

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 (低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討) 概要

令和元年11月25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
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子燃料工業株式会社

目 次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. 当省(国)が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果
8. 外部有識者(評価検討会)の所見及び同所見を踏まえた改善点等
9. 産構審評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

1. 事業の概要

概 要

低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除染に伴い発生する廃液等のガラス固化への課題を整理し、ガラス固化の前処理としてのウラン等の除染技術及び除染結果を精密に測定する技術の開発を目的とする。

実施期間

平成26年度～平成29年度（4年間）

実施形態

国からの直執行
（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）

執行額

年度	H26FY 執行額	H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	H26～H29FYの 総執行額
執行額(億円)	0.60	1.03	1.54	0.59	3.77

注) 端数処理のため合計が一致しない場合がある

実施者

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(測定技術開発)
原子燃料工業株式会社(除染技術開発)

実施リーダー

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門
人形峠環境技術センター 環境保全技術開発部 部長 植地 保文

原子燃料工業株式会社 燃料技術部 グループ長 青木豊和

1. 1 目的

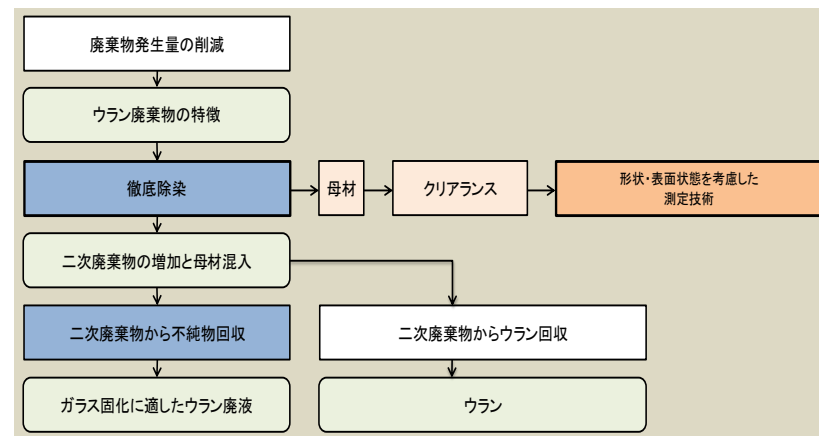
- ・原子力発電所や再処理施設等の操業・廃止時の除染等により発生する低レベル放射性廃液等のガラス固化処理については、諸外国では実用化が進んでいる。我が国としても、低レベル放射性廃液等をより安定に、高含有率でガラス固化する技術の可能性を検討しておくことが重要である。
- ・特に、ウランを取り扱う施設の操業・廃止時に発生する低レベル放射性廃棄物等については、ウランの放射能減衰が期待できないことから、金属等の母材から完全にウランを除去することが重要となる。除染廃液にはウラン等と共にはぎ取られた母材が過剰に含まれることとなり、廃液のガラス固化体の量が不必要に増大するとともに、その安定性にも懸念が生じる。
- ・このため、除染の際に母材の混入量を極力抑え、除染のための薬品等の二次廃棄物の発生を最小化するウラン除染技術を開発するとともに、除染の効果を確認するため、母材からのウラン等の除染結果を精密に測定する技術を開発する。
- ・こうした低レベル放射性廃棄物中のウラン等の処理技術の向上により、ガラス固化体の発生量を減少させることが可能であり、ひいては処分場の面積を縮減でき、将来世代への負担を軽減することが期待される。
- ・本事業では、ウラン等を含む低レベル放射性廃棄物の処理技術について、国内外の文献等の調査、それらを踏まえたウラン等の除染技術の検討、ウラン等を除去した母材に残留しているウラン等の測定技術の開発等を行い、ガラス固化の前処理技術としての基盤を整備する。

＜政策的位置付け＞

本技術開発は、「廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、低レベル放射性廃棄物も含め、発生者責任の原則の下、原子力事業者等が処分に向けた取組を進めることを基本としつつ、処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進するなど、安全確保のための取組を促進する。」としたエネルギー基本計画に基づくものである。

1. 2 技術開発の概要(1/2)

- ・ウランを取り扱う施設では、ウラン酸化物、もしくはウランフッ化物の粉体が表面に一様に付着した金属の低レベル放射性廃棄物が多量に発生する。この中で、少量ではあるものの、金属表面の付着物、金属表面の腐食層、機械による浸食層等にウラン化合物が取り込まれている器材が存在する。
- ・ウランは半減期が極めて長く、放射能の減衰が期待できないという特徴があるため、ウラン等を含む金属の低レベル放射性廃棄物の発生量を削減するためには、除染等によりウラン等を母材から除去し、クリアランス後に母材を再利用することが有効な手段の一つとなる。
- ・このため、母材に付着したウラン等を確実にクリアランスレベル(1Bq/g)以下まで除染できることが求められる他、除染性能と合わせて、除染過程で生じる二次廃棄物の発生量及び廃液組成についてもガラス固化への適応性の観点から考慮することが重要となる。
- ・また、プラント機器や設備の更新等により発生した除染及び測定対象となる器材には、平板や大口径の円筒等の単純形状の物ばかりではなく、バルブやフランジ等の複雑な形状をしている物も存在する。
- ・さらに、材質的な特徴としては、プラント機器や配管等の炭素鋼の他、遠心機等の部品であるアルミニウムやステンレス、ウラン燃料の被覆管のジルコニウム合金等の特殊鋼等がある。
- ・以上のことから、器材の形状・材質や表面状態等の特徴を考慮することが重要となる。



ウラン等を含む金属の低レベル放射性廃棄物の処理技術の一般的な考え方

1. 2 技術開発の概要(2/2)

事業概要の補足説明資料

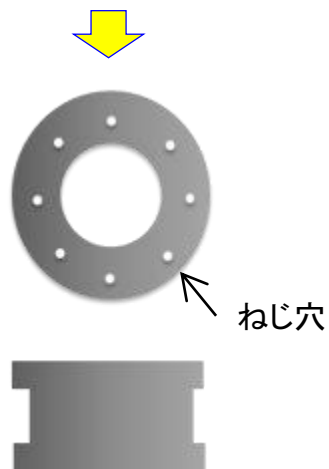
ウランが付着している金属廃棄物の一例



遠心機部品等



プラント機器・配管等



遠心機部品のイメージ

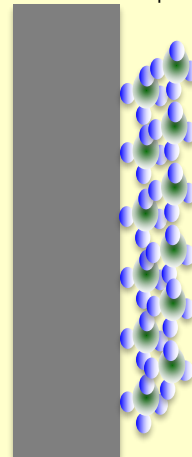


ウラン燃料の被覆管

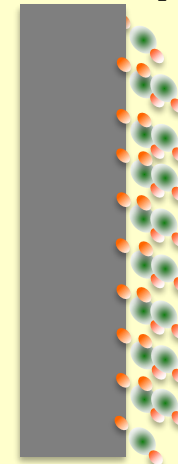
金属表面のウランの付着状態

一般的な表面汚染のイメージ

フッ化物(UF_4 等)

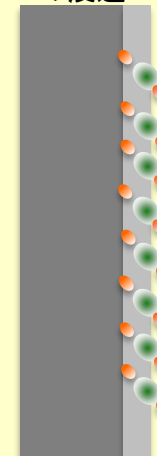


酸化物(UO_2)

