

# RANDEC

Mar. 2023 No.118

ニュース

(公財) 原子力バックエンド推進センター

## 原子力の最大限活用と廃棄物の処分

三菱重工業株式会社 原子力セグメント

デコミプロジェクト室 室長補佐 谷口 優

東日本大震災から 12 年が経過し、復興が進む中、この間地球温暖化対策（カーボンニュートラル）による化石燃料活用の低減に加えて、ロシアのウクライナ侵攻による資源等の高騰・制約による世界規模でのエネルギー問題が深刻化する状況となり、資源の少ない我が国のエネルギー情勢においても、原子力を最大限活用していく方針に舵を切られている状況です。当社では軽水炉プラントの再稼働や 60 年超え運転に向けた技術支援に世界最高水準の安全性を兼ね備えた次世代プラントの開発・検討が本格化している中、バックエンド分野においては、原燃サイクル施設の中核施設である六ヶ所再処理施設の早期竣工に向けて対策工事の加速中で、廃止措置分野では、「軽水炉プラント」、「福島第 1」、「ふげん・もんじゅを代表とする研究・実証炉」や「東海再処理施設」等の廃止措置本格化に向けて事業者殿へのご支援に注力しているところがあります。

この中で特に廃止措置において、先行する

プラントにおいては、原子炉領域解体が本格化しつつあり、それら解体物の処理・処分に関しては、当面発電所にて一時的に貯蔵や保管せざるをえない現状にあります。

また、大学や民間の放射線を取り扱う施設においても同様で、当社が管理する原子力関連会社である MHI 原子力研究開発株式会社（NDC）においても、各種放射性物質の分析・評価が運転中プラント・施設や廃止措置プラントで行われており、この間発生した多数の放射性廃棄物を施設内の貯蔵庫に保管中で、貯蔵庫の保管量にも限りがありますので、いずれの分野においても一日も早い廃棄物処理処分の道筋を立てる必要があります。

冒頭述べさせていただいたとおり、原子力施設を最大限活用していくにあたり、廃棄物処理・処分早期運用は必要不可欠であり、発電プラントと同様、大学・民間施設廃棄物に対して、原子力機構による埋設立地事業、RADEC による廃棄物処理事業が早期に進められて行くことを願ってやみません。

# RANDEC ニュース 目次

第118号 (令和5年3月)

巻頭言：原子力の最大限活用と廃棄物の処分

三菱重工業株式会社原子力セグメント デコミプロジェクト室 室長補佐 谷口 優

評議員会及び理事会の開催について.....	1	総務部
原子力科学技術委員会「原子力バックエンド作業部会」.....	2	廃棄物処理事業推進部
RANDEC の事業・活動に関する近況報告		
1. 第33回原子力施設デコミミッションング技術講座の開催.....	7	総務部
2. 第19回廃棄体検討WG会合.....	8	廃棄物処理事業推進部
外部機関の活動状況の紹介		
1. お客様第一の物流企業を目指して.....	9	加藤運輸有限会社 福島営業所長 栗原輝亥
バックエンド技術情報		
1. アスファルト固化体の熱加水分解技術の開発.....	13	理事長 泉田 龍男
2. 持続可能な循環型社会形成に向けたクリアランスの展開.....	17	フェロー 澁谷 進
3. D&D および復旧作業廃棄物の缶内熱処理.....	26	企画部 五十嵐 幸
4. 除染方法選択ツールの開発.....	34	廃棄物処理事業推進部 秋山武康
世界の原子力発電所の廃止措置の最新情報.....	40	フェロー 澁谷 進
その他.....	46	
・委員会等参加報告		
・総務部から (人事異動、他)		

# 評議員会及び理事会の開催について

総務部

当センターでは、以下のとおり理事会が開催されましたのでご報告します。

(理事会開催状況)

第40回 理事会

- (1) 決議の日：令和5年3月27日
- (2) 議題
  - ①令和5年度事業計画について
  - ②令和5年度予算について
  - ③令和4年度職務執行の状況について

# 原子力科学技術委員会「原子力バックエンド作業部会」

廃棄物処理事業推進部

## 1. はじめに

第 11 期科学技術学術審議会「原子力バックエンド作業部会」の第 5 回（最終回）が、令和 5 年 2 月 2 日に開催された。<sup>1)</sup>

第 4 回が令和 4 年 12 月 10 日開催であったので、約 1 年 2 か月振りである。主な議題は、バックエンドを含めた原子力政策の動向、日本原子力研究開発機構

（JAEA）による第 4 期中長期目標期間における事業計画の策定に向けた事業活動の総括である。研廃埋設事業の一端を担う日本アイソトープ協会及び RANDEC からもこれまでの事業活動等について紹介された。最後に研廃埋設事業加速化に向けた今後の課題及び第 12 期原子力バックエンド作業部会の今後の検討課題が議論された。

近年の世界的な脱炭素・カーボンニュートラルの潮流、またロシアのウクライナ侵攻に端を発したエネルギー危機に直面し、原子力の優位性が再認識され、わが国においても、原子力発電の新たな社会的価値の再定義、今後の炉型開発の道筋が議論されるなど、原子力再興が急展開している。一方で、原子力再興に当たっては使用済燃料の処理処分や原子力施設の廃止措置などバックエンドに係る課題の緊急性も関係者間の共通認識であり、国レベルでは経済産業省資源エネルギー庁に「廃炉等円滑化ワーキンググループ」が設置され、バックエンドの加速化に向けて議論が進められている。<sup>2)</sup> 今回の作

業部会ではその中間報告の概要も報告された。

## 2. 原子力政策の動向等について（文部科学省）

### 1) 「原子力利用に関する基本的考え方」の改定

原子力委員会では、今後の原子力政策について政府としての長期的方向性を示す「原子力利用に関する基本的考え方（平成 29 年 7 月 20 日委員会決定）」の改定作業が進められている。検討ポイントの概要とそれらに対するパブリックコメント（募集期間：令和 4 年 12 月 23 日～令和 5 年 1 月 23 日）の一部が紹介された。

バックエンド関連では、今後の重点的取組の中で「⑥ 国の関与の下での廃止措置及び放射性廃棄物の対応」として、以下が検討ポイントとして挙げられている。

- ▶ 今後本格化が見込まれる原子力発電所の廃止措置に必要な体制整備
- ▶ 処分方策等が決まっていない放射性廃棄物の対応
- ▶ 国が前面に立った高レベル放射性廃棄物対応

これらに関するパブリックコメントの例（12 月 23 日までの抜粋）としては、「原子力事業者等は現世代の責任として、処理・処分を着実に進める。発生者責任の原則のもと、取組が着実に進むよう、国としても関与していくべきである。」、商業炉及び研究機関や大学の原子力施設の

廃止措置については「廃止措置に関する知見・ノウハウの蓄積・共有を図るため産業大での連携の促進、体制整備。既存技術の活用、設計・建設・運転保守で蓄積された施設特有の知見経験や国内外の廃止措置の経験の活用」などが紹介され、前者については、原子力委員会の「低レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関する考え方（見解）」（令和3年12月28日決定）に基づく取組を、規制当局も含め産官学民が関与する体制を整備し、着実に進めるとの提案もなされている。

## 2) 「廃炉等円滑化ワーキンググループ」 中間報告

東京電力福島第一原子力発電所（T1F）の事故以降、現在までに商業炉15基が運転を終了し廃止措置に移行している。事故以前に運転終了した3基とJAEAのふげん・もんじゅを含めると計20基を数える。2020年代半ば以降、重層的に、これらの原子炉の廃止措置プロセスが本格化を迎える。しかしながら廃止措置を取り巻く状況には多くの課題があり、先行する4基（原電東海、中電浜岡2、JAEAふげん）においても、度重なる工程延伸を余儀なくされてきた。

「第6次エネルギー基本計画」においては、「バックエンドも含めた安定的な事業環境の確立に向けて、必要な対応に取り組む」とされ、廃止措置を着実に実施していくための課題と対応策について、継続して原子力小委員会において議論する必要があるとされた。

以上を踏まえ、通常炉の廃止措置を効率的かつ円滑に実施し、完遂するための課題を更に整理し、課題解決に必要な事

業体制や資金確保の在り方等を検討するため、同小委員会の下に「廃炉等円滑化ワーキンググループ」が設置され、昨年11月に中間報告が取りまとめられた。ワーキンググループでの議論のベースとなる課題認識は以下である。

- ▶ 18基（T1F除く）が既に廃炉決定済み、2020年代半ば以降に解体が本格化
- ▶ 廃炉プロセスが本格化していく中で、我が国全体で着実かつ効率的に廃炉を進めていくため、事業者間の連携推進
- ▶ 着実に廃炉を進めていくために、廃炉に必要な資金の確保方策
- ▶ 低レベル放射性廃棄物の適切な処理・処分や、クリアランス金属の再利用先拡大等への対応

中間報告では、上記の課題認識のもと、全体の廃炉を着実かつ効率的に実施していくため、以下のような機能を担う体制を整備するとし、特に、これまで各事業者任せられていた資金管理を一元化するとした。

- ▶ 日本全体の廃炉の統括・マネジメント
- ▶ 共通課題への対応（研究開発、共用設備等の調達、地域理解の増進等）
- ▶ 必要な資金の確保・管理・支弁

体制整備にあたっては、認可法人を設立するとされたが、現時点では、既存の認可法人「使用済燃料再処理機構

（NURO）」を当てる方向とのことである。

これらについて、作業部会委員からは、「NUROに全国の廃止措置をマネジメントできる組織を整備できるのか」、「認可法人とJAEAの関わりが連携だけでは弱いのではないか。もっと積極的に関わるべきだ」等の意見が出された。また、「PWR、BWRそれぞれに廃止措置モデ

ルプラントを設定し、新体制のもと短期間（5～10年）で解体撤去を実証する」の提案に、「短期間では費用が高くつく」いや「逆に安くなることが米国で実証されている」とのやり取りもなされた。

### 3. 研究施設等廃棄物埋設事業の状況について (JAEA)

#### 1) 第4期中長期目標期間（令和4年～令和10年）

JAEAは、昨年2月に発出された文部科学省、経済産業省及び原子力規制委員会の3者連名の「国立研究開発法人日本原子力開発機構が達成すべき業務運営の関する目標（中長期目標）」を受け、昨年3月に「国立研究開発法人日本原子力開発機構の中長期目標を達成するための計画（中長期計画）」を策定し、認可された。

これに基づき、JAEAでは、研廃埋設事業では、埋設施設の設置に向けて以下のように計画の策定を進めるとしている。

- ▶ 社会情勢等を考慮したうえで、適宜、工程等を見直す
- ▶ 地域活性化の検討等を含む立地対策、廃棄物受入基準整備及び埋設施設の基本設計に向けた技術検討等を進める
- ▶ 放射性廃棄物の埋設処分に向けた理解促進のための活動を、関係機関等の協力の下で進める

作業部会委員からは、早期に第4期中長期計画の具体的な年度展開を示してほしい等の要望があった。

#### 2) 立地に向けた取組状況

埋設施設の立地推進活動については、第4回作業部会での指摘も踏まえ、これまでの取組状況が報告された。

#### ① 募集方式も含めた立地方策検討

募集方式における立地選定手順の検討、産廃処分場など類似施設の立地事例の調査、立地選定基準に対する評価方法の検討などを進めるとともに、立地地域との共生では、埋設事業のインセンティブ、事業モデル・雇用規模など持続的な活性化方策の提案、先行する海外での立地共生策の調査などに精力的に取り組んでいる。

#### ② 広報活動の強化

昨年より、多様な広報ツールを活用して、広報活動の強化を図っている。Webサイトやパンフレットの更新（埋設事業の必要性、安全確保方策を強調し、より分かり易く）、Webサイトでの動画の配信、SNS・Twitterを通じた情報発信、JAEA報告会はもとより、関連学会や研修会、各種イベントなどあらゆる機会を捉えた情報発信など、積極的な広報に努めている。

これに対して作業部会委員からは、広報活動は一方向的な情報発信だけではだめで、双方向のやり取り（コミュニケーション）が重要である。（立地候補が決まったら、）地域との対話には、それに長けた外部機関・団体の支援を受けるのも一方策であるとの意見があった。

#### 3) 技術検討の状況

技術的検討としては、数年来の第二種廃棄物（低レベル廃棄物）埋設に係る規制基準等の見直し（技術基準の仕様規定から性能規定化）<sup>3)</sup>の動きのなか、埋設施設における廃棄物ごとの「受入基準」の整備を精力的に進めている。

「受入基準」には、廃棄物の固型化方法

や埋設耐荷重など埋設施設の設計に基づく基準と最大放射能濃度や施設の健全性を損なう物質の含有量など立地場所の環境条件に異存する基準がある。

これらの受入基準は、埋設施設事業が認可されたのち、埋設センターの保安規定に定められる。廃棄体製作者（JAEA各事業所、RI協会、RANDEC）は、受入基準に適合するよう廃棄体の製作手順書や記録を作成、埋設センターは製作現場への立ち合いやドキュメントの確認、受入検査を実施、受入基準に適合していることを確認後、施設に受け入れることになる。

埋設施設の設計に基づく受入基準については、ほぼ整備されたが、立地場所の環境条件に依存する受入基準については、立地場所が決定次第、速やかに整備できるように、現時点ではパラメータスタディなどの予備的な評価を行っているとのことである。

#### 4) 今後の取組

JAEAの今後の取組としては、以下を特記する。

- ① 立地活動：立地方策、立地基準の評価方法の検討を進めつつ、広報活動の一層の強化を図り、埋設事業の必要性等の理解増進に努める。これらの活動により立地を進める準備が整った段階で、立地方策等を本作業部会に諮り、具体的な立地に向けた対応を行う。中長期目標で示された埋設事業工程の見直しについても、立地対応の状況を踏まえた上で検討し示す。
- ② 技術検討：安全規制制度及び原子力規制委員会での埋設事業に関する審査会

合等の最新の議論を踏まえて、埋設施設の基本設計に反映すべく設計の見直しを進め、立地後速やかに埋設事業申請に向けた対応を行えるよう準備を行う。

また、埋設施設への廃棄体受入基準の整備を継続するとともに、整備した基準を廃棄物発生者及び廃棄体化処理事業者との共有等を通じて、関係者との事業の円滑な推進に向けた関係強化を図る。

#### 4. 原子力バックエンド作業部会の今後の課題等（文部科学省）

##### ① 研究施設等廃棄物埋設事業の推進

国の基本方針に基づき、社会情勢等を考慮した上で、適宜、工程等を見直し、埋設施設の設置に向け、地域活性化の検討等を含む立地対策、廃棄体受入基準整備及び埋設施設の基本設計に向けた技術検討等を進めるとともに、理解増進のための活動を、関係機関等が協力して進める。

##### ② 原子力機構のバックエンド対策の着実の推進

JAEAの原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物の処理処分の計画的遂行と技術開発の取組を進めるため、持続的なバックエンド対策を進めるために必要な体制の強化、長期間にわたる廃止措置マネジメントに必要なリスクの把握・対応策、予算、人材育成・知識継承等の情報を含む具体的計画を策定し、取組を進める。

##### ③ 大学等の廃止措置の推進

大学等においては、施設・設備の老朽化、人材不足、新規制基準への対応などの課題を抱えている。それを踏まえ、今後、廃止措置を進めるに際しては、原

子力学会等のコミュニティの考え方や「低レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関する考え方について（見解）」（令和3年12月、原子力委員会）等も踏まえ、適切な対応を進める。

④ IAEA ピアレビュー のフォロー  
令和3年4月のIAEA ARTEMIS レビューにおいて、JAEA は将来にわたるバックエンドの方向性を確立し、直面する課題と対応を含むロードマップを作成した。これを受け IAEA は、更なる改善のための21の項目の提言と17項目の助言を示しており、作業部会では、第3回作業部会で確認した方針に基づき、今後適当な時期に、JAEA の対応をフォローする。

最後に、RANDEC としてのこれからの検討課題を挙げる。

- ①事業実施に係る業務
  - ・事業資金、契約手法など
  - ・エンジニア及び施設管理等の人材確保
  - ・業務の安全確保等の対策
  - ・事業許可申請
- ②設備計画
  - ・設備仕様
  - ・概念設計、基本設計、詳細設計等
  - ・立地に係る諸検討
- ③廃棄確認に係る技術検討
  - ・核種評価方法の検討と検証
  - ・廃棄確認に係るデータ等の取得方法
- ④個別廃棄物に係る課題の検討
  - ・廃棄物物量と性状調査及びデータベース構築
  - ・各種廃棄物の処理方策の検討等

以上

#### 注記

1) 原子力バックエンド作業部会 第5回 配布資料：

[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/099/shiryu/1423068\\_230202.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/099/shiryu/1423068_230202.htm)

