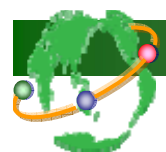


Ⅱ 燃料製造システム



1.1 燃料製造システム概念とR&D設定の考え方

簡素化ペレット法の特徴

- (1) 溶液段階でのプルトニウム富化度調整により、原料粉末の粉碎・混合工程を削除する。
- (2) 造粒及び成型工程における有機物添加剤の使用を極少化することにより、後処理工程を合理化する。



- ・ 従来法に比べ工程設備の減少と、それに伴う運転保守が合理化されることで大幅なコストダウンが期待できる。
- ・ 上記(1)の粉末取扱工程の削減により、原料粉末の飛散低減が期待できるため、低除染TRU燃料のように高放射線量の原料を遠隔で取扱う際に最適な工程となる。
- ・ 上記(2)の有機物添加剤の使用の合理化により、蓄熱による添加剤の変質等、製品品質に与える好ましくない現象の発生を抑制する。

革新技术の開発課題

プロセスの成立性確認、設備機器の量産性確認及び遠隔保守を含む設備システムの成立性確認の点から、革新技术として6つの主要な開発課題を選定

- ① 脱硝・転換・造粒一元処理技術
- ② ダイ潤滑成型技術
- ③ 焼結・O/M調整技術
- ④ 燃料基礎物性研究
- ⑤ セル内遠隔設備開発
- ⑥ TRU燃料取扱い技術

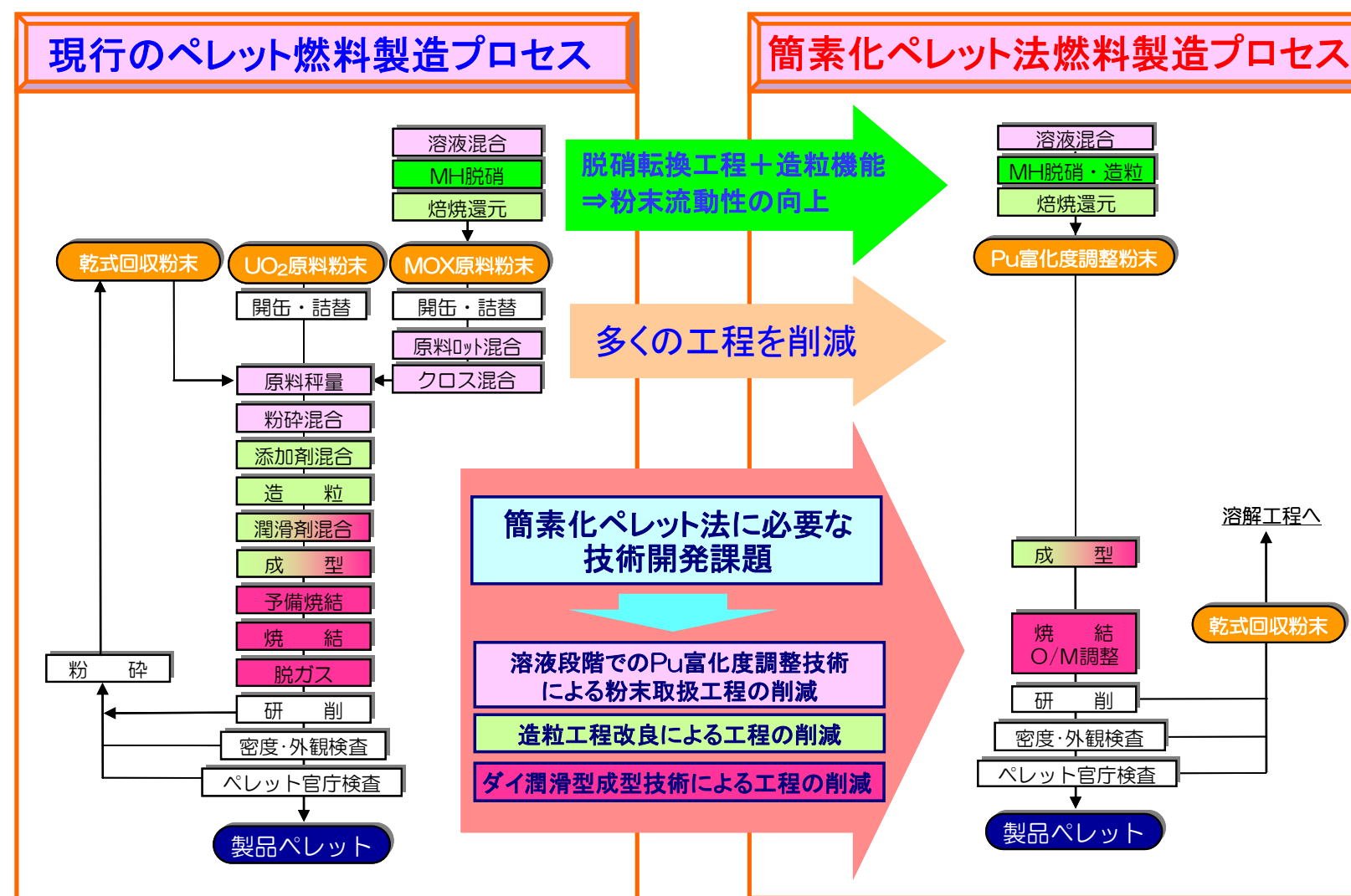
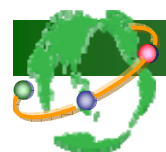
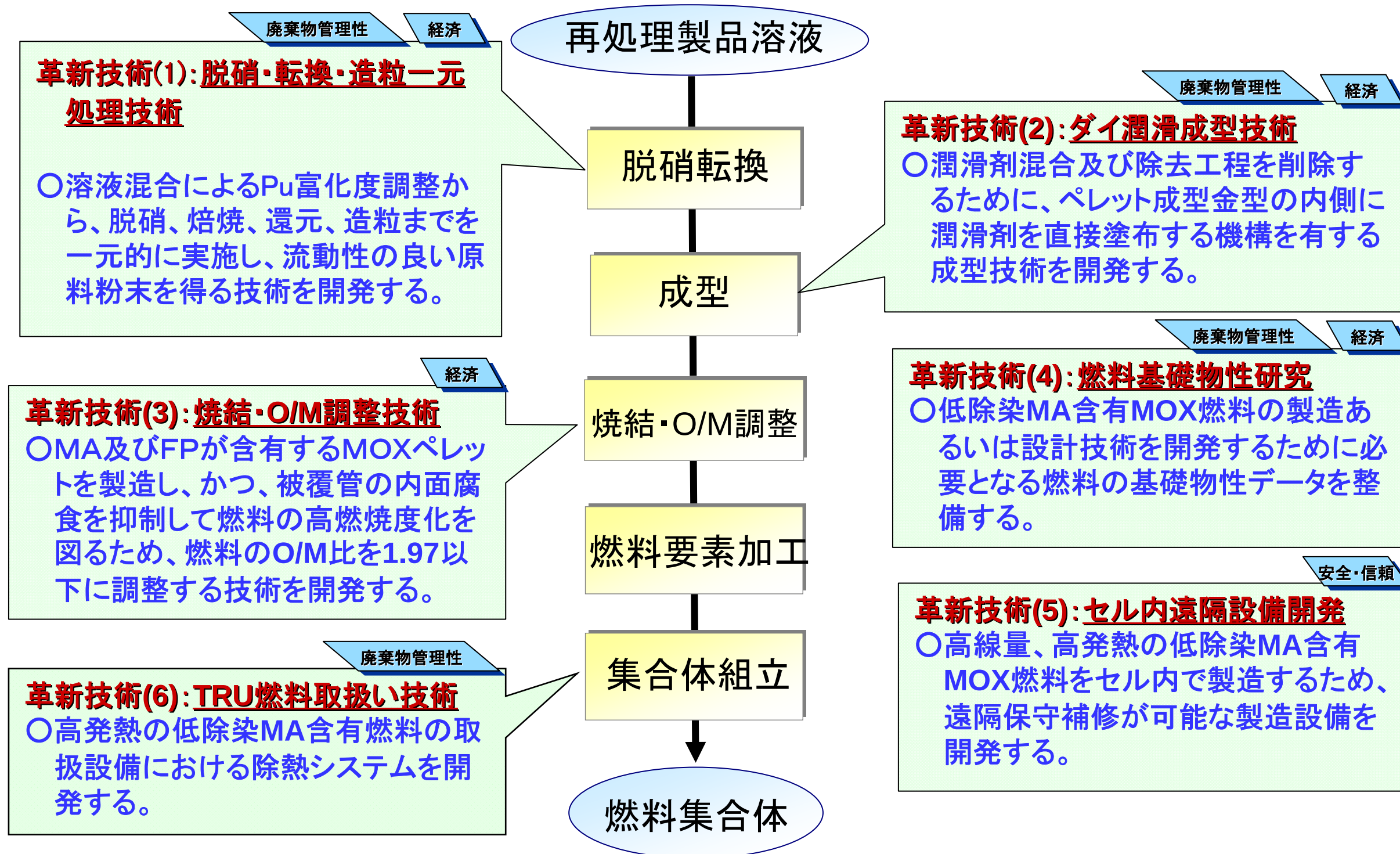


