

# ADS階層型概念関連技術の 研究開発段階（改訂版）



平成25年10月30日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

# 群分離・核変換システムの研究開発段階



- 日本原子力学会「分離変換・MAリサイクル」研究専門委員会(H19～H23)において、NASAやJAXAで活用されている技術成熟度(TRL)評価手法を用いて、我が国のMA分離変換に係る各技術分野の現状達成度や開発段階を整理。
- 上記研究専門委員会の資料を基に、MA分離及びADS階層型核変換システムに関する各技術毎の開発段階について、研究開発の進展や今後の重点課題等を考慮して内容を見直し、代表的な研究開発項目を記載。

「分離変換・MAリサイクル」研究専門委員会, 『分離変換技術はどこまで成熟したか? 技術成熟度評価に基づく現状整理と提案』, 日本原子力学会誌, Vol.52, No.12 (2010).

## 研究開発段階の基本的な考え方

開発段階	
概念開発段階	システム概念の構築
	技術概念の具体化
	技術開発の活性化
原理実証段階	要素技術の開発
	要素技術の完成
	技術基盤の確立
性能実証段階	プロトタイプの試験運転
	実機プラント試験
	実機プラント運転

## 研究開発段階(p.3～p.8)の表中の記載事項

 : 実施済みの段階     : 実施中の段階

✓ : 既に終了した項目

○ : 現在実施中又は一部実施中の項目

▪ : 未実施の項目

[    ] : 実験施設等(青字:既存施設、赤字:将来計画)

(赤字記載は、今後の研究開発において特に重点的な検討が必要な項目)

# MA分離回収の研究開発段階(修正:下線部)



	高レベル廃液からのMAと希土類元素の一括回収	MAの希土類元素からの分離
概念開発段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓新抽出剤(TDdDGA)開発、基礎データ評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓TDdDGA+DTPA抽出系の基礎データ評価</li> <li>○候補抽出剤の選定</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓抽出フローシートの定量評価</li> <li>✓主工程模擬廃液試験(コールド連続試験、トレーサ試験)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓コールドフローシート試験により分離条件の確定</li> <li>○溶媒放射線分解評価、劣化物影響評価                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・MA含有模擬液によるフローシート試験(トレーサ試験)</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○プロセス最適化検討                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模ホット連続試験</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模ホット連続試験、プロセス条件最適化</li> <li>・溶媒リサイクル技術の検討、二次廃棄物の処理</li> </ul>
原理実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>○機器設計のシミュレーション技術                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>模擬物質工学規模試験(コールド)</b></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・抽出剤特性に応じた工学機器設計</li> <li>・<b>模擬物質工学規模試験(コールド)</b></li> </ul>
	<p><b>プロセス総合実証試験(既存施設を利用した、数g~数100g(MA)/dayの数日~1ヶ月程度の連続試験)</b></p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工学規模でのプロセス実証</li> <li>・機器設計、システム設計</li> </ul>	
性能実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フルスケール機器でのユニット試験</li> <li>・実プラント設計</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全体システム性能の確認</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機性能の確認、製品/廃棄物の仕様の確認</li> <li>・商用運転</li> </ul>	

# 核変換専用MA燃料製造・性能実証の研究開発段階(修正:下線部)



	燃料製造	燃料性能評価
概念開発段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MA窒化物燃料製造原理の提示</li> <li>✓ 高濃度MA燃料の製造条件範囲の選定</li> <li>✓ 小規模試験による製造性の確認</li> <li>✓ 高濃度MA燃料製造プロセス概念検討(制限因子評価)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 窒化物燃料基礎データの概略評価</li> <li>✓ MA物性データの取得/拡充</li> <li>✓ 高濃度MA添加の概略影響評価</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 燃料製造工学装置・プラントの概念検討(開発要求明確化)</li> <li>・ 高濃度MA燃料照射サンプルの製造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 基礎物性データベース構築と諸量評価(フィードストック試料含む)</li> <li>・ 高濃度MA含有燃料挙動解析コードの整備</li> <li>・ 高濃度MA含有燃料サンプル照射</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 高濃度MA窒化物のラボスケール製造試験(フィードストック試料・乾式再処理回収試料含む)</li> <li>・ プロトタイプ照射サンプルの製造</li> <li>・ 模擬物質での工学規模製造試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロトタイプ燃料の照射試験</li> <li>・ 燃料設計コードの基盤整備</li> </ul>
原理実証段階	数g～数10g (MA)サンプルの照射燃料の製造	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 模擬物質での工学規模ユニット試験</li> <li>・ 機器設計、システム設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ サンプル照射試験</li> <li>・ 炉内安全性評価(シミュレーションコードの確立)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ フルスケールでの燃料集合体製造試験</li> <li>・ 実プラント設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロトタイプ燃料ピン照射</li> <li>・ プロトタイプ燃料挙動評価</li> </ul>
性能実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実原料を用いた集合体レベルでの燃料製造</li> <li>・ 全体システム性能の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 集合体照射</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロトタイプ燃料製造の定常運転</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロトタイプ燃料の定常照射</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 商用運転</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 商用炉の定常運転</li> </ul>

