

高レベル放射性廃棄物の減容化・ 有害度低減の実現に向けて —照射済燃料からのMA分離技術への挑戦—

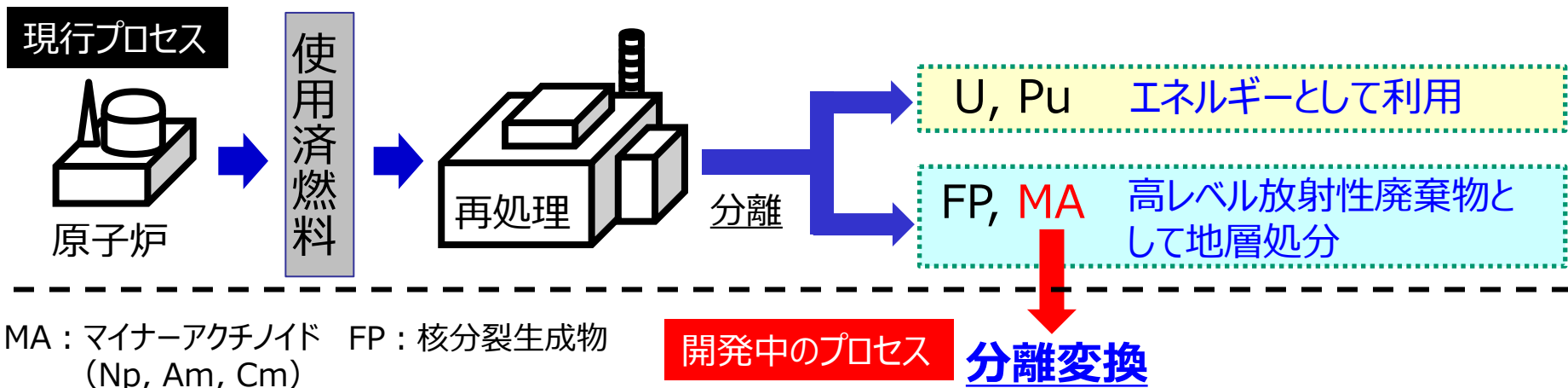
平成29年11月14日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高速炉研究開発部門 次世代高速炉サイクル研究開発センター
燃料サイクル技術開発部

竹内 正行

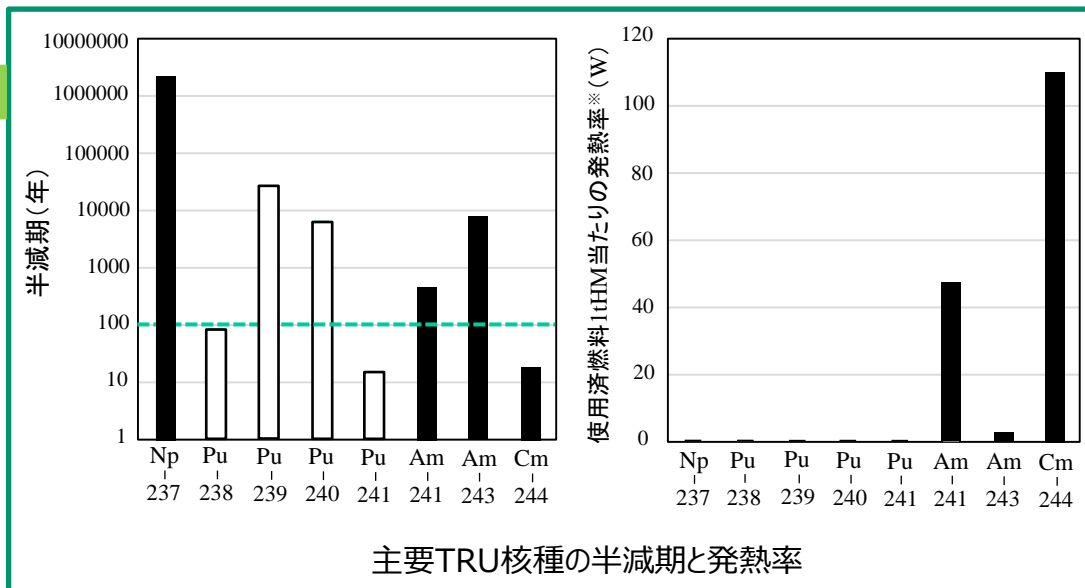
- (1) 放射性核種の分離変換研究の意義と効果
- (2) MAの分離技術と主な研究成果
- (3) 高速炉を利用したMAの分離変換研究
— SmART研究 —
- (4) まとめ

放射性核種分離変換研究



MAには長半減期核種や発熱性の核種が存在

- 長半減期の核種を減らす
→ 放射線による長期リスクを低減
- 発熱性の核種を減らす
→ 発熱制限を有するガラス固化体の本数を減らし、処分場の面積を削減



出典) 日本原子力学会「分離変換・MAサイクル」研究専門委員会：高レベル廃棄物管理に対する分離変換技術導入効果の検討 (2008) のデータを引用

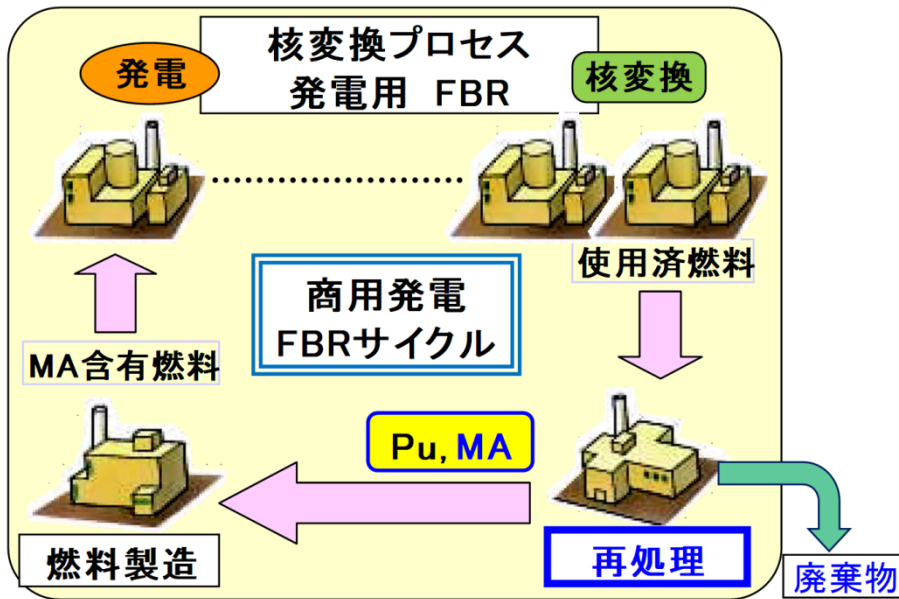
MA分離による減容化・有害度低減効果

高レベル放射性廃棄物 処分場の削減規模	<p>アメリカシウム を除去すると・・・</p>	1/7	
	<p>アメリカシウム ネプツニウム キュリウム 全てを除去すると ・・・</p>	1/10	
放射能レベル	<p>アメリカシウム ネプツニウム キュリウム を99.9%除去すると ・・・</p>	<p>処分場の放射能が 天然ウラン放射能 による人体への影 響レベルに低減す る期間は数百年 オーダーにまで短縮 される</p>	
	<p>・・・</p>	<p>* 数万年オーダー ** 数十万年オーダー</p>	

