

分離変換技術開発と核データ研究の展望

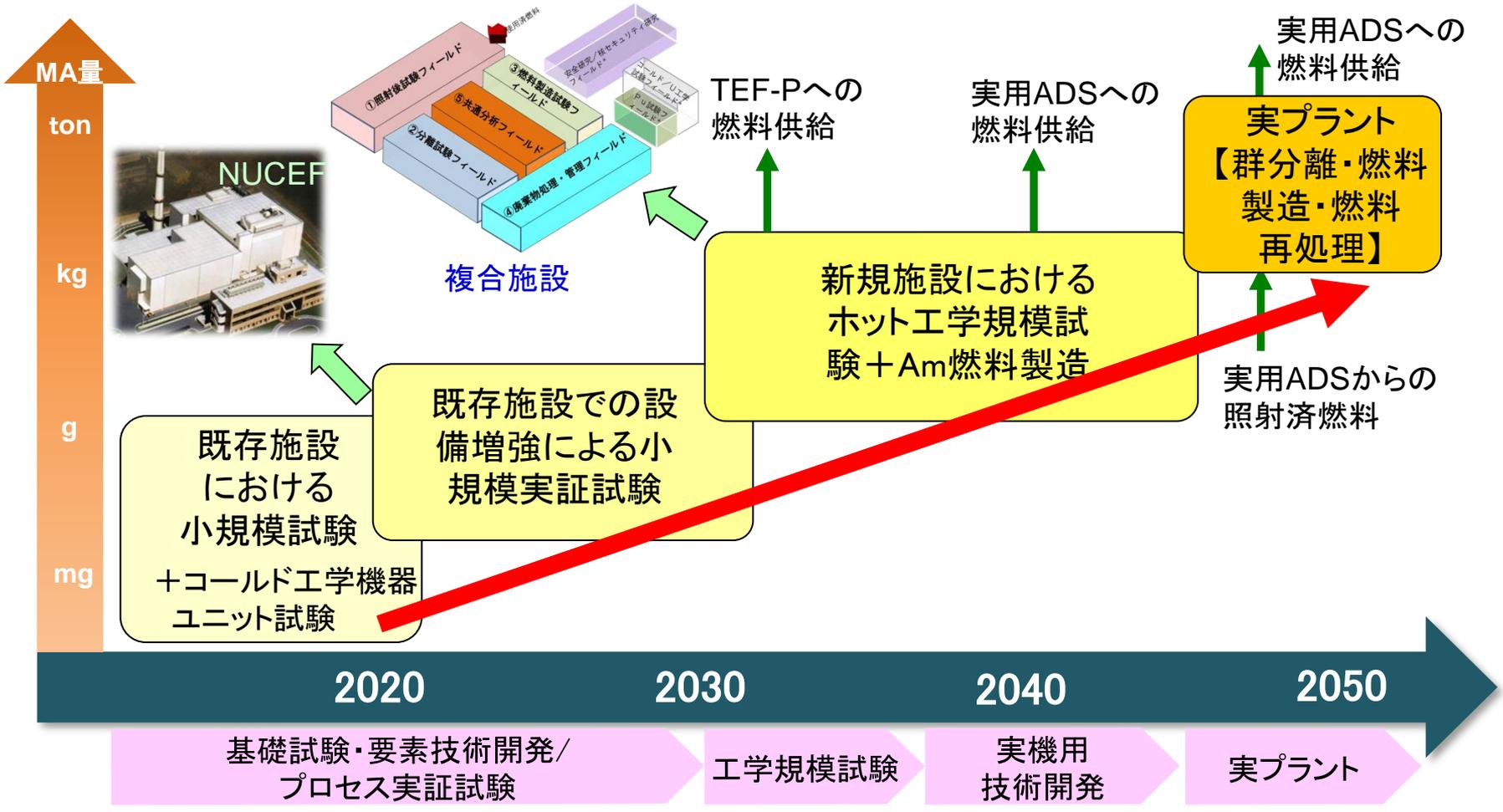
(5) ADSの研究課題(2)

— 分離、燃料(窒化物燃料、再処理)等 —

深 堀 智 生

日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究センター

分離関連技術開発ロードマップ



分離関連技術開発ロードマップ

- 高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減を目指した研究開発として、**ADS階層型-分離変換技術の開発を実施**

- 概念開発段階（1980年代から概念の実現可能性に関する研究を実施）から原理実証段階へ移行すべきとの見解（於 H23年度「群分離・核変換技術評価作業部会」）

- 高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減を目指した研究開発の必要性（「エネルギー基本計画」の見解）

分離関連技術開発ロードマップ

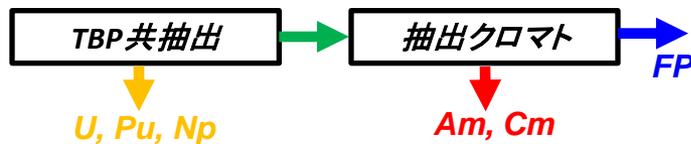
- 原理実証段階への移行に向けて重要な点
 - 試験施設の整備、MAなどの放射性物質の取扱い能力の増強により、技術基盤を充実させ、着実に研究開発を進展
 - 「ADS」はもとより、「分離」、「MA燃料製造」、「MA燃料再処理」の燃料サイクル技術の各構成要素に対して**バランスの取れた研究開発の実施**

- 施設・設備の増強
 - 既存施設における小規模試験、設備増強による小規模実証試験をとおして、技術を着実に向上させる。
 - コールド工学機器ユニット試験により機器開発を進める。
 - 新規施設(群分離・燃料製造・照射後試験・燃料再処理等の複合施設)を整備し、**ホット工学規模試験**を行うとともに、TEF-P用その後の実用ADS用の**燃料を製造・供給する**。

