

放射性廃棄物の減容化に向けた ガラス固化技術の基盤研究事業 (使用済M O X 燃料処理技術の基盤整備) 事業概要

2024年2月22日

資源エネルギー庁 電力・ガス事業部
原子力立地・核燃料サイクル産業課

背景 (1/2)

- 令和2年1月以降、国内の原子力発電所から令和5年9月時点で約42トンの使用済MOX燃料（以下、「SFMOX」という。）が取り出されており、今後、プルサーマル炉1基当たり年間約5トン程度が継続的に発生する見込みとなっている。
- SFMOXは使用済 UO_2 燃料（以下、「SF UO_2 」という。）に比べて、プルトニウム（Pu）、マイナーアクチノイド（MA）含有量が多いため、燃料溶解性が低下するとともに、Pu、MA組成の違いによりSF UO_2 よりも発熱量が大きい等の特徴を有する。そのため、燃料溶解性の低下や発熱量の増加等への対策がSFMOXの再処理を行う上で重要である。

表-1 使用済燃料の重量組成※
(5年冷却、1トンHMあたりのg数)

	LWR-45G	LWR-MOX
U	9.41E+05	9.10E+05
Np	6.59E+02	2.12E+02
Pu	1.15E+04	4.02E+04
Am	5.69E+02	3.67E+03
Cm	4.34E+01	6.27E+02
Ru	3.00E+03	3.65E+03
Rh	5.76E+02	9.58E+02
Pd	1.86E+03	3.53E+03

白金族元素増加

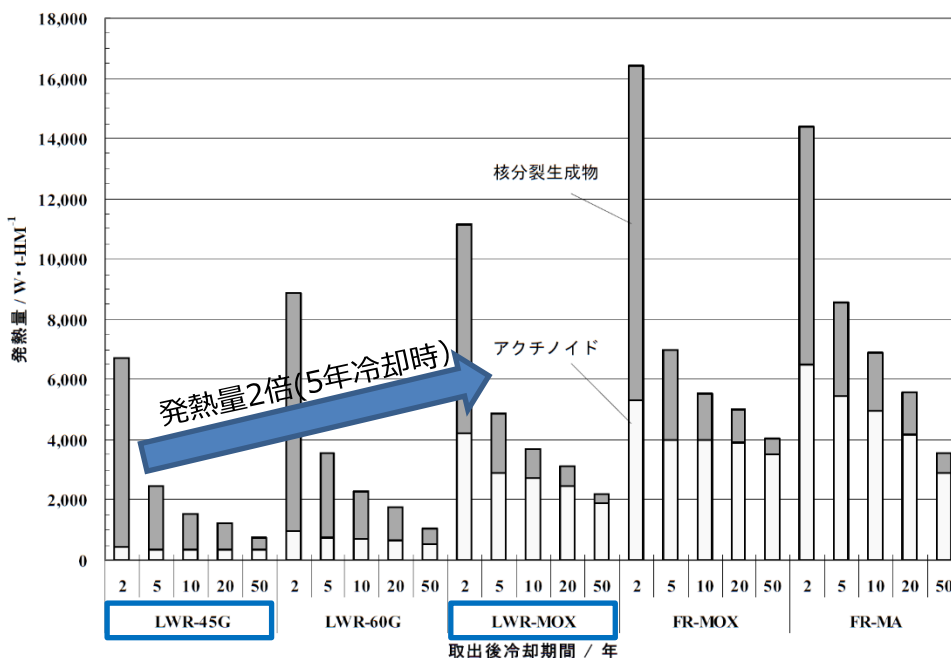
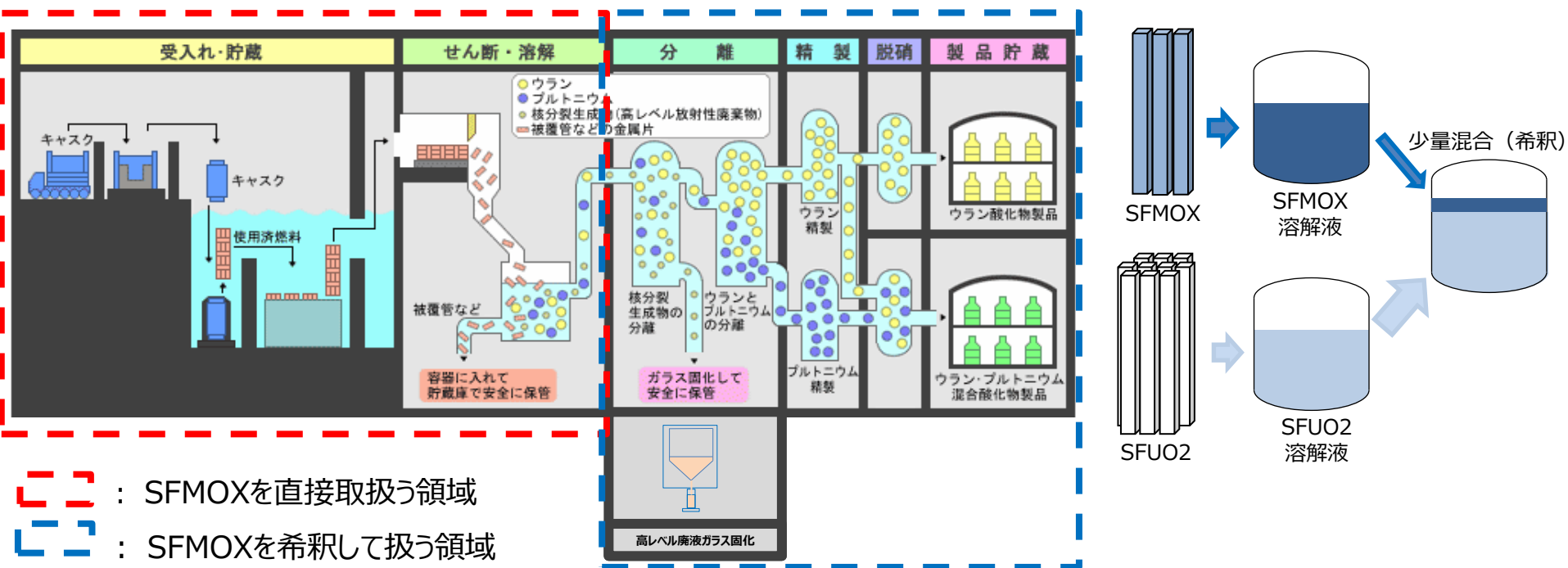


