラント概念、概略コスト)を提示

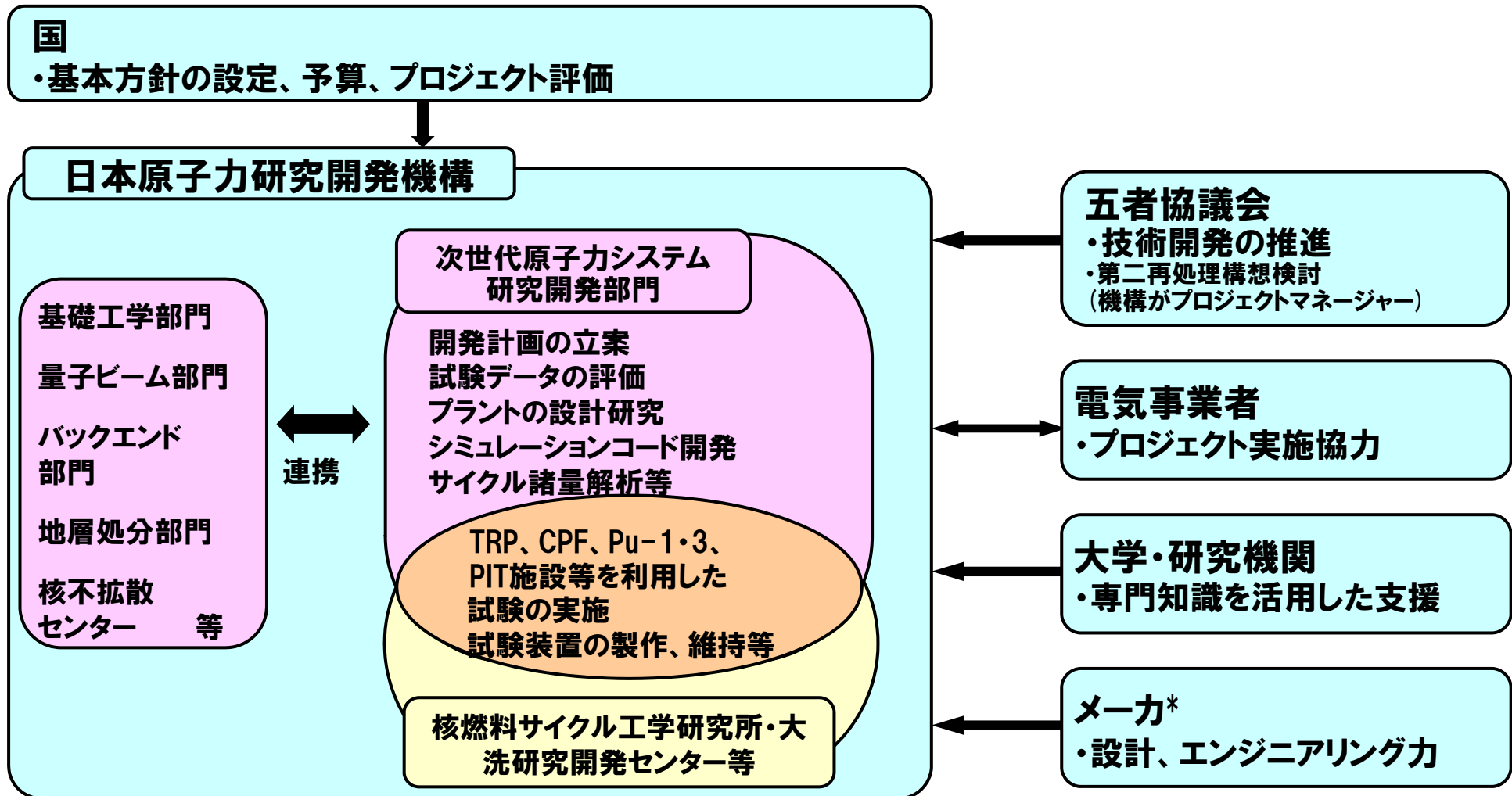
■ 個別の技術開発

- 改良・革新技術
 - 実用化に向けた工学的成立性(機器の大型化の成立性等)の見通しを得るためのデータ取得
 - プラント概念検討で設定したデータの確認
- 将来技術
 - 開発の方向性を決めるためのプロセスデータ取得
- 核不拡散技術
 - プラント概念検討とリンクしてF再プラントを転用等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を提示