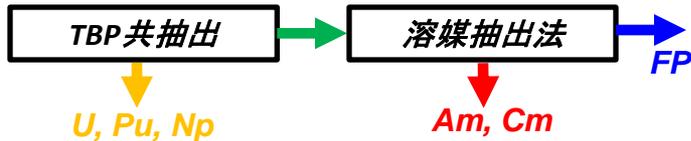
群分離(MA分離)技術に関する世界の動向

- **群分離技術**: 使用済核燃料から用途に応じて元素(群)を分離・回収する技術。再処理と同時または再処理後の高レベル廃液に分離プロセスを適用。

先進湿式法(NEXT法):



溶媒抽出法:



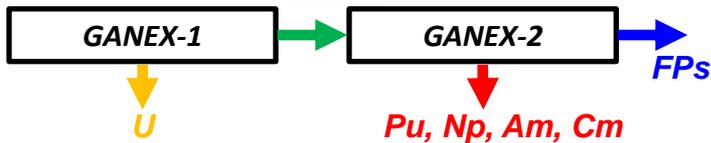
日本

日本

- 高速増殖炉サイクルに最適化された先進湿式法によるアクチノイド一括回収技術(先進湿式法(NEXT法))を開発中(実廃液による小規模試験に着手)
- 1980年代から4群群分離技術を開発(実廃液による小規模試験)、現在は新溶媒TDdDGA等による溶媒抽出方法を開発中(模擬廃液による抽出試験)

群分離(MA分離)技術に関する世界の動向

Grouped separation :



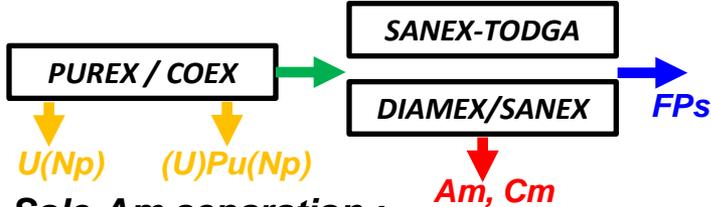
フランス

- Purex法をもとにU, Pu, MA, FPを用途に応じて分離・回収する技術を開発中
- kg規模の使用済燃料の実廃液による連続プロセス試験

Enhanced separation :



フランス



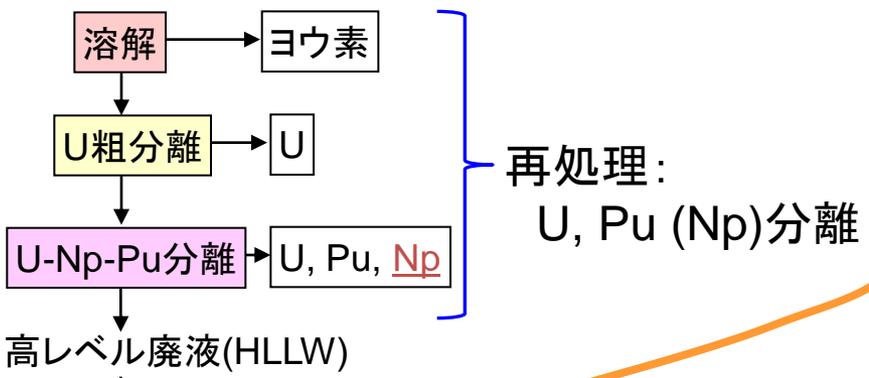
Sole-Am separation :



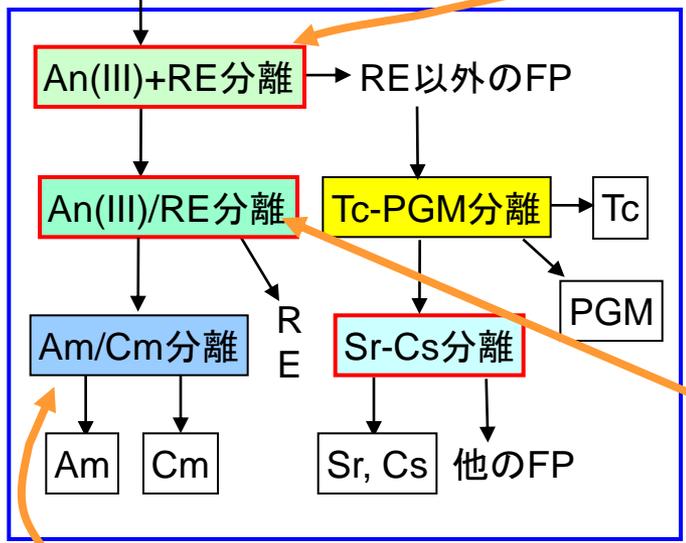
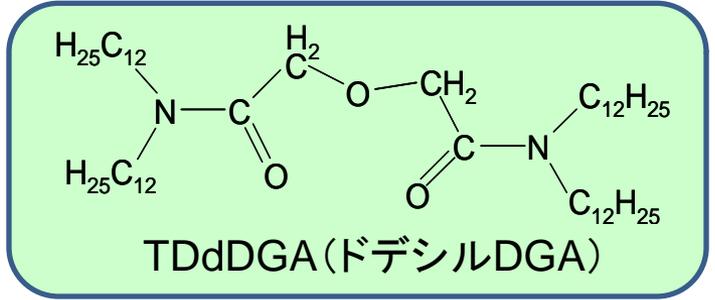
米国