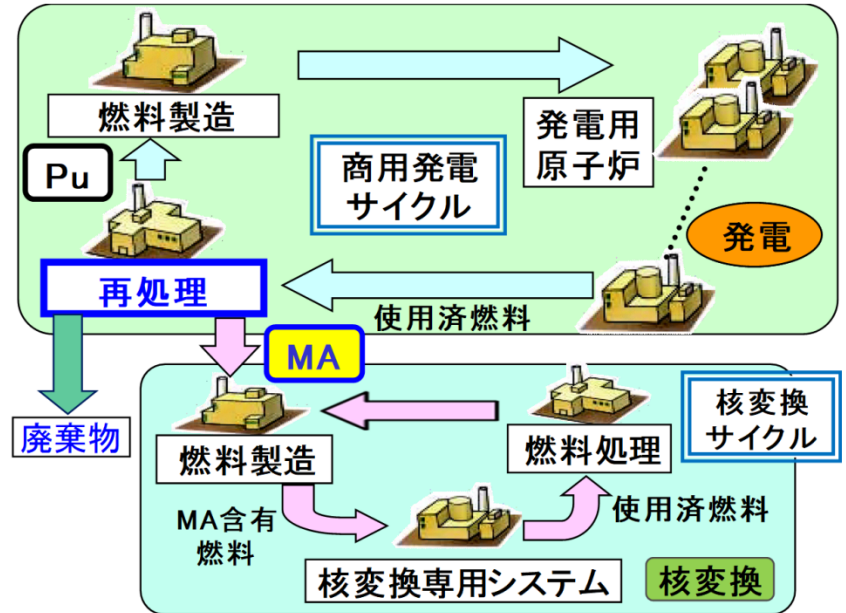
CEA "Report on Sustainable radioactive Waste Management" (2012)より作成

分離変換システムの概要

高速炉サイクル利用型



核変換専用サイクル型（階層型）



MA分離技術は両方の核変換システムに共通して必要不可欠な技術

発電炉を用いた分離変換技術

- Puと共にMAをリサイクル
- 発電炉（高速炉）内でMAを核変換
- 燃料のMA含有量は3～5%

発電用サイクルに核変換サイクルを付設

- コンパクトなサイクルにMAを閉じ込める
- 核変換専用システム（ADS等）
- 燃料のMA含有量は50%以上（ウランを含まない燃料）

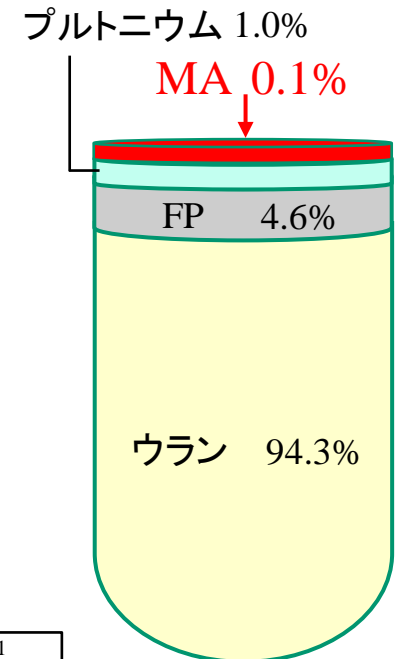
MAの特徴と分離の困難性

<周期表>

核分裂生成物 (FP)

使用済燃料中の ● : 発熱性核種
◎ : 長半減期核種 (>10000年)

1	H																	2	He																	
3	Li	4	Be																	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne					
11	Na	12	Mg																	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar					
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr	
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe	
55	Cs	56	Ba	57-71	Ln	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	
87	Fr	88	Ra	89-103	An	Ln	57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
						An	89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr

