

2015年までの研究開発計画

— 主概念：先進湿式法再処理＋簡素化ペレット法燃料製造 —

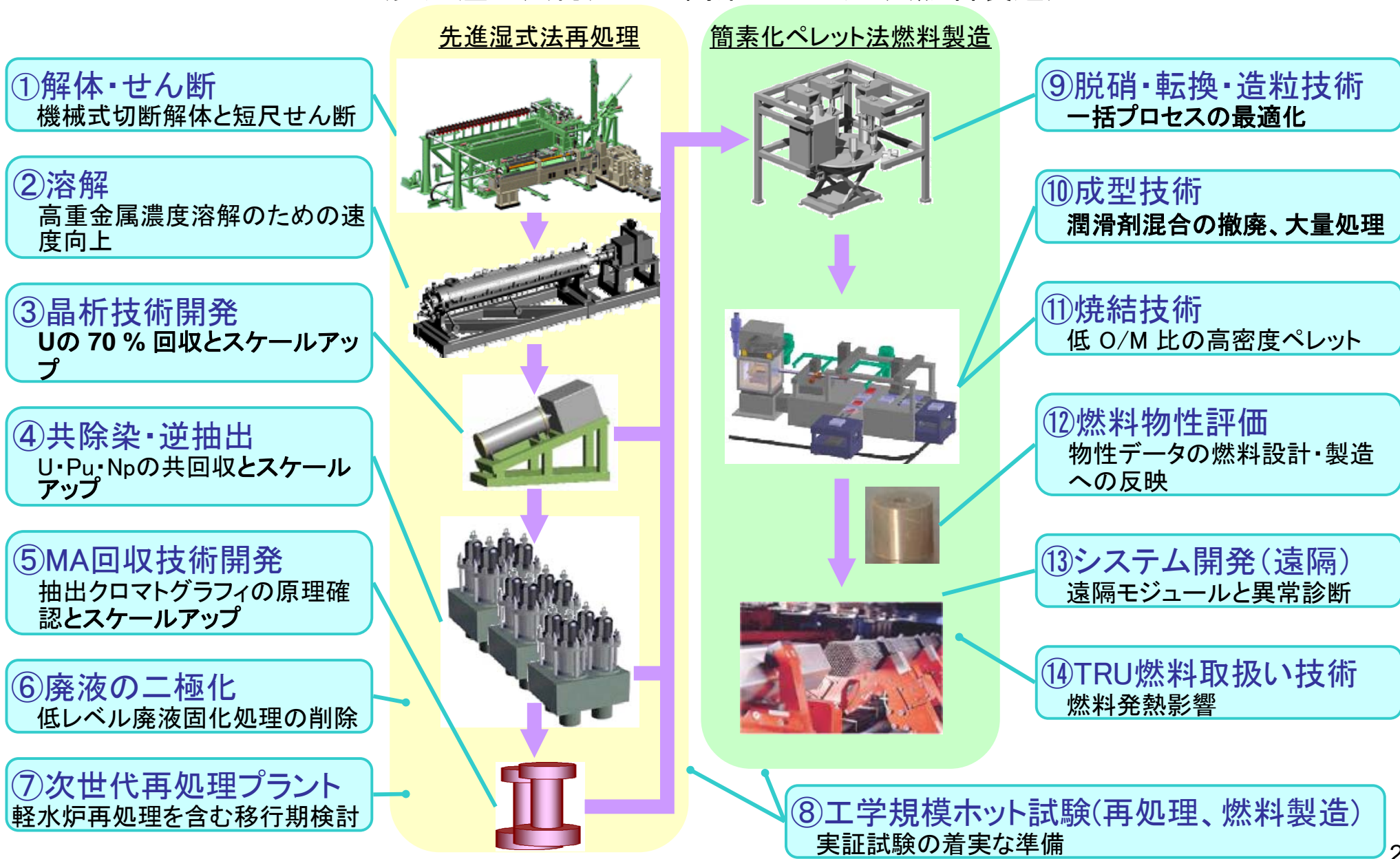


(独)日本原子力研究開発機構

2006年5月24日

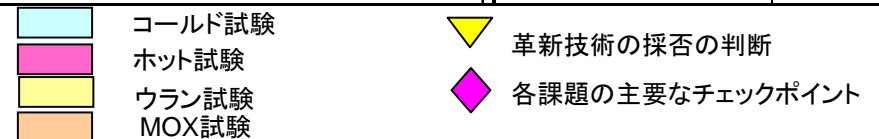
燃料サイクルシステムに関する2015年までの技術開発課題

(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)



燃料サイクルシステムの2015年までの研究開発計画

項目		2010		2015		評価・判断のポイント	代替技術
主概念	設計研究	<ul style="list-style-type: none"> ・実用サイクル施設の概念構築 ・技術の総合実証 実証試験： ～10kg/h=50t/y相当 	概念設計研究	最適化設計研究	実用化プラントの仕様 および目標性能 ↓ 計画案の提示	-	-
	プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> ・操業条件最適化のための小規模ホット試験（CPF） 	<ul style="list-style-type: none"> ・せん断や晶析の条件（粉体化率、温度、等）と整合した溶解速度の確認 ・晶析工程の除染係数確認および結晶洗浄効果の確認 ・晶析条件と整合した共除染／逆抽出データ拡充 ・MA回収工程の原理確認 ・超臨界直接抽出法の抽出性能の確認 	試験条件 ↓ 晶析、共除染・逆抽出、MA回収に関する 重要プロセス試験（～1kg/h）	1 晶析技術の実用化の見通し評価 重要プロセス試験装置の設計への反映 2 小規模ホット試験結果に基づく溶解・晶析・共除染・逆抽出の操業条件提示、実用化の見通し判断	-	従来型Purexベース技術
	スケールアップの影響等確認のための重要プロセス試験 （小規模ホット試験の10～100倍程度の規模： ～1kg/h=5t/y相当）	概念検討 → 詳細設計 → 許認可 → 施設整備	試験条件 ↓ 晶析、共除染・逆抽出、MA回収に関する 重要プロセス試験（～1kg/h）	3 小規模ホット試験結果等を踏まえた重要プロセス試験の施設整備開始の判断 4 重要プロセス試験結果に基づく溶解・晶析・共除染・逆抽出の実用化の見通し判断	-	従来型Purexベース技術	
	機器開発	<ul style="list-style-type: none"> ・処理速度や除染性能など機器性能を確認するための機器概念の構築 実用化が見通せる規模の機器の設計・製作・試験 	解体、せん断、溶解、晶析、共除染・逆抽出、MA回収等 主要工程の試験用機器設計（試作・試験も含む）	5 主要工程の機器の製作、機器性能試験	5 実用機器の性能（処理速度、除染性能等）の確認、実用化の見通し判断	従来型Purexベース技術	
簡素化ペレット	プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> ・低除染MA含有MOXペレット製造実証 ・製造プロセス開発 	簡素化ペレット法の 小規模実証	簡素化ペレット法による照射燃料製造（技術確認）	6 簡素化ペレット法の原理的成立性の確認、実用化の見通し判断 7 簡素化ペレット法製造システムの技術確認、実用化の見通し判断	従来型ペレット法ベース技術	従来型ペレット法ベース技術
	機器開発	<ul style="list-style-type: none"> ・実用化が見通せる規模の遠隔保守補修、量産性確認 	脱硝酸換・ダイ潤滑成型・焼結等、簡素化ペレット製造小規模システムの設計・製作 ↓ 遠隔保守補修概念検討／詳細設計	機器製作 → 遠隔製造・量産試験	8 実用機器の性能（量産性、遠隔保守等）の確認、実用化の見通し判断	高除染体系でのグローブボックス内製造システム	



① 機械式解体・短尺せん断技術の開発 (1/2)

技術の現状

- レーザーを用いた解体方法では、燃料ピン損傷、切断不良等の発生の可能性が高い。一方、機械式切断法の基本要素技術の成立性は見込まれ、解体手順も合理化可能。
- 従来の燃料ピンせん断長(約3cm)では、連続溶解で高効率に高濃度溶解液を得ることは困難。

要求される技術仕様

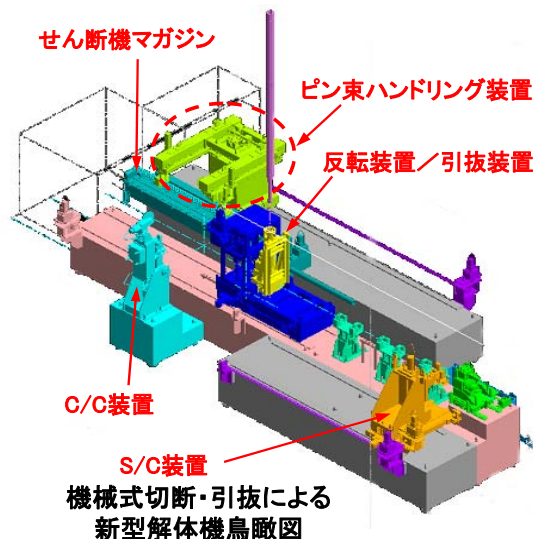
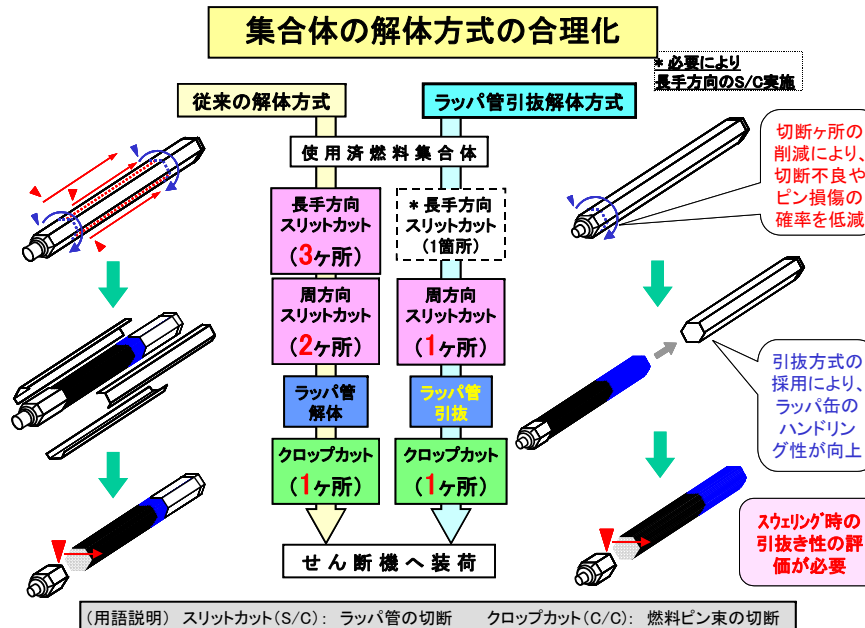
- 解体システムは燃料ピン損傷等の発生が少なく、所定の処理能力を有し、操作性・保守性の点でも優れていること
- せん断システムは所定の高粉化率のせん断片が得られ、処理能力、操作性・保守性の点でも優れていること。
- 両システムを合わせて、機器配置が合理化すること。

技術開発の概要

- 要素試験機及びシステム試験機により、機械式切断と燃料ピン引き抜き方式を組合わせた解体システムを実証。
- 要素試験機及びシステム試験機により、所定の高粉化率のせん断片が得られるせん断システムを実証。