- GNEP計画の下でPurex法をもとにU, Pu, MA, FPを用途に応じて分離・回収する技術を開発。

MA抽出プロセス



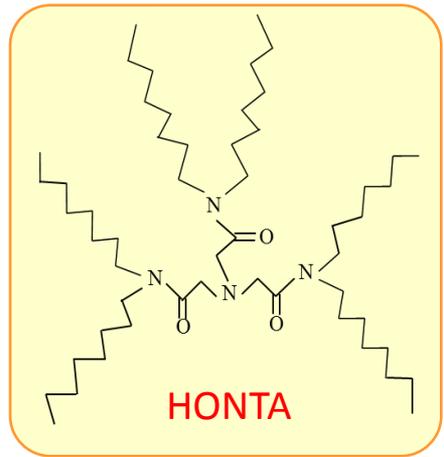
新規抽出剤による溶媒抽出分離



分離オプション

・Cmは比較的短半減期 → 発熱量大

別種の新規抽出剤による分離法を検討中。



An(III): Am, Cm
RE: 希土類元素
PGM: 白金族元素

MA抽出プロセス

アクチノイド及び希土類の抽出：新規抽出剤による溶媒抽出分離

- ・模擬液による連続抽出試験を実施
- ・抽出器の運転状態は良好
- ・Am, Ndの抽出率・逆抽出率：ほぼ100%
- ・プロセス条件の最適化を検討
- ・**次のステップは実液試験**
- ・コールドモックアップ試験による工学的検討

アクチノイドと希土類の分離：別種の新規抽出剤による分離法を検討中

- ・最も有望な抽出剤は、HONTA（ヘキサオクチルニトリロ三酢酸トリアミド）
- ・**早急に連続抽出試験を実施**

AmとCmの分離：発熱源の分離

- ・オプション

施設・装置の開発

TDdDGAによる連続抽出試験の状況 (Am, Npトレーサー添加模擬廃液使用)



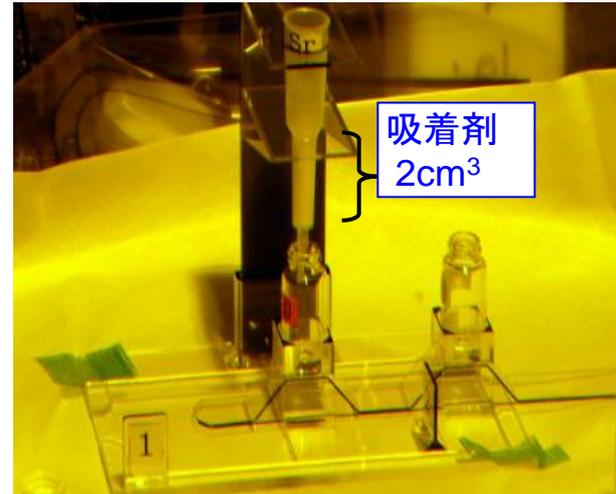
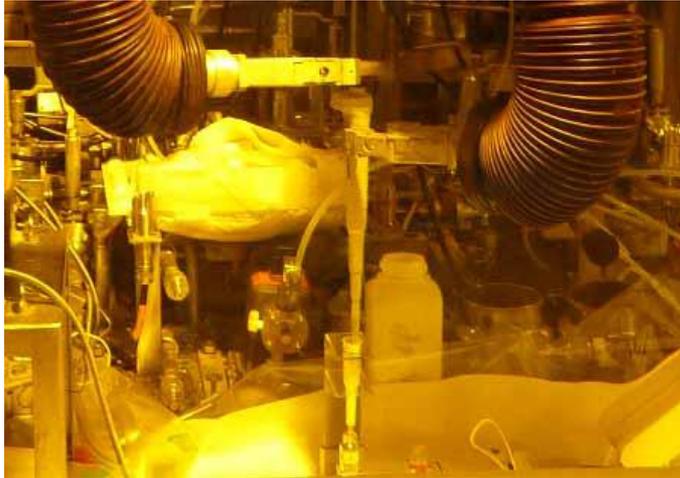
グローブボックス試験
(高濃度MA使用)



ホットセル試験
(実高レベル廃液使用)