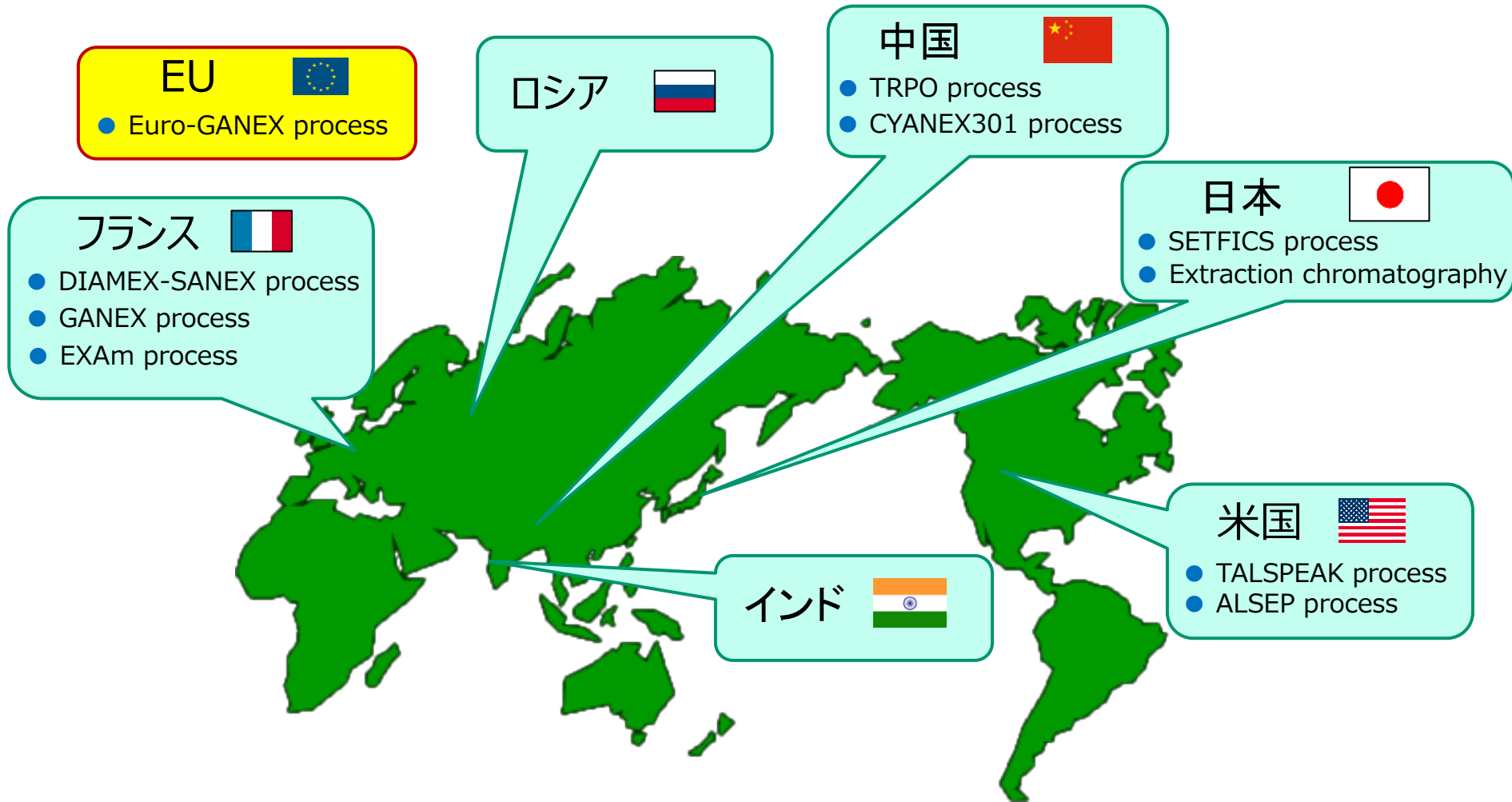


使用済燃料の組成
計算条件
(ORIGEN-2 Ver 2.1)
・初期燃料:PWR 4.5%濃縮U
・燃焼度:45GWD/tU
・比出力:38MW/tU
・冷却時間:4年

分離変換を検討するマイナーアクチニド (MA)

MA分離を困難にする要因

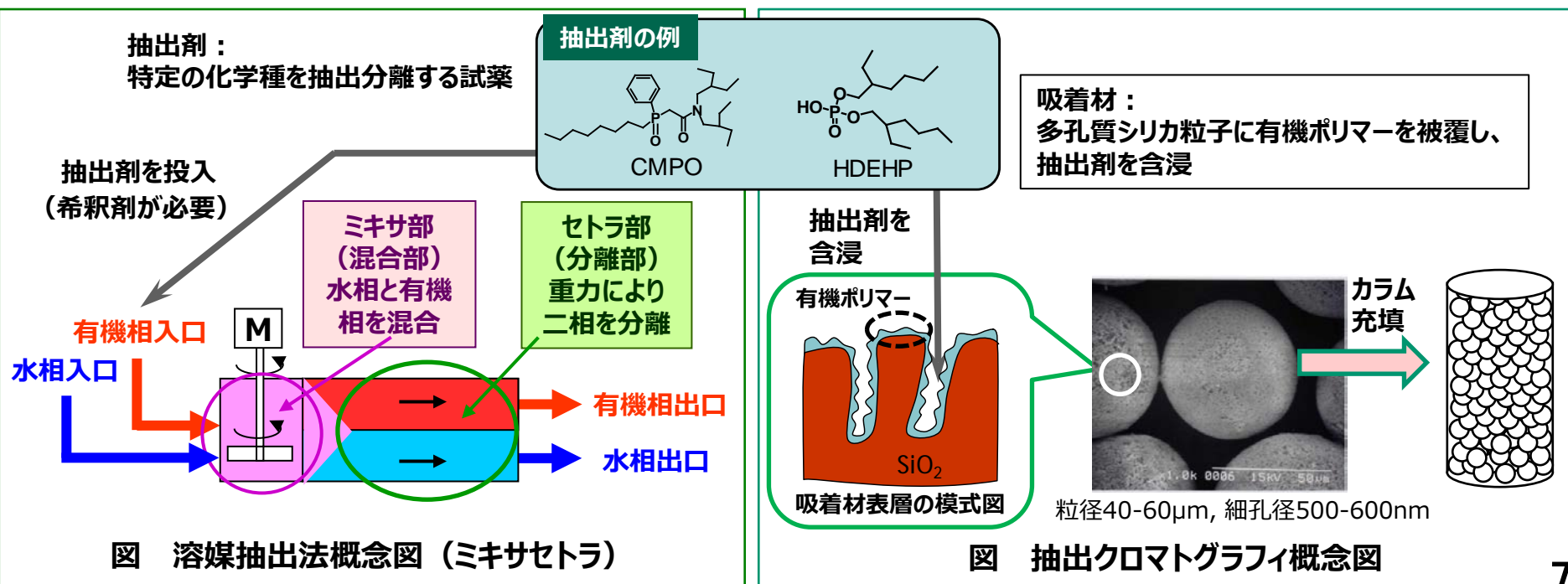
1. MAを含む高レベル放射性廃液には、多種多様なFPが共存！
2. 軽水炉使用済UO₂燃料中の含有量は0.1%オーダーであり、量的に極めて少ない！
3. Am, Cmは希土類元素と同様の化学的挙動を示すため、相互分離が困難！



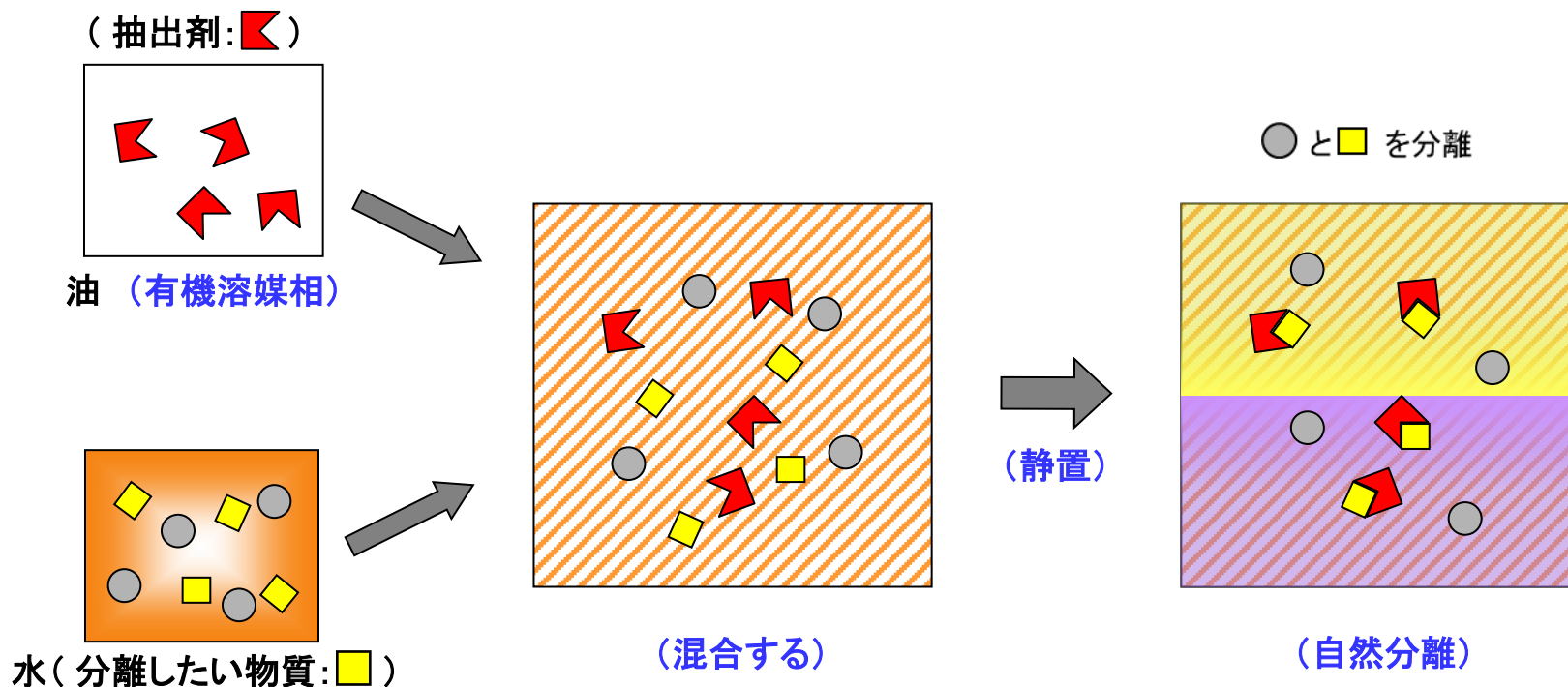
MA分離技術開発は放射性廃棄物の減容化・有害度低減の観点から、世界的に開発が進められている

