資料８－６

６．(1) 使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発及び(2) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発

平成30年12月27日

日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門

高速炉開発について

- 資源が乏しく、国土の狭い日本では、エネルギー安全保障及び放射性廃棄物の減容化・有害度低減の観点から、高速炉サイクル技術開発は大変重要

- これらの課題解決に向けて、「もんじゅ」、「常陽」の原子力施設、東海、大洗の試験施設において、研究開発等を着実に推進してきた。

3.11 東日本大震災 福島第一原子力発電所事故

「もんじゅ研究計画」（平成25年9月）

- 高速増殖炉の成果の取りまとめ
- 廃棄物の減容及び有害度の低減
- 高速増殖炉／高速炉の安全性強化

「第4次エネルギー基本計画」（平成26年4月）

- 資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、長期的かつ計画的に講ずべき施策として**核燃料サイクル政策の推進**を基本方針とする。

高速炉研究開発の第３期中長期計画（平成27年～平成33年）

・「もんじゅ」における研究開発　・高速炉サイクル技術の研究開発　・放射性廃棄物の減容化/有害度低減の研究開発

高速炉開発の方針
「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針
（平成28年12月21日原子力関係閣僚会議決定）

「第5次エネルギー基本計画」（平成30年7月）

- 資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する**核燃料サイクルの推進**を基本的方針としている。

＜新たに掲げる目標＞
・更なる安全性の向上
・開発段階を含めた経済効率性の追求
・国際協力を通じた最先端の知見の獲得

「戦略ロードマップ」（平成30年12月21日）

研究開発課題の位置づけ

（使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発及び放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発）

第4次 エネルギー基本計画（H26年4月）

我が国は、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進を基本的方針としている。(略)
高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減や、資源の有効利用等に資する核燃料サイクルについて、これまでの経緯等も十分に考慮し、引き続き関係自治体や国際社会の理解を得つつ取り組む(略)
プルサーマルの推進等によりプルトニウムの適切な管理と利用を行う(略)
対応の柔軟性を持たせることが重要(略)

(1) 使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発

1) **再処理技術開発＊**
2) **MOX燃料製造技術開発＊**
3) **東海再処理施設**

(2) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発

1) **MAの分離変換のための共通基盤技術の研究開発＊**
2) **高速炉を用いた核変換技術の研究開発＊**
3) **ADSを用いた核変換技術の研究開発**

- ◆ **第5次エネルギー基本計画**（H30年7月）では、本研究課題に対する方針は継承されている状況。
- ◆ 今後の計画については「**高速炉開発の方針**」に基づく**戦略ロードマップ**（H30年12月21日決定）等を考慮し、必要な見直しを図って行く。

＊：新型炉部門にて一部、あるいは全部担当。今回、ご意見をいただく部分。

第3期中長期計画 [H27年度-H33年度]

6. 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発等

(1)使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発

1) 再処理技術開発

軽水炉用MOX燃料等の再処理に向けた基盤技術開発に取り組み、これらの成果を基に、核燃料サイクル事業に対し、技術支援を行う。また、高速炉用MOX燃料の再処理のための要素技術開発及びプラント概念の検討を進め、将来的な再処理技術の確立に向けて、有望性の判断に資する成果を得る。

2) MOX燃料製造技術開発

高速炉用MOX燃料のペレット製造プロセスの高度化のための技術開発を実施するとともに、簡素化ペレット法に係る要素技術の開発を実施する。また、MOX燃料製造に伴い発生するスクラップを原料として再利用するための乾式リサイクル技術の開発を実施する。さらに、これらの開発を通じて、自動化した燃料製造設備の信頼性及び保守性の向上を図り、MOX燃料製造プラントの遠隔自動化の検討に資するデータを取得する。

第3期中長期計画 [H27年度-H33年度]

6. 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発等

(2)放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発

1) MAの分離変換のための共通基盤技術の研究開発

① MAの分離技術に関する複数の候補技術のプロセスデータ、高レベル放射性廃液を用いた試験による分離回収データ等を取得し、MA分離回収に関する技術的成立性を評価する。MA分離変換サイクル全体を通じた技術情報を得るため、既存施設を用いたMAの分離、ペレット製造から高速中性子照射までの一連の試験から成る小規模なMAサイクルの実証試験に着手する。

② 幅広い組成のMA燃料の基礎データを取得する。

③ ペレット製造等の機器試験等を進め、MA燃料製造に関する技術的成立性を評価する。

2) 高速炉を用いた核変換技術の研究開発

① 均質MAサイクルMOX燃料の照射挙動データの取得を行うとともに、「常陽」運転再開後、MA含有MOX燃料の照射性能を把握するため、米国及び仏国との共同照射試験を実施する。

② 長寿命炉心材料開発を行う。

③ Pu及びMAを高速炉で柔軟かつ効果的に利用するための研究開発として、「もんじゅ」の性能試験等で得られるデータを用いた炉心設計手法の検証、炉心設計研究を行う。

次頁以降の資料の構成

- 個別の研究開発テーマごとに、以下の5項目の構成にて記載

【目的・達成目標（ねらい）】
中長期目標期間（平成３３年度まで）の目的・目標

【実施内容・スケジュール】
上記の目的・目標を達成するための実施内容とスケジュール

【平成２７～２９年度の実施内容と成果、実績、達成度】

【平成３０年度の成果見通し】

【効果・効用】

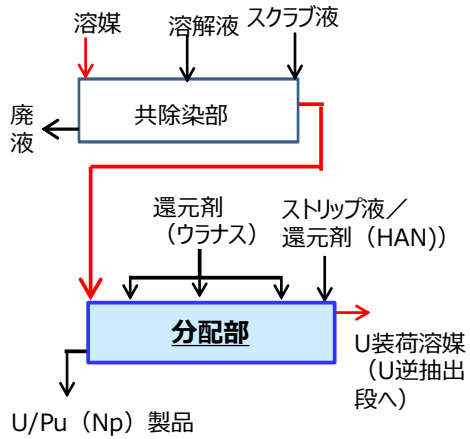
(1) 1) 再処理技術開発(1/4)

【目的・達成目標（ねらい）】
高速炉用MOX燃料の再処理のための要素技術開発及びプラント概念の検討を進め、将来的な再処理技術の確立に向けて、有望性の判断に資する成果を得る。

【実施内容・スケジュール】

(1) U/Pu共回収プロセス（コプロセッシング法）の開発

✓ 経済性や核拡散抵抗性の向上を図るため、TBP抽出剤を利用したU/Pu共回収プロセス開発において、U/Pu共回収性能や除染性能の向上を達成するための抽出データを取得し、フローシートを具体化する。



U/Pu共回収プロセスの概要

(2) 遠心抽出器の開発

✓ 小型で稼働率の向上、溶媒劣化の低減を可能とする遠心抽出器について、スラッジ流入による影響及び幅広いO/A(有機相流量/水相流量）処理条件への適合性を評価し、共回収プロセスに適用可能な抽出器概念を具体化する。

(3) 高性能清澄システム開発

✓ 将来のMOX燃料再処理ではスラッジ発生量の増大により、機器類の閉塞等のリスクが増大するため、清澄性能の飛躍的向上を目的に、遠心清澄機とフィルタ清澄を組み合わせたシステムを開発し、その概念を具体化する。

(1) 1) 再処理技術開発(2/4)

(4) 再処理プラントの概念検討

✓ 分析・計装技術の高度化に係る設計検討、マイナーアクチニド（MA）分離技術や高性能清澄システムをプラントに導入した場合の影響評価等を行い、将来のMOX燃料再処理に向けたプラント概念を構築する。

進捗状況	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33
U/Pu共回収プロセス（コプロセッシング法）の開発	U／Pu分配部分のプロセス開発 共回収試験	共除染部分のプロセス開発 共除染性能の向上検討	除染性能の向上方策策定 試験用抽出器特性評価	ホットプロセス試験に向けた抽出特性確認 ウラン抽出性能評価		実溶解液ホットプロセス試験	共抽出プロセスフローの具体化
遠心抽出器の開発	スラッジ洗浄性能の向上 スラッジ洗浄試験	コプロセッシング法への適用・改良 抽出性能確認	コプロセッシング法用機器構造具体化 還流型抽出器検討	有機相/水相流量比の抽出性能への影響確認 コプロセッシング法への適用開発			共抽出法に適用する遠心抽出器概念の具体化
高性能清澄システム開発		清澄概念検討 システムの具体化	システム成立性評価 清澄性能評価	清澄性能の高度化方策策定 清澄性能の高度化試験			高性能清澄システム概念の具体化
再処理プラントの概念検討	L/F共用プラント概念検討・評価まとめ 大型機器検討 プラント概念の総合評価	プラントを構成する要素技術評価 分析・計装技術の評価	MA分離技術の評価	システム総合評価	サイクル諸量評価及び施設整備案比較評価		将来の再処理施設概念の構築

（1）1） 再処理技術開発(3/4)

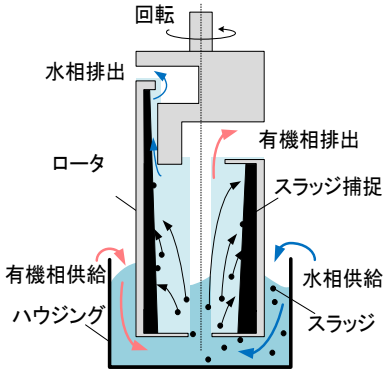
【Ｈ２７～２９年度の実施内容と成果、実績、達成度】

(1) U/Pu共回収プロセス（コプロセッシング法）の開発

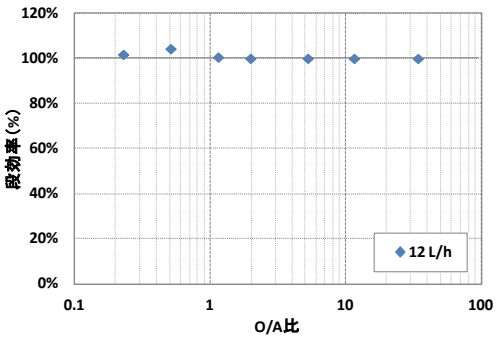
- U/Pu共抽出性能やTcの除染性能についてシミュレーションや抽出試験により評価した結果、所定のPu/U比での共抽出に係る技術的成立性に加え、U/Pu精製系の削除に重要なTcの除染性能を、洗浄液流量条件の最適化により大幅に向上（6 → 800）できる見通しを得た。

(2) 遠心抽出器の開発

- 遠心抽出器に同伴するスラッジは遠心力によりロータ内に堆積する傾向を示すものの、抽出性能への影響は小さいことを確認し、広範囲のO/A比条件（O/A比＝0.2～30）でも、遠心抽出器は良好な抽出性能が得られることを確認した。



