



技術的実現性について —燃料サイクルシステム—

(独)日本原子力研究開発機構

2006年4月



1. 燃料サイクルシステム:有望なシステム概念の抽出 (1/2)

● 有望なシステム概念抽出の考え方

- 設計要求への適合可能性を評価し、次いで国際協力の可能性を含めた技術的実現性に関する比較により、有望なシステム概念を抽出する

設計要求への適合可能性

- 安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性に関する設計要求に対し、各概念の適合可能性を評価する

技術的実現性
(含 国際的視点)

実用化するために克服すべき課題の多さとそれぞれの課題の難易度および代替技術の有無と国際協力の可能性から、各概念の技術的成立性を評価する

〔 国際協力の活用により、効率的な研究開発が期待できるとともに、技術的実現性をより確かなものとする事ができることから、各概念の国際協力の可能性を評価する 〕

有望なシステム概念の抽出

※鉛ビスマス冷却炉やヘリウムガス冷却炉等への適用が検討されている窒化物燃料については、酸化物から窒化物への転換など適切な処理工程を付加することで、先進湿式法再処理、ペレット燃料製造、ゲル化法粒子燃料製造(スフェアパック燃料製造の一部)などが適用可能である。



1. 燃料サイクルシステム:有望なシステム概念の抽出 (2/2)

● 有望なシステム概念

- 先進湿式法＋簡素化ペレット法が最も有望な概念である
- 金属電解法＋射出鋳造法は多様なニーズに対応可能な有望概念である

	先進湿式法＋ 簡素化ペレット法	金属電解法＋ 射出鋳造法	先進湿式法＋ 振動充填法 ^(※)	酸化物電解法＋ 振動充填法
設計要求への 適合可能性	全ての設計要求に対して高いレベルで適合する可能性があり、スケールアップ効果のため大規模施設の経済性が高い。	全ての設計要求に対して適合する可能性があり、小規模施設の経済性が高い。	全ての設計要求に対して適合する可能性がある。	全ての設計要求に対して適合する可能性がある。
技術的実現性	実現性を見通すことが可能	実現性を見通すことが可能だが、インフラ整備が必要なことから比較的長期の開発を要する見込み	実現性を見通すことが可能	技術的課題が多く開発に長期を要する
(国際的視点)	国際協力を期待することが可能 〔フランスではホットラボなどによる関連研究を実施〕	国際協力を期待することが可能 〔米国ではホットラボなどによる研究を実施〕	国際協力を期待することが困難 〔積極的に開発する国はない〕	国際協力を期待することが可能 〔ロシアではホットラボなどによる関連研究を実施〕

は優れた部分

(※) ヘリウムガス冷却炉用の窒化物被覆粒子燃料の製造には、この振動充填法の工程の一部である「ゲル化法」が用いられるが、対応する燃料サイクル概念の開発については、高速増殖炉システム開発の進捗により被覆粒子窒化物燃料の概念が固まった後に着手することが効率的である。



