



# 分離変換技術に関する研究

原子力科学研究部門  
原子力基礎工学研究センター  
分離変換技術開発ディビジョン

## Ⅱ 6. (2) 『放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発』

- ・高速炉や加速器を用いた核変換など、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度の低減に大きなインパクトをもたらす可能性のある技術の研究開発を、国際的なネットワークを活用しつつ推進する。これらの取組により、放射性廃棄物の処理処分に係る安全性、信頼性、効率性等を高め、その幅広い選択肢の確保を図る。
- ・研究開発の実施に当たっては、外部委員会による評価を受け、進捗や方向性の妥当性を確認しつつ研究開発を行う。また、長期間にわたる広範囲な科学技術分野の横断的な連携が必要であること、加速器を用いた核変換技術については概念検討段階から原理実証段階に移行する過程にあることから、機構内の基礎基盤研究と工学技術開発の連携を強化し、国内外の幅広い分野の産学官の研究者と連携を行う。さらに、本研究開発を通して、原子力人材の育成を図り、我が国の科学技術の発展に貢献する。

### 1) 『MAの分離変換のための共通基盤技術の研究開発』

- ・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。
- ・幅広い組成のMA燃料の基礎データを取得するとともに、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。

### 3) 『加速器駆動システム(ADS)を用いた核変換技術の研究開発』

- ・J-PARC核変換実験施設の建設に向けて必要な要素技術開発、施設の検討や安全評価等に取り組む。**ADSターゲット試験施設**に関しては、早期に施設整備に必要な経費の精査や技術課題解決の見通し等について外部委員会による評価を受けた上で、**目標期間半ばを目途に同施設の建設着手を目指す**。核変換物理実験施設に関しては、施設の設計・設置許可に向けた技術的課題解決の見通し等について外部委員会による評価を受けた上で、**目標期間内に設置許可を受けて建設着手を目指す**。
- ・**ADS概念設計、ターゲット窓材評価、MA燃料乾式処理技術開発等**を行うとともに、国際協力によりADS開発を加速させる。

## Ⅱ 6. (2) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減の研究開発

テーマ	項目	達成目標	H27	H28	H29	H30	H31	R2	R3
MA分離	④項目7	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燃料開発	④項目7	基礎特性データ取得・ふるまい解析コードへの反映							
		燃料製造工学的要素技術開発							
ADS燃料乾式処理技術開発	④項目7	MA燃料乾式処理技術開発を行う。							
ADS開発	④項目7	J-PARC核変換実験施設の建設に向けた研究開発							
ADS開発	④項目7	ADS概念設計を行う。							

## ● MA分離

### 達成目標:

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。

### 成果:

- **二次廃棄物の発生量を低減化したMA分離プロセスを開発し、実廃液試験によって約0.3gのMAを回収して技術的成立性を示した。**
  - ✓ MA・RE一括回収、MA/RE相互分離及びAm/Cm分離の抽出剤として、それぞれTDdDGA、HONTA、ADAAMが有効であることを明らかにした。
  - ✓ 実液を用いた約40時間の連続抽出試験を複数回行い、約0.3グラムのMAを回収し、MA分離回収プロセスの技術的成立性の評価に有用な分離回収データを取得した。
  - ✓ 開発した計算コードによる解析で、目標値(MA回収率99%以上、MAへのREの混入率5%未満)を達成する抽出分離フローを導出した。
- 基礎基盤的研究を推進し、抽出剤の放射線分解について新たな分解過程を見出すなど、**基礎的な知見を蓄積した。**
  - ✓  $\gamma$ 線照射試験等により抽出溶媒の劣化に関するデータを取得し、抽出溶媒の放射線分解モデルを構築した。
  - ✓ 分離効率を向上させる新しい抽出剤の開発、混合溶媒によるAm分離プロセスの簡素化につながる成果を得た。

## ● MA燃料開発

### ■ MA含有窒化物燃料の基礎物性、製造技術開発

#### 達成目標:

幅広い組成のMA燃料の基礎データを取得するとともに、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。

#### 成果:

- 基礎特性データを取得し物性データベースを拡充するとともに、取得したデータを組み込み燃料ふるまい解析コードの機能を拡充した。
  - ✓ 模擬燃料試料による機械特性データ、被覆管との両立性データ、レーザーによる液相生成温度データを取得。Cm含有試料によるHe蓄積・高温放出の影響データ取得
  - ✓ 窒化物燃料物性DBのweb版公開。
  - ✓ 取得したデータをFEMAXI用窒化物燃料解析モジュールに反映。
- 燃料製造の工学的要素技術開発を実施し、主概念のZrN母材燃料製造については技術的に成立すると評価した。
  - ✓ 実燃料製造の枢要技術である外部ゲル化法による粒子作製と窒化、ZrN母材燃料の焼結密度制御、 $^{15}\text{N}_2$ ガスの経済的利用技術を試験で原理実証した。
  - ✓  $^{15}\text{N}$ 同位体濃縮の大規模プラントについて、技術的・経済的に十分に実現可能な見通しをつけた。

## ● MA燃料開発

### ■ MA含有窒化物燃料の乾式再処理技術開発

#### 達成目標:

MA燃料乾式処理技術開発等を行う。

#### 成果:

- MA燃料乾式処理における**主要工程のデータ取得**および**工学規模機器の検討**を実施した。
  - ✓ MA燃料乾式処理技術開発として、電解工程、再窒化工程、化学溶解工程のデータを取得し、プロセス成立の見通しなどを得た。
  - ✓ これらの成果をもとに工学規模機器の概略寸法を決定した。

## ● 加速器駆動システム(ADS)

### ■ J-PARC核変換実験施設

#### 達成目標:

J-PARC 核変換実験施設の建設に向けて必要な要素技術開発、施設の検討や安全評価等に取り組む。

- ✓ ADS ターゲット試験施設(TEF-T)に関しては、早期に施設整備に必要な経費の精査や技術課題解決の見通し等について外部委員会による評価を受けた上で、目標期間半ばを目途に同施設の建設着手を目指す。
- ✓ 核変換物理実験施設(TEF-P)に関しては、施設の設計・設置許可に向けた技術的課題解決の見通し等について外部委員会による評価を受けた上で、目標期間内に設置許可を受けて建設着手を目指す。

#### 成果:

- **TEF-TおよびTEF-Pの要素技術開発を実施し、施設建設を見通せる成果を得た。**
  - ✓ TEF-Tでは、施設設計を行い、技術設計書を刊行し、外部評価を受け、建設準備を整えた。
  - ✓ TEF-Pでは、施設設計および安全設計を行い、安全設計書を刊行し、外部評価を受け、許認可申請準備を整えた。



