

分離変換技術の開発課題（日本原子力研究開発機構）

分離プロセス

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
「U, Pu, Np を一括回収する高効率抽出システム」及び「抽出クロマト法による MA 回収技術」については、高速増殖炉サイクル実用化施設の概念設計の段階にあり、次段階以降までに解決すべき枢要課題が明確である。U, Pu, Np の一括回収技術については経験が豊富な PUREX 法の改良であるため課題解決のハードルは比較的低い。革新的な技術の課題のうち均質 MA リサイクルに係る課題について、2015 年までの計画で下記の要素技術開発が進められており、その完遂によって基本設計段階に移行することが可能と見込まれる。		
（U, Pu, Np を一括回収する高効率抽出システム） ①プロセス条件の最適化 ②計算コードによる Np 挙動予測法の確立	・使用済燃料溶解液による晶析後の母液からの U, Pu, Np 分離に係る実験室規模のホット試験（CPF で実施中） （その結果を反映した抽出計算コードの開発）	<ul style="list-style-type: none"> ・工学規模装置の開発（遠心抽出設備、抽出クロマト設備） ・廃液処理技術の開発 ・製品の転換技術開発 ・工学規模でのホット（リサイクル原料を用いた）試験による技術実証
（抽出クロマト法による MA 回収技術） ①分離性能評価 ②吸着材の安定性・安全性評価（吸着材の選定については基礎基盤研究と連携し実施）	・フローシートを構築、MA/FP の分離挙動評価に係る実験室規模でのホット試験（CPF で実施する計画）	
（MA 分離：溶媒抽出法） ①分離性能評価、分離条件最適化 ②抽出剤の安定性・安全性評価	・模擬液による分離プロセス最適化試験が可能な施設（柔軟性、即応性が必要）（NUCEF 等で実施中）	

<p>(Sr-Cs 分離)</p> <p>①抽出クロマト法の性能評価、採否の判断</p> <p>②最適吸着剤の決定</p> <p>③固化法の検討</p> <p>(白金族元素分離)</p> <p>①最適分離法の選択(他の分離工程との組み合わせの最適化、利用法の検討)</p> <p>(総合)</p> <p>①要素技術の最適組み合わせ検討、要素技術間の結合上の問題解決</p>	<p>・実験室規模での実液によるホット試験が可能な施設（施設としては NUCEF で実施可能）</p>	
--	---	--

分離変換技術の開発課題 （日本原子力研究開発機構）
核変換システムの共通基盤技術

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
・ MA 核データの整備と積分的検証	<ul style="list-style-type: none"> ・ MA 試料が使用可能な TOF 測定中性子ビームライン（J-PARC の物質生命科学実験施設に整備中） ・ MA 燃料が使用可能な臨界実験装置 	・ 安全審査及び経済性向上に資する核データの整備
・ 燃料基礎物性に関する熱力学データの充実及び燃料設計コード開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心燃料設計に十分なデータの取得のための実験室規模でのホット試験（プルトリウム燃料第一開発室、AGF、NUCEF、WASTEF 等の既存施設で実施中） ・ 基礎データに基づくモデル構築及びデータ充実に応じたコードの計算精度向上 	・ 合理的な安全確保や経済性向上の面で重要な燃料基礎データ、燃焼に伴う MA の特徴的な挙動の把握・確認、燃料設計コードの整備
・ MA 含有燃料の計量管理技術等の核不拡散技術の開発	・ 実証段階の施設の検討を具体化していく際には、保障措置関連技術の重要性が増すため、検討を十分に行う。	・ 実証段階の施設において、実用段階の施設で採用する技術の適用性を示す。
・ FP 核変換用ターゲットの開発	・ 候補材の照射、照射後試験、処理試験	・ 高速実験炉等における照射試験と照射済ターゲットの処理試験を通じた技術の実証

