



2022年度人形峠環境技術センターにおける 研究・技術開発成果

トピックス

Research and Development in the Fiscal Year 2022
in Ningyo-toge Environmental Engineering Center: Topics

人形峠環境技術センター

Ningyo-toge Environmental Engineering Center

核燃料・バックエンド研究開発部門

Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

February 2024

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under
the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Institutional Repository and Utilization Section,
JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan

E-mail: ird-support@jaea.go.jp

2022 年度人形峠環境技術センターにおける研究・技術開発成果 —トピックス—

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

(2023 年 12 月 5 日受理)

本報告書は、2022 年度に人形峠環境技術センターが実施した研究開発や技術開発に係る主要な業務を概説するものである。

人形峠環境技術センターでは、2001 年まで核燃料サイクルにおける上流側（フロントエンド）と言われるウランの採鉱から採鉱、製錬、転換、そしてウラン濃縮までの技術開発を実施し、現在ではこれら開発に使用してきた施設・設備の解体・撤去に取り組んでいる。また、2016 年に公表した「ウランと環境研究プラットフォーム」構想に基づき、廃止措置を着実に進めるために不可欠な、ウラン廃棄物を安全に処理・処分するための研究開発にも取り組んでいる。

ウランと環境をテーマとした研究開発は、人形峠周辺環境の特徴を活かした「環境研究」及び人形峠環境技術センターの施設やポテンシャルを活かした「ウラン廃棄物工学研究」に大別される。また、安全や現場管理及び保障措置に関する技術開発、保健物理や放射線生物学の視点から放射線影響評価に関する研究も進めている。

本報告書では、環境研究や環境保全の関連テーマとして、人形峠における地下水流動の特徴に関する調査、大規模計算の高速化かつ安定化に向けた逆解析手法について報告する。ウラン廃棄物工学研究として、溶存ウランの分離方法の開発、回収可能性の確保を目指した廃棄体容器材料の研究について報告する。保障措置として、人形峠環境技術センターのウラン濃縮施設における、操業時の取り組みと廃止措置時の論点を整理する。放射線影響評価研究として、建材のラドン・トロン散逸率の測定、ラドン吸入や X 線照射による生体影響の評価について報告する。これら研究・技術開発の成果は、論文等を通じて積極的に外部発表するよう努めている。

**Research and Development in the Fiscal Year 2022
in Ningyo-toge Environmental Engineering Center: Topics**

Ningyo-toge Environmental Engineering Center
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development
Japan Atomic Energy Agency
Kagamino-cho, Tomata-gun, Okayama-ken

(Received December 5, 2023)

This report outlines some main research and development activities executed by the Ningyo-toge Environmental Engineering Center in FY2022.

The Center was working on the development of the nuclear fuel cycle with a focus on its front-end (i.e., uranium exploration, mining, refining, conversion, and enrichment) until 2001, and is now dismantling and removing the facilities and equipment used in the past. In addition, based on the concept of “Uranium and environmental research platform” announced in 2016, we are also working on research and development for the safe processing and disposal of uranium wastes to steadily keep the decommissioning.

This research and development can be mainly divided into “Environmental research” and “Uranium waste engineering research”; the former takes advantage of the characteristics of the natural environment in Ningyo-toge, and the latter utilizes our facilities and potentials. Some works are also made on safety, its management, and safeguards as well as radiation effect research in terms of health physics and radiobiology.

Regarding “Environmental research” and environmental conservation, this report describes researches on the characteristics of groundwater flow in Ningyo-toge and the speed-up and stabilization of large-scale computation. As for “Uranium waste engineering research”, the technique for separating dissolved uranium and the development of materials used for waste containers with consideration of the retrievability are reported. Further, the followings are also reported: the summary of safeguards activity in the Ningyo-toge Environmental Engineer Center, the radon and thoron exhalation testing at building interior walls, and the biological effects of radon inhalation and X-ray irradiation. The achievements of those works have been widely presented through research papers etc.

Keywords: Ningyo-toge, Environmental Research, Uranium Waste Engineering Research,
Environmental Conservation, Safeguards, Radiation Research

目 次

1. 環境研究と環境保全	1
1.1 山間地の安全評価に係る地質の変遷を考慮した地下水流動調査技術	3
1.2 地下水汚染経路推定に向けた大規模逆解析手法の開発	7
2. ウラン廃棄物工学研究	11
2.1 六フッ化ウランを溶存する五フッ化ヨウ素からのウラン分離と吸着処理	13
2.2 廃棄体容器材料のための超硬合金の変形と破壊挙動の放射光によるその場観察	17
3. 保障措置	21
3.1 ウラン濃縮施設の保障措置について	23
4. 放射線影響評価研究	25
4.1 建物内壁からのラドン・トロン散逸率のその場測定	27
4.2 ラドン吸入やX線照射に応答するマウス肺の代謝物	29
5. 業績一覧	33
5.1 論文	35
5.2 報告書	36
5.3 受賞	36
5.4 各種研究費	37
5.5 その他	38
付録1 組織図	39
付録2 産学官民連携の取り組み	40

Contents

1. Environmental research and environmental conservation	1
1.1 Investigation techniques for groundwater flowing in considerations of geological characteristics and distributions for safety assessment of granitic mountains in southwest Japan	3
1.2 Development of a large-scale inverse analysis method for estimating groundwater contamination pathways	7
2. Uranium waste engineering research	11
2.1 Separation of uranium from iodine pentafluoride dissolved in uranium hexafluoride and adsorption treatment	13
2.2 In situ observation using synchrotron radiation on deformation and fracture behaviors of cemented carbides for waste package material	17
3. Safeguards	21
3.1 Safeguards correspondence in post operation phase at Uranium enrichment plant	23
4. Radiation research	25
4.1 In-situ measurement of radon and thoron exhalation rates from building interior walls	27
4.2 Metabolites in response to radon inhalation or X-ray irradiation in mouse lungs	29
5. List of achievements	33
5.1 Papers	35
5.2 Reports	36
5.3 Awards	36
5.4 Grants	37
5.5 Others	38
Appendix 1 Organization chart	39
Appendix 2 Collaboration with industry, academia, government and private sectors	40

編集チーム

主 査：青木 勝巳（人形峠環境技術センター 計画管理室 室長）

担当者：金山 葉瑠（総務課）

神崎 訓枝（安全管理課）

竹末 勘人（計画管理室）

徳永 紘平（鉦山施設課）

西脇 大貴（廃止措置推進課）

林 裕斗（施設管理課）

吉次 雄一（保安・技術管理課）

事務局：神崎 訓枝（計画管理室）

迫田 晃弘（計画管理室）

※なお、本文に記載されている所属は 2022 年度末時点でのものである。

This is a blank page.

1. 環境研究と環境保全

This is a blank page.

1.1 山間地の安全評価に係る地質の変遷を考慮した地下水流動調査技術

計画管理室 竹末勘人、野原壯

検査開発株式会社 遠藤海人

JAEA 東濃地科学センター 小北康弘

日本大学 竹内真司

岡山大学 野坂俊夫

背景と目的

人形峠環境技術センターは、花崗岩山間地におけるウラン廃棄物埋設処分の安全評価に係る環境研究を実施している。ウラン廃棄物埋設処分の安全評価では、放射性核種が地下水によって移行するシナリオ（以下、地下水シナリオという）を用いる。花崗岩山間地の地下水シナリオを考慮する際、地下水の主な移行経路となる断層や割れ目帯の分布と透水性の把握は重要である。しかし、地質の分布が複雑で帯水層の規模が小さく、透水性が不均質な場合、一般に地下水流動解析による水位の再現が難しい。特に、断層や割れ目帯が偏在する場合は、それらの特徴と分布の把握が課題となる。従来、花崗岩の透水係数の不均質性（以下、透水不均質性という）については、地層処分研究開発において断層や割れ目帯のボーリング調査と地下水流動解析が行われてきた[1]。しかし、ボーリング調査の費用や時間がかかる問題がある。また、花崗岩の透水不均質性が安全評価の不確実性に繋がる可能性が考えられる。山間地の安全評価に係る地下水流動調査では、断層や割れ目帯を回避した地点の選定が課題であり、山間地の地形・地質・地下水に関する知見の蓄積とともに、調査技術と解析手法を整備する必要がある。当面の課題は、花崗岩山間地の広域地下水流動の不均質性の把握であり、信頼性を確保しつつシンプルな地下水流動モデルの構築を目指している。

西南日本の花崗岩山間地の表層付近に着目すると、しばしば花崗岩の熱水変質、粘土化、マサ化がみられ、それらを覆って火山噴出物が分布しており、地質が比較的複雑である。そのため、花崗岩山間地の表層付近では、風化や熱水変質による粘土化を考慮するとともに、移行経路の偏在を回避した均質な地点の選定が必要である。これまでに、断層や局所的に発達した割れ目を回避した地下水流動調査技術の開発に取り組んできた[2,3]。一方、風化や熱水変質による粘土化を考慮した地下水流動調査の詳細な事例は知られていない。人形峠地域には、上述した西南日本の山間地特有の地質が認められる。また、既存ボーリング調査により取得された岩石コアや透水性データの活用が可能であり、山間地の地下水流動調査を行う上で貴重なフィールドといえる。

このような背景を踏まえ、本研究では、粘土化に着目して、地質の変遷の調査と粘土化による水質形成に係る水-岩石反応試験を組み合わせた地下水流動調査技術の適用と改良を図りながら、山間地の地下水流動の特徴を明らかにすることを目的とする。

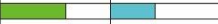
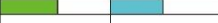
岩石名	標高	スメクタイト $\text{Na}_{0.3}\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	ハロイサイト $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	カオリナイト $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	ギブサイト $\text{Al}(\text{OH})_3$
凝灰岩	960m				
変質花崗岩	940m				
変質花崗岩	917m				
熱水変質花崗岩	890m				
赤色風化変質花崗岩	730m				
マサ卓越花崗岩	727m				
マサ卓越花崗岩	727m				
風化変質花崗岩	720m				