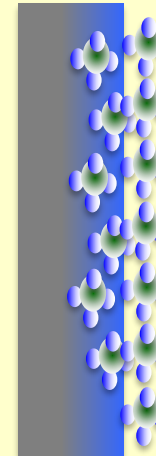


特異な表面汚染のイメージ

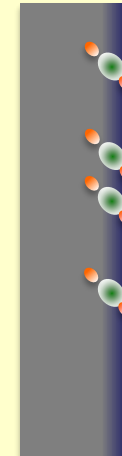
表面付着物
への浸透



腐食層へ
の浸透



機械浸食層
への浸透



1. 3 課題設定(1／2)

- ・除染及び測定対象の特徴等を考慮し、以下に示した3点の技術課題を設定して、これらの課題を解決するために必要となる調査・検討等を行う。

(1) 低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除去試験等(除染技術開発)

【課題1: 金属からのウラン等の除染技術】

- ・ウラン等を選択的に溶解し、母材の混入を極力避けることが可能な酸浸漬法及びウラン等を効率的に切削することが可能なブラスト法に関する調査・検討等を行う。
- ・また、金属表面のウラン等の付着状態を考慮し、器材の発生場所や保管環境等を踏まえ、金属表面のウラン等による汚染状態を再現した上で、除染技術の適用性を評価する。

【課題2: 除染廃液からの不純物分離技術】

- ・課題1の除染技術についての調査・検討等の結果を踏まえ、除染廃液からの母材及びウラン等の分離・回収技術、並びに除染剤の再利用に適用可能な分離・回収技術について、調査・検討等を行う。
- ・なお、分離・回収技術の開発では、母材、ウラン、除染剤等の回収、再利用により、二次廃棄物の発生量を削減することを考慮する。

(2) クリアランスレベルのウラン等の測定技術に係る試験等(測定技術開発)

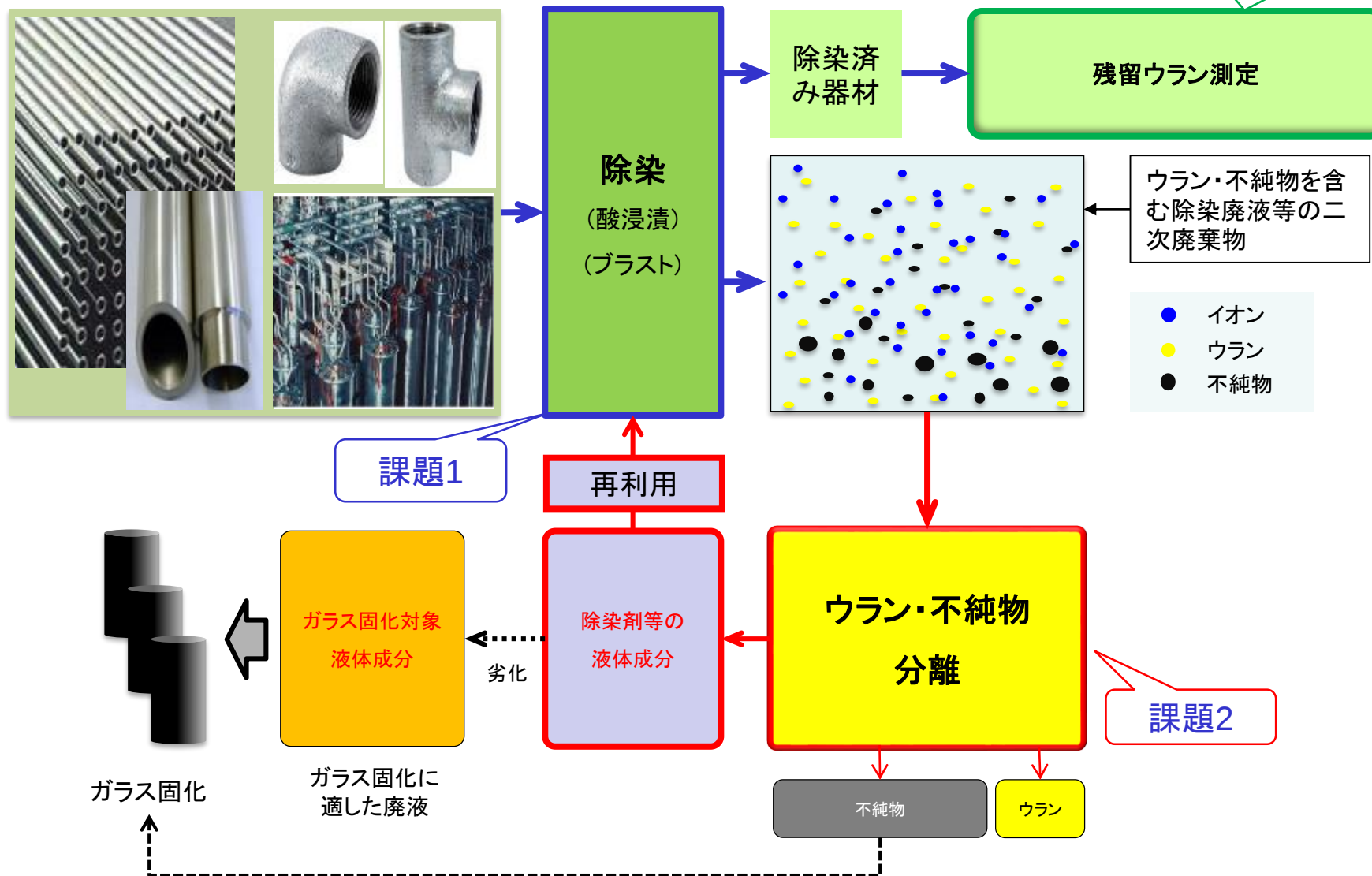
【課題3: 除染済み母材の残留ウラン測定技術】

- ・バルブやフランジ等の複雑な形状の器材に対するクリアランスレベル(1Bq/g)以下の高精度なウラン等の測定では、 α 線が遮蔽されるため、これまでに実用化されている α 線を用いたクリアランス測定の適用が困難と考えられる。
- ・このため、クリアランス対象物全体の約半分を占めている複雑形状の器材の高精度な測定ができなければ、金属の低レベル放射性廃棄物のリサイクルは限定的なものとなる可能性がある。
- ・そこで、測定対象の材質及び形状的な多様性や、除染後にわずかに残留しているウラン等の分布状態、母材の発錆等の表面状態を考慮し、クリアランスに求められる精度で、 α 線による測定(日本原子力研究開発機構の例では約30分)と同程度の実用的な時間で測定することができる γ 線による測定手法の技術的な成立性について調査・検討を行う。

1. 3 課題設定(2/2)

技術的な課題の位置づけと、除染フローの関係

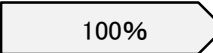
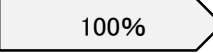
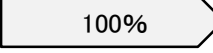
課題3



