

令和4年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金 (固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発) (分冊①)

1. 全体概要

2025年2月

日本原子力研究開発機構

本成果報告は7分冊で構成し、本資料は分冊①である。

分冊	タイトル
①	1. 全体概要
②	2. 性状把握
③	3. 保管・管理
④	4. 処理・処分 4.1 処理技術
⑤	4.2 処分概念の提示及び安全評価手法の開発 4.2.1 処分概念提示に必要な情報・知識の調査 4.2.2 安全評価手法開発の試行 4.2.2.1 ストーリーボードのプロトタイプ検討
⑥	4.2.2.2 重要シナリオ・モデル・パラメータ検討
⑦	4.2.2.3 1F事故廃棄物の特徴を考慮した品質管理下安全評価検討

1.	研究開発への取り組み方	頁
1.1	研究開発への取り組み方 —————	2
1.2	研究開発の運営 —————	10

1.1 研究開発への取り組み方 ～2021年度までの取り組み・成果～

- 日本原子力研究開発機構 (JAEA) は国際廃炉研究開発機構 (IRID)の組合員として、中長期ロードマップと戦略プランに貢献すべくこれまでの事業で成果を蓄積してきた。本事業においても性状把握、保管管理、処理と処分が連携して研究開発を進め、得られた成果の統合を目指した。
- 中長期ロードマップで2021年に設定されたマイルストーンである「処理・処分の方策とその安全性に関する技術的な見通し」を得ることを目標として取り組み、得られた成果は「戦略プラン2021 *」に収録された(図)。