抽出器内のスラッジ堆積の模式図

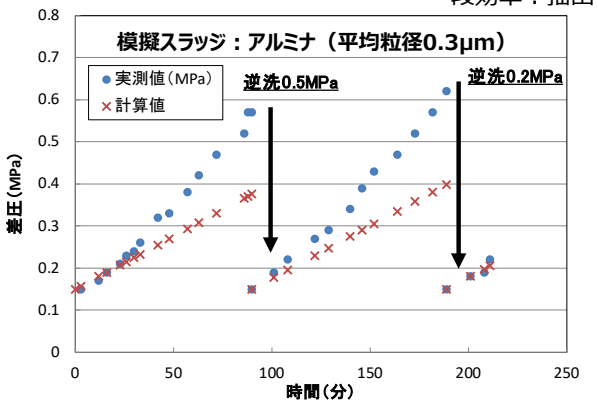


O/A比の変動による抽出性能への影響（供給流量12L/h）

*段効率：抽出性能の機器効率

(3) 高性能清澄システム開発

- 遠心清澄機の性能解析により、筒内流動状況を反映の上、粒度に応じてスラッジ捕集率が評価できることを確認した。また、後段のフィルタ装置では0.2μmの孔径を持つセラミックフィルタにより、ほぼ100%のスラッジ捕集性能、良好な差圧の上昇・回復特性を確認し、期待される性能の見通しが得られた。



スラッジろ過時の差圧上昇特性及び逆洗性

（1）1） 再処理技術開発(4/4)

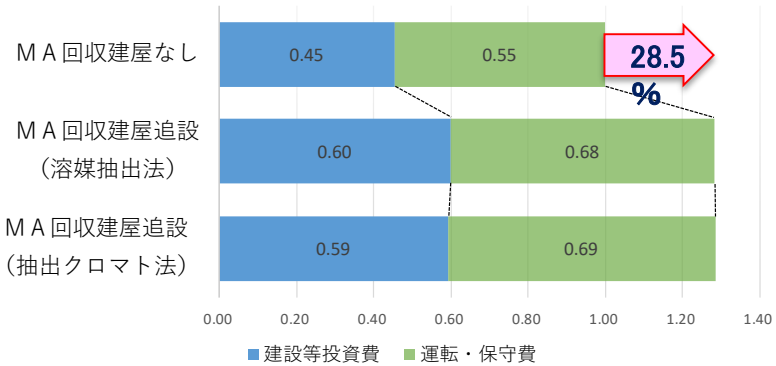
(4)再処理プラントの概念検討

- 分析・計装システムの高度化案として、円筒槽とインラインで計測可能なα線モニタの組み合わせを検討し、U/Pu精製・濃縮・脱硝工程のコスト低減（施設全体の約5%に相当）が可能である見通しが得られた。
- 現状技術に基づくMA回収設備の追設により、再処理事業費*が約3割増となる見通しが得られた。
以上の設計研究による知見から、将来の再処理プラント概念の具体化に係る重要な知見が得られた。

*建設等投資費及び運転操業費（40年間）の合計

【Ｈ３０年度の成果見通し】

- U/Pu共回収プロセスの開発ではシミュレーションに基づき、改良フローシートを具体化するとともに、抽出特性の面から本プロセスへの遠心抽出器の適合性を評価する。
- 高性能清澄システム開発では、遠心清澄機の性能試験により、シミュレーション結果の妥当性や清澄性能を評価する。さらにシステム設計により、プラント適用に係る具体像や課題点を整理する。



MA回収設備追設による再処理事業費の比較（相対値）

【効果・効用】

- 核拡散抵抗性に優れたプロセスの成立性、採用候補技術・機器の成立性、その効果の程度や利点・欠点、技術課題に係る知見は、将来の燃料サイクル施設概念の構築に向けて貢献した。

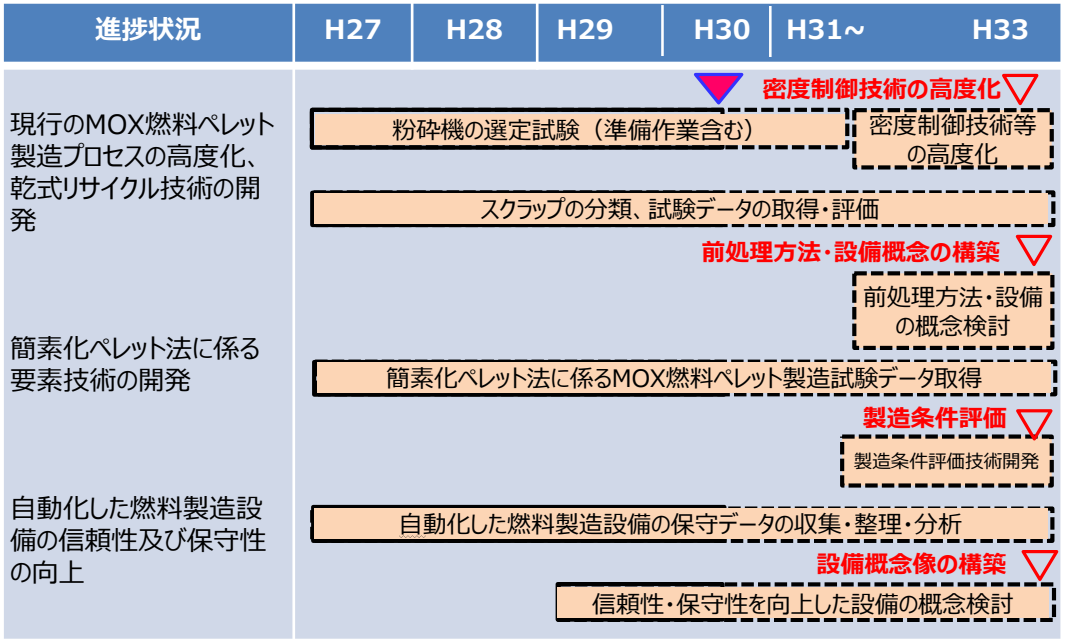
（1）2）MOX燃料製造技術開発(1/2)

【目的・達成目標（ねらい）】

- 製造プロセスの生産性・経済性向上及び分離済Pu有効利用のため、Puを含むスクラップを原料として再利用する技術（乾式リサイクル技術）に係る要素技術開発を進め、その成立性に係る見通しを得る。
- 製造工程を大幅に合理化した簡素化ペレット法について、要素技術（転動造粒、ダイ潤滑）の成立性に係る見通しを得る。
- 高次化Pu等の利用に伴って生じる高線量原料に対応した高い信頼性及び保守性を有する燃料製造設備の見通しを得る。

【実施内容・スケジュール】

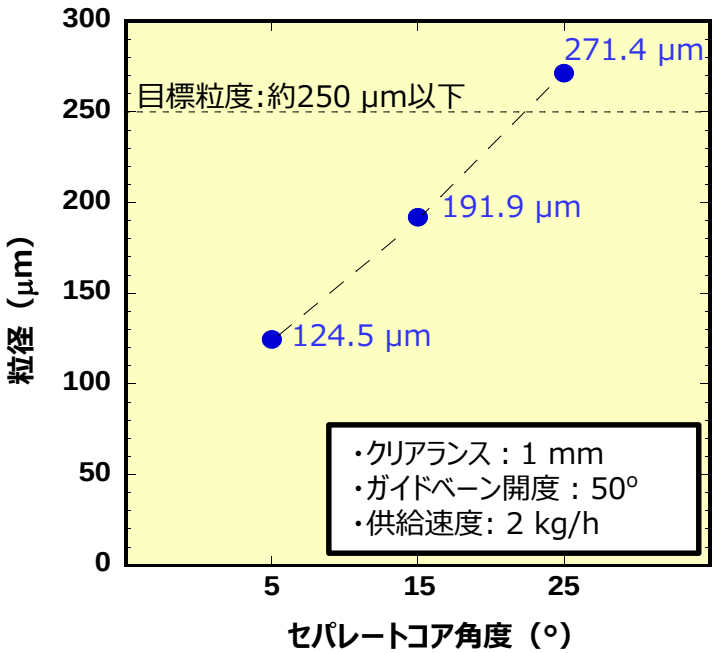
- ➢ 現行プロセスの高度化、乾式リサイクル技術の開発
  - 乾式リサイクル技術に係り、粉砕機の開発を通じた密度制御技術の高度化、前処理技術開発（不純物の除去、熱処理等）を実施する。
- ➢ 簡素化ペレット法に係る要素技術の開発
  - 簡素化ペレット法に係る要素技術（転動造粒法、ダイ潤滑成型法）の開発を実施する。
- ➢ 燃料製造設備の信頼性・保守性の向上
  - 自動化した燃料製造設備の信頼性及び保守性の向上を図り、MOX燃料製造プラントの遠隔自動化の検討に資するデータを取得する。



（1）2） MOX燃料製造技術開発(2/2)

【H27～29年度の実施内容と成果、実績、達成度】

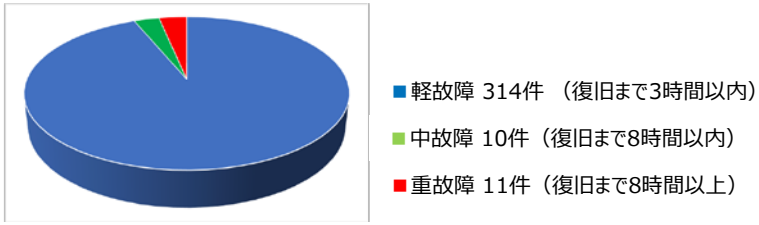
- 現行プロセスの高度化、乾式リサイクル技術の開発
  - 機械的な前処理を行ったDS粉を添加してもMOXペレット製造が可能なことを確認した。
  - 焼結密度への影響因子である粉末粒径について、衝突板式ジェットミルの遠心分級器の角度等を変化させることにより、約250μm以下で粉砕粉の粒度調整が可能な見通しを得た。
- 簡素化ペレット法に係る要素技術の開発
  - 長期保管した転動造粒MOX粉を原料したペレットの焼結密度が目標値を満足することを確認。造粒粉の保管中の崩れによる流動性が低下する知見を取得した。
- 燃料製造設備の信頼性・保守性の向上
  - 放射線環境下の装置の故障データを収集・整理するとともに、故障頻度の高い部品の交換や削減を考慮した設備の概念検討を実施した。



乾式リサイクルに用いるジェットミルの遠心分級器の角度と破砕粉最頻度径の関係

【H30年度の成果見通し】

- 乾式リサイクル技術では、密度の外挿により、ジェットミルのMOX粉砕挙動を予測するために、複数の密度の異なる模擬物質の粉砕試験を実施する。
- 簡素化ペレット法については、造粒粉の長期保管による粉末物性変化を踏まえた金型への充填性に関する影響評価等を継続する。
- 設備の信頼性・保守性の向上については、故障データの収集・整理を継続するとともに、更新予定の「秤量・均一化混合設備」について故障対策（駆動方式やバルブ種類の交換等）を考慮した設計を進める。