2. 事業アウトカム

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
1. 除染技術開発 ○低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除去試験等 【課題1: 金属からのウラン等の除染技術】 【課題2: 除染廃液からの不純物分離技術】 ・ガラス固化の前処理として、母材の混入量を極力抑え、薬品等の二次廃棄物の発生を最小化するウランの除染・分離技術を開発する。 2. 測定技術開発 ○クリアランスレベルのウラン等の測定技術に係る試験等 【課題3: 除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・確実にクリアランスするため、母材からのウラン等の除染結果を精密に測定する技術を開発する。 ※除染技術開発及び測定技術開発により、2050年頃までに発生するウラン廃棄物のうち、約半数を占める金属のクリアランスが可能であり、以下の効果が見込まれる。 ・クリアランスの促進 ・ウラン廃棄物の物量低減 ・放射性廃棄物処分場の必要面積の縮減 ・最終処分場の逼迫時期の延命 ・新たな評価手法による検認技術の運用 ※事業の実施にあたっては、将来にも亘る実効性のある研究成果を得るために、国内のウラン燃料加工施設やウラン濃縮施設等から発生する低レベル放射性廃棄物の現状を十分に踏まえる。	計画: 事業終了時 【金属からのウラン等の除染技術】 ・金属の低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除染技術として、金属表面に残留しているウラン等を選択的に除去し、母材の混入を極力避けることが可能な酸浸漬法及び表面に残留するウラン等を効率的に切削することが可能なブラスト法の技術的実証。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・除染廃液からの母材及びウランの分離・回収技術、並びに除染剤の再利用に適用可能な分離・回収技術の実証。 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・測定対象の材質及び形状的な多様性や、除染後にわずかに残留しているウラン等の分布状態、母材の発錆等の表面状態を考慮し、クリアランスに求められる精度で、α線による測定(日本原子力研究開発機構の例では約30分)と同程度の実用的な時間で測定することができるγ線による測定評価手法の確立。	実績: 事業終了時 【金属からのウラン等の除染技術】 ・最適な除染方法として選定したブラスト除染及び酸浸漬除染について、除染条件を最適化した除染試験を実施し有効性を確認。特に、ブラスト除染は金属形状に対する柔軟性が高く90%以上の金属廃棄物に適用可能。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・酸除染では、中和・沈殿反応により容易に酸を除去可能。 ・ブラスト除染では、除染・分離統合システムを開発。研磨材と水の再利用により二次廃棄物の発生を抑制できることを実証。 ・二次廃棄物からのウラン回収は工程スラッジの処理プロセスの中で実施することが合理的。 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・クリアランス測定装置を製作した。模擬ドラム缶を用いた測定データを取得し、かさ密度1.0g/cm³程度の測定対象について、放射能濃度0.1Bq/g(NU)の測定を60分以内で実現可能であることを確認した。 ・事業終了後も継続して、国内のウラン燃料加工施設やウラン濃縮施設等から発生する低レベル放射性廃棄物の現状を踏まえて電力共通研究を実施。また、標準化(原子力学会)に向けた作業を実施中。 ※新たな評価手法を運用するとき、実際の放射性廃棄物(金属鋼材)をドラム缶上下で大きな偏りが無く、且つかさ密度が大きくなり過ぎないように収納することが課題。	

3. 事業アウトプット（除染技術開発）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)	進捗度
1. 除染技術開発 ○低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除去試験等 【金属からのウラン等の除染技術】 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・国内外で取組まれている低レベル放射性廃棄物からのウラン等の除去技術を調査し、物理的・化学的な除染・分離、その適用範囲、その際に発生する二次的な廃棄物の発生量、固化ガラスの安定性への影響に係る技術の特徴を整理する。	(事業開始時) 【金属からのウラン等の除染技術】 文献等により、最適な除染方法の選定及び除染で発生する二次廃棄物の特徴を調査する。選定した除染方法による予備的な除染試験を行い、基礎データを得る。 【除染廃液からの不純物分離技術】 文献等により、除染廃液からの母材及びウランの分離、除染材の再利用に適用可能な不純物分離技術を調査する。	【金属からのウラン等の除染技術】 文献調査により、酸浸漬法及びウエットブラスト法を有効な除染候補として絞り込むとともに、予備的な除染試験を行い、二次廃棄物の特徴を含めた基礎データが得られた。 【除染廃液からの不純物分離技術】 文献調査により、酸浸漬の廃液は化学的分離、ウエットブラスト法の廃液は物理分離が有力な候補となりうることが示された。	 100%
	(中間評価時) 【金属からのウラン等の除染技術】 ・酸浸漬法及びウエットブラスト法による除染試験を行い、最適条件を見出す。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・ウエットブラスト法の模擬溶液を用いた小規模なサイクロン分離機による分離試験を行い、基礎データを得る。	【金属からのウラン等の除染技術】 ・除染試験により、酸浸漬法の最適条件及びウエットブラスト法の最適条件に関するデータを取得した。この条件を実用化における除染条件とすることとした。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・ブラスト研磨材と金属表面の研削屑の分離に係る基礎データを取得し、不純物分離に係る技術的見通しを得た。	 100%
	(事業終了時) 【金属からのウラン等の除染技術】 ・平成27年度までの技術開発により、主要技術としての除染技術に関する開発目標は達成されたことから、平成29年度に計画している統合システムにおいて、実廃棄物サイズの試料に対する除染効率等を確認し、実規模での技術的成立性を評価する。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・平成27年度に技術的見通しが得られたサイクロン分離機による分離について、実用的な廃液量を処理可能な実規模スケールでの試験を実施し、実規模での技術的成立性を評価する。	【金属からのウラン等の除染技術】 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・実廃棄物を想定した模擬廃棄物を用いて、除染から分離までを行う実規模の統合システムを設計・製作。 ・模擬廃棄物を用いて実運用を想定した試験を実施。 ・試験結果から除染性能及び二次廃棄物の分離性能を評価し本装置の技術的成立性を実証。 ・なお、二次廃棄物はガラス固化可能であることを確認(金属100トン当たりガラス固化体12本程度)。	 100%

3. 事業アウトプット（測定技術開発）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)	進捗度
2. 測定技術開発 ○クリアランスレベルのウラン等の測定技術に係る試験等 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・国内で多量に発生している複雑形状の金属廃棄物の特徴を踏まえ、ウラン等の除去後の母材に残留したクリアランスレベルのウラン等の検出が可能となる高感度なγ線測定手法を開発する。	(事業開始時) 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 γ線測定手法への除染方法の影響評価試験を行い、γ線によるウランの定量法の成立性を検証する。 クリアランス対象物の形状やウラン等の付着状態の違いによる遮蔽効果等を考慮したモデルを検討する。	【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 試験及びシミュレーションにより、γ線測定手法に影響する酸浸漬法による除染後の母材表面のU-238とPa-234mの残留状況に関わるデータを取得し、γ線によるウランの定量法の成立性を確認した。 シミュレーションにより、線源の空間的な偏りとγ線遮へい状況が測定対象物の放射能の評価結果へ与える影響についてモデル化してデータを取得した。	100%
	(中間評価時) 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・γ線測定手法への除染方法の影響評価試験を行い、解析結果をデータベース化する検討を行う。 ・線源の空間的な偏りとγ線遮へい状況が、測定対象物の放射能の評価結果へ与える影響について、シミュレーション及び模擬コンテナ等を用いた測定試験を実施し、散乱γ線等価モデル法の適用の妥当性を検証する。 ・ウラン燃料加工施設等におけるクリアランス測定装置設置場所の調査、複数位置測定を模擬した装置によるγ線の効率的な測定を実現するための検出器配置を調査する試験等を実施し、クリアランス測定装置の仕様を決定する。	【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・酸浸漬法によるウラン化合物、トリウム化合物の溶解度のシミュレーションによる放射平衡状態に関するデータを取得し、データベース化を検討した。 ・シミュレーション及び模擬コンテナ等を用いた測定試験により、各種データを取得した。これにより、散乱γ線等価モデル法適用の妥当性を確認した。 ・各施設でのバックグラウンド測定データを解析し、遮へい体の厚さを設定した。また、既存のドラム缶測定装置の測定データから検出器の台数を設定した。これらの結果をもとに、クリアランス測定装置の仕様を決定し、概念設計を終了した。	100%
	(事業終了時) 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・ドラム缶型容器を対象としたクリアランス測定装置を製作し、定量性能を評価する。実用的な測定時間(60分以内)で、クリアランスレベル(1Bq/g以下)の残留ウランの測定が可能であることを実証する。	【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・クリアランス測定装置を製作し、模擬ドラム缶を用いた測定試験により、各種データを取得した。これにより、かさ密度1.0g/cm³程度の測定対象について、放射能濃度0.1Bq/g(NU)の測定を60分以内で実現可能であることを確認した。	100%