図1 主な粘土鉱物の種類と割合

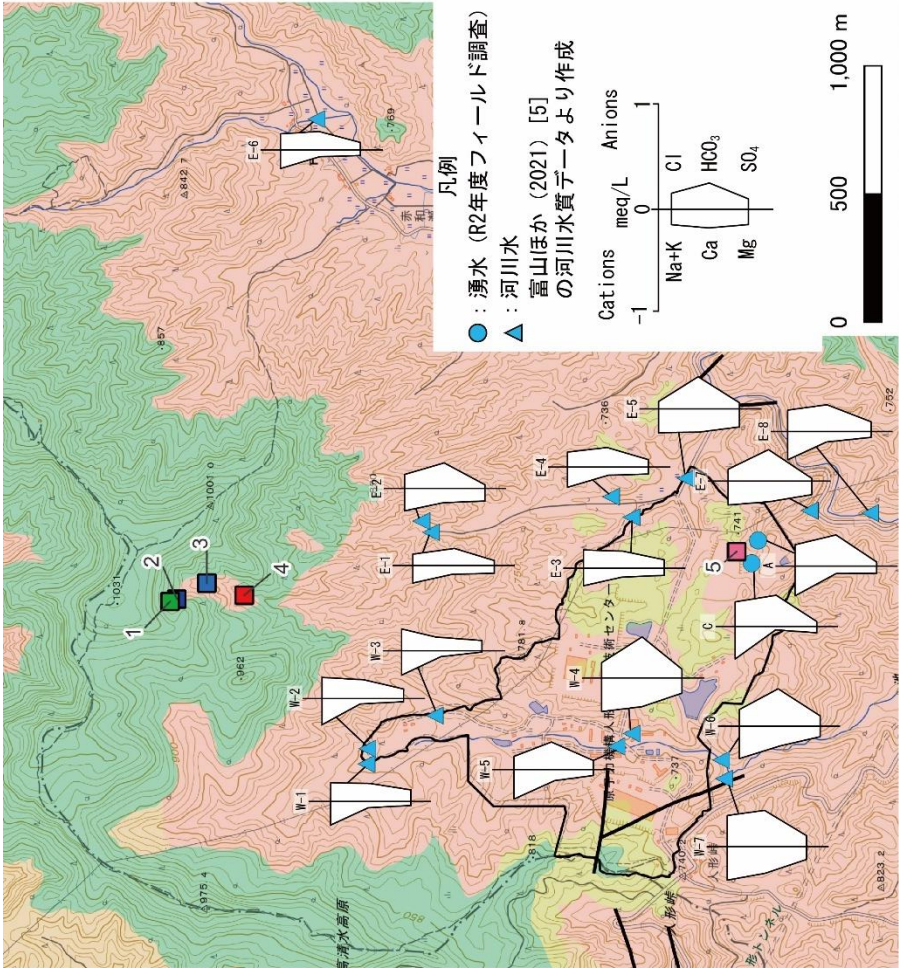
得られた成果

人形峠地域における粘土化の状況を把握するため、変質の程度や色の違いなどに基づいて地質を8つに区分し、主な粘土鉱物を同定した。その結果、ハロイサイト、ギブサイトが多い地質と、スメクタイトとカオリナイトが多い地質に大まかに区分できることが分かった（図1）。このような粘土鉱物の違いが生じた原因は、表層付近の地質が受けた、熱水や風化による変質作用の違いである可能性がある。また、熱水変質や風化を受けた地質では、カリ長石や斜長石、黒雲母が変質しており、石英と長石の鉱物粒間や割れ目沿いに粘土鉱物が充填していることを確認した。

続いて、地質と水質との関係について調べるため、水－岩石反応試験を行った。既存の同様の試験結果から、長石の粉砕の有無により水質が顕著に変わると予想されたため、地質ごとに粉砕ありと粉砕なしの2種類の試料を用意して、蒸留水との反応試験を行った。その結果、Na-Cl型とNa-HCO₃型の水質タイプが得られた。また、未粉砕のNa-Cl型の地質が、粉砕ありの場合、Na-HCO₃型の水質タイプを示すことを確認した（図2）。粉砕に伴うHCO₃⁻の増加は炭酸塩鉱物（方解石など）の溶解に起因していると考えられる[4]。Na⁺とCl⁻は海塩起源であると推察されているが[5]、水－岩石反応試験により河川水の水質タイプを再現できたことは、Na-Cl型の河川水は粘土化した地質を流れた地下水起源である可能性がある。

今後の予定

人形峠地域の帯水層の分布を推定するため、帯水層中の岩石と湧水のSr同位体比の測定を行う。



岩石名 [No.]※	標高	水質タイプ (未粉碎)		水質タイプ (粉碎)	
		Na-Cl 型	Na-HCO ₃ 型	Na-Cl 型	Na-HCO ₃ 型
凝灰岩 [1]	960m				
変質花崗岩 [2]	940m				
変質花崗岩 [3]	917m				
熱水変質花崗岩 [4]	890m				
風化変質花崗岩 [5]	720m				

※No.1～5の岩石は左図の1～5の地点で採取された試料。
 岩石試料は図1の岩石と同じである。

参考文献

- [1] 竹内真司, 三枝博光, 天野健治, 竹内竜史. 瑞浪超深地層研究所における地下深部の水理地質構造調査. 地質学雑誌 119, pp.75–90 (2013).
- [2] 人形峠環境技術センター. 2020 年度人形峠環境技術センターにおける研究・技術開発成果ートピックスー. JAEA-Review 2021-068 (2022) 52p.
- [3] 人形峠環境技術センター. 2021 年度人形峠環境技術センターにおける研究・技術開発成果ートピックスー. JAEA-Review 2022-080 (2023) 44p.
- [4] 核燃料サイクル開発機構. わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性ー地層処分研究開発第 2 次取りまとめー分冊 1 わが国の地質環境. JNC TN1400 99-021, (1999) pp.III-1–III-167.
- [5] 富山眞吾, 小田代佳奈, 五十嵐敏文, 河野亮太, 小原義之. 岡山県人形峠鉱山における河川流出と水質の特徴. 環境資源工学 67, pp.139–146 (2021).

1.2 地下水汚染経路推定に向けた大規模逆解析手法の開発

鉱山施設課 井上準也

目的

人形峠環境技術センターでは、ウラン鉱床掘削時の坑道跡より年間 11.9 万 m^3 (1 日平均 324.7 m^3) の坑水が発生しており、雨水や地下水を合わせた 23.1 万 m^3 の水量を処理している。当センターでは上述した坑水の処理負担を減らすために発生源対策が必要とされている。そこで、坑水の発生源となり得る雨水の浸透経路（地下水経路）を特定し、塞ぐ手法が有効となる。しかし、複雑な地下水経路の推定には不均質な物性分布を再現する必要があるため、膨大な未知パラメータを対象とした大規模逆解析（図 1）が必要となるが、これまでの研究では雨水浸透を再現可能な飽和・不飽和浸透流解析において 1 万個以上の未知パラメータを対象とした逆解析は実施されていない。大規模逆解析を実施するためには計算の高速化及び安定化が必要となる。そこで、本研究では大規模計算の高速化かつ安定化を可能とする逆解析手法の開発に取り組んだ。

要約

大規模逆解析を可能とするために、準ニュートン法と信頼領域法（TRM）を組み合わせた手法を開発した。また、高速化のために並列化手法も組み込んだ。本手法の有効性を確認するために 2 次元及び 3 次元モデルにおいて数値実験を実施した。実験の結果、本手法における高速化及び安定化の効果が示された。また、20 万個以上の未知パラメータを扱う大規模逆解析（図 2）において本手法が効率的かつ安定的な計算を実施可能であることを示した。

進捗

準ニュートン法は収束性が速いという利点から着目されてきた逆解析手法である。また、Adjoint 法と組み合わせることで、多数未知パラメータに適応可能であることが示されている。ただし、計算の安定性が課題であるため大規模逆解析では使用が困難となる。この問題に対して、TRM と組み合わせることにより計算の安定化を試みた。勾配法（準ニュートン法など）に TRM を組み合わせる場合、修正方向は勾配法により決定している。そこで、修正ベクトルの大きさが信頼領域半径より大きい場合、近似逆ヘッシアン精度が悪いとみなし最急降下法における修正ベクトルを使用する。ただし、この場合も勾配ベクトルを使用した近似逆ヘッシアンの更新は続ける。修正ベクトルの大きさが信頼領域半径より小さい場合のみ準ニュートン法の修正ベクトルを使用するアルゴリズムを開発した。

数値実験では TRM の組み合わせが有る場合と無い場合の 2 ケースで比較した。なお、2 次元モデルにおける未知パラメータ数は 275 個、3 次元モデルにおける未知パラメータ数は 249,234 個とした。反復回数ごとの目的関数の推移を図 3 に示す。図 3 より TRM 無しの場合、2 次元、3 次元に関わらず目的関数が十分な精度（ 10^{-11} 以下）まで小さくならなかった。原因としてヘッシアンの近似精度が悪い場合もヘッシアンを用いた修正ベクトルを使用したことが考えられ

る。また、TRM 有の場合、2 次元、3 次元の両モデルにおいて目的関数が十分な精度まで減少した。これより、開発した手法は効率的計算手法の安定性改善に有効であることが示された。