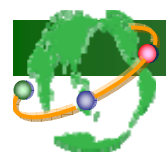
図 ペレット製造工程までの工程数の比較



1.2 簡素化ペレット法に係る研究開発課題

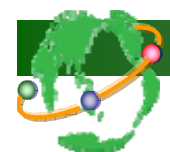
「燃料基礎物性研究」については、燃料製造技術開発全体に係わる基盤物性の提供を目標としており、各課題の評価に含まれることから、単独での採否の評価は実施しない。





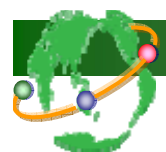
2. 開発課題とR&D成果目標【燃料製造 (1/2)】

開発課題	2010年までの主な成果目標
<u>脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発</u>	プロセスの工学規模における成立性見通し ■簡素化ペレット法で調製した粉末を用いた1kgMOX/バッチ程度の造粒試験を実施し、目標値として、粉末流動性指数(Carr指数)が60以上、比表面積が3～5m²/gの流動性改良粉末が収率80%以上の収率で得られることにより、脱硝・転換・造粒プロセスの工学規模成立性見通しに関する技術根拠を提示できること。 量産性見通し ■マイクロ波脱硝技術及び造粒技術の量産性見通しに関する技術根拠を提示できること。
<u>ダイ潤滑成型技術の開発</u>	プロセスの工学規模における成立性見通し評価 ■簡素化ペレット法で調製した造粒粉を用い数kgMOX/バッチ程度の試験を実施し、割れ欠けのないグリーンペレットが90%以上の収率で得られること、及び成型速度が7.5個/分・パンチ以上であることを確認し、ダイ潤滑成型プロセスの工学規模における成立性見通しに関する技術根拠を提示できること。



開発課題とR&D成果目標【燃料製造 (2/2)】

開発課題	2010年までの主な成果目標
焼結・O/M調整技術の開発	プロセスの工学規模における成立性見通し評価 ■簡素化ペレット法で調製したグリーンペレットを用い数kgMOX/バッチ程度の試験を実施し、焼結密度が95%以上、O/M比が1.97以下で良好な外観と均質な組成を有するMOX中空ペレットが90%以上の収率で得られることにより、焼結・O/M調整プロセスの工学規模における成立性見通しに関する技術根拠を提示できること。 量産性見通し ■焼結・O/M調整設備について、量産化に適した方式選定及び量産化への見通しに関する技術的根拠を提示できること。
セル内遠隔設備開発	■セル内遠隔量産設備の保守補修技術の共通的なシステム技術の概念が、成型設備を例に、コールドモックアップ試験による技術的根拠に基づき構築されること。
TRU燃料取扱い技術	■集合体組立設備の発熱影響対策として、燃料要素バンドルの冷却システムを開発し、コールドモックアップによる技術的根拠を提示すること。
燃料基礎物性研究	■本技術は採否判断の成果目標はないが、燃料製造技術、燃料設計技術を支える基盤的な研究であるため、基礎物性の測定、評価を進める。



