

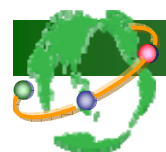


燃料サイクルの 革新技術の採否判断

2010年11月24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

I 再処理システム



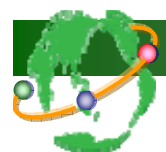
1.1 再処理システム概念とR&D設定の考え方

再処理システムの主概念：先進湿式再処理システム

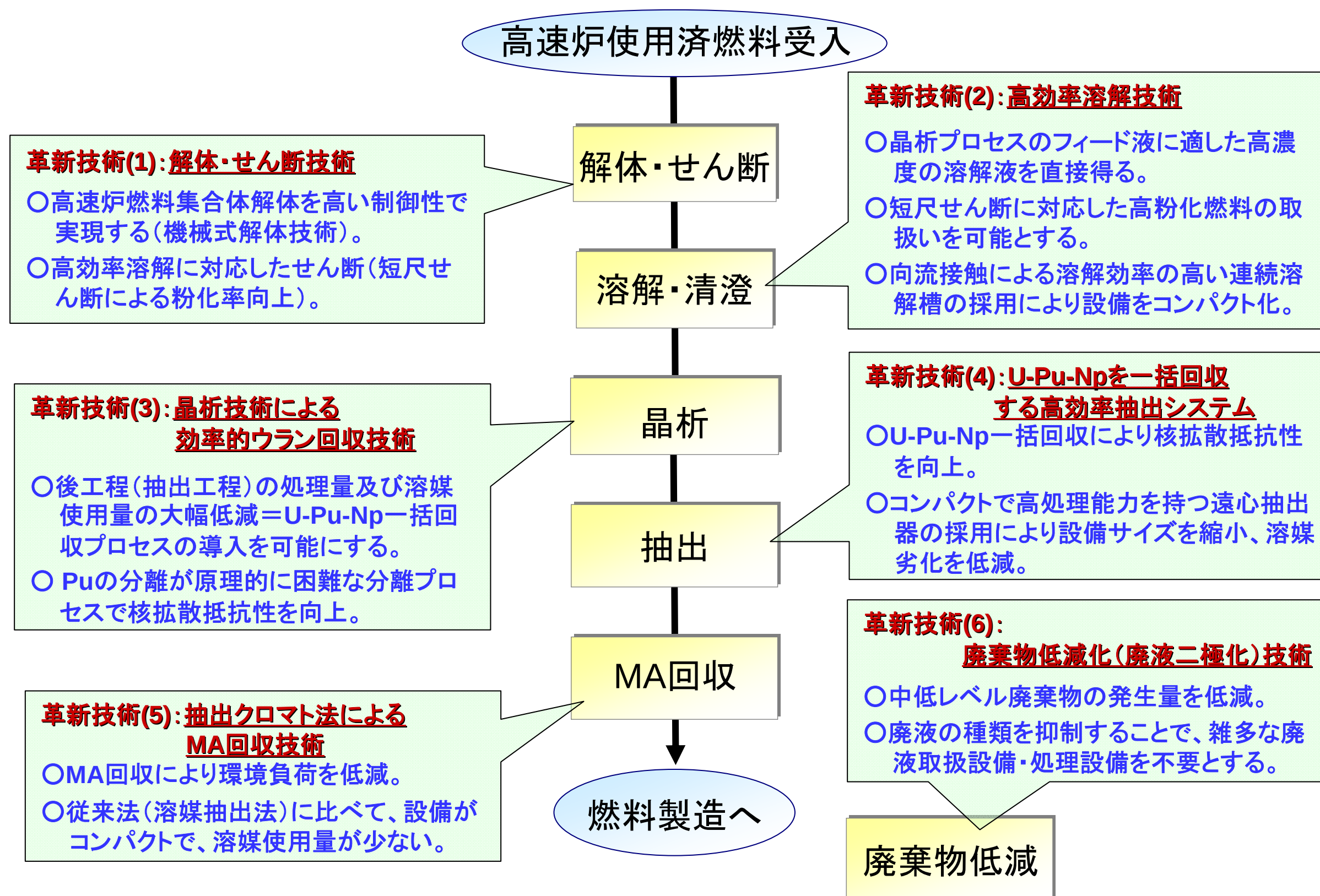
実用化戦略調査研究で主概念に選定した先進湿式再処理システムは、従来のPurex法をベースに、従来技術と同等の「安全性・信頼性」を有することを前提に、「経済性」、「持続可能性（環境保全性、廃棄物管理性、資源有効利用性）」、「核不拡散性」の観点で、従来技術と同等あるいはそれを上回る性能を有する再処理システムである。

このような再処理システムの実現の見通しを得るため、再処理を構成する技術のうち、工程簡素化による工程設備削減、溶媒抽出を用いないウラン粗分離およびPuを単離しない抽出技術、MAリサイクル、廃棄物低減化の観点から重点的に開発すべき革新技術6課題を選定した。

革新技術	目 的	開発目標への寄与
解体・せん断技術	効率的なラッパ管の除去	経済性
高効率溶解技術	抽出工程設備容量、試薬使用量の低減	経済性
晶析による効率的U回収技術	抽出工程設備容量、試薬使用量の低減	経済性、核不拡散性
U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム	コンパクトな容量でのU-Pu-Npを一括回収	廃棄物管理性、核不拡散性
抽出クロマト法によるMA回収技術	高放射性廃液からのMAの回収	廃棄物管理性
廃棄物低減化技術（廃液二極化）	再処理工程から発生する廃液の低減化	廃棄物管理性、経済性