主要開発課題

- 解体切断刃の制御・遠隔交換等の実証、高粉化率せん断用の刃・ギャグ等の仕様最適化
- 実使用済燃料のピン束形状、せん断時のピン性状の把握



機械式切断治具による切断状況 (キュービトロン砥石)

① 機械式解体・短尺せん断技術の開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
<p>機械式解体システムの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 要素機による基本機能確認試験 システム試験機 <ul style="list-style-type: none"> 設計 製作 試験(コールド)、評価 遠隔保守性検討 実機 (ホット工学試験用≒実用機) <ul style="list-style-type: none"> 設計 製作 			<ul style="list-style-type: none"> 要素試験機によるラッパ管切断、燃料ピン引抜等の主要要素部分の機能を確認。 システム試験機による燃料集合体ハンドリング、操作性を含めた解体システム性能の実証 遠隔保守性の検討、実機設計・製作
<p>短尺せん断技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 要素機による基本機能確認試験 実燃料せん断ピンのデータ把握 システム試験機 <ul style="list-style-type: none"> 設計 製作 試験(コールド)、評価 遠隔保守性検討 実機(位置づけは解体機と同じ) <ul style="list-style-type: none"> 設計 製作 			<ul style="list-style-type: none"> 要素試験機(既存のものを改良し活用)により模擬燃料集合体のせん断試験、せん断刃・ギャグ等の構造の改良 システム試験機による燃料集合体ハンドリング、操作性を含めたせん断システム性能の実証 遠隔保守設計の見直しを経て、実機設計・製作 <p>集合体せん断 長さ3cm</p> <p>集合体せん断 長さ3cm</p> <p>せん断片外観 (通常せん断時)</p> <p>燃料片粉化率の向上</p>

② 高効率溶解技術の開発 (1/2)

技術の現状

- 従来長さのせん断片溶解では、晶析工程供給に対応する高金属濃度溶解液の調製が困難。高粉体化燃料溶解の有効性を確認。
- 回転ドラム型連続溶解槽は工学規模ウラン試験で基本性能確認。

要求される技術仕様

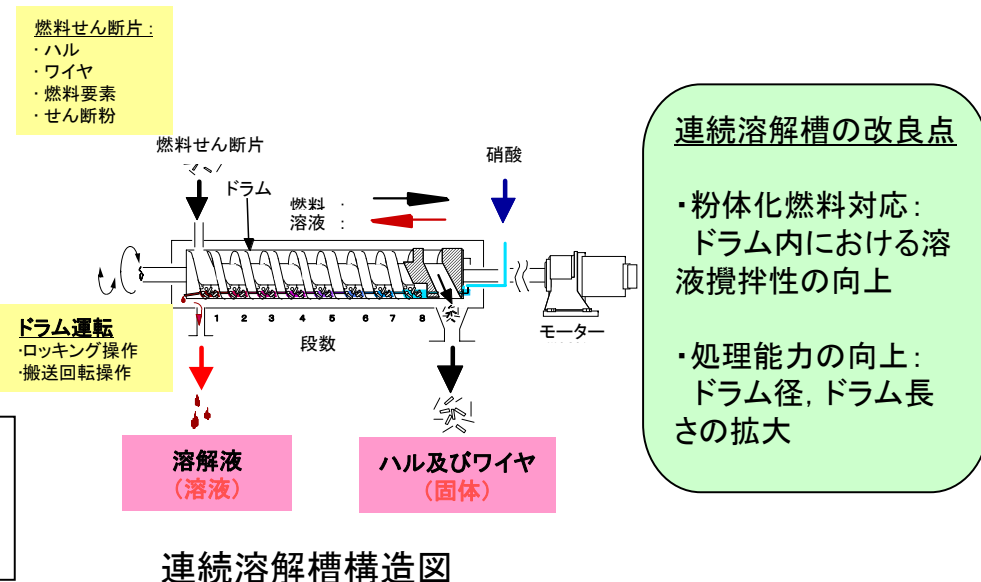
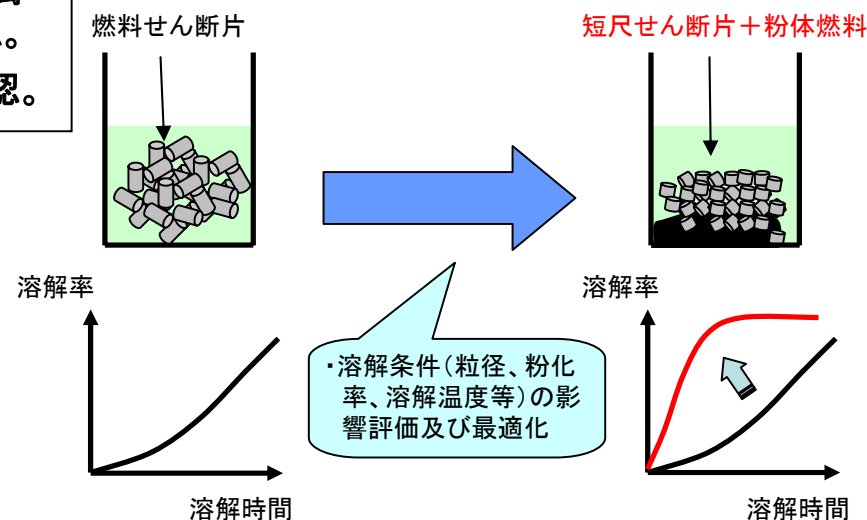
- 所定の高金属濃度溶解液を効率的に(硝酸濃度や溶解温度の運転条件を厳しくせずに、短時間で)得られること。
- 溶解槽は実用プラント規模(200t/y)に対応する処理能力を見込めること。

技術開発の概要

- 高粉化燃料の装荷に対応し、高金属濃度溶解液が得られる溶解プロセスについて、燃料粉化率や粒径等をパラメータとしたプロセス試験を実施し、溶解条件を最適化。
- 高粉化燃料のハンドリング性に優れ、処理容量の増大が図れる連続溶解槽の基本構造を構築、部分モックアップ機にて性能を実証。

主要開発課題

- ホット試験による溶解プロセスデータ拡充。解析コード改良。
- 大型化と運転安定性、攪拌性が両立する溶解槽内部構造の確立。



② 高効率溶解技術の開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
<p>高効率溶解プロセス開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 各種溶解条件の影響評価 ホット工学試験に向けたデータ整備拡充 溶解計算コードの改良 試験結果の反映、溶解条件最適化 ホット工学試験に向けた拡張 			<p>短尺せん断片 + 粉体燃料</p> <p>・せん断片長さ ・粉化率 ・粒径</p> <p>・溶解温度 ・硝酸濃度 ・溶解槽形状</p> <p>溶解率</p> <p>— : 実測値 ... : 計算値</p> <p>溶解時間</p> <p>高金属濃度溶解条件における</p> <ul style="list-style-type: none"> せん断、粉碎条件の影響評価 温度(低温下)及び硝酸濃度(低濃度下)の影響評価 不溶解残渣発生量及び残渣成分評価 溶解計算コード改良と拡張 <p>・不溶解残渣発生量及び成分</p> <p>・計算コード改良・拡張</p>
<p>高効率溶解装置開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 基本構造の検討 部分モックアップ試験機 設計 製作 試験(コールド→ウラン) 実用機の基本設計 実機(ホット工学試験用) 設計 製作 			<p>従来ドラム構造(10kg/h)</p> <p>大型溶解槽ドラム構造(40kg/h)</p> <ul style="list-style-type: none"> 要素試験機により高粉体化燃料装荷に対応した高攪拌性ドラム構造を検討 部分モックアップ試験機により大型溶解槽の基本構造(臨界安全性等)及び基本性能を実証(せん断燃料片の攪拌・移送性、溶液の流動等) 実機設計・製作

③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発 (1/2)

技術の現状

○晶析方法の化学的成立性及び連続晶析装置の基本的成立性を確認。

要求される技術仕様

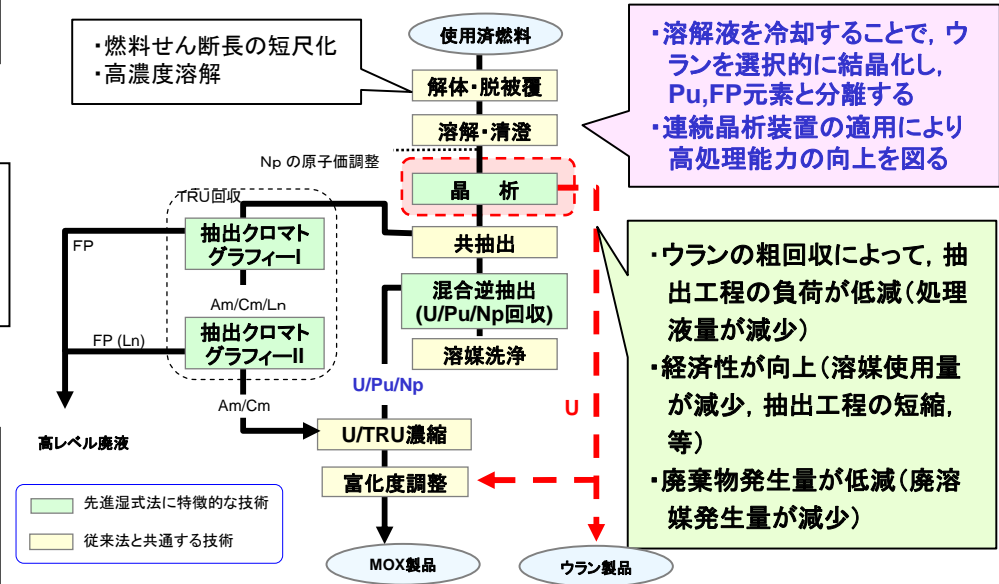
○所定のDFと回収率にて回収ウランを安定して得られること。
○晶析装置は実用プラント規模(200t/y)に対応する処理能力を見込めること。

技術開発の概要

○FP等のウラン結晶への同伴核種の挙動評価及びこれを踏まえた晶析・結晶洗浄精製手法及び操作条件最適化。
○工学規模試験機による高処理能力、安定性、操作性に優れた連続晶析装置の実証。高濃度溶液・ウラン結晶のハンドリング技術等の実証。

主要開発課題

○Cs等、低除染元素に対するDFの向上方策の確立。
○晶析装置の運転制御方策(計装制御技術等)、溶液及び結晶の安定的移送方策等の確立。
○大型化を見通した内部構造、安全性検討(臨界安全等)。



U結晶中におけるPuの存在比

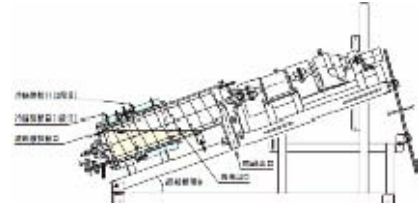
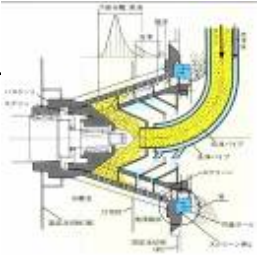
	U結晶の外観	Pu比
Run1		100 : 0.3 (U) (Pu)
Run2		100 : 5 (U) (Pu)
Run3		100 : 1.5 (U) (Pu)