## ● 加速器駆動システム(ADS)

### ■ ADS関連技術開発

#### 達成目標:

ADS 概念設計、ターゲット窓材評価を行うとともに、国際協力により ADS 開発を加速させる。

#### 成果:

- ADSに関連する炉物理、解析コードシステム開発、加速器等に関する研究開発を実施し、**解決・確証に向けた成果を得た。**
  - ✓ 未臨界度監視概念の確立および核データ検証を実施した。
  - ✓ 統合解析システムによるターゲット概念設計の最適化とプラント概念設計のうち崩壊熱除去系の設計およびシステム熱流動コードの検証を行った。
  - ✓ 加速器のリファレンス設計と要素機器開発を実施した。
- ADSのターゲット窓材料の腐食特性や照射特性に関する基礎基盤的研究を推進し、**流動無し・照射無しの条件下で、T91鋼の成立見込みを得た。**
  - ✓ 静的腐食試験の結果から腐食予測式を構築し、静的条件では腐食量が小さいという評価結果を得た。流動下腐食試験のために、大型鉛ビスマスループの酸素濃度制御運転技術確立し、試験を開始した。
  - ✓ ADS模擬照射による試験により、照射により低酸素濃度でも酸化被膜保護性が期待できることを明らかにするとともに、スウェリングの影響が大きい可能性を示した。
- 国際協力の推進
  - ✓ ベルギー、米国、国際機関との協力を通じて、酸素濃度測定技術や核データ検証などの成果を得、研究開発を加速した。



## 研究内容 焼却可能な抽出剤を適用したMA分離プロセスの構築及び実証

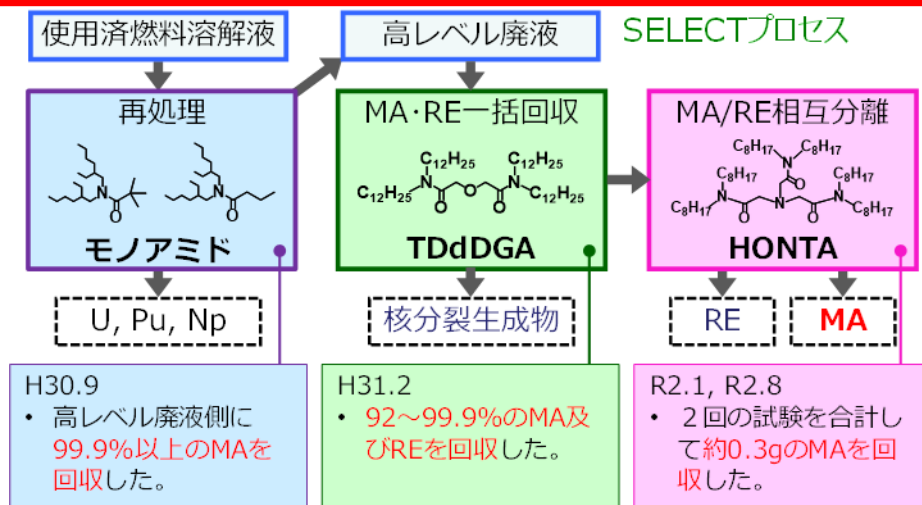
NUCEFのホットセル等を使用して、一段のバッチ抽出試験及びミキサセトラ抽出器を用いた連続多段抽出試験を行い、マイナーアクチノイド(MA)及び希土類(RE)等の分離回収データを取得した。

モノアミド、TDdDGA及びHONTAを適用した分離ステップの組み合わせにより、**焼却可能な抽出剤のみを使用**したMA分離に見通し示した。

→ 効率的なMA分離と二次廃棄物の発生量低減が見込まれる、**SELECTプロセスを構築**した。

実液を用いた**約40時間の連続抽出試験**を複数回行い、**約0.3グラムのMAを回収**した。

→ グラムスケールのMAの回収を達成したプロセスは少なく、**SELECTプロセスの高い実用性を実証**した。



Solvent Extraction from Liquid-waste using Extractants of CHON-type for Transmutation



連続多段抽出試験で使用するミキサセトラ抽出器 (NUCEFのホットセルに設置)

### SELECTプロセスの概略フロー

- ✓ **プレス発表 (平成31年)** : 放射性のゴミを分別する「SELECTプロセス」の開発に成功  
～高レベル放射性廃液の有害度低減・減容化を目指す分離変換技術の開発に進展～
- ✓ 産業界への貢献 : 開発された新規抽出剤は、金属リサイクル分野の企業において利用検討中。
- 実廃液試験及び統合化プロセスの構築により**MA分離回収に関する技術的成立性**を示した

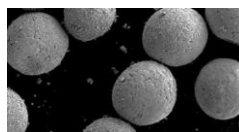
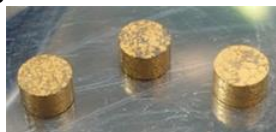


# 主要な成果 MA燃料開発：燃料製造要素技術開発

④項目7:減容化・有害度低減

## 外部ゲル化による粒子作製

- ナノ炭素を添加したゲル粒子の**作製条件を確立**(良好な球形状、直径再現性)
- これを窒化し、粉末プロセスより容易に**高純度(低酸素)窒化物生成**を実証
- DyN粒子を分散せたTiN母材ペレットを試作



窒化後のDyN粒子

## <sup>15</sup>N同位体濃縮プラント

- 大陽日酸の協力
- 濃縮シミュレーションにより、N<sub>2</sub>深冷蒸留**プラントの基本仕様を定め、コストを算出**
- N<sub>2</sub>を循環精製利用する**実証試験機**を製作
- ワンスルー系と同等の純度の窒化物が得られることを実証し、**実プロセスに十分適用可能なこと**を確認

蒸留塔13本  
高さ70m

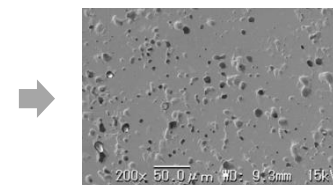
濃縮プラントの  
3D-CAD画像

## 照射試験に向けた取り組み

- セル内遠隔操作による短尺ピン**端栓溶接装置の基本設計完了**

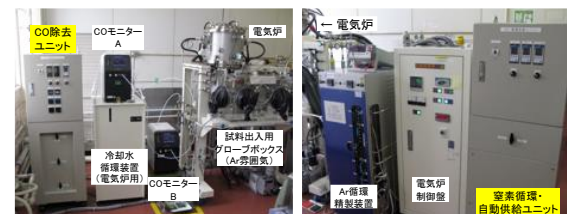
## 焼結密度制御 (Dy,Zr)N, (Np,Zr)N, (Pu,Zr)N

- 遊星ボールミル微粉碎(緻密組織)かつ気孔形成材による気孔率制御
- 模擬燃料で粉碎条件を確立し**有望な気孔形成材を2種選定**
- TRUで実証**し、**実プロセスに適用可能な見込み**を得た