■ 2016年以降の技術開発、技術実証計画の提示

- 技術開発の進捗状況、六カ所再処理工場の操業経験に基づく技術開発課題の抽出結果等を踏まえ、技術実証の進め方を含めた以降の技術開発計画を再整理

5. 燃料サイクル技術開発の体制

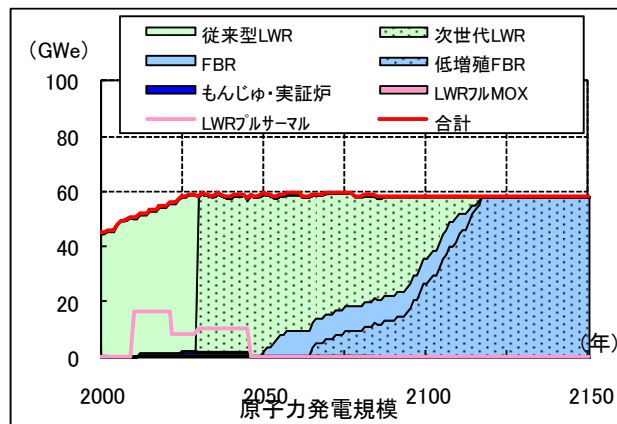


* : メーカーのエンジニアリング力が期待されるR&Dや設計検討等をメーカーに発注しながら、サイクルの枢要技術を機構に集約。

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

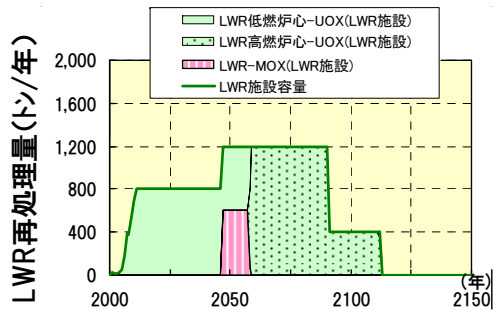
- 軽水炉サイクルとFBRサイクルの2つのサイクルを技術的・産業的に調和させることが不可欠
- 次世代の核燃料サイクルの検討に際しては、両サイクルの統合合理性の観点から判断が必要

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。

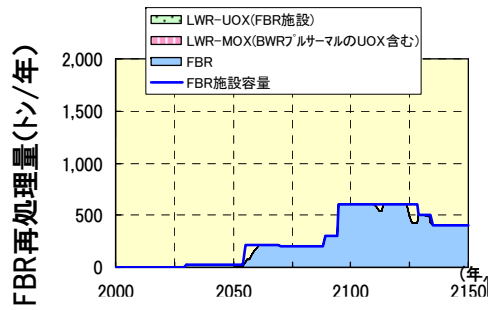
【必要なプルトニウム量を確保するための再処理需要】

— 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。



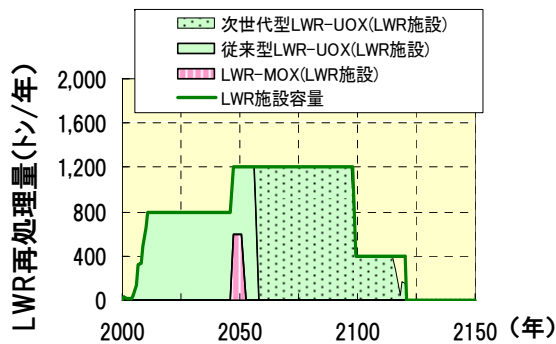
2047年から1200tHM/y程度の処理が必要



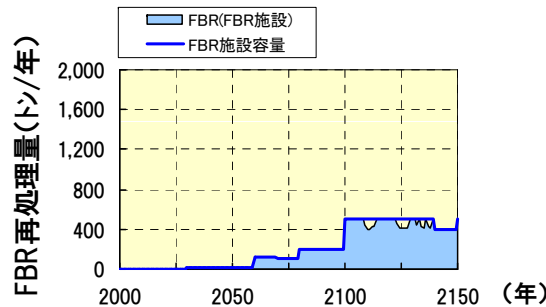
- ・ 2060年に200tHM/y程度の処理が必要
- ・ 2080年に100tHM/y程度の処理量増加が必要
- ・ 最大規模：600tHM/y程度