Pu(IV) のみの場合には母液に付着する
Pu(VI) の場合には結晶に取り込まれる



連続晶析装置概念(基礎試験装置)

③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発(2/2)

分類	2010	2015	試験内容																												
高DF晶析技術の検討 <ul style="list-style-type: none"> FP同伴メカニズムの解明 結晶洗浄技術の検討 ホット工学試験に向けた晶析プロセスデータ拡充整備 (操作条件最適化) 			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">結晶中Uに対するPu, FPの除染係数(DF)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Pu</th> <th>¹³⁷Cs</th> <th>¹⁵⁵Eu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Run1 (急冷)</td> <td>洗浄前</td> <td>5.6</td> <td>1.2</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>洗浄後</td> <td>25</td> <td>0.8</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Run2 (緩冷)</td> <td>洗浄前</td> <td>4.6</td> <td>0.9</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>洗浄後</td> <td>19</td> <td>0.9</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> FP核種(Cs等)の析出(U結晶への同伴)メカニズムの解明、移行抑制方策の確立 回収U結晶の洗浄技術を確立 			結晶中Uに対するPu, FPの除染係数(DF)					Pu	¹³⁷ Cs	¹⁵⁵ Eu	Run1 (急冷)	洗浄前	5.6	1.2	4.2	洗浄後	25	0.8	27	Run2 (緩冷)	洗浄前	4.6	0.9	3.5	洗浄後	19	0.9	19
		結晶中Uに対するPu, FPの除染係数(DF)																													
		Pu	¹³⁷ Cs	¹⁵⁵ Eu																											
Run1 (急冷)	洗浄前	5.6	1.2	4.2																											
	洗浄後	25	0.8	27																											
Run2 (緩冷)	洗浄前	4.6	0.9	3.5																											
	洗浄後	19	0.9	19																											
連続晶析装置の開発 <ul style="list-style-type: none"> 基本構造の検討 計装制御システムの検討 遠隔保守構造の検討 工学規模試験機(+) 設計 製作 試験(コールド→ウラン) 実用機の基本設計 実機(ホット工学試験用) 設計 製作 			<ul style="list-style-type: none"> 要素試験機による冷却性能、結晶スラリー排出等の基本構造の成立性を確認 計装制御システム、遠隔保守構造を検討、工学規模試験機により晶析システムの成立性を実証 大型機を見込んだ臨界安全形状の検討評価  <p>連続晶析装置外観図</p>																												
晶析関連技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> 結晶分離機の成立性評価 高濃度溶液の移送技術の確立 			 <p>結晶分離機の概念構造図</p> <ul style="list-style-type: none"> 臨界安全性、閉じ込め性などに合致した装置構造の実証 閉塞等検知・解除機構の確立 																												

④ U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発 (1/2)

技術の現状

- ホットラボスケール試験にてU-Pu-Np一括回収フローシートの有効性を確認。
- 工学規模遠心抽出器システム試験により基本性能を確認

要求される技術仕様

- 所定の回収率及び精製度を満足するU-Pu-Np一括回収フローシートの最適化。
- 大容量化・高耐久性遠心抽出器による、安定した抽出システムの実証

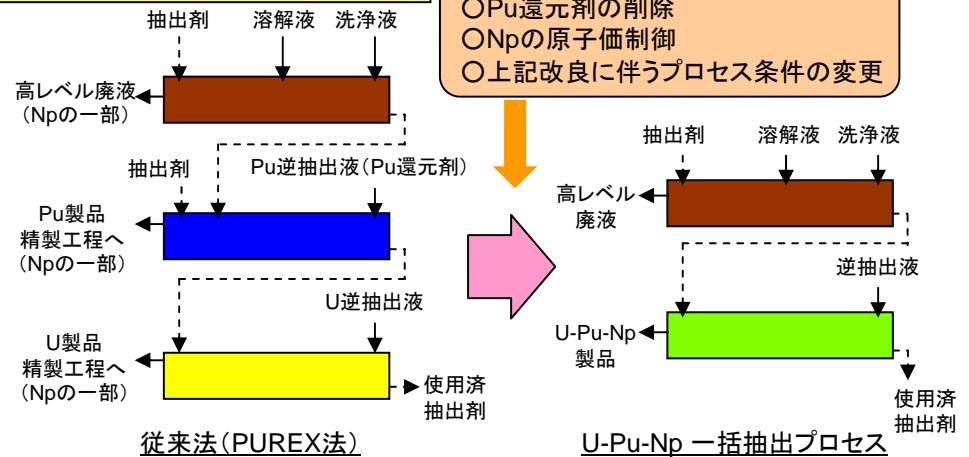
技術開発の概要

- プロセス試験によるU-Pu-Np一括回収フローシートの最適化 (Np抽出挙動への亜硝酸濃度等の影響評価、各元素の低濃度領域におけるプロファイルデータ取得等)。
- 大容量遠心抽出器(40kg/h)の基本性能、新型駆動機構の高耐久性実証、工学規模ウラン試験によるシステムの成立性の確認(遠隔保守性、インライン計装技術等)。

主要開発課題

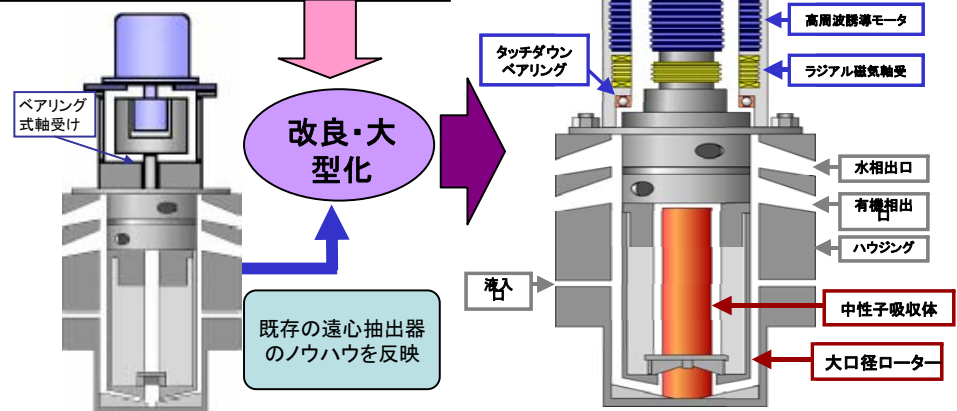
- ホット試験による抽出プロセスデータ拡充。解析コード改良。
- 円環型ローターの攪拌・分離機能の実証、新型駆動機構の各要素の信頼性確立
- 高速の分離システムに対応するインライン計装技術の確立

U,Pu,Npの一括回収プロセスの開発



大型プラント向け遠心抽出器の開発

- 磁気軸受による耐久性向上
- 中性子吸収体を内包した円環型新型ロータの開発



10kg/h 規模の遠心抽出器

40kg/h 規模の大容量遠心抽出器概念

④ U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
U,Pu, Np一括回収プロセスの開発 <ul style="list-style-type: none"> • Np(U,Pu)抽出挙動の確認 • 一括回収プロセス条件の最適化 • ホット工学試験に向けたデータ整備 • 抽出計算コードの改良 試験結果の反映、抽出条件最適化 • ホット工学試験に向けた拡張 			<ul style="list-style-type: none"> • 溶解液や洗浄液中の硝酸濃度や亜硝酸濃度がNpの抽出挙動に及ぼす影響を評価 • 抽出器内の濃度プロファイルデータの蓄積及び上記評価と併せたプロセス条件の最適化 • 各供給液の流量変動が及ぼす影響評価(マルオペ条件下への対応)によるホット工学規模試験に向けたデータ整備
遠心抽出器システムの開発 <ul style="list-style-type: none"> • 工学規模システム試験 等 耐久性の確認 • インライン計装技術の開発 • システム制御性の確認 • 遠隔保守性の検討 • 大容量遠心抽出器(実用機) 基本性能確認 • システム特性把握 • 遠隔保守構造検討 • 実機(ホット工学試験用) 設計 • 製作 			<p>工学規模システム試験機によりシステム成立性を把握</p> <ul style="list-style-type: none"> • 遠心抽出システムの抽出・逆抽出・溶媒洗浄システムの特 性データの取得 • 抽出システムにおけるインライン計測システムを確立 • 異常時の抽出システム挙動の把握と対策の確立 <p>大容量遠心抽出器の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> • 円環型ロータ構造+中性子吸収材により、臨界安全性を確 保した新型ロータの抽出性能を評価 • 磁気軸受け駆動部の 耐久性・耐放射線性能評価 • 多段システム性能を確認 • 遠隔保守構造を検討 <p>実機の基本設計を実施</p>



工学規模システム試験機抽出ステージの外観

⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発 (1/2)

技術の現状

○抽出クロマト法のMA回収工程への適用に関し、その基本性能を確認。

要求される技術仕様

- 所定の分離回収機能を有する安定した抽出剤・吸着材の選定、MA回収フローシート最適化。
- 大幅な廃液低減につながる抽出クロマト法の工学規模プロセス機器による成立性実証。実用規模の処理能力が見込めること。

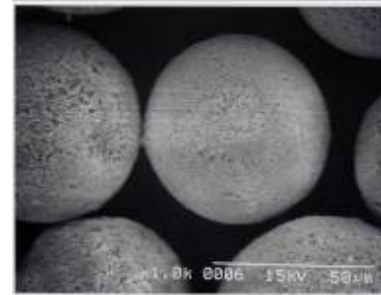
技術開発の概要

- プロセス試験により、各種吸着材(抽出剤)を比較・評価(分離性能及び安全性)し、最適なものを選定、フローシート確立、MA及びFP元素の挙動確認。
- 工学規模(10kg/h)試験により、プロセス機器(分離塔、回収塔等)の遠隔運転性・計装機器等の成立性を確認。

主要開発課題

- 吸着材の安定性・安全性評価データの拡充
- 工学規模プロセス装置(10kg/h)の安定運転技術、吸着材等の遠隔保守(交換)技術の確立。

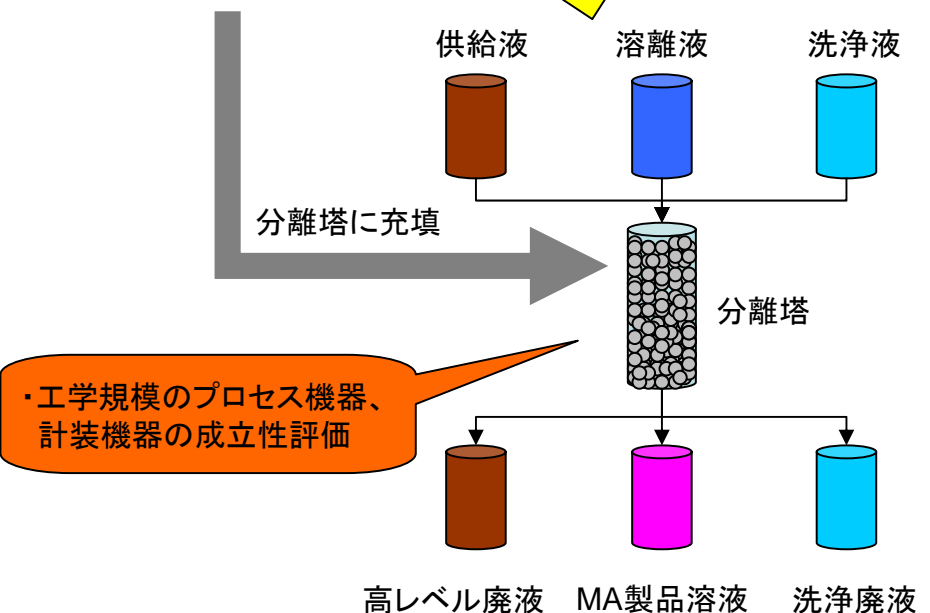
- 多孔質SiO₂ 粒子の表面にポリマー(スチレンジベニルベンゼン)を被覆(SiO₂-P)
- SiO₂-Pの表面に抽出剤(CMPO、TODGA、BTP等)を固定化