Pu-3における過去のMOX燃料製造時（H19年2月～H22年11月）の「秤量・均一化混合設備」における故障の発生割合

【効果・効用】

- 核燃料物質の有効かつ合理的な使用、燃料製造の生産性、経済性の向上を図った高速炉用MOX 燃料製造技術の実用化に向けて貢献した。

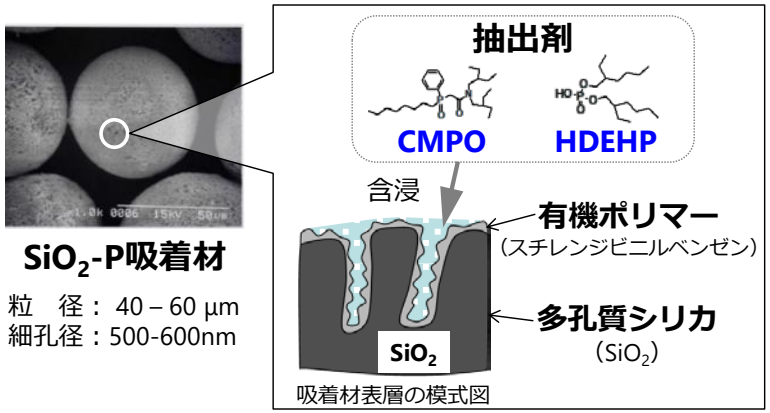
(2) 1)-①抽出クロマトグラフィによるMA分離技術開発(1/2)

【目的・達成目標（ねらい）】

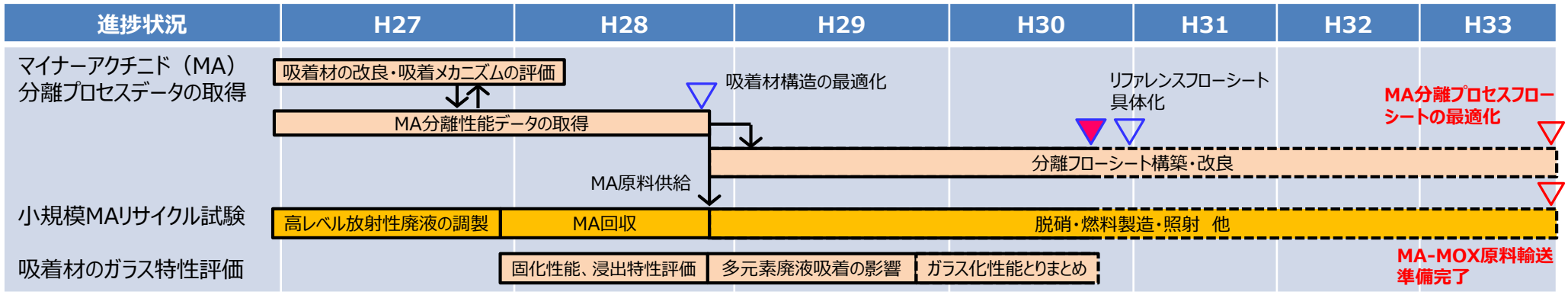
使用済燃料からのMA分離回収法として有望な技術である抽出クロマトグラフィについて、吸着材仕様の最適化により吸着溶離性能の向上を図りつつ、MA分離フローシートを構築する。また、MA分離による二次廃棄物の発生量を低減するため、吸着材のガラス固化特性を評価する。

【実施内容・スケジュール】

- ✓ MA分離フローシートの最適化を図るため、吸着材の改良や実高レベル放射性廃液等による吸着溶離データを取得する。
- ✓ 小規模MAサイクル試験のMA原料（目標：1g）を得るため、「常陽」照射済燃料の再処理試験により、MAを分離回収する。
- ✓ 吸着材のガラス固化性能を評価するため、不純物成分を吸着した状態での吸着材のガラス化試験を実施し、固化体としての特性（ガラス化、浸出特性）を評価する。



抽出クロマトグラフィ用吸着材の基本構造

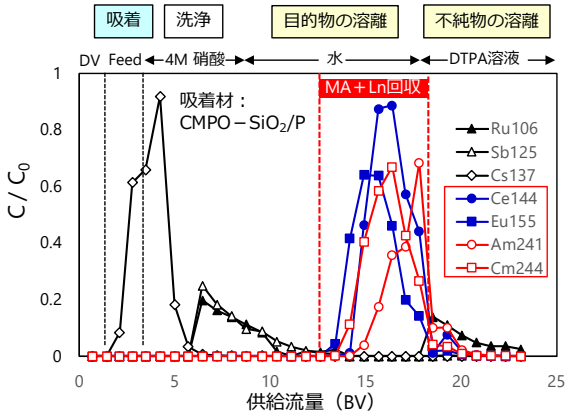


(2) 1)-①抽出クロマトグラフィによるMA分離技術開発(2/2)

【H27～29年度の実施内容と成果、実績、達成度】

- 「常陽」 照射済燃料の処理で得られた高レベル放射性廃液から回収率90%程度でのMA回収に成功した。得られた**MA回収量は目標を大幅に上回り（約2g）、世界最高レベルのMA回収量**を達成した。
- MA回収率等の課題に対応するため、MA分離フローシートの改良を進めた結果、希土類元素に対して十分な除染係数を有し、回収率96%以上でのMAを回収可能な改良フローシートの見通しを得た。
- 模擬廃液を吸着/溶離した吸着材のガラス化試験の結果から、良好にガラス固化し、固化体からの元素の浸出率は通常のガラス固化体と同等であることを確認した。

◆小規模リサイクル試験用MA原料の回収



照射済燃料からのMA＋Lnの共分離結果

- MA＋Ln共分離では99%程度のMA回収率を実証
- 一方、MA/Ln分離のMA回収率は90%程度であり、フローシートの改良を検討

◆ガラス化試料の外観と断面

- 気泡は少なく、概ね均質にガラス化
- 内部にMoやZr化合物の結晶(XRD)が若干あるものの、良好な耐水性のガラスが得られる

【H30年度の成果見通し】

- 抽出クロマトグラフィを利用したMAの分離フローシートについて、MA回収率95%以上、DF ≧100 の性能をホット条件で実証するとともに、回収したMA原料の輸送に必要な容器の安全解析を終了の見通し
- 大学と連携して、吸着材の最適化を進めるとともに、国際協力を利用して、若手研究者の育成を推進

【効果・効用】

- 革新性を有する抽出クロマトグラフィ技術に基づき、世界的にも価値あるグラムオーダ―のMA回収を実現し、分離変換サイクルの実証に貢献した。

(2) 1)-② MA含有燃料の基礎物性研究(1/2)

【目的・達成目標（ねらい）】
基礎データの取得及びデータベースの構築・拡充を進めるとともに、様々な基礎物性間に機構論的な関連性を持たせた基礎物性の統合モデルの開発を行う。また、日米協力等を活用して、MA含有酸化物燃料の性能評価に係る基盤技術を構築する。

【実施内容・スケジュール】

- MA含有燃料に関する燃料技術開発として、製造技術及び燃料設計・照射挙動評価に必要な基礎データの取得、データベース、物性式、機構論統合物性モデル、挙動モデルの開発を行う。
- O/M比（酸素/金属の原子数比）高精度制御技術を物性測定へ適用し、O/M比、Pu含有率、MA含有率などをパラメータとした基礎データを取得し、物性式を導出する。さらに、機構論統合物性モデルの開発、照射初期の照射挙動モデルの開発を行い、日米協力(CNWG)等を活用して照射挙動解析コードの開発を行う。

進捗状況	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33
基礎物性データ取得、物性式評価	高精度酸素分圧制御技術開発、熱膨張率、酸素ポテンシャル、音速、酸素拡散係数など				金属拡散係数、熱物性測定、比熱、温度勾配下の物質移動など		
	日米協力、大学等協力によるデータ拡充（物性データ拡充、計算科学による理論的評価等）						
						データベース拡充	
機構論物性統合モデルの開発		欠陥化学による解析、機構論的統合物性モデルの開発			機構論的統合物性モデルの拡充、高度化		
						機構論モデル開発	
照射挙動モデルの開発		蒸気圧による組織変化モデル、拡散係数によるO/M再分布			金属元素の再分布モデル		
						三次元解析コード開発	
					照射挙動解析コード（BISON-MOX）の開発(日米)協力		

(2) 1)-② MA含有燃料の基礎物性研究(2/2)

【H27～29年度の実施内容と成果、実績、達成度】

機構論的物性統合モデルの開発（図1、2）

➢ 各物性式の関連性を機構論的に記述し、物性式を統合

- O/M比高精度制御技術によるO/M比及びPu含有率などをパラメータとした物性測定を行うとともに物性式を導出した（図1）。
- 欠陥化学による解析図を酸素ポテンシャル及び酸素拡散係数などの実験データを用いて記述した（図１(2), (3)）。
- 機構論的物性統合モデルの開発により、外挿性に係る信頼性を向上させた（図2）。
- **世界でも類のない広範なデータベースの基盤を構築するとともに機構論的物性統合モデルを開発した。**