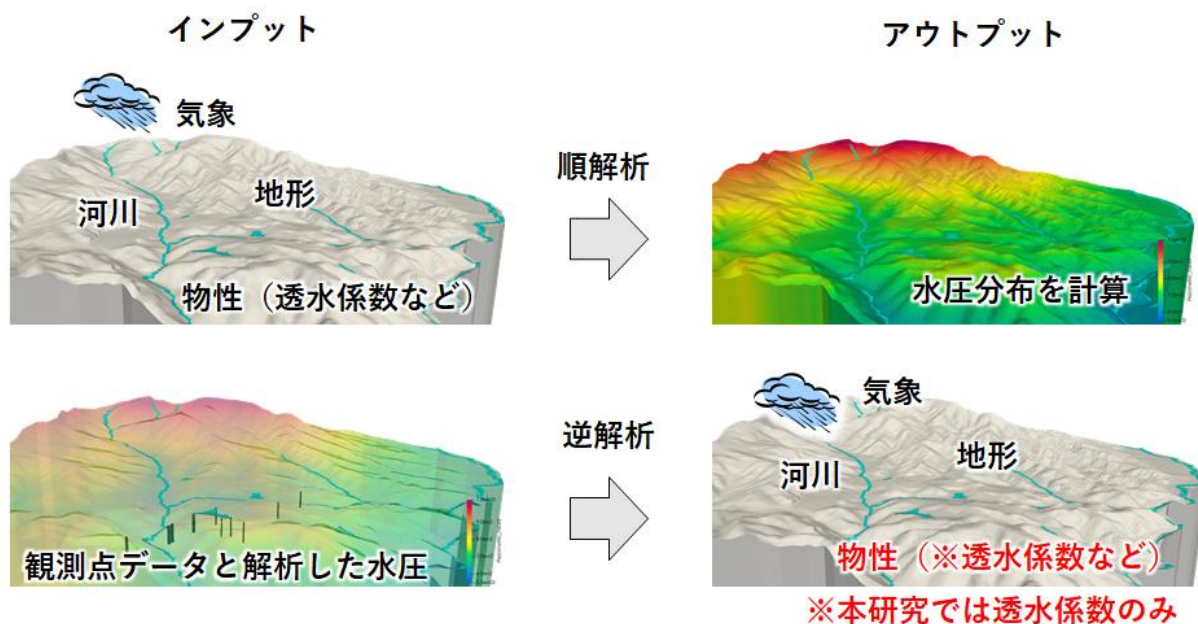


図 1 順解析及び逆解析の概念図

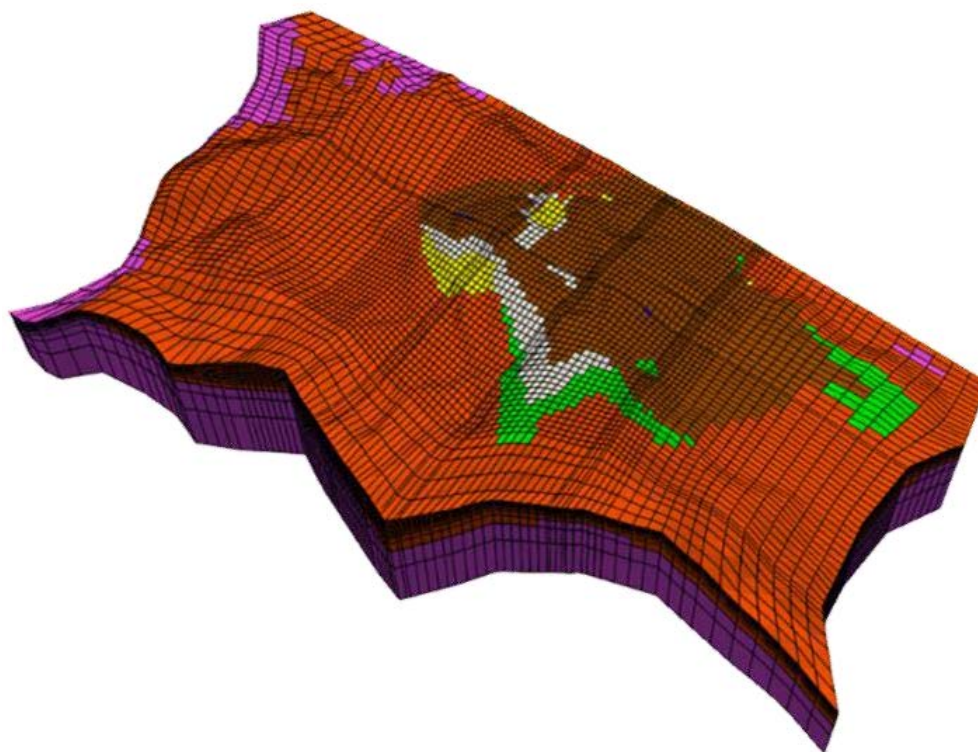
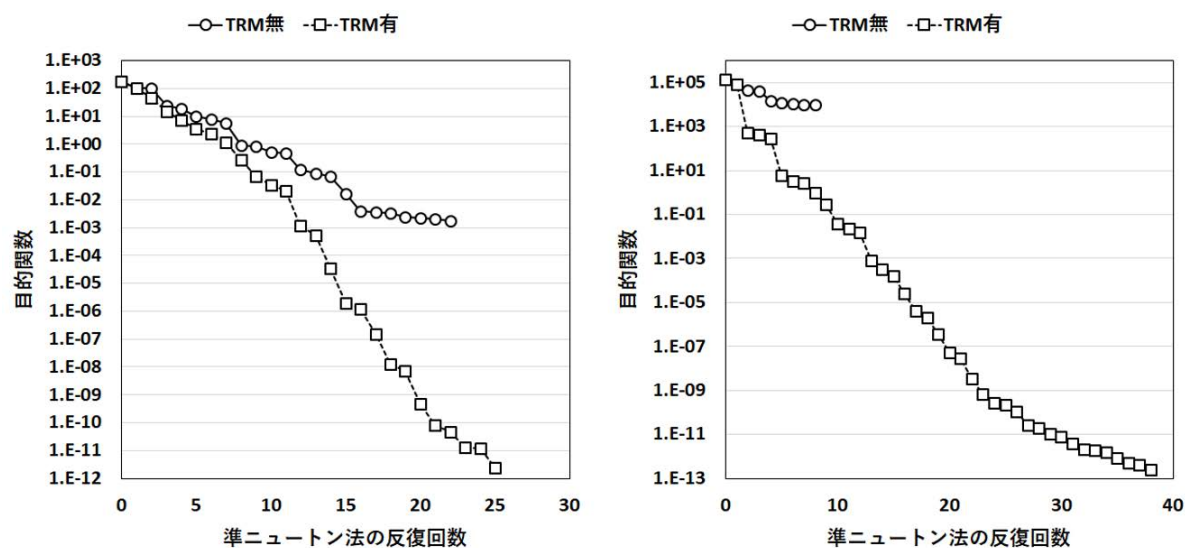


図 2 逆解析の概念図モデル図の例

(総セル数 : 85,595 個、未知パラメータ数 (透水係数) : 249,234 個)



(a) 2次元数値実験結果

(b) 3次元数値実験結果

図3 反復回数ごとの目的関数の推移

今後の予定

本研究により、1 万個以上の実用的大規模逆解析が実施可能であることが示された。今後は未知パラメータ増加に伴い逆問題が解きにくくなる逆問題の不適切性が課題となる。そこで、不適切な逆問題においても一意解を得られるように不適切性を改善する手法の開発に取り組む。不適切性を排除することで客観的な水みち推定が可能となることが期待される。

This is a blank page.

2. ウラン廃棄物工学研究

This is a blank page.

2.1 六フッ化ウランを溶存する五フッ化ヨウ素からのウラン分離と吸着処理

廃止措置推進課 山中滯奈、野村光生、小川潤平、西脇大貴、澤山兼吾

東北大学 佐藤修彰

要約

ウラン濃縮設備の系統除染により発生した六フッ化ウラン (UF_6) が溶存した五フッ化ヨウ素 (IF_5) の処理処分方法を確立するため、溶存ウランの分離方法と IF_5 の安定化処理方法の開発を試みた。その結果、フッ素が減り相対的にヨウ素が増えて濃紫色に変色した IF_5 に UF_6 を添加することで、分離可能な四フッ化ウラン (UF_4) と推定される緑色沈殿物が発生することがわかった。また、 IF_5 は金属水酸化物系吸着剤により吸着処理できることがわかった。

背景と目的

人形峠環境技術センターのウラン濃縮プラントの廃止措置では七フッ化ヨウ素 (IF_7) ガスを利用した遠心機や配管内の残存 UF_4 回収 (系統除染) が実施されており [1]、そこで発生した IF_5 (液体) を金属製保管容器に収納し、放射性液体廃棄物保管エリアで保管廃棄中である。発生した IF_5 には回収過程で UF_6 が溶存しており、蒸気圧差や NaF の選択吸着により分離・精製しているが、完全分離は困難であり少量の UF_6 が溶存した状態で保管廃棄されている。また IF_5 は高い反応性 (強酸化剤)・腐食性があり、長期間の保管廃棄中に保管容器の劣化により IF_5 が漏洩し、大気中の水分と反応して腐食性ガスであるフッ化水素 (HF) を発生するリスクがある。このため処理処分が望まれることになるが、一般的な湿式処理には廃液処理が必要であり、処理工程が複雑となるため、より簡便で安全な処理処分方法が望まれている。

そこで本研究は、過去の系統除染で発生して長期保管廃棄中の濃紫色の IF_5 が UF_6 と反応して UF_4 とみられる緑色の沈殿物が発生する事象に着目し、これに関する反応過程の調査と解明により溶存ウランの分離方法を開発することを目的とした。また合わせて、溶存ウラン分離後の IF_5 の長期保管廃棄に必要となる安定化処理方法を開発することも目的とした。

実施内容

溶存ウランの分離可能性を調査するため、まず初めに長期保管廃棄中 IF_5 の濃紫色への変色の原因を明らかにすることを試みた。次に、変色した IF_5 と UF_6 の反応による析出現象を観察することで、反応の素過程及び反応生成物の確認、沈殿物と液体の分離可能性を調べた。なお、本研究では IF_5 や UF_6 について、半透明容器であるダイフロンチューブを液体窒素で冷却し、蒸気圧を利用したガス移送により観察を行った。

また IF_5 の安定化処理方法検討については、生成物が固体となり、処理過程で HF を IF_5 と同時に乾式処理可能である吸着固化法に着目し、金属水酸化物系の除害剤による IF_5 吸着処理試験を実施した。

IF₅ 変色の原因

最初に新品の IF₅（以下、新品 IF₅）による液色の確認と、長期保管廃棄して濃紫色に変色した IF₅（以下、長期保管 IF₅）とのガス分析結果比較を行った。一般に新品 IF₅ は無色溶液（常温）であるが、新品 IF₅ をガス移送したところ茶色の溶液であり、精製しても完全に無色の IF₅ とならなかった。フーリエ変換型赤外分光法によるガス分析結果（図 1）では、茶色に変色した新品 IF₅ と長期保管 IF₅ においてスペクトルの違いは認められなかった。

次に長期保管 IF₅ を NaOH で溶解し、ヨウ素（I）とフッ素（F）の化学組成測定を蛍光 X 線分析法とイオンクロマトグラフィーにより実施した。これより、組成比 I : F = 1 : 5 に対して、測定値は I : F = 1 : 4.16 となり、長期保管 IF₅ では F が相対的に減っていることがわかった。

F の相対的に減った原因として、保管容器と IF₅ の反応が考えられたため、保管容器と同材質の SUS316L 小片を新品 IF₅ に浸漬した。その結果、直後に IF₅ は茶色になり、約 30 分後には完全に濃紫色溶液となった。さらに 80 日後、小片を取り出すと、小片表面及び容器内壁に茶色の固体がわずかに付着していた。この固体はエタノールに溶解したことからヨウ素であると考えられた。また X 線光電子分光法により小片の表面を深さ方向分析したところ、表面から数 nm の範囲においてフッ化鉄の生成を確認した。

以上より、長期保管廃棄中は IF₅ と金属保管容器との反応により容器内壁表面がフッ素化し、IF₅ 中の F が I に対して相対的に減ることで、遊離 I が発生し IF₅ が濃紫色に変色したと考えられる。

長期保管 IF₅ と UF₆ の反応

反応の素過程及び反応生成物を確認するため、長期保管 IF₅ と UF₆ の反応観察を行った。まず長期保管 IF₅ を入れた容器を液体窒素で冷却して、別容器から発生させた UF₆ ガスを移送し、容器を室温に戻しながら経過を観察した（図 2）。

移送直後の上部（白色）は UF₆、下部（黒青色）は長期保管 IF₅ である。UF₆ が沈下して溶解するにつれて溶液の色が青緑色から黄色へと変化し、5 時間後には無色溶液と緑色の沈殿物が確認された。F が相対的に不足していることが明らかとされた長期保管 IF₅ が黄色を経て無色