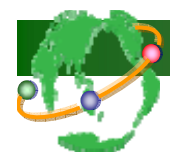
1.2 先進湿式再処理システムに係る研究開発課題





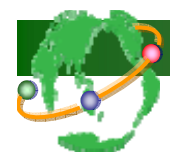
2. 開発課題とR&D成果目標【再処理(1/3)】

	開発課題	2010年までの主な成果目標
解体・せん断	機械式解体システムの開発 燃料ピン損傷確率を抑えた安定した解体(切断)制御技術の成立性の提示。 ※解体システム ＝ハードとソフトを含む。 ハード:切断工具材料、解体機等 ソフト:解体手順、運転・制御ロジック等	■解体時の燃料ピンの破損本数を数本以下にできる解体システム概念を提示し、その有効性を模擬環境下で実証すること。 ■もんじゅ相当の模擬燃料集合体1体の解体操作において切断工具を交換せずに済む解体システム概念を提示し、その有効性を模擬環境下で実証すること。 ■もんじゅ相当の模擬燃料集合体1体の解体を2時間以内に可能とする解体システム概念を提示し、その有効性を模擬環境下で実証すること。 ■全体システムを統合し、集合体の受入から解体後の燃料ピン及び廃棄物の払出までを連続して実施可能であることを模擬環境下で実証すること。
	短尺せん断技術の開発 所定の燃料粉化率(50%)が得られる短尺せん断技術の成立性の提示。 ※燃料粉化率 ＝全燃料のうち、せん断により粒径2mm以下になるものの割合。	■せん断長さを均一化できる条件を示し、その有効性を模擬環境下で実証すること。 ■所定の燃料粉化率を確保できる技術条件を示し、その有効性を模擬環境下で実証すること。 ■もんじゅ相当の模擬燃料集合体1体のせん断を2時間以内に可能とするせん断システム概念を提示し、その有効性を模擬環境下で実証すること。 ■全体システムを統合し、燃料ピンの受け取りからせん断終了までを連続して実施可能であることを模擬環境下で実証すること。



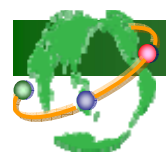
開発課題とR&D成果目標【再処理 (2/3)】

	開発課題	2010年までの主な成果目標
溶 解	高濃度溶解プロセスの開発 高濃度溶解液が得られる安定したプロセス条件の把握 ※プロセス条件 せん断燃料の性状、硝酸濃度、溶解温度、攪拌の程度	■粉化燃料溶解により500g/Lの溶解液が20kg/hの速度で得られる溶解プロセス条件をホット試験等のデータに基づき示すこと
	高効率溶解装置の開発 高濃度溶解液に対応した溶解槽内部構造の確立	■ハル、ワイヤ等の固体成分を円滑に分離・排出するとともに、粉体燃料を保持できる構造を提示すること。 ■内部構造が溶解槽の溶解性能に及ぼす影響について技術的知見を示すこと。 ■臨界安全性、耐食性、製作性についての技術的知見を示すこと。
晶 析	ウラン回収のための晶析プロセス開発 U回収率70%、100以上の除染係数が得られる連続晶析プロセス条件の成立性の提示	■70%のU回収率が得られるプロセス条件をホット試験等のデータに基づき示すこと。 ■上記回収率を得る条件において、100以上の除染係数(DF)が得られるプロセス条件をホット試験等のデータに基づき示すこと(脱水・洗浄の効果を含む)。
	晶析装置開発 工学規模晶析装置及び晶析システム、周辺技術成立性の提示	■低温における連続運転性、非定常事象の検知性についての技術的知見を示す。 ■液位より下部に存在する軸受について、長期耐久性、漏洩防止を考慮した概念を提示し、その成立性を示す。 ■臨界安全性を考慮した結晶分離機概念を提示し、その成立性を示す。 ■高濃度溶解液を移送・計測する周辺技術についての概念を提示し、その成立性を示す。



開発課題とR&D成果目標【再処理 (3/3)】

	開発課題	2010年までの主な成果目標
高効率 抽出	U-Pu-Np一括回収フローシート最適化 最適な一括回収プロセス条件の確立 ※最適＝段数、流量、硝酸量を最小化する方向	■U及びPuの回収率99.9%、Npの回収率99%及び除染係数 10^4 (一部FPを除く)を達成するプロセス条件をホット試験等のデータに基づき示すこと。
	遠心抽出器システム開発 所定の処理能力、安定運転、耐久性について成立性を提示	■処理量300L/h(200tHM/yの先進湿式再処理プラントに配備される抽出器システムの処理能力に相当)を段効率0.95以上で達成する抽出器システムの概念を提示し、成立性を実証すること。 ■10年以上にわたって安定運転が可能であるための技術概念(装置及び保守方法含む)を提示し、その有効性を示すこと。
MA 回収	抽出クロマトプロセス開発 所定のMA回収率、除染係数が達成できるフローシートの提示。	■候補となる抽出剤を用いて所定の分離・回収性能(Am・Cm回収率99.9%、FPの除染係数100)を満足する最適なフローシート条件を提示し、その妥当性を試験データ及び計算コードを用いて示すこと。 ■分離性能、安全性、使用済吸着材の処理容易性等の観点からRI試験等のデータに基づき抽出剤の比較・評価を行うこと。
	抽出クロマト機器開発 所定の処理能力、安定運転性、安全性の成立性を示す。	■1日当たり750Lの高放射性廃液からMAを回収できる装置を模擬液を用いた工学規模コールド試験により実証する。 ■吸着材の充填・抜出操作を含むシステム全体の安定運転が可能な設備概念を示す。 ■分離塔が何らかの原因で閉塞を生じる場合に生じうる以下の現象に対して安全を確保可能な方策を提示し、その有効性を試験により示す。 (想定する現象)放射線による放射線分解ガスの発生、崩壊熱による温度上昇
廃棄物 低減化 (廃液2 極化)	ソルトフリープロセス開発 周辺工程におけるソルトフリー化プロセスの基本的成立性の提示	■ソルトフリー試薬(炭酸ヒドラジン、シュウ酸ヒドラジン)の溶媒洗浄性能が従来のNa洗浄と同等となるプロセス条件を示す。
	ソルトフリー機器開発 ソルトフリー試薬分解技術の基本的成立性の提示	■使用済のソルトフリー試薬の電解処理において、不純物共存下においても分解率99%が得られる電解条件を示す。 ■電解処理時の分解生成物の気相への移行率を十分低く抑えるための条件を示す。