分離変換技術の開発課題 （日本原子力研究開発機構）
高速増殖炉サイクル利用型（均質）核変換システム

燃料製造

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
<p>実用化施設の概念設計の段階にあり、次段階以降までに解決すべき枢要課題が明確である。革新的な技術の課題のうち均質 MA リサイクルに係る課題について、2015 年までの計画で下記の要素技術開発が進められており、その完遂によって基本設計段階に移行することが可能と見込まれる。</p>		
<p>（脱硝・転換・造粒一元処理）</p> <p>①プロセス成立性の確認</p> <p>②遠隔対応設備の開発</p>	<p>①MA/FP を添加した際の影響の評価を含む 1kg 程度の高除染 MOX 系のバッチ試験（Pu 燃料第一開発室で実施中）</p> <p>②遠隔の操作、保守・補修に適した機器の設計検討、試験機を用いた工学規模のコールド試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・プロセスの最適化、遠隔対応設備の開発 ・工学規模でのホット（リサイクル原料を用いた）試験による技術実証
<p>（セル内遠隔設備開発）</p> <p>①遠隔ハンドリング設備の開発（システム全体）</p> <p>②機器監視・異常診断技術の開発</p> <p>③分析・検査技術の開発</p>	<p>①モジュール型設備の設計検討、試験機を用いた工学規模のコールド試験</p> <p>②セル内遠隔設備の保守に適用する機器監視、音響センシング等の遠隔での機器監視・異常診断手法の決定のためのコールド基礎試験</p> <p>③セル内での粉末のインライン分析、量産化に対応した迅速なペレット検査手法の決定のため</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔対応設備の開発 ・工学規模でのホット（リサイクル原料を用いた）試験による技術実証

	めの実規模でのコールド試験	
(TRU 燃料取扱技術) ①熱流動解析に基づく設備設計と技術実証	①発熱する集合体の保管、検査技術確立するための工学規模でのコールド試験	・工学規模でのホット（リサイクル原料を用いた）試験による技術実証

核変換システム

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
<p>実用化施設の概念設計の段階にあり、次段階以降までに解決すべき主要課題が明確である。革新的な技術の課題のうち均質 MA リサイクルに係る課題について、2015 年までの計画で下記の要素技術開発が進められており、その完遂によって基本設計段階に移行することが可能と見込まれる。</p>		
<p>(炉心燃料設計（高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発）)</p> <p>①大型ナトリウム冷却 FBR 炉心における設計成立性確認</p>	①燃料基礎物性研究の成果を踏まえた炉心燃料の設計研究	・燃焼初期より MA/FP を含む燃料の安全設計手法の確立（実証炉、実用炉初号機、実用炉商業ベース導入の段階に応じて炉心燃料設計技術を高度化）
<p>(照射試験及び照射後試験（高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発）)</p> <p>①低除染 TRU 燃料の照射健全性確認</p>	①ペレット、ピンレベルのカプセル照射試験及び照射後試験（高除染 MOX に MA 等を添加した燃料に対する試験を「常陽」及び AGF で実施中）	・実照射環境でのピン、バンドル照射試験及び照射後試験（燃料基礎物性研究、炉心燃料設計研究と整合させて実施）

分離変換技術の開発課題（日本原子力研究開発機構）
高速増殖炉サイクル利用型（非均質）核変換システム

燃料製造

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
<ul style="list-style-type: none"> ・本サイクルの基本となる燃料形態は①Np-MOX（ドライバー燃料）②金属顆粒（U 等）添加高濃度 Am-MOX（ターゲット燃料）である。 ・前者は現行の MOX 燃料製造技術（グローブボックス施設でのペレット燃料製造プロセス）の適用が可能であり、実用化段階の R&D が進められている。 ・後者については金属顆粒 U 等添加 Am-MOX ペレット燃料製造技術（ホットセル施設での遠隔技術、ホットプレスプロセス）開発を開始した段階であり、課題は <ol style="list-style-type: none"> ①基本製造プロセスの成立性 ②高濃度 Am-MOX 物性測定 ③(U 等)添加高濃度 Am-MOX 物性測定である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ターゲット燃料の基本的な成立性評価として基本プロセス試験、燃料物性測定等は既存の小型ホットセル施設に試験機器を導入することで対応可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ Np-MOX 燃料製造技術は MOX 燃料と同等であり実用化試験の段階である。 <p>ターゲット燃料開発課題として</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高濃度 Am 添加の工学的成立性に固有の課題（密度、相分離、Am 蒸発） ・ 高濃度 Am による燃料劣化防止に固有の課題（熱伝導度劣化対策、高酸素ポテンシャル） ・ 発熱、微粉末対策（小バッチサイズ、密閉化） ・ 高濃度 Am 含有燃料の照射挙動に関する固有の課題（形状安定性、結晶安定性、マイクロ構造進展、熱伝導率低下、FCCI、スエリング、O/M 比変化等）が上げられる。

核変換システム

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
<ul style="list-style-type: none"> ・ FaCT で進めている低濃度 MA 添加炉心と同等の開発課題となる。 ・ 但し、(U 等) 添加 Am-MOX 燃料の照射健全性の確認を行う必要があり、課題は <ol style="list-style-type: none"> ①燃料設計評価手法の開発 ②設計用物性データの取得 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 照射用燃料製造を現行施設の改造により実施できる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ FaCT における課題と基本的に共通である。