2. 燃料サイクルシステムの技術的実現性

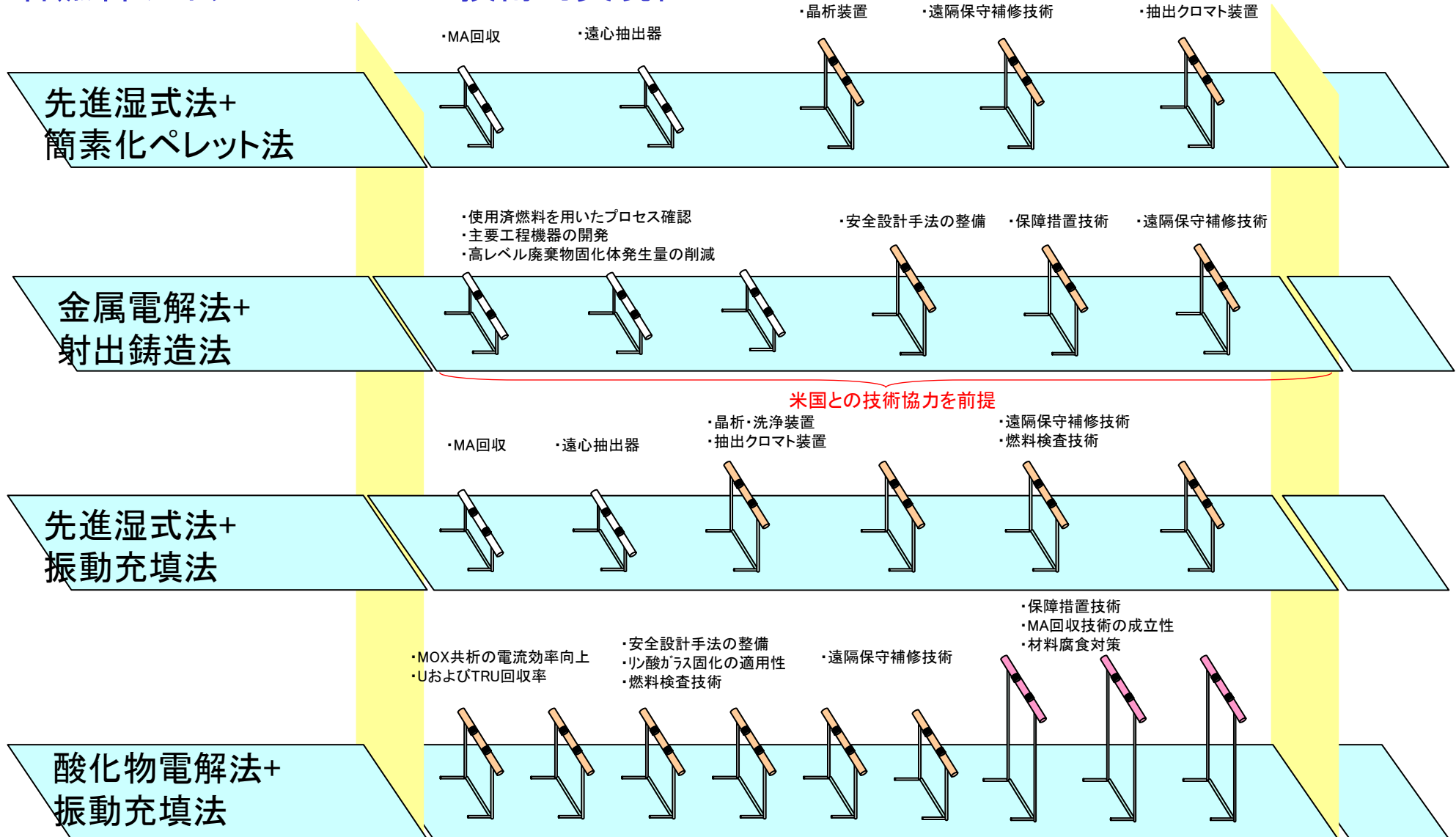
実現可能性(難易度:ハードルの高さ)の分類

低:「開発見通しがあり、不確かさが少ない革新技術」

中:「現状知見に乏しく、開発に不確かさがある革新技術」