「原子力施設廃止措置等作業部会」と「研究施設等廃棄物作業部会」の「原子力バックエンド作業部会」への統合、第11期第1回から第4回までの作業部会については、以下を参照されたい。

[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/099/giji\\_list/index.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/099/giji_list/index.htm)

2) 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 廃炉等円滑化ワーキンググループ:令和5年6月30日の設置以降、同年11月29日の中間報告発出まで、3回会合がもたれている。

[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/hairo\\_wg/001.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/hairo_wg/001.html)

3) 「核燃料物質又は核燃料物質よって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」は、令和4年3月30日改正・施行、これに伴い「核燃料物質等の第二種廃棄物埋設に関する措置等に係る技術的細目を定める告示」は廃止された。



## 第 33 回原子力施設デコミッショニング技術講座の開催

総務部

当センター主催の「第 33 回原子力施設デコミッショニング技術講座」が去る 2 月 17 日（金）東京・BDK 会議室で開催されました。本年の講座には 35 名の方が参加され各講演では活発な質疑・応答がなされ多くの参加者が最後まで熱心に講座を拝聴されていました。これまで原子力施設デコミッショニングに関する人材育成の一環として同業務に携わる方々を対象に技術講座を開催しておりましたが新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から止む無く、ここ 2 年間中止としました。今年度は対面にて講座を開催することとしました。

今回の講演では国内の廃止措置や放射性廃棄物埋設事業を取り上げた他、原子力施設事故とロボット開発についての講演がありました。特別講演としては経済産業省・資源エネルギー庁電力・ガス事業部佐藤朱莉・放射性廃棄物対策課係長より、廃止措置の現状と課題について原子炉等を解体する 2020 年代半ば以降に本格化する原子炉本体の解体を踏まえ、撤去物のクリアランス制度について解説がありました。また約 10 年後に 1 万トン規模のクリアランス金属が発生するとして、日本におけるクリアランス制度への

取り組みの重要性について、海外との比較も交え説明がありました。

続けて、日本原子力研究開発機構バックエンド統括本部埋設事業センターの坂井章浩技術主席兼埋設技術開発室長より「研究施設等廃棄物の埋設事業」に関する技術的な検討状況の説明があり、事業規模や埋設施設、廃棄物の受け入れ基準などの報告がありました。

最後の講座では、公益財団法人原子力バックエンド推進センター 五十嵐幸企画部調査役より原子力施設事故を契機とした世界各国のロボット研究・開発についての講演がありました。

本講座を盛大にできたことをご講演者と参加者の皆様に御礼申し上げます。



# 第 19 回廃棄体検討WG会合

廃棄物処理事業推進部

廃棄体検討ワーキンググループ（以下、廃棄体検討 WG）は、日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）、日本アイソトープ協会（以下、RI 協会）、RANDEC の三者で構成される研究施設等廃棄物連絡協議会の下に設置され、研究施設等廃棄物の廃棄体化処理を円滑に行い埋設処分事業を着実に進めるため検討を行っている。

第 19 回廃棄体検討 WG が令和 4 年 10 月 27 日に開催された（TV 会議）ので、その結果を報告する。

議題は、①廃棄体の受入基準 WAC（Waste Aceptance Criteria）の検討状況、②廃棄体確認要領（案）について、③今後の廃棄体検討 WG の進め方、等である。

## (1) WAC の検討状況

規制要求である「埋設地内に有害な空隙がないこと」への対応として、JAEA より角型容器に対する砂の充填性試験の実施結果及び受入基準案、等について説明があった。廃棄体の内部空隙率が 20%を超えるとトレンチ埋設施設の上覆土陥没を引き起こす恐れがあるため、角型容器に模擬廃棄

物を収納して砂の加振充填性試験を実施した。この基準を満たした廃棄物の形状・材質・量及び収納方法・加振機の条件をもとに、受入基準案をまとめている。

一方、砂充填は容器の仕様・廃棄物種類・重量、加振機等によって基準を満たす条件が変わるため、砂充填を検討する事業者が実機試験に基づいた充填マニュアルを作成することが必要と判明した。砂充填検討時に実機導入までの対策として、コンクリートがらや単純形状の廃棄物の分別の提案があり、具体的方法については JAEA に相談をとの説明があった。

## (2) 廃棄体確認要領（案）について

今年度より JAEA の中で廃棄体の受入基準について、確実なものから廃棄体確認要領の作成及び根拠データの共通要件の整理を進めており、その位置付けと現状案について報告があった。

## (3) 今後の廃棄体検討 WG の進め方

JAEA より次回（年度末予定）で、①WAC 等のとりまとめに関する優先課題の検討、及び②廃棄体確認要領（案）の今年度報告を行いたい旨の話があった。

## 外部機関の活動状況の紹介

### 1. お客様第一の物流企業を目指して

加藤運輸有限会社  
福島営業所長：栗原輝亥

#### 1. はじめに

加藤運輸有限会社は昭和 55 年に千葉県松戸市にて操業を開始し、運輸・物流事業・生鮮輸送・倉庫業・各種販売「プラ袋、フレコン、ラップ」など、物流製品の販売・プラスチックリサイクル事業・産業廃棄物収集運搬事業等を行う総合物流企業です。



加藤運輸(有)では、お客様の立場に沿った納品スタイルと、きめ細やかなサービス・製造から輸出入・運輸・配送までの一貫したサービスをご提供しております。

弊社、加藤運輸グループは長年の経験と実績により多くのノウハウを有しております。広域ネットワーク独自のノウハウなど流通に関してのトータルコンサルティングをお客様にご提案すると共に社会に物流サービスを提供する企業として、顧客ニーズを的確・柔軟に捉え対応「迅速・確実・丁寧」な物流サービスの合理化を目指しております。

また、自社・グループ合わせて 900 台越の車両が毎日全国を走っております。

#### 2. 除去土壌の輸送作業

環境省による除去土壌の運搬輸送作業を、令和元年3月~令和4年12月まで業務をさせて頂きました。

それに加え、福島県浜通り北部・浪江町・大熊・富岡・楡葉町などの地域のインフラ整備における土砂運搬、道路工事における合材「アスファルト」運搬など併せて行っていて、福島復興に役立つお手伝いをさせて頂いていると考えています。

各除染教育・輸送管理者教育・放射線取扱主任者など管理体制の確立等、安全運行を行うための社内教育も徹底して作業をしておりました。



福島ダンプ事業部、担当部長をはじめ作業員・運転手共、いわき・双葉郡の出身者が多く在籍しており震災前から第一・第二原発の場内作業で入場しており震災後すぐに災害ガレキの撤去、環境省依頼のモデル除染・表土鋤取り作業・仮置場造成など、重機オペレーターとして従事してきた者、重機物運搬作業の重量鳶・解体オペレーター・切断工など各員、様々な工事部としても稼働が出来ます。

## 加藤運輸有限公司 営業所/グループ会社一覧



### 概要

社名	:	加藤運輸 有限会社
代表取締役	:	加藤 善信
本社住所	:	千葉県松戸市小金きよしヶ丘3丁目12番地13
設立	:	昭和55年10月
資本金	:	680万円
取引先	:	佐川急便 コーユーレンティア株式会社 関東食糧株式会社 「公財」原子力バックエンド推進センター【ランデック】賛助会員 他



## 業 務 内 容

13t 低床ウイング車



ウイング冷蔵庫 パワーゲート車 他



ウイングトレーラー車



4t ウイング車



企業専属車/お客様専属車



車両保有台数	
大型	159台
4t	48台
2, 3t	77台
	他

- 運輸・物流事業
- 生鮮輸送・保管
- 製造・販売・リサイクル事業



イベント事業部では、演劇用舞台装置を運搬し、全国ツアーやイベントコンサート機材輸送など全てのジャンルを問わず精通しております。



横浜ゴム(株)様使用のアドバンカラーの大型車両で、各サーキットで開催されるスーパーGT/スーパーフォーミュラ/全日本ラリー選手権等々にタイヤサービススタッフとして参加をしています。



適切な温度管理のもと生鮮食品・チルド食品の保管・ピッキング輸送を行っております。



主にベトナム、中国との貿易事業を行っております。ベトナムには、加藤グループの海外拠点を置き、より良いサービスを提供し日々、活動しております。

### 3. おわりに

今、加藤運輸グループの新たな挑戦として「グループ企業間を循環するらせん状の事業構造」の構築を考えています。

農作物を生産者から仕入れる仲卸、そこから集荷、仕分け、配送するコールド

チェーン。さらには農家さんのビニールハウス廃材のリサイクル施設とそこからレジ袋等に変える海外の製造拠点と販売仕入れの貿易部門などの弊社グループによる社内SDGSを目指して邁進しております。

## バックエンド技術情報

### 1. アスファルト固化体の熱加水分解技術の開発

理事長 泉田龍男

わが国でも製作されてきたアスファルト固化体（欧州ではビチューメン固化体）について、ニューケムテクノロジー社（NUKEM）が固化体のままで熱加水分解処理する新たな技術開発を進めていることを公表したので紹介する。

#### 1. はじめに

これまでアスファルトは、低レベルや中レベルの多種類の廃棄物の固形化剤として使われてきた。例えば、濃縮廃液、スラッジ及びイオン交換樹脂の均質固化体、金属廃棄物、圧縮されたドラム缶（布、ゴム、プラスチック）などの混合廃棄物の不均質固化体に使われた。

アスファルトは、長期貯蔵や埋設処分に対して放射性物質の優れた封入性と安定性を示す材料と思われてきた。しかし、フランスでの試験結果では、アスファルトの放射線分解が継続的に起こっており、その結果アスファルト内部で気泡が形成されるとのことである。これは地中埋設において火災のリスクと長期的な耐久性の欠如という問題を引き起こす。

このようなアスファルトの特性に対して、アスファルト固化体の改質に挑戦している。これには、高発熱量、揮発性の放射性核種、溶けやすいアスファルトのハンドリング及び汚染拡大の可能性などに対処する必要がある。

#### 2. 熱加水分解の適用

これまで、アスファルト固化体に対して

直接改質するプロセスは商業的に実施されていない。これはアスファルト固化を実施している施設でアスファルトの焼却が可能であると認識されてきたためである。しかし、そのためには焼却前に固化体からアスファルトを分離する必要があった。さらに加えてこのプロセスでは、元々の固化体中には多くのアスファルトと廃棄物が残存しており、別の施設での処理が必要である。

NUKEM では、熱分解と熱加水分解のプロセスを開発した。この技術に基づいてアスファルトに類似した廃棄物への適用を検討してきた。その代表的なものは抽出溶媒のリン酸トリブチル（TBP）とケロシンの混合物の熱加水分解プロセスである。このケースでは、TBP は 500°C の攪拌層内で水酸化カルシウムと共に熱分解される。水酸化カルシウムはカルシウムポリリン酸に変化し、放射性核種は全てカルシウムポリリン酸内に内包され、それが中レベル廃棄物として埋設処分される。有機性の化合物は燃焼ガスとなり、焼却される。

TBP 熱分解プラントは、フランスのラ・アーグ、ベルギーのモル、日本の六ヶ所で建設された。ベルギーのプラントは、ユー

ロケミックからの TBP を全て処理し、現在は停止中である。日本のプラントは現在試験段階である。

パイロットプラントにおいて、本法のプロセスの適用拡大のために多くの試験が実施された。最初の試験では使用済みイオン交換樹脂に対する熱分解試験が実施され、イオン交換樹脂は不活性ガスと耐化学性の物質に分解された。熱分解生成物は、溶解性のないサラサラした固体である。そのため、取り扱いが容易であり、放射能インベントリーに応じて中間貯蔵又は最終貯蔵に向けた圧縮やセメント固化ができる。

その他の無機性のろ過助剤や有機物は本プロセスに悪影響を与えない。これらは乾燥、仮焼もしくは熱分解される。ガス成分としてメタンやプロパンの炭化水素、水蒸気、少量のアンモニアが生成するが、これらは燃焼ガスの一部となって燃焼し、排ガスはヘパフィルターで浄化される。

熱分解プロセスの減容比は、代表的なイオン交換樹脂で約 7 であり、熱加水分解プロセスでは約 20 に向上する。

### 3. アスファルト固化体への適用

NUKEM は DBI-Virtuhcon 社と共に、アスファルト固化体をそのまま熱加水分解するプロセスの原理的適用性をフライブルグ大学で検討してきた。ここでの試験結果からアスファルト固化体の熱加水分解プロセスの概念が生まれ、NUKEM は R&D プロジェクトを立ち上げた。

第一ステップは、アスファルト 20kg を対象とするラボスケールの施設であり、第 2 ステップは、200L ドラムを取り扱うこ

とが可能な実証施設となる。実証施設では、実規模での熱加水分解プロセスを完全に実証する試験となる。最終段階では、実廃棄物を用いた実証試験となる。

本開発プロジェクトの技術成熟度レベル (TRL、米国とヨーロッパの評価基準) は R&D 開始前で TRL3 と評価される。ラボスケールの試験が成功すれば TRL5 に上昇し、フルスケールでの実証の後に TRL7 が達成される。

2020 年に NUKEM の R&D プロジェクトが開始され、30 L 規模ドラムの取り扱い可能な炉の設計と調達が行われた。2021 年に DBI-Virtuhcon 社に実験装置が設置された。本実験装置により、30 L のステンレスドラムに 10-20kg のアスファルトを入れて試験を実施した。アスファルトを最大 20kg としたのは、次のステップにおいて、残存スペースに塩、イオン交換樹脂種、鉄などを加えて廃棄物固化体を模擬するためである。

ラボスケールでの第一段階では、ベストな温度及び多量のアスファルトの挙動を調べるアプローチ試験が実施された。熱加水分解によりアスファルトが分解されたが、処理終了後に 30 L ドラムの底と表面に粉上の残存物が残った。(図 2) 加えて、ドラムの外側にも残存物があり、これは熱加水分解プロセスの実施中に堆積したものである。スチームと温度の調整により、この残存物は完全に除去することができた。しかし、この試験では、アスファルトの一部がドラムから排出され、それがドラム底部のトレイに集まり、これが最終的に堆積物として残ることが分かった。

試験は 2022 年も続いており、蒸気の最



適化によりトレーの残存物の最小化を目指している。一方で、塩やイオン交換樹脂をアスファルトに混入させた実廃棄物の模擬体の試験も実施中である。

これまでのラボスケールテストの有望な結果に従って、NUKEMは次の段階に進むことを決定し、実証試験をサポートするパートナーを探している。理想的には、実証設備はアスファルト固化設備を持つ施設又は放射性核種を扱うことができる研究施設に設置すべきである。その目的は、実在するアスファルト固化体を使用することで、本法のプロセスと適用性の技術成熟度（TRS）を上げることにある。

試験サイトの選定基準は以下である。

- ・放射性物質を取り扱う作業の許可
- ・アスファルトなどの放射性廃棄物の取り扱い許可
- ・実証試験設備の設置のためのスペース
- ・排出ガスの放出能力  
排出ガス処理システムに後燃焼システムの存在が望ましい

#### 4. 熱加水分解の次のステップ

アスファルト固化体は、深地層処分からは除外されているように見える。そのため廃棄物の所有者は、廃棄物を改質する選択肢を探している。しかし、これまで知られている方式のほとんどは、廃棄体の前処理（固化体からアスファルトの排出）が必要

とされている。しかし、その後の廃棄物の処理プロセスが実現していない。アスファルトを固化体から排出しても、固化体中にはアスファルトが廃棄物と共に残存してしまう。アスファルトの性質上粘着性が高く、その取扱いはグローブボックス内での取り扱いが要求される。これはアスファルト固化体の取り扱いに、新たな問題を起こすことになる。