気孔形成材を添加した  
Pu<sub>0.3</sub>Zr<sub>0.7</sub>Nペレット断面

## 濃縮プラントのコスト評価結果

<sup>15</sup> N濃縮度 (at%)	99	
<sup>15</sup> N <sub>2</sub> 年産量 (kg)	200	1000
プラント設備費 (億円)	47.4	84.0
所要電力 (MW)	1.36	5.41
年間運転コスト (億円)	12.3	27.6
製品単価 (円/g)	6150	2760

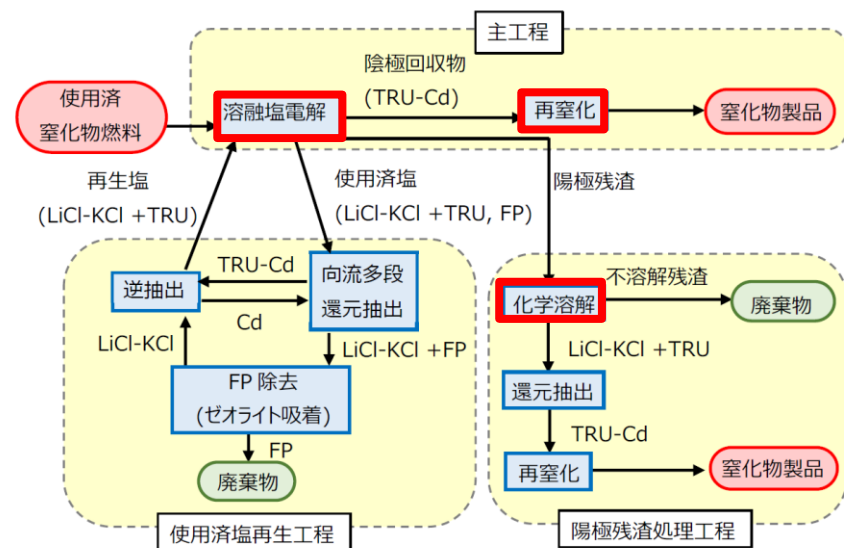


窒素循環精製システムの実証試験機

- 幅広い組成のMA燃料の基礎データの取得とデータベース化、ペレット製造等の試験等を進め、**MA燃料製造の技術的成立性を示した。**

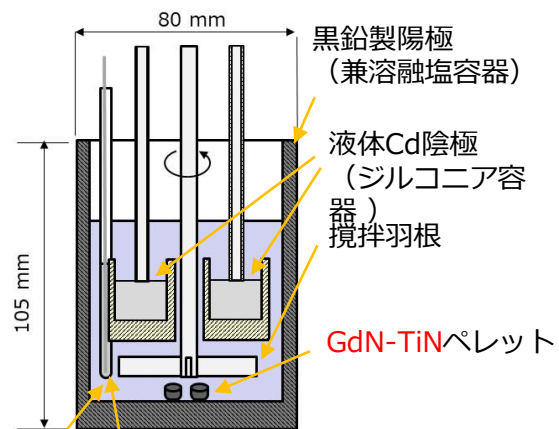
- <sup>15</sup>N同位体濃縮プラント及び循環精製利用の検討では当初計画以上の成果

### □ 工学化に向けた装置概念を検討し、データを取得。



乾式処理プロセスフロー

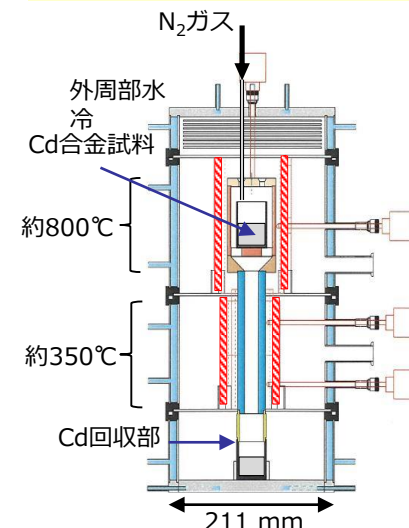
### 溶融塩電解



溶融塩:  
1.65 wt% GdCl<sub>3</sub>-LiCl-KCl(423g) (500℃)

約3時間の電解により  
Gdの約98.5%を溶解・回収

### 陰極回収物再窒化



・ Cdのほぼ全量を回収  
⇒装置の大型化が可能

### □ 工学規模の機器設計を実施

- 金属燃料用乾式処理装置の仕様を基に、窒化物用に開発した陽極構造とMAの発熱を考慮して、機器の概略寸法を決定した。

- 処理量 2kg/バッチ  
(必要再処理量10tHM/年=～50kgHM/日)
- 100Aで電解した場合、24時間電解によって10kg程度のSFの処理が可能

### MA等の発熱を考慮に入れた装置規模

	サイズ	物質重量	温度上昇 (Ar中)
電解槽	400 φ × 230mmH	塩47000g	—
陽極	100 φ × 110mmH	2000g	185℃
Cd陰極	30 φ × 41mmH [8個]	各250g	185℃
窒化装置	20 φ × 31mmH (40%TD粉末)	窒化物50g	640℃

- 主要工程のデータを取得し、工学機器の概略寸法を検討した



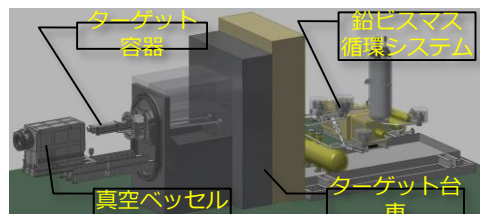
## 主要な成果 ADS開発: J-PARC核変換実験施設

#### ④項目7:減容化・有害度低減

## ADSターゲット施設 (TEF-T)

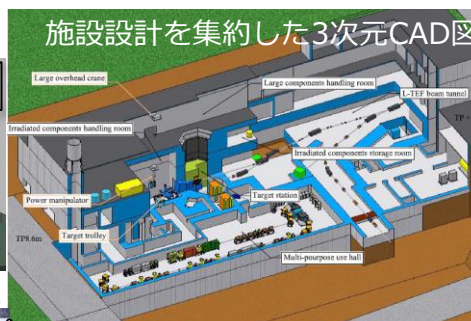
技術設計書 (JAEA-Technology 2017-003, 539p)