3. 1 成果の概要【除染技術開発】(1/4)

除染・分離統合システム装置の開発

- 除染装置(SUS研磨材による湿式ブラスト)及び分離装置(サイクロン、遠心分離、磁気分離)を統合
- 得られた知見に基づき、実規模装置を設計・製作。模擬ウランを付着させた金属(模擬廃棄物)を用いて、実運用を想定した除染試験を実施

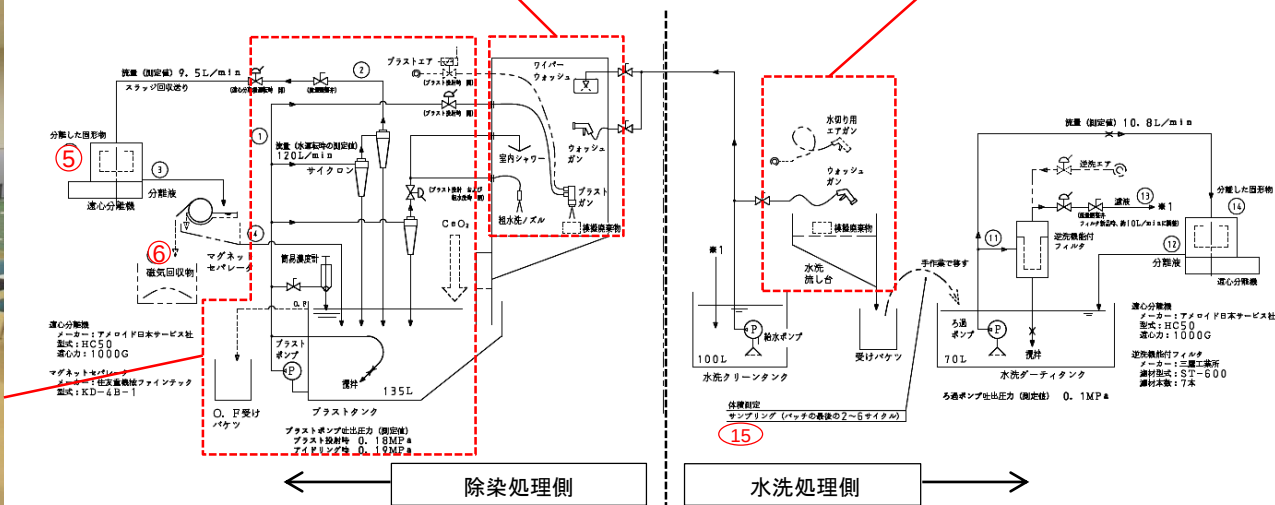


図 除染・分離装置の回路図

3. 1 成果の概要【除染技術開発】(2/4)

除染・分離統合システム装置の性能

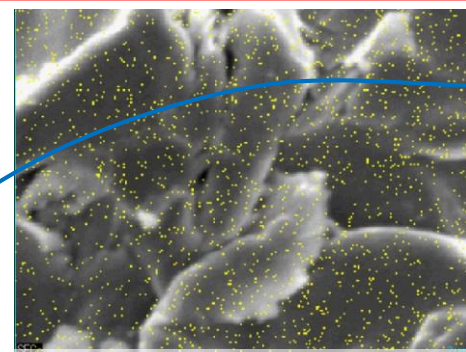
➤ ブラスト処理後の模擬廃棄物を水洗処理し試料表面の二次汚染状況を評価

- ・ クリアランス基準(1Bq/g)を十分下回ることを確認
- ・ 再利用水(クリーンタンク水)を用いても純水の場合と有意な差なし

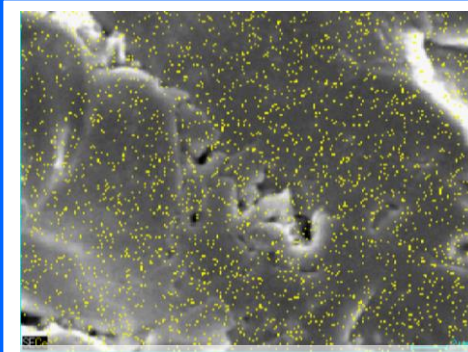


図 ブラスト処理後の二次汚染の分析結果

※1: 汚染源として濃縮度5wt%のウラン(ECGU)を仮定したとき、クリアランスレベルである1Bq/gに相当する値。表面(深さ10μm)の模擬ウランの比率を、対象金属全体に対する比率(密度)に換算することにより算出。



試験開始前
(最終水洗水: 純水)
(模擬ウラン投入前のB.G.相当レベル)



バッチNo.8終了後
(最終水洗水: クリーンタンク水)
(B.G.を含む)

写真 ブラスト処理後の二次汚染の観察結果

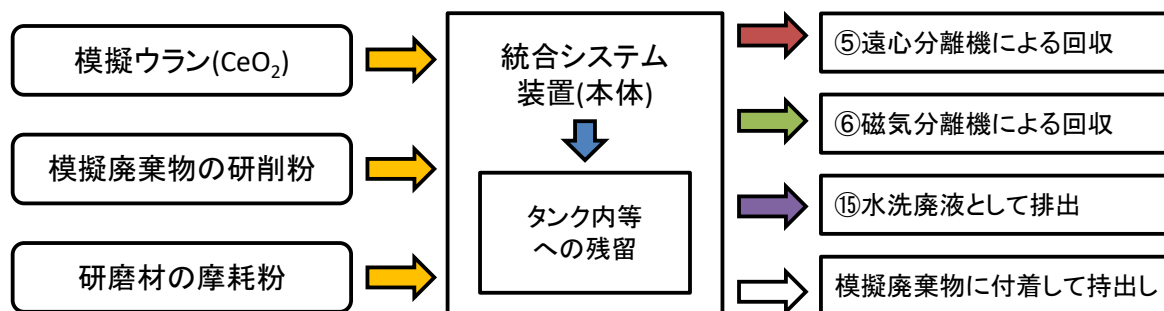
(黄点はEDSIによるCe検出位置。

保守側となるよう密度が高い範囲のみを意図的に選択)

3. 1 成果の概要 【除染技術開発】(3/4)

除染・分離統合システム装置の性能

- 物質収支を測定し二次廃棄物(模擬廃棄物の研磨粉、及び研磨材の摩耗粉)の回収能力を評価 ⇒ **二次廃棄物の99%が回収可能**



	項目	収支	
		g	%
投入	模擬ウラン(CeO_2)	251	6
	模擬廃棄物の研削粉	2,497	59
	研磨材の摩耗粉※	1,461	35
	計	4,208	100
排出	⑤遠心分離器による回収	4,131	98
	⑥磁気分離機による回収	36	1
	⑮水洗廃液として排出	41	1
	模擬廃棄物に付着して持出し	0	0
	計	4,208	100