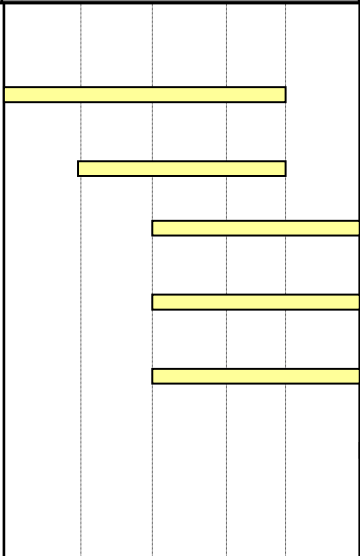
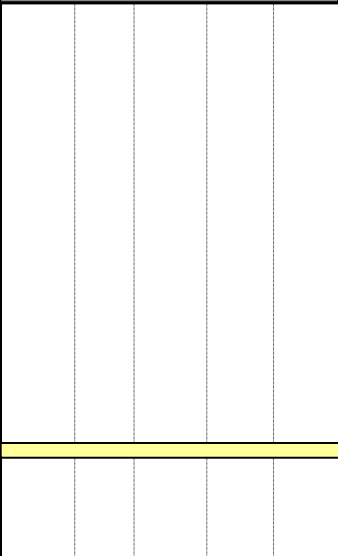
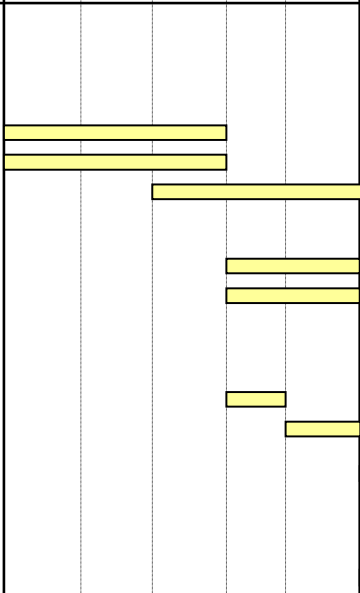
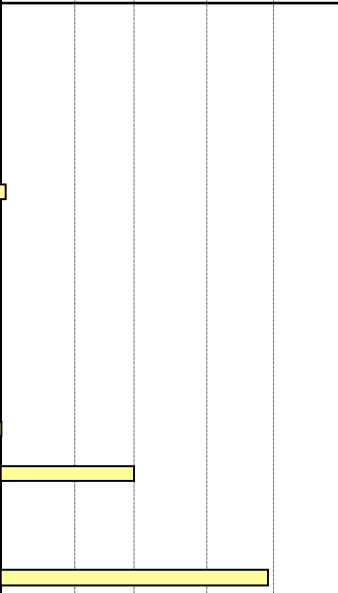
CMPO/SiO₂-P吸着材外観

抽出剤の比較・評価・選定

・フローシートの作成
・MA及びFP元素の挙動確認



⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
<p>抽出クロマト法によるMA回収プロセス開発</p> <ul style="list-style-type: none"> •吸着材(抽出剤)分離性能比較評価 •吸着材(抽出剤)安全性評価 •使用済吸着材処理方法検討 •回収フローシート構築 •MA, FP元素挙動評価 •回収フローシート改良 			<ul style="list-style-type: none"> • 各種吸着材(抽出剤)の性能比較・評価 • 各種吸着材(抽出剤)の耐放射線性等、安全性評価 • 使用済吸着材の処理方法評価 • 上記各試験結果を基にした抽出剤の選定及びMA回収フローシート構築、高レベル廃液等を用いたMA、FP元素挙動評価 • 上記試験結果等を基にしたフローシート改良
<p>抽出クロマトプロセス機器開発</p> <ul style="list-style-type: none"> •要素試験 カラム内流動性把握 安全性評価 耐久性評価 •遠隔操作性検討 •計装・制御法検討 •工学規模プロセス機器試験(+) 設計 製作 試験(コールド→RI) •実機(ホット工学試験用) 設計、製作 			<ul style="list-style-type: none"> • 種々の条件におけるカラム内流動性、熱的安全性、耐久性評価 • 吸着材交換等の遠隔操作性の確認 • 溶出液区画のための計装・制御方法評価 • 工学規模プロセス機器による各種安全性(臨界、熱的等)評価、運転性確認、異常時における発熱、気体発生等の挙動評価 • 実機的设计製作

⑥ 廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発 (1/2)

技術の現状

○オフガス処理工程等における金属イオン(主にNa)を含む試薬の使用に伴い、塩廃棄物が発生。

要求される技術仕様

- 塩廃棄物の大幅削減。
- 廃液を高レベルと極低レベルに限定することによる廃液処理・処分の合理化。

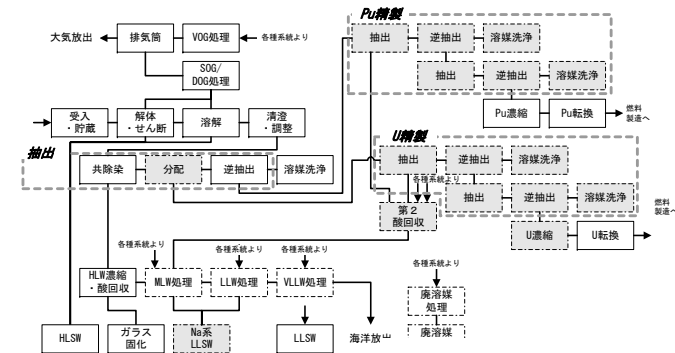
技術開発の概要

- オフガス処理工程等におけるソルトフリー化(濃縮妨害試薬の排除を含む)を、種々の試薬を対象にプロセス試験にて実証。
- 触媒等を利用した硝酸の分解技術について、その適用性を確認。
- ソルトフリープロセス条件に対応した工学規模装置の実証。

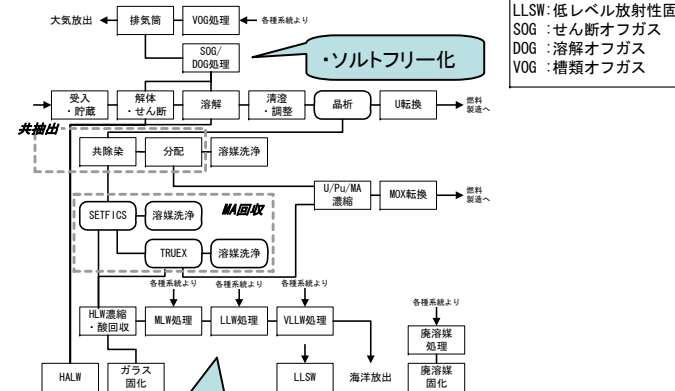
主要開発課題

- ソルトフリー化に伴う濃縮処理高効率化に向けた濃縮操作条件最適化及び機器開発。

従来湿式法



先進湿式リファレンスシステム



HLW : 高レベル放射性廃液
 MLW : 中レベル放射性廃液
 LLW : 低レベル放射性廃液
 VLLW : 極低レベル放射性廃液
 HLWSW : 高レベル放射性固体廃棄物
 LLSW : 低レベル放射性固体廃棄物
 SOG : せん断オフガス
 DOG : 溶解オフガス
 VOG : 槽類オフガス

・主工程及び周辺工程のソルトフリー化(金属イオンを含む試薬の排除)及び濃縮妨害試薬の排除による濃縮処理の高効率化

・余剰硝酸の低減・分解

⑥ 廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
<p>ソルトフリープロセス技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> • 周辺工程におけるソルトフリー化検討 • 濃縮妨害試薬排除検討 • 硝酸分解技術検討 			<p>試験内容</p> <ul style="list-style-type: none"> • 水スクラブ等による洗浄効率評価 • 自己反応性物質の代替検討 (分析試薬、除染試薬、消泡剤等を対象) • 触媒等を利用した硝酸分解技術評価 <p>ソルトフリー試薬</p> <p>オフガス</p> <p>オフガス洗浄塔</p> <p>・試験種類ごとの洗浄効率評価</p>
<p>ソルトフリー機器開発</p> <p>1) ソルトフリーオフガス洗浄装置</p> <ul style="list-style-type: none"> • 要素試験 • モックアップ装置 • 実施設計・製作 <p>2) 硝酸分解装置</p> <ul style="list-style-type: none"> • 要素試験 • モックアップ装置 • 実施設計・製作 			<p>(オフガス洗浄装置)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 要素機・モックアップ機による洗浄性能の確認 • 実機設計・製作 <p>ソルトフリーオフガス洗浄液</p> <p>オフガス洗浄塔</p> <p>洗浄済オフガス</p> <p>オフガス排気</p> <p>洗浄液貯槽</p> <p>オフガス洗浄装置</p> <p>(硝酸分解装置)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 要素機による基本構造(触媒形状、電極配置構造)の確認 • モックアップ試験機による分解性能、耐久性の確認 • 実機設計・製作 <p>硝酸系廃液</p> <p>還元剤</p> <p>N₂</p> <p>NO₃⁻</p> <p>NO₂⁻ 他</p> <p>触媒</p> <p>還元反応槽</p> <p>陽極</p> <p>陰極</p> <p>H₂</p> <p>CO₂</p> <p>N₂</p> <p>電気分解槽</p> <p>硝酸分解装置</p>

⑦ 次世代再処プラント (1/2)

技術の現状

- 主工程の最小化に着目して検討したが、安全設計や周辺工程、最適化に関する検討が不十分
- 軽水炉サイクルからの移行期向けのプラントについて、特定のシナリオに基づきこれまで検討したが、将来の要求に柔軟に対応できるようなより広範な検討が必要

要求される技術仕様

- 高速炉サイクルの実用期におけるリサイクルプラントの姿を、概念設計レベルの図書をもって提示
- 軽水炉、高速炉、プルサーマル燃料を合理的に処理できるプラントの仕様を提示

技術開発の概要

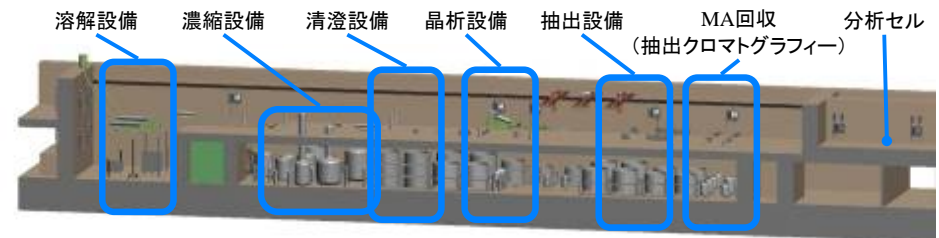
- 2050年頃の実用化を目指してリファレンスとなるプラントの概念設計を完了する。
- 核燃料サイクルのシナリオを解析し、これに適合するプラントの概略仕様を抽出し、技術的な対応策を提示する。