3. 採否判断の視点

2010年時点における「採用」判断の定義

これまでの研究開発の進捗と設計評価の結果から工学的に判断して、工学規模での確認等の課題はあるが、今後研究開発を継続していけば、実用施設に採用できる見通しがあると判断される技術であること。

採否判断の視点：

第一の視点：技術的成立性の見通し

- ◇ 革新技術が技術的に成立するとの見通しを示し得る（個々の革新技術に対して予め定めた成果目標に対する達成度の評価）

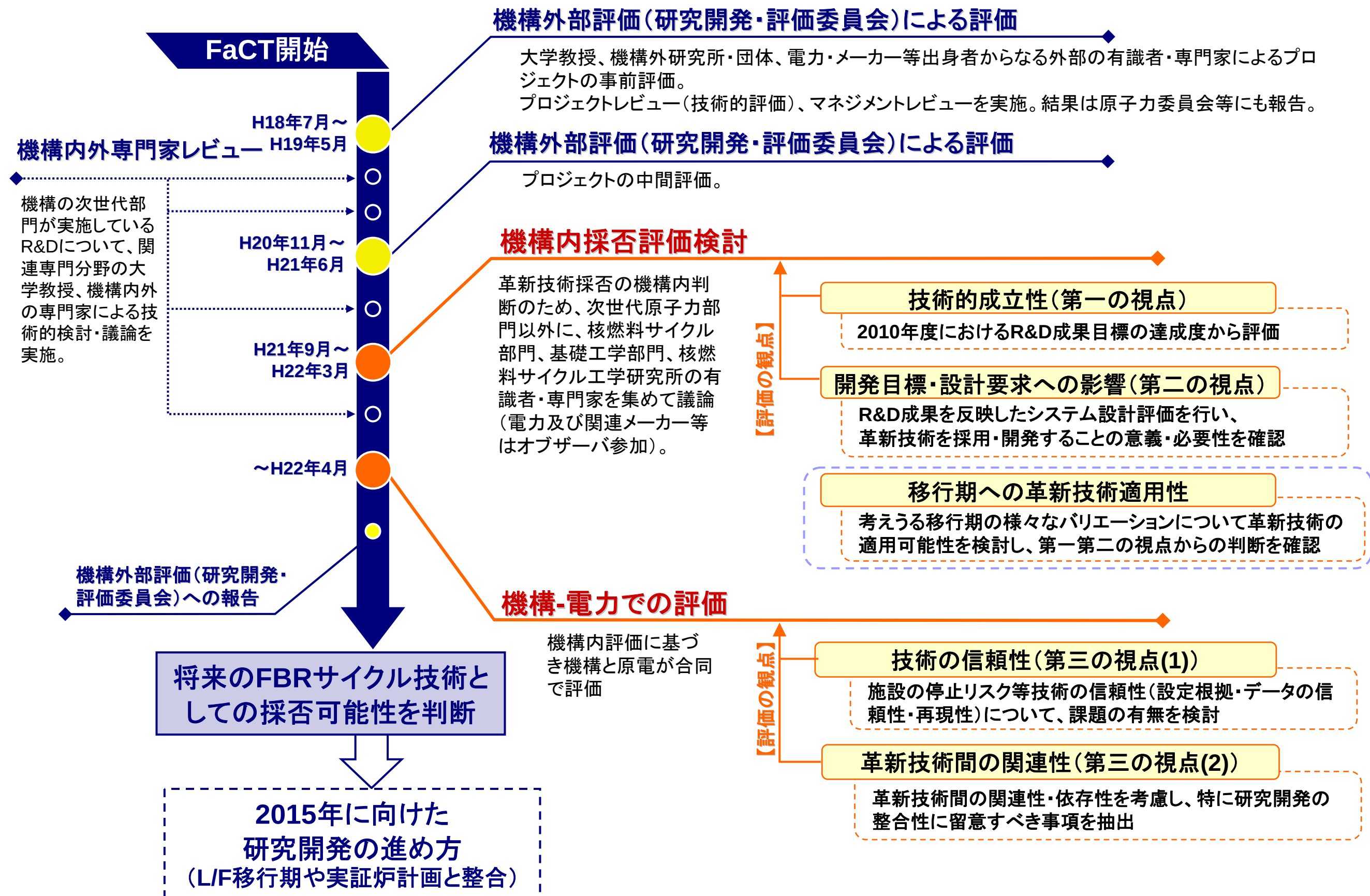
第二の視点：開発目標・設計要求への影響（貢献度）

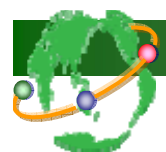
- ◇ 開発目標：安全性/信頼性、持続可能性（環境保全性、廃棄物管理性、資源有効利用性）、経済性、核不拡散性
- ◇ 革新技術を採用・開発することの意義・必要性の確認（システム全体における経済性、廃棄物発生量、U-TRU回収率、核不拡散性等の評価に基づく分析）