— 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。

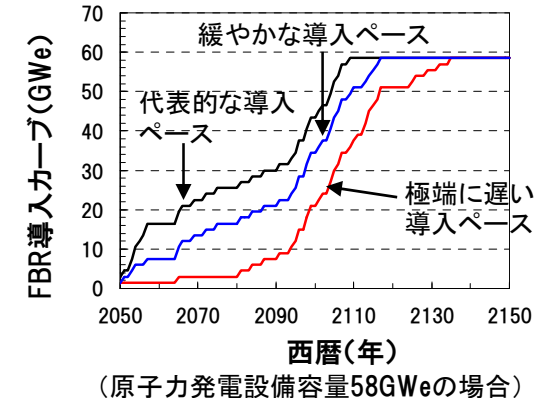


2047年から1200tHM/y程度の処理が必要



- ・ 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】



【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

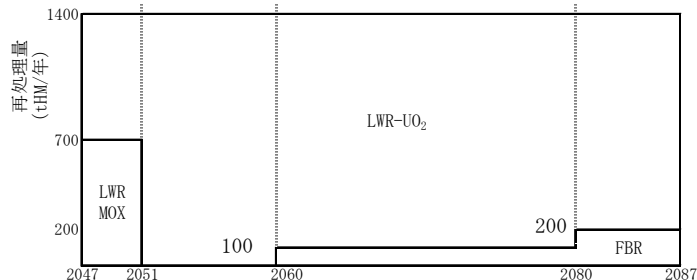
軽水炉、FBR再処理ライン共用化度合い:大
 ⇒ 建設費: 減
 試薬、ユーティリティなどの共通性の高いプロセスを組み合わせ
 ⇒ 建設費、運転費: 減

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】

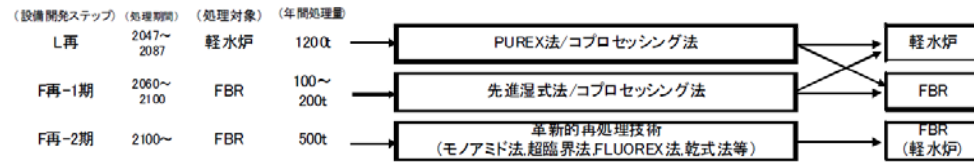


【第二再処理工場のバリエーション】

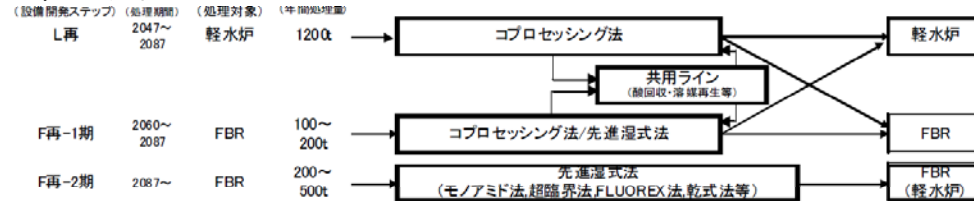
プロセスの視点	物理的視点	イメージ
異なる	異なる	軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 異なるサイト FBR → FBR用ライン → FBR
異なる	併設	同一サイト 軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 FBR → FBR用ライン → FBR
一部共用	併設 一部共用	軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 FBR → FBR用ライン → FBR 共用ライン (酸回収・溶媒再生等)
大部分共用	併設 大部分共用	軽水炉 → 軽水炉用ライン → 軽水炉 FBR → FBR用ライン → FBR 軽水炉/FBR 共用ライン
同一	同一	軽水炉 → 軽水炉/FBR 共用ライン → 軽水炉 FBR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