高:「基礎知見に乏しい燃料・材料関連の革新技術であり、不確かさが最も大きく、かつ研究開発に時間がかかる技術」

各燃料サイクルシステムの技術的実現性

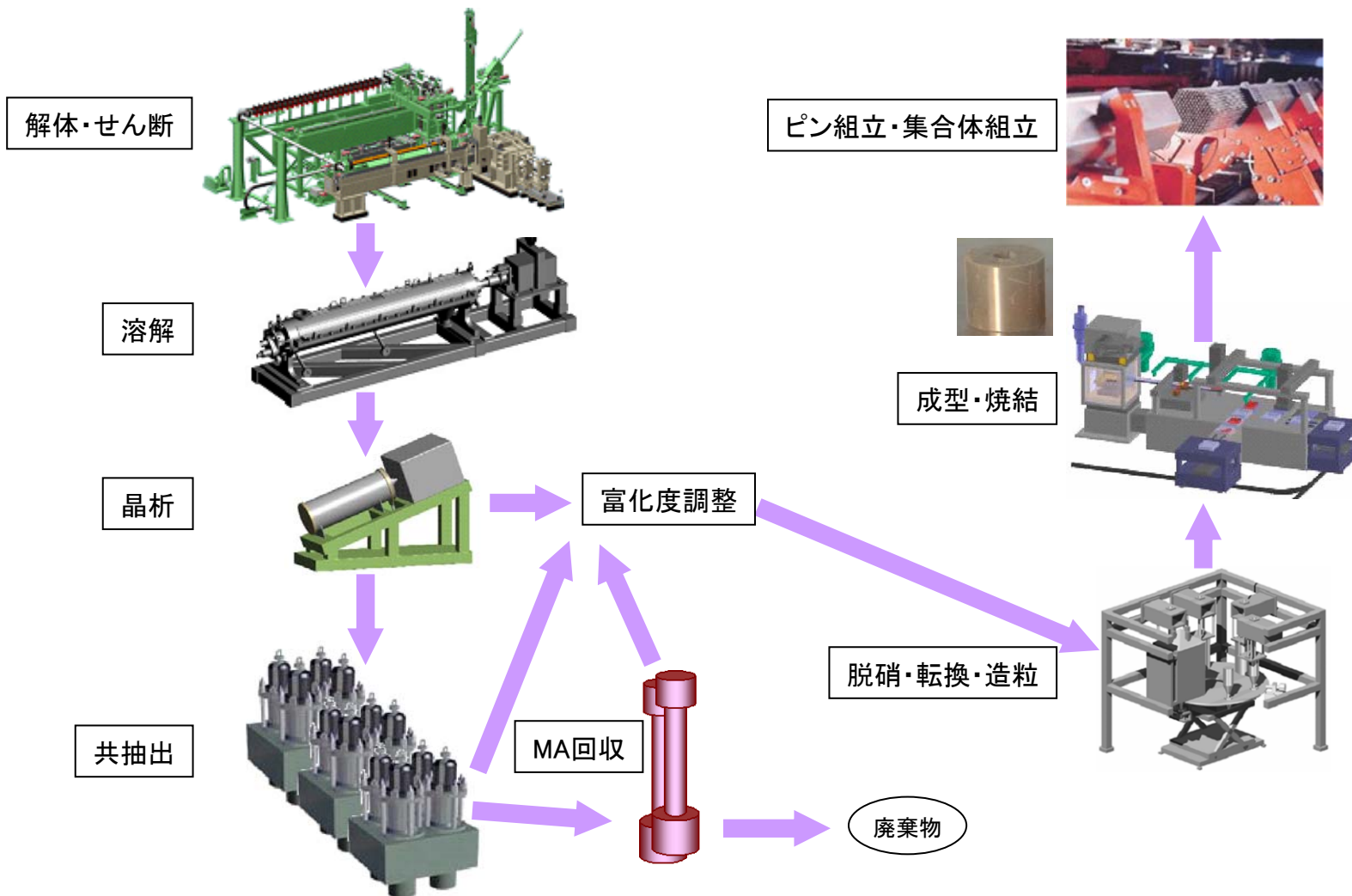
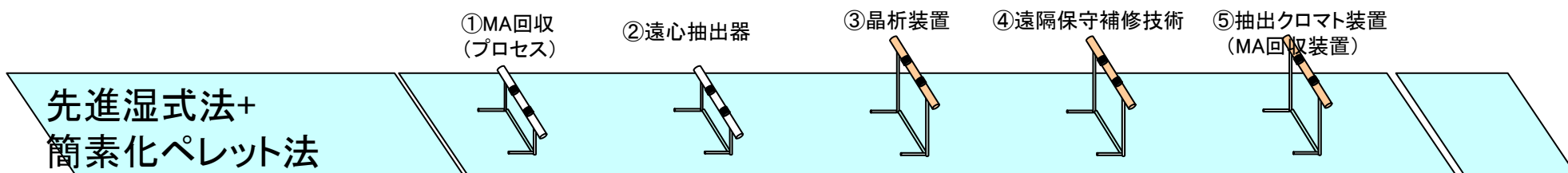


