

平成28年度~令和元年度原子カシステム研究開発事業 放射性廃棄物減容・有害度低減技術研究開発

MA分離変換技術の有効性向上のための 柔軟な廃棄物管理法の実用化開発

令和2年度原子力システム開発事業 成果報告会

令和3年3月16~17日 オンライン開催

日本核燃料開発株式会社 鈴木晶大

(再委託先:九州大学·大阪大学·日立GE·JAEA)

柔軟な廃棄物管理法実用化開発の概要と分担





柔軟な廃棄物管理法実用化開発項目と年次展開



実用手法による要素技術開発(試験・解析) ⇒実用的なシステム概念仕様の構築

	開発フェーズ	F / S (含,前公募事業*)		実用化開	発(本事業)	
No	開発項目	H25~H27	H28	H29	H30	R1	
(1)	システム構築	基本概念提案	<u>実システム要</u>	要素技術評価	成立性総合評価	<u>システム概念</u> 仕様検討	システ
(2)	顆粒体製造 技術開発	るつぼ内 仮焼試験	ロータリ- 製造単7	ーキルン法 [『] ロセス開発	製造プロセス	設計·評価	ム 概
(2)	高密度化/再廃	—	高密度化プロセス開発		高密度化試験·評価		□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
(3)	液化技術開発	机上検討	再廃液化	プロセス開発	実MA定	量評価	│様│
		自然冷却成立性	高密度化源	域容効果評価	熱的成立	性確認	
(4)	貯蔵技術開発	—	放射線分	解機構評価	実化学安定	定性評価	
		—	構造材腐	食機構評価	キャニスタ健会	全性評価	
(_)	有効性評価	潜在的有害度	MA回収率	率影響評価	環境負荷低	減効果確認	
(5)		低減効果評価	MA含有燃料製造				

*前公募事業 平成25~26年度原子カシステム研究開発事業「マイナーアクチニト、分離変換技術の有効性向上のための柔軟な廃棄物管理法の研究開発」(九州大学)



(1) 柔軟な廃棄物管理システムの構築





✓早期の顆粒化開始。(なるべく多くの廃液をMA分離に繋げる)
✓現行再処理技術全体に変更を求めない。
✓MA分離技術開発方針に変更を求めない。



最適化された顆粒体の概念仕様

項目	顆粒体仕様	観点(主に試験で確認した事項)	
粒径分布	10 µm以上(99%)	製造・開封時安全確保のため、浮遊性粒子を低減 時葉時早近朝留時止のため、発熱性二素の一様公布	
組成分布	0.1mm以下	→模擬顆粒体製造試験で確認	
密度	3.5 g/cm ³		
熱伝導率	0.8 W/m/K	候旗根型体を作業して計測、別蔵時款际工作所们で確認	
残存硝酸塩割合	約30 wt %NO ₃ -	模擬顆粒体の放射線分解試験、キャニスタ腐食試験, 再廃液化試験で確認	
含水量限度	0.3 wt %以下	模擬顆粒体の放射線分解試験、キャニスタ腐食試験で確認	



(1) 柔軟な廃棄物管理システムの構築





経済性・有効性評価比較評価 →600°Cか焼(約30 wt %NO3⁻)顆粒体のシステムを選定

評価項目		成立性評価	環境負荷低減効果評価	経済性評価	備考	
	300°C	顆粒体	0	▲ 廃液からの 有機物除去装置	▲ 廃液からの 有機物除去装置	貯蔵時の可燃物質残留防止のため顆粒体製造前廃液中の有機物除去装 置の開発期間確保が必要。システム導入遅れにより、現行再処理稼動 期間に対し分離変換につなげられる廃液の割合が低下。
複数	か焼	高密度顆粒体	0	▲ 廃液からの 有機物除去装置	▲ 廃液からの 有機物除去装置	貯蔵時の可燃物質残留防止のため顆粒体製造前廃液中の有機物除去装 置の開発期間確保が必要。システム導入遅れにより、現行再処理稼動 期間に対し分離変換につなげられる廃液の割合が低下。
シュ	600°C か焼	顆粒体	0	0	0	すべての要素技術項目においてベース評価もしくはベース評価と同等
ト		高密度顆粒体	0	0	0	さらに貯蔵面積低減となるが、製造工程増加となるためオプションとする
ム 案	900℃ か焼	顆粒体	0	▲ 耐腐食炉心管材開発	▲ 残渣溶解時アルカリ 溶解設備	顆粒体製造時の炉心管材にニッケル系合金の選定・確認が必要であり、 システム導入遅れにより、分離変換につなげられる廃液の割合が低下。 再溶解時に高温のアルカリ溶融設備の追加が必要。
		高密度顆粒体	ο	▲ 耐腐食炉心管材開発	▲ 残渣溶解時アルカリ 溶解設備	顆粒体製造時の炉心管材にニッケル系合金の選定・確認が必要であり、 システム導入遅れにより、分離変換につなげられる廃液の割合が低下。 再溶解時に高温のアルカリ溶融設備の追加が必要。