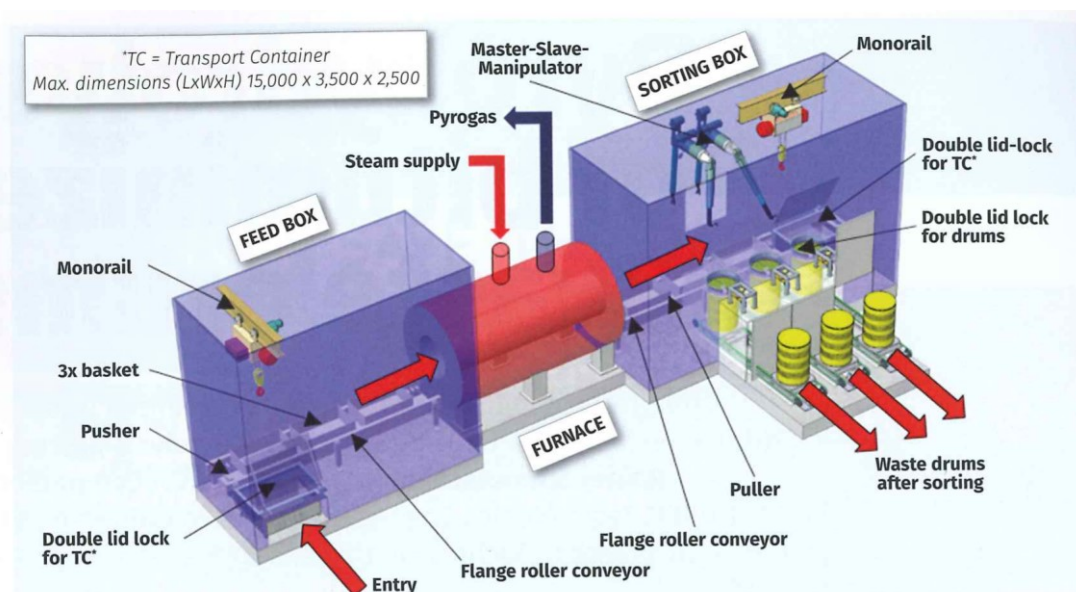
熱加水分解プロセスは、上記のアスファルトの事前排出プロセスがなく、安全な改質プロセスとして有望な技術である。最初のアスファルト 20kg でのラボスケール試験では、減容比として良い結果が得られた。その後の試験条件の適正化により、さらなる減容比が期待できる。次の段階では、実規模試験により、熱加水分解の確かな運転を確立すると同時に、TRL7を目指す。この他にも、確かな運転パターンと設計条件を確立し、これが実規模施設の投資額と運転コストの正確な評価を可能にする。

#### 5. あとがき

欧州ではアスファルト固化体の長期安定性が問題となり、アスファルトの改質が検討されている。今回の報告は、まだラボスケールの試験であり詳細な試験条件などは示されていない。今後のスケールアップ試験が期待されると同時に注視していきたい。

#### 参考文献

1. R.Slametschka, S.Thiel, “Pyrohydrolysis of bituminized waste drums”, NUCLEAR ENGINEERING, August, 2022, p37



Above, figure 1: **Illustration of an Industrial scale facility**

図 1 アスファルト固化体の実規模熱加水分解施設の想像図



Above, figure 4: **Inside and outside view of the 30-litre drum after pyrohydrolysis test as well as dust remains in the drip tray**

図 2 アスファルトのラボ試験での結果

左 : 30L 容器の試験後の外面

中 : 30L 容器の試験後の内面

右 : 30L 容器トレイの試験後の堆積物

## 2. 持続可能な循環型社会形成に向けたクリアランスの展開

フェロー 澁谷 進

我が国で、原子力施設に対するクリアランス制度\*<sup>1</sup> が導入されたのは平成 17 年（2005 年）である。この制度は、平成 12 年（2000 年）に制定された循環型社会形成推進基本法および資源有効利用促進法\*<sup>2</sup> の下にある建設リサイクル法など、各種資源のリサイクル法の一つとして位置付けることが可能であろう。しかしながら、施行から 18 年が経過しようとしているのにも拘わらず、他の資源リサイクルに比べると社会に定着しているとは未だ言い難い。

一方、クリアランス先進国である欧米では、フランスを除いて制度導入またはガイドライン等による個別審査（アメリカ、カナダ）によるクリアランスが産業活動の一環として定着しており、クリアランスされた資器材は制限なくリサイクルされている<sup>1)</sup>。特に、ドイツでは Siempelkamp（ジンペルカンプ）社、スウェーデンでは Studsvik（スタズヴィック）社は、30 年以上に亘って、自国だけでなく欧州各国の原子力施設からの金属廃資器材を受入れリサイクルする処理サービスを提供してきた。最近ではフランスにおいても、放射性廃棄物処分場の逼迫を回避するため、クリアランス制度の導入が検討されている。現在、リサイクルの形態としては「再生利用」が主であり、除染を含む前処理を行った後、資器材を溶融（溶融過程では、一部の放射性核種がさらに除去される）、鑄造し、インゴットとして製品化している。

近年、EDF グループの一員である Cyclife 社（前 Studsvik）\*<sup>3</sup> では、「持続可能な」の展開として、原子力施設から搬出される資器材に対して溶融過程を経ずに（エネルギー消費の削減+コスト削減）、直接クリアランスする「ダイレクトクリアランス」に挑戦している<sup>2)</sup>。大型の資器材、例えばポンプやモーターそのもの「再使用/他用途使用」である。本稿では、同社の取組みおよびその背景について紹介する。

### 1. はじめに

Cyclife 社は、溶融工程と並行して稼動するダイレクトクリアランス工程を開発している。これは、前処理、除染、精密測定工程からなり、分割の必要なく大きな対象物のクリアランス測定が可能になり、電気モーターのような異なる材料で構成された対象物も処理工程に受け入れることが可能となる。

本稿では、文献 2) を基に、原子力バックエンドにおける循環経済的側面をプロセスに導入するための Cyclife アプロー

チ、処理のための資器材受け入れ基準、新しいプロセスのための設備設置、効率的な産業規模のプロセスにおいて溶融ルートと直接ルートをどのように組み合わせることができるかを概観し、また、新たな機能を理解するため、2 つの異なる処理/クリアランス方法、すなわち溶融を伴わない直接クリアランスと溶融を伴うクリアランスを比較する。

### 2. Cyclife 社の紹介

Cyclif 社は、1987 年からクリアランス

とリサイクルを目的とした金属処理サービスを国際的に原子力産業界に提供してきており、コンテナ入りの金属スクラップや大型部品の溶融施設として認知されている。長年にわたり、何千トンもの材料が汚染除去され、再利用またはリサイクルされてきた。(図 1)



図 1. 左から溶融、鋳込み、インゴット

近年、廃止措置における廃棄物管理に関する業界ニーズと環境負荷低減の観点から、同社は溶融工程と並行して運用される専用の除染・直接クリアランス工程の開発に力を注いでいる。このようなプロセスの成立性は、小規模ながら、カンブリア州で 10 年以上金属リサイクル施設を運営している英国 Cyclife 社がすでに証明している。ここでは、金属廃棄物の除染・溶融 (Cyclife Sweden 社経由) クリアランスと並行して、可能な限り材料を直接クリアランスすることによって、英国内の原子力産業に価値を生み出している。

この複合プロセスは、PWR の蒸気発生器 (図 2)、BWR タービン建屋の設備 (図 3) など、大型の機器設備に対して特に魅力的であることが理解されている。処理プラントでの分解工程において 2 つの独立したルートに分別するために、一体での搬出が望ましい。対象物のわずかに汚染された部分は、必要に応じて細断、除染し、溶融せずにクリアランスするため測定されるが、他の部分はクリアランスの前に完全な除染と溶融プロセスを経な

ければならない。



図 2. 撤去した蒸気発生器 (左)

図 3. 一体撤去する設備 (右)

### 3. 原子力バックエンドにおける循環型経済

循環型経済とは、その定義通り、廃棄物の除去や資源の継続的な使用を目的としたシステムで、再使用、共有、修理、改修、他用途使用、および再生利用によりループを形成 (図 4)、投入資源の使用と廃棄物、汚染、炭素排出の発生を最小限に抑える。

循環型経済では、製品、機器、インフラをより長く使用することを目的としており、使用できない材料は、別のプロセスの資源となるようにしなければならない。循環型経済のアプローチは、取る、作る、使う、捨てるというモデルとは大きく異なるものである。



図 4. 循環型経済アプローチ

循環型経済アプローチでは、再使用/他用途使用と再生利用を優先させ、それ

によって環境への影響を低減するツールとなるため、現在多くの国で一般的に受け入れられ確立されている廃棄物階層\*4とよく調和している。以下では、「再使用／他用途使用」を「再使用」と記す。

また、原子力産業においても、少なくともリサイクルと減容化の観点からは、かなり定着している。世界原子力協会（WNA）が2019年に刊行した指針「原子力廃止措置からの資器材と廃棄物を管理するための方法論」<sup>3)</sup>では、従来の廃棄物階層を原子力に適応させた放射性廃棄物の階層が示されている（表1）。

回避	管理区域への追加資器材（包装材、追加工具、仮設装置など）の持込みを回避
再使用	解体機器を適切な洗浄・除染・メンテナンス後、原子力産業界で再使用
再利用	発生した廃資材を再利用
再分類	放射性廃棄物を精密な放射能測定により分別と除染の程度を高め、再分類
減容化	残留の放射性廃棄物は合理的に達成可能な限り減容化処理
処分	残留の放射性廃棄物を適切に調整、認定し、安全に処分

表1. WNAの放射性廃棄物階層<sup>3)</sup>  
(上位程優先度高)

### 3.1 原子力廃止措置における循環型アプローチ導入の推進要因

廃止措置において、循環型アプローチを実施するための複数の推進要因がある。

- ・ 公衆の認識の改善：原子力が持続可能な電力生産方法であり、バックエンド活動も含まれることを示す。
- ・ 資器材のさらなるリサイクル
- ・ 資器材の高い割合が、放射性廃棄物として処分される場合よりもかなり迅速に、最終状態（クリアランス）に到達できる。

### 3.2 循環型経済を実現するためのCyclifeアプローチ

廃止措置における資器材と廃棄物管理に関するニーズと、環境負荷の視点を維持しながら継続的な改善を求める市場の期待に基づき、より広範で持続可能なサービス提供が必要とされている。

原子力施設の廃止措置や近代化等においては、多くの余剰資器材が発生する。このうち、放射性物質の性状や組成から廃棄物に分類される割合は小さく、大部分はリサイクルが可能である。

従来、原子力施設の管理区域からの資器材は、一部の工具や専門機器を除いて、廃棄物としてスクラップされるか、または有価物として産業界にリサイクルされるまで、管理区域内に留まる。

循環型社会の実現には、処理対象物の慎重な評価だけでなく、段階的かつ個別的なアプローチが必要である。

- ・ 再使用されるべき対象物は、再生利用のための処理と比較して、穏やかな除染方法と同様に、取り扱いにおいてかなり高いレベルの注意が必要である。
- ・ 異なる放射能レベルの汚染を有している組立部品やユニットは、労力およびコストを最小限に抑えつつ、クリアランスを最大化するために慎重に分解する必要がある。
- ・ 再使用のためにクリアランスされる資器材は、閾値よりかなり低い放射能レベルまで除染する必要があるが、クリアランスのプロセスには大きな不確実性が伴うのが一般的である。
- ・ 溶融後にクリアランスする資器材では、初期放射能レベルがかなり高くても許容される。

図5は、汚染されていない可能性の高



い箇所と、汚染が著しい部品を分離する様子を示す。この配管は、マグノックス原子力発電所の原子炉とボイラーをつなぐガスダクトで、汚染されていない部分を慎重に分離することで、この器材のかなりの割合を熔融せずにクリアすることができた。図6は、高濃度汚染されたダクトの除染後で、この資材は、熔融し、熔融過程で放射能をさらに分離した後、産業界へのリサイクルの候補となった。

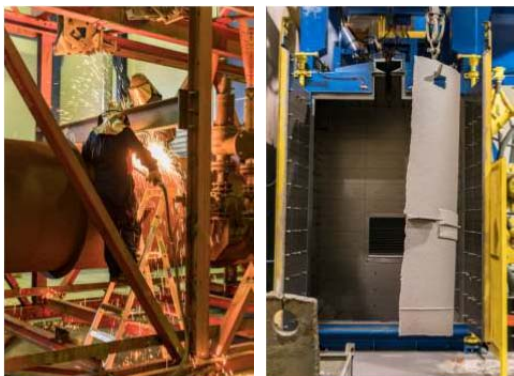


図5. 異なるカテゴリーの素材の分離 (左)

図6. 除染後の図6のダクト材 (右)

### 3.3 再使用のための除染とクリアランス

廃止措置の場合は、多くのプラント機器は再使用できれば大きな価値がある。クレーン、特定の電気モーター、ギアボックス、構造材などがそれにあたる。このような再使用は、ほとんどの場合、廃棄物量が最も少なく済む。また、別の用途に変更することで、多くの価値を維持することができる。

原子力分野以外での継続的な使用を目的とする場合、克服すべきハードルは主に以下である。

- ・製品に悪影響を与えずに、いかにしてクリアランスレベルまで除染を行うか
- ・クリアランスプロセス：コスト効率が

良く、安全なクリアランスを達成する方法

- ・放射化している機器の受入れ

良好な特性データ、適切な計装による効率的なプロセス、そして再使用のための対象物の慎重な選択によって、多くの機器が他の用途で継続的に使用される候補となるはずである。しかし、少なくとも最初は、汚染の可能性だけのものが、再使用の対象として選択される可能性が高いであろう。信頼構築(情報と透明性)に時間をかけることで、放射化した資器材が受け入れられる可能性がある。

### 3.4 再生利用のための除染と

#### クリアランス

廃止措置中の施設だけでなく運転施設の出力増強や近代化に際して、大きな価値を有するあるいは放射性廃棄物として処分した場合に大きな処分費用が発生する大量の資器材が、除染やクリアランスの候補となることがある。

再使用の選択肢に比べ、除染とクリアランスを簡略化するために、対象物の残存価値を考慮することなく、対象物を小型化、解体することが可能である。重要なのは、その資器材が合理的なコストでクリアランスできることのみである。資材の種類に基づく分別も良いが、二次市場の関係者は、従来のリサイクルプロセスの一環として、異なる資材を分別することに長けている。

原子力産業は、熔融を用いないクリアランスのための処理の方法について、長い間、積極的な経験を有しているが、これまでは主に潜在的な汚染物や軽度な汚染物に適用されてきた。この方法をより

汚染された対象物に適用すると、除染プロセスに対する要求が高まる。除染プロセスでは、エリア全体で平均化する可能性が非常に限定されるため、すべての箇所で放射能を除去する必要がある。

スウェーデンの施設で現在行われている投資は、3分野である。

- ・ 除染を効果的に行い、クリアランス測定を可能にするための解体と分解。施設、設備、プロセス
- ・ 除染ツール：湿式と乾式。環境に影響を与えず、また残余廃棄物が処分施設が受け入れられない特性を持つことのない、強力かつ効率的な除染を可能にするための閉ループプロセス設備
- ・ クリアランス測定インフラと装置：複雑な形状でも迅速かつ効率的に測定できるよう、作業環境の整った低バックグラウンドエリアと専用のツールボックスを設置するためのインフラ

### 3.5 溶融後リサイクルのための除染とクリアランス

処理プロセスで溶融を適用することは、多くの資器材を最終のクリアランス条件に到達するための最もコスト効率がよく、信頼性の高い方法である。やや単純化すると、核種組成が複雑であったり、核種組成の不確実性が高いほど、溶融の魅力が高まる。溶融プロセスで核種を金属から分離するためだけでなく、溶融金属中の放射能を均質化し、高精度のサンプリングと分析の可能性を提供する。

しかし、溶融には限界があり、例えば、

- ・ 異なる金属で構成される資器材は、あらかじめ金属の種類ごとに分離しておかないと溶解することができない
- ・ 最低限の量が要求される

- ・ チタンのように特殊な炉でないと溶融できない金属がある
- ・ 金属屑は、溶解前にあらかじめ圧縮しておかないと、限られた量しか溶解できない（溶解バッチの割合が低い）。

## 4. 処理の資材受入基準<sup>5)</sup>

Cyclife 社では、安全性、規制遵守、良好な処理結果を確保するために、資器材・廃棄物の具体的な受入基準を発行している（以下、抜粋）。

### 4.1 再使用のための除染とクリアランス（溶融しない場合）

#### 物理的制限

最大 9m × 4m × 3m

#### 受入対象物・材質

放射性物質に関する基準を満たしていることを条件に、ほとんどの金属を受け入れる。

#### 核種組成比

溶融を含まない除染・クリアランスプロセスを適用するためには、具体的な対象物に対して有効な核種組成が必要（例：システム全体の平均に基づくものではない）。核種組成比は、核種固有の最大変動限界値とともに提供されなければならない。

#### 汚染閾値

##### 大型部品

- ・ 資器材の厚みと除染の可能性に基づく閾値

例：材料の厚さが 50mm を超える場合 500kBq/m<sup>2</sup> まで。最大許容閾値のケースバイケース分析。

その他 全表面にアクセス可能な資器材

- ・ 質量比クリアランス値の 5 倍に相当する汚染（亜鉛メッキ金属：質量比クリ

アランス値の3倍)。

表面へのアクセスが制限されているもの、または混合金属を含む資器材

- ・質量比クリアランス値 1x に相当する汚染 (0.1Bq/g  $\gamma$ )