照射挙動モデルの開発

➢ ペレット組織変化モデルにO/M比再分布挙動及び蒸気種毎の蒸気圧挙動に係る詳細モデルを導入した。

- O/M比の変化により蒸気圧が大きく変化し、組織変化及び温度分布に大きな影響を及ぼすことを定量的に解析した。

【H30年度の成果見通し】

基礎特性データベース（比熱、酸素拡散係数、金属拡散係数、焼結特性等）を拡充するとともに、機構論的統合物性モデルの構築を進める。

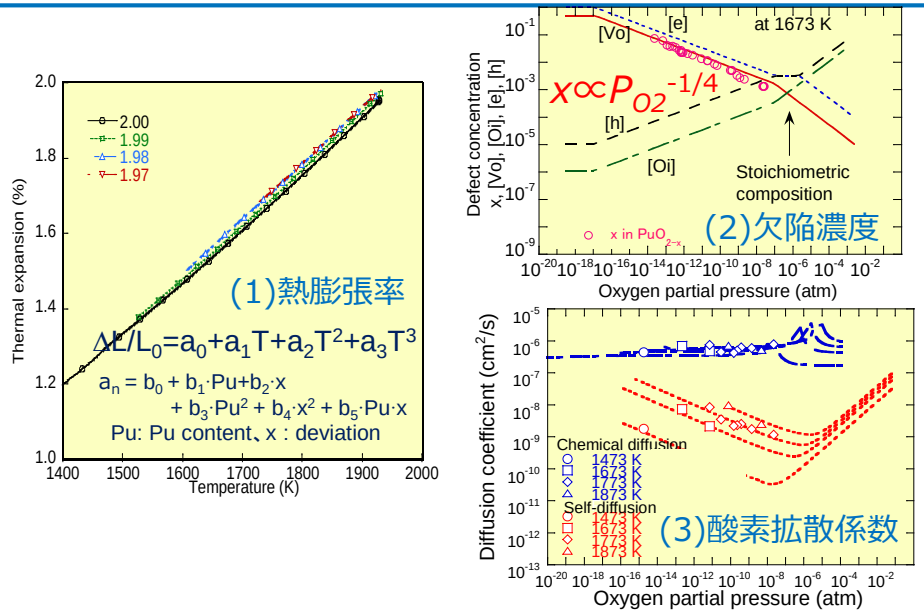


図１　MOXの熱膨張率評価とPuO_{2-x}の欠陥平衡及び酸素拡散係数（図中の線は計算値）

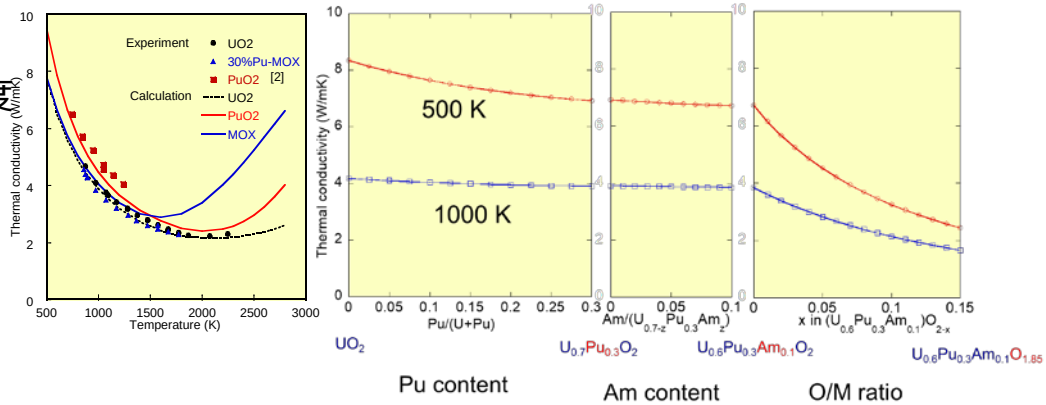


図2　機構論的物性統合モデルによるMA-MOXの熱伝導率評価

【効果・効用】

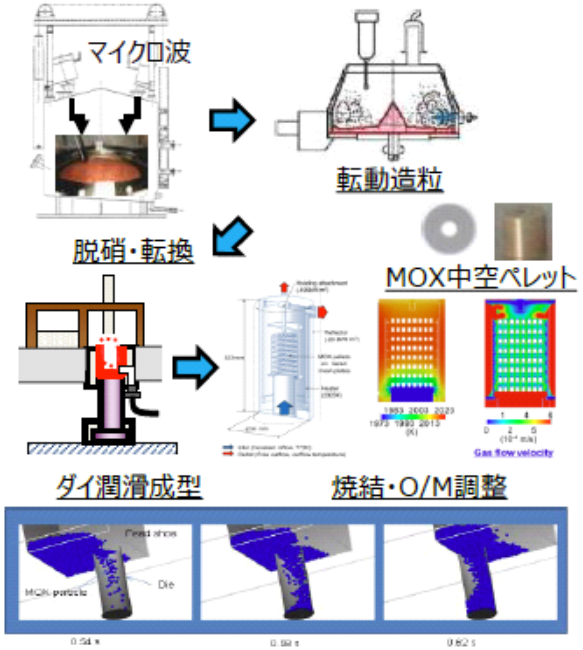
基礎特性データの取得・評価及び照射挙動評価技術開発を通じて、燃料の安全性評価技術の向上に貢献するとともに、環境負荷低減に貢献した。

(2) 1)-③ MA含有燃料製造設備・機器の開発(1/2)

【目的・達成目標（ねらい）】
燃料製造設備の概念設計と製造工程に関する基礎データ取得により、MA含有燃料に対応した簡素化ペレット法の適用性や遠隔製造設備の成立性に関する見通しを得る。

【実施内容・スケジュール】

- 製造工程における基礎データ取得
  - MA含有燃料製造に関する基盤技術として、簡素化法の要素技術、粉体物性、焼結特性等に関する基礎データを取得するとともに、MA含有燃料の製造条件評価等を進める。
  - 量産規模の設備設計を可能とするシミュレーション技術の開発を行う。
- 遠隔製造施設・設備の概念検討
  - MA含有燃料の基礎物性データ及び製造工程における基礎データ取得で得られた結果を総合的に評価し、遠隔・自動化した設備・機器によるMA含有燃料の製造ラインの概念検討を進める。



金型への粉末充填挙動シミュレーション

燃料製造に係る基礎データ取得（簡素化ペレット法）

進捗状況	H27	H28	H29	H30	H31~	H33
簡素化ペレット法の適用性評価	製造工程における基礎データ取得（粉体物性、焼結・O/M挙動、酸化・還元特性など）					
	大学との共同研究により設備・機器の開発のためのデータ取得					
遠隔製造施設・設備の概念検討		製造ラインの概念の構築				

▽ 概念設計へ適用する基礎データの蓄積

▽ MA燃料製造ライン概念の構築

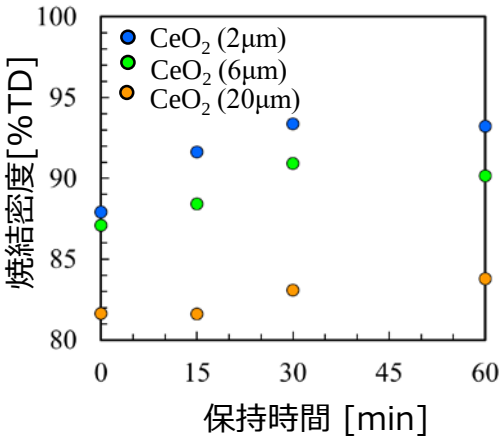
(2) 1)-③ MA含有燃料製造設備・機器の開発(2/2)

【H27～29年度の実施内容と成果、実績、達成度】

➢ 製造工程における基礎データ取得

- MA含有燃料製造に向けた要素技術開発として、マイクロ波脱硝、ペレット成型、焼結、O/M比調整、保管中O/M比変化、粉末回収用集塵機に係る基礎データを取得するとともに、金型への粉末充填挙動、O/M調整炉内の熱流動等に係るシミュレーション技術を開発し、製造技術の高度化を進めた。
- 新しい燃料製造技術として、マイクロ波焼結技術の適用性を評価するための基礎データを取得した。

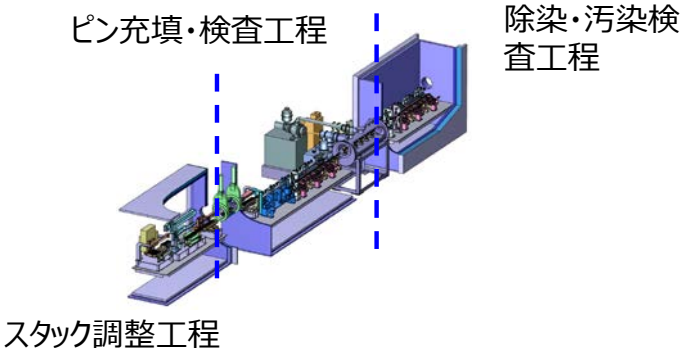
マイクロ波加熱装置
発振周波数：28GHz
発振出力：最大10kW
雰囲気：Air、Ar等



マイクロ波焼結時間と密度の関係

➢ 遠隔製造施設・設備の概念検討

- 簡素化プロセスを適用した高MA含有燃料の遠隔燃料製造ラインについて、粉末混合～ペレット検査工程、燃料ピン加工工程に係る製造設備の概念検討を実施し、高速炉及びTEF-P燃料に適用可能な遠隔製造設備・機器の概念を具体化した。



遠隔製造施設・設備の概念検討結果の一例
（燃料要素の加工・検査設備の概念図）

【H30年度の成果見通し】

- 製造工程における基礎データ取得では、脱硝やマイクロ波焼結等に係る基礎試験を行い、革新技術による効率向上を評価するためのデータを得る。
- 遠隔製造施設・設備の概念検討では、過年度の検討結果を参考にセル内配置と全体配置等を再検討し、設計合理化を行う。

【効果・効用】

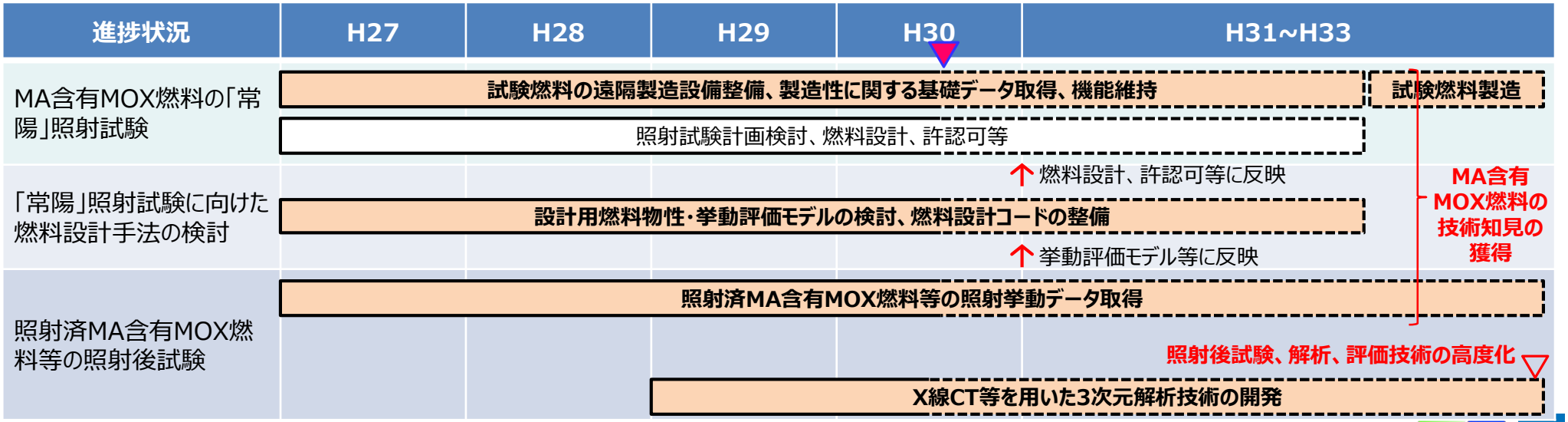
- MAの分離変換のための共通基盤技術に係る研究開発を着実に推進し、環境負荷低減に貢献した。