実用化戦略調査研究
フェーズ II 終了

10年後



2 (1)先進湿式法+簡素化ペレット法:プロセスフローと技術課題



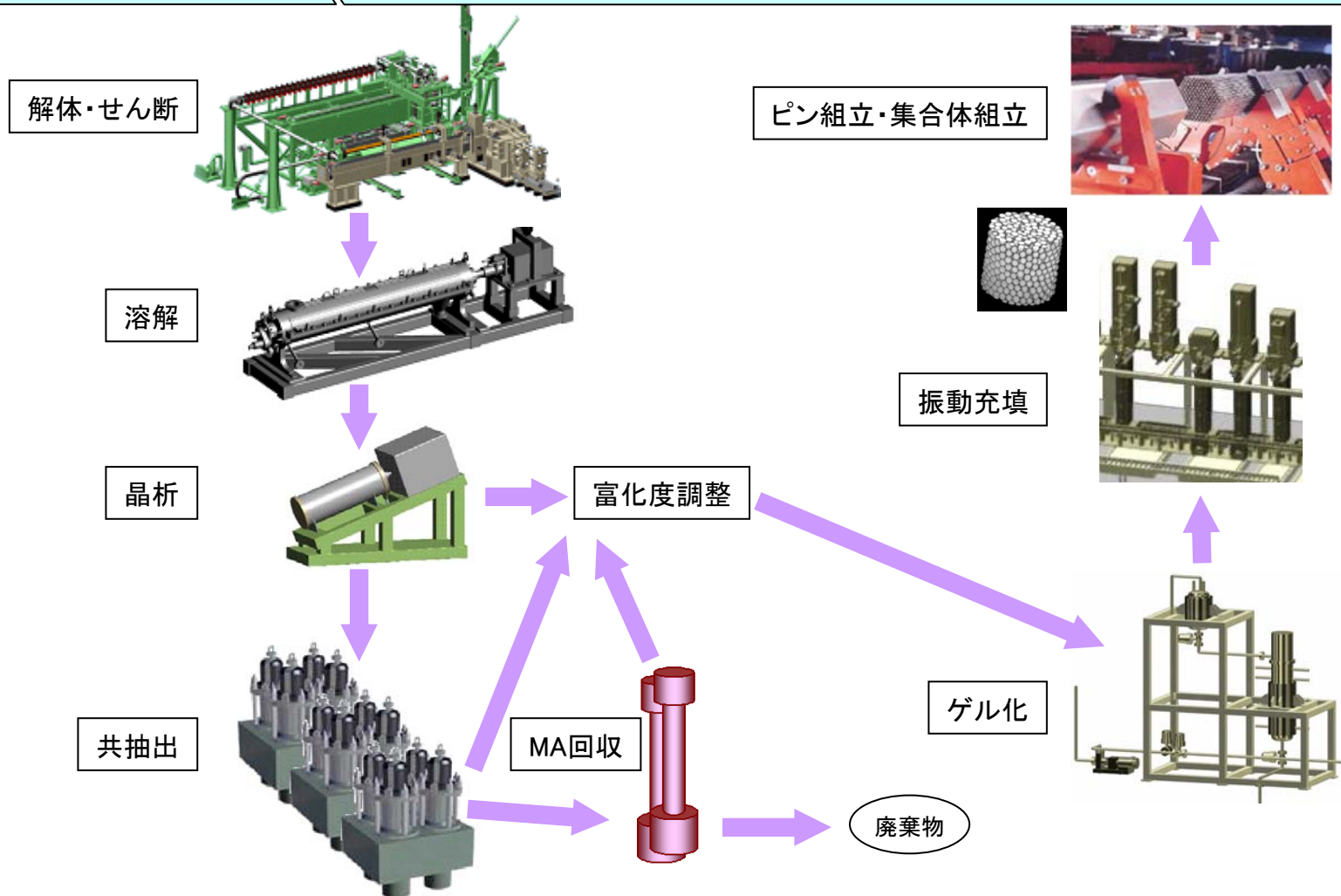
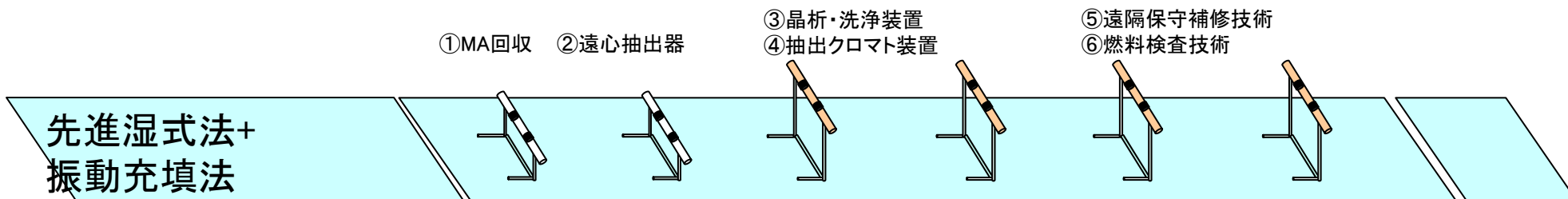