第三の視点：革新技術の信頼性および革新技術間の関連性

- ◇ 第一、二の観点からの評価に以下の評価を加え、採否を決定する。
 - ・施設の停止リスク等技術の信頼性の観点を重視して採否について検討・評価
 - ・革新技術間の関連性・依存性も考慮

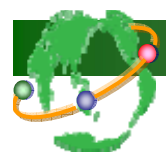
4. チェック&レビューと革新技术採否可能性判断の流れ





5. 革新技术の採否の区分

- 採用：
 - ・「技術的な成立性」の見通しを示すことができる、あるいは今後の研究開発により成立性への見通しを示せる
 - ・「開発目標・設計要求」への貢献が期待できる
 - ・「技術の信頼性」について大きな課題がない以上を全て満たす技術は採用と判断する。
- △ 検討継続：
 - ・「技術的な成立性」の見通しを判断するための成果目標の一部が現時点で未達成である
 - ・「開発目標・設計要求」への貢献の程度が低いもしくは見極めが難しい
 - ・「技術の信頼性」を向上するために開発の継続が必要である以上のいずれかに当てはまる技術は、開発の継続・データの拡充等により正確な判断を行うため、検討継続と判断する。
- × 不採用：
 - ・「技術的な成立性」を見通すことは困難である
 - ・「開発目標・設計要求」への貢献が期待できない以上のいずれかに当てはまる技術は不採用と判断する。



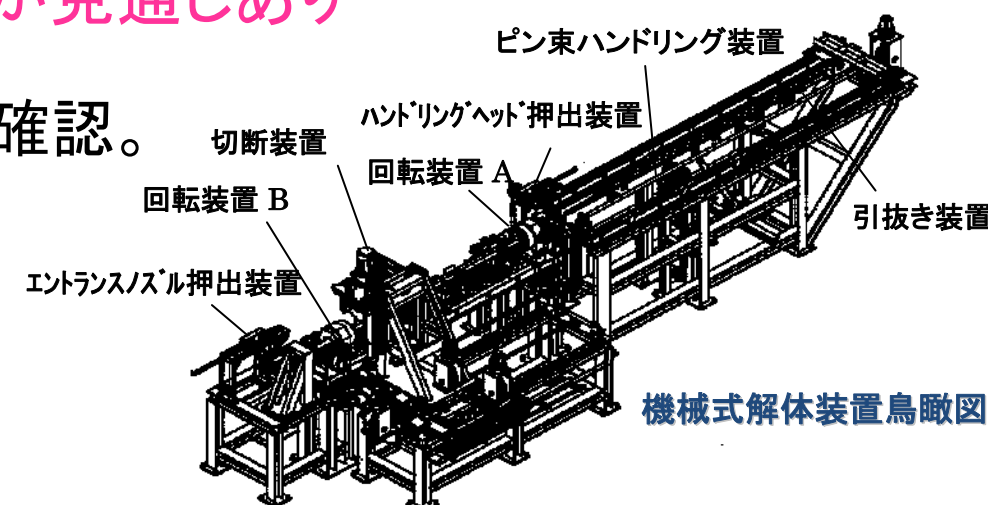
6. 革新技術判断の概要

(1) 解体・せん断技術 ー解体ー

使用済み燃料集合体のラッパ管に内包される燃料ピンを、切断による損傷を可能な限り抑えて分離し、せん断工程に引き渡すまでの一連の解体システムを開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 課題があるが見通しあり

- 解体時に於ける燃料ピン破損を低減できることを確認。
- 一集合体の解体時間は目標とした2時間程度。
- 変形したラッパ管等への対応性を確認。
- 切断砥石の破損に対する原因究明・対策立案。

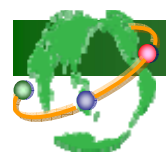


2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 経済性向上に寄与

- FBR再処理に不可欠な技術であり、経済性の点でメリットがある。

3. 革新技術の信頼性、革新技術間の関連性 ⇒ 信頼性: 課題があるが見通しあり 関連性: 関連なく本技術独立で判断できる

- 切断砥石が破損する事象が複数回発生していることから、対策効果の確認試験結果による検証が必要。



(1) 解体・せん断技術 ーせん断ー

後工程の高濃度溶解システムへの対応性に優れた短尺せん断システム技術を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しあり

- 目標としたせん断長さの均一性(1cm±0.5cmのせん断長)を確認。
- せん断時の燃料ピンの粉化率が目標とした50%以上となることを確認。
- せん断処理時間は目標とした2時間以内。
- 解体機から搬送台車を介したせん断機への移送が正常に移送できる。