開発中のMA分離技術の特徴

	原理	利点	課題
溶媒抽出法	抽出剤を含有する有機相と硝酸溶液等の水相との間の分配平衡が元素により異なることを利用する分離法	<ul style="list-style-type: none"> ・連続多量処理が容易 ・高い回収率と高い分離度 ・工業的経験が豊富 	<ul style="list-style-type: none"> ・取扱液量増大 ・装置規模拡大の可能性 ・希釈剤の選択 ・第三相形成防止
抽出クロマトグラフィ	抽出剤を適当な担体に保持し、溶媒抽出の原理の下、固液間抽出で分離する方法	<ul style="list-style-type: none"> ・希釈剤不要 ・高い分離性能 ・装置がコンパクト (抽出剤の高密度充填) 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力界での工業的な経験が少ない ・遠隔操作、保守性の問題 ・溶離液量増大の可能性



U, Pu, MA, FP等が混在する硝酸溶液から回収したい物質を分離する技術として適用



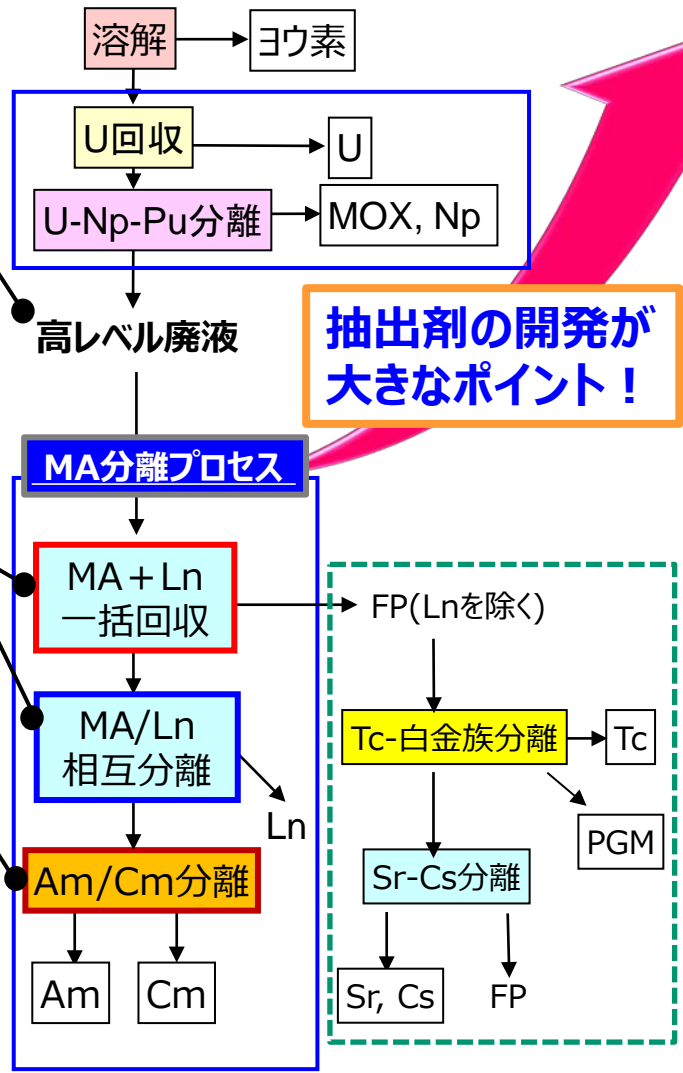
溶媒抽出法による研究開発の現状

高放射能濃度かつ多成分で構成され、わずかなMAの単独分離は難しい

希土類元素とMAは化学的挙動が類似しているため、2段階で分離

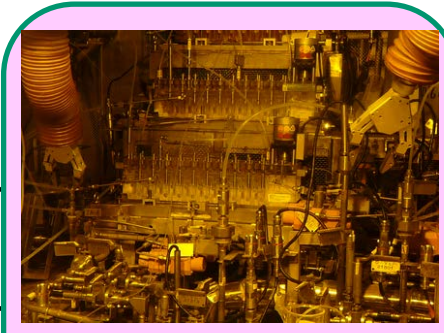
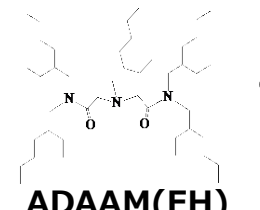
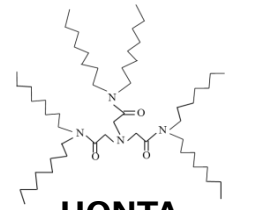
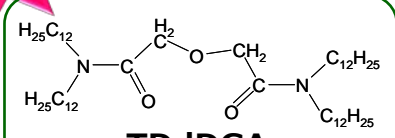
発熱性のCmは燃料製造等への負担が大きく、Amとの相互分離を検討

Ln : ランタノイド元素

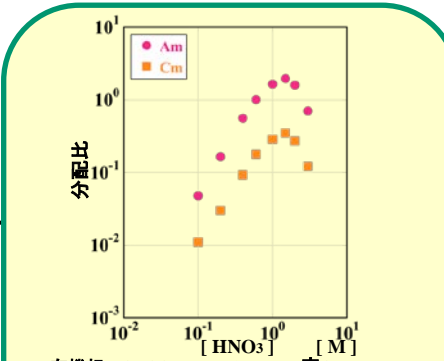


抽出剤の開発が大きなポイント!