(1) 柔軟な廃棄物管理システムの構築





- システム概念仕様体系
- 日本核燃料開発株式会社

顆粒体製造

(2),(3)① 顆粒体製造技術開発







(2)①② ロータリーキルン法顆粒体製造試験、顆粒体特性試験

(2)の目標:高レベル廃液の乾燥→脱硝→顆粒化を一貫して行うロータリーキ ルン法による廃棄物顆粒体製造設備を開発し、概念仕様を構築する。

実施 年度	取得すべき 運転条件	使用するロータリーキルン
H28	乾燥・仮焼条件	バッチ式(各プロセス試験) 単ゾーンヒータ
Π23	顆粒化条件	
	回転速度	
	雰囲気	Image: http:///////////////////////////////////
H30	剥離粉砕機構開発	
R1		連続式(連続プロセス試験)
	粉体輸送速度評価	
	傾斜角度評価	
	製造速度評価	
	(蒸発速度評価)	模擬廃液
	連続工程評価	顆粒体



(2)①② ロータリーキルン法顆粒体製造試験、顆粒体特性試験

各ゾーン最適化(H28,H29)⇒システム連続・統合(H30) ⇒スケールアップ性確認試験(R1)



(2)③ 廃棄物顆粒体製造技術評価(JAEA)



遠隔保守手順を含むセル内遠隔化ロータリーキルンの基本的な設計(平成30年度) キャニスタ封入を含めた製造システム全体のセル内配置検討(令和元年度)



TE-20-KE-119_R0

(3)① 顆粒体高密度化技術開発

(3)①の目標:顆粒体プレス機、及び高密度顆粒体の概念仕様を示す。

さらなる高密度貯蔵オプションとしての顆粒体の高密度化 設備仕様値· 項目 考え方 運転条件 最大荷重出力 セル内実績荷重 20ton 径14.4cmで、圧力 プレス荷重 8.2 ton 0.05ton/cm²でプレス プレス温度 高密度化試験で決定 250 °C 細径キャニスタ内径 プレス径 14.6cmからクリアランス 14.4cm 0.1cm(片側)を考慮 厚さ4cmの高密度顆粒 体が成型できる長さ ストローク 10cm →高密度化前の充填率 (約44%)から設定 70L/h処理のため、4サ プレス時間 100秒 イクル/h以上実施 径14.4cm、厚さ4cmの高 顆粒体重量 2.3 kg 密度顆粒体 キャニスタへ 顆粒体の破損や装荷異 横置き 常を起こしにくい方法 押込み装荷 の装荷方法



遠隔保守に対応したセル内顆粒体プレス機

(4)① 廃棄物顆粒体貯蔵設備設計(日立GE)

TE-20-KE-119_R0 **NFDD** Power the Future

(4)の目標:熱的成立性・放射線分解・キャニスタ腐食を検討し貯蔵設備設計を行う。



(4)① 廃棄物顆粒体貯蔵設備設計(日立GE)



廃棄物顆粒体貯蔵設備の仕様

No.	項目	単位	ガラス固化体 貯蔵設備	顆粒体 貯蔵設備(案)	備考
1	廃棄物充填率	%	25	44	42cm 15cm
2	キャニスタ本数	本	1	7	
3	キャニスタ内径	cm	42.0	14.6	
4	キャニスタ肉厚	cm	0.5	0.2	ガ 🔨 / 高発熱密度
5	キャニスタ外径	cm	43.0	15.0	5 2 キ 日 →
6	キャニスタ内高	cm	123	123	
7	充填高さ	cm	108.3	108.3	
8	充填物比重	g∕ cm³	2.67	3.5	
9	収納管内径	cm	46.0	15.4	
10	収納管肉厚	cm	1.0	0.3	顆粒体 収納管
11	通風管内径	cm	58.0	58.0	キャニスタ 🕘 🎯
12	冷却空気温度	°C	<65	64.9	
13	顆粒体最高温度	°C	<500	225.5	通風管
14	通風管当たりの廃棄物重量	kg	901	1759	□
15	同上相対値	—	1.0	1.95	