2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 経済性向上に寄与

- 高効率溶解に適した燃料せん断片が得られるため、経済的なメリットがある。

3. 革新技術の信頼性および革新技術間の関連性

⇒ 信頼性: 大きな課題なし
関連性: 関連なく本技術
独立で判断できる



10mm



30mm

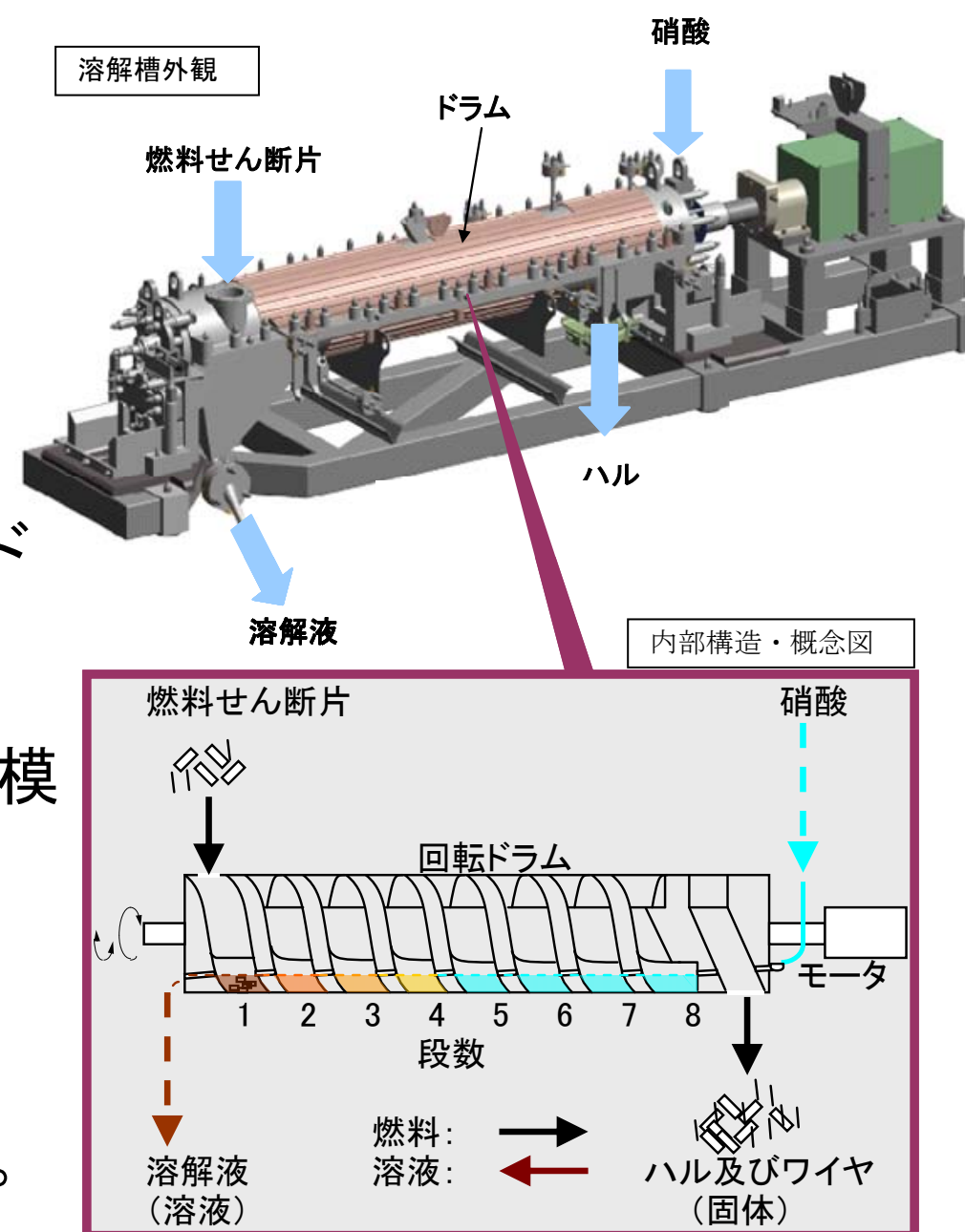
せん断長さによる燃料放出率への影響

(2) 高効率溶解技術(1/2)

晶析工程に適した高濃度溶解液を得る目的から短尺せん断片操作による粉化率の高いせん断燃料を最適なプロセス条件で、回転ドラム型連続溶解槽を用いて20kgHM/hの処理速度で安定的に溶解させる高効率溶解技術を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しあり

- 目標とする500gHM/Lの溶解液を20kgHM/hで得る溶解条件を提示できる見通し。
 - 照射済燃料等を用いたバッチ試験による400gHM/Lの達成。
(2010年度に500g/Lを確認予定)
 - 溶解試験結果を基に作成したシミュレーションコード解析による予測。
- 高濃度溶解液条件を想定した処理速度10kgHM/h規模のコールドモックアップ試験により、以下を確認。
 - ハル及びワイヤのドラム内への蓄積はない。
 - 未溶解のまま排出されてしまう燃料の量は僅か。
- 20kgHM/h規模の溶解槽の臨界安全性を解析・確認。





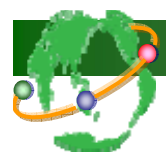
(2) 高効率溶解技術(2/2)

2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 経済性向上に寄与

- 付加的な設備(濃縮設備等)を必要とせずに晶析プロセスに適した溶解液を得ることが可能となるため、経済的なメリットがある。

3. 革新技術の信頼性および革新技術間の関連性 ⇒ 信頼性:大きな課題なし 関連性:関連あり

- 高濃度溶解については、晶析技術に必要な技術であることから、晶析技術と整合した開発となるよう留意する。



(3) 晶析による効率的ウラン回収技術

試薬を必要とせず、溶液温度のみでウラン回収率を制御可能な晶析技術を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しあり