③照射試験/照射後試験 ④性能評価 である。		
------------------------------	--	--

燃料再処理

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
<ul style="list-style-type: none"> ・ LWR 燃料再処理は現行の湿式再処理技術（高除染 Pu/Np、U 分離回収）を用いる。MA 分離に関しては、FaCT における基本プロセスを利用することを想定している。 ・ また、高速炉で照射したターゲット燃料の再処理は FaCT の FBR 再処理プロセスを想定する。MA 等の分離に関する基本的な成立性は期待できるが、高濃度 Am(Cm) 燃料の再処理課題は <ul style="list-style-type: none"> ①Cm の発熱による溶液温度への影響 ②溶媒劣化への影響 である。		ターゲット燃料再処理は FaCT における課題と基本的に共通である。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 発熱/放射線増加への対策 ・ Am, Cm 分離の高度化 ・ 大規模セル（遠隔）での再処理 ・ 耐放射線溶媒の開発・選定

分離変換技術の開発課題 （日本原子力研究開発機構）
階層型核変換システム

燃料製造

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
①工学実証試験に向けた燃料製造工程の最適化 ②製造時の TRU ロス（特に Am）の定量化 ③窒素 15 閉鎖系での燃料製造技術確立 ④雰囲気不純物（H ₂ O, O ₂ ）の製品への影響評価 ⑤発熱・遮へい対策の予備検討 ⑥燃料物性データベースの整備（Cm を含む） ⑦MA 窒化物燃料の照射挙動評価	<ul style="list-style-type: none"> ・グラム規模以上の MA 取扱可能で、且つ柔軟性、即応性のある試験フィールド（NUCEF で対応可能） ・MA 窒化物燃料の照射挙動評価については、当面は国際協力による国外施設を活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・工学規模装置の開発（遠隔操作、発熱対策、不活性雰囲気） ・工学規模へ展開できる窒素 15 濃縮技術の開発 ・計量管理技術の開発

核変換システム

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
①未臨界炉技術（炉物理特性、未臨界面監視、運転制御、MA 装荷炉心模擬等）	<ul style="list-style-type: none"> ・数百 MeV 以上の陽子ビームと核破砕中性子源が使用可能な臨界又は未臨界実験装置（DT 中性子源との結合は既存施設で可能） ・MA を大量に装荷できる炉物理実験施設 	<ul style="list-style-type: none"> ・実験炉級 ADS（熱出力 80MW 程度）による工学的実証 ◆第 1 段階：運転制御制の実証、炉工学の実証 ◆第 2 段階：MA 窒化物燃料による核変換実証 <p>（なお、実験炉 ADS は欧州が積極的に検討を進めており、国際協力を中心に考える。）</p>
②鉛ビスマス冷却材技術（防食、伝熱流動、流量・流速測定と制御、不純物制御、Po 管理等）	<ul style="list-style-type: none"> ・鉛ビスマスループ試験装置（集合体規模） ・Po 挙動試験装置（非定常時試験） ・タンク型システムのモックアップ試験（欧州の多様な鉛ビスマス関連施設との連携が可能） 	
③核破砕ターゲット技術（ビーム窓材料の照射損傷、伝熱流動、核破砕生成物管理等）	<ul style="list-style-type: none"> ・陽子ビームによる材料照射施設と照射後試験施設（但し、一部は MEGAPIE 国際共同実験で実証済み） 	
④超伝導陽子加速器技術（大電流化、高信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ・低エネルギー部（イオン源、RFQ、DTL）の大 	

確立、CW 化、短尺化)	電流信頼性試験施設（国際協力が可能） ・既存陽子加速器への超伝導空洞増設	
--------------	---	--

燃料再処理

次段階（工学実証試験）に移行するために必要な事項		技術の実現に必要な開発課題
解決すべき研究開発課題	必要な研究開発項目と施設	
①工学実証試験に向けた燃料再処理工程の最適化 ②電解・回収・再窒化工程での TRU、希釈材の物質収支 ③雰囲気不純物（H ₂ O, O ₂ ）の物質収支への影響評価 ④材料開発（坩堝、セル他） ⑤プロセスシミュレーションコード開発 ⑥小規模ホット試験の実施 （なお、工学的課題については多くの技術基盤を共有する金属燃料サイクルに関する研究開発成果の利用が可能）	・小規模ホット試験が可能なホットラボ（当面は国際協力による国外施設を活用。なお、FBR 用金属燃料再処理研究施設とも共用可能） ・グラム規模以上の MA 取扱可能で、且つ柔軟性、即応性のある試験フィールド（NUCEF で対応可能）	・工学規模装置の開発（遠隔操作、発熱対策、不活性雰囲気） ・塩廃棄物・金属廃棄物処理技術の開発 ・塩・Cd リサイクル技術の開発（再処理時の窒素 15、希釈材のリサイクルはオプション） ・計量管理技術の開発