(2) 2)-①,④ MA含有MOX燃料の照射試験及び関連する開発(1/2)

【目的・達成目標（ねらい）】
「常陽」運転再開後に実施する照射試験に向けた遠隔燃料製造設備の整備、燃料設計手法の検討や照射済燃料の照射後試験等を通じて、MA含有MOX燃料の性能及び実現性に係る技術知見を獲得する。

【実施内容・スケジュール】

- 照射試験用MA含有MOX燃料の遠隔製造設備を整備し、同設備の機能確認を通した製造性の評価を進める。
- 設計用燃料物性・挙動評価モデルの検討及び燃料設計コードの整備を進める。
- 照射済MA含有MOX燃料等の照射後試験を実施し、照射挙動データを取得する。また、X線CT等を用いた照射後試験技術の開発を進める。



(2) 2)-①,④ MA含有MOX燃料の照射試験及び関連する開発(2/2)

【H27~29年度の実施内容と成果、実績、達成度】

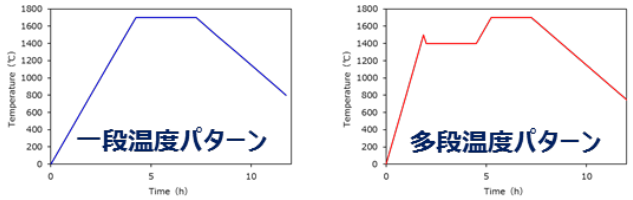
- MA含有MOX燃料の「常陽」照射試験
  - 照射試験用MA含有MOX燃料の遠隔製造設備を整備した。
  - MA含有MOX燃料の製造性に関する基礎データを取得した。
    → 多段温度パターン熱処理による焼結体密度の向上効果を確認
- 「常陽」照射試験に向けた燃料設計手法の整備
  - MA含有による蒸気圧や酸素ポテンシャル等への影響を考慮する解析モデルの開発等、燃料設計コードの整備を進めた。
- 照射済MA含有MOX燃料等の照射後試験
  - 「常陽」での短期・高線出力試験に供したAm含有MOX燃料の照射後試験を実施し、Am等の再分布挙動等の照射挙動データを取得した。
    → 再分布挙動に関する定量データを取得し、O/M比依存性を確認
  - 高エネルギーX線CT技術により集合体断面全体で非破壊による燃料ペレット組織変化挙動評価の見通しを得ると共に人工知能を利用して3次元解析するための技術開発に着手した。

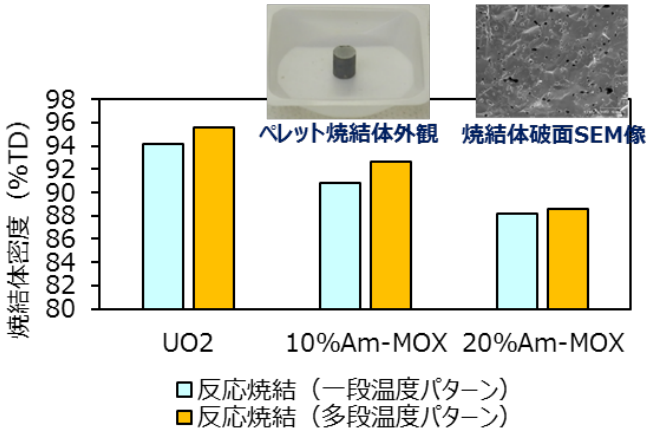
【H30年度の成果見通し】

- 照射試験燃料の遠隔製造設備の機能確認を実施する。
- 照射後試験結果を用いた燃料設計コードの妥当性を確認する。
- 人工知能を利用したX線CTデータの解析技術の開発を継続する。

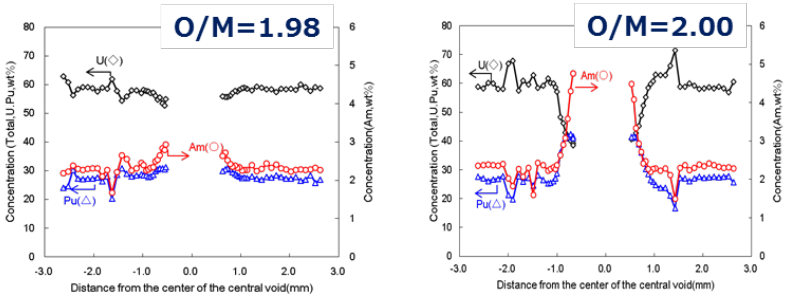
【効果・効用】

「常陽」照射試験の準備、照射挙動データの取得により、高速炉を用いた核変換技術の確立に向けた技術的知見を獲得し、環境負荷低減に貢献した。





遠隔製造設備を用いた製造性確認試験結果



短期・高線出力照射したAm含有MOX燃料のU, Pu, Amの再分布挙動

(2) 2)-② 長寿命炉心材料開発(1/2)

【目的・達成目標（ねらい）】

MA核変換効率の大幅な向上が可能な長寿命炉心材料（酸化物分散強化型（ODS）フェライト鋼等）の実用化に向けて、炉外での高温・長時間強度データの取得を継続するとともに、材料強度基準（暫定）の妥当性を確認する。また、ODS鋼製被覆管の量産技術開発の一環として、大型アトライターの適用性の見通しを評価する。

【実施内容・スケジュール】

- ODS鋼被覆管の炉外内圧クリープ破断試験、PNC-FMSラッパ管の熱時効試験等を継続する。
- 効率的な照射データ取得に有効なミニチュア試験技術の導入に向けた検討を進める。
- ODS鋼被覆管の量産技術開発の一環として、大型アトライター[*]を整備し、同装置を用いた試作・評価試験を実施する。

[*] 原料粉末を機械的に合金化（メカニカルアロイング（MA））する装置で、粉末処理量を従来の3倍（30kg/バッチ）とした。

進捗状況	H27	H28	H29	H30	H31~H33
材料強度基準整備に向けた高温・長時間強度データ取得	炉外強度試験（引張試験、内圧クリープ破断試験、熱時効試験、組織調査　等）				材料強度基準(暫定案)の妥当性確認
			ミニチュア試験技術の検討		ミニチュア試験技術の適用見通し評価
ODS鋼被覆管の量産技術開発	大型アトライターの整備		一次試作・評価		製造試験 / 大型アトライターの適用見通し評価

(2) 2)-② 長寿命炉心材料開発(2/2)

【H27~29年度の実施内容と成果、実績、達成度】

➢ 材料強度基準整備に向けた高温・長時間強度データ取得

《ODS鋼被覆管》

- 使用温度（700℃）における8万時間超の炉外内圧クリープ破断強度データ及び超高温までの引張強度データを取得した。
  → **フェライト系耐熱鋼として世界最高レベルのクリープ強度を長時間維持することを実証**

《ODS鋼被覆管、PNC-FMSラッパ管》

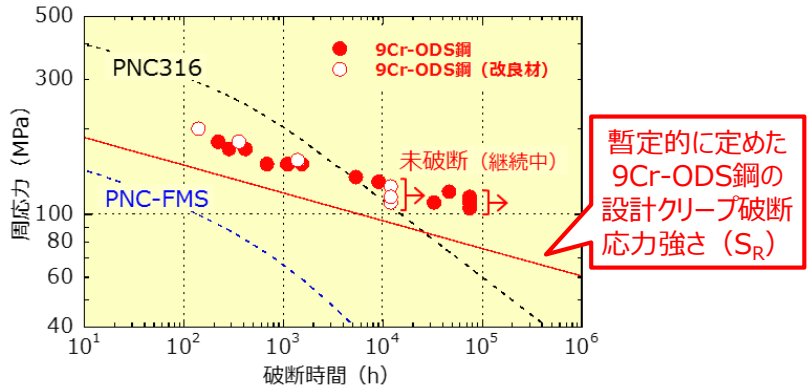
- 熱時効試験を最大約5.5万時間まで継続実施した。
- ミニチュア試験技術（破壊靭性試験等）の導入に向けた検討を進めた。

➢ ODS鋼被覆管の量産技術開発

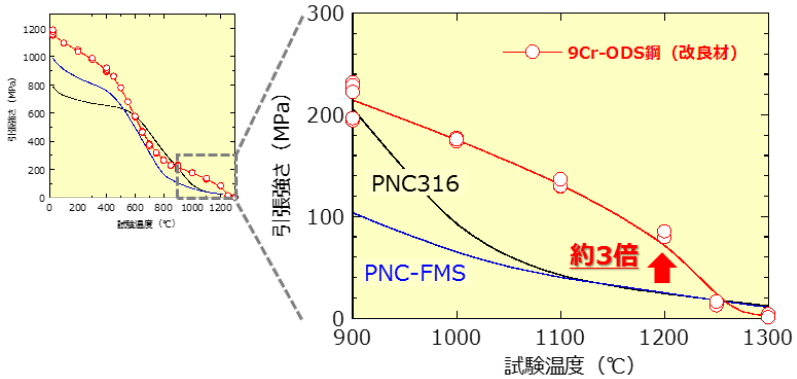
- 大型アトライターの設計・製作・据付を完了し、1次試作を実施した。

【H30年度の成果見通し】

- 高温・長時間強度データの取得を継続するとともに、約4.6万時間で破断したODS鋼被覆管の微細組織観察を実施する。
- 1次試作した9Cr-ODS鋼の基本特性（組織の均質性、強度特性）を評価する。



9Cr-ODS鋼被覆管の700℃における内圧クリープ破断強度



高温条件下での9Cr-ODS鋼被覆管の引張強度

【効果・効用】

長寿命炉心材料の実用化技術開発（材料強度基準の整備、量産技術開発等）を通じて、高速炉を用いた効率的な核変換技術の確立に向けた技術的知見を獲得し、環境負荷低減に貢献した。

(2) 2)－③　廃棄物の減容化等に適した高速炉の検討(1/2)

【目的・達成目標（ねらい）】

Pu及びMAを柔軟かつ効果的に利用する高速炉システムの開発に向けて、国内外の高次Pu・MA実験データを用いて炉心設計手法を高度化するとともに、Pu・MA燃焼炉心概念を構築する。

【実施内容・スケジュール】

- 炉心設計手法に関して、学会ガイドラインに準拠した検証・妥当性確認等の方法論を構築する。
- 「もんじゅ」性能試験をはじめとする国内外の高次Pu・MA積分実験のデータを収集し、核設計精度の改善を継続して実施する。
- 高速炉の導入期から平衡期、更には終焉期までのPu・MA管理を可能とする炉心概念を構築する。