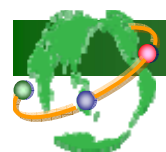
- 液体不純物の除染係数は目標としたDF100程度を達成する見通し。
 <課題> 固体不純物(Cs、Ba)に対するDFは1程度。
 ⇒結晶精製装置採用でCsがDF100、BaはDF10程度に改善する見通し有り。
- 小型工学規模晶析装置及び晶析システム(周辺機器含む)は成立性有り。

2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 経済性、核不拡散性向上に寄与

- 後工程の抽出工程の物量低減に寄与[経済性]。
- 施設全体を通じてPuを容易に単離出来る工程が存在しなくなる[核不拡散性]。

3. 革新技术の信頼性および革新技术間の関連性 ⇒ 信頼性:課題あり 関連性:関連あり

- 以下の課題に関して見通しを得る必要がある。
 - ・U回収率の制御に係る再現性・信頼性
 - ・固体不純物に対するDF
 - ・結晶精製工程に係る技術的成立性及び経済性の両面からの適用性
- 本技術は、燃料製造の「セル内遠隔技術」の成立が前提となるため、この視点からの判断が必要。



(4) U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム (1/2)

晶析工程にてPu富化度を調整した母液に対して、FPの分離とU-Pu-Npの一括回収を行う抽出システム(一括回収プロセス及び遠心抽出器)を開発

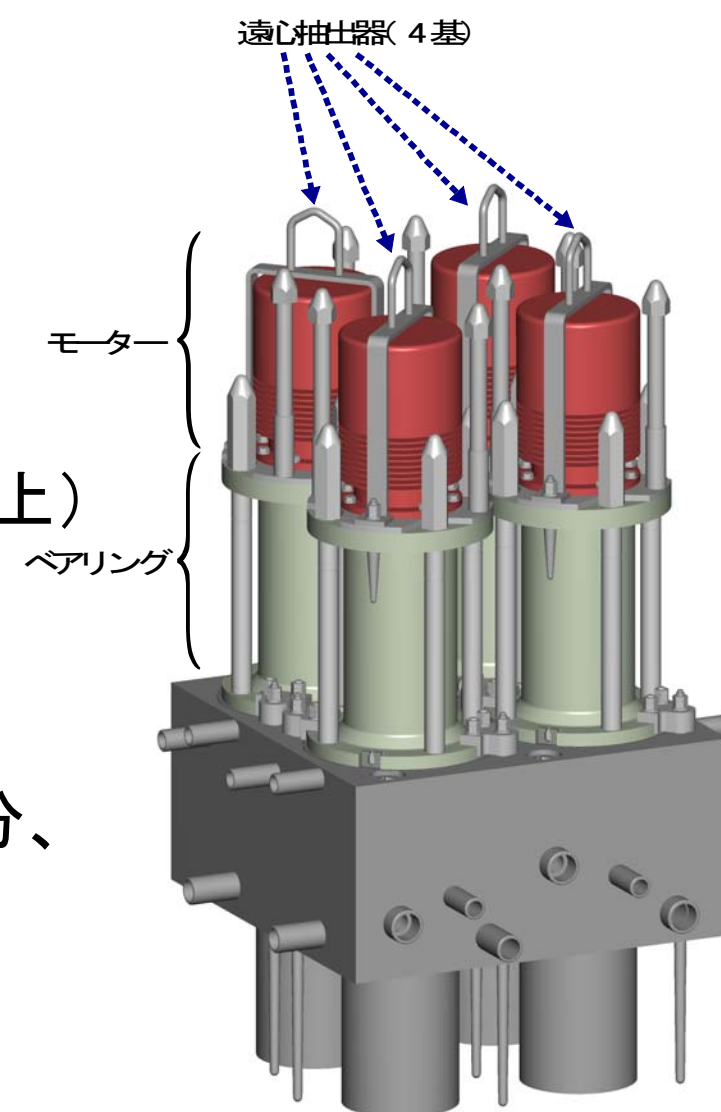
1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しあり

➤ 一括回収プロセス

- ・目標性能(U,Pu回収率:99.9%、Np回収率:99%、除染係数 10^4 (一部FPを除く))を達成しうるフローシート条件を提示可能。

➤ 遠心抽出器

- ・処理量・性能は目標(処理量300L/h、段効率0.95以上)以上であることを確認。
- ・複数段の遠心抽出器からなるシステム試験装置を用いたウラン試験を行い、運転安定性を確認。
- ・磁気軸受の機械的耐久性について連続運転で3年分、耐放射線性について約4年分の耐久性を確認。



【遠心抽出器 外形イメージ】



(4) U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム(2/2)

2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 廃棄物管理性、核不拡散性向上に寄与

- U、Pu、Npの回収率要求値を達成[廃棄物管理性]。
- 晶析技術との組み合わせにより施設全体を通じてPuを容易に単離出来る工程が存在しなくなるとともに、回収されるPuにはUとNpが必ず同伴するプロセスとなる[核不拡散性]。

3. 革新技術の信頼性および革新技術間の関連性 ⇒ 信頼性: 大きな課題なし 関連性: 関連あり

- 遠心抽出器について長期安定運転性の見通しが得られた。
- 本技術は晶析工程を経た後のPu富化度を調整した母液を対象にしていることから、晶析技術と整合した開発となるよう留意する。