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）

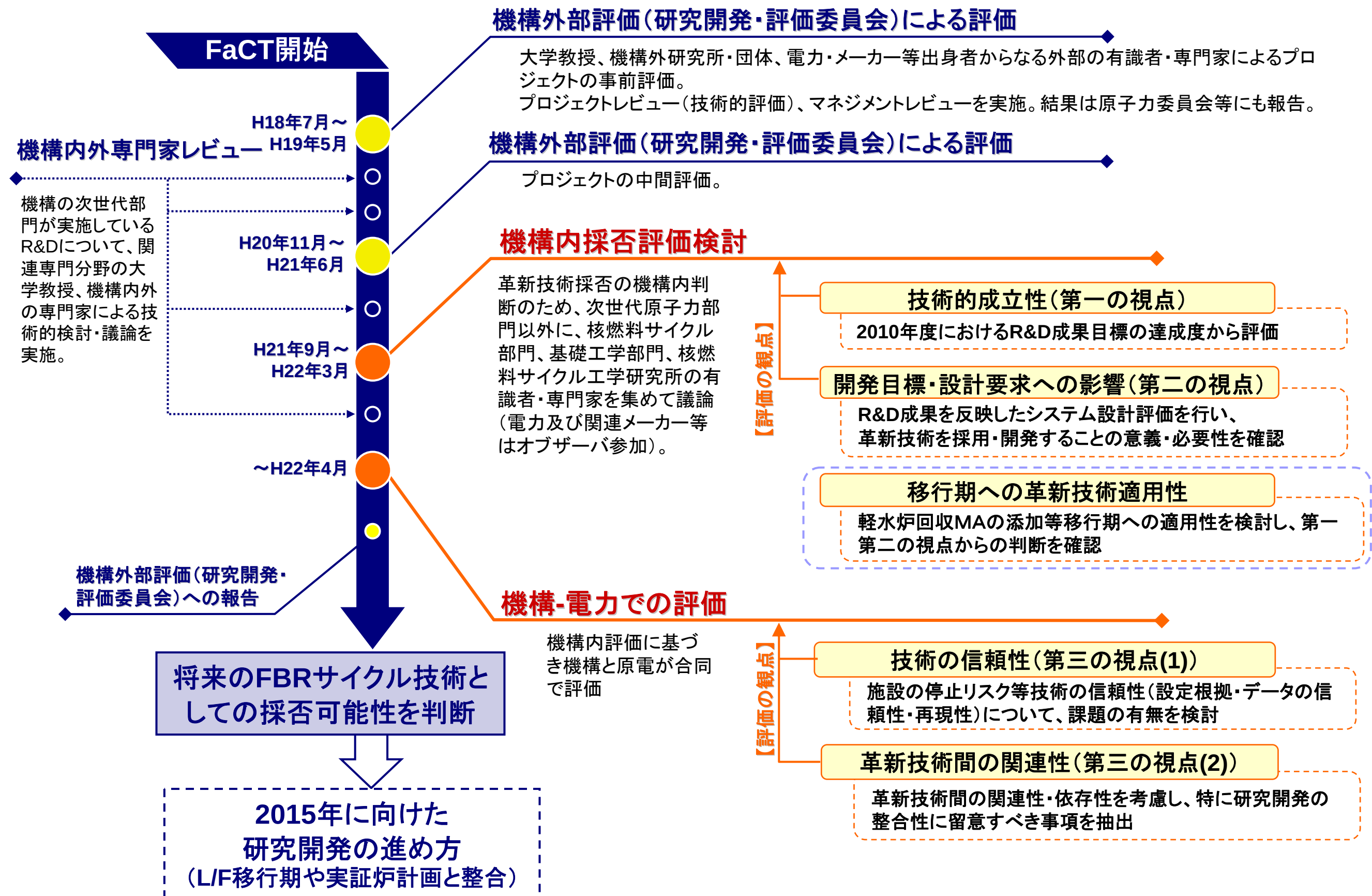
第二の視点：開発目標・設計要求への影響（貢献度）

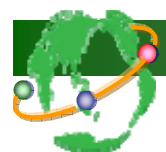
- ◇ 開発目標：安全性/信頼性、持続可能性（環境保全性、廃棄物管理性、資源有効利用性）、経済性、核不拡散性
- ◇ 革新技術を採用・開発することの意義・必要性の確認（システム全体における経済性、廃棄物発生量、U-TRU回収率、核不拡散性等の評価に基づく分析）