今後の課題

- 安全設計、周辺工程の設計、要素技術成果を取り込んだプロセスやシステムの最適化を着実に進める。
- 国内の政策・技術動向を踏まえ、適切なシナリオを抽出し、設備の変更点を明らかにする。



- 容積: 約39万m³
- (再処理・燃料製造一体化施設のうち再処理部分)
- 年間15~25GWe 発電規模相当の使用済燃料を処理



高速炉燃料リサイクルプラントの外観と主セル断面

(再処理・燃料製造一体化施設, 200 tHM/y)



- 軽水炉燃料の処理に必要な機器
 - ・集合体反転機を追加
 - ・グリッド/スペーサ部を処理する成形機を追加
 - ・エンドピース洗浄槽を追加
 - ・第二晶析設備を追加
- シナリオ整合する設備の変更をさらに検討

移行期プラントの前処理設備セル断面図

⑦ 次世代再処理プラント(2/2)

分類	2010	2015	試験内容
リファレンスとなるプラントの設計 <ul style="list-style-type: none"> 安全設計 周辺工程設計 要素技術開発の進展を考慮したシステムの最適化 	<p>臨界、火災・爆発、閉じ込め等についての検討</p> <p>換気、電気、建屋構造等に関する検討</p>	<p>プロセス、設備等の見直し</p>	<div data-bbox="1373 327 2000 678" data-label="Diagram"> <p>*1: 放射線計測によるPu混入の検知 *2: 成分分析によるPu混入の検知 *3: 施設管理による下流への誤移送防止</p> <p>■ 臨界安全形状である □ 臨界安全形状でない</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> 分離回収設備の寸法や基数に影響する核的制限値を求め、これに基づき安全設計を行う。火災・爆発や閉じ込めについても解析を行う。 従来、詳細に検討していなかった換気や電気設備を検討し、建屋の構造も構造強度などを考慮して再検討する。 要素技術の進展や、炉心及び燃料製造設計の進捗を考慮して、設計の内容を改訂する。
移行期プラントの設計 <ul style="list-style-type: none"> シナリオ解析・抽出 プラント概略仕様検討 設備検討 システムの最適化 	<p>処理量、導入時期、回収製品の取り扱い等の検討</p> <p>最適な除染度などの仕様や処理方法の選定</p>	<p>前処理などの設備検討</p> <p>プロセス、設備等の見直し</p>	<div data-bbox="1518 962 1928 1278" data-label="Figure"> </div> <ul style="list-style-type: none"> 燃料サイクルシナリオを解析し、実現の可能性が高いプラントの概念を抽出、プラント仕様と処理プロセスを決定する。 設備を検討し、最適化を図る。

⑧ 先進湿式再処理技術の工学規模ホット試験 (1/2)

技術の現状

- 現状の開発は、実験室規模でのホット基礎試験及び工学規模でのコールド又はU試験を実施している段階。
- 実用化を見通すための高い信頼性(性能保証)、経済性に関する実用化を見通せる規模のデータが得られていない。

要求される技術仕様

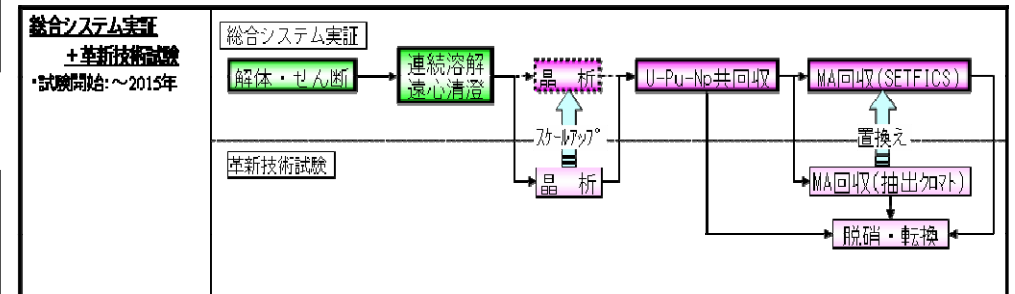
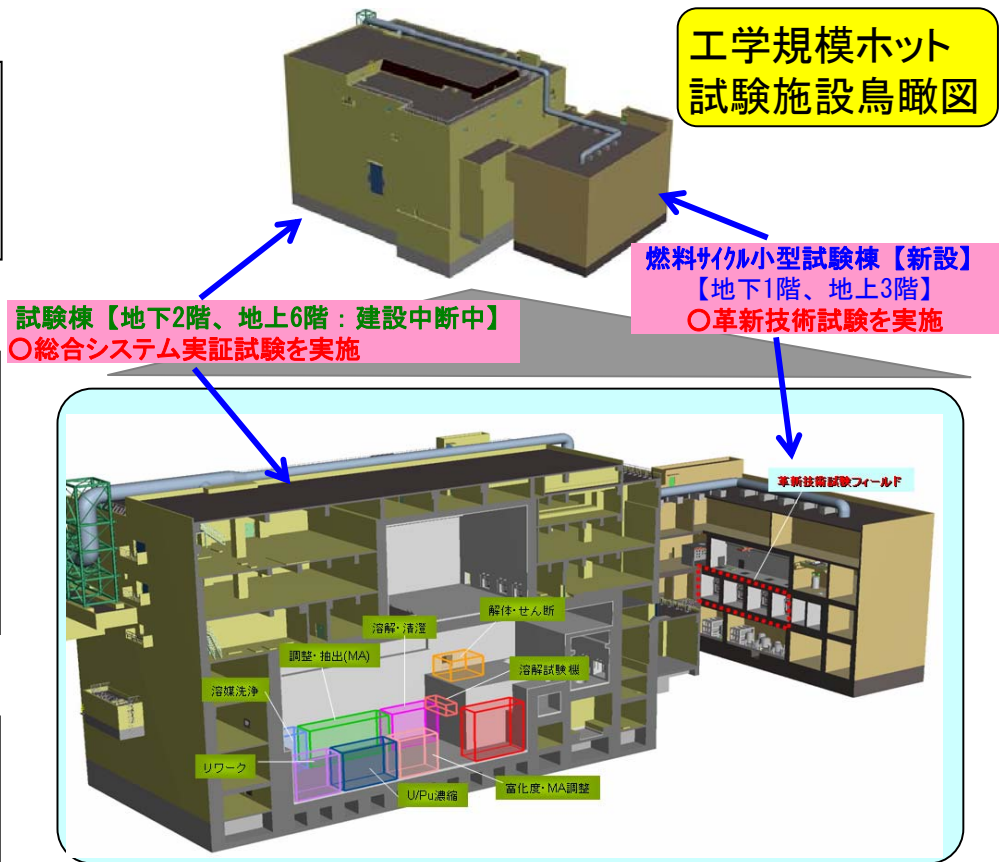
- 実験室規模(～0.1kg/h)よりも核物質取扱量を増やし、装置挙動や製作性を考慮した最小限の工学規模(～1kg/h)での革新技術の性能データ取得及び総合システム実証(～10kg/h)が可能な施設の設計・整備及び試験の実施。
- 設計手法、製作・施工技術の基盤を整え、上記試験データを合わせて技術体系を整備。

技術開発の概要

- 先進湿式再処理の革新技術(晶析、MA回収、脱硝・転換)に関する最小限の工学規模試験及び全ての設備を連結させた総合システム実証を行うことが可能な施設整備(設計・建設)を行う(施設整備に際しては旧RETF建家を活用)。
- 上記に関する試験を実施する。

今後の課題

- 2015年までにホット試験を開始するために、要素技術開発との整合を図りつつ、設計・許認可・建設の効率的に推進する必要がある。



⑧ 先進湿式再処理技術の工学規模ホット試験 (2/2)

分類	2010	2015	試験内容
①設計、許認可(安全審査、設工認等)	[Yellow bar]		
②施設整備		[Yellow bar]	
③革新技術試験+総合システム実証試験		[Yellow bar]	<p>「もんじゅ」の使用済燃料を用いて先進湿式再処理技術の革新技術(晶析、MA回収、簡素化ペレット法(脱硝・転換))について、最小限の工学規模ホット試験(~1kg/h)を実施し、性能(回収率、除染係数等の基本データや最適運転条件等)に関するデータを取得すると共に、一連の先進湿式再処理技術の設備を一貫通貫的に連結させた総合システム実証試験(~10kg/h)を実施し、技術全体の信頼性や経済性、環境負荷低減等に係る実用化の見通しを得るデータを取得する。</p> <div data-bbox="1406 635 2067 1409" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">先進湿式再処理法基本フロー</p> </div>

⑧ 燃料製造技術の工学規模ホット試験 (1/2)

技術の現状

- 簡素化ペレット法による燃料製造システム開発は、次の2つのステップで実施する。量産性設備の開発を主にグローブボックス設備を利用した工学試験施設で行い、遠隔保守補修性の確認をセル設備による工学試験施設により実施する。これらの工学試験施設の整備が必要となる。

要求される技術仕様

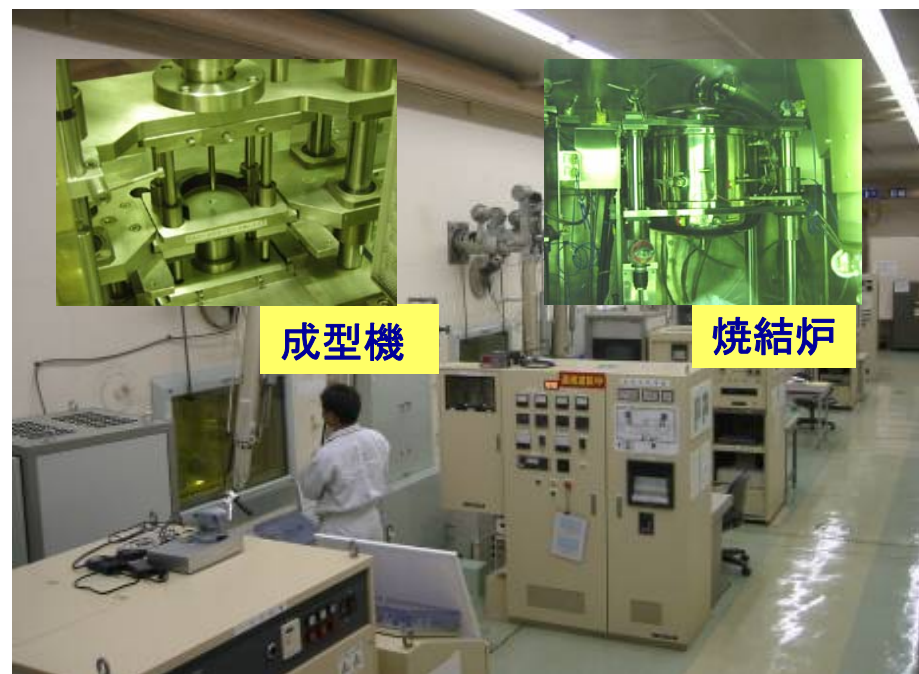
- 量産設備開発、遠隔保守補修性の確認試験に適合した規模・構造の工学試験施設設計、許認可対応
- 現在、照射燃料試験施設(AGF)にセル構造の実験室規模の遠隔燃料製造試験設備があるが、工学試験設備として重遮へいグローブボックスの設備による試験施設の選択もありうる。