#### 4.2 溶融後の再生利用のための除染とクリアランス

##### 物理的な制限

最大 30m×5m×5m、400t

##### 対象物および材質

鋼鉄 (炭素、ステンレス)、アルミニウム、銅、真鍮、鉛は、放射性物質に関する基準を満たしていることが条件となる。

##### 汚染閾値

- ・塗装されていない表面：総汚染量 (kBq/m<sup>2</sup>)/厚さ(mm) = <100
- ・塗装されていない表面：総汚染量 (kBq/m<sup>2</sup>)/厚さ(mm) = <150

上記の数値は一般的なガイダンスで、純粋な低エネルギー  $\beta$  核種 (Fe-55、Ni-63 など) は考慮する必要がない。

再使用のための除染やクリアランスを目的とした資器材に対する一般的な受入基準はまだ発行されていないが、溶融せずに再生利用のための除染やクリアランスの受入基準はガイドラインとして使用されている。

#### 5. 設備構成 - 溶解を伴わない除染とクリアランス

部品や資材の再使用のために、溶融せずに除染とクリアランスを行う新しいプロセスラインは、主に3つの工程で構成されている。

1. 分解、区分け、除染と測定の準備

#### 2. 除染

#### 3. クリアランスを目指した測定

大型部品とその他資器材の2ルートに分かれる。後者は、小物品の他に、組み立てられた部品のスキッド、ケーブルの入ったケーブルトレイやコンジット、電気モーター、バルブアクチュエータ、制御盤などが想定される。大型部品ルートは、BWR 低圧タービンローターのような大型で重い部品が対象となる。

除染とクリアランス測定の対象物を準備するため、さまざまな工具や機械が使用される。分割のためには、冷間切断技術が好まれる。必要に応じて、大型バンドソーによる冷間切断、トーチやプラズマによる熱切断など、他の部品金属処理施設内のエリアや工具を使用することができる。

除染には様々な技術が適用される。小さな対象物は、主に最終測定のすぐ上流にある温水洗浄で除染される (図7参照)。必要な場合は、前処理としてタンブルブラスターで機械的なショットブラストを行うこともできる。

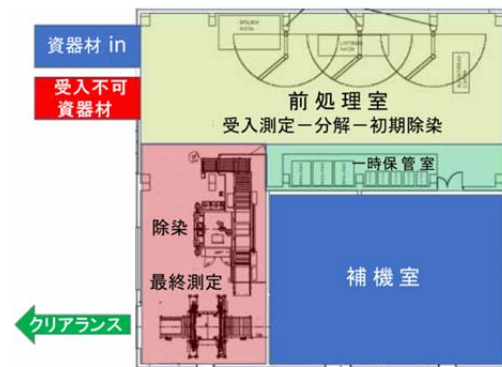


図7. 小型部品の解体、前処理、測定

大きな対象物は、専用の区画の中で、



手動ドライブラストまたは手動ウェット除染によって除染される（図 8 参照）。

必要に応じて、主に溶解する資材に使用されるグリットブラストを使用して、より積極的な除染を行うことができる。その場合、除染前に資材を 1 トンの大きさに分割する必要がある。

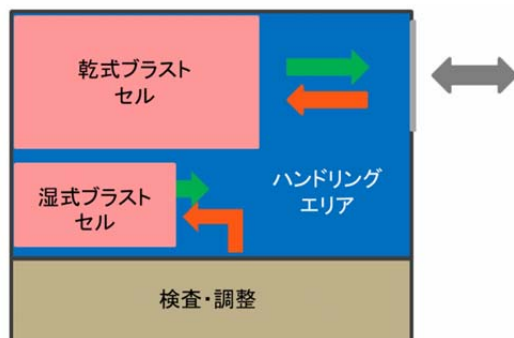
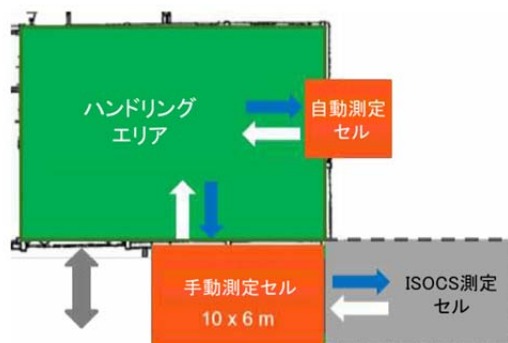


図 8. 大型部品用除染エリアの主な配置

3 つ目の最終工程は、クリアランスで、小さな対象物の場合は、支配的な核種を同定する機能を備えた自動全 $\gamma$ 測定ステーションを使用する。大型の部品については、嚴重に遮蔽された手動測定セルで行う（図 9 参照）。

遮蔽の目的は、非常に低いバックグラウンドレベルを確保することであり、タービンローターのような大きな部品を一体として扱うことができるようにする。

図 9. 大型で複雑な部品のためのクリアランスエリアの主な配置



手動測定セルの隣には、高解像度 Ge 検出器を備えた嚴重に遮蔽された測定セルがあり、対象物やパッケージは回転しながら、または検出器の前に静止した状態で $\gamma$ 核種を測定する（ISOCS : In Situ Object Counting System、図 10 参照）。この測定ステーションは、1.2 m<sup>3</sup>までのパレット上のボックスや資器材に対応するように設計されている。



図 10. ISOCS 測定セルへの物質の投入

## 6. 考察

除染とクリアランスの応用の興味深い開発といくつかの国での重要な経験があるにもかかわらず、クリアランスされるであろう VLLW と LLW 金属に関しては、溶融を含む処理が当分の間主要な処理方法であると思われる。

いずれにせよ、参考文献 4) で示されたような推定によれば、処理のために Cyclife 社に送られる潜在的でわずかな汚染のある金属のかなりの割合が、溶融を使用せずにクリアランスできることが示されている。この例としては、PWR 蒸気発生器の二次側、構造用鋼、BWR 低圧タービンローター（またはその部品）などが挙げられる。

また、各手法によるクリアランスの基準や成功率の違いを分析することも重要であり、やや簡略化すると、以下のようになる。

- ・スウェーデンの一般的なクリアランス規制（SSMFS 2018:3 [3] IAEA Safety Guide on clearance RSG-1.7, に相当する、自然起源核種を除く）と比較して、溶融後のクリアランスではクリアランス閾値が約 10 倍高い（EC RP 89 Table 3-1, ）。
- ・いくつかの核種（Cs-134/137、Sr-90、ウラン、およびすべての超ウラン元素）は、溶融プロセスで鋼材から自然に分離し（参考文献 6）、クリアランス作業が大幅に簡素化される。
- ・金属インゴットのクリアランス（認可施設での溶融とサンプリング後）における不確かさは、他の種類の金属のクリアランスにおける典型的な不確かさよりも著しく小さい。
- ・直接クリアランスに持ち込まれた除染済み LLW のかなりの割合が、再度除染を行うか、溶融または処分に回されることになる。金属インゴットの場合、失敗の割合は著しく低い（通常、初期放射能レベルは著しく高いにもかかわらず）。

溶融を伴わない直接クリアランスの大きな利点は、上述のように、部品の再使用の可能性を開くだけでなく、従来のリサイクル産業による異なる金属の分離のために混合金属をクリアランス対象とす

ることができることである。また、配送前に金属を分別することが不可能または実用的でない場合があるため、処理工場で複数の処理およびクリアランスルートが利用できることは有益である。

## 7. 結論

少なくとも部分的には人間活動によって引きこされた地球の温度上昇との戦いに貢献することは、我々全員の責任である。原子力産業は、低炭素発電を提供することによって貢献することができる。

また、我々の産業は、廃棄物の発生を最小限に抑え、産業から出る余分な資器材に廃棄物階層を適用することによっても貢献することができる。例えばドイツでの幅広い経験から、廃止措置プロジェクトで発生する廃資器材のうち、処分しなければならぬものはわずか 2%程度であり、残りは別のルートで回収し、リサイクルすることができる。

次の課題は、原子力産業からの資器材の再使用の取組みを拡張して実施することである。もしそれが一般的なクリアランスに合格し、継続的に使用しても完全に安全であるならば、なぜ原子力での履歴を理由に機能可能な機器を破壊する必要があるのか？

## 注釈

- \*1 放射能濃度が低く、人の健康への影響がほとんどないものの中で、原子炉等規制法に基づき原子力規制委員会による認可・確認を受けたものは「放射性物質に汚染されたものとして扱う必要のないもの」として、産業廃棄物として再利用または処分できる制度。平成 22 年（2010 年）には、放射性同位元素等規制法にも導入された。
- \*2 「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会から脱却し、生産から流通、消費、廃棄に至るまで物質の効率的な利用やリサイクルを進めることにより、資源

の消費が抑制され、環境への負荷が少ない「循環型社会」の形成に向け実効ある取組の推進を図るための法律

- \*3 フランス電力（EDF）が Studsvik 社の廃棄物処理部門を傘下に入れて設立した Cyclife 社のスウェーデン支社
- \*4 欧州の廃棄物階層は、「予防」（廃棄物の発生を防止と削減）、「再使用」（廃棄物となる前に他所で使用）、「再生利用」（廃棄物を新たな資源として再生）、「回収」（例えば、焼却炉からの熱回収）、「廃棄」（埋設・焼却処分など）の 4 ステップからなる。

#### 参考文献

- 1) 資源エネルギー庁 令和 3 年度事業 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験 報告書（添付資料 4）、など
- 2) Arne Larsson, et al., “Enhanced Sustainability in Treatment of Contaminated Metals for Clearance and Recycling”, WM2021 Conference, March 8 - 12, 2021, Phoenix, Arizona, USA
- 3) World Nuclear Organisation (2019). Methodology to Manage Material and Waste from Nuclear Decommissioning. WNA report 2019/001.
- 4) Larsson et.al (2017). Strategic Aspects on Waste Management in Decommissioning. WMS paper ID 17224.
- 5) Metal Recycling Facility - Waste Acceptance Criteria  
<https://www.cyclife-edf.com/sites/cyclife/files/2022-07/cyclife-uk-100-wac-metal-recycling-facility-waste-acceptance-criteria-20220701.pdf>
- 6) Cyclife (2019). Different Approaches for Clearance of Metals - a Comparison. WMS paper ID 19079.

### 3. D&D および復旧作業廃棄物の缶内熱処理

企画部 五十嵐 幸

廃止措置および解体作業から発生する一部の廃棄物は、その特性および規制の要件に従ってコンディショニングする必要がある。これには、閉鎖された核燃料再処理施設に残っている高放射性物質や Deactivation & Decommissioning (以下、D&D)で発生するさまざまな二次廃棄物が含まれている。これらの廃棄物の多くには多量のセシウム 137 が含まれ、更に複雑な物理化学的組成を取る可能性があることから、このような高放射性廃棄物の管理には多数の制約がある。このため、既存の規制に準拠した廃棄物パッケージを製造できる現場状況と敷地内中間貯蔵施設についての調査が進められた。グラウトまたはセメントは、高レベルの放射線によって水素を生成する傾向と体積の増加が起こる恐れがあるため、マトリックスとしては不適切である。ガラスおよびガラスセラミックマトリックスは、高レベル廃棄物ガラス固化プロセスに実用されていることから、さまざまな廃棄物に対応できる十分な柔軟性を持っており、最良の候補であると言える。

これに関連して、Orano、CEA、ECM、および ANDRA が集合した DEM&MELT プロジェクト共同企業体は、D&D プロジェクトの要件と制約に適合するように設計された缶内ガラス固化ツールを開発した。DEM&MELT 缶内ガラス化プロセス(以下、D&M 缶内ガラス化プロセス)は、堅牢、単純で多目的な現場ガラス化法である。このプロセスは、中高レベル廃棄物に適用することを目的に設計されており、既存の施設または処理対象となる廃棄物近くに設置できるほどコンパクトである。DEM&MELT プロジェクトは、フランス政府のプログラム「Programme d' Investissements d' Avenir」の支援を受けている。

東京電力福島第一原子力発電所(以下、1FNPP)は、2011年3月11日の地震で発生した津波による全電源喪失のため、メルトダウン、水素爆発と大きな被害を受けた。東京電力は事故直後から原子炉建屋で発生する汚染水の浄化処理を行っているが、処理に伴って大量の二次廃棄物が発生している。フランスの DEM&MELT 技術の適用性評価が 2018 年から 2021 年にかけて 1FNPP の汚染水処理で発生した二次廃棄物に対して実施された。この評価は、Orano、CEA、ANADDEC が主導するプロジェクトであり、経済産業省の補助金制度「廃炉・汚染水対策事業」として実施されている。

本報<sup>1)</sup> は 1FNPP の汚染水処理二次廃棄物への D&M 缶内ガラス化プロセス適用性評価の最初の結果である。

#### 1. はじめに

廃止措置や解体作業から発生する廃棄物の一部は、その特性や規制の要件に従った調整が必要である。

たとえば、廃止された核燃料再処理施設に残留している高放射性物質や、D&D 作業から

発生する二次廃棄物が対象である。汚染水処理二次廃棄物には通常 Cs-137 が高濃度に含まれ、物理化学的組成も複雑になる可能性があるため、高放射性廃棄物の管理に関係する規制に基づき、排出や敷地内の中間貯蔵を考慮して、規制基準に準拠した廃棄物パッケージを作成できる処理法が調査された。グラウ

トやセメントは、高レベルの放射線によって水素を生成する傾向と体積の増加が起こる恐れがあるため、マトリックスとしては不適切である。

ガラスとガラスセラミックは、高レベルガラス固化体製造に使えることが実証されている。加えてガラス素材は、さまざまな廃棄物に対応できる柔軟性を備えているので、汚染水処理二次廃棄物の処理方法として最適な候補である。

これに関連して、Orano、CEA、ECM、および ANDRA が集合した DEM&MELT プロジェクト共同企業体は、DEM&MELT プロジェクトの要件と制約に適合するように設計されたガラス固化技術を開発した。

D&M 缶内ガラス化プロセスは、堅牢でシンプル、多目的なガラス固化プロセスである。このプロセスは、中高レベルの廃棄物を対象として設計されており、既存の施設内や処理対象である廃棄物の近くに設置できるほどコンパクトである。

D&M 缶内ガラス化プロセスは液体廃棄物と固体廃棄物を処理し、少量の二次廃棄物を生成する。投資と運用コストを最小限に抑えることを目標としている。D&M 缶内ガラス化プロセスの主な特徴を以下に示す。

- ・ 中高レベルの廃棄物処理に適している
- ・ 様々な廃棄物組成に対応できる
- ・ 装置がコンパクトなため既存のセル内または処理対象廃棄物の近くに設置できる
- ・ 処理完了後に解体することを前提とした廃止措置ツールとして短期間の使用を想定した設計である
- ・ 二次廃棄物の発生は少量
- ・ 投資および運用コストが低い

1FNPP は、2011 年 3 月 11 日の地震による津波によって甚大な被害を受けた。事故後、大量の汚染水がいくつかの除染システムを使

用して処理された。これらのシステムでは、さまざまな性質の吸着剤や化学物質が使用されており、その結果生じる廃棄物（水処理二次廃棄物（WTSW）と呼ばれる）が福島サイトに保管されている。1FNPP WTSW への D&M 缶内ガラス化プロセスの適用性評価は、「廃炉・汚染水対策事業」補助金制度を使って 2018 年～2021 年に実施された。この論文は、WTSW への D&M 缶内ガラス化プロセス適用性評価の暫定的な結果である。

## 2. D&M 缶内ガラス化プロセスの概要

### ・ D&M 機能図

図 1 に D&M 缶内ガラス化プロセス機能図を示す。

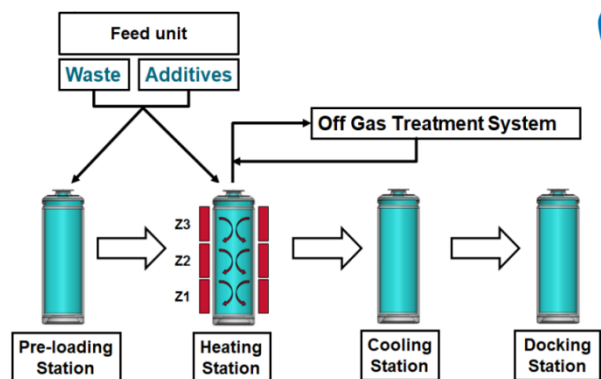


図 1. D&M 缶内ガラス化プロセス

D&M 缶内ガラス化プロセスは次の要素で構成されている。

- ・ 廃棄物(液体または固体)と添加物の供給ユニット
- ・ 装荷ステーション
- ・ 加熱ステーション
- ・ 冷却ステーション
- ・ ドッキングステーション
- ・ オフガス処理システム (以下、OGTS)

装荷ステーションでは、処理シナリオに応じて缶に廃棄物や添加物を充填する。充填後、缶は加熱炉に入れられる。加熱され、内容物

が溶融した後、缶は冷却ステーションに移動し徐冷される。缶はその後ドッキングステーションで密封処理されてから排出される。溶融物から放出される可能性のある化学種はオフガス処理システムで捕集され、溶融工程に戻される。