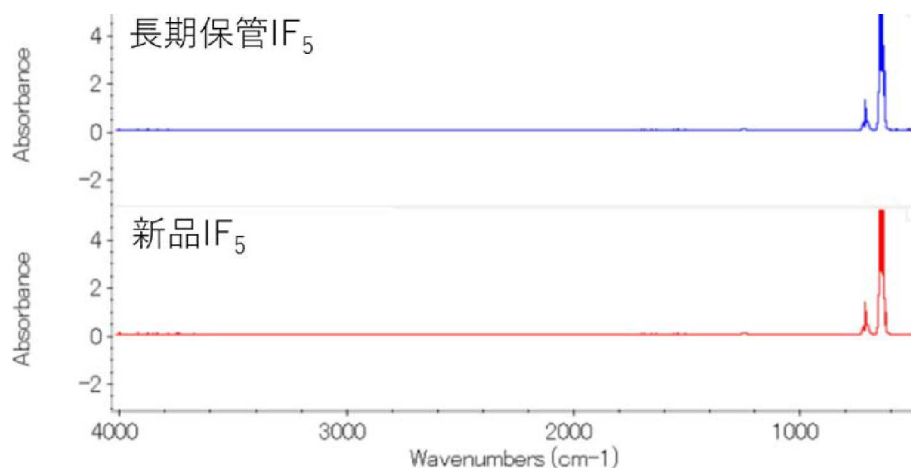


図 1 フーリエ変換型赤外分光法による測定結果

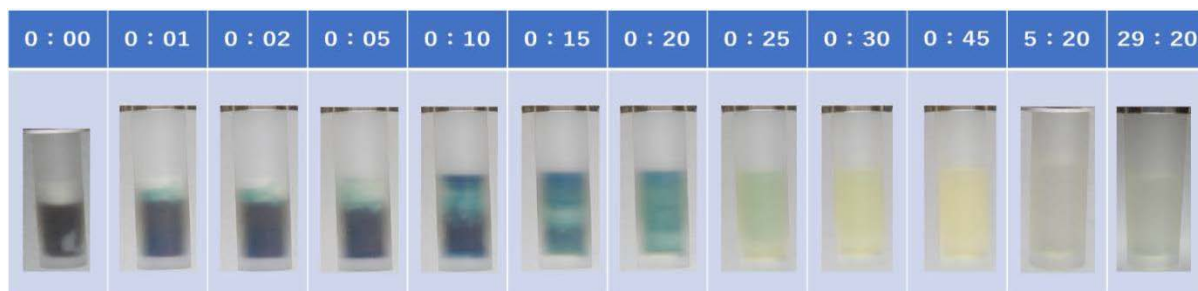


図2 長期保管 IF_5 と UF_6 の反応の経時変化（上部に記載の時間は、移送完了後からの経過時間（時：分）を示す）

に変化したことから、 UF_6 から F が IF_5 に移る過程で $\text{IF}_5 \cdot \text{UF}_6$ 錯体のような中間生成物の発生を経由して UF_4 が生成した可能性が考えられるが、今後に詳しく注目する予定である。

この沈殿物を溶液から分離するためガス移送を行ったところ、図3の通り、緑色固体が容器底面に残留した。微量であり回収が困難であることから分析はできなかったが、この固体は蒸気圧の極めて低い UF_4 の可能性が高いと考えられる。



図3 残留した沈殿物

IF_5 吸着処理試験

新品 IF_5 を対象として、図4の設備で吸着剤を用いた吸着処理試験と性能評価を実施した。吸着剤には大陽日酸株式会社製除害剤（金属水酸化物系）を使用し、 IF_5 の濃度を N_2 希釈により 1% に調整して供給した。吸着可否の判定は IF_5 検知剤と HF 検知器により行った。その結果、金属水酸化物系の除害剤による IF_5 吸着固化処理が可能であることを確認した。特に、空塔速度を 1 cm/s に設定した場合に最も吸着効率が高くなり、35.8 L/kg となった。

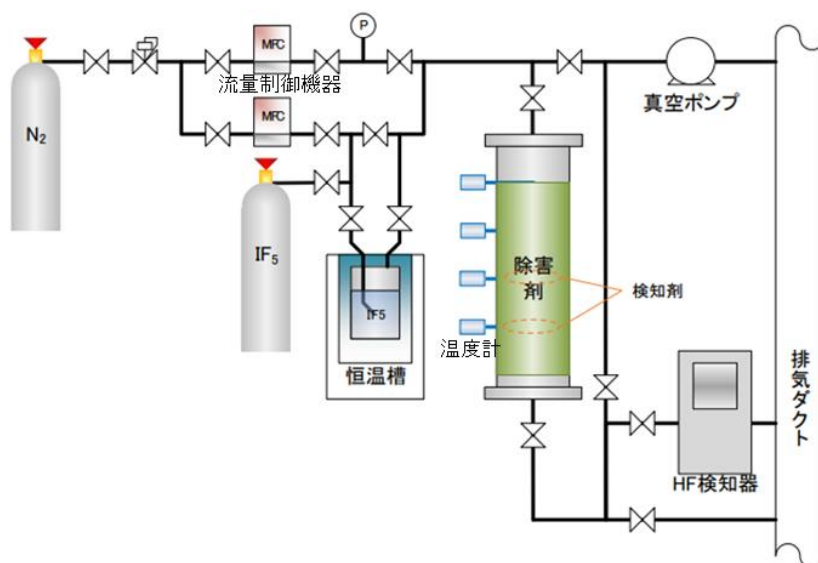


図4 IF_5 吸着試験設備概略図

まとめと今後の予定

本研究により、 IF_5 はステンレス鋼製の保管容器と反応してフッ化鉄が生成し、フッ素が減少し、相対的にヨウ素が増えることで、濃紫色に変色することが考えられた。また濃紫色の IF_5 に UF_6 を添加することで、 IF_5 と分離可能な緑色沈殿物が生成することを明らかとした。さらに IF_5 の安定化処理方法として、金属水酸化物系除害剤により IF_5 を吸着固化処理できることを確かめた。

今後は UF_4 と考えられる緑色沈殿物の析出反応について、その沈殿量増加のための条件最適化を実施する。また、溶液及び沈殿物のより詳しい分析方法として、放射光による価数分析を実施する予定である。その他、除害剤の処分適用性について検討する。

これらを通じて、系統除染により発生した IF_5 に対するより簡便で安全な処理処分方法を確立する。

参考文献

- [1] 江間晃, 門一実, 鈴木和彦. 遠心分離機内部のウラン定量方法の提案と IF_7 処理反応生成物の分離・精製性能評価. 日本原子力学会和文論文誌 10, pp.205–215 (2011).

2.2 廃棄体容器材料のための超合金の変形と破壊挙動の放射光によるその場観察

廃止措置推進課 酒瀬川英雄

JAEA 物質科学研究センター 菖蒲敬久、富永亜希、岡本芳浩

背景と目的

2015 年、国内の特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針にて「廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保すること」という改訂がなされた[1]。国際的にも OECD/NEA から放射性廃棄物管理の報告書「決定の可逆性と放射性廃棄物の回収可能性」が出されており[2]、回収可能性を高める措置の一つとして「できるだけ耐久性の高い廃棄体と廃棄物容器を使用すること」と言及されている。

しかしながら、現在の放射性廃棄物の廃棄体容器は炭素鋼が選ばれており、必ずしも、回収可能性を考えた材料選択ではない。このため、埋設中の腐食によって廃棄体の構造健全性を損ない、可搬性を損ない、そして、回収可能性を損なう可能性が考えられる。

本研究は、この炭素鋼と比較して、より優れた耐食性をもつ銅合金（寿命で 10 倍以上）[例えば、3]を、より高い耐圧性をもつ超合金（圧縮強さで 8 倍以上）[4]に被覆させた新しい複合材料を開発し、廃棄体の回収可能性を確保することを目指している。

具体的には、図 1 に示したように、耐食性に優れた銅合金（銅－アルミニウム系や銅－ニッケル系）を耐圧性に優れた超合金（タングステンカーバイド－コバルト系）に被覆させた複合材料の開発を考えている。

ここでは、この廃棄体用の複合材料の中で耐圧性を受け持つ超合金の変形・破壊挙動について、超合金に引張荷重を負荷しながら、SPRING-8 の放射光を利用したその場観察をすることによって変形・破壊メカニズムを明らかにすることを目的とした。

このメカニズム解明によって、回収可能性を確保した廃棄体容器材料に要求される機械的性質を満足するための材料設計指針の策定、例えば、超合金の強化相であるタングステンカーバイドの最適な分散状態と体積率の策定が可能となる。

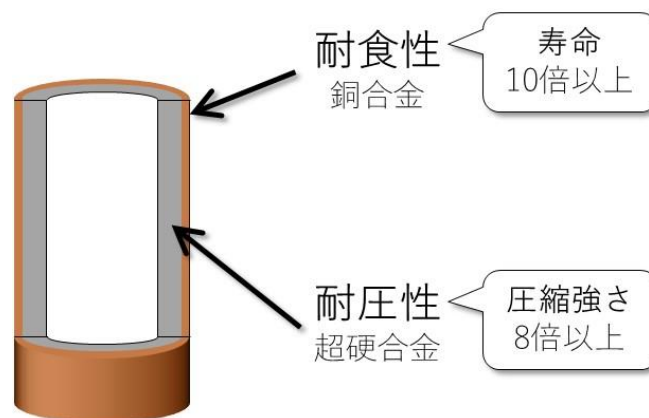


図 1 廃棄体容器のための新しい複合材料

実験方法

図 2 に示したように、SPring-8 のビームライン BL22XU に設置されている CT (Computed Tomography、コンピュータ断面撮影法) 用負荷装置を利用して、タングステンカーバイド系超硬合金 ((株) トーカロイ MTG 社製 超硬合金 G6 VC-60 JIS B 4054) 製の U ノッチ入り引張試験片に引張荷重を負荷しながら、CT 観察とひずみ分布計測を実施した。

実験結果と考察

まず、大まかに超硬合金の変形・破壊挙動を調べるため、試験片に引張荷重を段階的に 50 N 間隔にて負荷した。これより、250 から 300 N まで荷重を増加させる間に試験片は破断することがわかった。

次に、この結果に基づいて詳しく変形・破壊挙動を調べるため、破断荷重の近傍と考えられた 250 N 近傍について、より細かく 220、240、250、そして、260 N の引張荷重を段階的に負荷した。その結果、260 N まで負荷した後、その一定荷重の条件下にて CT 画像取得のために試験片を回転させている最中に瞬時に脆性破断した。

これは試験片の回転中に生じるような試験片と治具の間の微小なずれにより、試験片にある不連続部に応力が集中、その部分を起点としたクラック伝搬のために不安定破壊に至ったものと考えられる。なお、破壊に至らしめたようなクラックの発生や伝搬の様子は CT 画像として取得できていないため、その大きさは数 μm 以下と考えられる。

図 3 は 250 N の引張荷重下における CT 画像の上にひずみ分布をカラーマップで重ね合わせたものである。緑系の寒色から赤系の暖色になるほどひずみが大きく、それに従って応力も大きくなる (なお、この図では赤色部の中央のもっともひずみが大きいところは灰色の色で示されている)。同図の左側には引張試験片のゲージ部に刻まれた U ノッチが確認できるが、ノッチ先端部というよりも、どちらかと言うとノッチから少し内側に入った部分にひずみ集中部が確認されている。超硬合金はタングステンカーバイド粒を結合相のコバルトで焼結固化した材料であるが、未焼結部に存在する空隙などの不連続部に応力集中して破断に至った可能性が考えられる。

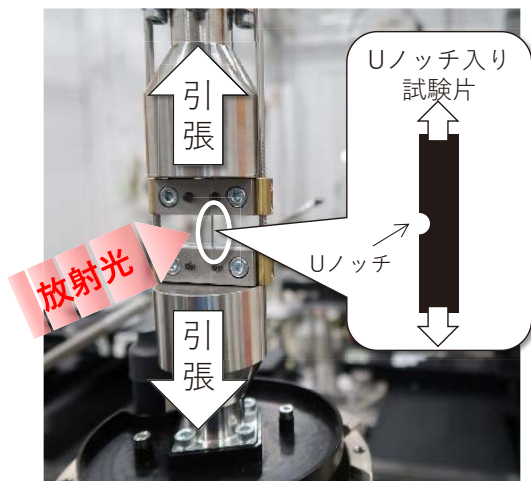


図 2 SPring-8 の実験装置

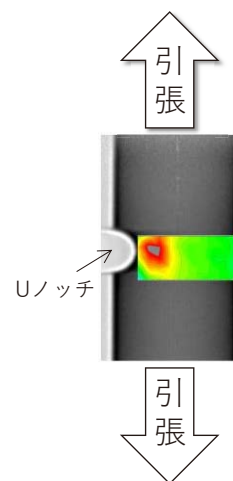


図 3 実験結果 (荷重 : 250 N)

まとめと今後の予定

今後は破断後試験片の破面観察や微細組織観察の実施、そして、SPring-8 による追実験の実施によりノッチ近傍からさらに内側に入った領域のひずみ分布にも注目することで、応力集中を引き起こすような組織因子を調べて、変形・破壊メカニズムにさらに詳しく注目する予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K12438 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針.
<https://www.meti.go.jp/press/2023/04/20230428007/20230428007-2.pdf> (accessed: 2023 年 6 月 22 日).
- [2] OECD/NEA. 決定の可逆性と放射性廃棄物の回収可能性.
https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_48564/ (accessed: 2023 年 6 月 22 日).
- [3] F. King, L. Ahonen, C. Taxén, U. Vuorinen, L. Werme. Copper corrosion under expected conditions in a deep geologic repository. Svensk Kärnbränslehantering AB Technical Report TR-01-23 (2001).
- [4] 株式会社トーカロイ MTG ホームページ. <https://www.tokaloy.co.jp/> (accessed: 2023 年 6 月 22 日).