- ・安全で分離性能等に優れていること
- ・安価で工業規模での生産が可能であること
- ・廃棄物を少なくすること



実高レベル放射性廃液による分離試験により性能評価

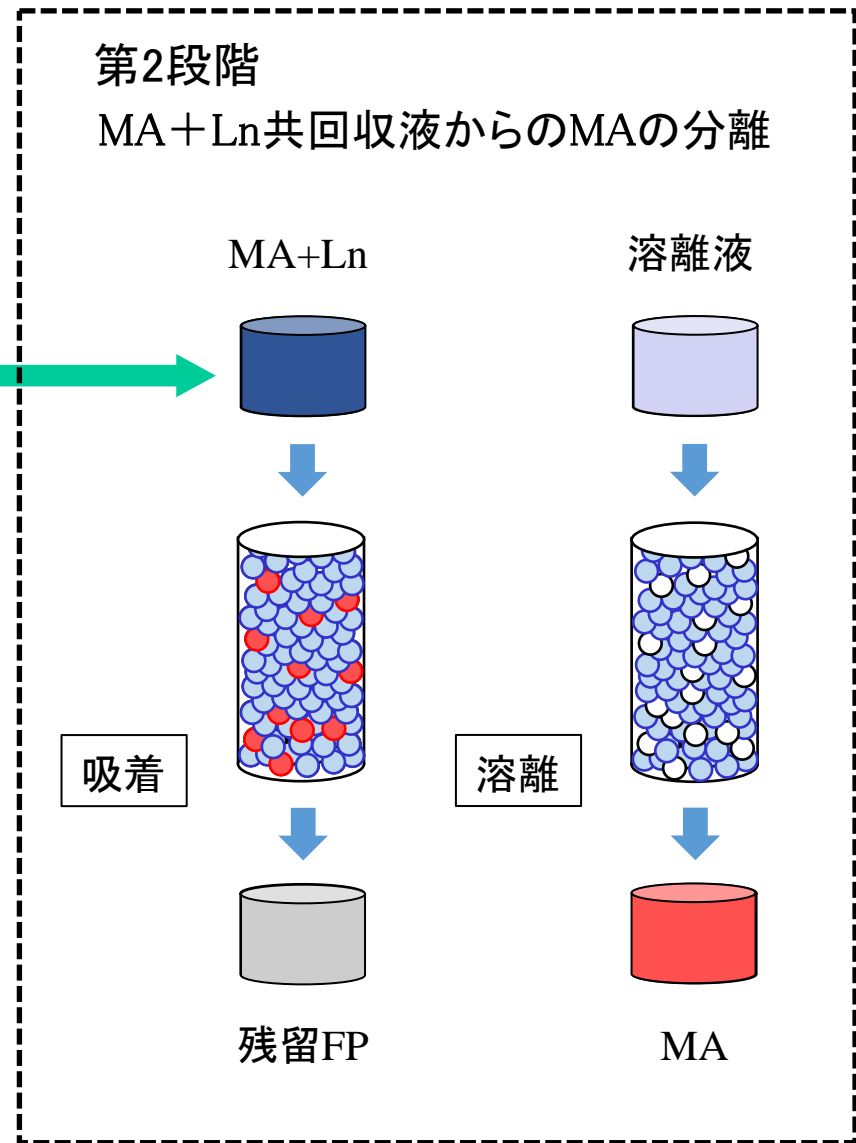
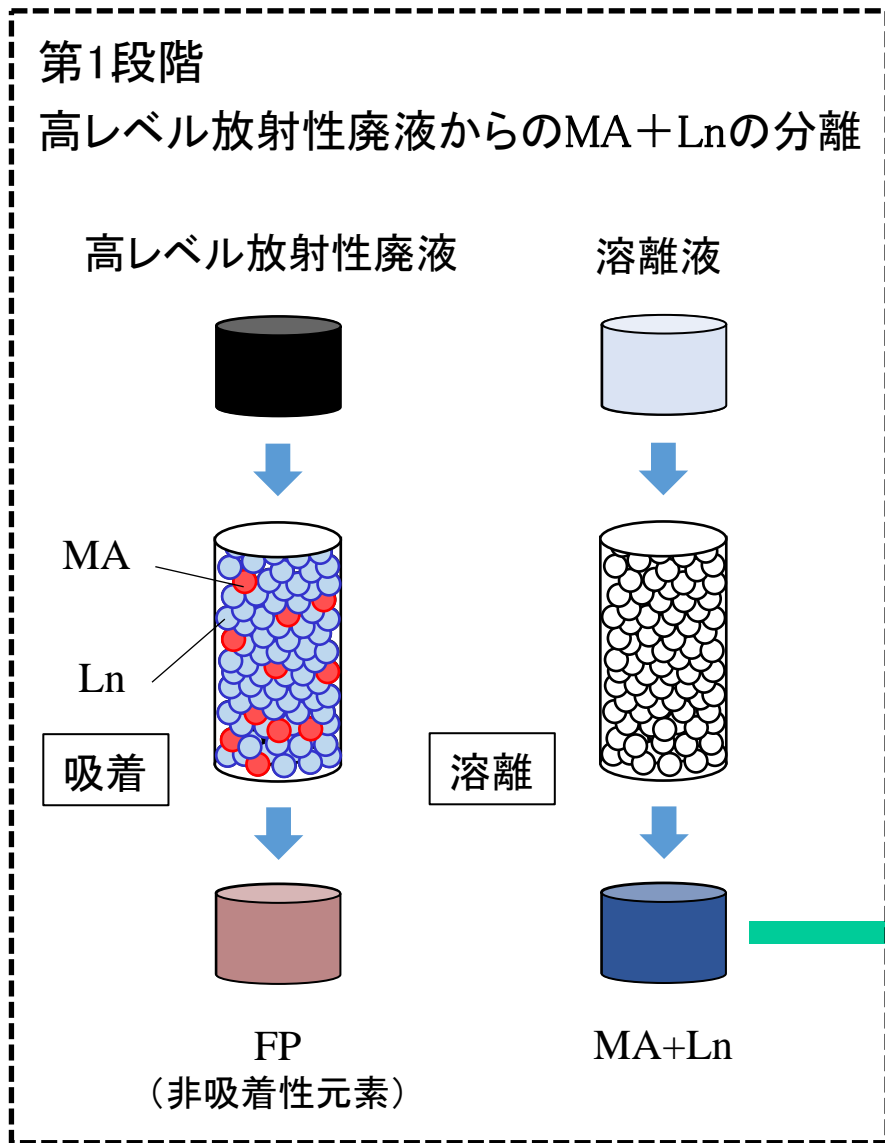