・D&M プロセスの主な特長

D&M 缶内ガラス化プロセスでは、廃棄物容器（または缶）を坩堝として使用し、充填した廃棄物と添加物を溶融して缶内に安定なガラス固化体を形成する。缶は1処理ごとに交換されるため、このプロセスは核廃棄物に対する応用範囲の広い技術と言える。

D&M 缶内ガラス化プロセスの主な機能を以下に示す。

- ・缶は1処理ごとに交換されるので、従来のガラス化プラントと比較して装置が簡素化される；
- ・ガラスをキャニスターに排出しないため、システムの用途が広がる；
- ・缶内壁のガラスによる腐食は、缶が1処理ごとに交換されるので問題が小さい；
- ・溶融ガラスと直接接触する部品がないため、操作と保守が容易で、二次廃棄物の発生が少ない；
- ・缶は単純な抵抗加熱炉で加熱するので装置は安価で保守、運転が容易；
- ・缶内のガラス材は、溶融物の熱対流で均一になる(缶の寸法形状と加熱炉の設計による)；
- ・温度制御と OGTS により、効果的な揮発物管理が可能（特に Cs）；
- ・D&M 缶内ガラス化プロセスは、他のガラス化技術と比較して低投資設備である。このプロセスは、ホットセルや処理される廃棄物の近くに設置できるほどコンパクト；
- ・D&M 缶内ガラス化技術は、ゼオライトやスラッジを含む固体または液体の廃棄物の

固化に適しており、幅広い廃棄物組成に適用できる(このプロセスは、結晶生成、ガラスの電気的特性変化、溶融物中の金属粒子の存在、そして溶融物中の相分離等に鈍感である)。

・OGTS の除染係数が高い(特に、第1段の高効率ダストスクラバー)。溶融物から放出され OGTS で捕集された化学種は、溶融工程に戻されるので、Cs などの管理が容易になり二次廃棄物発生を抑制できる。

OGTS は、Orano の高レベル廃棄物ガラス固化における 40 年以上の経験に基づいて設計されている。

D&M 缶内ガラス化プロセスは、廃棄物の放射能レベルに応じて、直接、または遠隔操作を選択できる。

図2は処理される廃棄物の放射能が高い場合の例で、ホットセルを用いた遠隔操作を示している。

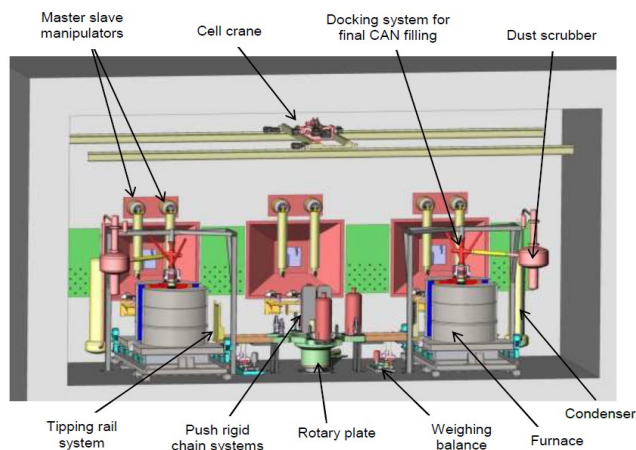


図 2. D&M 缶内ガラス化プロセスのホットセル運用例

・開発状況

缶内ガラス固化技術は、CEA が社内でのアルファ液体廃棄物ガラス化 のために開発したものである。このプロセスの技術開発は現在完了している。開発では 20 の実規模パイロット試験(通常動作、感度テスト、過渡モー



ド、劣化モード)が実施された。DOE のTRL 方法論に基づいて、CEA 内部アプリケーション用に開発した缶内容融プロセスは、TRL 7 と評価された。これは、コールド運転および関連する環境で、さまざまな模擬試験がフルスケールで実施されたことを意味する。

2015年、OranoとCEAは、D&Dや修復作業から発生する核廃棄物を、次の要件に従ってカスタマイズすることを決定した。

- ・中高レベル廃棄物プロセスへの適応
- ・固形廃棄物と液体廃棄物の処理(ゼオライトやスラッジ処理と互換性)
- ・コンパクト、モジュラー設計
- ・現場設置への適合

D&M 缶内ガラス化プロセスの主な目標は、減容、放射性核種の耐久性のある封じ込め、および廃棄物の安定化である。このプロセスの設計では、La HagueとMarcouleでの40年以上にわたるHA運用の実績ある技術が生かされている。例えば、La HagueとMarcouleでの高レベル廃棄物ガラス固化(AVM、R7、T7)の技術、およびOranoが運営する廃棄物処理施設で使われている多くの機能が利用されている。フルスケールD&Mパイロットプラントは2020年にマルクールで開始された。図3はフルスケールD&Mパイロットプラントの設備を示している。

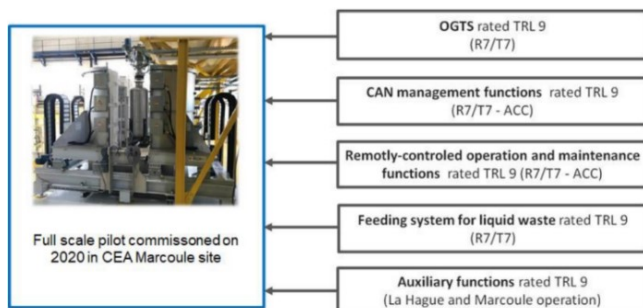


図3. フルスケールD&Mパイロットプラント設備(マルクール)

### 3. 1FNPPで発生したWTSWへのD&M缶内ガラス化プロセスの適用性評価

#### ・研究の主なステップ

- ・廃棄物処理シナリオとコンディショニング(廃棄物装荷最適化)、
- ・ベンチスケール試験、
- ・パイロットスケール試験、
- ・技術と経済性評価。

研究開発は、アップスケーリングの方法論に基づいている。実験室規模からパイロットスケールまでの各ステップにおいて、材料ごとの動作パラメータとデータが収集され、最適化に活用された。

#### ・廃棄物の主な特長

WTSWは、原子炉建屋内に流入した汚染水の浄化工程で発生する二次廃棄物である。浄化工程は、主に共沈処理とイオン交換吸着カラムで構成されている[1]。これらの処理で発生する二次廃棄物は、主にゼオライト、ケイチタン酸塩、砂、そして沈殿スラッジ、などの鉱物質吸着剤であるが、有機ポリマー、放射性炭など、他の種類の廃棄物も少量存在する。廃棄物は主にCsとSrで汚染されている。

#### ・廃棄物処理シナリオとコンディショニング

D&M 缶内ガラス化法をWTSWに適用するため、いくつかの目標が設定された。

- ・結晶生成が影響しない緻密なガラス質マトリックスの生成
- ・放射線分解しない廃棄物形態
- ・大幅な減容
- ・廃棄物形態放射性核種の化学的安定化
- ・廃棄物を処理できる処理能力

予測された廃棄物の変化に対し、次の2つの代替案が提案されている。

- ・ガラスと廃棄物の最適な装荷率を確認し、高い廃棄物体積削減率から廃棄物パッケージ数を低減する。これは処理時間、コスト、および廃棄物パッケージ量を削減する工程の提案である。論文 [2] で紹介されている。
- ・WTSW をバッチ処理する方法の採用によって、高い廃棄物装荷率を維持しながら、廃棄物混合前処理を行わない工程の提案。

1FNPP サイトには大量の WTSW が保管されている。この廃棄物のうち、約 80%vol がスラッジスラリーである。スラリーの約 70%vol が、ALPS(Advanced Liquid Processing System-Multi Radionuclides Removal)から生成した。水酸化鉄共沈法と炭酸カルシウム/水酸化マグネシウム共沈法によっても、2 種類のスラリーが生成している。この論文では、ALPS から発生したスラリーの処理を対象としている。

#### ・実験室規模の試験

ガラスは、廃棄物装荷量、加工性、および廃棄物パッケージの特性を最適化することを目的として加えられた。ガラス添加剤の組成と廃棄物装荷量を決定し、ガラス添加剤と廃棄物の熔融を確認するための実験室規模予備研究が行われた。結果は、貯蔵されている WTSW の中で最も多量に存在する廃棄物について示す。

炭酸塩と鉄を含む ALPS 由来廃棄物のガラス化について、LAB1 と LAB2 の 2 種類の混合比率試験を行った。結果を以下に示す。最初の実験で、LAB1 試料の炭酸塩と鉄の混合

比率は ALPS 由来廃棄物の総乾燥量の比率と同じとした。つまり、炭酸塩と鉄の比率 5:1 である。LAB2 試料混合比率は 4:2 で、これは、混合比の変動に対応するガラス質マトリックスの能力を評価するために実施した。

LAB1 と LAB2 の加熱サイクルは同じである。2 つのテストの廃棄物負荷 (酸化物量) はほぼ同じで、40% をわずかに上回っていた。得られた廃棄物の形状を図 4 に示す (切断中の材料を固定するために、エポキシ樹脂が注入され、坩堝を高さ方向に切断した)。

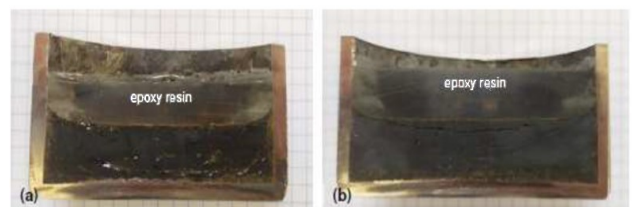


図 4. (a) LAB1 および (b) LAB2 試験結果

試験では、炭酸分の割合が大きいにもかかわらず、発泡がなく高密度の固形廃棄物形態が得られた。

#### ・ベンチスケール試験

ベンチスケール試験は計画の 2 番目のステップである。この試験は、実験室規模より大きなスケール (約 1kg の材料) での実施を目的としており、本格試験の前に予期しない動作を評価することができる。ベンチスケール試験では、本格試験と同じ温度における熔融ガラスの廃棄物の消化率と微細構造の確認、そして、OGTS に捕捉される化学種の確認を行った。

ベンチスケール試験装置を図 5 に示す。



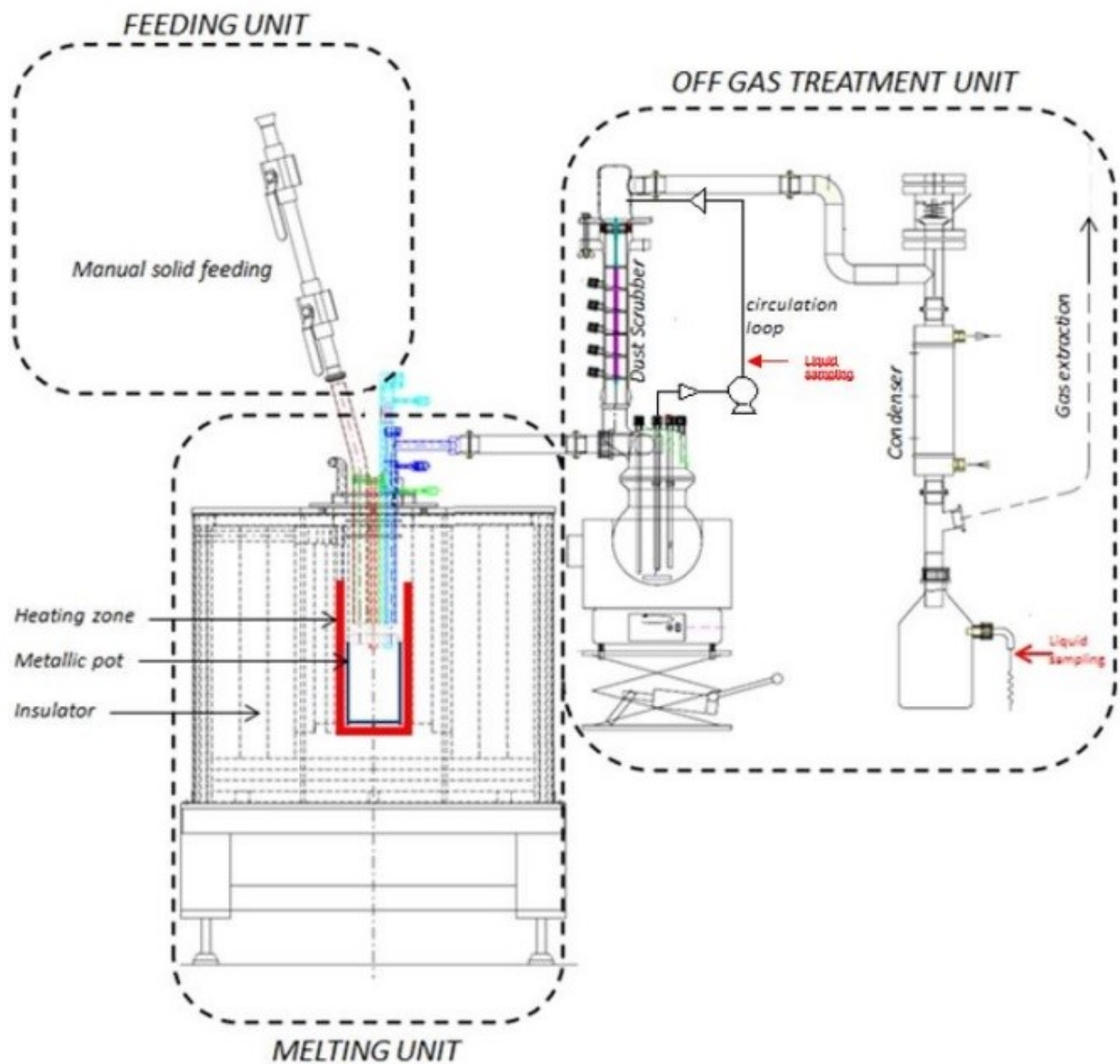


図 5. ベンチスケールのモックアップ

ベンチスケール試験では ALPS から発生するスラリーを可能な限り模擬するために、フィルタープレスで製造した模擬スラリーを使用した。非放射性のスラリーには、Ce (アルファ放射能の代替)、Sr、および Cl が加えられた。坩堝には炭酸塩と鉄(5:1 の混合比率)で模擬した ALPS スラリーとガラスフリットがあらかじめ装填されている。これらの混合物を装填した坩堝を図 6 に示す。

パイロット規模での試験では、必要に応じてテスト中の炭酸化合物からの発泡状況を観察した。溶融後の廃棄物の状態を図 7 に示す。坩堝には試料を切断するため、エポキシ樹脂が注入され、高さ方向に切断されている。

溶融した模擬廃棄物の目視観察では、均一な外観の黒いガラス状物質が見られた。ガラス状物質には、冷却時の熱応力と加熱ユニットから坩堝を引き抜く時の応力によると考えられる亀裂があった。



図 6. スラリーとガラスフリットの混合物を装填した坩堝



図 7 熔融後の廃棄物の写真

炭酸塩と鉄の ALPS スラリー模擬材 (5:1 の比率) を用いて行ったベンチスケール試験で得られた廃棄物の様子は、実験室規模試験で得られた結果と同等であった。この模擬 WTSW については、40%の廃棄物装荷率 (酸化物相当) で、1100°C加熱によるガラス化が可能であった。熔融後の廃棄物は主にガラス質で  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、および  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  で構成されており、Ce (アルファ放射能の代替) と Sr の大部分も含んでいた。いくつか

の結晶が坩堝壁側の廃棄物表面に見られた。

装置の終段に設置した集塵機と凝縮器で捕集された試料は、ICP-AES を用いて分析した。試料は、成分毎に質量を求め、装荷時の質量と比較した。ある元素では、集塵機と凝縮器の両方に捕集された質量の合計が揮発性に関係する。Sr の揮発性は非常に低いため、OGTS で捕集された Sr は装荷量の 0.02 wt.%未満であった。

熔融ガラスによる坩堝壁内側の腐食は表面から 500  $\mu\text{m}$  未満であり、最大の内部浸透深さは 70  $\mu\text{m}$  以下であると推定された。この結果、坩堝の最大腐食深さは 600  $\mu\text{m}$  未満と評価された。

#### ・パイロットスケール試験

ALPS スラリー混合物 (5:1 の比率) でパイロットスケール試験を実施した。

この試験の目的は、より実際に近い状態で試験することでベンチスケール試験結果を評価する事と、廃棄物の連続供給の可能性を確認する事である。

実際、この廃棄物は、坩堝への供給が非常に困難であった。廃棄物は高粘度で、付着傾向が強くなり、温度によって移送中の挙動が変化するので、ホッパーから坩堝に移すための特別な機械システムが必要であった。