This is a blank page.

3. 保障措置

This is a blank page.

3.1 ウラン濃縮施設の保障措置について

保安・技術管理課 石田毅、中島伸一

JAEA 安全・核セキュリティ統括本部 核セキュリティ管理部 中村仁宣

検査開発株式会社 山田茂樹

要約

人形峠環境技術センターは、濃縮施設の運転段階から廃止措置に移行している現在まで様々な問題に直面し、解決に向かい取り組んできた。運転時には、機微情報の不拡散を担保しながら有効な査察実施の方法を模索していた。本問題を解決するため、IAEA を含む濃縮技術を有する国等による検討会議（HSP: Hexapartite Safeguards Project）が開催された。本会議にて頻度限定無通告査察（LFUA: Limited Frequency Unannounced Access）など事象解決に有効的な方法が提案され、実証してきた。運転を終えて、廃止措置に移行する際には、滞留ウランによる累積 MUF（核物質不明量、Material Unaccounted For）が問題としてあった。本滞留ウランの回収のため技術開発を行い解決し、廃止措置に移行した。現在、保障措置終了を目指すうえで、枢要設備を含めた機微情報の処理や保管廃棄物を含めた核燃料物質の処置等が問題として挙がっており、保障措置終了に向け協議を継続する必要がある。各施設状態における保障措置上の問題について表 1 に示す。

表 1 各施設状態における保障措置上の問題

施設状況	運転状態	廃止措置移行前状態	廃止措置状態	取組み
保障措置上の問題	核燃料物質の転用防止			HSPによるLFUAの提案及び実証
	機微情報の拡散防止			
	長期運転により累積したMUFの解消		保管廃棄を含めた核燃料物質の処置、管理	滞留ウラン回収技術及び測定機器の開発

人形峠環境技術センター濃縮施設に対する今までの保障措置

人形峠環境技術センター濃縮施設は、1979 年からウラン濃縮パイロットプラントの試験運転を開始した。運転開始時の問題として核物質の転用防止と機微情報の管理の両立があった。濃縮施設では、遠心分離機を有しており、機微情報を含む機器、エリアがあった。保障措置上機微情報を含むエリアについても同様に査察を行うことから濃縮技術を有する国々から機微情報の流出を懸念する声が上がった。一方で、核物質の転用、平和目的のみの利用を確認するため IAEA による査察のための入域等は必要であった。本問題について解決するため、1980 年に IAEA を含めた濃縮技術を有する国等（日本、アメリカ、トロイカ（イギリス、西ドイツ、オランダ）、オーストラリア、IAEA、ユーラトム）による HSP 会議が開催された。HSP 会議で提案された LFUA について、低コストであること、査察による運転への干渉が少ないこと、査察を実施することが簡単であることなどが課題として挙げられた。人形峠環境技術センターでは LFUA のテスト実施を受入れ、有効性を実証した。その結果として現行の保障措置に LFUA を

組み込むこととなった。本保障措置を実施することにより核物質の転用防止と機微情報の管理の両立を維持してきた。

運転が終了し、廃止措置へ移行することとなったが、長期運転により MUF が累積した。MUF の解消のため、滞留ウラン除去回収の方法を開発した[1]。本方法について MUF の改善が図ることができたため、廃止措置に移行することができた。また、回収しきれていない滞留ウランについては、共同研究により中性子測定器（PNUH: Portable Neutron Uranium Hexa-fluoride）[2]を開発し、滞留ウラン量の評価を行い、実在庫検認（PIV: Physical Inventory Verification）の査察機器として使用し、滞留ウラン量の検認、管理を行っている。

保障措置の観点から廃止措置にむけての論点

人形峠環境技術センターでは、2020 年より廃止措置に移行しており、設備解体等を実施している。設備解体が進むにつれて保障措置について施設状況に適応し、保障措置終了に向けての問題を解決する必要がある。保障措置の問題として挙げられるのが、遠心分離機等枢要設備の処理について、現存する保管廃棄物を含めた核燃料物質の処置がある。

遠心分離機などは、多くの機微情報を有しており、転用を防ぐための処置が必要である。機微情報の消滅のために、細断、プレスなどの処理を行っているが、処理した機微情報を有した機器、部品については保管管理をしている。遠心分離機等枢要設備の処理については“使用不能状態（Rendered Inoperable）”について協議を続けていくことが重要である。

保管廃棄物を含めた核物質は、様々な形状、形態で保管されている。保障措置終了を目指すうえで、核物質を所有しない状態にすることが必要である。UF₆ シリンダ、解体物等について保管場所の集約化、輸送等による対応により計画的に効率的な廃止措置の実施することが重要である。

総括

今まで施設状況ごとの問題について IAEA と解決に向けた協議を行い、適切な保障措置を実施してきた。保障措置の終了へ向けた問題として、保管廃棄物を含めた核燃料物質を処置すること、遠心分離機等の枢要設備を撤去して使用不能状態にすることが挙げられる。本問題を解決のために、運転時と同様に、国際約束事項の確実な遵守を行うとともに IAEA と協議を行い、廃止措置の状況について透明性を担保しながら適切かつ適時的に情報提供することが重要である。

参考文献

- [1] 江間晃, 横山薫, 中塚嘉明, 島池政満, 杉杖典岳. フッ化ヨウ素ガスによる系統除染技術開発－IF7 処理条件とウラン除染結果の評価－. JAEA-Technology 2008-037 (2008) 50p.
- [2] 中島伸一, 山田茂樹, 高橋俊也. 中性子線及びγ線計測による滞留ウラン計測技術開発. サイクル機構技報 3, pp.15–23 (1999).

4. 放射線影響評価研究

This is a blank page.

4.1 建物内壁からのラドン・トリウム散逸率のその場測定

安全管理課 迫田晃弘、神崎訓枝

JAEA 敦賀廃止措置実証本部 石森有

東京大学大学院 金千皓、Md. Mahamudul Hasan、飯本武志

背景と目的

ラドン (^{222}Rn) とトリウム (^{220}Rn) は環境中に普遍的に存在する放射性希ガスで、放射線防護や環境動態研究の観点から、さまざまな測定技術の開発・向上が図られてきた。また、近年は屋内ラドンのリスクや規制に関する議論が盛んに行われており、ラドンの生成から吸入被ばくまでの一連のプロセスの理解が求められている。

最もよく知られる線源に「土壌」があるが、短半減期（56 秒）のトリウムや高層階に存在するラドン・トリウムでは「建材」が重要となる。建材に対するラドン・トリウム散逸研究は、既報のほとんどが実験室でサンプル片を用いて実施されたもので、実環境でのその場測定に基づく知見は極めて限定的であった。そのため、実験室で得られた結果の実環境への適用可能性の検討が必要であった。

本研究では、建物内壁のラドン・トリウム散逸率のその場測定に着目し、(1) データ解析方法の検討、(2) モデルルームでの観測を実施した。本報告では、主に後者の内容を概説する。

結果とまとめ

2021 年 4 月～2023 年 1 月まで、5 階建て集合住宅の 1 階にある部屋の内壁を対象にラドン・トリウム散逸率を測定した。蓄積容器を壁に直接設置した後、系内部で高まったラドン・トリウム濃度を測定し（図 1）、データ解析でラドン・トリウム散逸率（単位時間かつ面積あたりに放出されるラドン・トリウムの量）に換算した。対象は、戸境壁（ラドンとトリウムを両方測定）と外周壁（ラドンのみ測定）であった。

蓄積容器を設置した後のラドン濃度変化について、壁の種類によって異なることがわかった



図 1 ラドン・トリウム散逸率測定の様子

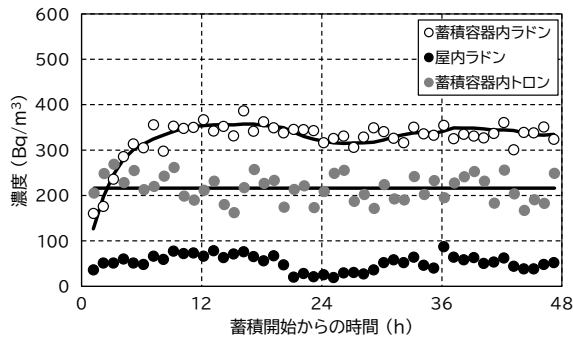


図2 戸境壁に対するラドン・トリオン濃度測定の結果

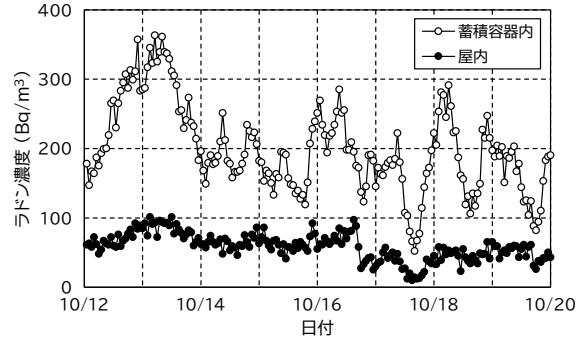


図3 外周壁に対するラドン濃度測定の結果

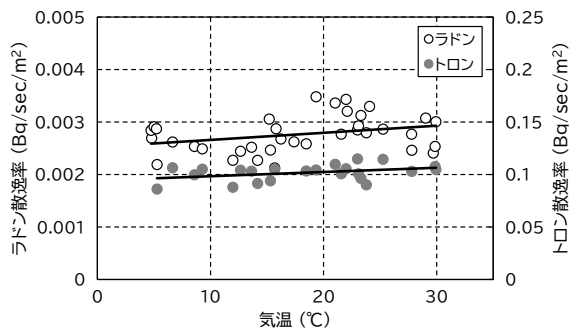


図4 戸境壁におけるラドン・トリオン散逸率の温度依存性の例

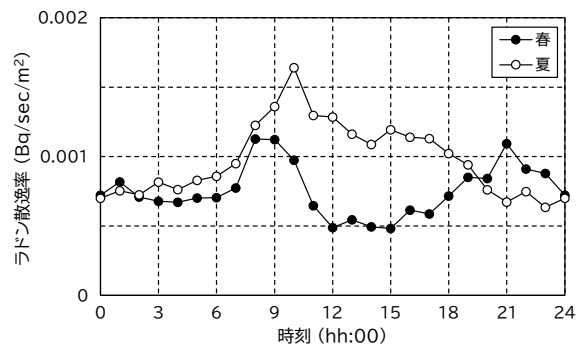


図5 外周壁におけるラドン散逸率の変動例

(図2、3)。戸境壁では容器設置後10時間ほど経って飽和したが、外周壁では大きな時間変動がみられた。これより、ラドン散逸率について、戸境壁では少なくとも数日間の範囲では概ね一定で、外周壁では気象等の要因による日内変動があると考えられた。一方、戸境壁のトリオン濃度は、容器設置直後に飽和がみられた。