- ✓ 施設の意義・目標
  - ✓ 核破砕ターゲット特性解析
  - ✓ 施設の主要構成機器（LBEターゲットシステム、PIE設備、廃棄物処理設備、多目的利用設備）
  - ✓ 陽子ビーム輸送系機器（ビーム光学、電磁石、ビーム窓）
  - ✓ 建家概念設計（設計方針、建家、機械電気設備、制御系、放射線管理設備）
  - ✓ 安全性（基本方針、FMEA、LBE漏洩事象評価、遮蔽）
  - ✓ 今後の課題
- 施設設計を集約した3次元CAD図



鉛ビスマスターゲットシステム

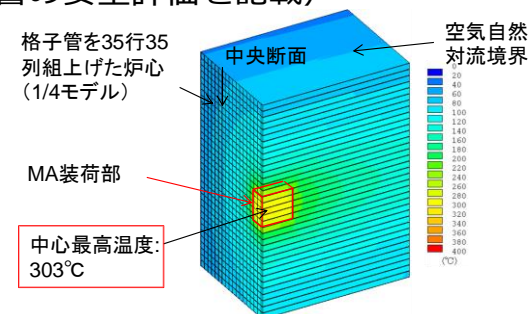
施設設計を集約した3次元CAD図



## 核変換物理実験施設 (TEF-P)

安全設計書 (JAEA-Technology 2017-033,383p)

- ✓ 「原子炉施設の安全設計に関する説明書」（添付書類 8 相当。原子炉、貯蔵庫、計測制御、実験設備、補助設備等に対する安全設計方針および設備仕様を記載）
- ✓ 「原子炉施設において事故が発生した場合における当該事故に対処するために必要な施設及び体制の整備に関する説明書」（添付書類10相当。考慮すべき運転時の異常な過渡変化および設計基準事故の抽出と、各々に対する外部への影響の安全評価を記載）

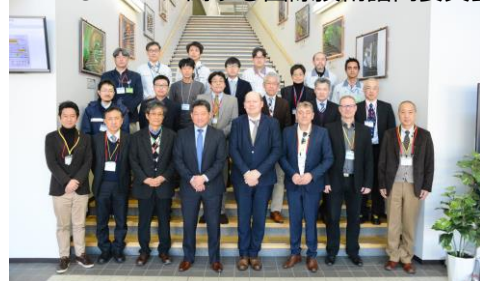


MA燃料空冷停止・炉心分離  
失敗後の平衡温度分布

地震によって原子炉の冷却機能、停止機能、閉じ込め機能が喪失したとしても、周辺公衆に過度の放射線被ばくを及ぼす恐れはないため、Ｂクラス

## 耐震設計上の重要度分類

- T-TACは、良くまとめられたTEF-T技術設計書を評価するとともに、TEF-Tの概念設計は完結し、基本設計が十分に進捗していると認める。(2019年2月)
- T-TACは、良くまとめられたTEF-P安全設計書が刊行されたことに注目する。(2018年2月)



- TEF-T及びTEF-Pの施設設計及び必要な技術的課題解決の見通し等について外部委員会による評価を得た。これらの建設着手の準備を完了した。



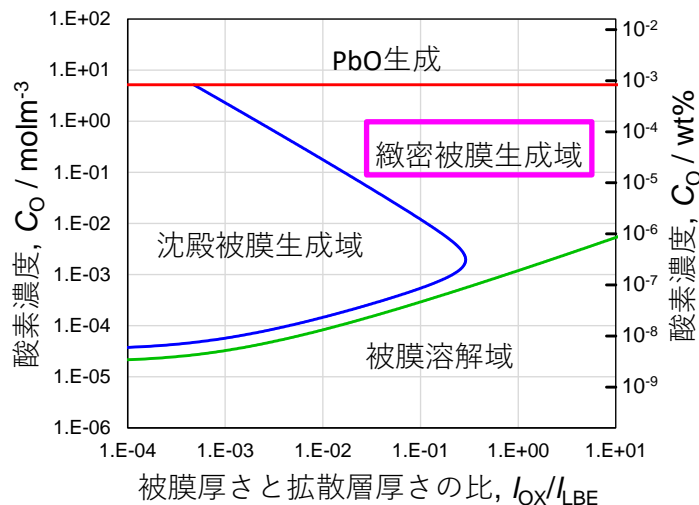
- ADSを構成する加速器、未臨界炉心、ターゲット・プラントの概念設計を実施した。



## 主要な成果 ADS開発:ターゲット窓材評価

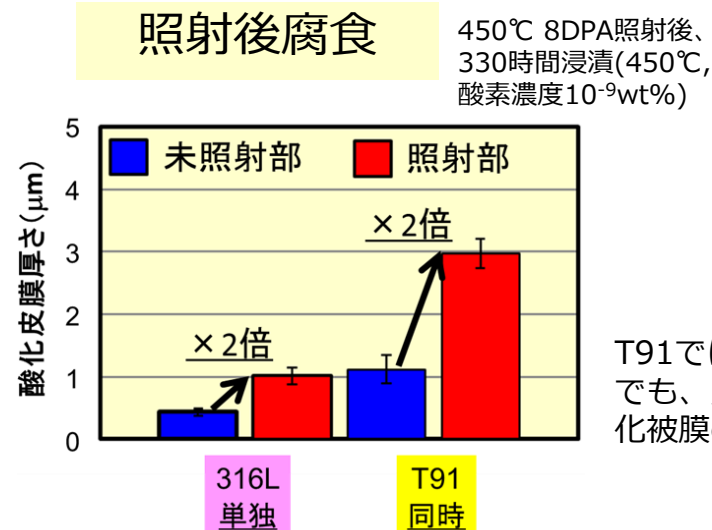
#### ④項目7:減容化・有害度低減

- ❑ LBE中における材料の腐食モデルを作成し、腐食抑制策について検討する。
- ❑ ADS材料の照射影響の把握と予測のため、ADS環境（はじき出し+水素+ヘリウム）を模擬した加速器照射による照射試験を実施する。



500°CにおけるT91の腐食形態予想図

- 腐食モデルを作成し、LBE拡散層中で酸化物が析出しない条件（図中青線）から、最適な酸素濃度 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ wt%と予想（従来は $10^{-7} \sim 10^{-5}$ wt%）
- 文献調査を合わせ、T91に対して腐食予測式を得て、実機ADS（500℃, 300日）での腐食量は33μm/300日と予測され、腐食代で対応可能と評価