Sr-Csの分離

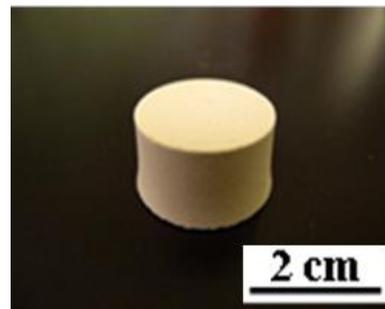
抽出クロマトグラフ法の小規模実液試験等を実施



Csのモルデナイト吸着後の固化試験を実施

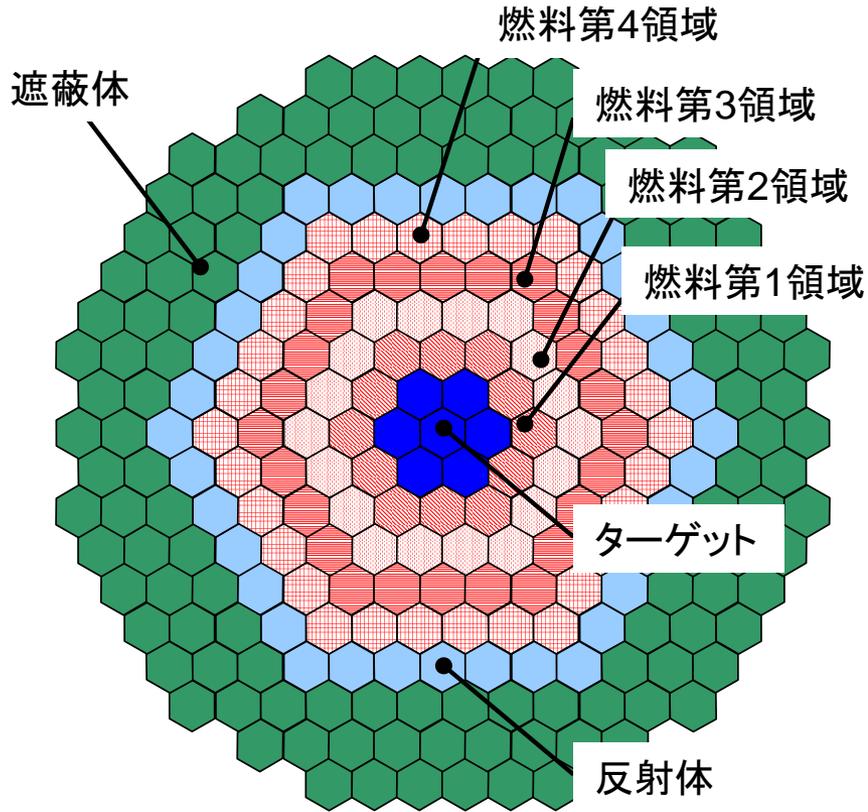


成形→仮焼

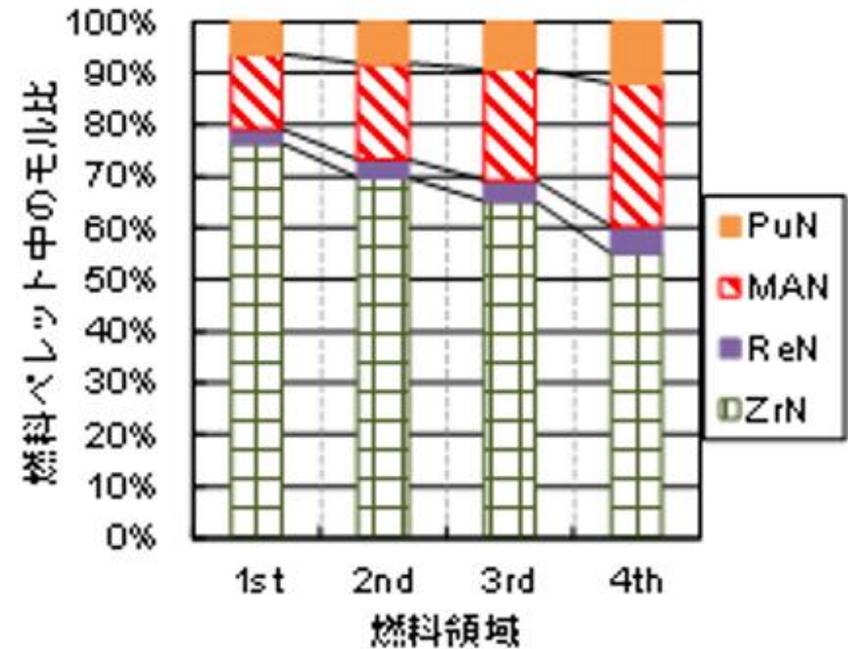


ホットプレス

ADS燃料の概要



ADS燃料集合体配置図



領域ごとのADS燃料の組成

ADS燃料の概要

- ✓ MA装荷量：2.5 t
- ✓ 燃料組成：(MA, Pu)N + ZrN or TiN
(不活性母材)
- ✓ 燃焼によるTRU生成を抑制するため、ウランフリーで不活性母材を含む
(TRU=PU,MA)
- ✓ 核変換率：10%MA / 年
- ✓ 燃料交換法：600EFPD(2年), 全数交換

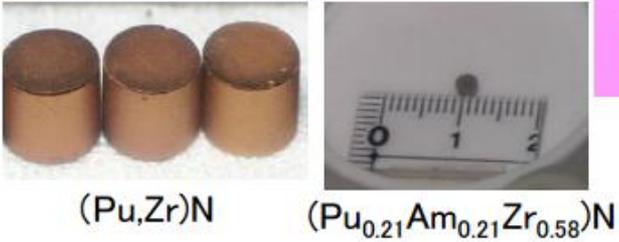
窒化物燃料の特徴

- 熱伝導度と融点が高い ⇨ 冷却しやすく安全裕度が大きい
- アクチノイドが相互に固溶 ⇨ 燃料組成の自由度が大きい
- 空気中の酸素、水と反応 ⇨ 不活性雰囲気での取扱いが必要
- 天然の窒素に0.37%しか含まれない¹⁵Nを高濃縮して使用
⇨ 放射性の¹⁴C生成を避けるため

核変換燃料サイクルに関する研究開発

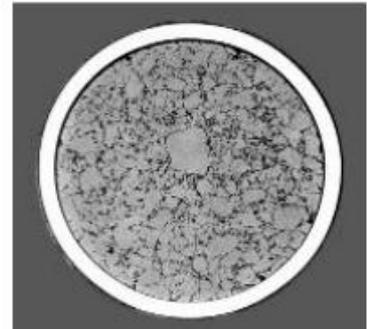
MA含有燃料の製造・物性測定

- ・高密度・高純度(MA,Pu,Zr)N等の実験室規模での調製に成功
- ・(MA,Pu,Zr)N等の熱伝導率を温度・ZrN含有率をパラメータに測定

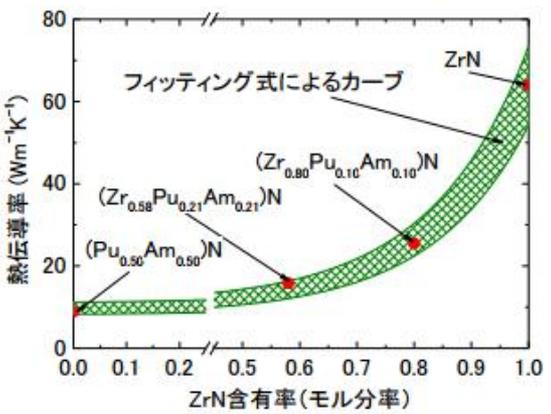
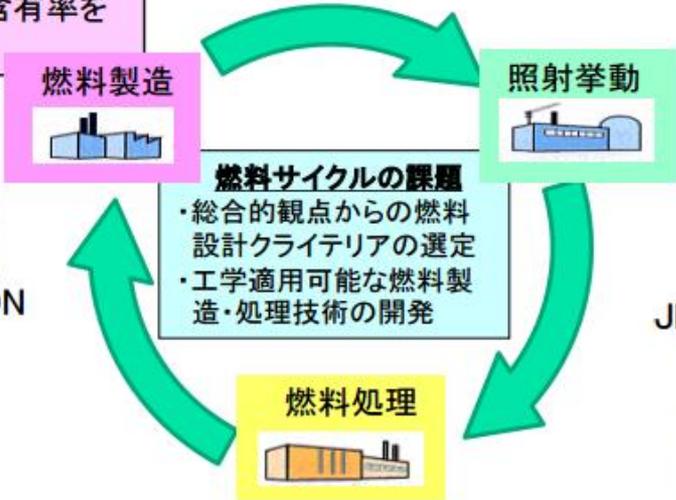