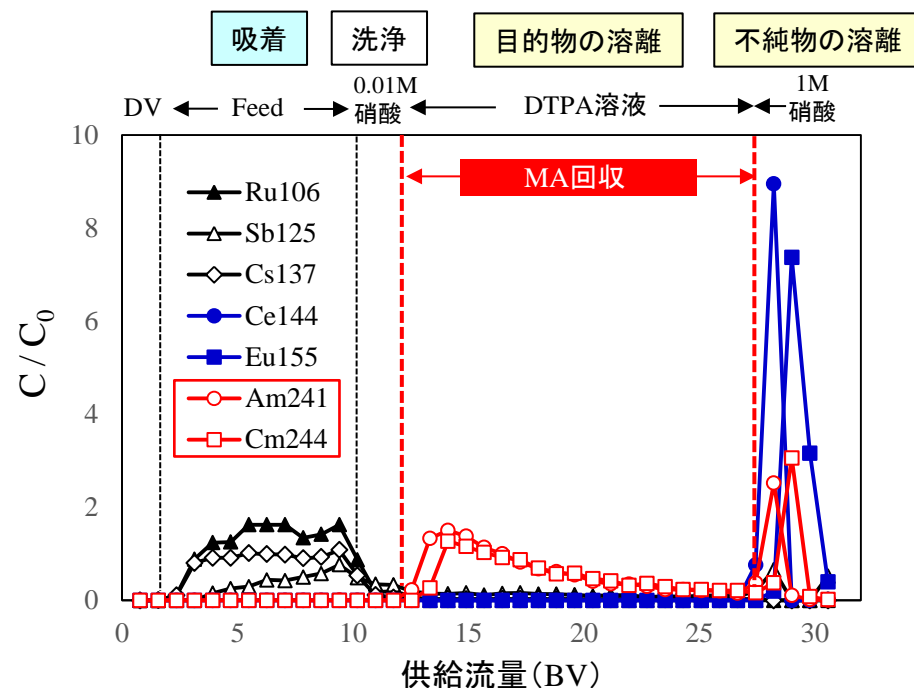
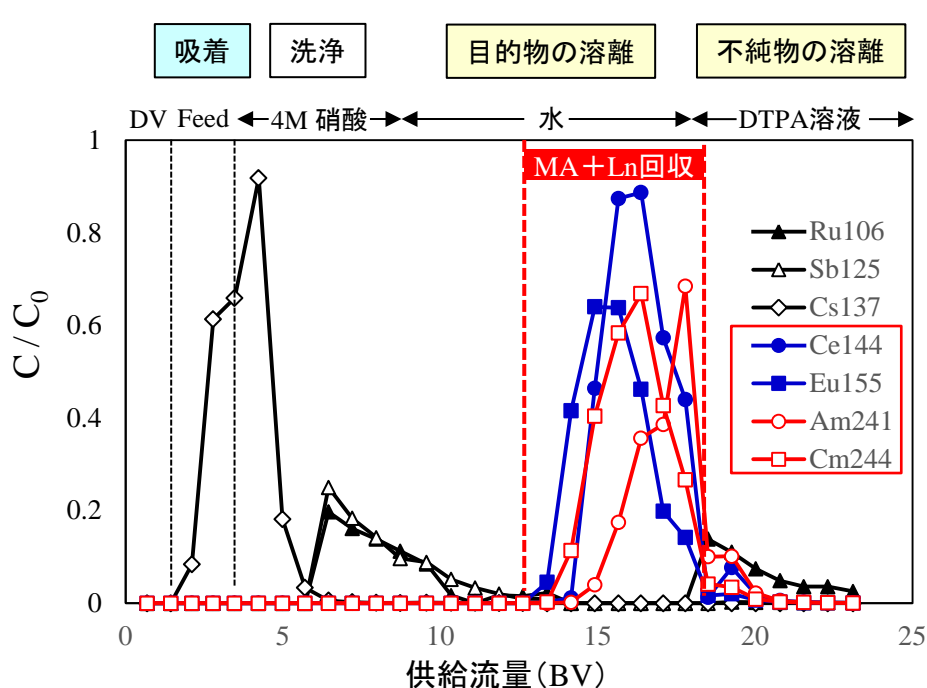
AmとCmの高い相互分離性を確認 (トレーサー試験)

分離プロセスの概略フローの例

MA分離のために開発した新規抽出剤

抽出クロマトグラフィの分離イメージ





照射済燃料からのMA + Lnの共分離 (第1段階)

MA + Ln溶液からのMA分離 (第2段階)

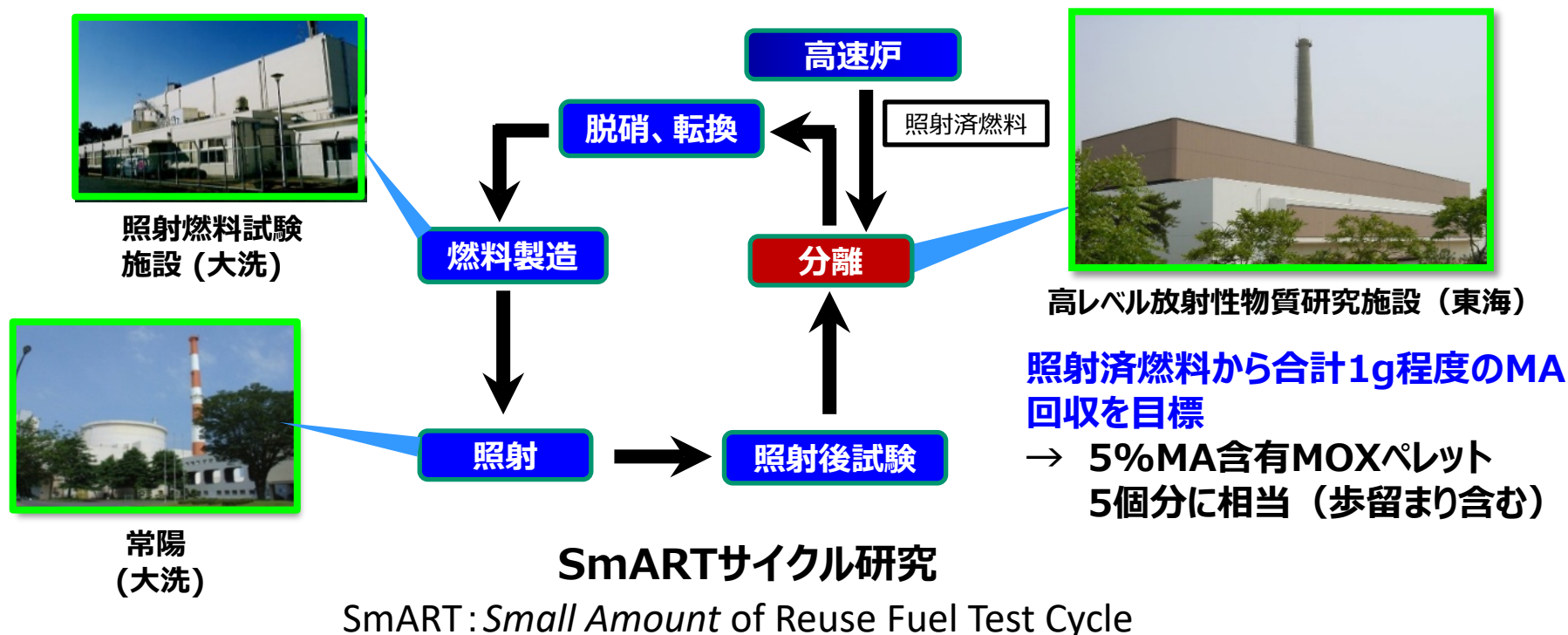
<出典> S. Watanabe et al., Procedia Chem. 21 (2016) 101.