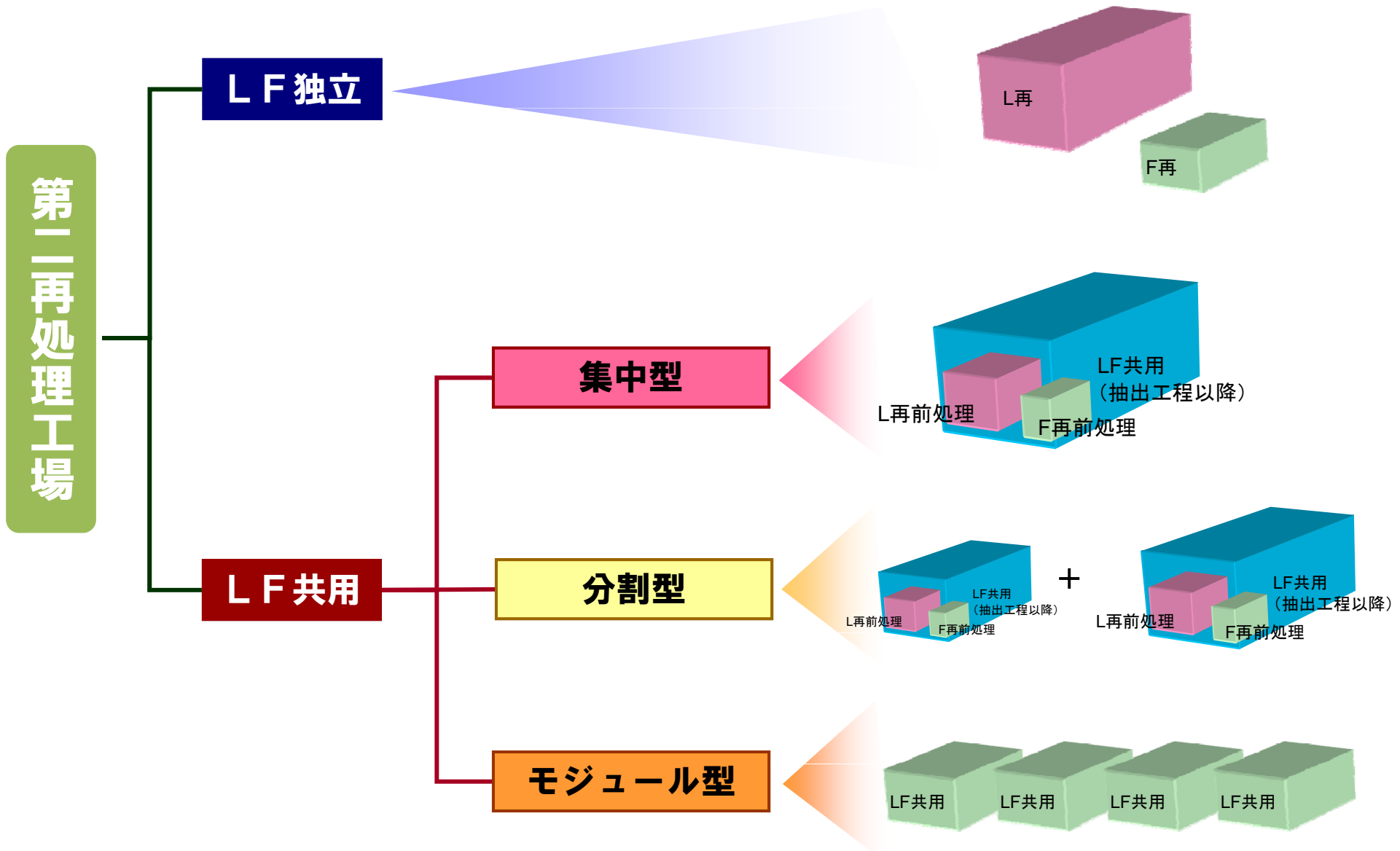
共用化に係る利害得失 (FBR燃料の安定供給性やその冗長性の確保、共用化に係る技術的成立性、設備稼働率、製品、廃棄物への影響等) についてサイクル全体の経済合理性の観点から比較検討することが重要