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

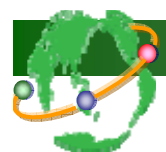
4. チェック&レビューと革新技術採否可能性判断の流れ





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。



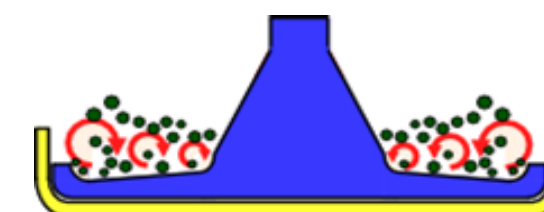
6. 革新技術判断の概要

(1) 脱硝・転換・造粒一元処理技術

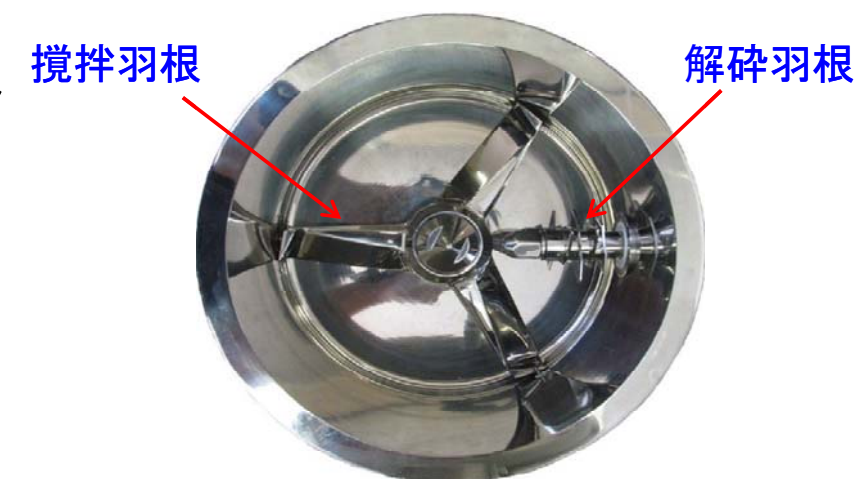
簡素化ペレット法の原料粉末調整工程において、有機結合剤なしの造粒機能を組み込み、転換工程で流動性のよい顆粒粉末を直接得られる技術を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しあり

- ・量産に対応する大型の浅皿型脱硝容器の製作性を、試作により確認。
- ・大容量のマイクロ波加熱装置の成立性を、電磁場解析シミュレーションにより確認。
- ・小規模MOX試験により造粒機の回収率と品質を確認。
- ・量産規模造粒機の回収率と品質を模擬粉末試験により確認。
- ・脱硝容器から粉末を移し換えずに容器を共用(一元処理)して造粒できることを確認。



造粒動作



転動造粒装置

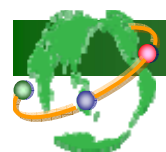
2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 廃棄物管理性向上、経済性向上へ貢献

- ・粉末取扱工程の合理化等で経済性向上及びMAリサイクルの実現を通し廃棄物管理性向上へ貢献。

3. 革新技术の信頼性、革新技术間の関連性 ⇒ 実用化実機での信頼性:大きな課題なし

関連性: 関連なく、本技術独自で判断できる

- ・市販品の技術をベースとしており、信頼性の大きな課題はない。自動運転技術については今後の開発課題とする。

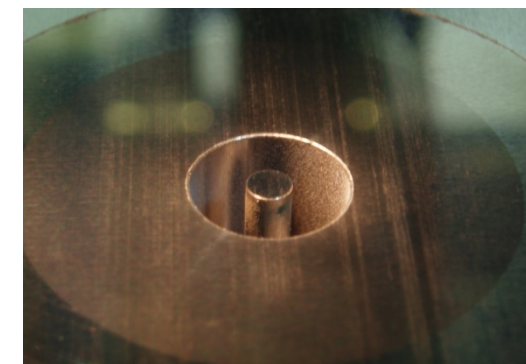


(2) ダイ潤滑成型技術の採否判断

従来の潤滑剤混合でなく、金型表面に潤滑材を塗布し成型するダイ潤滑成型技術を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しあり

- ・小規模MOX試験設備等を用いた模擬試料試験により、良好な潤滑性能を確認。
- ・所定の成型速度が得られたことから、量産性について確認。
- ・これまでの照射試験用MOXペレットの製造経験等を勘案。



ダイ潤滑による金型への潤滑剤塗布状況

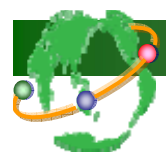
2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 廃棄物管理性向上、経済性向上へ貢献

- ・粉末取扱工程の合理化等で経済性向上及びMAリサイクルの実現を通し廃棄物管理性向上へ貢献。

3. 革新技術の信頼性、革新技術間の関連性 ⇒ 実用化実機での信頼性:課題なし

関連性:関連なく、本技術独自で判断できる

- ・ダイ潤滑機構の操作条件が広いことから信頼性は良好である。



(3) 焼結・O/M調整技術

MA・FP含有で、高燃焼度化に対応する低O/M(酸素／金属比)の燃料ペレットを製造するための焼結・O/M調整技術を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通し根拠が不十分

[焼結]

・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等でのこれまでの製造実績やMA含有及び模擬FP含有MOXを含めた製造試験実績から工学規模での技術的成立性の見通しがあると判断。

[O/M調整]

・雰囲気中の水素/水分分圧比、熱処理温度、熱処理時間及びペレット径をパラメータとして、熱処理中のO/M比変化を理論的に予測・評価することができる基盤技術を確立。
・プルトニウム富化度が従来の「もんじゅ」「常陽」燃料より低いため、O/M調整の処理時間が長くなる等の課題がある。
・炭素助剤による量産性の改良の可能性があるが、O/M比調整の設計上の処理時間及び量産規模の設定根拠データが十分でなく、今後、更にデータを取得する必要がある。



MOXペレット

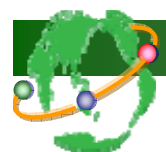
2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 経済性向上へ貢献

・燃料の高性能化に必要な技術であり、経済性や廃棄物管理性向上へ貢献。

3. 革新技術の信頼性、革新技術間の関連性 ⇒ 実用化実機での信頼性:大きな課題なし

関連性: 関連なく、本技術独自で判断できる

- ・小規模MOX試験等で更なるデータの取得が必要。
- ・低除染TRU燃料に限らずMOX燃料の高性能化に必要な技術である。

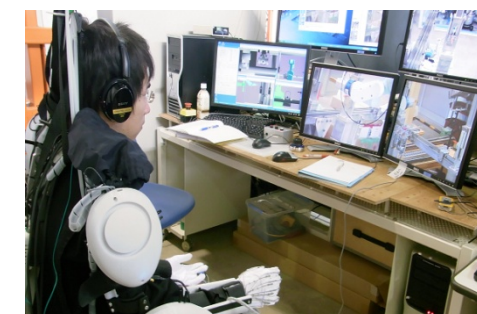


(4) セル内遠隔設備開発

セル内設備の遠隔保守技術(故障部位を工程セル内で交換修理できるモジュールと、それをハンドリングするロボットアーム機器)を開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 概ね見通しがある