MA含有燃料の照射挙動評価

- ・(Pu,Zr)N等をJMTRや常陽で照射



JMTR照射後(Pu,Zr)Nの断面写真



核変換用MA窒化物燃料の熱伝導率(873K)

使用済燃料の高温化学処理

- ・窒化物の電解⇒回収⇒再窒化⇒焼結に成功



電解後の液体Cd陰極 再窒化回収粉末 (U,Pu)N焼結ペレット



NUCF/BECKY TRU-HITEC (Ar雰囲気セル)

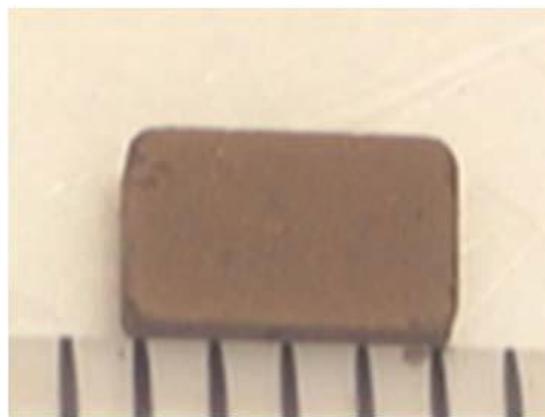
燃料製造、再処理ともに実験室規模(An 10mg~1g/バッチ)での基礎試験により、原理的成立性を実証
 今後の課題: MAの発熱に対応した工学機器開発、燃料挙動の予測精度向上、MAの回収率向上等

MA含有窒化物燃料

OMA含有燃料として窒化物を第一候補として研究開発

- ・MA窒化物燃料製造の基本プロセスフローを構築
- ・MA試料(ストックパイル試料)で原理確認
Pu-Zr系高密度、高純度燃料ペレットを調製
Np-Pu-Am-Cm系混合窒化物の調製に成功