季節変動について、戸境壁では温度の上昇に伴ってラドン・トリオン散逸率も高まる傾向があった(図4)。ここにデータは示さないが、外周壁の場合も同様に、夏季にラドン散逸率が高まる傾向があった。今後は、先行研究の実験室データとも比較しながら、考察を進めていく。

また、外周壁におけるラドン散逸率の日内変動について、季節による違いがみられた(図5)。これは、最近のモデル研究を参考にすれば、ラドンの移動しやすさに影響する壁内外の差圧等の気象変動が一因かもしれない。

本研究は、散逸現象の理解深化に加えて、屋内ラドン・トリオンの時間変化を表現する数理モデルの入力値の精度向上にも貢献する。今後、本研究の結果も活用しながら、モデルルーム内のラドン観測結果を再現するモデルの作成を通じて、屋内ラドンの時空間変動の解釈を進める。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP21K10426 及びウエスコ学術振興財団(学術研究費助成事業)の助成を受けたものである。

4.2 ラドン吸入や X 線照射に応答するマウス肺の代謝物

安全管理課 神崎訓枝、迫田晃弘

産業技術総合研究所 孫略

岡山大学 片岡隆浩、山岡聖典

はじめに

放射性希ガスのラドン (^{222}Rn) は肺がん因子の一つとして知られる一方で、ラドンを豊富に含む「ラドン温泉」は変形性関節症や気管支喘息等の症状緩和に効果があると報告されている。しかし、このような超低線量放射線被ばくが生体に及ぼす影響や効果については未解明な部分が多く、JAEA と岡山大学では共同研究「極微量ウラン影響効果試験」を行い、その機構解明等を進めてきた[例えば、1]。近年では、低線量被ばくに応答する可能性のある抗酸化物質のグルタチオンに注目したメタボローム解析（代謝物の網羅的解析）にも取り組んでいる[2]。

本研究では、未解明な超低線量放射線被ばくが生体に及ぼす影響や効果の一端を明らかにすることを目的とし、マウスにラドンを吸入させて肺のメタボローム解析を行った。これまでに得られた結果は、ラドン吸入がかなり低い線量（～数十 μGy ）だったこともあり、多数の代謝物が曖昧で複雑な変化をしていた[3]。そのため、2022 年度は、その曖昧で複雑な変化を明確に説明するため、陽性対照となる X 線照射実験を行ったので、その結果の一部を報告する。

方法、結果および考察

X 線照射の実験では、オスの BALB/c マウスに X 線（0（対照）、0.1、0.5、1、3、10 Gy）を全身照射し、照射 24 時間後に肺を分析サンプルとして採取してメタボローム解析を行った。その結果、グルタチオンには X 線照射による統計的に有意な変化はなかったが、グルタチオンの合成に関わるシステインやシスタチオニン、さらにはチアミン等に 10 Gy の X 線照射で統計的に有意な変化があった（図 1）。ここで示した以外にも、多くの代謝物で、高線量の X 線照射によって急激な増減が見られたことから、抗酸化物質の代謝が破綻している可能性が示唆できた。

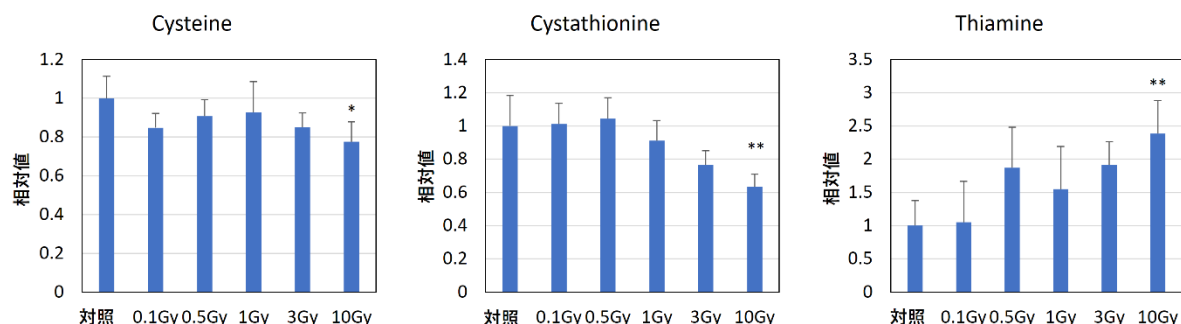


図 1 X 線に被ばくしたマウス肺から検出された代謝物の変化例（対照群基準の相対値の群平均±標準偏差。各群 5 匹。有意確率：* $P<0.5$ 、** $P<0.1$ ）

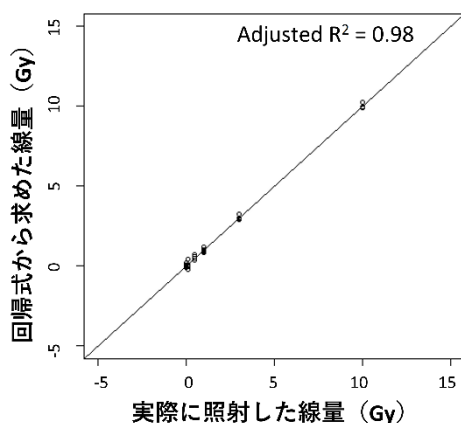


図2 実際に照射した X 線の線量（横軸）に対する代謝物の変化から線量を予測する回帰式で求めた線量（縦軸）の散布図

さらに、重回帰分析により、目的変数を X 線の線量、説明変数を検出された複数の代謝物の変化として、説明変数から目的変数を求める回帰式を算出した。横軸に実測値、縦軸に予測値をとってプロットすると、求められた予測値は実測値とほぼ合致した（図 2）。このとき、調整済み $R^2=0.98$ （1 に近いほど高精度）であった。すなわち、本実験で得られた代謝物の変化は、X 線照射による被ばくによってもたらされた変化であると考えることができる。

ラドン吸入の実験については、詳細は昨年度の年報に譲るが[3]、X 線照射の実験と同様の条件で、X 線照射の代わりに、マウスにラドンを含む空気を吸入させた（ラドン濃度：20（対照）、200、2000、20000 Bq/m³、吸入期間：1、3、10 日間）。メタボローム解析の結果、X 線照射の実験の場合とは異なり、単純な線量依存性は見られず、ラドン濃度や吸入期間に依存した複雑な変化が見られた。

まとめ

今回行った X 線照射の実験により、本メタボローム解析で検出された代謝物は、肺の被ばく影響を表す指標として適当で、0.1 Gy 程度の低線量域までは十分に評価できることがわかった。現在は、ラドン吸入による被ばくに合わせたさらに低い線量での X 線照射実験の検討を進めながら、今回の X 線照射の結果を基に、代謝物の合成経路を辿って、X 線照射とは異なるラドン吸入特有の代謝物の変化を明らかにしたいと考えている。

今後の予定

引き続き、グルタチオン関連の代謝物に注目し、臓器や被ばく方法での差異について検討を進める予定である。また、ラドン吸入に限らず、低線量かつ慢性的な被ばくの影響をより分かり易く総合的に評価できるデータ解析手法の検討にも取り組みたいと考えている。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K04954 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 石森有, 迫田晃弘, 田中裕史, 光延文裕, 山岡聖典, 片岡隆浩, 恵谷怜央. 極微量ウラン影響効果試験 (2) (共同研究). JAEA-Research 2015-024 (2016) 41 p.
- [2] N. Kanzaki, A. Sakoda, T. Kataoka, L. Sun, H. Tanaka, I. Ohtsu, K. Yamaoka. Changes in sulfur metabolism in mouse brains following radon inhalation. International Journal of Environmental Research and Public Health 19, 10750 (2022).
- [3] 人形峠環境技術センター. 2021 年度人形峠環境技術センターにおける研究・技術開発成果ートビックスー. JAEA-Review 2022-080 (2023) 44p.

This is a blank page.

5. 業績一覧

This is a blank page.

5.1 論文

[査読あり]

1. K. Tokunaga, K. Tanaka, Y. Takahashi, N. Kozai. Improvement of the stability of IO_3^- , SeO_3^{2-} , and SeO_4^{2-} -coprecipitated barite after treatment with phosphate. *Environmental Science & Technology* 57, 3166–3175 (2023).
2. I. Maamoun, K. Tokunaga, T. Dohi, F. Kanno, O. Falyouna, O. Eljamal, K. Tanaka, Improved immobilization of Re(VII) from aqueous solutions via bimetallic Ni/Fe⁰ nanoparticles: Implications towards Tc(VII) removal. *Frontiers in Nuclear Engineering* 2, 1142823 (2023).
3. Y. Ohashi, M. Shimaie, T. Matsumoto, N. Takahashi, K. Yokoyama, Y. Morimoto. Current status of decommissioning and waste management at the Ningyo-Toge Environmental Engineering Center. *Nuclear Technology* 209, 777–786 (2023).
4. M. Shimada, T. Tokuniya, T. Miyake, K. Tsukada, N. Kanzaki, H. Yanagihara, J. Kobayashi, Y. Matsumoto. Implication of E3 ligase RAD18 in UV-induced mutagenesis in human induced pluripotent stem cells and neuronal progenitor cells. *Journal of Radiation Research* 64, 345–351 (2023).
5. A. Di Palma, P. Adamo, T. Dohi, K. Fujiwara, H. Hagiwara, A. Kitamura, A. Sakoda, K. Sato, K. Iijima. Testing mosses exposed in bags as biointerceptors of airborne radiocaesium after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident. *Chemosphere* 308, 136179 (2022).
6. H. Sakasegawa, M. Nomura, K. Sawayama, T. Nakayama, Y. Yaita, H. Yonekawa, N. Kobayashi, T. Arima, T. Hiyama, E. Murata. Liquid decontamination using acidic electrolyzed water for various uranium-contaminated steel surfaces in dismantled centrifuge. *Progress in Nuclear Energy* 153, 104396 (2022).
7. N. Kanzaki, A. Sakoda, T. Kataoka, L. Sun, H. Tanaka, I. Ohtsu, K. Yamaoka. Changes in sulfur metabolism in mouse brains following radon inhalation. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 10750 (2022).
8. T. Kataoka, T. Ishida, S. Naoe, N. Kanzaki, A. Sakoda, H. Tanaka, F. Mitsunobu, K. Yamaoka. Potential inhibitory effects of low-dose thoron inhalation and ascorbic acid administration on alcohol-induced hepatopathy in mice. *Journal of Radiation Research* 63, 719–729 (2022).
9. S. Andresz, C. Papp, T. Clarijs, A. Sakoda, Marina Sáez-Muñoz, R. Qiu. The Young generation in radiation protection (IRPA YGN) in social media and online learning; "Brave New World" or "Online Nightmare"? *Journal of Radiological Protection* 42, 031516 (2022).
10. K. Yokoyama, Y. Ohashi. Clearance measurement for concrete waste generated by the decommissioning of uranium processing facilities. *Annals of Nuclear Energy* 175, 109240 (2022).
11. Y. Narazaki, A. Sakoda, S. Takahashi, H. Itoh, N. Momoshima. Analysis of factors contributing to the increase in ⁷Be activity concentrations in the atmosphere. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, 10128 (2022).
12. A. Sakoda, T. Ishida, N. Kanzaki, H. Tanaka, T. Kataoka, F. Mitsunobu, K. Yamaoka. Radon

solubility and diffusion in the skin surface layer. International Journal of Environmental Research and Public Health 19, 7761 (2022).