C/C_0 供給液中の濃度に対する流出液中の濃度比, BV: カラム容積分の供給液量, DV: コンディショニング液

- 優れた分離選択性の下、第1段階では99%程度、第2段階でも80%前後のMA回収率を達成（後段の分離性能を高めるため、吸着材の構造や分離条件の改良を実施中）
- 本技術を用いて、高速炉照射済燃料から分離変換サイクル試験用のMA原料の分離を実施

高速炉システムを利用したMAの分離変換 サイクル研究 — SmART研究 —

放射性廃棄物の減容化・有害度低減の観点から、照射済燃料中の少量MA
を出発原料とした一連のサイクル試験（SmART研究）計画を推進



【本研究の狙い】

MAを中心とした分離変換データの取得及びサイクル成立性の小規模実証

照射済燃料中の種々のMA核種を対象とした照射変換挙動データは世界初

照射済燃料からのMA回収フロー
(高レベル放射性物質研究施設にて実施)

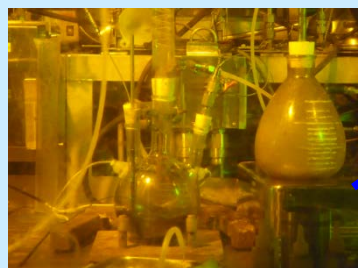
常陽照射済燃料 (ピン4本)

せん断

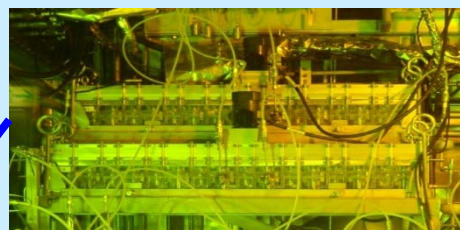
溶解

抽出/逆抽出

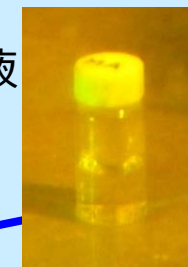
MA回収



溶解試験の状況



遠心抽出器試験装置



MA回収溶液

U-Pu-Np
抽出溶液

高レベル放射性廃液

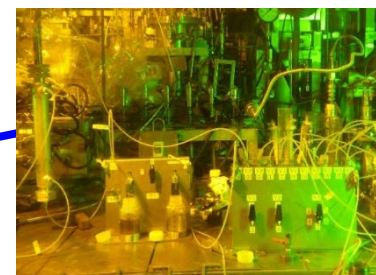
脱硝

輸送

ペレット製造

炉内照射

照射後試験



抽出クロマトグラフィ試験装置

抽出クロマトグラフィーを用いたMA分離技術により、照射済高速炉燃料の実廃液から世界最高レベルに相当するグラムオーダーのMA回収に成功

分離技術は今後何をすべきか

MA分離技術確立へ

技術の実用化への挑戦



既存施設を有効活用
+ 新規施設を構想へ
(スクラップ&ビルド)

- ・多様なニーズに応えるために多目的利用、施設供用化を指向した新規ホットラボ立案へ。
- ・研究開発推進及び原子力研究開発基盤を高いレベルで維持発展。

更なるステップ
アップには？

- ・技術の実用化を図るためには、基礎研究から工学研究へ
→ ペレット/ピン単位でのMA分離から集合体単位へ
- ・そのためには、大量のMA分離が必要。しかし現状の研究施設では設備能力上困難

今後の
研究は？

- ・最適なプロセス・溶媒の選択(安全性、経済性、廃棄物、etc.)
- ・回収MAのスペック決定(どのMAをどこまで分離すべきか)

現状の技術
レベルは？ 未だ基礎的段階

- 分離変換技術は、今後の原子力利用の持続可能性を支える重要な技術であり、長期に亘る広範囲な科学技術分野の横断的な連携が必要で、人材育成にも大きく寄与
- MA分離技術は、多種多様な元素が共存する高レベル放射性廃液から僅かな量のMAを回収するChallengingな技術。世界各国が分離プロセスの確立に向けて挑戦している

今後も国内外の関係機関や研究者と連携しつつ、信頼性に優れたMA分離技術を確立し、放射性廃棄物に対する将来世代の負担低減という大きな目標達成に貢献していく



ご清聴ありがとうございました





参考資料

第四次エネルギー基本計画

- 放射性廃棄物を適切に処理・処分し、その減容化・有害度低減のための技術開発を推進する。具体的には、高速炉や加速器を用いた核種変換など、放射性廃棄物中に長期に残留する放射線量を少なくし、放射性廃棄物の処理・処分の安全性を高める技術等の開発を国際的なネットワークを活用しつつ推進する。