進捗状況	H27	H28	H29	H30	H31~33
炉心設計手法の検証・妥当性確認	方法論の検討			▼	設計手法の高度化 ▽
	MA実験解析	高次Pu実験解析		国際協力によるMA実験解析	
Pu・MA燃焼炉心の設計研究					炉心概念の構築 ▽
	Pu・MA燃焼炉心の特性把握		リサイクル特性評価		炉システムへの影響評価
		副概念（金属燃料炉心）によるMA燃焼法の研究			

(2) 2)－③　廃棄物の減容化等に適した高速炉の検討(2/2)

【H27~29年度の実施内容と成果、実績、達成度】

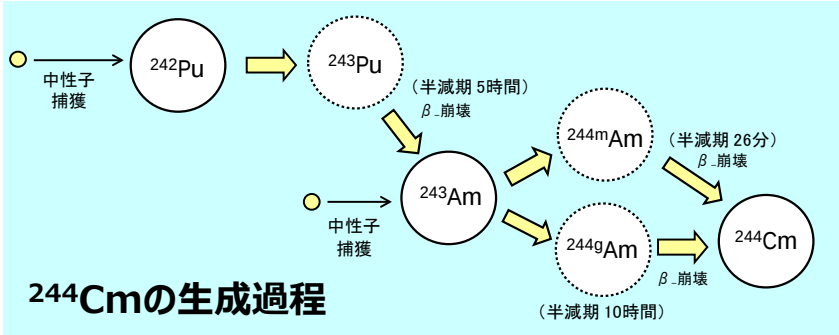
- 炉心設計手法の検証・妥当性確認
  - 日本原子力学会標準に従ったV&V／UQ方法論を構築し、炉心核設計手法に適用した。
  - MA及び高次Puの実験解析を行い、データベースを拡充した。
  - 「もんじゅ」性能試験で得られた^{241}Am含有炉心の核特性結果や高次Puの炉物理実験結果等を統合炉定数ADJ2017に反映し、核設計精度の向上を図った。
- Pu・MA燃焼炉心の設計研究
  - 従来より高次化したPu原料を用いる炉心概念を構築した。
  - 遠い将来の高速炉終焉期（フェーズアウト）で用いるPu・MA燃焼炉心の検討を進めた。

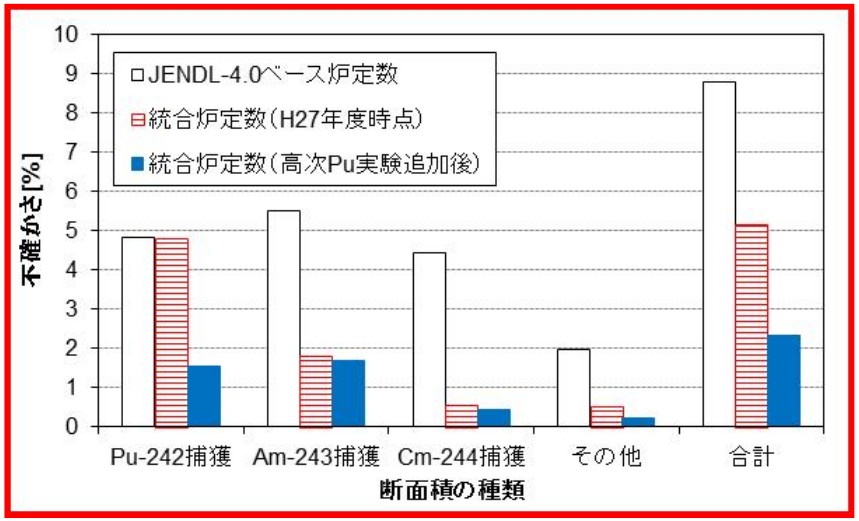
【H30年度の成果見通し】

- 国際協力（日露等）によりMA実験データを拡充し、炉心設計手法の高度化・信頼性向上の見通しを得る。
- Pu・MA燃焼炉心の最適化検討、副概念による可能性追求を継続する。

【効果・効用】

高速炉を用いた効率的な核変換技術の確立に向けた研究開発の進展により、環境負荷低減に貢献した。





発熱核種として重要な^{244}Cm生成量予測精度の向上

^{243}Amや^{244}CmなどのMA実験データに、これまで十分に活用されていなかった高次Pu（^{242}Pu）を加えて考慮することで核種生成量の不確かさを大幅に低減した。

国際協力（1/2）

放射性廃棄物の減容化・有害度低減のうち、以下の分野において、**研究成果の最大化**や**人材育成**を目的に、日米、日仏間で協力を推進

- MA分離技術に関する協力の推進
  - ◆日米CNWG協力＊：情報交換会合累計6回（0回）
    研究者派遣1名1年間（H29.8～H30.8）
  - ◆CEA協力：情報交換会合累計8回（3回)
- MA含有酸化物燃料（物性研究、照射挙動評価等）に関する協力の推進
  - ◆日米CNWG協力＊:専門家会合累計7回（2回）、
    研究者派遣2名（1年間）、3名（短期）
- ODS鋼被覆管など長寿命炉心材料に関する協力の推進
  - ◆日米CNWG協力＊：専門家会合5回（1回）
  - ◆CEA 協力：10回 （2回）

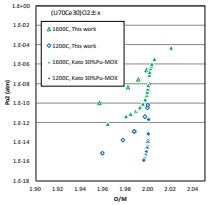
＊日米民生用原子力研究開発ワーキング（CNWG）
協力：本会議を日米交互に年1回開催
括弧内はH30年度実績

国際協力（2/2）（国際協力活用の代表事例）

日米CNWG協力の先進燃料分野での5つのタスクを通じて、 MA含有MOX燃料を対象に、機構論的な物性、照射挙動モデルを最大限に取り入れ、外挿性を有する三次元照射挙動解析コードの開発に着手。

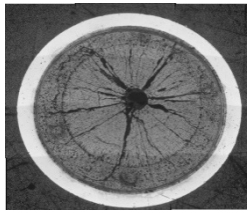
タスク1:酸化物燃料に関する基礎物性測定試験

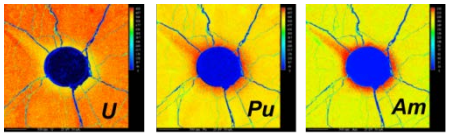
酸化物燃料の基礎データについて実験及び計算科学を用いた評価を行い、基礎データをベースとした燃料挙動解析用の機構論的物性モデルを作成する。



熱物性データ取得

タスク2：先進酸化物燃料のPIE技術開発と評価

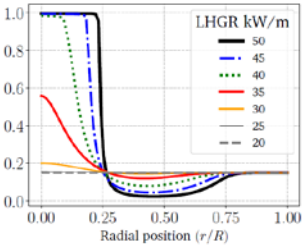




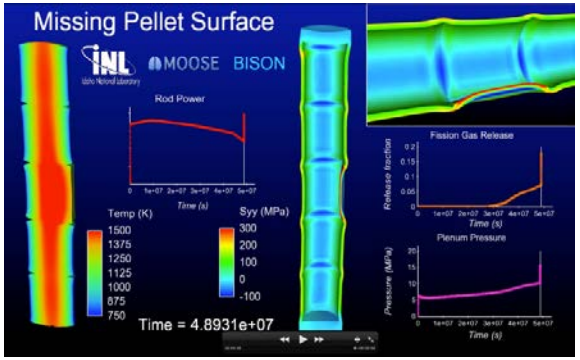
PIEデータ及び測定技術の情報交換とPIEデータの解析を実施し、燃料挙動解析用の検証用データとし、機構論的挙動モデル作成を実施する。

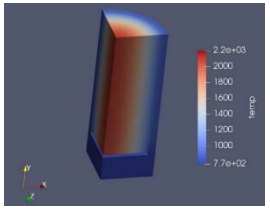
タスク3：照射後燃料特性をO/M比等の関数としてあらわすためのモデリングとシミュレーション技術

3次元照射挙動解析コード(BISON-MOX)に機構論的モデルを適用することにより、照射データがない領域までの外挿性を有する世界に類を見ない革新的なシステムの開発を目指す。



ペレット径方向の気孔率分布





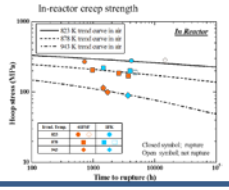
BISON-MOXによる温度分布評価

タスク4：MA含有MOX燃料ピンの照射試験計画策定

MOX用BISONコードを用いてMA含有MOX照射燃料の照射挙動評価・解析を行い、検証を行う。

タスク5：炉心材料の特性評価

炉心材料の照射特性に関する情報交換と照射試験等の共同研究の計画を行う。



共同研究（1/2）

共同研究の実績（H27～30年度）

- H30年度までに、12大学、5研究機関、メーカ1社との共同研究を実施
  ➡ 研究成果の最大化、若手研究者の育成に活用

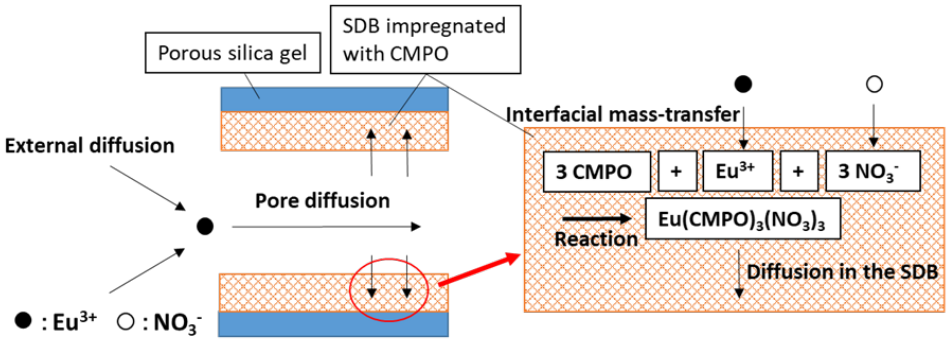
	MA分離	MA燃料	炉心	燃料材料
H27	3	4	2	4
H28	1	7	0	3
H29	3	2	1	2
H30	5	3	1	2
計	12	16	4	11

各分野の代表的な共同研究の例を以降に示す。

MA分離技術分野

MA回収用吸着材の最適化に関する研究
（芝浦工業大学、東京都市大学、筑波大学）

- 吸着溶離性能評価、錯体構造解析、安全性評価
- CMPO/SiO_2-P, HDEHP/SiO_2-P吸着材を用いた2段階フロー最適化のための基礎データを収集
  →ホット試験条件の設定に反映