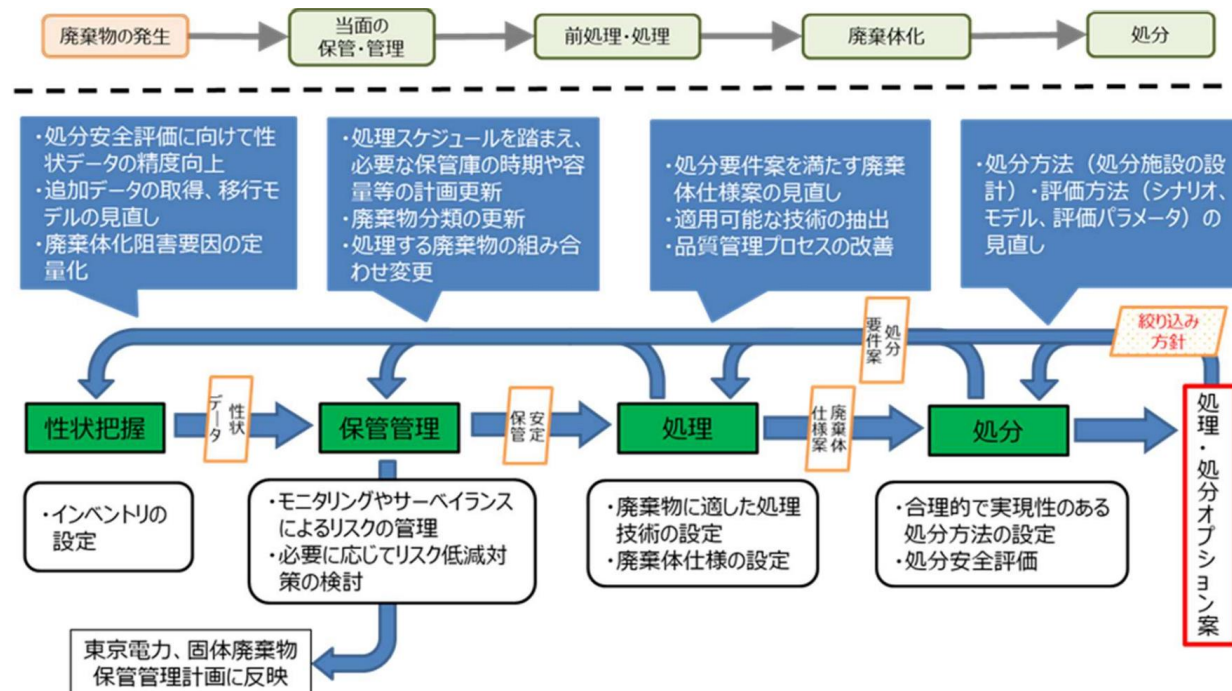
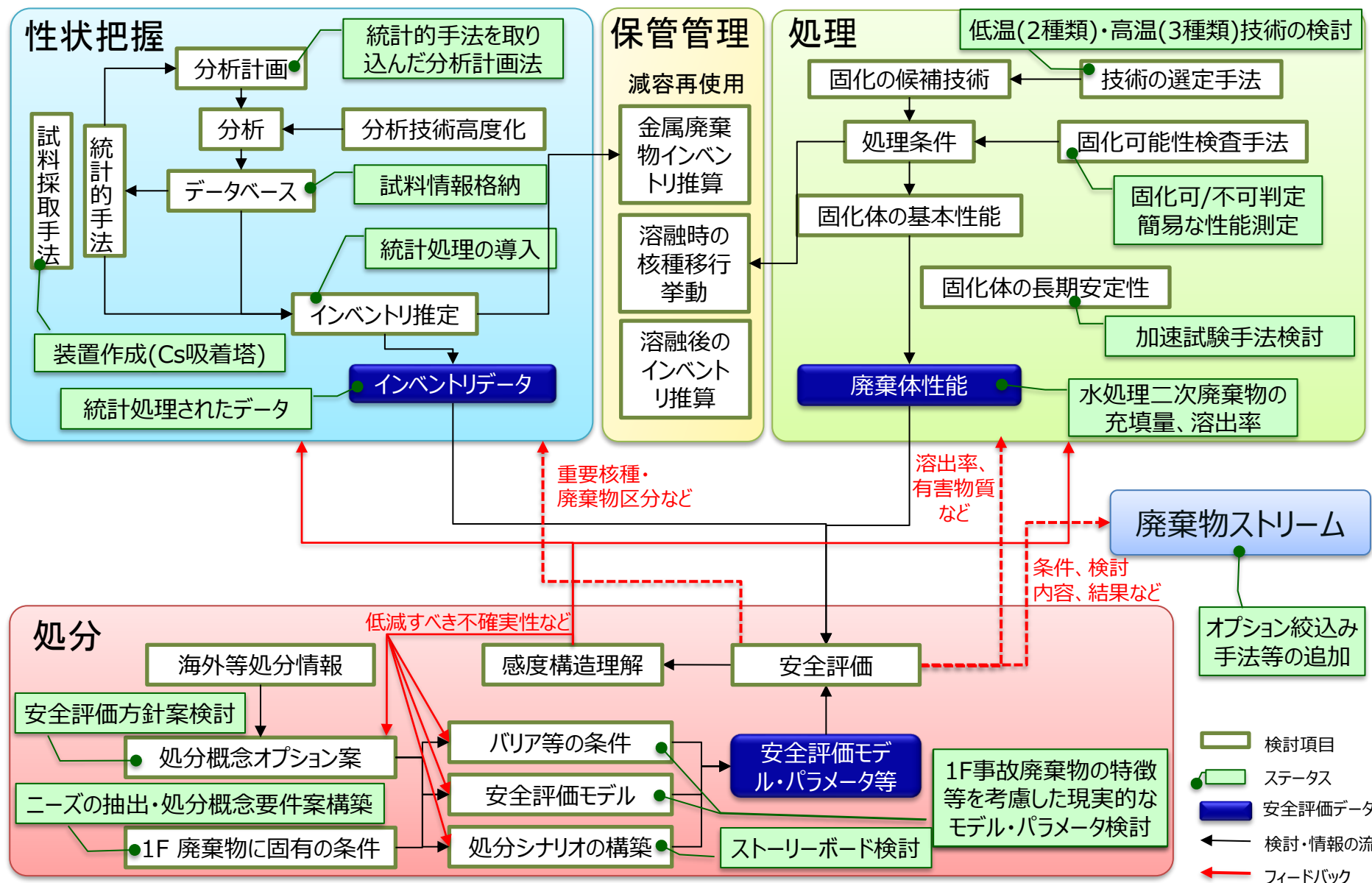


図 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法*

* 原子力損害賠償・廃炉等支援機構, “東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2021,” 2021年10月29日.