※研磨材の摩耗粉の発生量は測定できないため、(排出量の総和)－(模擬ウランの投入量)－(模擬廃棄物の研削粉)から算出

3. 1 成果の概要【除染技術開発】(4/4)

酸浸漬法及び湿式ブラスト法の比較

	二次廃棄物の性状・物量等について			実施コスト等
	特徴	ガラス固化への影響	ウラン濃度低減 (ウラン回収)	
酸浸漬法	主成分はギ酸、硫酸、Fe、Crであり、イオン種、固形物の両方を含有。	廃液処理の観点から、ギ酸を用いることが最適(H_2O_2を添加し$\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$に分解・除去し、焙焼等により酸化物に変換しガラス固化材料とできる。)	UO_2付着量を過大に仮定した場合でも、廃棄物100tあたりのウラン量は20kg程度。 - Fe、Crは、工程スラッジの代表的な成分の一つである。	- 酸化膜を考慮した場合、1バッチ45kgあたり3hr程度での処理が可能※1※2。 - ほぼ全ての金属廃棄物に適用可能。 - 除染効率は反応槽の大きさに大きく依存。
湿式ブラスト法	主成分は、Fe、Crであり、固形物のみを含有。	固形金属は焙焼等により酸化物に変換し、ガラス固化材料とできる。		- 廃棄物180kgあたり3hr程度での処理が可能※1※3。 90%以上の金属廃棄物に適用可能(切断等を行えば、ほぼ全量に適用可能)。
総合評価	—	<u>何れの除染方法でも適切な前処理によりガラス固化に適合する成分とすることが可能。</u>	- 発生するウラン量は少ない。 - なお、ウラン濃度の低減が必要な場合には、<u>工程スラッジの処理プロセスの中で実施することが合理的。</u>	除染能力に相違はあるが、<u>何れの除染方法でもクリアランス除染への適用が可能。</u>

※1: 廃棄物形状は、H鋼(200x200x800($t_1=t_2=12$))、表面積 0.915m^2 /本)を用いて試算。

※2: 酸浸漬1バッチにおいて、300x300x1000 (=90L)の反応槽でH鋼廃棄物1本の処理すると仮定。

※3: 湿式ブラスト法における除染効率は $0.02\text{m}^2/\text{min}$ と仮定した。

3. 2 成果の概要 【測定技術開発】(1/2)

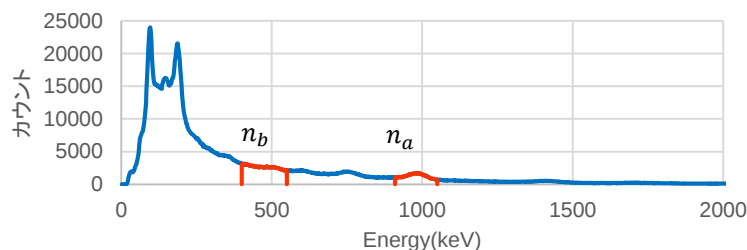
ドラム缶型容器を対象としたクリアランス測定装置を製作した。このとき、バックグラウンド測定データ等を解析して、クリアランス測定装置の仕様(NaI検出器の台数や遮へい体の厚さ等)を決定した。ウラン定量性能を向上させるため、等価モデル法を適用した。

- ウラン定量誤差を低減するため、線源偏在等を考慮することが必要である。クリアランス測定装置のデータに等価モデル法を適用し、エネルギーの異なる2種類の γ 線の計数比から線源分布等を推定した。

クリアランス測定装置と等価モデル法適用



	仕様
検出器	NaI検出器:6台 (3×5×16インチ)
遮へい体	10cm厚の鉄
回転台	10rpm



異なるエネルギーでの γ 線の減弱の差(線源の分布に対応)を表す $X_{geometry}$ を定義した。この値は n_a と線形関係が見られる。定数 c は各エネルギーの検出効率等の比に対応する。

$$X_{geometry} = \frac{1}{\left(\ln\left(1/\left(\frac{n_a}{n_b} \times c\right)\right)\right)^2}$$

線源の分布が変化したとき、計数率は $X_{geometry}$ と係数 p, q で線形近似できる。未知の放射能濃度 A で計数率 n_a' が測定された場合、放射能濃度 A_0 で計算した係数 p, q を使って A を計算できる。

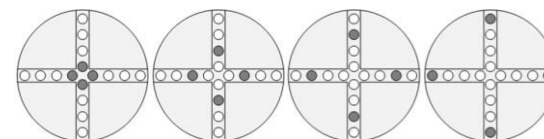
$$A = n_a' \times \frac{A_0}{p \cdot X_{geometry} + q}$$

実測データによる検討例

模擬ドラム缶の線源配置と検量線設定

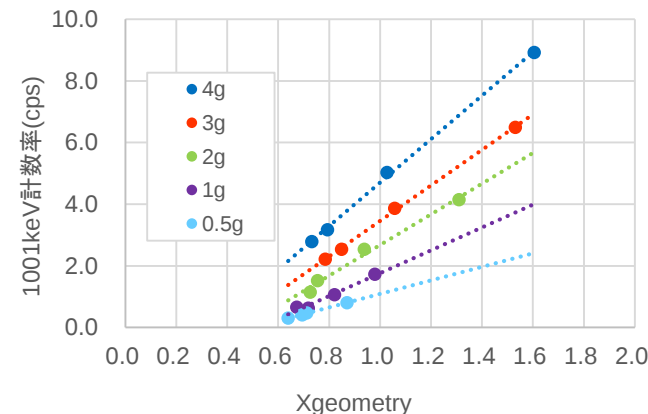
基本の線源位置

クリアランス測定装置で天然ウラン(4g, 3g, 2g, 1g, 0.5g)を基本の線源位置に配置した模擬ドラム缶を測定した。測定時間3600s、模擬ドラム缶重量215kgである。



検量線設定

測定データから $X_{geometry}$ を計算し、対応する1001keV計数率で検量線を設定した。



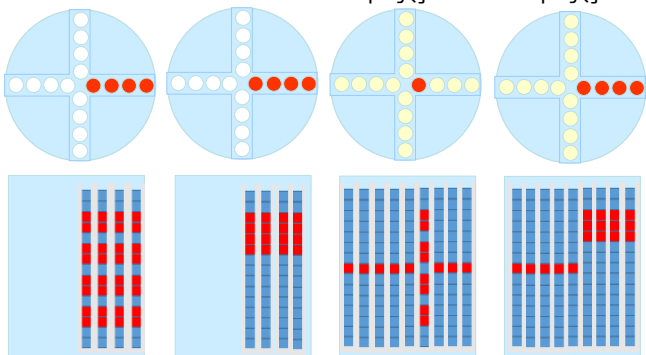
3. 2 成果の概要 【測定技術開発】(2/2)