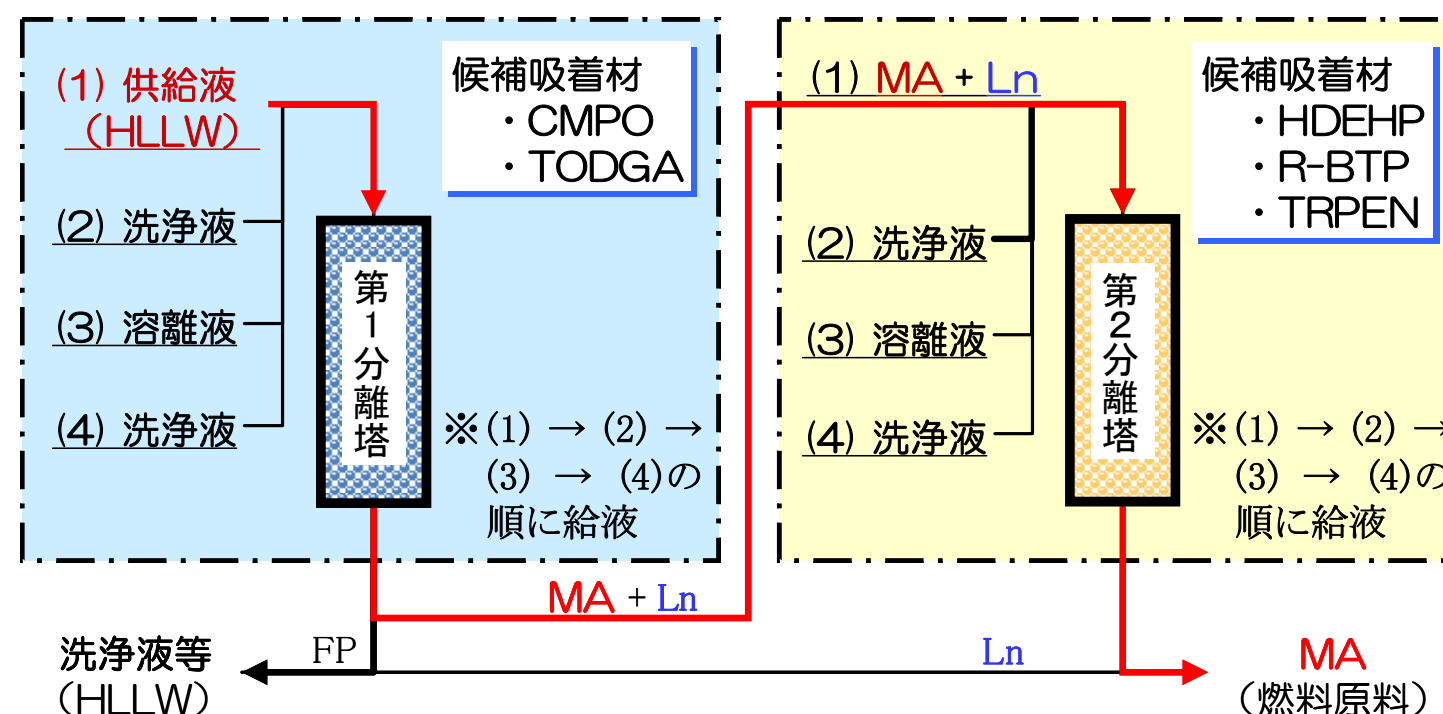


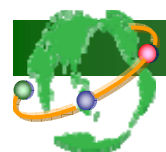
(5) 抽出クロマト法によるMA回収技術 (1/2)

高レベル放射性廃液(HLLW)からMA(Am, Cm)を回収する革新技術として、溶媒抽出法と比較して廃液の低減化及び経済性の向上が期待できる抽出クロマトグラフィ法を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 課題があるが見通しあり

- 除染係数や使用液量の観点から、TODGAとR-BTPの2段サイクルを選択。
 - MA回収率は95%以上(目標は99%以上)。
 - 主要FPの除染係数についてはTcを除いて100以上(目標は100以上)。
- 火災・爆発に関する安全性確保に関して、
 - 非常系統での通水による除熱、吸着材拔出による塔外への発熱源排除などの対策が実施可能。
- 装置スケールアップに関して、
 - 工学規模の分離塔においても供給液はほぼ均一。
 - 大型化によって理論段高さが大きくなる。





(5) 抽出クロマト法によるMA回収技術 (2/2)

2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 核不拡散性向上に寄与／廃棄物管理・経済性に課題

- MAクロマト塔の放射能インベントリが小さいことからリスクを抑制できる可能性あり [安全性]。
- 設計要求で求められているMAの回収率については未達[廃棄物管理性]。
- 廃液発生量が増加したため、設備コスト増加[経済性]。
- Am、Cmを回収し燃料に含有させることが可能となる[核不拡散性]。

3. 革新技术の信頼性および革新技术間の関連性 ⇒ 信頼性: 課題あり 関連性: 関連あり

- 以下の課題に関して見通しを得る必要がある。
 - 廃液量が設備コストに大きな影響を与えないフローシート条件の構築、
 - 運転条件の最適化による分離性能・回収率、
 - 代替技術(溶媒抽出法)との比較による優位性の再確認
- 本技術は燃料製造の「セル内遠隔技術」と「TRU燃料取扱い技術」の成立が前提となることから、この視点を踏まえて研究開発を実施する。