希釈材としてZrNとTiNを検討



(Am,Zr)N



(Pu_{0.21}Am_{0.21}Zr_{0.58})N



(Pu,Zr)N

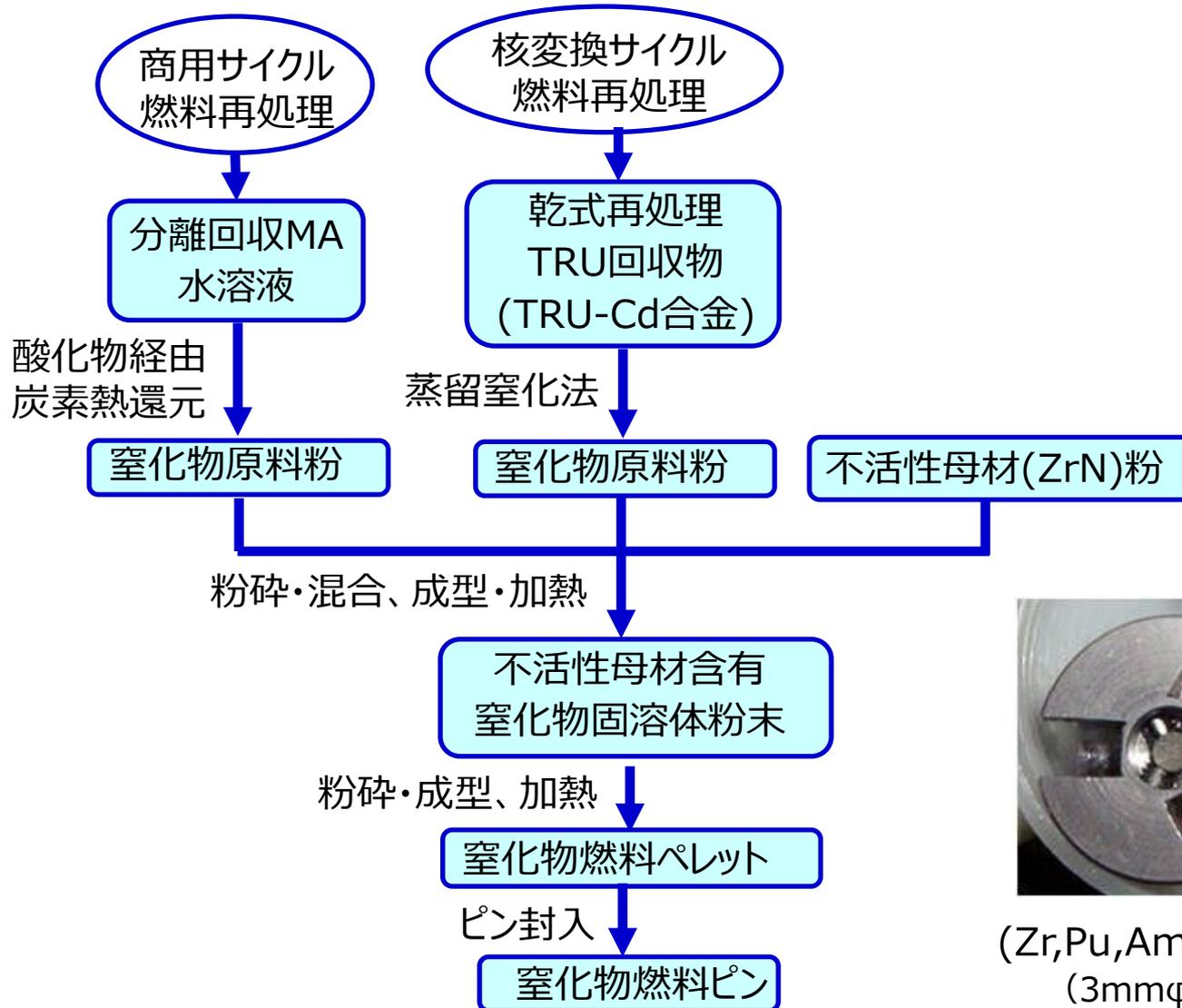


PuN+TiN

今後の課題

- ・MA含有高密度、高純度燃料ペレットの調製
- ・照射試験に向けたMA燃料棒製造装置開発

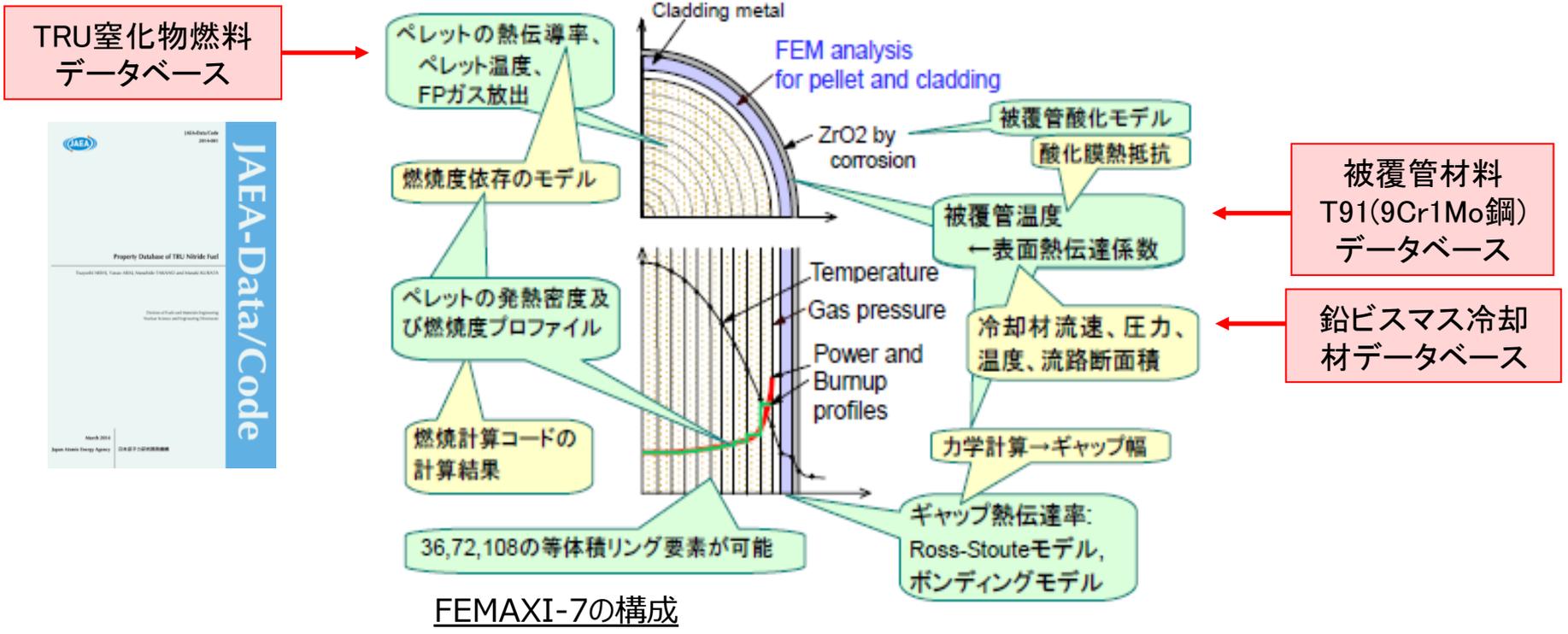
MA窒化物燃料の製造プロセスの概略



(Zr,Pu,Am)N 焼結体
(3mmφ、95mg)