13. S. Horai, S. Murakami, A. Sakoda, R. Nakashita, T. Kunisue, Y. Ishimori. Environmental monitoring of trace elements and evaluation of environmental impacts to organisms near a former uranium mining site in Ningyo-toge, Japan. Environmental Monitoring and Assessment 194, 415 (2022).
14. Y. Ueda, A. Eguchi, K. Tokunaga, K. Kikuchi, T. Sugita, H. Okamura, H. Naganawa. Urea-introduced ionic liquid for the effective extraction of Pt(IV) and Pd(II) ions. Industrial & Engineering Chemistry Research 61, 6640–6649 (2022).

[査読なし]

1. 徳永紘平. バライト共沈法の環境放射化学・地球化学的な応用に関する研究（特集 2022 年度学会奨励賞），放射化学 47, 20–23 (2023).
2. 中畠純也，廣田誠子，辻智也，渡邊裕貴，迫田晃弘，小林紀子. 「ICRP 内部被ばく線量評価に関する勉強会」報告. 保健物理 58, 13–20 (2023).
3. 迫田晃弘，辻智也，廣田誠子，渡邊裕貴. ICRP 次期主勧告に向けた議論の始まりー「放射線防護に関する国際動向報告会」印象記、及び若手会員が関心を持つテーマの調査. 保健物理 57, 108–114 (2022).
4. 酒瀬川英雄. ウラン廃棄物の処理処分に関する研究. ENEKAN 20, 20–23 (2022).

5.2 報告書

1. 人形峠環境技術センター. 2021 年度人形峠環境技術センターにおける研究・技術開発成果ートピックスー. JAEA-Review 2022-080 (2023) 44p.
2. “IRPA Practical Guidance for Engagement with the Public on Radiation and Risk” 翻訳ワーキンググループ（迫田晃弘ほか）. 放射線とそのリスクに関する一般公衆との関わり合いのための実践的ガイダンス（翻訳）. 原典：Practical Guidance for Engagement with the Public on Radiation and Risk（International Radiation Protection Association）. 日本保健物理学会（2022）.

5.3 受賞

[外部表彰]

1. 神崎訓枝, 支部奨励賞, 日本原子力学会中国・四国支部, 2022 年.
2. 徳永紘平, バライト共沈法の環境放射化学・地球化学的な応用に関する研究, 奨励賞, 日本放射化学会, 2022 年.

[機構内表彰]

1. 遠隔監視システム更新検討チーム (皆川龍平, 宮内亨, 武元賢治, 小原弘). 施設放射線状況遠隔監視システムの改善. 創意工夫賞, 理事長表彰, 2022 年.
2. 文部科学大臣指示対応グループ (伊東康久, 西村善行, 後藤浩仁, 松島幸夫, 有元太郎ほか). トラブルに端を発した文部科学大臣指示対応の完遂. 模範賞, 理事長表彰, 2022 年.

5.4 各種研究費

[外部資金]

1. 酒瀬川英雄 (代表者). 回収可能性を確保する放射性廃棄体パッケージ複合材料の開発, 科研費 基盤研究 (C), 2022–2024 年度.
2. 迫田晃弘 (代表者). リスクに対応できる社会を目指した生活環境中ラドンのダイナミクス研究, 科研費 基盤研究 (C), 2021–2023 年度.
3. 神崎訓枝 (代表者). 自然放射線被ばくの環境変化に対する生体恒常性維持機能の解明, 科研費 基盤研究 (C), 2021–2023 年度.
4. 香西直文 (代表者), 徳永紘平 (分担者). きのか枯死後のセシウム溶出挙動に着目した森林内セシウム循環機構解明研究, 科研費 基盤研究 (C), 2021–2023 年度.

[機構内資金]

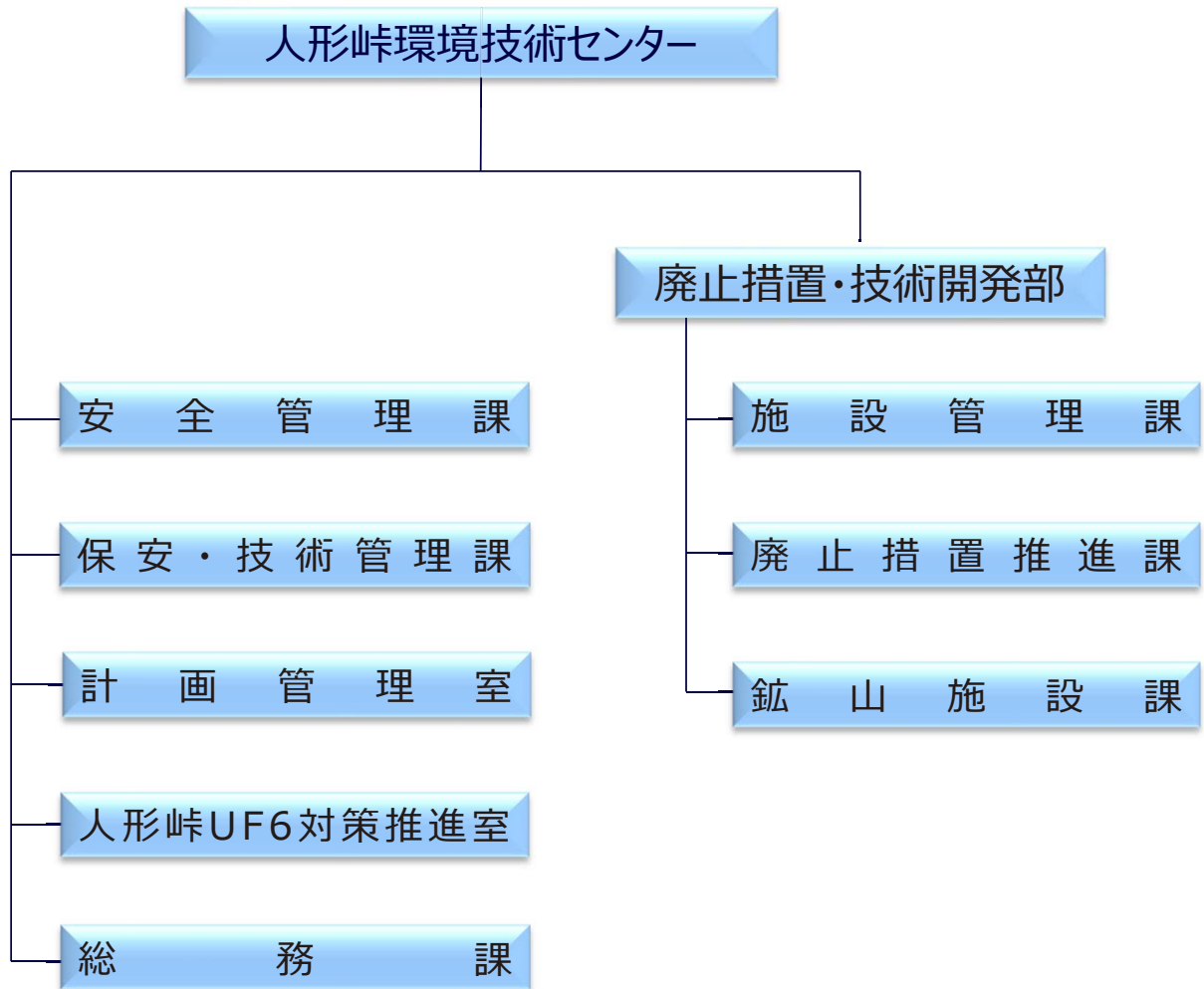
1. 飯尾彰規 (代表者). 高精度 GPS と簡易的な現場調査による地盤構造推定手法の高度化. 若手研究者・技術者育成プログラム, 日本原子力研究開発機構 (核燃料・バックエンド研究開発部門), 2022 年度.
2. 井上準也 (代表者). 地下水汚染経路推定に向けた大規模逆解析手法の開発. 若手研究者・技術者育成プログラム, 日本原子力研究開発機構 (核燃料・バックエンド研究開発部門), 2022 年度.
3. 竹末勘人 (代表者). 山間地の安全評価に係る地質の変遷を考慮した水–岩石反応試験. 若手研究者・技術者育成プログラム, 日本原子力研究開発機構 (核燃料・バックエンド研究開発部門), 2022 年度.
4. 徳永紘平 (代表者). 溶存酸素に応じたシデライトの化学状態の変化に伴う人形峠環境中のウラン及びヒ素の移行・濃集挙動の解明. 若手研究者・技術者育成プログラム, 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), 2022 年度.
5. 山中滯奈 (代表者). フッ化ヨウ素系廃棄物からのウラン分離と安定化処理. 若手研究者・技術者育成プログラム, 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), 2022 年度.
6. 山根いくみ (代表者). 炭酸ガスレーザーによる複雑形状及び軽量金属類の表面のクリーニングに係る調査研究. 若手研究者・技術者育成プログラム, 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), 2022 年度.

5.5 その他

1. 澤山兼吾. 母材金属の損傷を抑えた除染方法. 第7回 JAEA 技術サロン, 東京, 2022 年 11 月 21 日. <https://tenkai.jaea.go.jp/salon/20221121/> (accessed: 2023 年 10 月 2 日).
2. 山根いくみ, 西脇大貴. 母材金属の損傷を抑えた除染方法. 第8回 JAEA 技術サロン, 愛知, 2023 年 2 月 10 日. <https://tenkai.jaea.go.jp/salon/20230210/> (accessed: 2023 年 10 月 2 日).
3. 人形峠環境技術センター（廃止措置推進課）. ジーエルサイエンス株式会社 蛍光 X 線分析装置 (SPECTRO XEPOS, SPECTRO 社製): 原子力産業向けに最適化させた高ウランマトリックス用スクリーニング分析ソフトウェアの開発支援. 放射性核種分析関連製品カタログ (2022). <https://www.gls.co.jp/brochure/analysis.html> (accessed: 2023 年 10 月 2 日).