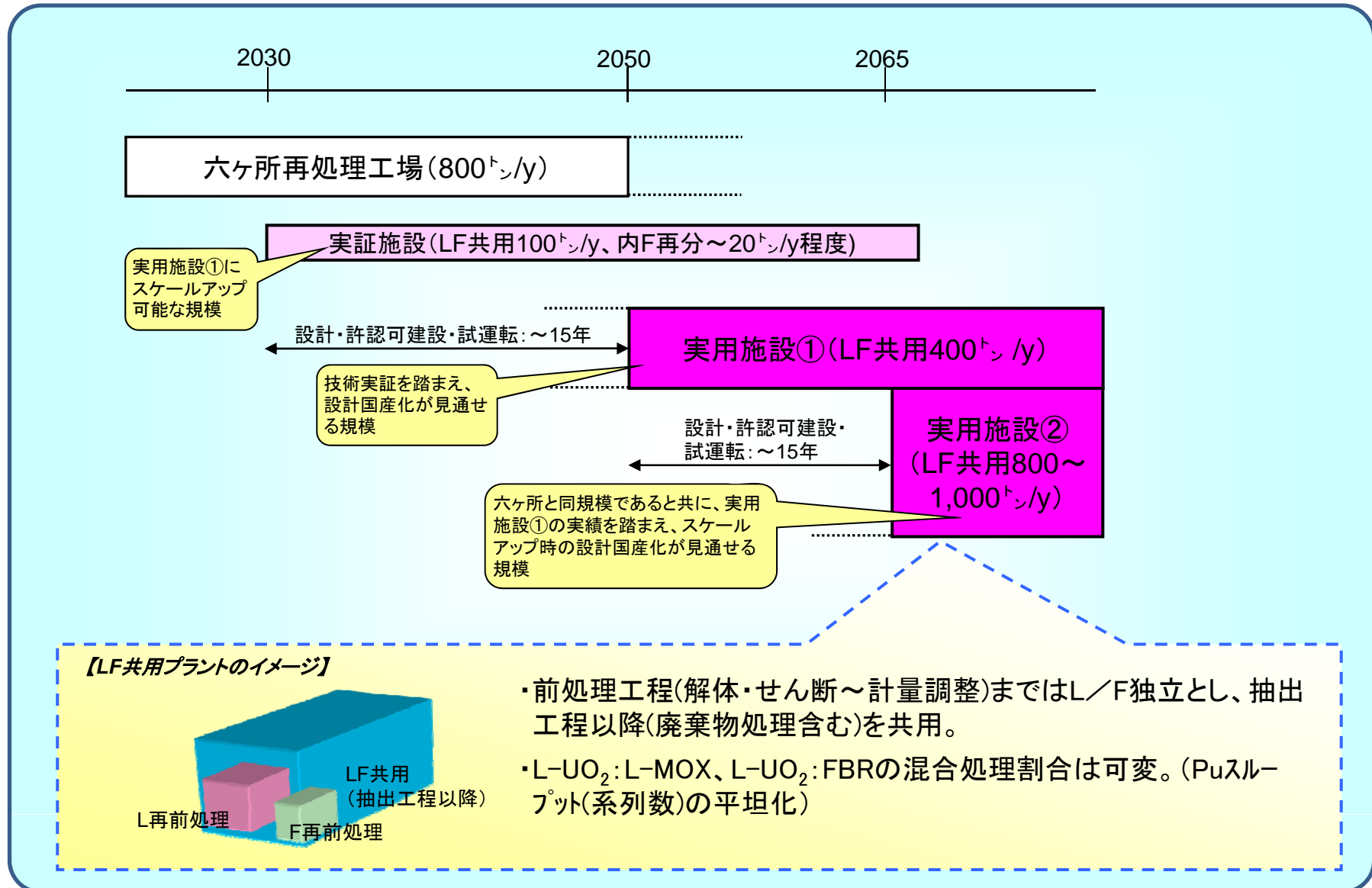
(3) 第二再処理工場に係る特定要件

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

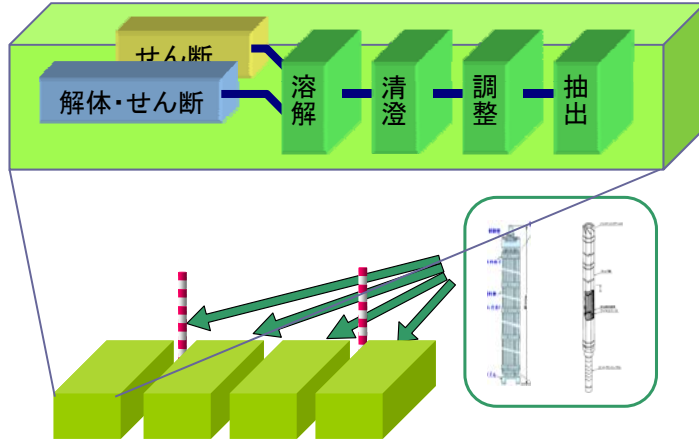
プロセス	原理	開発の狙い	現開発段階と今後の課題	技術開発の難易度と位置づけ
コプロセッシング法	Uの一部を常にPuに同伴させることにより再処理工程内でPuを単体で抽出した状態が存在しないようにPUREX法を改良した技術。	溶媒抽出工程でPuを単離しないことにより、PUREX法に比べて核拡散抵抗性を向上。	<ul style="list-style-type: none"> ・LWR/FBRの実使用済燃料を用いた小規模フローシート試験で成立性を確認。 ・プロセス制御技術の成立性が見極めが課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術開発に伴うハードルは低い。 ・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でフッ素ガス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。

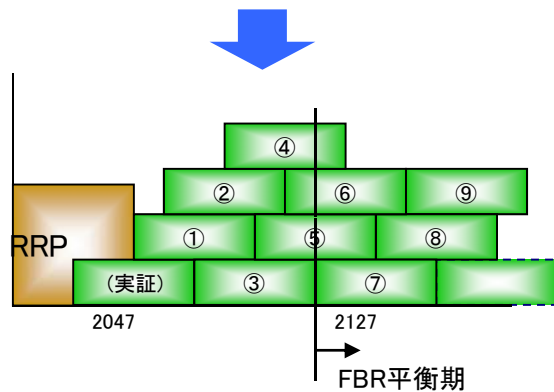




(モジュール型システム)



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)