ADS用窒化物燃料ふるまい解析コードの開発

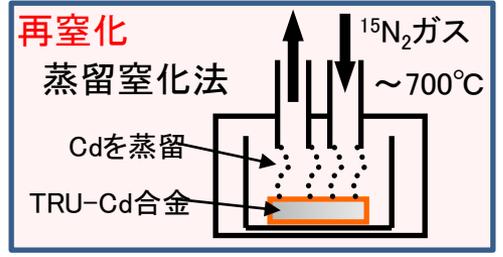
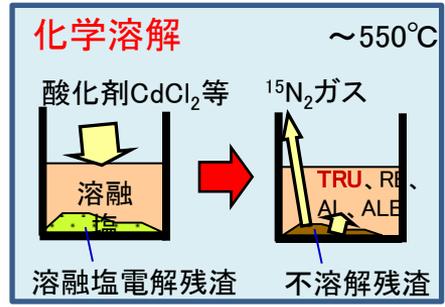
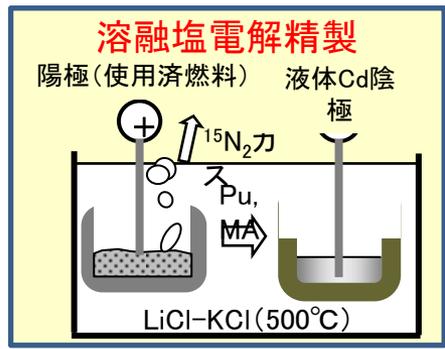
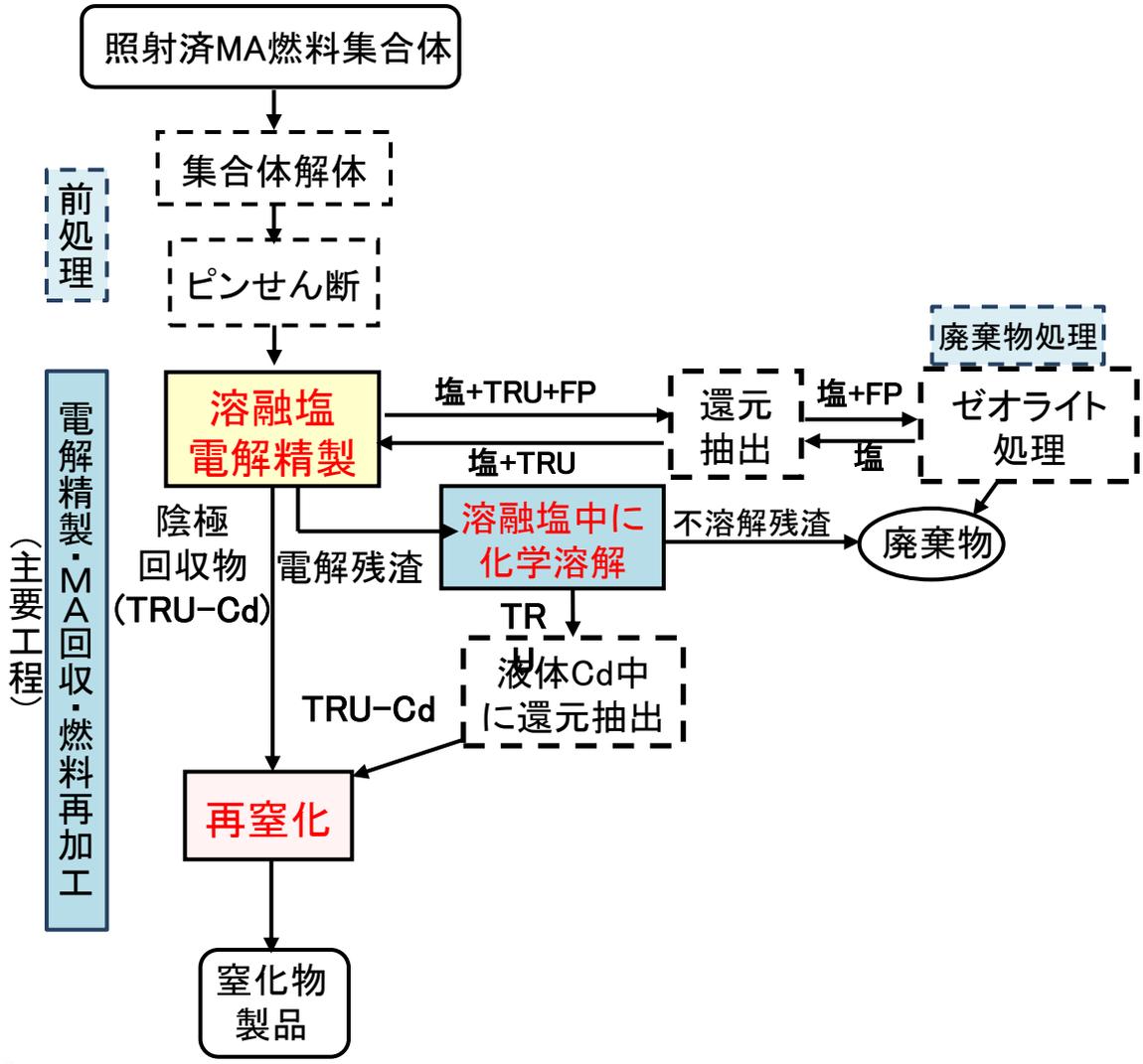
窒化物燃料、T91材料、鉛ビスマス冷却材に関する熱物性・機械物性・照射後試験等物性データベースを、軽水炉燃料ふるまい解析コード（FEMAXI-7）に組み込み、窒化物燃料ふるまいシミュレーション計算を実施



FEMAXI-7の構成

成果 : 窒化物燃料の燃料ふるまい予備解析により、要素モデルや解析コードの開発課題を抽出。
今後 : 各パラメーターの感度解析、要素モデル検討、データベース拡充により、ADS用窒化物燃料に適したモデルに基づくふるまい解析モジュールを開発する。

MA窒化物燃料乾式再処理プロセス概略



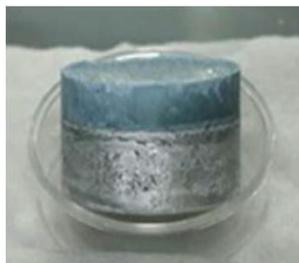
MA窒化物燃料乾式再処理開発の現状

乾式再処理法の特徴

- ・硝酸・有機溶媒の代わりに高温融体（溶融塩・液体金属）を用いる
 - MAの高濃度の取扱い可能 ⇒ コンパクトな装置による経済性
 - ^{15}N の回収が可能
 - × 溶融塩等が空気中の酸素、水分と反応 ⇒ 不活性ガス雰囲気での取扱必要

照射済MA含有燃料の高温化学処理

- ・ NpN、PuN、AmNの陽極溶解挙動を解明
- ・ Pu、Amの液体Cd陰極への回収に成功①
- ・ Cd-Pu (Cd-Am) 合金からPuN (AmN) の調製に成功②
- ・ CmNの挙動及び不活性母材含有燃料中のMA元素の挙動を把握することが課題