- ・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図書を作成し、保守手順を確認。
- ・代表的モジュールとロボットアーム制御技術と組み合わせたモックアップ試験を行い、この組み合わせによる遠隔保守概念の成立性を確認。
- ・さらに精密なペレット検査設備及び原料造粒粉の分析設備への本概念の適用性を確認。
- ・その他の工程設備においても、本概念の適用を妨げるような特殊事情がないことを考察。



ロボットアームによる遠隔保守作業

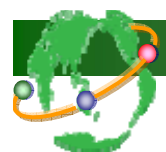
2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 安全性及び信頼性向上へ貢献

- ・低除染TRU燃料の実現に必要な技術であり、燃料製造システムの信頼性向上に貢献。

3. 革新技術の信頼性、革新技術間の関連性 ⇒ 実用化実機での信頼性: 高い信頼性の確認が必要

関連性: 再処理技術開発の動向を踏まえる必要がある

- ・多数のペレットを取り扱うことから、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。
- ・今後の技術開発展開については、本技術の成立が前提となる晶析技術及びMA回収技術開発の動向を踏まえる必要がある。



(5) TRU燃料取扱い技術

集合体組立時燃料バンドルのMA発熱影響を緩和する除熱システムを開発

1. 技術的成立性の視点からの判断 ⇒ 見通しがある

- ・実機寸法でのモックアップ試験の結果、バンドル内の被覆管の表面温度が取扱制限温度の目安値(空气中で酸化薄膜を形成、変色する300°C)を超えないシステム概念の構築と、その成立性を示す根拠データを取得した。



集合体組立時の除熱試験装置

2. 開発目標・設計要求への影響(貢献度)からの判断 ⇒ 廃棄物管理性向上へ貢献

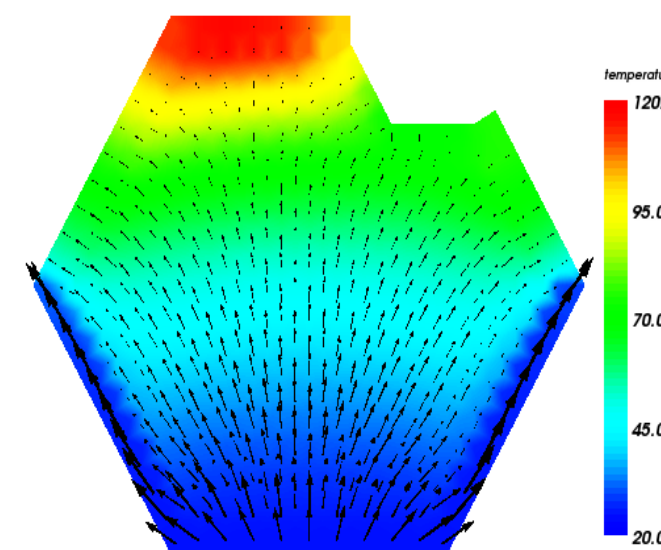
- ・MAリサイクルの実現を通し、廃棄物管理性向上に貢献。

3. 革新技術の信頼性、革新技術間の関連性

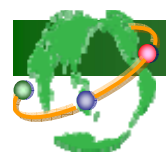
⇒ 実用化実機での信頼性:課題なし

関連性:再処理技術開発と整合を図るよう留意する

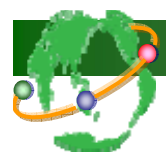
- ・本技術はMAリサイクルに必要となる技術であることから、今後の開発展開においてはMA回収技術開発と整合した研究開発となるよう留意する。



集合体組立時の除熱評価例



7. プラントの設計研究



(1) 目的及び検討条件

1. 目的

- 燃料製造に係わる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。

2. 検討条件

○ プラント基本仕様

- ・燃料製造システムの革新技术を採用したFBR燃料製造単独プラント

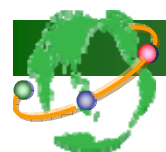
採用技術：脱硝・造粒一元化処理技術、ダイ潤滑成型技術、焼結・O/M調整技術、セル内遠隔技術、TRU燃料取扱い技術