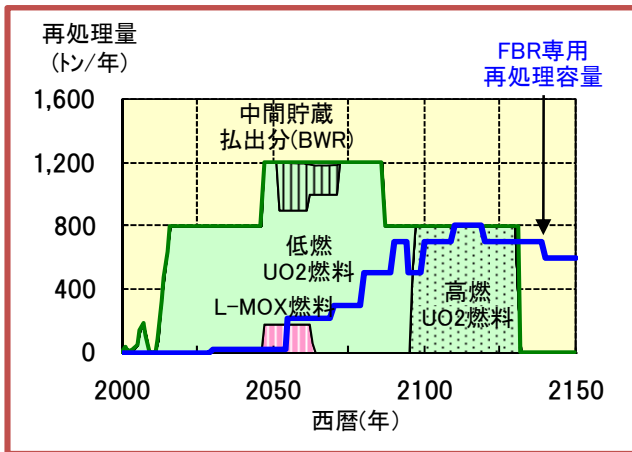
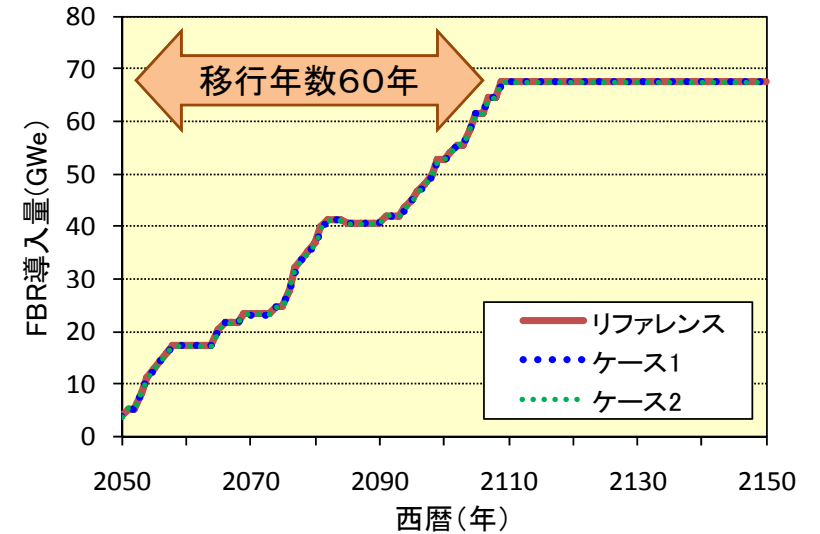
- 信頼性の向上
- 再処理単価コストダウン
- 情勢変化への柔軟な対応

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</p> <p>→「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】</p> <p>UO₂燃料 最大55GWd/t MOX燃料 BWR:最大40GWd/t、PWR:最大45GWd/t</p> <p>【2014～2015年以降】</p> <p>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)</p> <p>【2030年以降】</p> <p>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】</p> <p>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</p> <p>【2030年以降】</p> <p>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】</p> <p>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</p> <p>【大間全MOX】</p> <p>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】</p> <p>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</p> <p>【大間全MOX】</p> <p>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>

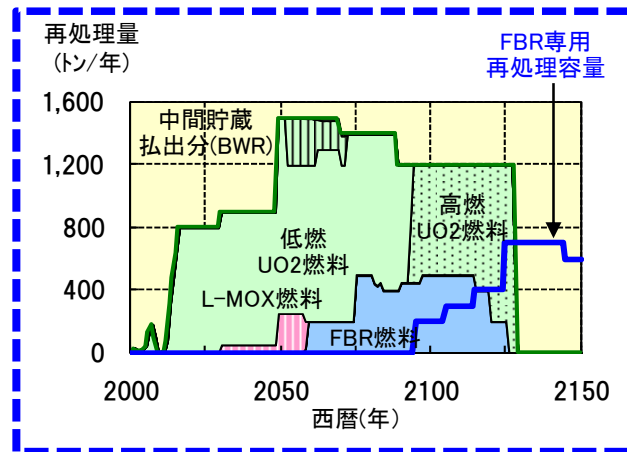
諸量評価見直しに当たっての前提となる諸元(その2)

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</p> <p>→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%</p> <p>(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</p> <p>→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</p> <p>→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</p> <p>→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>

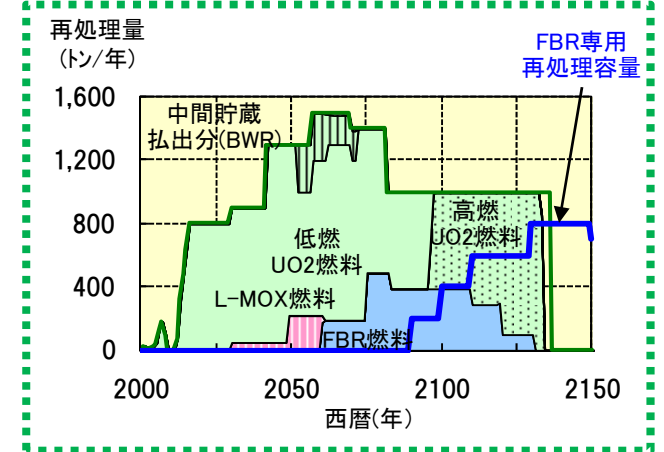
- LF独立プラント概念、LF共用プラント概念(集中型、分割型)のいずれのケースでも、2050年FBR導入開始後(以降、軽水炉全基をFBRにリプレイス)、FBR導入ペースの維持(軽水炉からFBRへの移行年数:60年)に必要なとされるPu需要を満たすことが可能。
(LF共用(モジュール型)についても同様)