クリアランス測定装置の定量性能を評価した。実用的な測定時間(60分以内)で、クリアランスレベル(1Bq/g以下)の残留ウランの測定が可能であることを実証した。

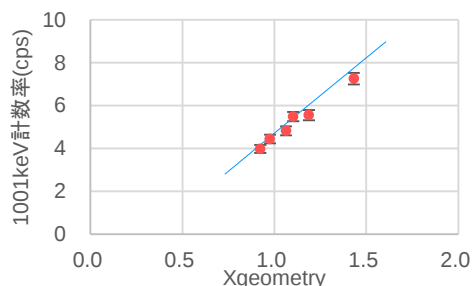
- 天然ウランを偏らせて配置した模擬ドラム缶を用いた測定試験で γ 線測定データを取得した。模擬ドラム缶では、線源のx,y方向の偏りやz方向の偏りを検討した。ウラン量を正しく評価するため、1001keVの γ 線と400~600keV付近の散乱 γ 線の間の関係を用いて線源の偏りを補正した。(散乱 γ 線等価モデル法)
- かさ密度1.0g/cm³程度の測定対象について、放射能濃度0.1Bq/g(NU)の測定を60分以内で実現可能であることを確認した。
- 散乱 γ 線等価モデル法を用いたクリアランス評価方法の標準化(原子力学会)に向けた作業を実施中。

模擬ドラム缶の線源配置の例

xy平面不均等 z軸方向不均等 均一+xy平面不均等 均一+z軸方向不均等



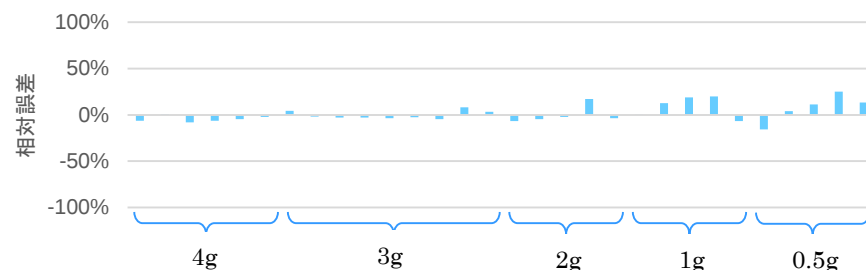
検量線と偏った線源配置の測定データ



ウラン4gを配置した例を示す。線源位置が変わると測定される γ 線計数率が変化する。散乱 γ 線等価モデル法では、線源分布等を推定するため、定量性能が向上する。

ウラン定量の相対誤差

かさ密度1.0g/cm³程度の測定対象では、天然ウラン放射能濃度0.06Bq/gの測定を60分で、相対誤差25%程度で実現できると考えられる。



クリアランス評価方法の標準化

標準化の活動状況

事業終了後、電力共通研究を実施するとともに標準化(原子力学会)に向けた作業を実施中。

	2019年	2020年	2021年
標準委員会、原子燃料サイクル専門部会等審議		▼	
U・TRUクリアランスレベル検認分科会	▼ 3/29 ▼ 6/13 ▼ 8/21 ▼ 10/24	▼	
U・TRUクリアランスレベル検認分科会作業会	▼ 5/17 ▼ 9/2		

3. 3 終了時評価(本事業の実績)

① 金属からのウラン等の除染技術(課題1)

➤クリアランスに向けた除染方法として、酸浸漬法及び湿式ブラスト法の技術的成立性を確認。

② 金属除染廃液からの不純物分離技術(課題2)

➤二次廃棄物の発生を抑制する方法について技術的成立性を確認。

➤特に、ブラスト除染では研磨材と水の再利用、研磨材摩耗粉及び母材研削粉の回収を実現(除染・分離統合システム装置を用いた試験による)。

➤なお、二次廃棄物からのウラン回収を行う場合は、ウラン加工施設等の工程から発生するスラッジの処理プロセスの中で実施することが合理的。

⇒令和元年度からの受託事業にて開発中

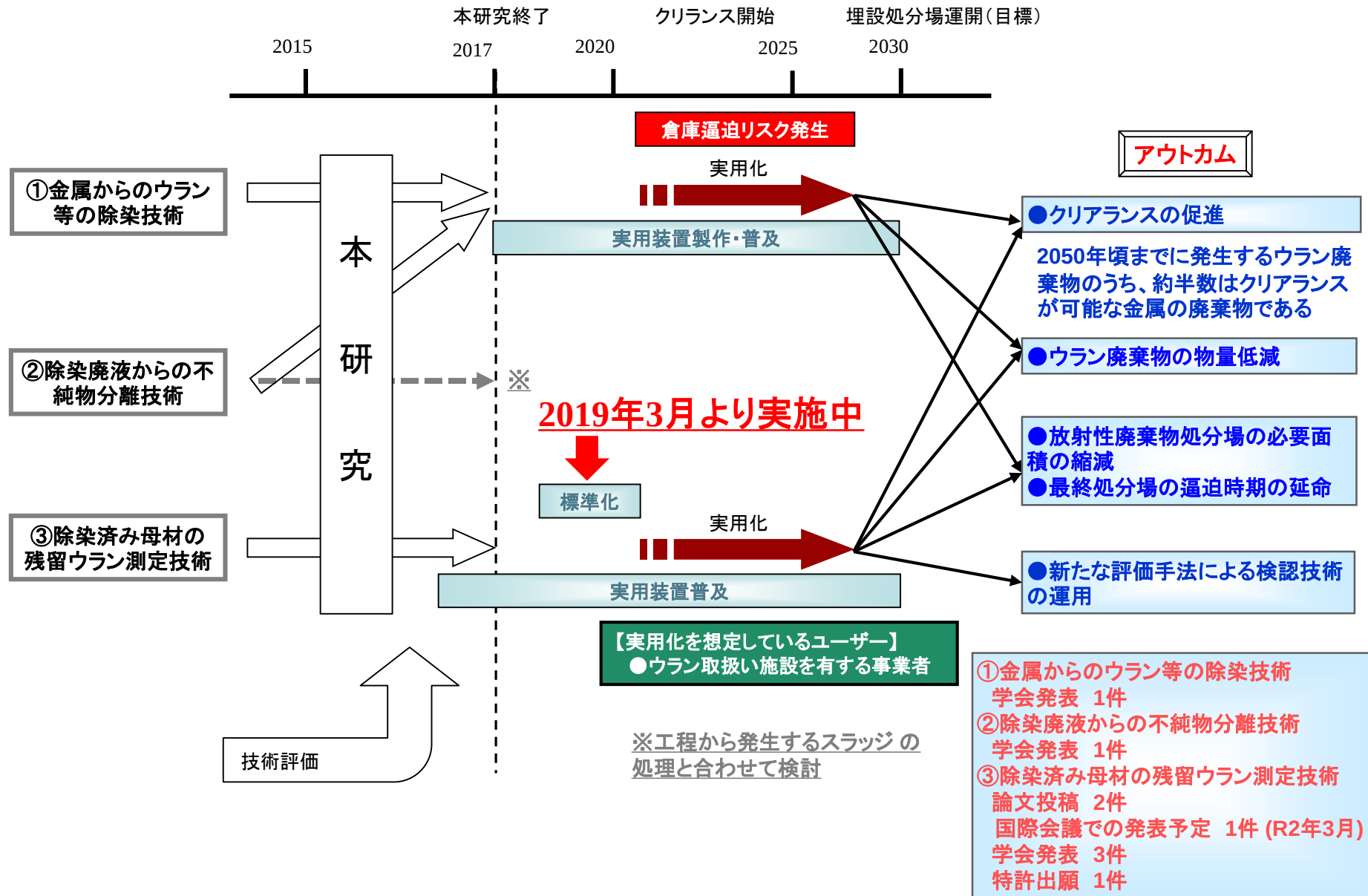
③ 除染済み母材の残留ウラン測定技術(課題3)