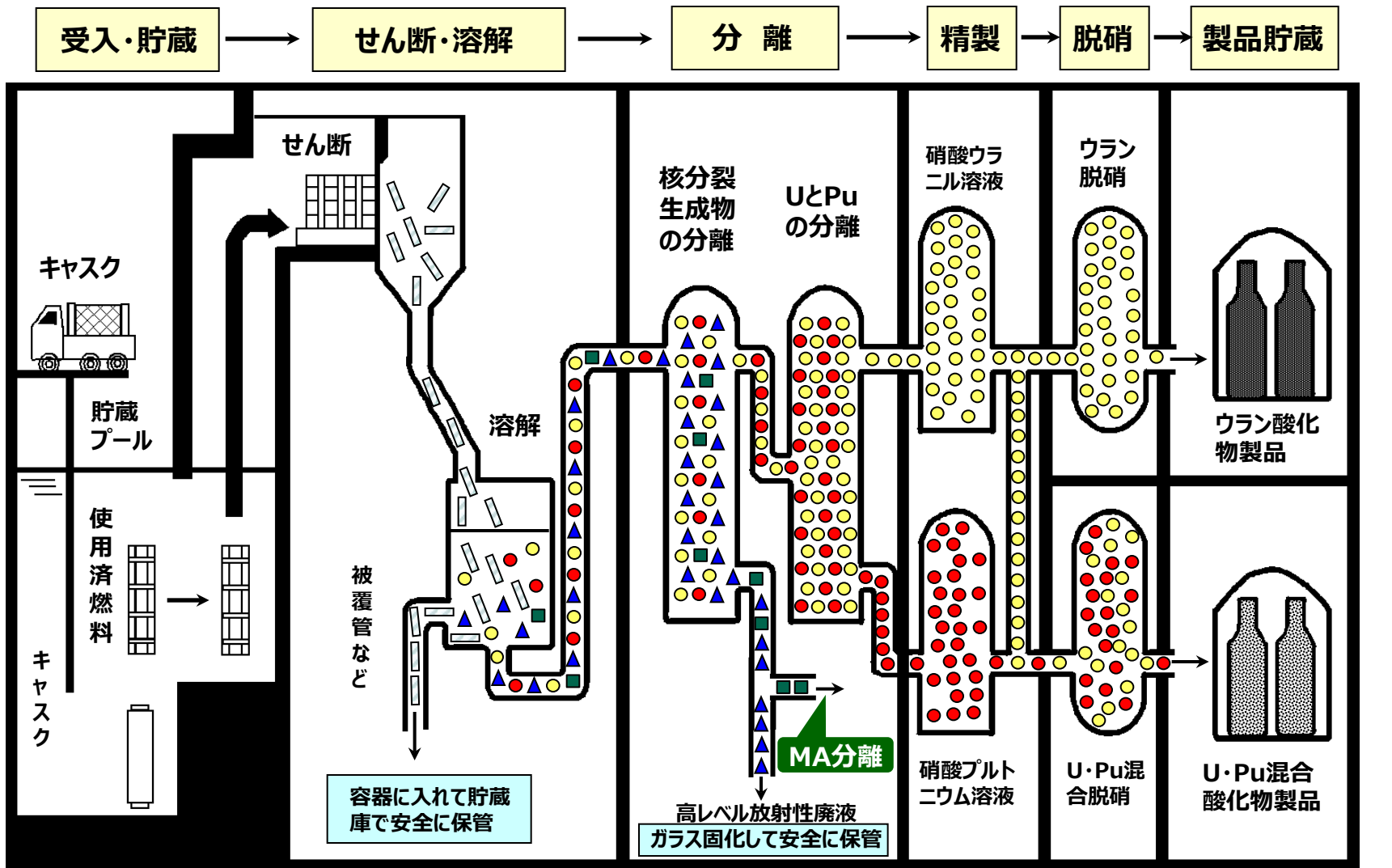
日本原子力研究開発機構 第三期中長期計画(H27.4.1～H34.3.31)

- 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。

MAの分離変換のための共通基盤技術の研究開発

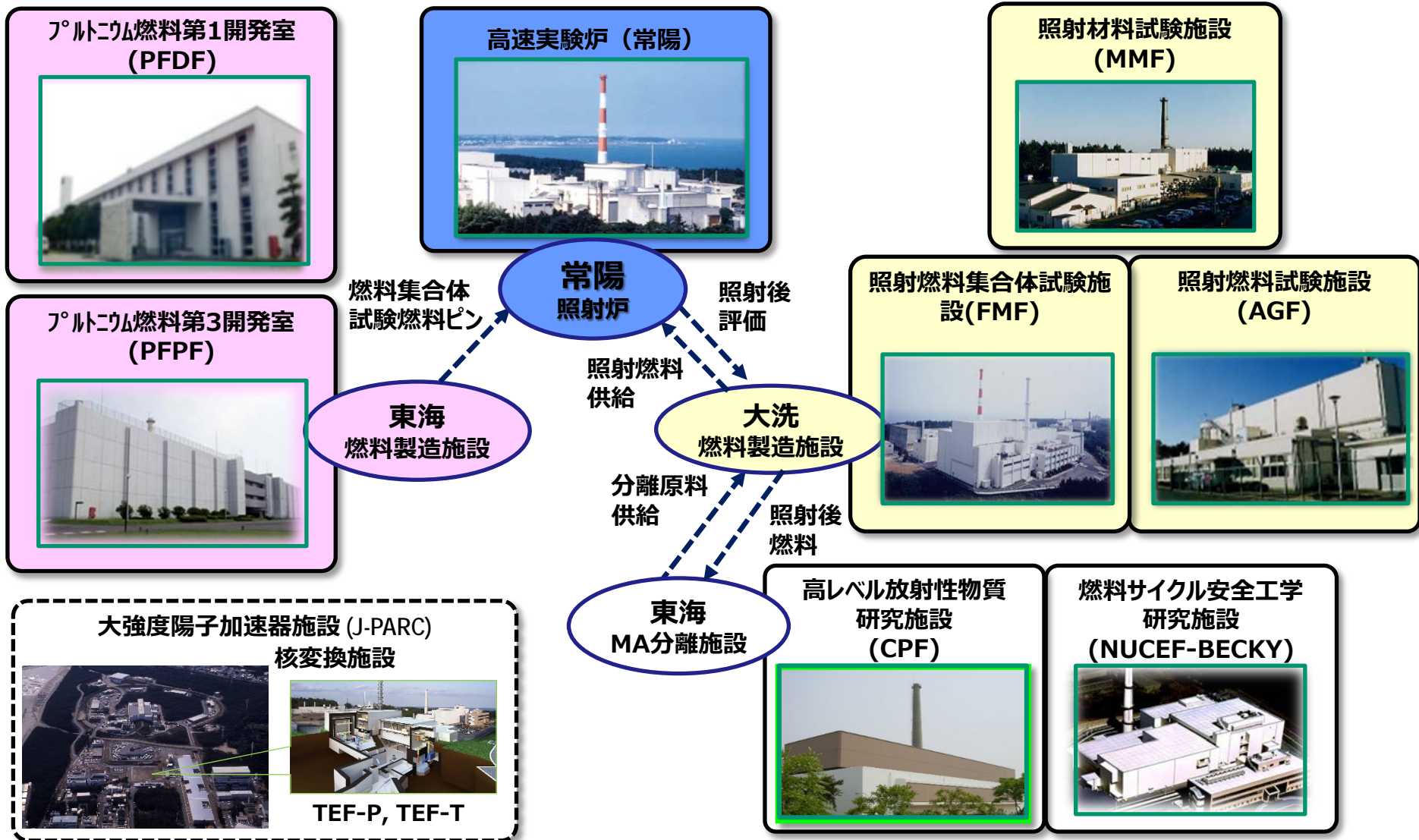
- MAの分離技術に関する複数の候補技術のプロセスデータ、高レベル放射性廃液を用いた試験による分離回収データを取得し、技術的成立性を評価する。
- MA分離変換サイクル全体を通じた技術情報を得るため、既存施設を用いたMAの分離、ペレット製造から高速中性子照射までの一連の試験から成る小規模なMAサイクルの実証試験に着手する。

再処理プロセスでのMA分離



● ウラン
 ● プルトニウム
 ■ マイナーアクチノイド (Am, Cm)
 ▲ 核分裂生成物
 被覆管など

分離変換研究に貢献する研究開発施設



炉・サイクル関連の研究施設を最大限に活用し、分離変換研究を推進