# 核変換専用MA燃料乾式再処理技術の研究開発段階(修正:下線部)



	前処理(ピンせん断等)	電解精製・MA回収・燃料再加工	廃棄物処理(ゼオライト処理)
概念開発段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓せん断性能、燃料溶解速度の概略評価</li> <li>✓フローシート構築とマスバランス評価</li> <li>✓模擬燃料ピン乾式せん断試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓基礎データ評価</li> <li>✓電極形状の基礎評価</li> <li>✓主工程フローシート構築とマスバランス評価</li> <li>✓模擬試験による性能検証</li> <li>✓工学試験の目標設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓FP吸着候補材検討</li> <li>✓基本プロセスパラメータ範囲提示</li> <li>✓廃棄物処理フローシート構築とマスバランス評価</li> <li>✓ゼオライト吸着性能の実験的検証</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓主工程との両立性評価</li> <li>✓プラントコスト概略評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○プロセス条件最適化(主要工程要素試験、フィードストック小規模連続試験)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓模擬固化体製造試験</li> <li>○ゼオライトカラムの性能検証</li> </ul>
原理実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工学規模ピンせん断試験</li> <li>・機器設計技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○模擬物質工学規模試験</li> <li>○機器設計技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○模擬物質工学規模試験</li> <li>・機器設計シミュレーション</li> </ul>
	<p>実廃液や実使用済み燃料を用いた、数g~数100g(MA)/dayの数日~1ヶ月程度の連続試験</p>		
性能実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工学規模でのプロセス実証</li> <li>・機器設計、システム設計、モジュール最適化</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実規模モジュール機器でのユニット試験、プロセスモニタリング、プロセス制御</li> <li>・実プラント設計</li> </ul>		
性能実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全体システム性能の確認</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機性能の確認、製品/廃棄物の仕様の確認</li> <li>・商用運転</li> </ul>		

# ADS(核工学)の研究開発段階



	ADS炉物理	MA装荷炉心
概念開発段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADS用解析コードの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 評価済データの比較検討</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 核破碎中性子基礎実験</li> <li>✓ 未臨界体系での基礎炉物理試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MA等の核種の核データ測定</li> <li>✓ 評価データの整備</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADS模擬実験(臨界、未臨界:固定中性子源)</li> <li>○ 未臨界度測定手法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 臨界実験による核データ検証(反応率、反応度測定)</li> </ul>
原理実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ADS模擬実験(未臨界:DT源 [VENUS-F, FCA, KUCA])</li> <li>・ 未臨界度測定手法の実証 [TEF-P]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ MAサンプル照射試験</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ADS模擬実験(核破碎中性子源) [TEF-P]</li> <li>・ 実験炉用未臨界度測定手法の確立 [TEF-P]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 臨界実験装置による部分装荷MA実験 [BFS:Np部分装荷] [TEF-P]</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験炉級ADS炉心設計</li> <li>・ 実験炉級ADS未臨界度測定システム確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ MA燃料集合体燃焼試験と照射後試験解析</li> </ul>
性能実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験炉級ADSの性能試験(MOX) [MYRRHA]</li> <li>・ 実機ADSの炉心設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験炉級ADSへのMA燃料集合体装荷 [MYRRHA]</li> <li>・ 実験炉級ADS実機用MA燃料集合体照射</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実機ADSの建設、性能試験</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実機ADS運転</li> </ul>	

# ADS(炉工学)の研究開発段階



	熱流動	構造	運転制御	遮蔽
概念開発段階	✓ADS概念の検討			
	✓小規模LBE流動試験	✓炉心概念の提示	✓ADS運転制御方法検討	✓ADS遮蔽概念の検討
	○中規模LBE流動試験 ・集合体水流動試験	✓プラント構造検討 ○構成要素技術概念の絞込	✓ADS運転制御概念提示 ✓安全性概念の検討	✓遮蔽コードの開発 ✓遮蔽概念検討
原理実証段階	・集合体LBE流動試験	・ADS用機器要素技術開発	○ADS模擬実験安全解析 ・ADS模擬実験用加速器の 運転・制御手法検討	○ADS用実験施設遮蔽設計 ・遮蔽実験、コードの検証
	・大規模LBE流動試験	・実験炉級ADS用機器開発	・ADS模擬実験用加速器の 運転・制御 [TEF-P] ・実験炉級ADS安全審査デー タの充実	・実験炉級ADSの遮蔽検討
	・実験炉級ADS用モックアップ試験		・実験炉級ADS運転制御手 法の確立	・実験炉級ADSの遮蔽設計
性能実証段階	・実験炉級ADSプラントの建設、運転 [MYRRHA]			
	・実機ADSの建設、性能試験			
	・実機ADS運転			

# ADS(ターゲット及び加速器)の研究開発段階



	核破砕ターゲット		加速器
	熱流動	材料	
概念開発段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ターゲット概念の検討（窓有り、窓無し）</li> <li>✓基礎データの調査</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ADS用加速器概念検討</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ターゲット・ビーム窓の概念提示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓基礎データの取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ADS用加速器の開発目標の明確化</li> <li>✓要素技術の開発着手</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ターゲット小規模LBE流動試験</li> <li>○各種測定技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ビーム窓候補材の腐食試験</li> <li>○ビーム窓候補材の陽子照射試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓要素技術の実験室規模試験</li> </ul>
原理実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ビーム窓モックアップ試験 [MEGAPIE]</li> <li>○<b>実用化に向けた各種測定技術開発</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ビーム窓候補材のLBE流動条件での陽子照射 [MEGAPIE]</li> <li>○ビーム窓候補材の照射後試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○要素技術の実用規模展開 [J-PARC 加速器開発, MYRRHA加速器開発]</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>LBEを用いたビーム窓、ターゲット領域モックアップ試験 [TEF-T]</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>実機条件でのビーム窓材料の陽子照射 [TEF-T]</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○実証試験 [J-PARC加速器運転]</li> <li>・ADS実験施設へのビーム供給</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験炉級ADS用ターゲット試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験炉級ADSの設計データの取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信頼性向上方策等検討</li> <li>・実験炉級ADS用加速器設計</li> </ul>
性能実証段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験炉級ADSのターゲット運転 [MYRRHA]</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験炉級ADS用加速器運転 [MYRRHA]</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機ADSの建設、性能試験</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機ADS運転</li> </ul>		