2 (1)先進湿式法＋簡素化ペレット法：主要な技術課題とR&Dの現状等

項目	技術課題	研究開発の現状		代替技術
③晶析装置	(a) 晶析条件の確立 (b) 工学規模晶析装置の開発 (c) 高濃度溶解液を得る溶解方法の確立	(a) U-模擬FP溶液、U-Pu-模擬FR溶液及び常陽照射済燃料の溶解液を用いた試験により、除染係数100程度が達成可能であること等を確認。 (b) 円環型キルン式晶析装置(10分の1規模、約0.1t/d)を試作。U試験で確認。 (c) ホット試験により、燃焼度・Pu富化度・粒径の溶解速度への影響を把握。50t HM/y規模の連続溶解槽を開発。	(a) 一般産業界(食品・医薬品分野)において、晶析法は多く利用されており、装置開発手法が参考にできる。 (b) 一般産業界では、数t～数十t/d規模であり、1t/d(200t/y)の機器は小規模。	○晶析法の代替として溶媒抽出法が利用可能。 →Puを単離しないよう操作を行う必要がある。 ○溶解は従来より検討した濃度条件により行う。
②遠心抽出器	(a) 単サイクルフローシートの確立 (b) 実用遠心抽出器の開発	(a) 照射燃料を用いた小規模試験でU、Pu及びNpの共回収を確認している。 (b) 耐久性を左右する軸受け部の改良、大処理量への対応を進めている。	○同様の機能を提供するものではないが、液体を相互に分離する遠心分離機は実用されている。	○ミキサセトラやパルスカラムが利用可能。
①MA回収 ⑤抽出クロマト装置	(a) 抽出溶媒の選定 (b) 使用済み燃料を用いた確認 (c) 分離塔の開発 (d) 吸着材の安全データの取得と安全設計	(a) CMPOとBTPを検討している。 (b) CMPOについては溶媒抽出法による使用済み燃料を用いた試験で性能を確認。 (c) 未着手。 (d) 吸着材のγ線、酸、温度による分解データを取得。	○抽出クロマトグラフィは分析で多用される技術。 ○支持体の多孔質シリカは、U同位体濃縮の基本材料として旭化成が開発し、優れた濃縮性能を発揮した実績がある。	○同じ抽出剤を用いた溶媒抽出法(SETFICS法)で代替可能。 →抽出クロマトグラフィに比べ、二次廃棄物の発生量が多くなる見込み。
④遠隔保守補修技術	(a) 発熱核種を含むペレットの焼結工程の確立 (b) セル内機器設備の遠隔分解、除染、保守補修技術の確立	(a) 5%Am-MOX及び2%Am-2%Np-模擬FP-MOXのペレット製造試験により良好な焼結性を確認。 (b) 主要な設備の分解方法については机上検討を実施。	○東海再処理工場 ガラス固化技術開発施設(TVF)における遠隔保守機器の開発	○MA含有量などを見直し、重遮蔽グローブボックスにて対応。



2(2)先進湿式法＋振動充填法：プロセスフローと技術課題





2(2)先進湿式法＋振動充填法：主要な技術課題とR&Dの現状等

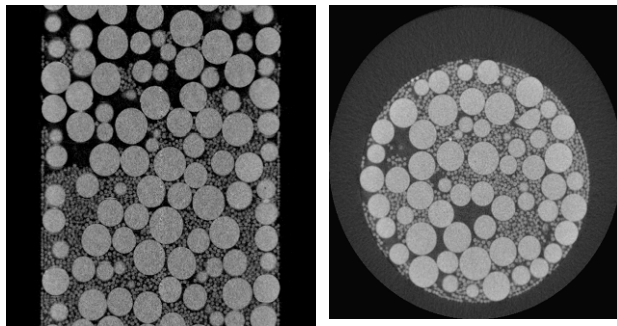
項目	技術課題	研究開発の現状		代替技術
①MA回収 ②遠心抽出器 ③晶析・洗浄装置 ④抽出クロマト装置		先進湿式法＋簡素化ペレット法に同じ		
⑤遠隔保守補修技術	セル内機器設備の遠隔分解、除染、保守補修技術の確立	○机上検討のみでモックアップ試験等は未実施		○OMA含有量などを見直し、重遮蔽グローブボックスにて対応。
⑥燃料検査技術	充填密度分布検査技術開発	○模擬燃料ピンに対するX線CTスキャンによる観察を行い、詳細な充填体イメージの撮像に成功。また照射済み燃料集合体に対してX線CT撮像を実施。	○X線CTは今日一般産業等で広く使われている技術である。原子力機構FMFなどの開発実績あり。	