図-1 アクチノイド及び核分裂生成物の発熱量とその減衰（使用済燃料1トンHMあたり）※

注記）アクチノイドのみでは発熱量は約10倍（0.35kW⇒2.90kW）となるが、核分裂生成物の発熱量は約0.9倍（2.11kW⇒1.97kW）であり、合計すると約2倍となる（2.45kW⇒4.87kW）

背景 (2/2)

- SFMOXの再処理技術について早期に実用化の目処を立てるためには、既に実用化されている現行の再処理プロセスをベースにするとともに、SFMOX とSFUO₂との混合再処理が重要なオプションとなる。この場合、再処理プロセスの分離工程において、SFUO₂の溶解液に、SFMOXの溶解液を少量混合（以下、「希釈」とする。）することで、SFMOXの特徴を制限し、分離工程以降への影響を低減することが可能である。なお、ラ・アーグ再処理工場（仏国）、東海再処理工場（日本）では、試験的にSFMOXをSFUO₂と混合して再処理した実績があり、技術的には現行の再処理プロセスでSFMOXの再処理が可能であることが示されている。



図－2 SFMOXの再処理における希釈のイメージ

想定される課題

・SFMOXの再処理技術を確立・実用化に向けて想定される課題、課題解決に必要な技術開発項目を表－2に示す。

表－2 課題および課題解決に必要な技術開発項目

工程	想定される課題	必要となる開発項目
全体	・SFMOX再処理による安全への影響調査、評価を行う必要がある	・使用済燃料を混合再処理した場合のシナリオ評価 ・混合再処理した場合の各工程への影響評価
受け入れ、貯蔵	・SFUO₂燃料用の燃焼度測定方法がSFMOXに適用できない可能性がある	・混合再処理した場合の各工程への影響評価
せん断・溶解	・SFMOXの溶解条件、せん断条件の確立が必要 ・不溶解性残渣、ハルへのPu残存量評価および再溶解可否が不明	・未照射MOX燃料による溶解挙動評価 ・実SFMOXによる溶解挙動評価 ・残渣溶解技術開発
分離・精製・脱硝	・希釈された溶解液の抽出挙動のSFUO₂燃料との違いが不明	・残渣溶解技術開発 ・未照射MOX燃料による溶解挙動評価 ・実SFMOXによる溶解挙動評価
ガラス固化	・Ru量増加によるガラス固化体への影響および運転性能への影響が不明	・使用済燃料混合処理時におけるガラス熔融炉の運転影響調査

開発項目・内容

・前ページ表-2に記載した開発内容のうち、本事業においては開発全体のインプット条件となる開発に特化して実施する。開発項目と開発内容を表-3に示す。

表-3 本事業における開発項目・開発内容

開発項目	開発内容
1. 使用済燃料の処理に係るシナリオ評価及び各工程への影響評価	a. シナリオ評価 ➤ 使用済MOX 燃料の仕様設定 ➤ 混合処理用UO_2 燃料仕様の設定 ➤ 処理条件等のシナリオ検討 ➤ 使用済燃料の処理に係るシナリオ検討
	b. 各工程への影響評価 ➤ 各施設・設備への安全設計(遮へい、崩壊熱除去、水素掃気、臨界)への影響評価 ➤ 核計装設備(燃焼度測定装置・インラインモニタ) への影響評価 ➤ 放射性物質の年間放出量への影響評価 ➤ 設計基準事故時の被ばく線量への影響評価 ➤ 設備・機器への影響検討
2. 使用済MOX燃料の溶解挙動評価及び不溶解残渣中のプルトニウム回収技術の開発	a. 未照射MOX燃料による溶解挙動評価 ➤ 未照射MOX燃料を用いて、硝酸濃度、溶液温度、溶解時間等をパラメータに、燃料溶解データを取得 ➤ 十分なPu溶解率を達成できない場合には、さらに金属濃度条件等をパラメータとして、溶解条件の最適化を図る。
	b. 不溶解残渣中のプルトニウム回収技術の開発 ➤ 技術調査により候補技術を絞り込み、模擬残渣を使用したコールド小規模試験により技術の適用見通しを評価する。