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

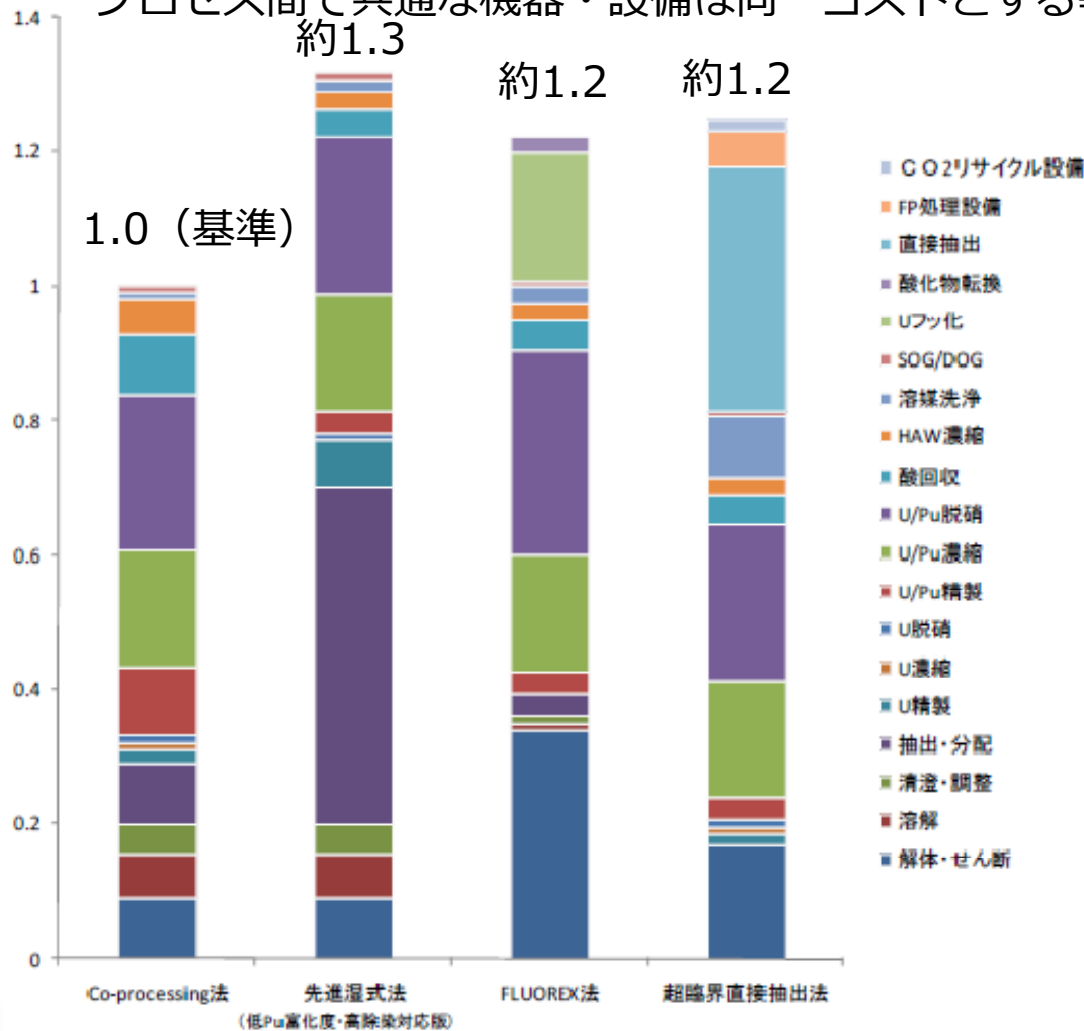
● 相互比較

- 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		◎	△	△	△	

(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

■ : 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	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	—	—
③	グリッド・スペーサ取扱	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・スペ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	—	—

*: 現行技術として別途開発中

第二再処理工場に向けた主なR&D項目案(2/5)

(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

■ : 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
⑤	清澄	機器、装置	遠心清澄機(ロパテル型) (遠心抽出器を使用する際、遠心清澄機の性能向上(対ロパテル型)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(ロパテル型)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再独立プラントを旨と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
—		—	—	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再独立プラントを旨と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		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、耐ラジ活性の検討や、L再規模へのスケールアップ性の検討が必要	同左

第二再処理工場に向けた主なR&D項目案(3/5)