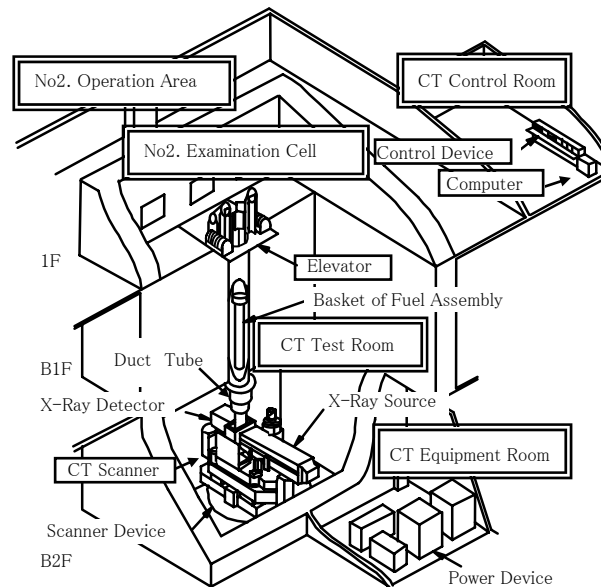
2(2) 振動充填法の技術課題：⑤遠隔保守補修技術、⑥燃料検査技術

高密度充填・密度分布検査技術

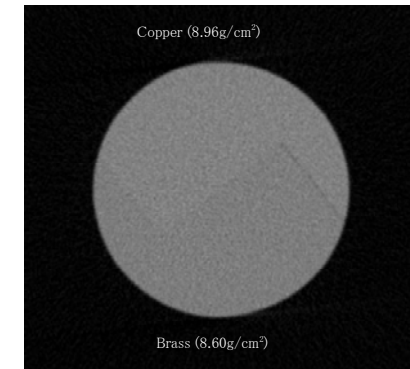
- 模擬粒子（ガラス、 HfO_2 等）を用いた充填試験を実施し、軸方向密度の変動について要求仕様5%以下を満足する結果を得ているが、今後、実燃料による確認が必要。
- 燃料充填密度分布測定にX線透過法の採用を見込んでいるが、高線量環境下での精度確保について先行技術の照射燃料集合体試験施設（原子力機構のFMF）におけるX線CT技術を参考に適用性を確認して行く必要がある。



小粒子浸透による充填中のスフェア
パック燃料ピンのCT画像(模擬試料)



FMFのX線CT試験装置



検出精度確認試験(試料密度差4.2%)

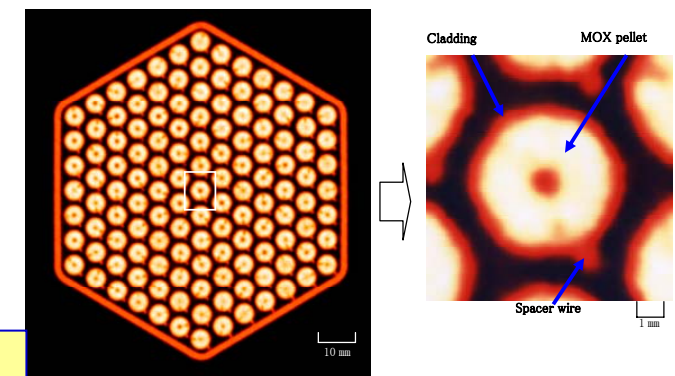


Fig.13 X-ray computer tomogram for "JOYO" fuel assembly (Cross sectional view)

「常陽」照射済集合体のCT画像

模擬物質による充填試験により軸方向密度分布の変動は要求値を満足した。



実燃料による軸方向密度分布変動幅の確認と測定手法の確認が必要である。