(4)② 貯蔵廃棄物の材料化学安定性評価(大阪大学)

<u>顆粒体の長期化学変化のうち、放射線分解(特にγ線)でのガス発生が最大の影響と考えた</u>



- ・放射線分解によるH2の発生量はNOxの発生量より2桁以上多い
- ・含水率0.3%の最大H2発生量はキャニスタ内圧15気圧に相当

顆粒体貯蔵

(4)③ 貯蔵用キャニスタの健全性評価(九州大学)





•50年間の腐食減肉量は最大でも約53µm



(4)③ 貯蔵用キャニスタの健全性評価(九州大学)



No	項目	単位	評価結果	備考
1	キャニスタ内径 d	mm	146	顆粒体充填率44%の場合
2	キャニスタ内圧P	N/mm ²	1.5	<u>含水率0.3%</u> の水分がすべて放射線分 解により水素化⇒15気圧
3	引張強度 σ	N/mm ²	520	SUS304
4	安全率 f	_	3	静荷重の場合、鋳鉄4、鋼3
6	耐内圧肉厚 t ₁	mm	0.63	$t_1 = d*P/2\sigma*f$
7	耐衝擊肉厚 t ₂	mm	0.35	$t_2=5*(\rho c/\rho g)*(146/420)^2$ $\rho g=2.67, \rho c=3.5*0.44=1.54$
8	腐食減肉δ	mm	0.053	50年間の腐食減肉 53µm
9	最終肉厚 t	mm	0.68	(耐内圧vs耐衝撃)最大厚+腐食量

・キャニスタ肉厚設計値2mmで十分である。



(3)② 廃液再生技術開発(JAEA)



(3)②の目標:顆粒体の再溶解試験·MA抽出試験にて、再溶解操作要領を示す。



✓ 将来設計が行われる実用分離プラント内に、本法再廃液化システム及びSELECTプロセスの 分離工程を配置

- 1000年後の有害度低減のためにAm及びCmを回収
 横擬顆粒体を硝酸溶解
 MAの99%が溶解液に移行(Am,Cmトレーサ試験で確認)
 残渣にMAは残らず、白金族が分離
 - 酸濃度調整
 - MA・RE 一括回収プロセスに供給
- MAの抽出効率が再処理ラフィネートの
 - 処理と同等であることを確認

1) Y. Ban, et.al., Solvent Extraction and Ion Exchange, Vol. 37, No. 1, 27–37 (2019)

(5)①環境負荷低減効果評価(日立GE)



(5)①の目標:柔軟な廃棄物管理法の導入による、廃棄物処分の環境負荷低減 効果、及びガラス固化体数低減による経済性向上効果を示す。

潜在的有害度(炉取出し1,000年後)



地層処分場面積(硬岩盤、横置方式) 緩衝材(ベントナイト)温度<100℃で最小値を算出



→柔軟法で処分場面積を37~49%低減

(5)②MA/FP発熱量低減効果評価(日立GE)



(5)②の目標:柔軟な廃棄物管理法を現行再処理廃液に適用するのみならず、 ADS/FBRサイクルの廃液中期保管法として導入し、遅延サイクル効果を示す。



まとめ



- ・現行再処理の高レベル廃棄物にMA分離変換技術の適用を可能と する柔軟な廃棄物管理法について、実用手法による要素技術開発 を行い、システム概念仕様を構築した。
- ・各実施項目別には、以下の特記事項が挙げられる。
 - ▶ 廃液顆粒化の国産技術の取得
 - > 顆粒体製造用短尺ロータリーキルン概念設計及びコンパクトな設置
 - ≻ 大面積高密度顆粒体によるキャニスタへの充填率の大幅な向上
 - > 吸湿物質の貯蔵時の水素等発生の評価技術の取得
 - > 顆粒化・再廃液化操作による分離阻害元素の残渣への保持
 - 潜在的有害度や処分場面積の低減、及び貯蔵面積の低減によって、 貯蔵・処分の経済性を大幅に向上
 - ➢ FBR/ADS燃料製造時の発熱量の大幅な低減

成果公表等 論文発表6件、国際会議発表10件、特許出願1件 日本原子力学会シリーズ発表36件、他国内学会発表5件	
---	--