➤かさ密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 程度の測定対象について、ガンマ線測定によりクリアランスレベルの残留ウランの測定が可能であることを実証した。

4. 当省(国)が実施することの必要性

- ①放射性廃棄物の排出者である核燃料サイクル事業者は、廃棄物の安全、安心な処理処分を行うための技術的及び社会的な共通の課題を有している。これらの課題解決には技術的難度を有するとともに多額の開発費用と長期の開発期間を要するため民間事業者にとって開発リスクが高いと言えることから国が主導で行う必要がある。
- ②国内の主要事業者が一体となって取り組むことで、クリアランスの除染方法及び測定方法について、成果の標準化(例:複雑金属のクリアランス測定方法について学会標準を作成する)が促進され、さらに国内の事業者は本事業の成果を導入しやすくなる。
- ③国の関与によって産学官連携が強まり、開発過程の知見を共有できるため、上記の標準化が進めやすくなるとともに、規制側も多様な手法への対応の負担を軽減できる。
- ④クリアランス及び放射性廃棄物の処理処分は、国が推進する核燃料サイクルの一部であり、その課題のクリアには国の強い関与が不可欠である。
- ⑤「エネルギー基本計画」においても、放射性廃棄物の処分については、原子力事業者等が処分に向けた取組を進めることを基本としつつ、処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進することが明記されている。

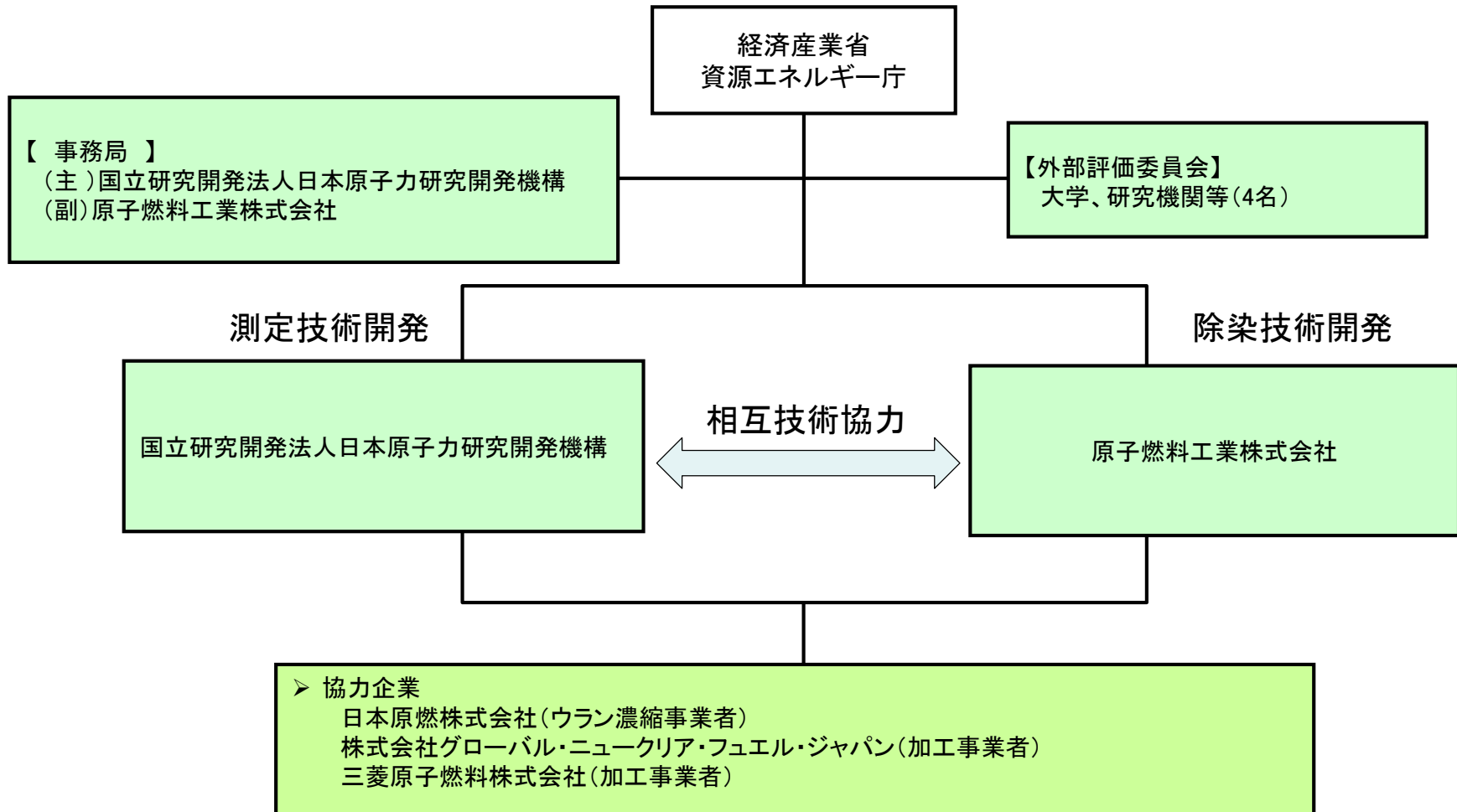
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

【業務実施体制、役割分担】

- ・事業の実施に当たっては、着実かつ有意義な研究成果を得るため、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構と原子燃料工業株式会社の2社体制で除染技術と測定技術を開発する。
- ・また、研究協力機関として事業に密接に関連するウラン濃縮・加工事業者の協力を得る。



7. 費用対効果

○投入した国費総額は約4億円(4年間)である。

○本事業により以下のアウトプットが得られる見込みである。

- 除染・分離及び測定に係る装置設計に関する技術情報
- 装置の有効性や評価手法の妥当性に関する技術情報

○国内のウラン取り扱い事業者は、本技術情報を共有する。その結果、国内事業者はクリアランスの実施(アウトカム)に向けて、開発や標準化に必要な費用の重複を回避することができ、規制側も多様な手法への対応を軽減できるため十分な費用対効果が得られる。

○2050年頃までに加工メーカ及び原子力機構等から発生すると見込まれる低レベル放射性廃棄物のうち、約64,000トンの金属がクリアランスの対象となり得るとされている。本事業で開発した技術の対費用効果を見積もるにあたり、上記の金属のうちの約半数(3万トン＝15万本／200Lドラム缶)のみに本技術を適用するとした相当に保守的な仮定を置いたとしても、少なくとも300億円程度の埋設処分費用の削減が見込める。

➤現行、ウラン廃棄物の処分制度が確立していないため、コストの算出にあたっては、第二種廃棄物埋設事業における処分単価*1を参考にした。

*1: 文部科学省 原子力科学技術委員会 研究施設等廃棄物作業部会(第9回)