T91では低酸素濃度でも、照射により酸化被膜の形成が促進

## 顕著な成果

照射により**低酸素濃度でも酸化被膜保護性**が期待できることを明らかにした。

実機ADS条件：  
450~500℃  
60 dpa/300日  
23 appmHe/dpa  
150 appmH/dpa

- ・酸素濃度制御下での静的腐食試験等の結果から新たに腐食モデルを作成するとともに腐食予測式を得て、流動無し・照射無しの条件下で、T91鋼は成立見込みであると評価。
- ・実機ADSでの照射影響を、硬化への影響は小さいが、スウェリングへの影響は大きいと評価した。また、照射が腐食挙動（酸化皮膜形成）を促進することを見出した。

## [令和3年度の年度計画]

1. MA 及びRE の溶媒抽出試験を行い、MA 分離回収プロセスの技術的成立性の評価に有用な基礎データを拡充する。取得したデータを抽出分離工程シミュレーションコードに適用し、改良フローシートを導出する。これにより**MA 分離回収プロセスの技術的成立性を評価**する。
2. 抽出溶媒の放射線分解機構を明らかにし、プロセス開発の工学的スケールへの展開に向けた**放射線効果の評価**手法を提案する。
3. 新たに開発した抽出剤等を用いて、**効率的にAm を分離する抽出系を提案**する。

## [令和3年度の成果見込み]

1. **基礎データを取得するとともに、実廃液試験によるデータと合わせて計算コードによる解析を実施し、MA分離プロセスの技術的成立性を示した。**
2. パルスラジオリシス法を用いた抽出剤の放射線の分解反応の観測を行い、**分解過程の解明**につながる基礎的な知見を得た。
3. 新たな抽出剤及び混合溶媒によるMA及びREの抽出分離試験を行い、**プロセスの簡素化につながる基盤データ**を得た。

**以上より、令和3年度の年度計画は達成の見通しである**

## [令和3年度の年度計画]

1. MA窒化物燃料の製造に関して、これまでに取得したデータにより実際のプロセスの**技術的成立性**を確認する。
2. 燃料ふるまい解析コードの機能拡充に資するため、模擬物質を用いて窒化物燃料の**融点の窒素分圧依存性データ**を取得・評価する。
3. 窒化物燃料製造に関する基盤研究として、フード設置型の外部ゲル法による**粒子作製装置を製作**する。（別項目：原子力を支える基礎基盤研究）
4. MA 燃料乾式処理について、模擬物質を用いた小規模試験によって不活性母材含有窒化物燃料からの分離回収に関するデータを取得し、プロセス設計の妥当性を検証する。

## [令和3年度の成果見込み]

1. 燃料製造の技術的成立性評価
  - ・ 実燃料プロセスの枢要技術（外部ゲル化、焼結密度制御、 $^{15}\text{N}_2$ 関連）の原理実証済みなことから、主概念のZrN母材燃料については技術的に成立する見込み。TiN母材燃料は粒子均質分散性と密度向上の基礎技術開発継続が必要
2. 融点の窒素分圧依存性データ
  - ・ レーザー局所加熱による(Er,Zr)N系試料の液相生成温度測定を実施中。窒素分圧 $10^{-4}$ ～5気圧の範囲でデータを取得見込み
3. 粒子作製装置の製作
  - ・ 希土類及びU用の外部ゲル化装置の構成機器、製作物の発注を完了。年度内にシステム構築が完了する見込み
4. 主要工程のデータの取得
  - ・ 模擬物質を用いて、不活性母材含有窒化物燃料からの分離回収に関するデータを取得し、プロセス設計の妥当性を検証した。

**進捗状況をふまえ、令和3年度の年度計画は達成の見通しである**

# 令和3年度の計画と実績(見通し):ADS関連技術開発

④項目7:減容化・有害度低減

## [令和3年度の年度計画]

1. 粒子輸送・熱流動・構造連成解析を用いて炉内構造物の概念を提示するとともに、
2. 未臨界度監視概念を具体化する。
3. 鉛ビスマス試験ループについて、実機を模擬した総合的条件下で長時間運転を行い、同ループの運転技術を確立する。
4. これまでに測定した核種生成断面積データを報告書に取りまとめる。
5. 腐食抑制技術及び酸化皮膜解析による最適酸素濃度の提案を行うとともに、核破碎中性子模擬照射試験による材料照射挙動データを取得し、ADS 実機ターゲット窓候補材の適用性評価を行う。

## [令和3年度の実績(見通し)]

1. 連成解析により、ターゲットおよびビーム窓のより成立性の高い概念を提示予定。
2. 未臨界炉心構築時の未臨界度監視概念の加速器モードなどを具体化した。
3. 実機を模擬した条件下で長時間安定運転を行うことにより運転技術を確立した。(12/8時点で約3,000時間)
4. 高エネルギー陽子の核種生成断面積測定のデータ処理を進め、報告書に取りまとめた。
5. 酸素濃度制御下での腐食データおよび、ADS実機環境を模擬した加速器照射試験データを取得し、候補材の適用性評価を行った。

これまでの成果をふまえ、令和3年度の年度計画は達成の見通しである

# 分離変換技術研究専門部会における評価(1/2)

④項目7:減容化・有害度低減

## ■ 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、令和3年11月22日に第8回専門部会を開催し、第3期中長期目標期間及び令和3年度の成果に対する評価、ご意見をいただいた。（竹下部会長以下、出席委員は11名中11名）

## ■ 専門部会での第3期中長期目標期間の成果に対する評価の概要について（報告）

委員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	合計
MA分離技術(合同)	A	S	S	A	A	A	S	S	A	S	S	S; 6, A;5
MA燃料技術(合同)	A	S	A	A	S	S	S	S	S	A	S	S; 7, A;4
高速炉を用いた核変換技術	B	A	A	A	A	B	A	A	B	B	A	A; 7, B;4
ADSを用いた核変換関連技術(TEF含む)	B	A	A	A	A	B	A	A	B	B	B	A; 6, B;5

赤点線枠内が本研究評価委員会に関連する分野

### 【評価区分（基準）】

S：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：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：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：より一層の工夫、改善等が期待される。  
D：抜本的な見直しを含め特段の工夫、改善等が求められる。

## ■ 専門部会での令和3年度成果に対する評価の概要について（報告）

委員	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	合計
MA分離技術(合同)	A	A	S	A	A	A	S	S	A	S	S	S; 5, A;6
MA燃料技術(合同)	A	A	A	A	S	A	S	S	S	A	S	S; 5, A;6
高速炉を用いた核変換技術	A	A	A	A	A	B	A	B	A	B	A	A; 8, B;3
ADSを用いた核変換関連技術(TEF含む)	B	A	A	A	A	B	A	A	B	B	B	A; 6, B;5