技術開発の概要

- 適切な施設概念を確立し、2015年までに工学試験施設の建設に着手する。


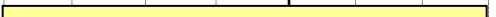
今後の課題

- 新たな施設概念の構築と工学試験施設設計、許認可対応



照射燃料試験施設(AGF)のセル内燃料製造試験設備

⑧ 燃料製造技術の工学規模ホット試験 (2/2)

分類	2010	2015	実施内容
(1) 設備システムの選択 (2) 工学試験施設の設計、建設 ・ Pu-3利用施設(主にグローブボックス設備) ・ セル設備施設		 →建設	<ul style="list-style-type: none"> ・工学試験施設最適施設の検討 ・プルトニウム第3開発室を利用した工学試験施設の設計、許認可、建設 ・セル設備を主体とした工学試験施設の設計、許認可、建設

⑨ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発(1/2)

技術の現状

- 所定のPu富化度調整精度の達成見通しを得た。
- MOXへの転換工程において、ビーカスケールでの転動造粒試験を行い、流動性を改質してペレット成型ダイスへ円滑に充てんできることを確認した。

要求される技術仕様

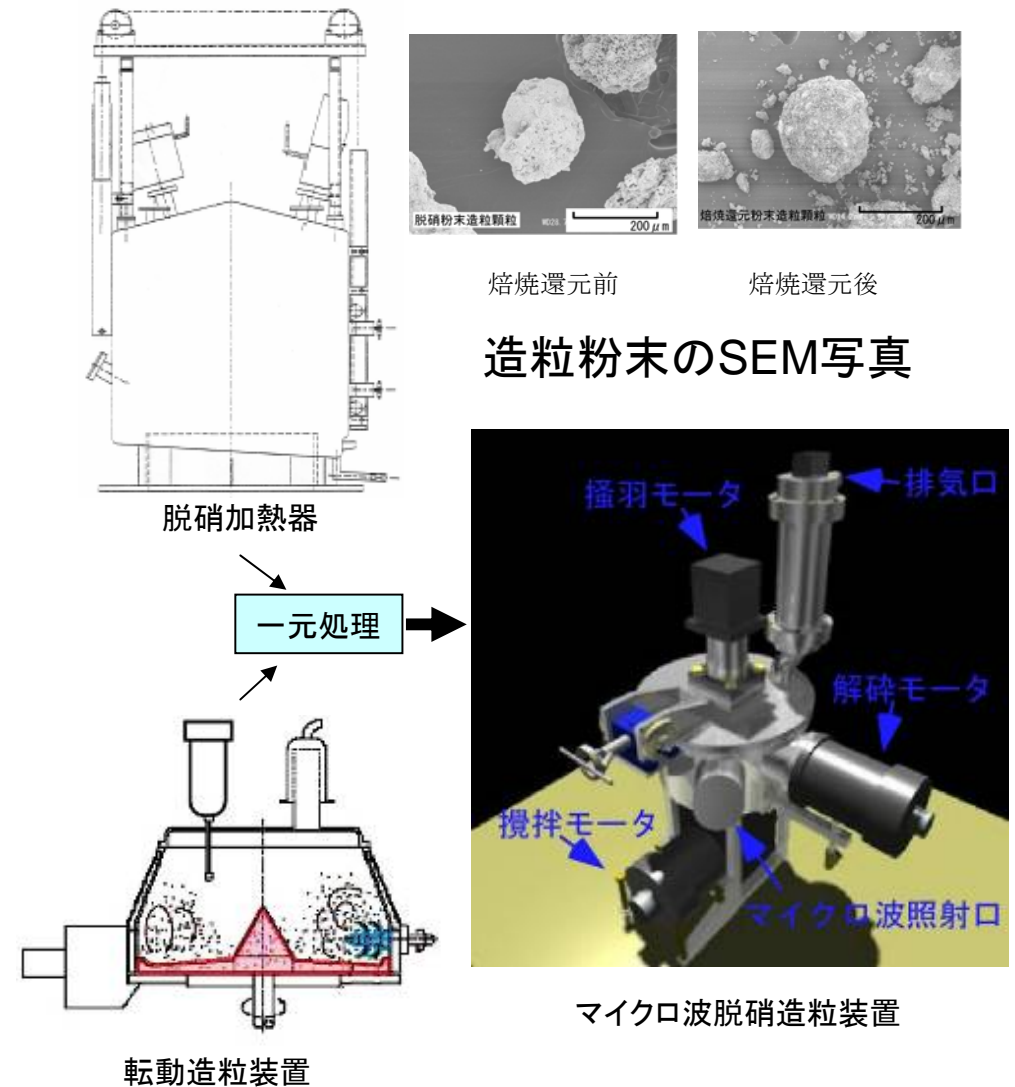
- 流動性の良い造粒粉末を安定して調製できること。
- 転換工程で得られる粉末の流動性を成型ダイスへ直接充てんできるものとし、従来実施していた転換工程後の粉末混合工程、造粒工程を削減

技術開発の概要

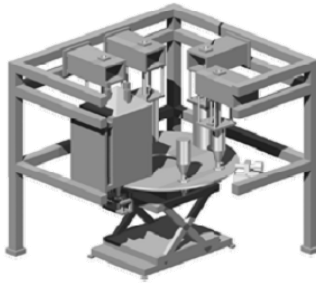
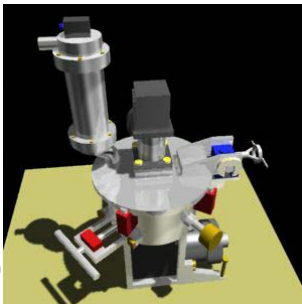
- 脱硝加熱器などの転換装置に造粒機能を組み込み、転換工程で流動性の良い顆粒粉末を直接得られる技術を開発する。

今後の課題

- プロセスの工学規模成立性評価
- 遠隔保守型脱硝転換造粒装置(量産型)の開発。



⑨ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発(2/2)

分類	2010	2015	実施内容
<p>原料粉末調整プロセスの開発 (1)Pu富化度調整・転換・造粒プロセスの開発</p> <p>(2)プロセスの最適化</p>	<p>小規模試験設備整備</p> <p>↓</p> <p>製造性評価試験</p> <p>↓</p> <p>品質向上試験</p> <p>↓</p> <p>条件最適化試験</p>	<p>条件最適化試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> 再処理製品硝酸溶液を酸化物に転換する工程において、ペレット成型に適した流動性を有する粉末を得るプロセス試験 溶液混合段階でPuの濃度をに所定の濃度範囲に調整する技術の確認 得られる原料粉末を評価し、本プロセスの工学規模での成立性に見通しを得る。 造粒ステップの最適化 製造性評価(品質、処理時間など) MA/FPの影響評価 <p>・原料粉末調整工程一連のプロセスの最適化を図る。</p>
<p>遠隔保守量産技術開発 (1)量産設備採用プロセスの選定</p> <p>(2)遠隔保守対応設備開発</p>	<p>プロセス選定試験</p> <p>↓</p> <p>遠隔保守対応装置開発</p> <p>↑</p> <p>プロセス選定</p>	<p>→ホット工学試験設備製作の一部として、遠隔対応量産設備の設計製作</p>	<ul style="list-style-type: none"> 量産用円筒型脱硝容器が有する課題解決及び浅皿型脱硝容器の大型化のための開発試験を実施する。 上記プロセス開発試験成果を含め、脱硝転換焙焼還元及び造粒プロセスの組合せに最適な方式を選定する。 装置のモジュール化を図ることにより、遠隔保守可能な脱硝転換・造粒装置及びPu富化度調整装置を開発する。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>左図:円筒型脱硝容器採用脱硝転換焙焼還元装置 右図:転動造粒一体型脱硝転換装置(小規模試験機)</p>

⑩ ダイ潤滑成型技術の開発(1/2)

技術の現状

- ダイ潤滑機構を組み込んだ6連パンチレシプロプレス機を用いた模擬粉末 (Mo) の成型試験を行い、現行法(潤滑剤添加混合法)と同等の品質のペレットを成型できることを確認したが、MOX粉末による確証が必要である。
- 手作業でのダイ潤滑により、流動性を改良したMOX粉末を用いた成型試験を行い、現行法(潤滑剤添加混合法)と同等の品質のペレットを成型できることを確認した。

要求される技術仕様

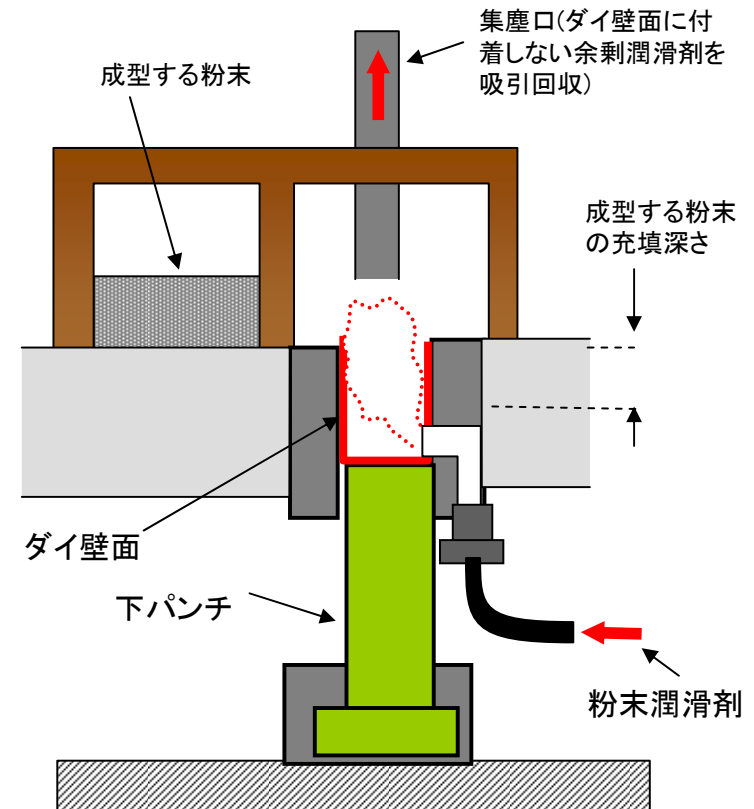
- 保守性に配慮したMOX用ダイ潤滑成型機的设计・製作。
- 潤滑剤添加混合工程、予備焼結工程、脱ガス工程の3つが削減できること。

技術開発の概要

- 小規模のMOX用ダイ潤滑成型機(レシプロプレス)を設計・製作し、MOX粉末、MA含有MOX粉末でのダイ潤滑成型の最適運転条件の把握と安定運転できることを確認する。

今後の課題

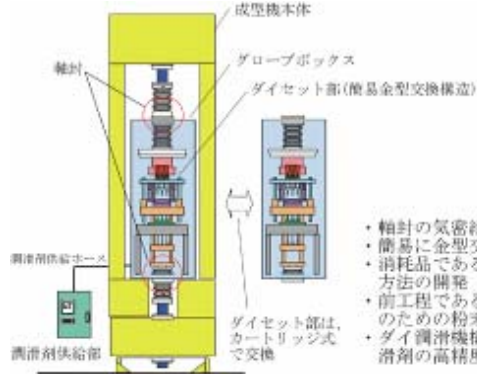
- プロセスの工学規模成立性評価
- 遠隔保守対応型ダイ潤滑成型装置(量産型)の開発