1.1 研究開発への取り組み方 ～各分野の連携～



1.1 研究開発への取り組み方 ～今後10年の目標～

■ 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (NDF) の戦略プラン*

- (1) 当面 10 年間程度に発生する固体廃棄物の物量予測を定期的に見直ししながら、発生抑制と減容、モニタリングを始め、適正な保管管理計画の策定・更新とその遂行を進める。
- (2) 2021 年度に示した処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通しを踏まえ、固体廃棄物の特徴に応じた廃棄物ストリームの構築に向けて、性状把握を進めつつ、処理・処分方策の選択肢の創出とその比較・評価を行い、固体廃棄物の具体的管理について全体として適切な対処方策の提示に向けた検討を進める。

表 廃棄物対策に係る技術課題と今後の計画(工程表)*

年度	2021	2022	2023	2026	2031(年)
1.性状把握					試料採取
(1)分析データの取得・管理等		高線量試料採取技術開発			分析の実施
					廃棄確認方法の整備・確立
					廃棄確認に向けた分析・測定
(2)性状把握の効率化					統計的インベントリ推定方法の適用検討、精度向上
					分析計画の検討(中長期・年間分析計画策定、分析核種や定量下限値、試料採取数等の検討)
(3)分析能力の向上	放射性物質分析 研究施設の整備				分析人材育成
2.保管・管理					保管・管理
(1)保管管理計画					保管管理計画の策定・見直し
(2)保管・管理方法の検討		燃料デブリ取り出しに応じた見直し(種類・物量等の評価)			
(3)物量の低減					搬入抑制、再利用、減容処理等
					減容・再利用技術に関する開発
3.処理・処分概念の構築と安全評価手法の開発					処理技術開発、固化の長期安定性評価
(1)処理技術					中間処理技術の開発
(2)処分技術					固体廃棄物に適した処分概念の創出
					固体廃棄物に適した廃棄物ストリームの抽出
					安全性評価技術の信頼性向上
					安全確保の方法論構築
(3)廃棄物ストリームの検討					廃棄物管理全体での適切な対処法検討

現場作業

研究開発

各項目の現場工事に係る技術的検討等

* 原子力損害賠償・廃炉等支援機構, “東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2022,” 2022年10月11日.

1.1 研究開発への取り組み方 ～実施体制～

東京電力ホールディングス 株式会社

・現場適用性の観点で諸調整
(廃炉現場状況の反映調整等)

日本原子力研究開発機構

委託・請負先

再委託・再請負先

a. 性状把握 (a) 分析データの取得・管理等 (b) 性状把握の効率化	東京パワーテクノロジー株式会社	シガ環境メンテナンス株式会社
	株式会社福島クリエイト	
	ロジスティード東日本株式会社	
	MHI原子力研究開発株式会社	
	日本核燃料開発 株式会社	株式会社 アトックス
	株式会社アセンド	
	検査開発株式会社	
	株式会社ヴェオリアニュークリアソリューションズジャパン	VNS France, 株式会社コミュニケーターズ, 池田昭
	株式会社N E S I	
	National Nuclear Laboratory Limited	
b. 保管・管理 (a) 減容・再利用技術に関する 技術開発	一般財団法人エネルギー総合工学研究所	
	株式会社ナイス	
c. 処理・処分 (a) 処理技術	一般財団法人電力中央研究所	
	日揮株式会社	日本エヌ・ユー・エス株式会社, 国立大学法人 東京工業大学
	株式会社太平洋コンサルタント	株式会社電力テクノシステムズ
	一般財団法人電力中央研究所	地方独立行政法人 東京都立産業技術センター
	検査開発株式会社	株式会社セレス
c. 処理・処分 (b) 処分概念の提示及び安全 評価手法の開発	株式会社ジック	
	国立大学法人北海道大学	
	株式会社Q Jサイエンス	McKinley Consulting, Quintessa UK, Wilson Scientific Ltd., Econetta AG
	株式会社ヴィジブルインフォメーションセンター	
	株式会社太平洋コンサルタント	
	東京ニュークリア・サービス株式会社	
	株式会社化研	
	日揮株式会社	日本エヌ・ユー・エス株式会社
	J F Eテクノロジー株式会社	株式会社セイシン企業
	一般財団法人九州環境管理協会	
	鵬技術コンサルタント株式会社	
	株式会社大熊	
	株式会社ブルーアースセキュリティ	
	株式会社日本アクシス	
	株式会社ジック	
	株式会社ベスコ	
	検査開発株式会社	

1.1 研究開発への取り組み方 ～実施工程（性状把握）～

■ 実施 ■ 中止

[illegible]