CMPO/SiO_2-P吸着材中の吸着錯体形成メカニズムの評価

新抽出剤（DGA, HONTA）を利用した条件で**コールド性能評価**を実施中

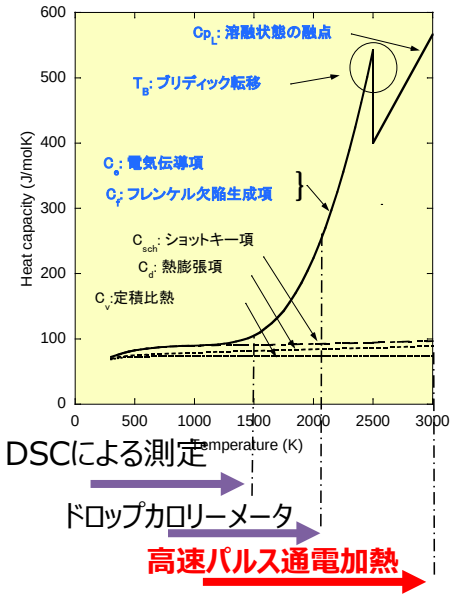
共同研究（2/2）

MA燃料技術分野

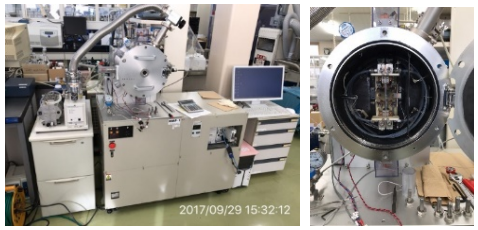
超高温物性測定技術の開発

（東北大学、福井大学、産総研）

- 酸化物の測定技術の開発
- 温度解析による測定条件の評価
- アルミナ及びジルコニアを用いた高温領域における物性値(比熱、融点等)の評価



比熱の変化と測定方法



高温パルス通電加熱物性測定装置

高速炉技術分（炉心分野、燃料・材料分野）

「もんじゅ」データを活用したMA核変換の研究

（福井大学）

- 安全性と環境負荷低減を両立させた低ボイド反応度MA核変換炉心の検討
- MA積分実験データベースの構築

酸化物分散強化型フェライト鋼のナノ組織解析

（北海道大学）

- X線/中性子小角散乱法を用いたODS鋼のナノスケール酸化物粒子の分散状態の評価

部門間（新型炉部門と原科部門）との連携

高レベル放射性廃棄物の減容化、有害度低減に向け、高速炉を用いた均質型核変換サイクルとADS(加速器駆動システム）を用いた階層型核変換サイクルにおいて、共通するMA分離技術、MA燃料技術について、機構内での部門間で連携して効果的に開発を推進

MA分離技術

- MA等を分離する技術を共通技術として連携して開発を推進

原科部門　原子力基礎工学研究センター

高速炉サイクルへの貢献
- 新抽出剤の開発
- 抽出プロセスにおける元素挙動データ

物質科学研究センター・大学等

基礎研究による現象理解

連携

新型炉部門 燃料サイクル設計部

高速炉サイクル開発からの技術導入
- 新抽出剤の遠心抽出器等のプロセス機器への適用性
- プラント概念検討における工学的知見に関する協力
- 抽出クロマトグラフ法における元素挙動データ

- 合同技術検討会、研究会を通じた情報交換
- 共同研究・研究分担等による協力
- 外部資金の共同提案（今後）

MA燃料技術

- 高速炉均質型概念における核変換燃料とは、燃料組成において補完関係にあり、協力して推進

ADS核変換燃料
- 窒化物・高MA含有率

補完

高速炉用核変換燃料
- 酸化物・低MA含有率

- MA燃料のデータベースの拡充に関する協力
- 燃料取扱い技術、工学技術
- 燃料製造施設概念検討
- 燃料照射試験（今後）

４年間のまとめ（1/2）

(1)使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発 【自己評価　B】

1）再処理技術開発

- U/Pu共回収プロセスについて、所定のPu/Uでの共抽出、U/Pu精製系の削除に重要なTcの除染係数の向上に係る見通しを確認した。
- 遠心抽出器開発について、広範囲のO/A比条件での良好な抽出性能を確認し、U/Pu共回収プロセスへの適用性を確認した。
- 100%の捕集性能を目指した高性能清澄システム概念を具体化。フィルタ装置（セラミックフィルタ採用）について、ほぼ100%の捕集性能と良好な差圧上昇・回復特性を確認した。
- 将来のMOX燃料再処理プラントして分析・計装システムの合理化、MA回収設備の追設等による影響を評価した。

上記の成果は、「将来的なMOX燃料の再処理技術の有望性判断に資する成果」の報告として経済産業省（受託事業）に毎年提出しており、今後、中長期計画通りに進捗するとともに所期の目標を達成する見通し

2) MOX燃料製造技術開発

- 機械的な前処理を行ったDS粉を添加してMOXペレット製造が可能なことを確認した。
- 長期保管したMOXの転動造粒紛に関し、保管による流動性の低下及び得られた成型体の焼結により目標の密度を満足することを確認した。
- 衝突板式ジェットミルによる粉砕試験により、遠心セパレートコアの形状の変化で粉末調整が可能であることを確認した。
- プルトニウム燃料第三開発室において、装置の故障データを収集・整理。センサ等の故障頻度の高い部品を有する装置への対策を考慮した設備の概念検討を進めた。

高速炉用MOX燃料製造技術の実用化に向けて必要な知見・各種データを着実に取得しており、今後、本中長期計画期間中に所期の目標を達成する見通し

４年間のまとめ（2/2）

(2)放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発 【自己評価　A】

1) MAの分離変換のための共通基盤技術の研究開発

- MA分離フローシート（MA回収率95%以上、DF≧100の性能）のホット試験での実証の見通しを得た。
- 小規模リサイクル試験として、「常陽」照射済燃料から**当初の計画を上回る約2gのMAの回収を達成**した。
- 基礎物性の測定、物性式の評価を積み上げ、**世界的にも類のない広範なデータベースの基盤を構築**するとともに各物性式の関連性を**機構論的に記述した統合モデルを開発**した。
- 簡素化法による燃料製造技術の開発、酸化物燃料遠隔製造ラインの概念設計を行った。

2) 高速炉を用いた核変換技術の開発

- MA含有MOX燃料の「常陽」照射試験に向けて、遠隔燃料製造設備の整備・機能確認、燃料設計手法の整備等を着実に進めた。Am再分布挙動の定量データを取得するとともにX線CTを用いた非破壊試験による燃料の組織変化評価手法の見通しを得た。
- ODS鋼被覆管等の高温・長時間強度データの取得を継続し、**ODS鋼被覆管のクリープ破断強度**について、**8万時間超まで長時間側強度低下（腰折れ）が生じないことを実証**した。ODS鋼被覆管の量産技術の確立に不可欠な大型アトライターを整備した。
- 高次Pu・MA実験データベースを拡充し、炉心核設計精度を向上させるとともにPu・MA燃焼炉心概念の具体化を進めた。

MA分離フローシートの改良、簡素化法による燃料製造技術の開発、「常陽」照射試験の準備、炉心設計手法の高度化など、中長期計画に着実に取り組むとともに、計画を上回るMA回収量の達成、世界的にも類のない広範な燃料物性DB基盤の構築、ODS鋼の優れたクリープ破断強度の実証など、顕著な研究成果を創出した。

【自己評価（総合）　A】

本研究開発課題全体として、**中長期計画に着実に取組み、所期の目標を達成する見込みである**とともに、特に放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発においては、**顕著な研究成果を創出**した。

今後の進め方

(1)使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発

1） 再処理技術開発

- 再処理プロセスの設備合理化のために、コプロセッシング法の除染性能向上に係るホット試験の実施、本法に適用する遠心抽出器開発を行う。
- 高性能清澄システムの実用化への開発フェーズと位置づけ、実機を想定した大型化による性能見通しの評価に主眼を置く。
- 将来の核燃料サイクルの検討・議論に資するデータの取得を目的に、サイクル諸量評価を基にした核燃料サイクル施設の整備案について、ケーススタディを行う。

2) MOX燃料製造技術開発

- 粉砕機選定後、密度制御技術等の高度化、前処理技術開発（不純物の除去、熱処理等）を実施する。
- 簡素化ペレット法に係るMOX燃料ペレット製造試験データ取得を継続し、要素技術（転動造粒、ダイ潤滑）の成立性見通しを得る。
- MOX燃料製造プラントの遠隔自動化の検討に資するデータ取得を継続し、信頼性・保守性の高い自動化した燃料製造設備の概念を具体化する。

(2)放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発

1) MAの分離変換のための共通基盤技術の研究開発

- MA回収率の向上のため、新抽出剤を適用したフローシートの構築、技術的成立性を評価し、フローシートの最適化を図る。
- 回収したMA-MOX混合溶液の脱硝、輸送容器の許認可を進め、MA-MOX原料輸送準備の完了を目指す。
- MA含有酸化物燃料の基礎特性の評価、データベースの拡充、機構論的統合モデルと照射挙動解析コードの開発を継続して進める。

2） 高速炉を用いた核変換技術の開発

- 「常陽」運転再開後に計画しているMA含有MOX燃料の照射試験の実施に向けた準備として、試験燃料の遠隔製造設備の機能確認を通した製造性の評価、燃料設計手法の整備等を進める。
- ODS鋼被覆管、PNC-FMSラッパ管の材料強度基準の整備に向けた高温・長時間強度データの取得を継続する。
- Pu・MA燃焼炉心の最適化や設計課題を検討するとともに、副概念による可能性追求を継続する。

第5次エネルギー基本計画、戦略ロードマップにおいて、継続して核燃料サイクルの意義や高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減の重要性が確認されており、従来の計画から大幅な変更は必要ないと考えられるが、戦略ロードマップで示されたイノベーションの促進への貢献、今後の開発の作業計画を考慮し、技術基盤の維持・強化のため、以下の観点で必要な見直しを図って行く。

○既存技術・知見の体系化　○研究開発インフラの整備・提供（Pu利用研究施設、高速中性子照射機能　等）
○規格・基準類の整備　○基盤的な解析・設計手法の整備　○基盤技術開発　○人材育成　等

分離変換技術研究専門部会での中間評価における委員コメント等（１/３）

■ 分離変換技術研究専門部会について

機構で実施する「放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発」全体について、詳細な内容等を討議・評価し、原子力基礎工学研究・評価委員会（原科部門）及び高速炉サイクル研究開発・評価委員会（新型炉部門）への助言と評価支援を目的とし、H30年１０月１９日に第４回専門部会を開催し、Ｈ２７～３０年度の取組みに対する中間評価、意見をいただいた。（竹下部会長以下出席委員は10名中９名であった。）

■ 第４回専門部会での評価及びご意見の概要について（報告）

【評価軸：研究開発の進捗状況の妥当性】：Ｓ５、A5

ほぼ全ての開発項目について、当初の計画どおりに順調に進捗しており、計画期間中の目標達成の見通しが示された。また、想定以上の優れた成果や基礎的知見として重要なデータ等も得られており、順調な計画進展と評価する。