粉末潤滑剤(エアゾル状)をダイ下方から噴霧してダイ壁面に塗布する

実証していくダイ潤滑機構

⑩ ダイ潤滑成型技術の開発(2/2)

分類	2010	2015	実施内容
<p>ダイ潤滑成型プロセスの開発</p>	<p>小規模試験設備整備</p> <p>↓</p> <p>製造性評価試験</p> <p>↓</p> <p>品質向上試験</p> <p>↓</p> <p>条件最適化試験</p>	<p>条件最適化試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・流動性を改良した原料粉末を用い、ダイ潤滑成型機を用いてペレット成型試験を実施し、潤滑剤添加混合工程、予備焼結工程、脱ガス工程の3つが削減できることを確認する。 ・成型体の品質評価 ・製造時間の評価 <p>・成型条件の最適化を図る。</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・軸封の気密維持性の測定 ・簡易に金型交換できる機構の開発 ・消耗品であるダイセット部の交換方法の開発 ・前工程である造粒の運転負荷低減のための粉末強制充填機構の開発 ・ダイ潤滑成型機のコンパクト化、潤滑剤の高精度の供給 <p>小規模 MOX 用ダイ潤滑型成型設備の概念</p>
<p>遠隔保守量産技術開発</p> <p>・遠隔保守対応量産設備開発</p>	<p>→</p>	<p>→ホット工学試験設備製作の一部として、遠隔対応量産設備の設計製作</p>	<p>・設備のモジュール化による遠隔保守可能な量産対応のダイ潤滑成型装置の開発</p>

⑪ 焼結・O/M調整技術の開発(1/2)

技術の現状

- 1700℃以下の焼結温度で高密度ペレットを得るために雰囲気ガス中の酸素分圧を高めて焼結しているが、ヒータ材、リフレクタ材の酸化による劣化の加速が懸念される。
- 将来的な最適化技術開発課題として、焼結炉・O/M調整炉の一体化及び低O/M調整に際し最高温度から室温までの急冷処理等の開発が必要である。

要求される技術仕様

- 高燃焼度用MA燃料ペレット(低O/M、高密度)の実証。
- 保守性に配慮したO/M調整・焼結炉の設計・製作。
- ペレット密度、O/M値がリアルタイムに測定できる炉。

技術開発の概要

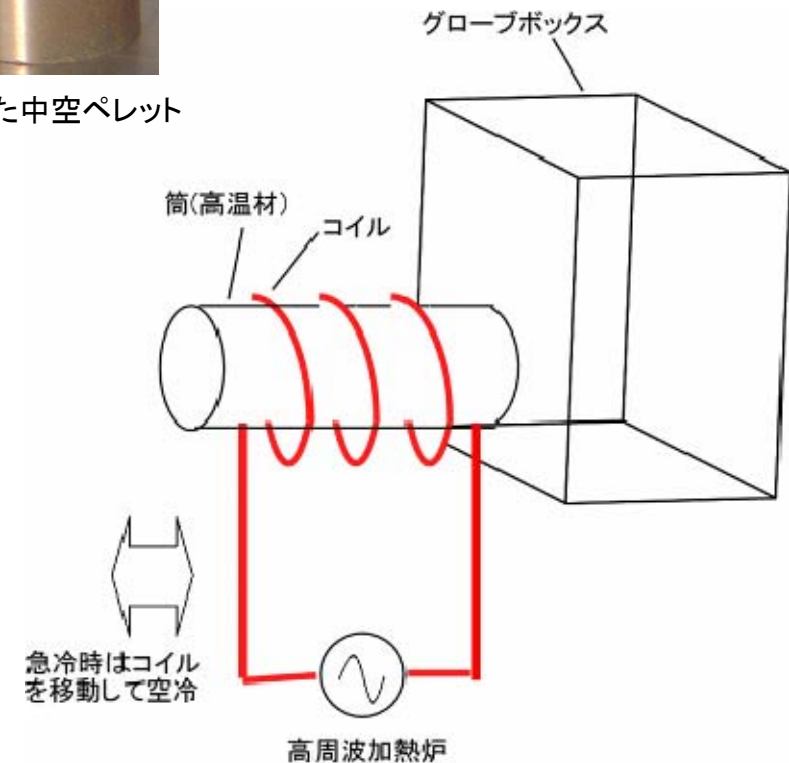
- MOXペレット、MA/FP含有MOXペレットの小規模焼結試験を実施し、品質を評価する。
- 保守性を配慮したO/M調整・焼結炉の熱処理方式などの調査を行い、選定した方式に基づき設計・製作し、ペレットの製造試験及び量産型の炉の開発を行う。

今後の課題

- 熱処理条件の最適化
- 遠隔保守型O/M調整・焼結炉(量産型)の開発。



焼結した中空ペレット



O/M 調整・焼結炉の概念

⑪ 焼結・O/M調整技術の開発(2/2)

分類	2010	2015	実施内容
焼結・O/M調整プロセスの開発			<ul style="list-style-type: none"> 原料粉末やペレット成型を評価するための焼結、O/M調整試験を実施する。 小規模の焼結・O/M調整設備を整備し、ペレットの焼結・O/M調整条件の最適化を図る。 焼結体の品質評価 製造時間の評価 MA/FPの影響評価 <ul style="list-style-type: none"> 成型条件の最適化を図る。
遠隔保守量産技術開発 ・遠隔保守対応設備開発			<ul style="list-style-type: none"> 基本構成モジュール化による遠隔保守可能な遠隔対応の炉の開発 上記、焼結-O/M一体型炉技術開発成果を評価し、方式を選定し、設備の最適化を図る。

⑫ 燃料基礎物性研究(1/3) —基礎物性と燃料設計コードの開発—

技術の現状

○基礎物性データが十分に整備されていないため、燃料設計上のマイナーアクチノイド元素の影響が精度良く評価できない。

要求される技術仕様

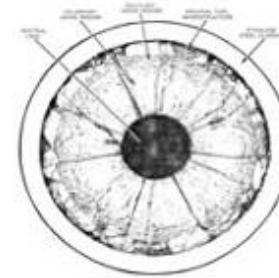
○マイナーアクチノイド元素を含むMOX燃料の照射挙動を精度良く評価でき、合理的、経済的な燃料設計が可能なこと。

技術開発の概要

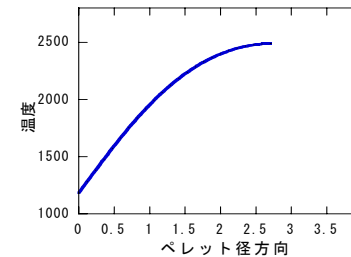
○燃料設計に必要とする基礎物性データについて実験及び理論的に整備し、モデル化を行う。得られた物性モデルを用いて挙動解析コードを開発する。

今後の課題

○照射実績が無い広範囲の燃料組成、照射条件でも評価可能となるよう、理論的に裏づけのある挙動解析コードを開発する。

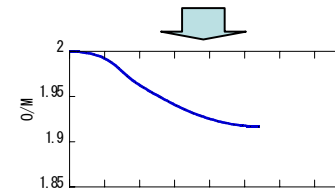


照射済燃料の断面

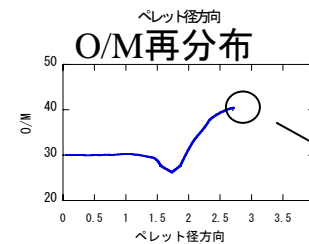


← ・熱伝導率

ペレット内温度分布



← ・酸素ポテンシャル
・熱拡散



← ・拡散係数
・蒸気圧

Pu再分布

中心部の組成の融点

↓ 許容線出力の決定

⑫ 燃料基礎物性研究(2/3) —基礎物性と燃料製造—

技術の現状

○製造条件からO/M、密度、寸法などの燃料仕様をシミュレーションできる技術は無く、経験的な手法により製造条件を決定している。

要求される技術仕様

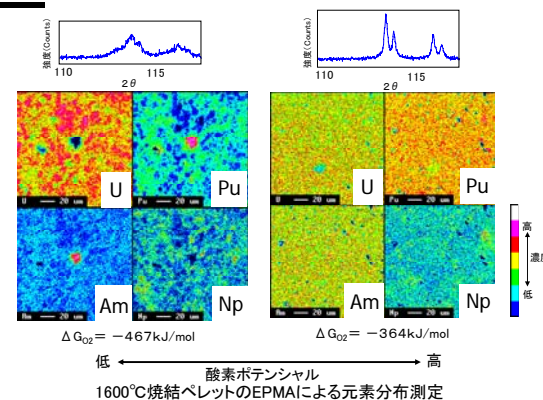
○グリーンペレット特性及び焼結条件と製造したペレットの微細組織、O/M、密度、寸法、均質性を評価することによって効率的、経済的な燃料製造技術を開発する。

技術開発の概要

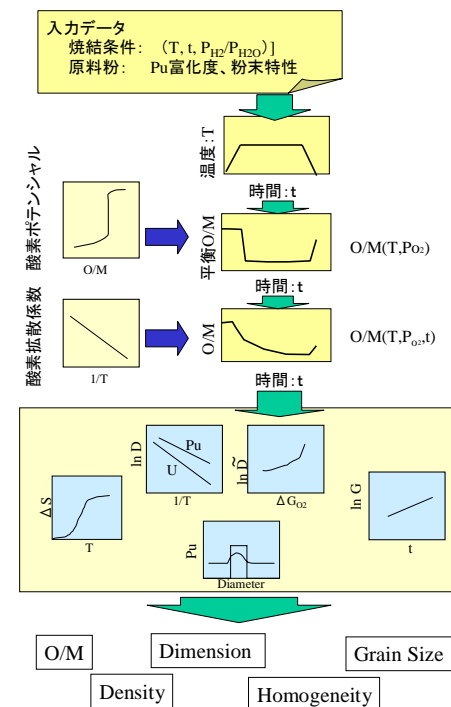
○熱処理中のペレット内の様々な変化を温度、時間、雰囲気関数として速度論的評価を可能とするため、基礎物性データを幅広く取得する。

今後の課題

○グリーンペレットから焼結が進む過程と焼結が進んだ過程の挙動を分けてデータ取得及びモデル化を行い、基礎物性データと合わせて体系化する。



熱処理条件によって均質性が大きく異なる



焼結挙動解析手法の概念図

⑫ 燃料基礎物性研究 (3/3)