赤点線枠内が本研究評価委員会に関連する分野

### 【評価区分（基準）】

S：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：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：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：より一層の工夫、改善等が期待される。

D：抜本的な見直しを含め特段の工夫、改善等が求められる。



# 専門部会における評価項目ごとの評価結果(1/4)

評価項目	自己評価
(1)研究成果の達成度と当初計画の妥当性 ・ 研究開発の達成度（成功・不成功の原因の把握・分析） ・ 当初の計画の妥当性	A

## 研究開発の達成度：【専門部会評価：S2、A9】

- MA 分離技術，MA 燃料技術，MA 核変換技術のすべてのテーマで計画期間中の目標達成がなされる見通しであり，各分野での技術開発の進展（技術的成立性の向上）に大きく寄与している。各研究において世界をリードする優れた研究成果が多々創出されており，世界的な研究の進展への貢献も評価できる。
- 第3期中長期計画期間において大部分の課題を達成していることは評価できる。ただし、J-PARC 核変換施設着工にいたらなかったことは残念である。

## 当初の研究開発計画の妥当性：【専門部会評価：A8、B3】

- 全体を通じておおむね計画通り目標を達成できる見通しであり，多くの優れた研究成果や当初目標を超える成果が得られたことなどから，当初の研究計画は妥当であったと評価できる。
- 技術開発計画として妥当である。ただし、当初計画では建設も視野に入れていたTEF-Tに関して、計画策定時点での機構内における該当研究項目の位置づけが不明確に感じる。



# 専門部会における評価項目ごとの評価結果(2/4)

評価項目	自己評価
<p>(2)研究成果の社会への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発成果の効果・効用（アウトカム）の把握・普及の程度</li> <li>イノベーション創出への取組の妥当性</li> <li>社会実装の達成度、取組の妥当性（技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む）</li> <li>科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性</li> </ul>	S
<p><u>研究開発成果の効果・効用の把握・普及の程度</u>：【専門部会評価：S2、A7、B2】</p> <p>●個別の分野で非常に質の高い研究成果が得られており，学会や専門誌での情報発信も広範に行われているので各分野での学術的，技術的貢献度は大きいと評価できる。</p>	
<p><u>イノベーション創出への取組の妥当性</u>：【専門部会評価：S2、A8、B1】</p> <p>●本技術開発自体がイノベティブであるが，個別的には他分野への応用の可能性がある方法論（測定・計測技術も含む）や基礎技術（新しい溶媒や耐極限環境材料開発も含む），モデル／データベースが研究成果に含まれているので，結果的に取り組みは妥当と言える。</p>	
<p><u>社会実装の達成度、取組の妥当性</u>：【専門部会評価：S1、A6、B4】</p> <p>●社会実装そのものという点では、技術開発のみで成し遂げられる開発項目ではないため評価が困難であるが、そこに向けた取り組みとしては妥当であると評価される。</p>	
<p><u>科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性</u>：【専門部会評価：S6、A3、B2】</p> <p>●社会的意義が極めて高い研究開発であり，科学技術政策や社会的ニーズに適合性を有しており、特に顕著であると評価した。</p>	

## 専門部会における評価項目ごとの評価結果(3/4)

評価項目	自己評価
(3)研究成果の展開・発展 ・ 将来/次期中長期計画への研究開発の展開、新たな課題への反映の検討	A
<u>将来/次期中長期計画への研究開発の展開、新たな課題への反映の検討：</u> <b>【専門部会評価：S2、A7、B2】</b>	
● 今後の研究展開については、おおむね妥当なものと評価できる。一方で、今後はより経費の掛かる研究が増えてくるので、クリティカルパスを踏まえた研究の優先順位の評価が重要になってくる。	
(4)国内外他機関との連携	A
<u>国内外他機関との連携：</u> <b>【専門部会評価：S3、A7、B1】</b>	
● 多くの大学、研究機関と連携して研究を進めており、これまでの活動は十分評価できる。	

# 専門部会における評価項目ごとの評価結果(4/4)

評価項目	自己評価
<b>(5)研究成果の発信</b> ・ 研究開発課題／成果の社会的受容性（社会へ及ぼす影響度の想定）査読論文数/プレス発表	A
<b>研究開発課題／成果の社会的受容性：【専門部会評価：A6、B5】</b> 分離核変換技術は原子力利用を続けていくためには必要な技術であり、そうした技術の社会受容性を向上するために、専門学会だけでなく一般を対象の意見交換会などにより力を入れてほしい。 研究成果はもれなく外部に公開され、学術的な評価も受けており、その意味での社会的受容度は高い。一方、一般社会への情報発信は社会の関心度が高いだけにミスリードにならないような慎重さが必要である。その点、当機構の一般への情報提供は誇張がなく事実にも忠実で妥当であると言える。	
<b>(6)人材育成に関する取組</b> ・ 若手研究者の育成・支援への貢献の程度、特別研究生・夏期実習生	A
<b>若手研究者の育成・支援への貢献の程度【専門部会評価：S6、A3、B2】</b> 人材育成への取り組みを妥当と評価する。特に、修士課程、博士課程の大学院生を夏季休暇期間に研修生としての短期受入れ、特別研究生としての長期受入れが実施されており、原子力工学を目指す学生の育成に大いに役立っており高く評価できる。今後もこうした活動が継続されることを期待する。	
<b>総合評価</b>	A
<b>【専門部会評価：S2、A8、B+1】</b>	

# (参考)分離変換技術開発に関する自己評価 (1/8)

評価項目	自己評価
<p>(1)研究成果の達成度と当初計画の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究開発の達成度（成功・不成功の原因の把握・分析）と妥当性</li> <li>・ 学会賞等の受賞数</li> </ul>	A
<p><u>研究開発の達成度と妥当性：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MA分離： <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ フードでのバッチ試験及び小規模連続抽出試験で研究成果を積み上げ、ホットセルでの実液試験に着実に到達した。</li> <li>✓ さらに、これまでにない性能の分離プロセスの可能性を示すなど、計画外の成果を得ており、研究計画は妥当であり達成度は十分以上と考える。</li> </ul> </li> <li>● MA燃料開発： <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 窒化物燃料については、特性データ取得とふるまい解析コード改良を進めるとともに、燃料製造要素技術を開発・実証して技術的成立性を評価したことで目標通りの成果を得た。大型競争的資金獲得により、特に15N関連の課題を解決したのは目標を超える成果である。</li> </ul> </li> <li>● ADS開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADS開発：J-PARC核変換施設については、許認可および建設に必要な要素技術開発・施設検討・安全評価を完遂し、大きな成果を上げたと考える。期間内に建設を目指すという高い目標を掲げることで、期間半ばまでに必要な開発を終えることができ、建設及び許認可の着手に備えることができたことから、計画は妥当であったと考える。さらに計算科学を導入した研究開発を開始し、計画以上の進捗があったと考える。</li> <li>✓ ADS概念設計に対して多くの成果を得、また、国際協力を活発に行うことで開発を加速したと考える。ADS概念設計は、継続的に実施する必要がある研究開発であり、計画は妥当であったと考える。</li> </ul> </li> <li>● ADS燃料乾式処理技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADSによるMA核変換に用いられるMA窒化物燃料の処理技術に関する重要な成果を得た。MA燃料処理技術の開発は、継続的に実施する必要がある研究開発であり、計画は妥当であったと考える。</li> </ul> </li> </ul>	