実施内容	2022年度												2023年度															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	(外注・委託先)															
													4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3				
分析データベース																												
分析データの収録・公開																												
分析データベースの改良																												
試料データベースの整備																												
計画検討、契約手続き																												
作業（サーバ管理、データ入力）、実績取り纏め																												
②廃棄物インベントリ評価のための分析・評価技術の開発																												
ⅰ デブリ取出し廃棄物等の放射能量等の簡易評価																												
契約手続き																												
ガンマ線測定システムの調査・検討																												
放射能評価モデル																												
ガンマ線測定システムの立案																												
ガンマ線測定システムのキャラクタライゼーション																												
報告書作成																												
ⅱ 難測定核種の分析技術開発																												
C-14																												
分析法検討																												
I-129 (NDC分析参照)																												
Cs吸着材																												
全体計画・保管等検討																												
分析法検討																												
(b)性状把握の効率化																												
①分析計画法の適用性向上																												
計画検討・契約手続き																												
分析計画法検討の試行																												
試行結果の評価、まとめ																												
②統計論的インベントリ推定方法の適用性向上																												
ⅰ 解析的インベントリ推算手法の検討																												
契約手続き																												
推算方法の改良に関する検討																												
中間まとめ																												
事故進展汚染メカニズム評価																												
まとめ																												
ⅱ 放射化生成物の検討																												
契約手続き																												
推算方法に関する検討																												
コンクリート放射化廃棄物量推定																												
まとめ																												
ⅲ 震災前廃棄物・燃料デブリ廃棄物の検討																												
震災前の保管廃棄物に関する情報の収集																												
燃料デブリ廃棄物に関する情報の収集																												
情報の整理・評価方法の検討																												
まとめ																												
③合理的な廃棄物確認手法の検討																												
既往の放射能濃度決定法を適用する場合の課題抽出																												
まとめ																												

1.1 研究開発への取り組み方 ～実施工程（保管管理）～

■ 実施

■ 中止

実施内容	2022年度													(外注・委託先)	2023年度												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2			
b.保管・管理																											
(a)減容・再利用技術に関する技術開発																											
研究調整会議																											
①金属廃棄物のインベントリ推算に関わる検討																											
i. 契約手続き (③含む)																											
ii. 核種移行率、元素Grの調査・設定等																											
iii. 解析的インベントリ推算手法の検討																											
iv. 原金属廃棄物の核種組成の設定																											
v. 精度向上・合理化に向けた課題の抽出																											
vi.インベントリ推算手法の改良																											
vii.まとめ																											
②溶融処理時の核種移行挙動の調査																											
i. 契約手続き (④含む)																											
ii. 既存溶融炉等の元素移行挙動情報の調査																											
iii. 鉄鋼業界アーク炉の元素移行挙動情報の収集																											
iv. 溶融時移行率の仮設定																											
v. 移行率設定に係るWS																											
vi.試験を受けた移行率の検討																											
vii.まとめ																											
③溶融試験による核種移行挙動の検討																											
i. 各炉型による試験準備 (試験条件設定含む)																											
ii. 酸化物元素取扱いに係る安全対策検討																											
iii.溶融除染試験 (小型炉)																											
iv.溶融除染試験 (中型炉)																											
v.各試験炉の核種移行挙動特性の整理																											
vi.熱平衡解析による核種挙動評価																											
vii.まとめ																											
④溶融後金属再利用における重要核種の抽出と戦略立案																											
i. 溶融時金属の核種組成設定と重要核種の抽出																											
ii. 優先対策核種とその項目 (分析、試験) の整理																											
iii. 重要核種・対策方針に係るWS																											
iv. 分析手法の調査・整理及び熱力学データベース拡張検討																											
v. 検認手法策定に向けた戦略立案																											
vi.まとめ																											

研究調整会議内で議論し、WSは中止

研究調整会議内で議論し、WSは中止

1.1 研究開発への取り組み方 ～実施工程（処理技術）～

 実施

[illegible][illegible]

～実施工程（処分概念の提示及び安全評価手法の開発）～

■ 実施

[illegible][illegible]

1) 国内外の叡智の結集

- 平成26年度来、国内外研究機関（電力中央研究所、企業研究機関、英国NNL等）との協力を継続するとともに、報告会や事業合同定例会等を通じ有識者・経験者から有益な情報収集を行った。