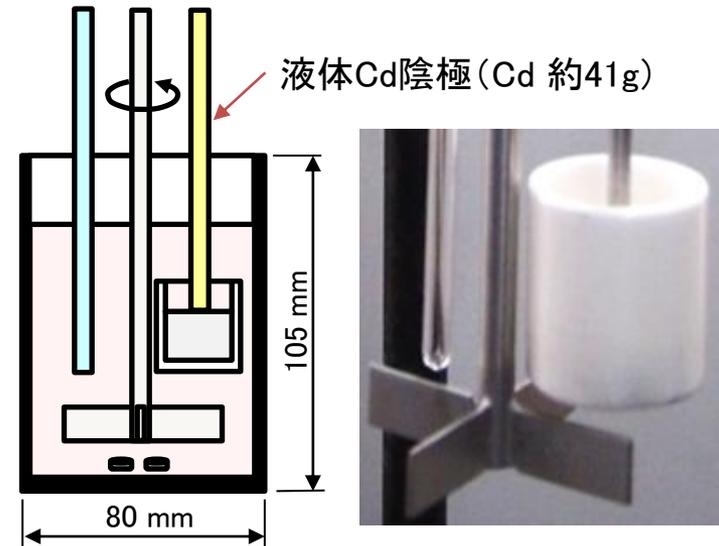
①Pu回収(Cd陰極)

①Cd-Pu(12wt%)合金

②再窒化粉末

MA窒化物燃料乾式再処理開発の現状

新規製作の電解装置の模式図と外観

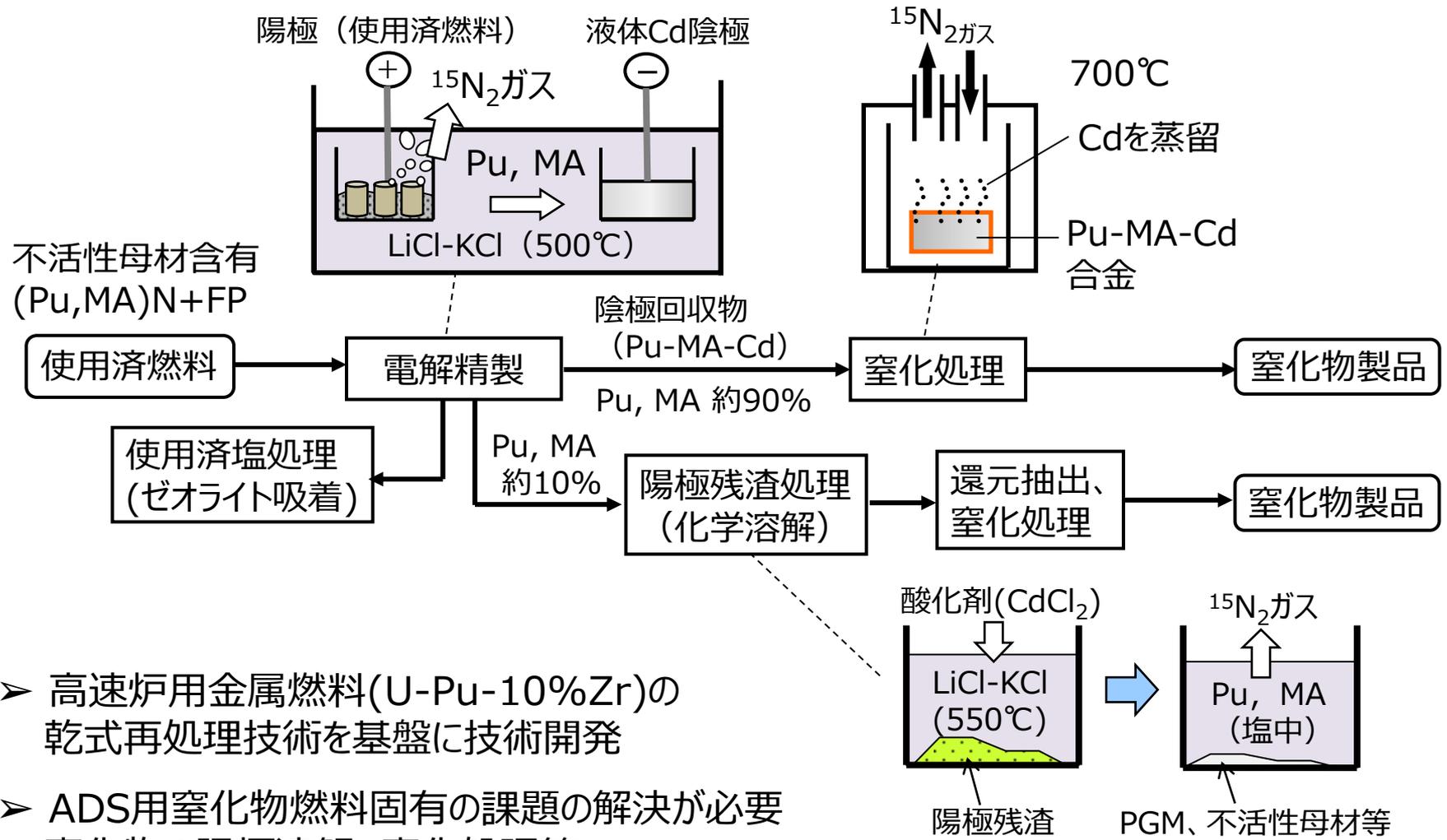


MA核変換用窒化物燃料乾式再処理の今後の課題

- ・ 各プロセスでの**MA元素挙動**把握(特にCm)
- ・ **不活性母材の分離**
- ・ 熱力学データ、速度論的データを基にした**プロセスの最適化**
- ・ 窒化物製品に許容される**不純物濃度**をもとにした**プロセス設計**
- ・ **TRU損失率の低減** (0.1%以下が必須)
- ・ TRUの**発熱**及び**臨界**を考慮した工学規模装置の設計

MA含有窒化物燃料の乾式再処理技術開発

再処理への要求仕様： Pu+MA回収率： 99.9%以上、希土類FP： 75%以上分離



- 高速炉用金属燃料(U-Pu-10%Zr)の乾式再処理技術を基盤に技術開発
- ADS用窒化物燃料固有の課題の解決が必要
窒化物の陽極溶解、窒化处理等