評価項目	自己評価
<p>学会賞等の受賞数：計7件</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ H27年度 日本原子力学会再処理・リサイクル部会業績賞「再処理プロセス・化学ハンドブック第3版」の公刊</li><li>✓ H28年度 日本原子力学会再処理・リサイクル部会業績賞「国際学会Asian Nuclear Prospects 2016 (ANUP2016) の運営及び成功」</li><li>✓ H28年度 原子力学会再処理リサイクル部会業績賞「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化「LLFP分離・回収技術の開発」ImPACTプログラム」</li><li>✓ H28年度 電気化学会技術賞(棚橋賞)「高レベル放射性廃棄物からの長寿命核分裂生成物の分離回収技術」</li><li>✓ H28.11.07 日本原子力研究開発機構 模範賞(団体) 「再処理関連施設の保障措置研修の実施による国際貢献」</li><li>✓ H31.03.22 日本原子力学会再処理・リサイクル部会 第14回(平成30年度)日本原子力学会 再処理・リサイクル部会 業績賞 「国際学会International Pyroprocessing Research Conference 2018 (IPRC2018) の初の国内開催に成功 」</li><li>✓ 令和2年 日本原子力学会核データ部会賞(学術賞)「高励起原子核の核分裂確率の統一的な記述」</li></ul>	

# (参考)分離変換技術開発に関する自己評価 (3/8)

評価項目	自己評価
<p>(2)研究成果の社会への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発成果の効果・効用（アウトカム）の把握・普及の程度</li> <li>イノベーション創出への取組の妥当性</li> <li>社会実装の達成度、取組の妥当性（技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む）</li> <li>科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性</li> </ul>	S
<p><u>研究開発成果の効果・効用（アウトカム）の把握・普及の程度：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MA分離： <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 焼却処分が可能な抽出剤を用いて、実廃液からグラムスケールのMAを回収するプロセスの構築に見通しを示しており、放射性廃棄物の減容化・有害度低減への効果が期待される。</li> </ul> </li> <li>● MA燃料開発： <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ZrN母材の核変換用窒化物燃料については、枢要技術の実証とふるまい解析コード整備により、照射試験用燃料の仕様検討と作製が可能な段階にあり、今後作製に着手する。</li> <li>✓ 窒化物燃料物性データベースweb版と、ふるまい解析コードのコーディングを公開しており、外部利用可能な状態とした。</li> <li>✓ <sup>15</sup>N同位体濃縮について、メーカーが大規模プラントの設計可能な状態まで進めており、将来これが実現した際には窒化物燃料以外の需要に対しても供給価格が大幅に低下する。</li> </ul> </li> <li>● ADS開発： <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 分離変換技術の社会実装に向けたJ-PARC核変換施設の建設は、国内外の研究者、国内政府、自治体などで注目されており、施設の基本設計を完成させた意義は大きいと考える。</li> <li>✓ ADSを用いた分離変換技術は原子力の根深い課題である高レベル放射性廃棄物処分に対して貢献するものであるため、社会からの注目は常に大きい。期間中に得られた成果は下記の政府委員会で公知し、そこでの議論を今後の方針に反映している。</li> </ul> </li> <li>● ADS燃料乾式処理技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADSによって核変換処理された燃料の処理は、分離変換技術を成立させる重要な要素である。高レベル放射性廃棄物処分に対して貢献する技術として、社会からの注目は大きい。期間中に得られた成果は下記の政府委員会で公知し、そこでの議論を今後の方針に反映している。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 文部科学省原子力研究開発・基盤・人材作業部会／群分離・核変換技術評価タスクフォース（2021年5月～）</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	



# (参考)分離変換技術開発に関する自己評価 (4/8)

評価項目	自己評価
<p><u>イノベーション創出への取組の妥当性：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MA分離 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 新出剤の開発や混合溶媒の適用により、MA分離プロセスの簡素化につながる成果が得られており、イノベーションの創出が期待できることから、妥当性のある取り組みがなされたと考えられる。</li> </ul> </li> <li>● MA燃料開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ レーザー局所加熱による融点測定技術は、超高融点物質の融点を容器との反応の影響を受けずに微小試料で測定可能な画期的な技術であり、MA窒化物燃料以外に1F燃料デブリ等の取扱い困難な試料に広く活用可能である。</li> </ul> </li> <li>● ADS開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADS研究は、従来の原子炉技術に加速器および高エネルギー物理を組み組み合わせた点がイノベーティブである。ADS研究に対して多分野の研究者を協働させており、取り組みは妥当である。</li> </ul> </li> <li>● ADS燃料乾式処理技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADSによるMA核変換に用いられる予定のMA窒化物燃料の処理技術は、MA核変換用窒化物燃料サイクルの構築に不可欠な技術であるが他機関では実施されておらず、これに取り組むことはイノベーティブである。技術開発においては、各国で実施されてきた金属燃料の乾式処理に関する成果を踏まえるとともに、MA核変換用窒化物燃料の特徴を考慮に入れた手法の選定を行っており、その取り組みは妥当である。</li> </ul> </li> </ul>	
<p><u>社会実装の達成度、取組の妥当性（技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む）：</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MA分離 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実廃液試験によって技術実証し社会実装にむけた開発を着実に進めた。また抽出剤及び分離法の基礎データは論文等によって公開するとともに、OECD/NEAが構築を進めている抽出剤データベースに寄与している。</li> </ul> </li> <li>● MA燃料開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 窒化物燃料製造技術開発においてクリティカルな課題である窒素原料の同位体濃縮技術開発について、ガス製造事業者との連携協力による実用化プラントの設計がなされている。さらに、同技術を他の産業技術として適用するための検討が開始されている。</li> </ul> </li> <li>● ADS開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ADSの技術成熟度はTRL3～5程度であり、原理実証段階にある。多くの研究開発資源を必要とする大型施設の建設に向けて段階的に研究開発を実施しており、社会実装に向けた取り組みは妥当であると考ええる。</li> </ul> </li> <li>● ADS燃料乾式処理技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MA窒化物燃料の乾式処理技術の技術成熟度はTRL3～4程度であり、原理実証段階にある。多くの研究開発資源を必要とする準工学規模の試験研究実施の判断に向けて段階的に研究開発を実施しており、取り組みは妥当であると考ええる。</li> </ul> </li> </ul>	