2) 福島への廃炉産業集積、福島イノベーション・コースト構想の実現、中長期視点での人材育成

- 廃炉関連産業における地元企業の参画に資するため、福島県浜通り地域等の地元企業と協働するなどを検討した。具体的には分析試料採取、保管、輸送準備等の一部を外注にて実施した。
- 筑波大学（2022年7月12日、2023年7月21日）、福島高専（2022年7月8日、2022年7月23日）、大阪大学（2022年10月21日）での集中講義、また、ニュークリアイノベーション・ブートキャンプ NIB2023（2023年8月7日）にて廃棄物管理研究の成果を紹介し、学生への啓発を行った。

3) 廃炉作業や他の研究開発との連携

- 関連プロジェクトの進捗状況、及び課題などに関する情報を共有した。
- 国際廃炉研究開発機構（IRID）が実施した固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発（セシウム吸着塔からの吸着材採取技術及び固体廃棄物の分別に係る汚染評価技術の開発）において、セシウム吸着装置（KURION、SARRY）の使用済み吸着塔から分析のための試料が採取された。分析を本事業において実施するため、分析試料を引き継いで輸送を実施するとともに、分析に着手した。
- 燃料デブリ取り出しに係る廃棄物処理・処分に関する研究開発を遺漏なく推進するため、燃料デブリの取り出し工法等に関する情報収集を実施した。
- 関西電力株式会社及び日本原子力発電株式会社と金属廃棄物の再利用に関する情報交換を実施した。
- 原子力発電環境整備機構、日本原燃株式会社と処分の安全評価の先行事例等に関する意見交換を実施した。
- 北海道大学、福井大学（合理的な処分のための実機環境を考慮した汚染鉄筋コンクリート長期状態変化の定量評価）の研究に対し、技術情報を提供した。

4) 研究の管理

- 本事業の実施者が一同に会した会議を毎月末定期的に開催し、研究開発のスケジュールと進捗状況を共有するとともに、発生した問題点などについての解決方針などを定め、対策を展開した。

5) 事業の報告

- 進捗状況について定例会にて報告し、関係者間の情報共有、課題解決の対策等を議論した。
- 中間報告会(令和4年8月4日、令和5年4月11日、令和5年11月8日に開催)と、最終報告会(令和6年3月13日に開催)において成果を報告した。

6) 情報発信の充実

- 日本原子力学会(22件)、海外機関などが開催する国内外の国際学会等(7件)、論文(2件)で発表(性状把握12件、処理技術16件、処分技術3件)することにより、本事業成果の情報発信を行った。(リストを次ページ以後に掲げる。)

7) 代替案の事前準備

- 事業実施期間中は、事業が予定通りに進捗しなかった場合に備え、必要に応じて、事前に代替案を検討することとしているが、本期間中には発生しなかった。

1.2 研究開発の運営

参考 成果発表のリスト(性状把握)

- 日本原子力学会 2022年秋の大会, 2022年9月7-9日, 茨城大学.
 - “福島第一事故廃棄物のインベントリ評価手法の開発, (16) 解析的推算における元素グループ等の合理化に関する検討,” 杉山大輔 ほか, 1A03.
- International Topical Workshop on Fukushima Decommissioning Research 2022 (FDR2022), October 14-16, 2022, Naraha, Japan.
 - “Correlation with Cobalt-60 for radioactive nuclides in solid waste generated at Fukushima Daiichi NPS,” Youko Takahatake et al., FDR2022-1063.
- Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.
 - “Development of HCl-free solid-phase extraction combined with ICP-MS/MS for rapid assessment of difficult-to-measure radionuclides. Part II: Highly sensitive monitoring of ^{126}Sn in concrete rubble,” Van-Khoai Do et al., 331, 5631-5640 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10967-022-08612-7>
- Fukushima Daiichi Decommissioning International Forum, August 29, 2022, Iwaki-shi, Japan.
 - “R&Ds on Waste Management Technologies for Fukushima Daiichi NPS with National and International Collaboration,” Yoshikazu Koma et al., J03. https://test.ndf-forum.com/wp-content/uploads/2023/03/abstract_6th.pdf
- Joint NEA and NDF Workshop on the Characterisation of Large Quantities of Unconventional and Legacy Waste, 31 August -1 September, 2022, Iwaki, Japan.
 - “Characterization Approach for Fukushima Daiichi NPS Waste with Support of International Experience,” Yoshikazu Koma. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_71354/joint-nea-and-ndf-workshop-on-the-characterisation-of-large-quantities-of-unconventional-and-legacy-waste
- 日本原子力学会 2023年春の年会, 2023年3月13-15日, 東京大学 (2023).
 - “福島第一原子力発電所で採取された固形分を含む滞留水の α 核種分析, (5) 3号機滞留水中のPu, Amの存在状態の推定,” 二田郁子 ほか, 2I05.
 - “福島第一原子力発電所において採取された放射性試料の分析, (5) 汚染水試料等中のNi-63分析,” 本山 李沙, 2I09.
- Fukushima Daiichi Decommissioning International Forum, J09, August 28, 2023, Iwaki-shi, Japan.
 - “R&D on Waste Management for Decommissioning Fukushima Daiichi Nuclear Power Station,” Yoshikazu Koma et al.
- 日本原子力学会 2023年秋の年会, 2023年9月6-8日, 名古屋大学.
 - “福島第一原子力発電所で採取された固形分を含む滞留水の α 核種分析, (6) 3号機滞留水スラッジから採取した α 核種含有粒子の化学状態分析(その2),” 新田旭 ほか, 2E16.
 - “放射性物質によるコンクリート汚染の機構解明と汚染分布推定に関する研究,” (25) 成果の廃止措置への反映と研究開発の課題,” 駒義和 ほか, 1C18.
- 化学と教育.
 - “福島第一原子力発電所の廃炉と化学,” 二田郁子, 71, 424-427 (2023).
- 日本原子力学会 2024年春の年会, 2024年3月26-28日, 近畿大学.
 - “福島第一原子力発電所で採取された固形分を含む滞留水の α 核種分析,” 二田郁子 ほか, 1B08.