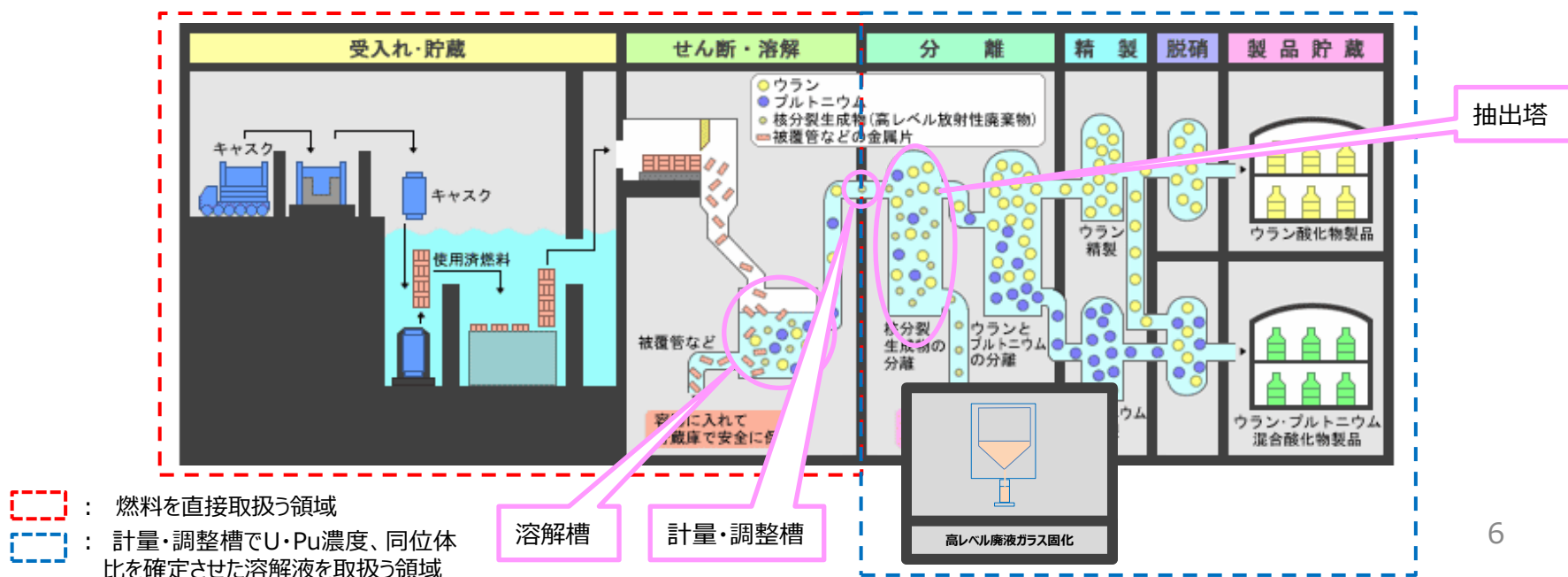
事業成果概要－シナリオ評価

再処理プロセス全体を踏まえたSFMOXのせん断・溶解条件、混合処理条件等の技術基盤を構築しており、得られた成果の一例を以下に示す。

- SFUO₂と比較して低い硝酸溶解性、Pu含有量が多いことによる臨界発生防止を考慮したSFMOX溶解条件および計量・調整槽でのSFMOX溶解液とSFUO₂溶解液の混合処理、溶解槽への硝酸供給プロセス等を考慮したSFMOX溶解液の性状等に係る知見を取得
- 上記を踏まえて、せん断・溶解、分離等の各工程で処理するU・Pu溶液、抽出廃液等の流量、濃度等に係る知見を取得

SFMOX、SFUO₂の
せん断・溶解条件

	SFMOX	SFUO ₂
せん断片 (mm)	35	35
硝酸濃度 (mol/L)	5.1	3-3.5
温度 (°C)	92	90-92
溶解時間 (h)	約7	約2



事業成果概要－各工程への影響評価

シナリオに基づく再処理プロセス各工程への影響評価を実施し、SFMOX混合処理に係る各工程の技術基盤を構築しており、得られた成果の一例を以下に示す。

[燃料貯蔵]

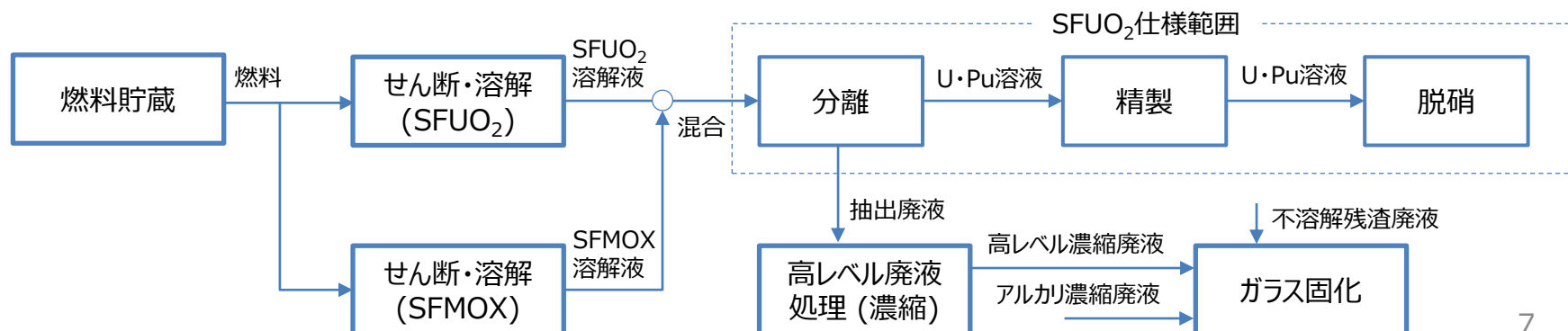
- SFMOXのPu富化度、Pu同位体組成および燃焼度、冷却期間考慮（半減期約14年のPu-241から中性子吸収効果をもつAm-241への崩壊考慮）の有無を条件とした貯蔵ラックの未臨界性評価を実施し、SFMOX臨界発生防止に係る知見を取得