(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

■ : 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
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	—	—
-	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ベーター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ベーター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。)	— (低除染の採否に応じて実施)

第二再処理工場に向けた主なR&D項目案(4/5)

(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

■ : 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
	オフガス処理工程(気体)					
—	よう素追い出し	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-UO ₂ 単独処理やL-UO ₂ 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-UO ₂ 単独処理、L-UO ₂ とL-MOXの1:1混 合処理、L-UO ₂ 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-UO ₂ 単独処理、L-UO ₂ とL-MOXの1:1混 合処理、L-UO ₂ とF-MOX混合処理時のMA回 収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	—

第二再処理工場に向けた主なR&D項目案(5/5)

(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

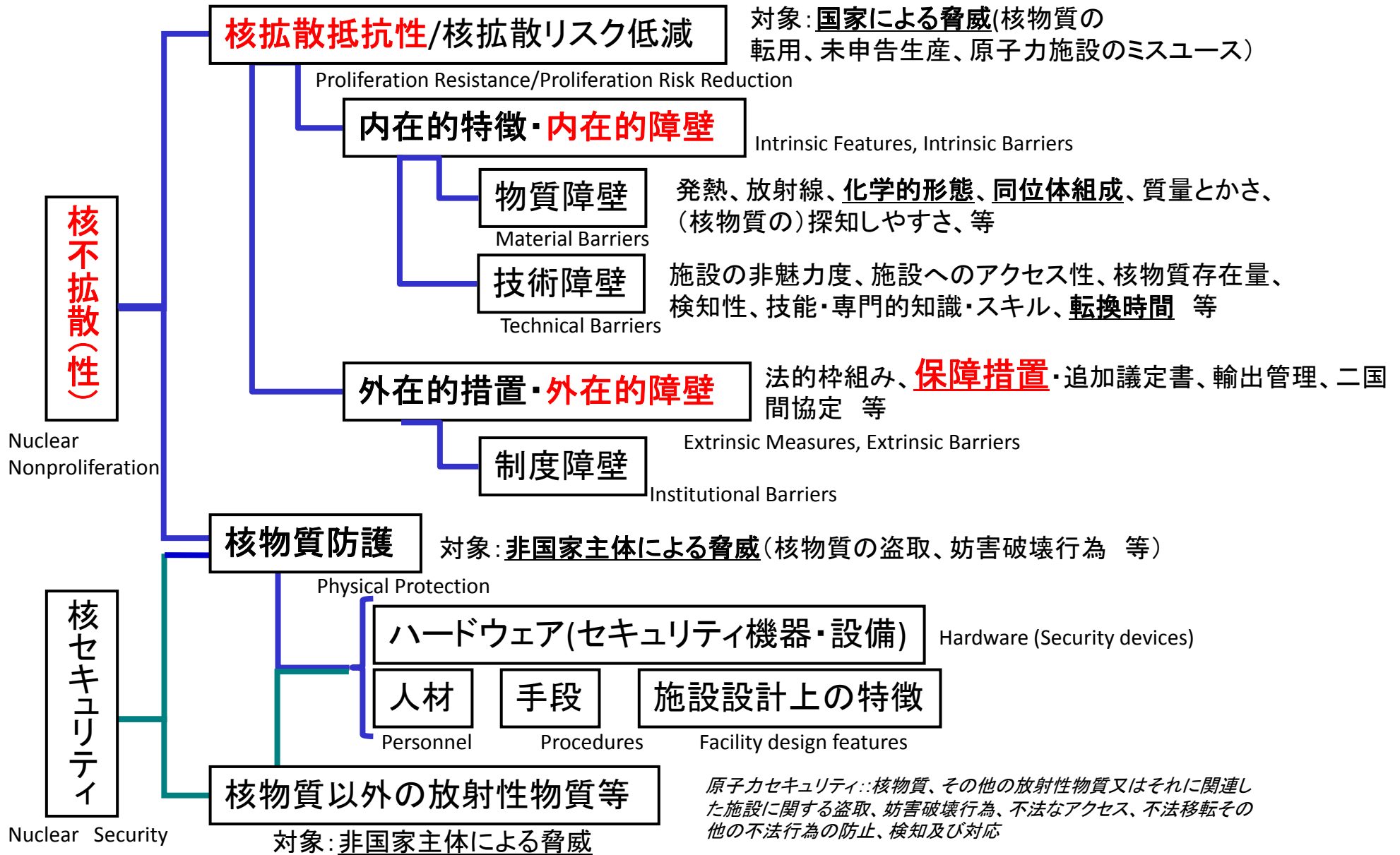
緑字: 特定海外からの機器輸入が出来ない場合の代替措置

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

■ : 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
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・ペレット化、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)
⑩	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



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