# (参考)分離変換技術開発に関する自己評価 (6/8)

評価項目	自己評価
<p>科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MA分離 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 再処理及びMA分離を統合した新しい分離プロセス(SELECTプロセス)を提案し、その成立性を支持する実験結果が得られており、エネルギー基本計画に記載されている放射性廃棄物の減容化・有害度低減の選択肢の確保に適合していると考えられる。</li> </ul> </li> <li>● MA燃料開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 高レベル放射性廃棄物低減・処分場面積低減による社会的受容性向上のための有望オプションである分離変換技術開発への貢献</li> </ul> </li> <li>● ADS開発及びADS燃料乾式処理技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 第六次エネルギー基本政策（令和3年10月）で、「加速器を用いた核種変換など、・・・を推進する。」とされており、科学技術政策に適している。</li> <li>✓ 下記政府委員会で社会的・経済的意義／ニーズの議論を行い、それに従って研究開発を実施している。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 文部科学省 原子力科学技術委員会／群分離・核変換技術評価作業部会（平成25年3月～平成27年8月）</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	

# (参考)分離変換技術開発に関する自己評価 (7/8)

評価項目	自己評価
<p>(3)研究成果の展開・発展</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・将来/次期中長期計画への研究開発の展開、新たな課題への反映の検討</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MA分離 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 抽出分離及び溶媒劣化に関する基礎データの拡充並びに工学的データの取得を行い、MA分離技術の実用化に必要な研究開発を進める。</li> <li>✓ 第3期で開発したMA分離のためのSELECTプロセスの改良及び高度化を進める。</li> </ul> </li> <li>● MA燃料開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 核変換用窒化物燃料については、ゲル化及びレーザ融点測定のTRU適用・実証へ向けた取り組みと、常陽での照射試験を検討して照射試験用燃料作製着手を目指す。</li> </ul> </li> <li>● ADS開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ J-PARC核変換施設は建設に至っていないが、J-PARCが既に加速器を有することの強みを活かし、更に有効かつ効果的な施設概念を構築していく。</li> <li>✓ 現在実施中のADS概念設計を進め、工学規模の研究開発実施の判断に資する成果を得る。</li> </ul> </li> <li>● ADS燃料乾式処理技術開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 現在実施中のMA燃料乾式処理技術開発を進め、準工学規模の試験研究実施の判断に資する成果を得る。</li> </ul> </li> </ul>	A
<p>(4)国内外他機関との連携</p> <p>国際協力：3件、共同研究：58件を実施している。これらの協力は(1)～(3)に記載したとおり、適切なニーズシーズマッチングによる多くの成果抛出において重要な役割を果たしていることから、十分な連携が得られていると評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 日仏協力においてCEAとのSTC No.2.2（多重リサイクルのためのアクチニド分離（旧 プロセス技術））により、再処理及びMA分離技術に関する情報交換</li> <li>✓ 日米CNWGによって、米国アイダホ国立研究所に若手研究者を派遣し、MA分離用抽出剤の放射線劣化挙動を評価した。</li> <li>✓ ADS開発においては、米国、ベルギー、OECD/NEA、IAEAと5件の国際協力を実施。特にベルギー及び米国との協力では、日本単独では成しえない多くの成果が得られた。</li> <li>✓ 国内では、大学10件、企業2件と共同研究を実施。</li> </ul>	A

# (参考)分離変換技術開発に関する自己評価 (8/8)

評価項目	自己評価
<p>(5)研究成果の発信</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発課題／成果の社会的受容性（社会へ及ぼす影響度の想定）査読論文数/プレス発表</li> </ul> <p>査読付き論文数:84報、プレス:3件と、多くの成果が得られていることから、着実な進捗を示していると評価した。</p> <p>プレスリリース</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 日米共同実験により加速器駆動核変換システムの研究開発の進展に期待～高濃縮ウラン等を用いた新たな日米研究協力体制を構築～（2018.6）</li> <li>✓ 放射性のゴミを分別する「SELECTプロセス」の開発に成功～高レベル放射性廃液の有害度低減・減容化を目指す分離変換技術の開発に進展～（2019.4）</li> </ul>	A
<p>(6)人材育成に関する取組</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>若手研究者の育成・支援への貢献の程度、特別研究生・夏期実習生</li> </ul> <p>研究員の講師派遣や受入を行っており、積極的な人材育成に取り組んでいる。</p> <p>大学連携講座：21名派遣、研究員外国派遣：1名派遣 特別研究生：9名受入、学生実習生：3名、夏期実習生：25名受入</p> <p>若手を対象とした学会賞:3件</p> <p>平成28年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>日本アクチノイドネットワーク(J-ACTINET)ポスター賞「N,N-ジ(2-エチルヘキシル)オクタンアミドのウラン抽出特性」</li> <li>日本原子力学会第12回再処理・リサイクル部会セミナー最優秀賞「MA/Ln分離抽出剤HONTAの放射線分解の研究」</li> <li>原子力学会核燃料部会夏期セミナーポスター優秀賞「MCCI生成物中の海水塩・FP等の化学形」</li> </ul> <p>平成30年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>第14回再処理・リサイクルセミナーポスター発表最優秀賞「核分裂計数管用マイナーアクチノイド(MA)試料の製作」</li> <li>炉物理部会賞奨励賞「Reduced Order Modeling(ROM)に基づいた効率的な感度係数評価手法の開発」</li> </ul> <p>平成31年・令和元年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子力学会核燃料部会 学会講演賞「燃料模擬物質の粉碎条件と焼結密度の関係」</li> <li>同 夏期セミナーポスター優秀賞「レーザー局所加熱法を用いた融点測定装置の開発; 窒化物測定への適応」</li> </ul> <p>令和2年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>第41回日本核物質管理学会年次大会 若手・学生セッション最優秀発表賞「加速器駆動システムを用いた分離変換サイクルにおける核不拡散性に関する研究 -サイクル初期の燃焼集合体のAttractiveness評価-」</li> </ul> <p>令和3年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子力学会秋の大会 学生ポスターセッション最優秀賞「NMB4.0:統合的な核燃料サイクルシミュレーションコードの開発」</li> </ul>	A