分類	2010	2015	実施内容
<p>1.基礎物性と燃料設計コードの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> • 実験的研究 • 理論研究 • 設計・挙動コードの開発 	<p>物性データ測定</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p>装置製作</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p>計算化学による物性データ予測手法の開発</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p>照射データ評価/挙動解析コードの開発</p> <hr style="border: 1px solid black;"/>		<ul style="list-style-type: none"> • 融点、熱伝導率、拡散係数などの物性値を評価する。 • 蒸気圧測定装置を整備し、蒸気圧の測定を行う。 • 計算化学に基づく物性データ評価技術を確立する。 • MAを含有したMOX燃料の挙動解析コードを、取得したデータを用いて取得する。
<p>2.基礎物性と燃料製造</p> <ul style="list-style-type: none"> • 初期焼結挙動の評価 • O/M調整技術の評価 • 焼結挙動のモデル化 	<p>速度論的評価</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p>装置製作</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p>O/M変化の測定</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p>焼結挙動モデルの作成</p> <hr style="border: 1px solid black;"/>		<ul style="list-style-type: none"> • 様々な挙動が混在する初期の焼結メカニズムについて、焼結速度を測定し、焼結挙動の速度論的評価を行う。 • 熱膨張計(ディラトメータ)を整備し、様々な雰囲気での焼結挙動を評価する。 • 熱処理中のO/M変化挙動、組織変化を評価する。 • 得られたデータをもとに焼結挙動解析コードを開発する。

⑬ システム開発:セル内遠隔設備開発 (1/2)

技術の現状

- 低除染TRU燃料の製造は、遠隔運転のセル構造施設が必要となるが、JAEAプルトニウム燃料第三開発施設及び日本原燃(株)MOX燃料工場等既存の施設はグローブボックス設備であるため、完全な遠隔保守補修対応の設備にはなっていない。利用可能な技術としては、再処理施設、照射後燃料試験施設等の既存技術があるが、精密機械が多い製造設備の遠隔保守対応に開発課題が存在する。
- 量産対応のための分析、検査技術開発が必要である。

要求される技術仕様

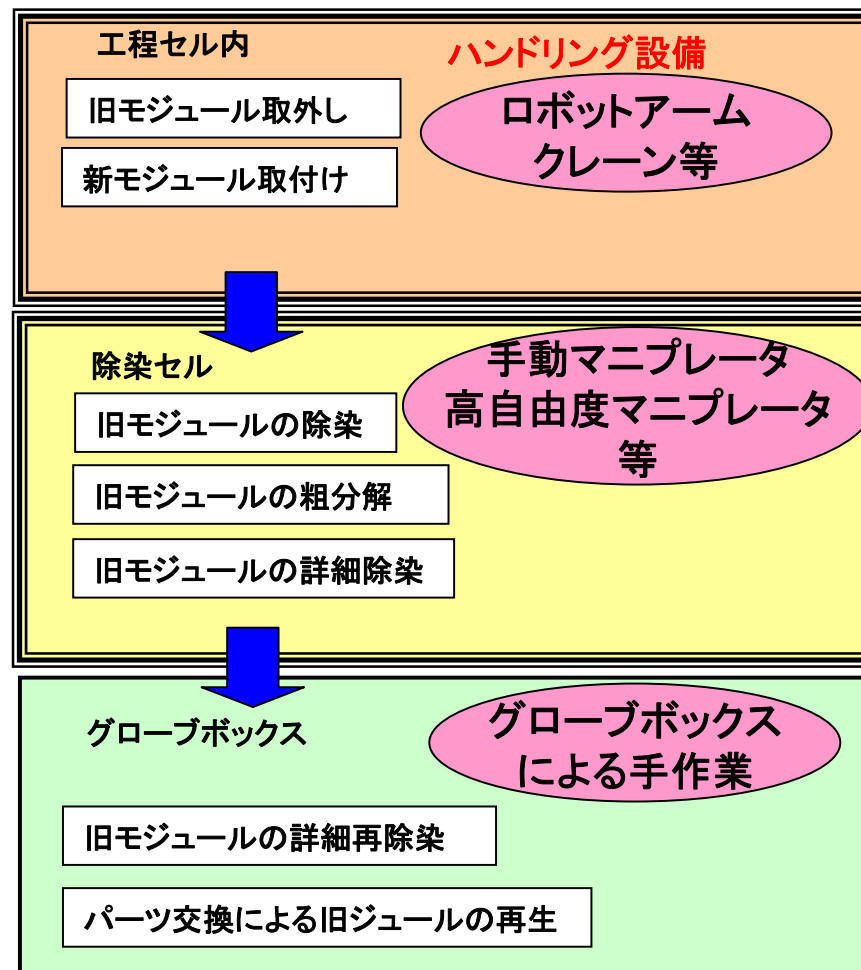
- セル内遠隔保守対応モジュール開発、モジュール交換に最適化したロボットアーム。故障モジュールを分解除染する高自由度マニプレータの開発。
- 量産対応のための粉末分析、ペレット検査技術開発。

技術開発の概要

- コールドモックアップ試験を中心に、製造設備のモジュール開発、モジュール開発に連動した遠隔ハンドリング機器開発。
- インライン粉末分析、ペレット検査迅速化技術開発。





今後の課題

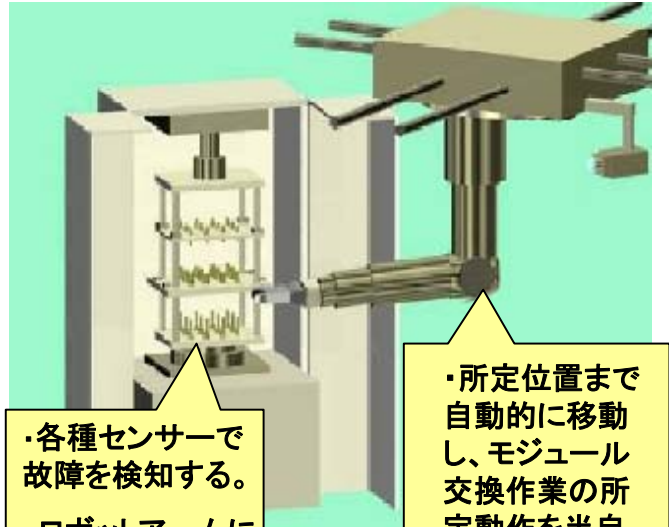
- 遠隔ハンドリング機器開発の実施、ホット試験施設による実証



遠隔による保守・補修の概念

⑬ システム開発：セル内遠隔設備開発 (2/2)

項目	2010	2015	実施内容
1. 遠隔対応設備開発			<ul style="list-style-type: none"> ・燃料要素加工設備、燃料要素検査設備、集合体組立設備のモジュール化設備の設計・製作 ・コールド試験による遠隔ハンドリング設備開発、モジュール設計の最適化 ・音響センシング等による機器運転状況監視、異常診断技術を開発する。 ・粉末のインライン分析、ペレット検査の迅速化技術等セル内量産に必要な技術を開発する。
2. 遠隔ハンドリング設備開発			
3. 機器監視異常診断技術の開発			
4. 分析、検査迅速化技術開発			



・各種センサーで故障を検知する。

・ロボットアームにより故障したモジュールを交換する。

・所定位置まで自動的に移動し、モジュール交換作業の所定動作を半自動で実施する。

遠隔保守概念(ペレット成型装置の例)

⑭ TRU燃料取扱い技術：原料発熱影響評価(1/2)

評価の現状

- FS燃料集合体の温度評価についてはこれまでに、もんじゅ燃料でのモックアップ試験からの外挿、計算コードを用いた熱流動解析を行った。
- 2百数十本の被覆管と螺旋状に巻かれたラッピングワイヤで仕切られた流路は形状が複雑で、詳細なモデル化が難しく、今後の詳細評価が必要である。

要求される技術仕様

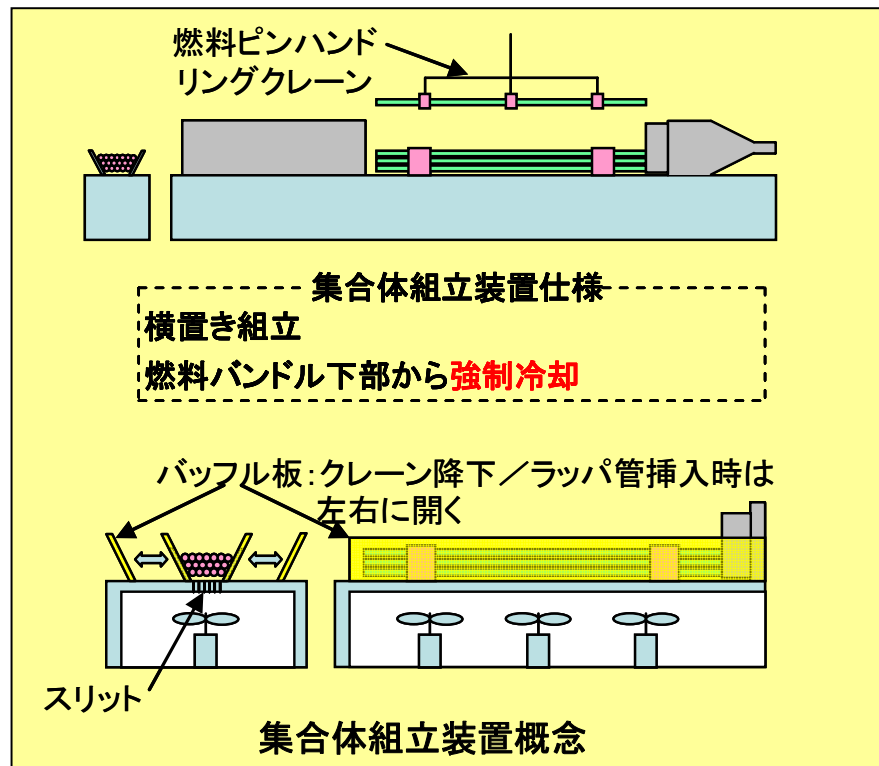
- 擬似体系での実測データによる計算モデルの構築。
- モックアップによる除熱機能の確認。

技術開発の概要

- 燃料集合体内流路の典型的な形状に対し詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験機を製作し、試験結果から詳細なモデルを構築する。
- 集合体組立装置および燃料バンドルを模したコールドモックアップ試験装置を作成し、除熱効果を確認する。

今後の課題

- 燃料サイクルシナリオに応じて多様な発熱の燃料に対する、改良モデルによる温度分布評価。
- 高発熱燃料に対応した集合体組立装置の設計への反映。



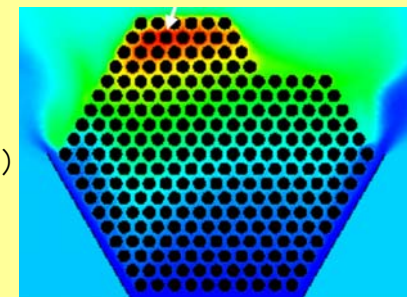
集合体組立時温度解析例

強制冷却、セル内気温：25℃

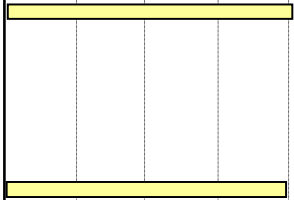
集合体設計：フェーズ2最終設計

HM重量：127.9kgHM(軸ブラ除く)

三次元熱流動解析コード
AQUA および Fluent 使用



⑭ TRU燃料取扱い技術：原料発熱影響評価(2/2)

分類	2010	2015	実施内容
<ul style="list-style-type: none"> ・熱流動シミュレータによる計算モデル開発 ・コールドモックアップ試験 			<ul style="list-style-type: none"> ・燃料集合体内流路の典型的な形状に対し詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験機を製作し、試験結果から詳細なモデルを構築する。 ・集合体組立装置および燃料バンドルを模したコールドモックアップ試験装置を作成し、除熱効果を確認する。