付録 1 組織図

(2022 年 4 月 1 日～2023 年 3 月 31 日)



付録2 産学官民連携の取り組み

計画管理室 日野田晋吾

岡山大学との連携

2023年3月10日、岡山大学において（オンライン併用）、原子力機構及び岡山大学で締結している連携協力協定に基づく連携協議会及び共同研究成果発表会を開催した（図1）。

また、2023年3月14日、岡山大学、津山工業高等専門学校（津山高専）と連携した3者シンポジウムとして、「第3回 EReTTSa シンポジウム～森林バイオマスの利活用による脱炭素・地方創生～」をオンラインで開催した（図2、3）。



図1 岡山大学との連携協議会の様子

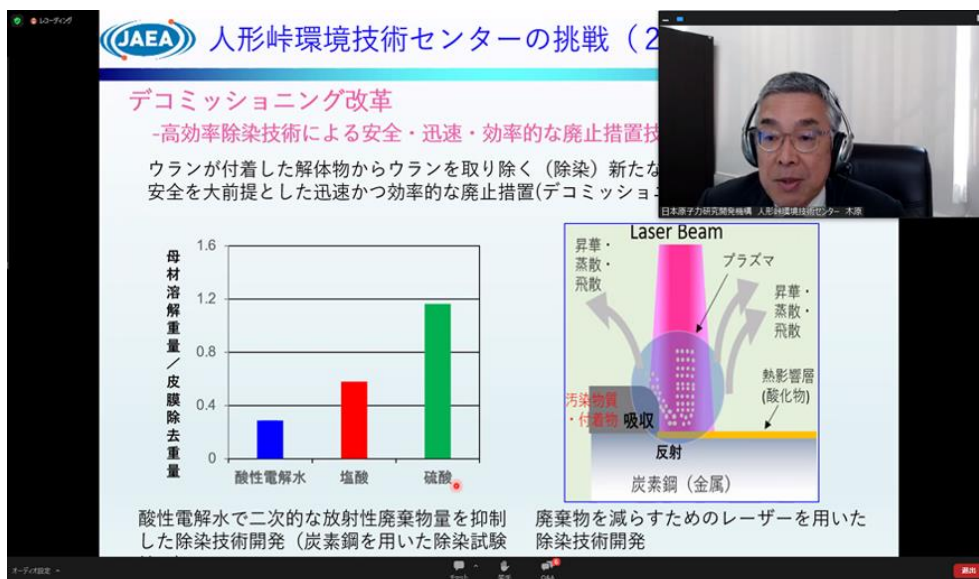


図2 第3回 EReTTSa シンポジウムでの発表の様子

EReTTSaとは

教育Education、研究Research、技術Technologyでつながる三機関によるトライアングルTriangleが、作州地域Sakushuareaが抱える社会課題などに取り組んでいくところを「EReTT・Sa エレッサ」と名付けました。

第3回 EReTTSaシンポジウム

小さな場所から始まる
未来のサイクル

2023.3.14 (Tue)

13:00-15:30 オンライン開催

参加
無料

定員 100名 申込期日 2023年3月10日(金)

申込方法 下記URLまたはメールにてお申込みください。
<https://onl.la/KccJ4gh>

申込フォーム



森林バイオマスの
利活用による
脱炭素・地方創生

PROGRAM

13:00 | 開会挨拶

13:05 | 基調講演

【題目】小さな木質バイオマス事業を起点とした地方創生

井筒 耕平 (株式会社sonraku 代表取締役)

愛知県出身。北海道大学と名古屋大学とで学んだのち、両エネ導入に関するコンサルタントとして活躍。その後、会社を辞めて岡山県美作市の地域おこし協力隊となり、2012年に西栗倉村にて「利導エナジー(株)(株)sonraku」を設立。現在は北海道へ移住し、厚岸町にてバイオマス熱電併給事業に挑戦中。休日は少年野球のコーチも務める異色の経歴。



13:50 | 取組紹介

【題目】
脱炭素社会が山村地域にもたらす恩恵
～脱炭素先行地域・西栗倉村の取組～

上山 隆浩 (西栗倉村 地方創生推進室 参事)



【題目】
木材資源大国、日本の挑戦

田原 義彦 (院庄林業株式会社 常務取締役)



14:10 | 研究紹介等

【題目】太陽光発電システムの安全性向上のための故障検出技術の開発
平田 航 (津山工業高等専門学校 専攻科電子・情報システム工学専攻1年)

【題目】人形峠環境技術センターの挑戦

木原 義之 (日本原子力研究開発機構人形峠環境技術センター 所長)

【題目】バンブーファイバー製マイボトル普及キャンペーン

稲野楓也・伊藤優希 (岡山大学 農学部 1年生)

【題目】脱炭素×筋トレ

岡村あすか (岡山大学 教育学部 1年生)

休憩

14:40 | パネルディスカッション

テーマ 地方における森林バイオマスの利活用・脱炭素・地域活性化

ファシリテーター 駄田井 久
(岡山大学 グローバル人材育成院 准教授)



パネリスト 井筒 耕平、上山 隆浩、田原 義彦

15:30 | 閉会挨拶

主催／岡山大学 津山工業高等専門学校 日本原子力研究開発機構

(お問い合わせ) 岡山大学 研究推進機構 TEL:086-251-8463 kikou@adm.okayama-u.ac.jp

図3 第3回 EReTTSa シンポジウムのポスター

津山高専との連携

上記シンポジウム開催の他、2022 年 4 月から 8 月にかけて、電気電子系 5 年生及び情報システム系 5 年生を対象として全 15 回シリーズで“環境科学”の講義を行った。また、2022 年 5 月 31 日には、先進科学系 5 年生へ“放射線及び放射性物質”に係る講義を行った（表 1、図 4）。

美作大学との取り組み（食品事業を革新するプラットフォームの構築）

本件は味覚センサー及び高感度ガス質量分析装置を用いて食材の味と香りを数値化、可視化することで、食材の差別化要因の視覚化と生産システム化（地元産農産物の差別化及び改良、食品製造の原料選別、食材加工技術の向上、食品流通の品質管理等）の実現を目指している。

2022 年度は、JAEA イノベーションハブより高感度ガス質量分析装置を転用したことから（図 5）、装置の調整を進めつつ、津山産小麦を使用したパンの試験測定を実施した。また、2023 年度以降の測定計画を調整した。



図 4 津山高専での講義の様子



図 5 食材の香り数値化で使用している高感度ガス質量分析装置

表 1 2022 年度津山高専での環境科学講座

電気電子系 5 年、情報システム 5 年		
実施日	講義内容	担当者（所属）
4 月 12 日	ガイダンス	日野田 晋吾（計画管理室）
4 月 19 日	カーボンフリーへの取り組み（JAEA2050+より） 人形峠環境技術センターの取り組み	青木 勝巳（計画管理室） 日野田 晋吾（計画管理室）
4 月 26 日	地球の抱える問題 環境問題への取り組み 1	金山 葉瑠（計画管理室） 日野田 晋吾（計画管理室）
5 月 10 日	環境問題への取り組み 2 エネルギー資源・課題（化石燃料）	日野田 晋吾（計画管理室）
5 月 17 日	将来のエネルギー資源（核融合）	酒瀬川 英雄（廃止措置推進課）
5 月 24 日	エネルギー資源（再生可能エネルギー） エネルギー政策	日野田 晋吾（計画管理室）
5 月 31 日	放射性廃棄物対策（環境保全）	酒瀬川 英雄（廃止措置推進課）
6 月 7 日	中間試験	日野田 晋吾（計画管理室）
6 月 14 日	岡山県人形峠地域の花崗岩を対象とした 断層や割れ目を回避するための調査技術	竹末 勘人（計画管理室）
6 月 21 日	クリアランス（環境負荷低減とリサイクル）	美田 豊（廃止措置推進課）
6 月 28 日	分析・処理技術	澤山 謙吾（廃止措置推進課）
7 月 5 日	核原料物質鉍山の環境保全に向けた取り組み （人形峠鉍山、東郷鉍山）	小原 義之（株式会社ブルーアースセキュリティ）
7 月 12 日	国内の鉍害防止施策の推進について （自然浄化作用の可能性について）	小原 義之（株式会社ブルーアースセキュリティ）
7 月 19 日	環境放射能・放射線	迫田 晃弘（安全管理課）
7 月 26 日	（休講・期末レポート提出期限）	日野田 晋吾（計画管理室）
8 月 2 日	AI 機械学習手法 講義の最後にあたって	神崎 訓枝（安全管理課） 日野田 晋吾（計画管理室）
先進科学系 5 年		
実施日	講義内容	担当者（所属）
5 月 31 日	放射性廃棄物の処理・処分	酒瀬川 英雄（廃止措置推進課）

JAEA 技術サロンへの出展

2022 年 11 月 21 日に東京都で開催された第 7 回 JAEA 技術サロンにおいて、廃止措置推進課の澤山兼吾が、2023 年 2 月 10 日に名古屋市で開催された第 8 回 JAEA 技術サロンにおいて廃止措置推進課の山根いくみ及び西脇大貴が、いずれも「母材金属の損傷を抑えた除染方法」を発表するとともにポスターを展示した（図 6）。詳細情報は 38 ページ（5.5 その他）のリンクを参照されたい。

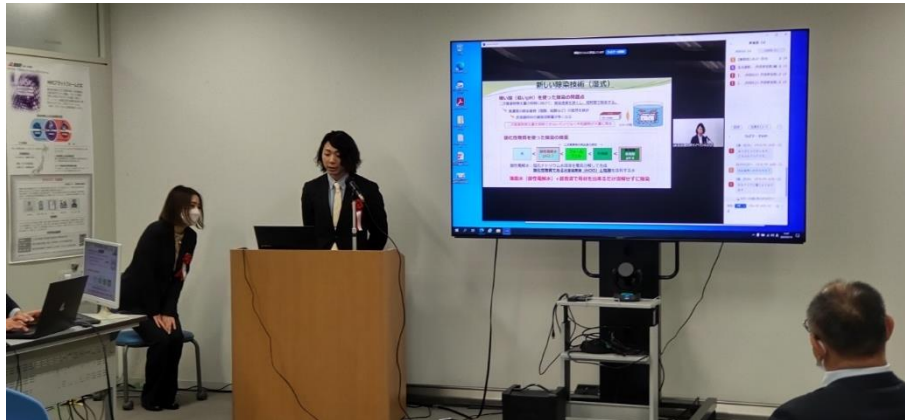


図 6 JAEA 技術サロンでの発表の様子

サテライトオフィスにおける活動

人形峠環境技術センターにおける事業の透明性確保、分かりやすい情報提供に加えて地域の方々との交流を促進するため鏡野町総合文化施設ペスタロッツ館内に設置している「サテライトオフィスふらっと」の運用を継続した。

2022 年度は、ペスタロッツ館全館の改修工事に伴い 4 ケ月間の休館を余儀なくされたものの来訪者は 1,000 名を超えた。新型コロナウイルス感染症への対策を取りつつ、企業相談、幼児から小学校低学年の児童を対象とした科学に触れ合う体験教室を実施した（図 7）。2023 年 10 月 23 日には初の試みとなる宇宙航空研究開発機構（JAXA）、日本宇宙フォーラム（JSF）及び鏡野町と連携した実験教室を開催した（図 8）。



図 7 サテライトオフィスでの体験教室の様子



図 8 JAXA、JSF 及び鏡野町と開催した実験教室の様子