資料1「埋設処分業務の実施に関する計画」に基づく業務の実施状況について

【トレンチ処分単価: 186千円／本】

➤トレンチ処分する費用単価を20万円/本と仮定すると、約300億円の処分費用の削減が見込める。

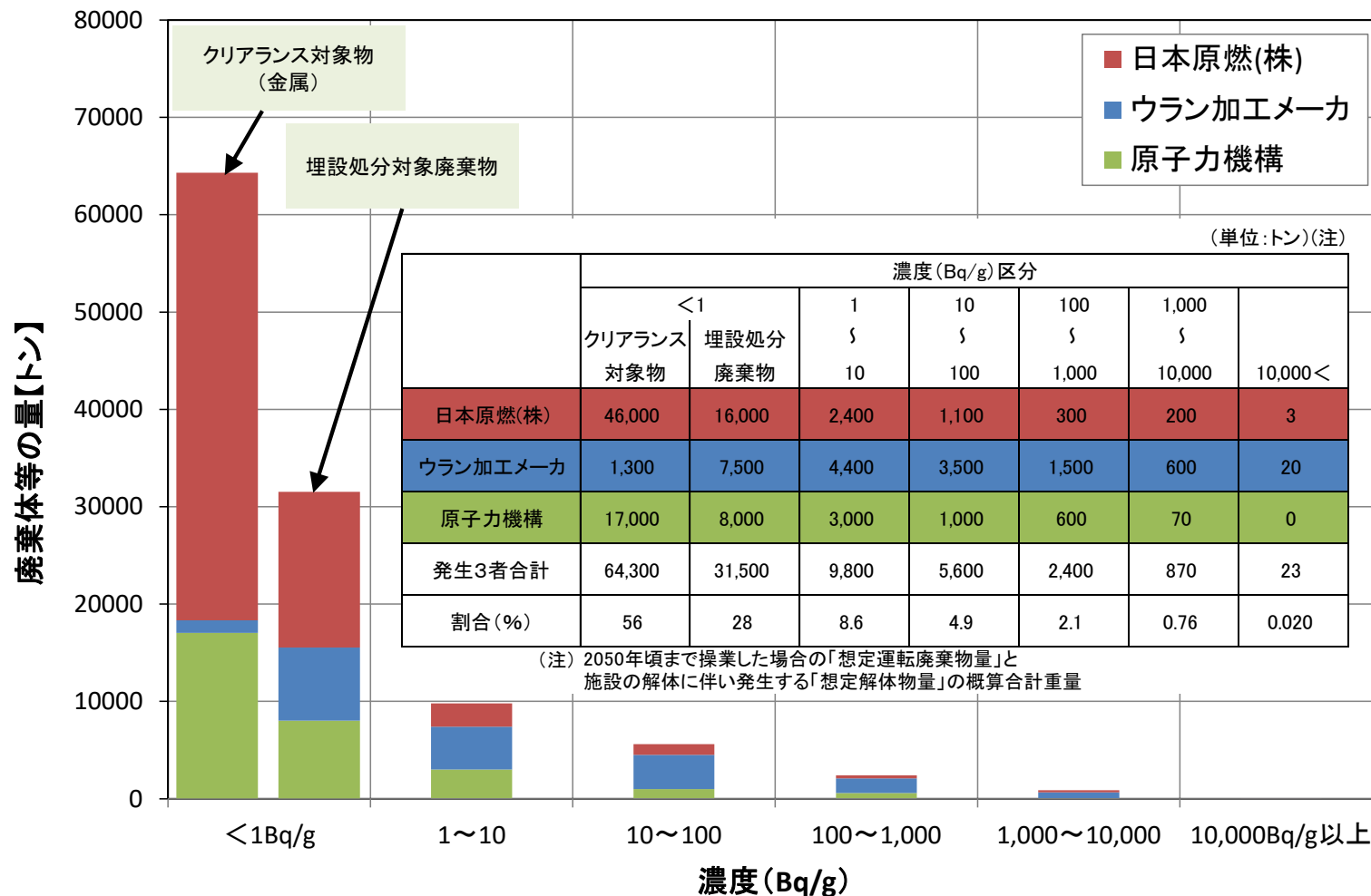
8. 外部有識者(評価検討会)の所見及び同所見 を踏まえた改善点等

外部有識者の所見	所見を踏まえた改善点(対処結果)等
(1)当事業はガラス固化の前処理という位置付けでウラン廃棄物の除染技術等を開発するものであり、酸浸漬による化学除染で発生する除染廃液の方がガラス固化に向いている。また、ブラスト法では研磨材とウラン化合物が完全に分離できなければ、ガラス固化処理への影響を検討する必要がでてくる。このように除染処理技術について、ガラス固化を考慮した比較検討をすることにより事業の到達点がより明確になる。 (2)成功の評価の主張が、本研究開発プロジェクトの結果が生み出すプロフィットに終始せず、原子力関連の事業、国の施策に対してどのような貢献が成されたのか、国民に対してどのようなベネフィットを提供することに繋がる成果を示せたのかといったようなことを適切に示せるように事業を進めるべき。	(1)化学除染技術(酸除染)、物理除染技術(ブラスト除染)のそれぞれについて、ガラス固化への影響を検討した。酸除染は、ブラスト除染のように研磨材及びその摩耗粉の発生がなく、金属固形物の二次廃棄物が少ないためガラス固化に向いている。 金属固形二次廃棄物が比較的多いブラスト除染に対しては、ガラス固化体として鉄リン酸ガラスを用いれば効率的に固化可能との結論を得た(金属固形二次廃棄物は焙焼して鉄リン酸ガラスの原材料とする)。 (2)本成果は放射性廃棄物そのものの抑制のみならず、放射性廃棄物処分場の減縮にも寄与することから、国民や社会のニーズに的確に応える公益性が高い技術の開発を行うものであることを事業報告書に盛り込んだ。

9. 産構審評価ワーキンググループの所見 及び同所見を踏まえた改善点等

評価ワーキンググループの所見	所見を踏まえた改善点(対処結果)等
＜研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性＞ ・減容化とともに安全性を確保する技術の着実な進展を図ること。 ＜事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性＞ ・多くの大学・機関が関係しているので、実証に向けた体制・仕組みづくりを早めに検討すること。 ＜研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性＞ ・ノウハウや特許等の知財を確保し、将来の国際的なビジネス展開を視野に入れて、国際的な優位性を図ること。 ・福島 of 廃棄物への適用の可能性を検討すること。	＜研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性＞ ・本事業においては、計画当初より安全性を確保するための試験・評価についても実施することとしており、本事業が国民の安全・安心に繋がるよう、着実な技術の進展を図った。 ＜事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性＞ ・事業終了後の実証段階に向けた体制・仕組みづくりとして、学会等での認知・標準化や実証に向けて、継続的な取り組みを行ってきた。現在、本技術成果は学会標準化に向けて原子力学会により議論が進められている。 ＜研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性＞ ・本事業は海外の技術・動向を注視しながら実施し、投稿論文2件、特許出願1件の成果につなげるとともに、上記のとおり本事業の成果の学会標準化に向けた取り組みを継続して行っている。 ・福島の事故により発生した廃棄物へのガラス固化技術の適用の検討については、本事業の範囲外であるが、本事業終了後も、本事業開発で利用した散乱ガンマ線等価モデルについて、放射性セシウムを含む除染廃棄物等の高精度で迅速な測定技術としての適用検討を進めているところである。

ウラン廃棄物の発生量



2050年頃までの廃棄体等の発生量

※出典元: 一般社団法人日本原子力学会「東京電力福島第一原子力発電所事故以降の低レベル放射性廃棄物処理処分の在り方」特別専門委員会「低レベル放射性廃棄物処分におけるウランの扱いについてー浅地中トレンチ処分に係る規制への提言ー 平成26年度報告書」