[せん断・溶解]

- SFMOXの燃焼度、燃料投入量、中性子吸収材投入の有無、冷却期間考慮の有無を条件とした溶解槽の未臨界性評価を実施し、SFMOX臨界発生防止に係る知見を取得

[ガラス固化]

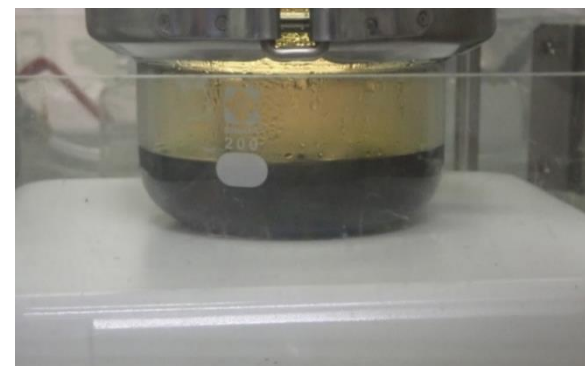
- SFMOX混合処理による高レベル濃縮廃液等の性状変化を踏まえたガラス溶融炉に供給する廃液組成、製造するガラス固化体組成を検討し、ガラス固化プロセスに係る知見を取得



事業成果概要－未照射MOXによる溶解挙動評価

未照射MOX燃料ペレットを利用した硝酸溶解試験に基づき、得られた成果の一例を以下に示す。

- 現行のプルサーマル燃料製造で採用されている製造プロセスを模擬して作製したMOXペレット（Pu富化度約13％）を対象に溶解試験を行い、溶解条件（初期硝酸濃度、溶解温度及び最終金属濃度）の違いによる硝酸溶解性の比較を行った。
- 最終的なPu溶解率は、溶解条件により大きく影響を受けず、いずれも高いPu溶解率（99％以上）となった。
- 高硝酸濃度条件及び高温条件では、見かけ上の溶解速度が増加した。



未照射MOX試料の溶解試験状況

未照射MOX燃料ペレットの溶解試験により得られたPu,U溶解率

Pu富化度 (wt%)	溶解 温度 (℃)	初期硝酸 濃度 (M)	金属濃度 (g/L)	Pu溶解率 (wt%)	U溶解率 (wt%)	備考
13	90	6.0	～250	99.6	99.9	基準条件として想定
13	90	7.0	～250	99.6	>99.9	初期硝酸濃度増加の影響
13	100	6.0	～250	99.6	>99.9	溶解温度増加の影響
13	90	6.0	～100	99.3	99.9	溶解液中金属濃度低下の影響
13	90	6.0	～150	99.5	99.9	溶解液中金属濃度低下の影響

事業成果概要－不溶解残渣中のプルトニウム回収技術の開発

残渣中に含まれる酸化プルトニウム (PuO_2) の溶解回収技術の見通しを得るため、 PuO_2 の模擬物質として酸化セリウム (CeO_2) を利用し、過酸化水素 (H_2O_2) による溶解性をコールド試験で評価した。

H_2O_2 による模擬残渣 (CeO_2) の溶解試験結果

Run	硝酸濃度 [mol/L]	H_2O_2 濃度 [mol/L]	溶液温度 [℃]	加熱時間 [分]	目視観察結果
1	3	0.5	60	120	微量の残存物あり
2	3	0.5	60	150	微量の残存物あり
3	3	0.5	70	60	ほぼ全量溶解
4	3	0.2	70	180	残存物あり
5	3	0.5	80	30	完全溶解
6	5	0.2	80	180	残存物あり



模擬残渣 (CeO_2) の溶解試験装置



Run 1 微量の残存物あり
(0.5 mol/L、60℃、120分)



Run 5 完全溶解
(0.5 mol/L、80℃、30分)

➤ H_2O_2 濃度 0.5 mol/L、溶液温度 80℃、加熱時間 30 分の条件で完全に全量溶解可能であることを実験的に確認した。