- ・処理規模：200tHM/y

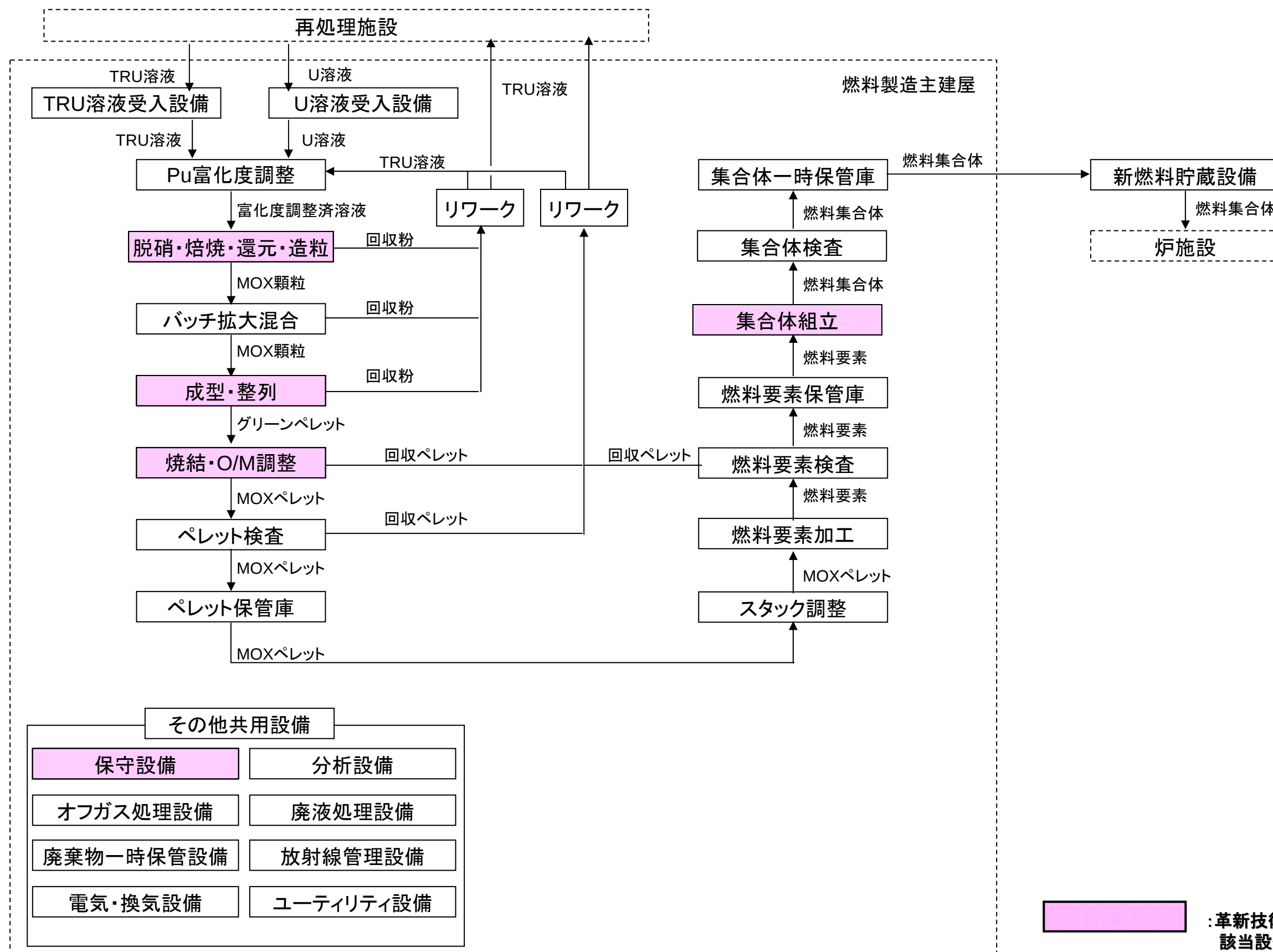
- ・低除染サイクル、MAリサイクルを前提とするため工程設備を遮蔽セル内に内装するが、セル構造をFSフェーズⅡ設計の大型セル方式から小型セル方式へ変更した。

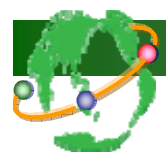
- 製造対象燃料は最も代表的な増殖比1.1炉心を基準とし、内側炉心、外側炉心、ブランケットの各集合体を製造する。