坩堝内ガラス化パイロットプラントは DEM&MELT ガラス化プロセスに比べると約 1/3 のスケールである。パイロットプラントを図 8 に示す。

パイロット試験の結果は現在解析中である。

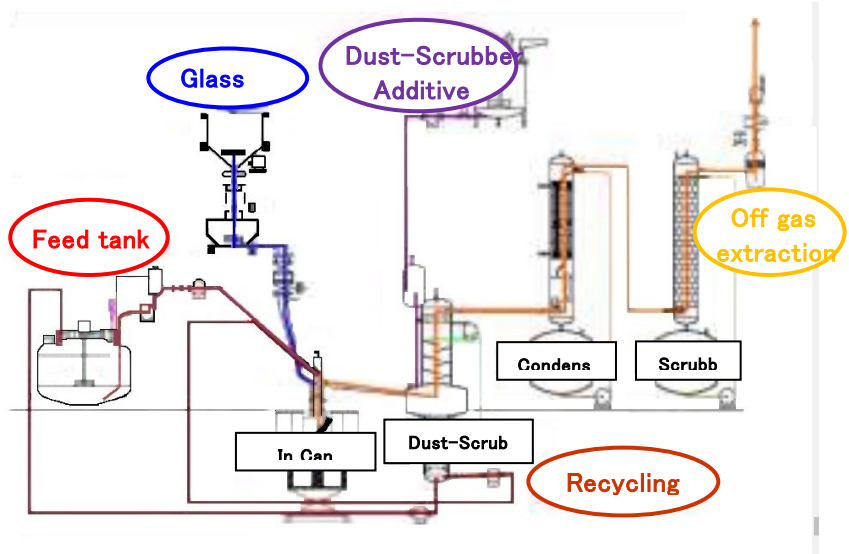


図 8 パイロットスケールプラント

#### 4. 結論

ALPS スラリーのガラス化について、模擬材を使用した各種スケールのモックアップ試験を実施した。

Sr の揮発性は非常に低く、OGTS で回収されたのは初期装荷量の 0.02 wt.% 未満であった。

ALPS 模擬スラリー(炭酸塩と鉄の混合物で混合比率は 5:1) で実施したベンチスケール試験は、実験室スケールの結果と同等であっ

た。この模擬スラリーのガラス化では、40% の廃棄物装荷量 (酸化物換算) について 1100°C でガラス化が可能であった。得られたのは主にガラス質であり、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  で構成され、装荷した Ce (アルファ放射能の代替) と Sr の大部分が含まれていた。坩堝の壁に沿って、廃棄物固体の表面にいくつかの結晶が見られた。熔融材料との接触部における坩堝の腐食は観察されなかった。

文献

1) DEM&MELT In-Can Vitrification Process for Fukushima Daiichi Water Treatment Secondary Waste -WM2020 - Régis Didierlaurent, Thierry Prevost, Hubert Orefice, Hubert-Alexandre Turc, Jean-François Hollebecque, Maxime Fournier, Kohei Shibata, Laurent David

## 4. 除染方法選択ツールの開発

廃棄物処理事業推進部 秋山武康

米国アイダホ国立研究所には除染分野における技術革新の長い歴史があり、1990年代に開発した革新的技術の1つは除染基準/決定ツリーだった。アイダホ化学処理工場での除染決定の分析が行われ、代替案を評価し、重み付け適用基準が決定された。これらの基準は時の試練に耐え、その後何度も使用され、特定のユーザーや用途に応じて調整できる。その後の改良により除染選択ツールに発展し、その1手法が2019年にオークリッジ国立研究所で実行され、40を超える化学除染技術から、金属対象物を洗浄する新代替除染方法を決定した<sup>1)</sup>。本報はそのツールの概要を報告するものである。

### 1. 経緯と概要

放射線汚染物質の除染方法の選択は難しい作業である。60を超える除染技術があり、複数のベンダーがこれらの技術を少しずつ変えているため、特定の仕事に最適な方法を選択する前に、多数の選択肢を評価する必要がある。長年の経験から、廃棄物処理経路は、純粋な有効性よりも特定の技術の採用に大きく関係している場合がある。除染法の選択手法を採用する上で重要なことは、どのような質問をするべきかを理解し、全体的な評価を達成するために回答を比較検討する方法を知ることである。

アイダホ国立研究所 (INL) のアイダホ原子力技術工学センター (INTEC) は、1991年にこの事態に直面した。これらの代替案を評価するために、基準と要件のマトリックスが作成された。マトリックスには、特定の除染方法がINTECシステムで使用できるかどうかについてのさまざまな個別の考慮事項がすべて含まれていた。評価マトリックスの概略図を図1に示す。

このマトリックスは、INTECでさまざまな新技術を使用するために開発された基準

をまとめたものである。Kempner-Tregoe法によって、使用する基準とそれらをグループ化する方法を決定し、各基準には重要性を示す重み係数が与えられた。

選択手段としての基準ツリーの開発に伴い、INLはINTECで使用するための多くの除染技術のテストと評価を進めた。INLは新除染方法の評価を可能にする試験方法として、模擬汚染法を開発し改良することで、除染方法を比較するための高い基準と公平な競争条件が設定された。

INLは2005年に米国環境保護庁(EPA)のために、都市汚染を浄化するための除染技術評価プロジェクトに取り組み始めた。汚染試験にはINTEC施設の金属除染とは異なるアプローチが必要だったが、INL評価基準を利用して、都市の除染の重要な要素を理解し、評価した。EPAのニーズにより、8主要基準(除染率、不定形表面、熟練労働者、携帯性、廃棄物量、二次廃棄物処理、表面損傷、コスト)のみを使用し、重み付けなしで可能な限り厳密なテストで得られたデータを使用した。

これらのプログラムでは、除染効果の技

術的判断も開発された。総合評価では多くの放射性核種とさまざまな基質との相互作用

用などの基本的な情報も提供され、除染方式選択ツールの開発に役立ちました。

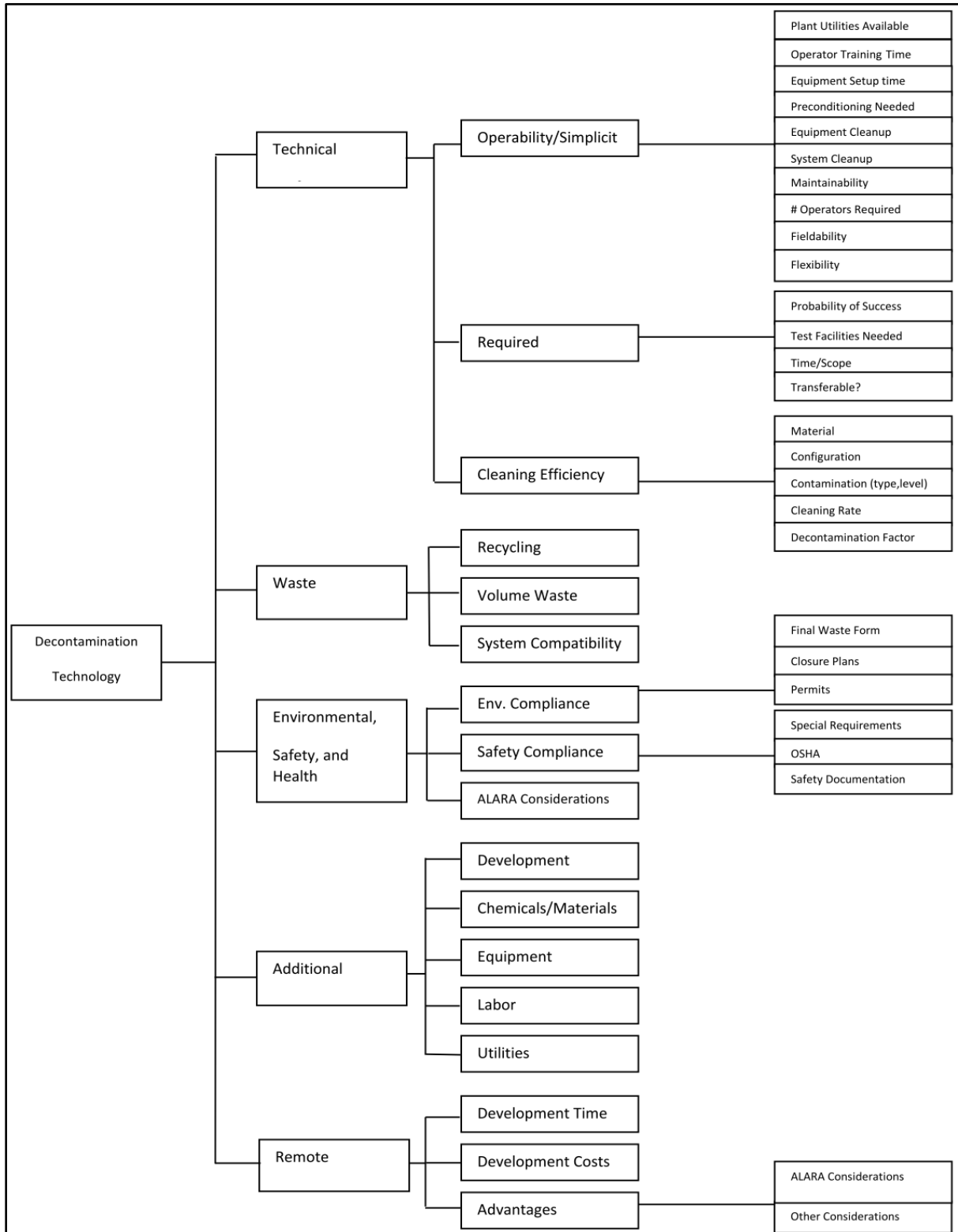


図 1. INTEC 基準ツリー (評価マトリックス)



## 2. 長所と短所の説明

### (1)INTEC での評価例

INTEC での更なる開発・実証適用性と有効性を判断するために商用の除染技術ベンダーからの技術の評価した例を示す。このプロジェクトでは、8ベンダーの新除染方法から2社、ADA Technologies (ADA) と Universal Ice Blast Incorporated (UIBI) が選ばれ、この除染技術の評価を表1に示す。

表1. ADA および UIBI の基準評価スコア

基準	ADA	UIBI
技術性能	8.2	8.7
廃棄物に対する配慮	6.6	7.5
環境安全衛生	7.5	8.7
コスト	8.0	9.4
リモート適応性	7.5	8.7
総加重スコア	7.7	8.5

これらは非常に異なる技術だが、同様条件下で並行して評価された。ADA は、導電性で剥離可能なコーティングジェルを帯電パドルで導電性金属の汚染面に広げ、乾燥させて剥離可能にする独自技術だった。UIBI 法では、水と氷をブラスト媒体として汚染を除去した。評価結果は、UIBI 法が全ての基準で高いスコアを得、両法とも INTEC ツールキットに加える価値があると分かった。

多くの新技術が、INTEC 基準と実験室の汚染有効性試験を使用して評価された。50 の異なる機械的・化学的除染方法がテストされ、これらの方法を用いて INTEC で使用できるように評価された。このプロセスは、INTEC で多くの新技術を実装するための十分に文書化された根拠を提供した。

### (2)EPA での評価例と特徴

EPA の都市除染研究のテストと評価は、INTEC で実施されたものと同様だが、大き

な違いの1つは、基材が金属(ステンレス鋼)ではなく、都市部の各種表面であったことである。

伝統的なタイプの空気圧グリット・ブラストだが独自の回収/リサイクル系を備えた Empire Blasting 技術と、放射性核種汚染物質を除去するために特別設計された化学技術である Environmental Alternatives, Inc. (EAI) Rad-Release I & II 法について、EPA による評価例が示された。

簡素化された基準マトリックス（前述の8主要基準）は、より主観的な決定を通知するための客観的な証拠の提供でなく、結果の採点に特に重点を置いていないものである。EPA の方法論は、多くの点で収益を削減する単純化されたアプローチを提供する。例えばコストデータは判断し易い方法で詳細に表示されるが、データはより主観的な全体的な決定を必要とする可能性のある形式で示される。

「スコア」や代替案の重み付けはない。EPA は情報を現場指揮官の手に委ねることを優先して、意思決定を分散化する傾向がある。次に現場の司令官は、独自の基準の重み付けに基づいて決定を下す。

### (3) INTEC 方法論の特徴

INTEC 方法論は EPA 法に比べもう少し詳細で、技術評価の早い段階で重み付け情報を作成する。これにより評価のより客観的な全体像を示す。基準はマトリックス開発初期に厳密に生成されるが、全体的な評価に意味があれば、再検討される場合がある。

INTEC 評価は、結果を数値として自動選択に簡単に移行できる。INTEC の評価マトリックスは EPA 版よりも客観的かもしれないが、生の点数や評価とは異なる用語で方法を説明する対話の意味が失われる可能性もある。

#### (4) 理想的なアプローチ

理想的なアプローチは、これらのタイプの評価を融合させ、除染技術を選択する方法とすることである。この新しい選択プロセスは自動化され、顧客と対話可能になり、重要な基準の重み付けを調整できるようになる。このアプローチでは、基質と汚染物質の化学的性質についても議論され、手法の選択に対する新たな優先事項となる。これらの基準と重要なデータの一部は、Q&A形式で作成でき、技術の選択に役立つようにコンピューター化できる。

#### (5)重要な観点

良好な除染結果を達成するための最も重要なインプットの1つは、基材と汚染物質の間の相互作用です。汚染物質の化学的性質と基材の多孔性の相互作用を理解することは、除染プロセスの基本である。図2に除染の選択肢を特定するために必要な質問をするフローダイアグラムの冒頭を示す。これらの基本的な質問によって、除染プロセスの有効性が大きく左右される。最初に基材を理解することで、エンジニアは問題を別の方法で考えることができる。

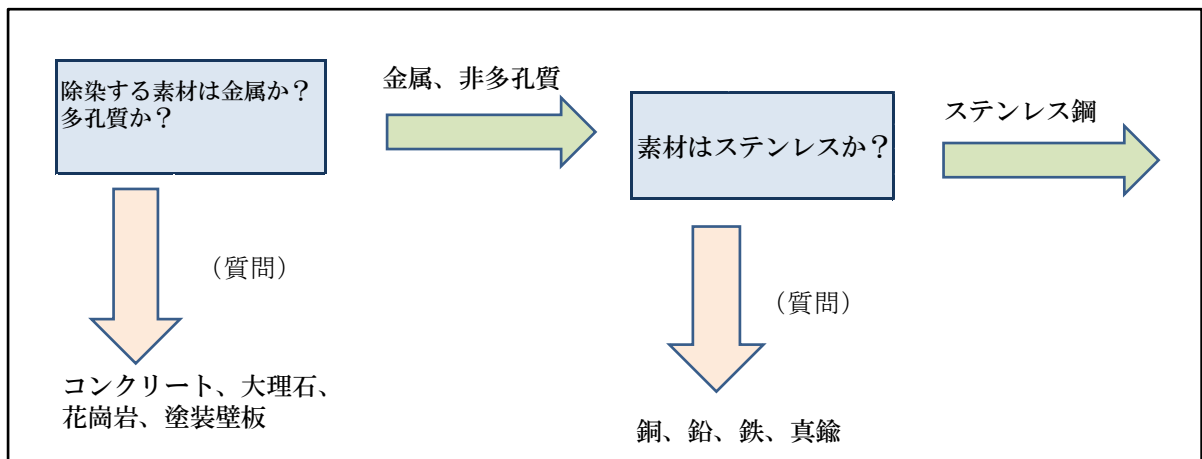


図2 除染対象基材を特定するフローチャート

除染プロセスの評価に影響を与える可能性のあるもう1つの問題は、汚染レベルである。汚染程度の第2の側面は、除染が必要な表面積の総量である。これによりスケジュールや予算をより重視したアプローチが必要になる場合がある。

もう1つの重要な問題は、除染から発生する廃棄物の処理経路である。廃棄物を出さない効果的な除染プロセスはない。ほとんど全ての廃棄物を処理できるが、顧客が希望する廃棄物処理方法によって除染プロセスが決まることがよくある。

Q&A形式の利用で、顧客の除染に対する

ニーズを理解し始めることができる。現在このプロセスは「専門家ベース」だが、私たちは、これらのプロセスを分かり易く説明し、誰もが利用できるようにしようとしている。フローチャートはそれを支援し、選択プロセスを改善し、コンピューター化も可能にするはずである。

### 3. 統合マトリックス手法の考察

長年にわたり、この専門家ベースのプロセスを利用して、除染技術の選択を支援してきた。その好例は、ORNL に対する最近の評価である。2019年、INLはORNLと協

力して新しい除染方法を特定し始めた。主な問題は、ORNL で新しい化学技術が実証され、その化学を十分に理解せずに、不利な財政的取り決めを経て採用されたことだった。そのためより安価で、材料やプロセスとの互換性が高い新しい化学代替物が必要だった。更に ORNL は、作成が簡単でコストがかからない単純な化学物質を手に入れたという強い願望を持っていた。新しい代替品は、ステンレス鋼、ゴム、その他のさまざまな種類の金属との適合性が高い必要があった。