【評価軸：情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性（継続、変更、中止等の決定）について】：S1、A７、B1、評価留保１

不確実な状況ではあるものの、状況に合わせた柔軟な対応が取られており、現時点で研究計画の大幅な見直しの必要性はないと考えられる。

【評価軸：効果・効用（アウトカム）の暫定的確認】：S2、A７、B1

質の高い研究がなされ学術的に高い研究成果をあげているとともに、多くの論文や国内外学会での発表等による情報発信も広範に行われ、それぞれの分野で大きな貢献がなされている。また、各研究開発においてそれぞれに独

分離変換技術研究専門部会での中間評価における委員コメント等（2/３）

創性のある内容が随所に盛り込まれており、例えば世界的に成果が期待される日本独自の研究方法（例えば、TEF計画）や要素技術・データベース・素材・解析モデル等の開発など世界をリードする研究成果が示されている。従って、この分野の研究進展への貢献は大きいと評価できる。

【評価軸：イノベーション創出への取組み（参考）】：S1、A８、B1

本技術開発自身が将来の原子力産業に大きな影響を与える革新的な研究開発である。また、他分野への応用の可能性がある方法論や基礎技術（材料開発含む）、モデル/データベース、機器開発が本研究成果に含まれており、産業分野への貢献も期待できる。

【評価軸：若手研究者の育成・支援への貢献の程度（参考）】：S２、A7、B1

国際協力（外国留学含む）や大学や他の研究機関との研究協力を通じて、若い研究者の育成に大いに貢献している。本研究開発は、革新的で魅力ある内容が多いことから、今後とも大学、学会等とも連携して若手人材の育成に尽力することを期待する。

【評価軸：国内外他機関との連携の妥当性（参考）】：S1、A７、B2

大学や他の関連研究機関の特徴や研究資源を考慮して研究情報や成果が有効に得られるよう研究協力が実施されている。特に大学との共同研究は、大学における直接的な研究が困難になる中で、両者にとって有効な手段であると考えられ、今後とも積極的に連携を図ることを期待する。

分離変換技術研究専門部会での中間評価における委員コメント等（3/３）

【評価軸：国際的な協力体制を構築し、将来大きなインパクトをもたらす可能性のある成果が創出されているかどうか】：A６、B4

これまで欧米諸国等の国外研究機関との協力会議や研究者の派遣等を通じた情報交換や共同開発作業等によって、国際的な協力関係が構築できていると考えられる。国際的な協力体制の中で、それに見合う成果を得ることを期待する。ただし、国際協力はあくまで戦略的であるべきで、研究の独自性を失うことなく、国益を考えつつ進められるべきである。また、これから原子力を導入する国々に対しても機構のイニシァチブを期待する。

【その他ご意見・総合評定等】：S２、A６、評価無し２

ほぼ全ての開発項目について、当初の計画どおりに順調に進捗し、一部では当初想定以上の成果をあげており、計画期間中の目標達成の見通しが示された。 一部の項目については、外部の様々な要因により当初計画を変更せざるを得ない状況もあるが、柔軟性を持って研究計画を再検討しており、当初の目標は達成できると考えられる。世界的にみても最先端の成果が得られつつあるとともに、実用化の見通しが期待できる成果もあり、研究開発全体としては期待以上に進捗していると評価する。なお、今後の研究開発成果と実用化への効果とを明確にしていくことが必要である。また、情勢の変化にも柔軟に対応して研究開発を進めていくことを期待する。

S：目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、適正、効果的な研究開発運営の下で、「研究開発成果の最大化」に向けて特に顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。

A：同、「研究開発成果の最大化」に向けて顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。

B：同、「研究開発成果の最大化」に向けて成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められ、着実な研究開発運営がなされている。

C：同、「研究開発成果の最大化」に向けてより一層の工夫、改善等が期待される。

D：同、「研究開発成果の最大化」に向けて抜本的な見直しを含め特段の工夫、改善等が求められる。

以下、参考資料

参考1　H30年度の計画（1/3）

(1)使用済燃料の再処理、燃料製造に関する技術開発

1) 再処理技術開発

① 使用済MOX燃料の再処理技術開発については、ウラン・プルトニウムの共抽出技術であるコプロセッシング法に係る抽出器試験、清澄性能の向上に向けたスラッジ物性データの取得及び遠心清澄機の性能検討を行うとともに、遠心清澄機システムを適用した場合の再処理プラントへの影響を評価する。

② 再処理技術開発の一環として、もんじゅ新ブランケット燃料(66体)を含むウランを用いた試験計画の検討を進める。

2) MOX燃料製造技術開発

① ペレット製造プロセスの高度化のための技術開発、簡素化ペレット法の要素技術開発及び乾式リサイクル技術の開発に係る基盤データを継続して取得する。

② もんじゅ新ブランケット燃料(66体)の活用を含めた試験に向けた検討を進める。

③ 燃料製造施設の安全な維持管理を通じて、自動化した燃料製造設備の信頼性及び保守性の向上に資するデータを継続して取得する。

参考1　H30年度の計画（2/3）

(2)放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発

1) MAの分離変換のための共通基盤技術の研究開発

① MAの吸着溶離特性データを取得し、分離フローシートの検討に反映する。また、分離性能や安全性の向上に向けた基盤データを取得するとともに、米国や仏国との国際協力を進める。

② MA含有燃料については、以下の研究開発を進める。

- 酸化物燃料物性研究については、基礎特性データベースの拡充を継続し、機構論的物性モデルの構築を進める。
- MA含有燃料に係る遠隔製造技術の確立に向けて、ペレット製造に係る基礎試験、遠隔簡素化製造設備の概念検討及び評価を行う。
- 日米協力では、酸化物燃料の基礎研究、照射後試験データの解析、挙動モデルの開発等を進める。

参考1　H30年度の計画（3/3）

(2)放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発（つづき）

2) 高速炉を用いた核変換技術の研究開発

放射性廃棄物の減容化・有害度低減に寄与するMA含有MOX燃料の照射試験、長寿命被覆管及び長寿命ラッパ管、炉心等に関する以下の研究開発を進める。

① 照射後試験技術開発の一環として、X線CTを用いた照射挙動解析技術等の開発を進める。また、照射試験用MA含有MOX燃料の製造設備の機能確認を実施する。
MA含有MOX燃料の「常陽」での照射試験に向けて、燃料設計手法の検討を進める。

② 長寿命炉心材料の候補であるODS鋼被覆管及びPNC-FMSラッパ管について、長期を要する高温・長時間強度データの取得を継続実施し、材料強度基準策定に向けたデータ拡充を進める。

③ Pu及びMAを高速炉で柔軟かつ効果的に利用するための研究開発として、過年度までに整備した実験データベース等を活用した炉心設計手法の検証・妥当性評価、Puの増殖・燃焼やMA核変換を行う炉心の設計研究等を行う。

参考２　分離変換技術研究に対する評価表（総括評価）

◎第三期中長期計画の中間評価について（評価軸に基づく評価）

委員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計
研究開発の進捗状況の妥当性	S	S	S	S	S	A	A	A	A	A	S: 5 , A: 5
情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性について	A	A	A	S	A	–	B	A	A	A	S: 1 , A: 7 , B:1, – : 1
効果・効用（アウトカム）の暫定的確認	A	A	A	A	S	A	S	B	A	A	S: 2 , A: 7 , B: 1
イノベーション創出への取組みがされているかどうか	A	A	A	A	S	A	A	B	A	A	S: 1 , A:8, B: 1
若手研究者の育成・支援への貢献がされているかどうか	S	S	A	A	A	A	A	A	B	A	S:2, A: 7 , B: 1
国内外他機関との連携の妥当性	A	A	A	A	S	A	B	A	B	A	S: 1 , A:7, B: 2
国際的な協力体制を構築し将来大きなインパクトをもたらす可能性のある成果が創出されているかどうか	A	A	A	B	A	A	B	B	B	A	A: 6 , B: 4
総 合 評 定	S	A	–	A	S	–	A	A	A	A	S: 2 , A: 6 , – : 2

参考２　分離変換技術研究に対する評価表（各研究開発項目）

◎中間評価結果（個別評価：参考）

委員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計
MA分離技術(合同)	S	S	S	S	S	S	S	A	A	A	S: 7 , A: 3 , B: 0
MA燃料技術(合同)	S	S	S	S	S	A	A	A	A	A	S: 5 , A: 5 , B: 0
高速炉を用いた核変換技術	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	S: 0 , A: 9 , B: 1
TEF関連技術	A	S	A	B	A	A	S	S	A	A	S: 3 , A: 6 , B: 1
ADSを用いた核変換関連技術	A	A	A	A	S	A	A	A	A	A	S: 1 , A: 9 , B: 0

S：目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、適正、効果的な研究開発運営の下で、「研究開発成果の最大化」に向けて特に顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。

A：同、「研究開発成果の最大化」に向けて顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。

B：同、「研究開発成果の最大化」に向けて成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められ、着実な研究開発運営がなされている。

C：同、「研究開発成果の最大化」に向けてより一層の工夫、改善等が期待される。

D：同、「研究開発成果の最大化」に向けて抜本的な見直しを含め特段の工夫、改善等が求められる。

注：上記に示す評定に係る記述において一部表現を簡略化している。

参考３　高速炉用燃料サイクル開発の進め方の例について

開発段階（規模）

六ヶ所サイクル施設

MOX原料供給

導入期サイクル
（次期高速炉と連携、Puサイクル）

実用期サイクル
（実用炉と連携、Pu+MAサイクル、）

先行試験用燃料集合体（LTA)提供

国際協力の活用
（日仏ASTRID協力、日米CNWG協力等）

次期高速炉に向けた燃料サイクル開発（要素、工学規模）
・「常陽」への燃料供給を通じたMOX燃料製造技術の確立及び高度化（スクラップの乾式リサイクル技術、ダイ潤滑成型技術等）
・MOX燃料の開発＊（物性研究、炉心材料開発、照射試験、設計手法開発等）
・MOX燃料の再処理技術開発（Pu/U共回収技術、遠心抽出器、高性能清澄システム等）　他

MAサイクルの工学規模開発
・再処理工学試験（MA回収含む）
・MA含有燃料の遠隔製造工学試験（集合体規模）

C&R

廃棄物減容化等に向けたMAサイクル要素技術開発
・MA分離回収技術開発（抽出クロマトグラフィ法等）
・MA含有MOX燃料の遠隔製造技術開発
・MA含有MOX燃料の開発＊（物性研究、炉心材料開発、照射試験、設計手法開発等）　他

C&R

＊MOX燃料開発及びMA含有MOX燃料開発において基盤を共有。

開発段階（時間）