- 原料は、使用済みFBR燃料を取り出し後4年冷却し、先進湿式再処理法で回収したU溶液およびTRU溶液とする。



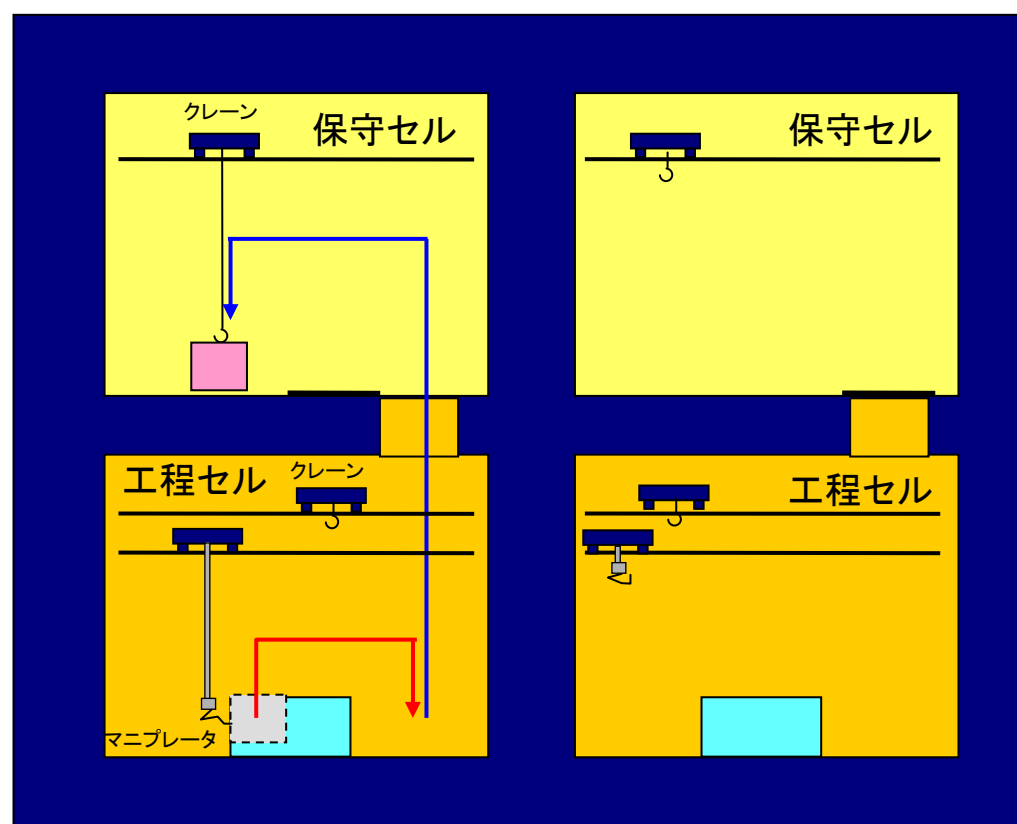
(2) プロセス設備の検討



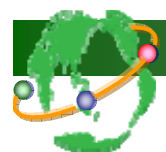


(3) 主工程設備の概要

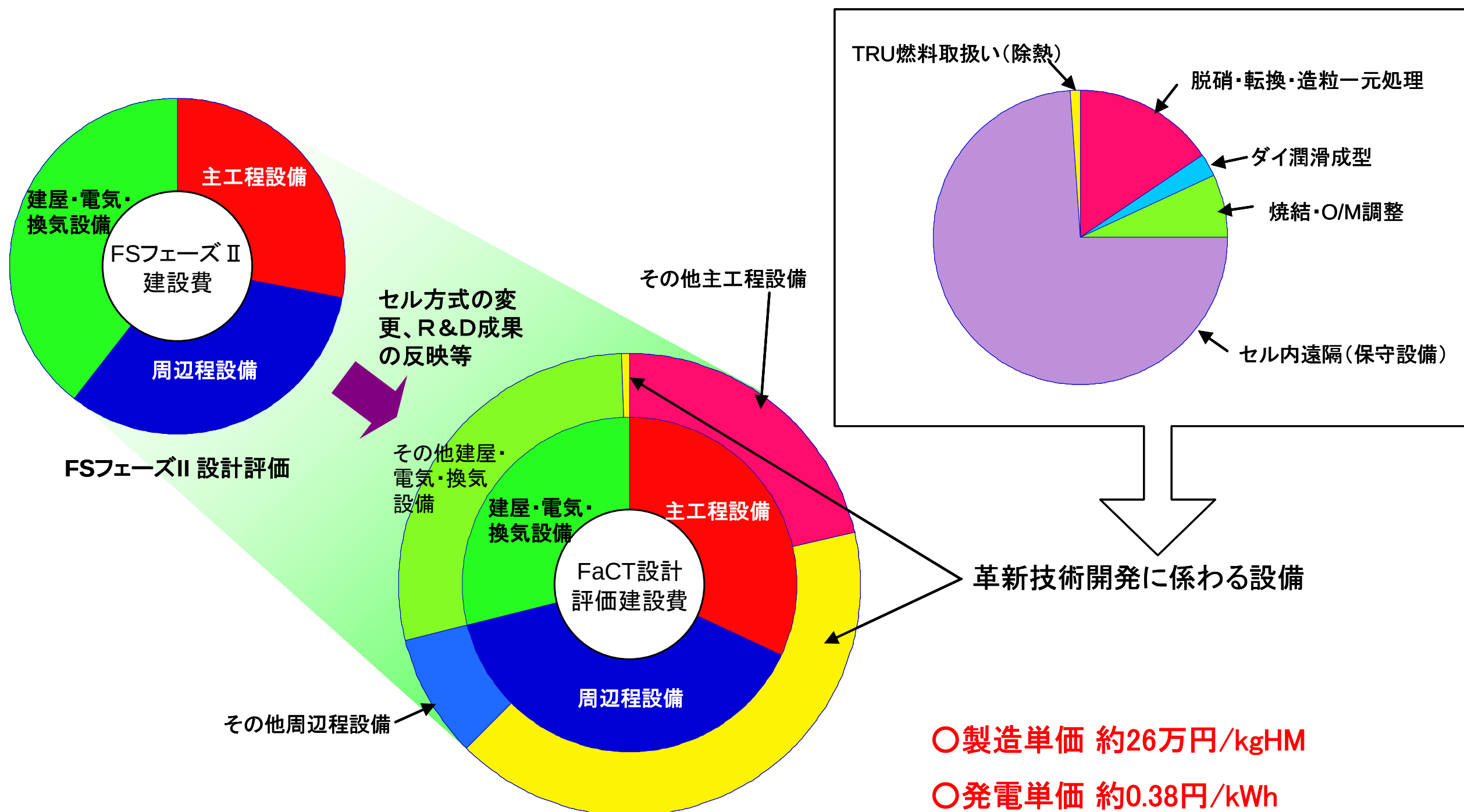
工 程	設備能力	設備系列数	備 考
溶液受入	TRU溶液用3,700リットル U溶液用4,600リットル	8 (U溶液用4、TRU 溶液用4)	貯槽容量は燃料製造2.5日分に相当。
富化度調整	貯槽容量2,900リットル	6	燃料製造2.5日分に相当
脱硝	5kgHM/バッチ 1h/バッチ	10	大径浅皿型脱硝容器を採用。 脱硝・焙焼・還元の3ステージで同時処理。 還元ステージは2バッチ分を一括して2時間で処理。
造粒	5kgHM/バッチ、1h/バッチ	10	水をバインダとした転動造粒。
バッチ拡大混合	180kgHM/バッチ	4	造粒粉180kgHM(脱硝・造粒36バッチ分)を混合。
成型	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。



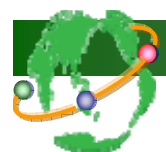
小型セルにおける遠隔保守概念



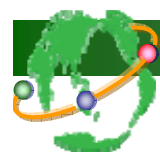
(4) 経済性評価結果(燃料製造システム、暫定)



FaCT燃料製造施設を構成する革新技術の設備費が占める割合

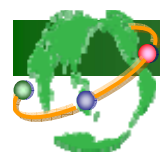


8. 革新技術評価結果



革新技术の評価結果(1)