代替品には、コストと単純さの点で不利な点があったが、高い除染効率が得られた。放射線検査室は、規制によって利用可能な選択肢が狭められているため、水よりもわずかに優れた代替品を採用することを余儀なくされることさえある。従って除染の効率が高く、多くの物質や複数の放射性核種に使用できる汎用性のある代替手段が望まれていた。

ただし硝酸系でない溶液を使用することが必須条件である。硝酸塩含有溶液は、廃棄物分離パイロットプラントで問題を引き起こした。新しい廃棄物要件が発生するにつれて、DOE 周辺では非硝酸塩、非酸化性溶液がより望ましいものになりつつある。別の条件は、代替物が pH 2~12 で容易に中和できることである。

40 を超える化学除染技術が調査され、ORNL の上記基準と比較され、さらに評価されるべき代替技術が選択された。一部の代替物(HBF<sub>4</sub>や Nitric/HF など) は早期に除外されたが、最終的な評価に含めて、選択の見通しを示した。以下、化学的代替案の簡単な説明を示す。

**APOX** : アルカリ過マンガン酸塩、シュウ酸。非常に一般的な除染方法で、特にオーステナイト系ステンレス鋼に使用される。効果は中程度で、廃棄物として大量の高塩成分が発生する。

**HBF<sub>4</sub>** : フルオロホウ酸。フッ化物溶液の使用には細心の注意が必要だが、非常に効果的であり、大量の廃棄物を発生しない。

**HEDPA** : (Hexyl-1-Hydroxyethane 1,1-diphosphonic acid,) エチドロン酸。アルゴンヌ国立研究所で開発され、オーステナイト系ステンレス鋼の酸化物溶解に効果的であると報告されている。

**Nitric/HF** : 硝酸とフッ化水素酸を含む溶液。新しいステンレス鋼の表面を酸洗する。効果的な除染液として INL で使用されるが、フッ化物濃度には細心の注意が必要である。

**Organic acids** : 有機酸 (クエン酸、シュウ酸)。カナダ原子力複合施設で長年使用され、中程度の効果で、廃棄物の発生は少ない。

**Phosphoric acid** : リン酸。表面処理やエッチングによく使用される無機酸。INL は、この溶液に有機酸とキレート剤の追加可能性を示唆する。

表 2 に、これらの代替案と 5 つの全体的な基準のスコアを示す。除染方法を選択する際の優先事項は、①技術的性能(効率性、汎用性、単純さ：全体で 28%)、および ②廃棄物への配慮(廃棄物の量と種類：全体で 25%) である。どの除染方法も、効果的で用途が広く、使いやすく、現場での廃棄物処理に適した少量の二次廃棄物を生成することが非常に重要である。リン酸と HEDPA は、Nitric/HF とほぼ同じくらい効



果的（高い技術的性能を持つ）であることが示され、廃棄物の許容性ははるかに優れている。

表 2. 基準の加重スコアと代替案の合計スコア

	リン酸	HEDPA	有機酸	APOX	HF <sub>4</sub>	Nitric/HF
(劣)1<3(並)<5(優)	3.58	3.46	3.58	3.19	3.00	3.23
1. 技術性能	1.09	1.08	0.96	1.00	1.05	1.10
2. 廃棄物に対する配慮	0.93	0.98	0.68	0.73	0.69	0.63
3. 環境安全衛生	0.57	0.56	0.67	0.65	0.60	0.53
4. コスト	0.64	0.48	0.80	0.32	0.48	0.48
5. リモート適応性	0.36	0.36	0.48	0.48	0.48	0.48

#### 4. 結論

特定のプロジェクトに最適な放射性物質の除染方法を選択し、その選択を正当化することは困難である。未知の新しい除染方法を扱う場合は更に困難である。顧客にとって最も重要な除染プロセスの状況を理解

#### 参考文献

- 1) Rick Demmer, Julia Tripp, Mark Ford, "Development of a Decontamination Method Selection Tool - 21388" , WM2021 Conference, March 8-12, 2021, Phoenix, Arizona, USA

することは非常に重要である。多くの場合、それは新技術の技術的側面と同様に、廃棄物処理（および関連コスト）に帰着する。

洗浄される基材と対象となる汚染物質の物理的要因は非常に重要であり、この要因の相互作用によって汚染の強さが決まり、除染の全体的な効果を決定する。技術者と顧客は、評価の早い段階でそれを理解し、特定する必要がある。見落とされがちなこれらの側面が、最終的にプロジェクトの除染品質を左右する。

全ての質問とさまざまな基準を統合することは、なかなか困難である。INL は、プロセスをガイドするのに役立つツール(スプレッドシートと可視化ツール)を開発しており、除染の選択を神秘的なプロセスにしないQ&A 手法を開発している。

## 世界の原子力発電所の廃止措置最新情報（2023年3月現在）

新たに、ベルギーのドゥール3号機が2022年9月23日、ティアンジュ2号機が2023年1月31日、台湾第2発電所（國聖）2号機が2023年3月15日、に恒久閉鎖された。

米国ではラクロスで、2023年2月にISFSIを除きサイトが解放され、廃止措置が完了した。一方、ドイツでは2022年末に運転終了の予定であった残り3基を、2023年4月15日までの稼働延長を認める法案が成立した。また、米国でも、2022年5月に閉鎖したパリセーズNPPを買収したホルテック社は、世界でも異例ともなる運転再開を目指し、一度却下された米エネルギー省の民間原子力クレジットプログラムに基づく資金提供を2023年1月にも再申請すること。ミシガン州知事もクリーンエネルギー、地域経済・雇用の確保などの観点から同社の取組みを支持している。

	国	施設名	運転期間	電気出力 (グロス)	炉型	廃止措置 方式	廃止措置現状	廃止措置完了 (予定)時期
1	アルメニア	アルメニア-1	1977/10/06～1989/02/25	408 MW	PWR	未定	計画検討中	2048年
2	ベルギー	BR-3	1962/10/10～1987/06/30	12 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	2023年
3		ドゥール-3	1982/10/01～2022/09/23	1056 MW	PWR	即時解体	燃料取出し中	不明
4		ティアンジュ-2	1983/06/01～2023/01/31	1055 MW	PWR	即時解体	燃料取出し中	
5	ブルガリア	コズロドイ-1	1974/10/28～2002/12/31	440 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵(20年)解体中	2035年
6		コズロドイ-2	1975/11/10～2002/12/31	440 MW	PWR			
7		コズロドイ-3	1981/01/20～2006/12/31	440 MW	PWR			
8		コズロドイ-4	1982/06/20～2006/12/31	440 MW	PWR			
9	カナダ (6基)	ダグラスポイント	1968/09/26～1984/05/04	218 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	未定
10		ジェンティリ-1	1972/05/01～1977/06/01	266 MW	HWLWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	
11		ジェンティリ-2	1982/12/04～2012/12/14	675 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	
12		ロルフトンNDP-2	1962/10/01～1987/08/01	20 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	
13		ピッカリング-A2	1971/10/06～2007/05/28	542 MW	PHWR	安全貯蔵	停止中	
14	ピッカリング-A3	1972/05/03～2008/10/31	542 MW	PHWR	安全貯蔵	停止中		
15	フランス (14基)	ビュージェイ-1	1972/07/01～1994/05/27	540 MW	GCR	安全貯蔵	解体計画作成中	2028年
16		ショー-A	1967/04/15～1991/10/30	320 MW	PWR	安全貯蔵	解体中(2014年～)→サイト修復	2022年
17		シノン-A1	1964/02/01～1973/04/16	80 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2027年
18		シノン-A2	1965/02/24～1985/06/14	230 MW	GCR		部分解放済(ステージⅡ)	2026年
19		シノン-A3	1966/08/04～1990/06/15	480 MW	GCR		安全貯蔵中から解体中	2033年
20		マルクール-G2	1959/04/22～1980/02/02	43 MW	GCR		安全貯蔵	安全貯蔵中(Cの処分場開設待)
21		マルクール-G3	1960/04/04～1984/06/20	43 MW	GCR			
22		モンダレ-EL4	1968/06/01～1985/07/31	75 MW	HWGCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2025年
23		サンローラン-A1	1969/06/01～1990/04/18	500 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2032年
24		サンローラン-A2	1971/11/01～1992/05/27	530 MW	GCR			2028年
25		スーパフェニックス	1986/12/01～1998/12/31	1241 MW	FBR	即時解体	解体中(Na処理継続)	2026年
26		フェニックス	1974/07/14～2010/02/01	142 MW	FBR	即時解体	「最終運転停止段階」で燃料撤去	～2045年
27		フッセンハイム-1	1977/04/26～2020/02/22	920MW	PWR	即時解体	燃料撤去+解体で18年	2038年
28		フッセンハイム-2	1977/10/07～2020/06/29	920MW	PWR			
29	ドイツ (33基)	グライフスバルト-1	1974/07/02～1990/02/14	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年
30		グライフスバルト-2	1975/04/14～1990/02/14	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年
31		グライフスバルト-3	1978/05/01～1990/02/28	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年

	国	施設名	運転期間	電気出力 (グロス)	炉型	廃止措置 方式	廃止措置現状	廃止措置完了 (予定)時期	
32	ドイツ (33基)	グライフスバルト-4	1979/11/01～1990/07/22	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年	
33		グライフスバルト-5	1989/11/01～1989/11/24	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年	
34		ブロクドルフ	1986/12/22～2021/12/31	1480 MW	PWR	即時解体	廃止措置準備中		
35		グロスヴェルツハイム(HDR)	1970/07/02～1971/04/20	25 MW	BWR	即時解体	廃止措置終了	1998年完了	
36		グンドレミンゲン(KRB-A)	1967/04/12～1977/01/13	250 MW	BWR	即時解体	設備・機器の解体撤去(建家残存)	2006年完了	
37		グンドレミンゲン(KRB-B)	1984/07/19～2017/12/31	1344 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	未定	
38		グンドレミンゲン(KRB-C)	1985/01/18～2021/12/31	1344 MW	BWR	即時解体	廃止措置準備中	未定	
39		AVR実験炉	1969/05/09～1988/12/31	15 MW	HTGR	即時解体	設備・設備の解体撤去済	未定	
40		カールVAK	1962/02/01～1985/11/25	16 MW	BWR	安全貯蔵	廃止措置終了	2010年完了	
41		カールスルーエKNK-Ⅱ	1979/03/03～1991/08/23	20 MW	LMFBR	即時解体	廃止措置中	～2025年	
42		カールスルーエMZFR	1966/12/19～1984/05/03	57 MW	PHWR	即時解体	廃止措置中	～2025年	
43		リンゲン(KWL)	1968/10/01～1979/01/05	268 MW	BWR	安全貯蔵	遅延解体(2015年から解体開始)	未定	
44		ミュルハイム・ケールリッヒ	1987/08/01～1988/09/09	1302 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	～2029年	
45		ニダーアイヒバッハ(KKN)	1973/01/01～1974/07/21	106 MW	HWGCR	即時解体	廃止措置終了	1995年完了	
46		ラインスベルグ	1966/10/11～1990/06/01	70 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	～2025年	
47		シュターデ	1972/05/19～2003/11/14	672 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	2023年	
48		THTR-300	1987/06/01～1988/04/20	308 MW	HTGR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2027年迄の30年間)	未定	
49		ヴェルガッセン	1975/11/11～1994/08/26	670 MW	BWR	即時解体	廃止措置済(廃棄物貯蔵中)	2015年	
50		オビリッヒハイム	1969/03/31～2005/05/11	357 MW	PWR	即時解体	廃止措置中(第4ステージ)	～2025年	
51		ビブリスA	1974/08/25～2011/08/06	1167 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	2032年	
52		ビブリスB	1976/04/25～2011/08/06	1240 MW	PWR				
53		グローンデ	1985/02/01～2021/12/31	1430 MW	PWR	即時解体	安全貯蔵(2022年～2026年)	未定	
54		ブルンスビューッテル	1976/07/13～2011/08/06	771 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	2028年	
55		イザール1	1977/12/03～2011/08/06	878 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	未定	
56		クリュンメル	1983/09/28～2011/08/06	1346 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	～2035年	
57		ネッカーヴェストハイム1	1976/06/03～2011/08/06	785 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	未定	
58		フィリップスブルグ-1	1979/05/05～2011/08/06	890 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	未定	
59		フィリップスブルグ-2	1985/04/ ～2019/12/31	1468MW	PWR	即時解体	廃止措置中	未定	
60		ウンターヴェーザー	1978/09/29～2011/08/06	1345 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	2031年	
61		グラーフエンラインフェルト	1981/12/30～2015/06/27	1345 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	未定	
62		イタリア	カオルソ	1981/12/01～1990/07/01	882 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2031年
63			ガリアーノ	1964/06/01～1982/03/01	160 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2028～2032年
64			ラティーナ	1964/01/01～1987/12/01	160 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2035年
65	トリノ・ヴェルチェッゼ		1965/01/01～1990/07/01	270 MW	PWR	即時解体	安全貯蔵から解体中	2028～2032年	
66	日本 (27基)	動力試験炉(JPDR)	1963/10/26～1976/03/18	13 MW	BWR	即時解体	廃止措置完了	1996年完了	
67		東海発電所	1966/07/25～1998/03/31	166 MW	GCR	即時解体	廃止措置第二段階	2030年	
68		「ふげん」	1979/03/20～2003/03/29	165 MW	HWLWR	即時解体	廃止措置第二段階	2040年	
69		浜岡発電所1号機	1976/03/17～2009/01/30	540 MW	BWR	即時解体	廃止措置第二段階	2036年	
70		浜岡発電所2号機	1987/11/29～2009/01/30	840 MW	BWR	即時解体	廃止措置第二段階	2036年	
71		福島第一号機	1970/11/17～2011/05/20	460 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標	

	国	施設名	運転期間	電気出力 (グロス)	炉型	廃止措置 方式	廃止措置現状	廃止措置完了 (予定)時期
72	日本 (27基)	福島第一2号機	1973/12/24～2011/05/20	784 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標
73		福島第一3号機	1974/10/26～2011/05/20	784 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標
74		福島第一4号機	1978/02/24～2011/05/20	784 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標
75		福島第一5号機	1977/09/22～2014/01/31	784 MW	BWR	未定	事故炉の廃止措置技術実証用	未定
76		福島第一6号機	1979/05/04～2014/01/31	1100 MW	BWR	未定		
77		福島第二1号機	1979/05/04～2019/09/30	1100MW	BWR	遅延解体	解体工事準備段階(汚染調査) 原子炉安全貯蔵(20年間)	2065年度
78		福島第二2号機	1984/02/03～2019/09/30	1101MW	BWR	遅延解体		
79		福島第二3号機	1985/06/21～2019/09/30	1102MW	BWR	遅延解体		
80		福島第二4号機	1987/08/25～2019/09/30	1103MW	BWR	遅延解体		
81		敦賀発電所1号機	1969/11/16～2015/04/27	357 MW	BWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2039年
82		美浜発電所1号機	1970/08/08～2015/04/27	340 MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2045年
83		美浜発電所2号機	1972/04/21～2015/04/27	500 MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	
84		大飯発電所1号機	1979/03/27～2017/12/22	117.5MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2048年
85		大飯発電所2号機	1979/12/05～2017/12/22	117.5MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	
86		玄海発電所1号機	1975/02/14～2015/04/27	559 MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2054年
87		玄海発電所2号機	1981/03/30～2019/04/09	559 MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	
88		島根発電所1号機	1973/12/02～2015/04/30	460 MW	BWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2045年
89		伊方発電所1号機	1977/09/30～2016/05/10	566 MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2056年
90		伊方発電所2号機	1982/03/19～2018/05/23	566 MW	PWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2059年
91		もんじゅ	1994/04/～2016/12/21	280 MW	FBR	遅延解体	廃止措置第一段階	2047年
92		女川発電所1号機	1984/06/01～2018/12/21	524 MW	BWR	遅延解体	廃止措置第一段階	2053年
93		カザフスタン	BN-350	1973/07/16～1999/04/22	90 MW	FBR	安全貯蔵	廃止措置計画準備
94	韓国	古里1号機	1978/04/29～2017/06/18	607 MW	PWR	即時解体	2022年頃から解体予定	2033年
95		月城1号機	1983/04/22～2019/12/24	683MW	PHWR	即時解体	廃止措置中	2035年
96	リトアニア	イグナリア-1	1983/12/31～2004/12/31	1300 MW	LWGR	即時解体	最終状態(Brown State)	2038年
97		イグナリア-2	1987/08/20～2009/12/31	1300 MW	LWGR			
98	オランダ	ドーテバルト	1969/03/26～1997/03/26	60 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2045年以降
99	ロシア (10基)	ペロヤルスク-1	1964/04/26～1983/01/01	108 MW	LWGR	安全貯蔵	安全貯蔵後解体中	不明
100		ペロヤルスク-2	1969/12/01～1990/01/01	160 MW	LWGR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	不明
101		ノボボロネジ-1	1964/12/31～1984/02/16	210 MW	PWR			
102		ノボボロネジ-2	1970/04/14～1990/08/29	365 MW	PWR	不明	不明	不明
103		ノボボロネジ-3	1972/06/29～2016/12/25	385 MW	PWR			
104		オブニンスクAPS-1	1954/12/01～2002/04/29	6 MW	LWGR	安全貯蔵	燃料撤去後博物館化された。	不明
105		ビルビノ-1	1974/01/12～2019/01/14	12 MW	LWGR	不明	不明	不明
106		クルスク-1	1977/10/12～2021/12/19	1000 MW	RBMK	遅延解体	安全貯蔵準備	不明
107		レニングラード-1	1970/03/01～2018/12/21	925 MW	RBMK	遅延解体	安全貯蔵準備	不明
108		レニングラード-2	1970/06/01～2020/11/10	925 MW	RBMK	遅延解体	安全貯蔵準備	不明
109	スロバキア	ボフニチェ-A1	1972/12/25～1977/02/22	143 MW	HWGCR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2033年
110		ボフニチェ-V1-1	1980/04/01～2006/12/31	440 MW	PWR	即時解体	2022年原子炉解体撤去完了	2027年
111		ボフニチェ-V1-2	1981/01/01～2008/12/31	440 MW	PWR			