(6) 廃棄物低減化(廃液二極化)技術

安定した廃液濃縮運転操作や廃液のより大きな濃縮比を確保するために、溶媒洗浄工程のソルトフリー化技術を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しがあるもののデータが不足

- ソルトフリー試薬によるRu、Zrの洗浄効率は炭酸ナトリウムと同等以上だが、Puの洗浄効率については比較可能なデータが不十分。
- ソルトフリー試薬の分解率99%以上が得られる電解条件を確認。

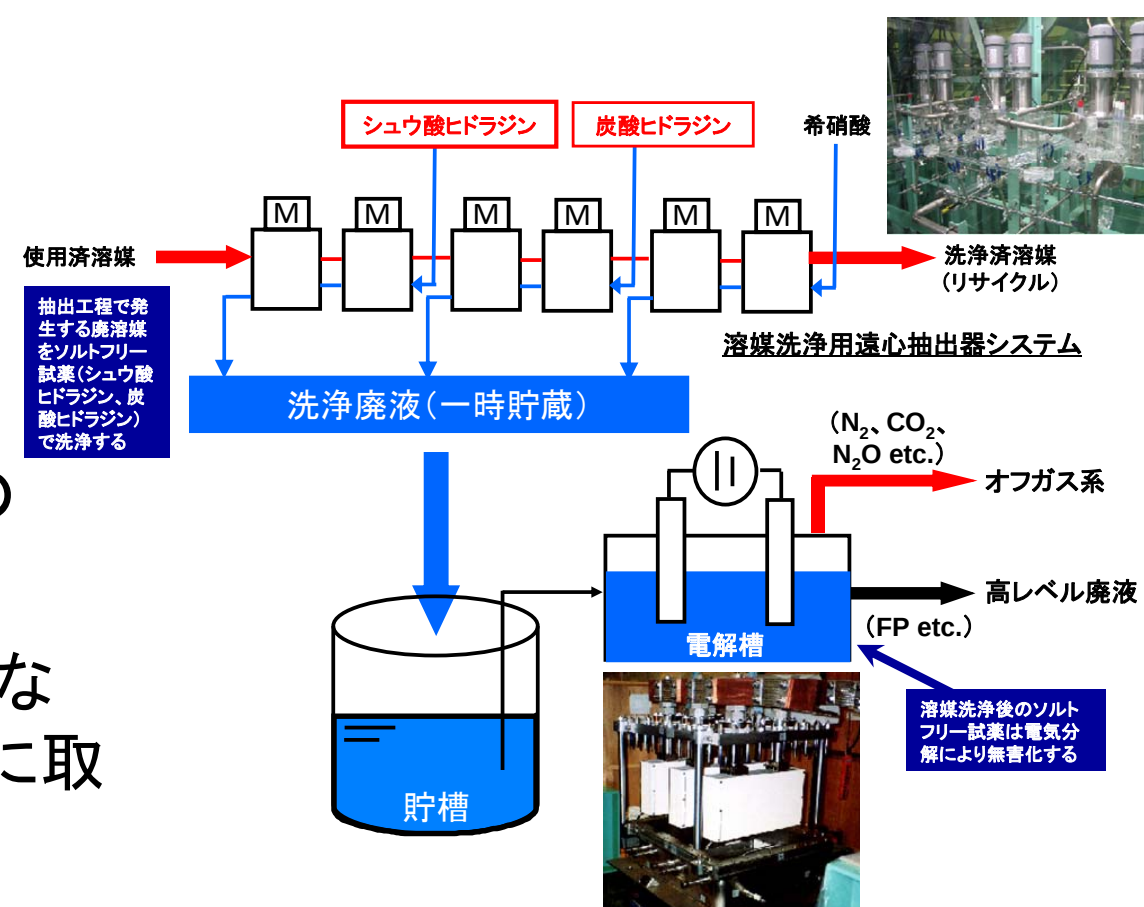
2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 特に影響なし

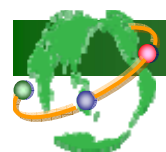
- 設計に反映できるR&Dデータが得られておらず、FSフェーズⅡからの変更無し。

3. 革新技術の信頼性および革新技術間の関連性

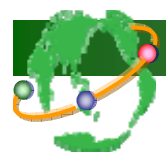
⇒ 信頼性: 課題あり
関連性: 関連あり

- 技術的成立性は概ね見通せるものの、判断の根拠としたデータが十分ではない。
- 合理的な燃料サイクル技術とするために必要な技術ではあるものの、周辺技術であり長期的に取り組むべきものである。





7. プラント設計研究による経済性評価



(1) 目的および検討条件

目的

○先進湿式法の各革新技术に関するR&D成果等を反映した実用施設の設計検討を実施し、革新技术の採否判断に資する。

検討条件

○プラント基本仕様

- ・先進湿式法再処理システムの革新技术を適用したFBR再処理単独プラント。
 - －採用技術：機械式解体・短尺せん断、高濃度溶解、晶析、U-Pu-Np共抽出、MA抽出クロマト、ソルトフリー溶媒洗浄
- ・処理規模：200tHM/y
- ・低除染サイクル、MAリサイクルを前提。回収Uは全量炉心・ブランケット燃料に再利用。

○使用済燃料燃料は、最も代表的な増殖比1.1炉心を基準とし(4年冷却)、臨界安全設計、核不拡散抵抗性向上等のために、内側炉心／外側炉心／ブランケットの各燃料集合体を3:3:1で混合処理する。

(2) プロセス設備の検討