	技術的成立性の評価	開発目標・設計要求への影響		採 否
		製造設備としての経済性	その他	
脱硝・転換・造粒一元処理技術	○ 以下のことから、脱硝・転換・造粒の量産技術の成立性に見通しがあると判断。 ・小規模MOX試験設備での0.6kgMOX/バッチ（一部1.3kgMOX/バッチ）のMOX試験により、良好なMOX粉末を収率85%以上で得られた。 ・マイクロ波脱硝技術の量産性については、内径60cmφの浅皿脱硝容器の製作性見通しを確認。また、マイクロ波の電磁場解析により量産規模のマイクロ波脱硝装置の設計製作は可能と判断。 ・造粒技術の量産性については、5kgHM/バッチの上部アクセス方式転動造粒装置による模擬粉末試験の結果、流動性が良好な顆粒が収率90%以上で得られたことから、量産規模の造粒装置が成立することを確認。	目標の製造単価16万円/kgHMに対し、約26万円/kgHMの評価となった これは燃料製造施設の建設費が増大したことによるもので、主として、従来の大型セル構造の工程セルを小型セル方式としたことにより、遠隔保守用のハンドリング装置の設置台数が大幅に増加したことによる。さらに、遠隔保守のための工程設備単価の見直し、研究開発の進捗に伴う工程設備の見直し等による。	【廃棄物管理性】 MAの発熱に対し安定性のある造粒法の採用によりMAリサイクル実現への貢献が認められる。 【経済性】 浅皿脱硝容器の採用で装置の設置面積が増大したが、脱硝・転換・造粒工程で容器を共有すること、転動造粒工程の採用による工程簡略化で経済性向上に貢献する。	○ 【採用】 技術的成立性が見通しが得られたこと、本技術が経済性及び廃棄物管理性への貢献が期待できることにより、採用と判断する。
ダイ潤滑成型技術	○ 以下のことから、ダイ潤滑技術が工学規模で成立する見通しがあると判断。 ・簡素化ペレット法で調整したMOX造粒粉を用いダイ潤滑を手作業で模擬して成型することにより、約550個の良好なMOXペレットを得たこと。 ・小規模MOX試験用ダイ潤滑成型機及びプルトリウム燃料第三開発室の新規製作のダイ潤滑成型機を用い、模擬粉末を使用した試験の結果、良好な成型体を得たこと。また、7.5個/分・パンチ以上の成型速度で成型できたこと。 ・これらの試験を通じて、成型体の品質を左右するダイへの潤滑剤の塗布量の制御技術とMOX粉末の成型特性を確認できたこと。	しかしながら、これらの革新技术の採用により、従来法では対応困難な再処理の低除染化、MAリサイクル高燃焼度を目指したMOX燃料の量産化が可能となることから、従来技術に対して経済競合性を備えていると判断する。	【廃棄物管理性】 MAの発熱に対し影響を受けにくい技術であるダイ潤滑成型の採用により、MAリサイクル実現への貢献が認められる。 【経済性】 潤滑剤混合工程等の合理化により経済性向上へ貢献する。	○ 【採用】 技術的成立性が見通しが得られたこと、本技術が経済性及び廃棄物管理性への貢献が期待できることにより、採用と判断する。



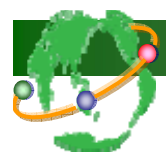
革新技术の評価結果(2)

	技術的成立性の評価		開発目標・設計要求への影響		採 否
			製造設備としての経済性	その他	
焼結・O/M調整技術	△	以下のように、焼結・O/M調整プロセスの技術的成立性見通しはあるものの、量産性の根拠が不十分と判断。 ・照射試験用ペレット製作で、焼結密度が95%以上、O/Mが1.97以下の良好なMOX中空ペレットを得ることができたこと。 ・基礎物性試験により熱処理中のO/M比変化を、理論的に予測・評価することができ、この成果を反映して製作した焼結・O/M調整炉の作動試験で設計どおりの機能を有していることを確認したこと。 ・量産設備については臨界管理方式については、プルトニウム第三施設の実績のある質量管理方式とし、処理方式は、連続式及びバッチ式の両者を選択。 ・炭素を助剤とする還元雰囲気中熱処理法による量産への適用可能性があること。	(前に同じ)	[経済性] 燃料の高性能化に必須な技術である。	【検討継続】 技術的成立性について概ね見通せるが、O/M調整の量産性の根拠が不十分である。今後の検討、試験データによる更なる確認が必要と考えることから炭素を助剤とする方法等の適用検討を含めた研究開発を継続する。量産性の根拠を明確にした上で、2015年までに実用化に至るまでの研究開発の進め方を決定する。



革新技術の評価結果(3)

	技術的成立性の評価	開発目標・設計要求への影響		採 否
		製造設備としての経済性	その他	
セル内遠隔設備開発	以下によりセル内遠隔設備概念の技術的成立性見通しが概ねある。 ・ペレット成型設備の約70の保守項目にモジュール交換で対応するため、37のモジュールで構成するペレット成型設備の概念を設計。 ・ロボットアーム及びこれを運転制御するシステムを開発。代表的モジュールと組合せた試験を実施し、モジュール交換が問題なくできること、モジュールが目標時間6時間で交換が可能であることを確認。 ・移送中の転倒ペレットの修復、工程内のペレット詰まりを排除するための小型ロボットアームを開発。 ・その他のセル設備についてモックアップ試験による確認及び検討を実施し、モジュール化設備とハンドリング設備による保守概念の適用性が概ねあると評価。	(前に同じ)	[安全性及び信頼性] 低除染TRU燃料製造の実現に必要な技術であり、また、故障時の工程セルの停止時間短縮のため、燃料製造システムの信頼性向上への貢献が期待できる。	△ 【検討継続】 今回の代表設備による研究開発成果のその他設備への適用性を評価するとともに、セル内遠隔設備の機能要件の一つである自動運転技術の開発を進め、設備全体の信頼性を確認した上で、2015年までに実用化に至るまでの研究開発の進め方を決定する。今後の技術開発展開については、本技術の成立が前提となる晶析技術及びMA回収技術開発の動向を踏まえる必要がある。
TRU取扱い技術	燃料集合体組立時の燃料要素バンドルを強制空冷するシステムを代表とし、以下により発熱対策の技術的成立性見通しがあると判断。 ・1集合体あたり2.6kWの発熱を模擬したモックアップ試験の結果、空気流によるバンドル冷却システムで、定常冷却時及び冷却設備の異常等の非定常状態においても、バンドル内の被覆管の表面温度が空気中で酸化薄膜による変色が生ずる300℃を超えないシステム概念が成立することを確認。 ・同時に、ラッパ管なしの予測精度を±5℃以内、ラッパ管付でも同程度の精度で予測できる計算評価ツールを整備し、除熱システムの運転特性が良好であることを確認。	(前に同じ)	[廃棄物管理性] R&D成果ではMA最大5%含有を想定した20 W/kgHMの発熱に対応できることが確認され、設計要求であるMA含有率5%の発熱を考慮した燃料製造の実現への貢献が認められる。	○ 【採用】 技術的成立性が見通しが得られたこと、本技術がMAリサイクル実現へ貢献が認められることにより、採用とする。 なお、本技術はMAリサイクルに必要な技術であることから、今後の開発展開においてはMA回収技術開発と整合した研究開発となるよう留意する。



end