	国	施設名	運転期間	電気出力 (グロス)	炉型	廃止措置 方式	廃止措置現状	廃止措置完了 (予定)時期
112	スペイン	バンデロス-1	1972/05/06～1989/10/19	500 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2035年
113		ホセ・カブレラ-1	1968/07/14～2006/04/30	150 MW	PWR	安全貯蔵	解体終了、敷地最終サーベイ中	2022年
114		サンタマリアデルガロニャ	1971/03/02～2013/07/31	466 MW	BWR	未定	未定	未定
115	スウェーデン (7基)	オゲスタ	1964/05/01～1974/06/02	10 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2040年頃
116		オスカーシャム-1	1971/08/19～2017/06/19	492 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	未定
117		オスカーシャム-2	1974/10/02～2016/12/22	661 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	未定
118		バーセベック-1	1975/07/01～1999/11/30	615 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体へ移行	2029年
119		バーセベック-2	1977/03/21～2005/05/31	615 MW	BWR			
120		リングハルス-1	1974/10/～2020/12/30	916 MW	BWR	即時解体	廃止措置中(本格解体準備中)	～2033年
121		リングハルス-2	1975/08・17～2019/12/31	900 MW	BWR	即時解体		
122	スイス	ルーセン	1968/01/29～1969/12/20	6 MW	HWGCR	安全貯蔵	廃止措置終了	1994年完了
123		ミュレベルグ	1971/01/01～2019/12/30	380 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	2034年
124	ウクライナ	チェルノブイル-1	1978/05/27～1996/11/30	1000 MW	LWGR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2045年まで)	解体、敷地除染修復
125		チェルノブイル-2	1978/05/28～1991/10/11	1000 MW	LWGR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2045年まで)	解体、敷地除染修復 (2046～2065年)
126		チェルノブイル-3	1982/08/27～2000/12/15	1000 MW	LWGR			
127		チェルノブイル-4	1984/03/26～1986/04/26	1000 MW	LWGR			
128	イギリス (36基)	バークレー-1	1962/06/12～1989/03/31	166 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2006年～2021年)	2070年まで安全貯蔵、79年解体完了
129		バークレー-2	1962/10/20～1988/10/26	166 MW	GCR			
130		ブラッドウェル-1	1962/07/01～2002/03/31	146 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵(2018年～2085年)	2085年まで安全貯蔵、95年解体完了
131		ブラッドウェル-2	1962/11/12～2002/03/30	146 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2006年～2026年)	80年の安全貯蔵期間 後解体
132		コールドーホール-1	1956/10/01～2003/03/31	60 MW	GCR			
133		コールドーホール-2	1957/02/01～2003/03/31	60 MW	GCR			
134		コールドーホール-3	1958/05/01～2003/03/31	60 MW	GCR			
135		コールドーホール-4	1959/04/01～2003/03/31	60 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2006年～2026年)	80年の安全貯蔵期間 後解体
136		ハンターストーン-A1	1964/02/05～1990/03/30	173 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(1995年～2022年)	2071年まで安全貯蔵、80年解体完了
137		ハンターストーン-A2	1964/07/01～1989/12/31	173 Mw	GCR	安全貯蔵	燃料取出し(2022年～2026年)	～2100年安全貯蔵
138		ハンターストーン-B1	1976/02/07～2021/11/26	644 MW	GCR			
139		ハンターストーン-B2	1977/04/01～2022/01/07	644 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2004年～2027年)	2081年まで安全貯蔵、90年解体完了
140		ヒンクレーポイント-A1	1965/03/30～2000/05/23	267 MW	GCR			
141		ヒンクレーポイント-A2	1965/05/05～2000/05/23	267 MW	GCR	安全貯蔵	燃料取出し(2022年～2026年)	～2100年安全貯蔵
142		ヒンクレーポイント-B1	1978/10/02～2022/08/01	655 MW	GCR			
143		ヒンクレーポイント-B2	1976/09/27～2022/07/06	655 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2013年～2027年)	2092年まで安全貯蔵、2101年解体完了
144		オールドベリー-A1	1967/11/07～2012/02/29	230 MW	GCR			
145		オールドベリー-A2	1968/04/06～2011/06/30	230 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(1995年～2027年)	2074年まで安全貯蔵、83年解体完了
146		トロースフィニッド-1	1965/03/24～1991/02/06	236 MW	GCR			
147		トロースフィニッド-2	1965/03/24～1991/02/04	236 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2009年～2027年)	2088年まで安全貯蔵、97年解体完了
148		サイズウェル-A1	1966/03/25～2006/12/31	245 MW	GCR			
149		サイズウェル-A2	1966/09/15～2006/12/31	245 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2009年～2025年)	2081年まで安全貯蔵、90年解体完了
150		ダンジネス-A1	1965/10/28～2006/12/31	230 MW	GCR			
151		ダンジネス-A2	1965/12/30～2006/12/31	230 MW	GCR			

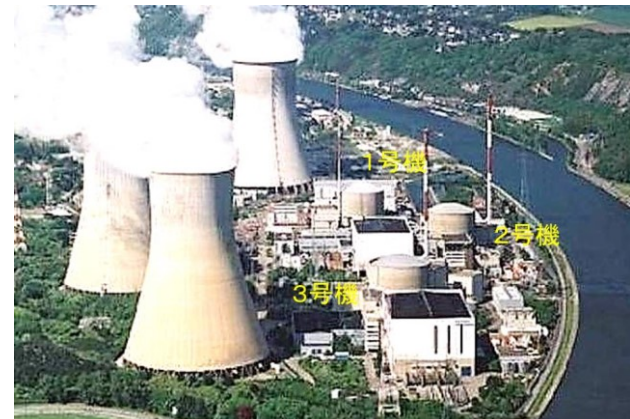
	国	施設名	運転期間	電気出力 (グロス)	炉型	廃止措置 方式	廃止措置現状	廃止措置完了 (予定)時期	
152	イギリス (36基)	ダンジネス-B1	1985/04/01～2021/06/07	615 MW	GCR	安全貯蔵	燃料取出し(2021年～2029年)	～2100年安全貯蔵	
153		ダンジネス-B2	1989/04/01～2021/06/07	615 MW	GCR				
154		チャペルクロス-1	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2011年～2028年)	2085年まで安全貯蔵、95年解体完了	
155		チャペルクロス-2	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR				
156		チャペルクロス-3	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR				
157		チャペルクロス-4	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR				
158		ウイルファー-1	1971/01/24～2015/12/30	530 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2015～2026)	2096年まで安全貯蔵 2105年解体完了	
159		ウイルファー-2	1971/06/21～2012/04/25	550 MW	GCR				
160		ドンレーDFR	1962/10/01～1977/03/01	14 MW	FBR	即時解体	解体中	2022年	
161		ドンレーPFR	1976/07/01～1994/03/31	250 MW	FBR	即時解体	解体中	2026年	
162		ウインズケール WAGR	1963/02/01～1981/04/03	36 MW	GCR	即時解体	解体中	2023年	
163		ウインフリス SGHWR	1968/01/01～1990/09/11	100 MW	HWLWR	安全貯蔵	安全貯蔵後解体中	2042年	
164		アメリカ (43基)	ビッグロックポイント	1965/11/01～1997/08/29	71 MW	BWR	即時解体	サイト解放済(ISFSI未)	2007年完了
165			GE バレシトス	1957/10/19～1963/12/09	24 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2019年完了
166	クリスタルリバー-3		1977/03/13～2013/02/20	890 MW	PWR	即時解体	安全貯蔵⇒(2019)即時解体	2076年⇒2027年	
167	CVTR		1963/12/18～1967/01/01	19 MW	HWLWR	安全貯蔵	サイト解放済	2009年完了	
168	ドレスデン-1		1960/07/04～1978/10/31	207 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2007年～2027年)	2036年	
169	エルクリバー		1964/07/01～1968/02/01	24 MW	BWR	即時解体	サイト解放済	1974年完了	
170	エンリコ・フェルミ-1		1966/08/05～1972/09/22	65 MW	FBR	安全貯蔵	2011年解体中断、安全貯蔵中	未定	
171	EBR-II		1965/01/01～1994/09/01	20 MW	FBR	安全貯蔵	安全貯蔵中(原子炉遮へい隔離)	未定	
172	ハンフォードN原子炉		1966/04/01～1988/02/01	860 MW	LWGR	安全貯蔵	ISS(鹼化)方式の安全貯蔵準備中	75年間ISS後解体	
173	フォート・セント・ブレイン		1979/07/01～1989/08/29	342 MW	HTGR	即時解体	サイト解放済(ISFSI未)	1997年完了	
174	ハダムネック(C・Y)		1968/01/01～1996/12/09	603 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSI未)	2007年完了	
175	ハラム		1963/11/01～1964/09/01	84 MW	その他	遮蔽隔離	隔離中(100年以上)	1969年完了	
176	フンボルト・ベイ-3		1963/08/01～1976/07/02	65 MW	BWR	即時解体	サイト解放済	2021年完了	
177	インディアン・ポイント-1		1962/10/01～1974/10/31	277 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(～2013年)	2026年	
178	インディアン・ポイント-2		1974/08/01～2020/04/30	1067 MW	PWR	即時解体	廃止措置準備中	2033年	
179	インディアン・ポイント-3		1976/08/30～2021/04/30	1085 MW	PWR	即時解体	廃止措置準備中	2030年代半ば	
180	ラクロス		1969/11/07～1987/04/30	53 MW	BWR	即時解体	サイト解放済(ISFSI未)	2023年2月完了	
181	メインヤンキー		1972/12/28～1996/12/06	900 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSI未)	2005年完了	
182	ミルストーン-1		1971/03/01～1988/07/21	684 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(～2048年)	未定	
183	オイスタークリーク		1969/09/23～2018/10/31	680 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(～2020)	2073年	
184	パリセーズ		1977/04/01～2022/05/20	850 MW	PWR	即時解体	SF乾式貯蔵移送(2022～2025年)	2041年	
185	パスファインダー		1966/07/02～1967/10/01	66 MW	BWR	安全貯蔵	サイト解放済	2007年完了	
186	ピーチボトム-1		1967/06/01～1974/11/01	42 MW	HTGR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2034年以降	
187	ピカー		1963/11/01～1966/01/01	12 MW	その他	遮蔽隔離	隔離中(放射能減衰に120年以上)	1969年完了	
188	プエルトリコ ボーナス	1965/09/01～1968/06/01	18 MW	BWR	遮蔽隔離	隔離中(放射能減衰に120年以上)	1970年完了		
189	ランチョセコー1	1975/04/17～1989/06/07	917 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSI及びLLW貯蔵未)	2009年完了		
190	サンオノフレ-1	1968/01/01～1992/11/30	456 MW	PWR	即時解体	解体完了(2, 3号機と同時に許可終了)	2028年		
191	サンオノフレ-2	1982/09/20～2013/06/12	1127 MW	PWR	即時解体	解体中	2028年		
192	サンオノフレ-3	1983/09/25～2013/06/13	1128 MW	PWR	即時解体	解体中	2028年		



	国	施設名	運転期間	電気出力 (グロス)	炉型	廃止措置 方式	廃止措置現状	廃止措置完了 (予定)時期
193	アメリカ (43基)	SHIPPINGポート	1957/12/02～1982/10/01	60 MW	PWR	即時解体	サイト解放済	1989年完了
194		ショーハム	運転せずに閉鎖	880 MW	BWR	即時解体	サイト解放済	1995年完了
195		スリーマイルアイランド-1	1974/09/02～2019/09.30	926 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	2074年頃解体開始
196		スリーマイルアイランド-2	1978/12/30～1979/03/28	959 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(1号機同時解体)	2036年
197		トロージャン	1976/05/20～1992/11/09	1155 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSI未)	2005年完了
198		ヤンキーロー	1961/07/01～1991/10/01	180 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSI未)	2007年完了
199		ザイオン-1	1973/12/31～1997/02/21	1085 MW	PWR	即時解体	サイト一部解放	2020年完了
200		ザイオン-2	1973/12/31～1996/09/19	1085 MW	PWR			
201		サクストン	1967/03/01～1972/05/01	3 MW	PWR	安全貯蔵	サイト解放済	2005年完了
202		キウォーニー	1974/6/16～2013/05/07	595 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	2073年
203		バーマントヤンキー	1972/09/20～2014/12/29	635 MW	BWR	即時解体	即時解体(2022年12月炉心解体完了)	2026年
204		フォートカルホーン	1973/09/26～2016/10/24	512 MW	PWR	安全貯蔵	2017年初頭廃止措置計画書提出	2076年頃解体完了
205		ピルグリム	1972/07/19～2019/05/31	711 MW	BWR	即時解体	廃止措置準備中	2027年頃解体完了
206		デュアン・アーノルド	1975/02/01～2020/10/12	624 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	2080年
207	台湾	金山-1	1978/12/10～2018/12/05	630 MW	BWR	即時解体	解体中	2043年
208		金山-2	1979/07/15～2019/7/16	630 MW	BWR	即時解体	解体中	2044年
209		國聖-1	1981/12/28～2021/07/02	1027 MW	BWR	即時解体	解体中	2046年
210		國聖-2	1983/03/16～2023/03/14	1027 MW	BWR	即時解体	廃止措置計画申請中	2049年



ベルギー ドゥール原子力発電所



ベルギー ティアンジュ原子力発



## 委員会等参加報告

令和4年10月から令和5年2月末までの間

外部機関名	委員会等の名称	参加者氏名	開催日時
原子力デコミッション ニング研究会	令和4年度 主査会	澁谷 進	R4年11月9日 ～R5年1月20日
	令和4年度 運営委員会		R5年1月27日
	令和4年度 第7～9回研究会		R4年11月14日 ～R5年1月20日
文部科学省・原子力 科学技術委員会	原子力バックエンド作業部会 (第5回)	澁谷 進	R5年2月2日
経済産業省 資源エネルギー庁	基盤技術事業中間評価検討会	澁谷 進	R4年11月21日 ～12月23日
日本原子力学会	LLW 放射能評価分科会	泉田 龍男	R5年1月18日

## 総務部から

### 1. 人事異動

#### ○理事会

就任（令和4年4月1日付）      辞任（令和4年3月31日付）

中島 一宗（非常勤）

川瀬 正嗣（非常勤）

### 2. 令和4年度「報告と講演の会」に代わのご報告について

新型コロナウイルス感染防止の観点から「令和4年度報告と講演の会」も止む無くやむなく中止しすることとしました。このため令和4年度RANDEC活動状況について皆様にご報告させていただきたくホームページに同報告書を掲載いたしました。ご一読のほどよろしくお願いいたします。

©RANDEC ニュース 第 118 号

発 行 日 : 令和 5 年 3 月 2 8 日

編集・発行者 : 公益財団法人 原子力バックエンド推進センター  
〒135-0033 東京都江東区深川 1 丁目 1 番 5 号  
和倉ビル 4 階

Tel : 03-6240-3531

Fax : 03-6240-3537

ホームページ : <http://www.randec.or.jp/>

E-mail : [randecnews@randec.or.jp](mailto:randecnews@randec.or.jp)

本誌からの引用・複写は、当センターの許諾を受けて下さい。