1.2 研究開発の運営

参考 成果発表のリスト(処理、処分)

- 日本原子力学会 2022年秋の大会, 2022年9月7-9日, 茨城大学.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (28) 化学混和剤を添加した模擬スラリー含有セメント固化体の特性評価,” 大澤紀久 ほか, 3A01.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (29) 化学混和剤を添加した模擬スラリー含有アルカリ活性材料固化体の特性評価,” 松澤一輝 ほか, 3A02.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (30) 化学混和剤を含む固化体に対する放射線照射影響評価,” 角田あやか ほか, 3A03.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (31) 熱画像を用いたセメント固化可能な廃棄物発熱量の制限値についての検討,” 谷口拓海 ほか, 3A04.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (32) 低温固化可能性検査における遠沈管を用いた小型化手法の検討,” 田畑光一 ほか, 3A05.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (33) 保管温度条件が固化体の変質に及ぼす影響,” 佐藤淳也 ほか, 3A06.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (34) 角型容器複数配置時の熱影響解析,” 高橋裕太 ほか, 3A07.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (35) 加温による低温処理材料の長期変質に関する検討,” 坂本亮 ほか, 3A08.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (36) 高温処理における揮発抑制方策の定量評価,” 宇留賀和義 ほか, 3A09.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (37) 模擬スラッジに対する低温固化処理の適用性評価,” 谷口拓海 ほか, 2E01.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (38) 低温固化可能性検査手法における混練時の発熱に係る判定基準の検討,” 平木義久 ほか, 2E02.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (39) 低温固化可能性検査手法におけるセメント処理時の流動性、強度推定式の適用性検討,” 大澤紀久 ほか, 2E03.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (40) 処分環境を考慮した浸出試験方法の検討,” 高橋裕太 ほか, 2E04.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (41) 長期変質評価に向けた固化体の白華試験,” 佐藤淳也 ほか, 2E05.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (42) 加温養生および促進中性化による低温処理材料の長期変質に関する検討,” 坂本亮 ほか, 2E06.
 - “福島第一廃炉汚染水処理で発生する廃棄物の先行的処理に係る研究開発, (43) AAM固化体中の非晶質相の結晶化に関する検討,” 小林佑太朗 ほか, 2E07.
- 33rd Goldschmidt Conference (Goldschmidt 2023), June, 2023, Lyon, Japan.
 - “Removal processes of dissolved elements in groundwater leached from waste by redox reaction,” Yusuke Watanabe et al., Poster #390.
- ENVIRA 2023, No.3-09, September, 2023, Seville, Spain.
 - “Liquid phase dependence of field distribution coefficients of stable elements between river water and bottom sediments,” Motoki Terashima et al.
- Migration 2023, September, 2023, Nantes, France.
 - “Preliminary Approach for Safety Disposal of Radioactive Wastes from FDNPS for Optimiaztion of Waste Management Stream,” Kazuki Iijima, PD-7.