



JAEA-Review

2021-068

DOI:10.11484/jaea-review-2021-068

# 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

トピックス

Research and Development in the Fiscal Year 2020  
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 2022

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  
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, 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.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan

Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

## 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 —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

(2021 年 11 月 30 日受理)

本報告書は、2020 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、ウラン鉱山等の跡地の環境保全に関連した研究、安全に関する技術開発、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、環境研究の関連テーマとして、花崗岩の断層や割れ目の調査技術、放射性核種の環境挙動、数値計算の高速化について報告する。ウラン廃棄物工学研究として、レーザーによる塗装膜の分離、機能水と超音波洗浄による除染技術開発、ガンマ線によるウラン量評価について報告する。また、安全技術・設備開発として鉱山施設での自然災害に対する防災監視システムの構築、放射線影響評価研究としてラドン子孫核種の測定や線量計算、放射線の生体影響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 2020  
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 November 30, 2021)

This report outlines some main research and development activities executed by the Ningyo-toge Environmental Engineering Center in FY2020.

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 the radiation effect research in terms of health physics and radiobiology as well as safety development.

Regarding “Environmental research”, this report describes the research technique of faults and fractures for granite, the behavior of radionuclides in the environment, and the speed-up of numerical calculation. As for “Uranium waste engineering research”, the separation of the coating film by laser, the decontamination using acidic electrolyzed water and ultrasonic cleaning, and the gamma-ray-based assessment of uranium amount are reported. Further, the establishment of the monitoring system at mining facilities against natural disasters, the measurement and dosimetry of radon progeny, and the biological effects of radiation are reported. The achievements of those works have been widely presented through research papers etc.

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

目 次

1. 環境研究と環境保全	1
1.1 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の検討	3
1.2 露天採掘場跡地の風化花崗岩におけるラジウムの固定	6
1.3 領域分割法による Adjoint 法を用いた逆解析計算の高速化	8
1.4 カルシウム部分置換バライトを用いた放射性ストロンチウムの効果的な処理法の開発	10
2. ウラン廃棄物工学研究	13
2.1 レーザークリーニング装置による NR 鋼材表面塗装膜の分離に係る調査研究	15
2.2 機能水と超音波洗浄による除染技術開発	21
2.3 ウラン廃棄物に対するクリアランス測定技術開発	23
3. 安全技術・設備開発	25
3.1 人形峠環境技術センター鉱山施設の防災監視システム	27
4. 放射線影響評価研究	33
4.1 平衡等価ラドン濃度の簡便なスポット測定の方法論の開発	35
4.2 空気中または水中の皮膚表面に沈着したラドン子孫核種の線量計算	37
4.3 ラドンを代表としたアルファ核種の吸入による内部被ばくの横断的生体影響評価	39
4.4 iPS 細胞由来組織細胞における放射線依存的突然変異計測系の確立	41
5. 業績一覧	43
5.1 論文	45
5.2 招待講演	46
5.3 受賞	46
5.4 各種研究費	46
付録 1 組織図	48
付録 2 産学官民連携の取り組み	50

Contents

1. Environmental research	1
1.1 Development of investigation techniques to avoid fractures for granites in Ningyo-toge	3
1.2 Fixation of radium in weathered granite at the former open-pit mine area	6
1.3 High-speed inverse analysis using adjoint state method with domain decomposition	8
1.4 Effective removal of Sr from aqueous solution by using Ca-substituted barite	10
2. Uranium waste engineering research	13
2.1 Research about the separation of non-radioactive steel materials and coating film using the laser cleaning device	15
2.2 Development of liquid decontamination technique using acidic electrolyzed water and ultrasonic cleaning	21
2.3 Development of clearance measurement technology for uranium waste	23
3. Development of safety techniques and equipment	25
3.1 Disaster prevention monitoring system at mining facilities in Ningyo-toge environmental engineering center	27
4. Radiation research	33
4.1 Methodology for simple spot measurement of equilibrium equivalent radon concentration	35
4.2 Dosimetry of radon progeny deposited on skin in air and thermal water	37
4.3 Interdisciplinary evaluation of biological effect of internal exposure by inhaling alpha-ray emitting nuclides represented by radon	39
4.4 Establishment of measurement system for radiation-dependent mutation in organ tissue cells derived from human iPS cells	41
5. List of achievements	43
5.1 Papers	45
5.2 Invited presentations	46
5.3 Awards	46
5.4 Grants	46
Appendix 1 Organization chart	48
Appendix 2 Collaboration with industry, academia, government and private sectors	50

編集チーム

主 査：相馬 丞（人形峠環境技術センター 副所長、2021年3月まで）  
吉岡 龍司（人形峠環境技術センター 副所長、2021年4月以降）

担当者：浅井 祐哉（施設管理課）  
石田 毅（技術管理課）  
井上 準也（環境技術開発課）  
小川 潤平（処理技術開発課）  
川上 弘子（総務課）  
神崎 訓枝（安全管理課）  
高橋 信雄（設備処理課）  
竹末 勘人（環境研究課）

事務局：迫田 晃弘（安全管理課）  
酒瀬川 英雄（環境研究課）

※なお、本文に記載されている所属は2020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 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の検討

環境研究課 竹末勘人

### はじめに

ウラン廃棄物の処分技術の確立を目標にした環境研究ではウラン廃棄物の合理的かつ安全な処分を行うため、トレンチ処分の安全性評価に関する研究を行っており、本研究は地下水シナリオに着目している。

一般的に地下水シナリオは均質な地層（ここでは帯水層のこと、以下略）を対象としているが、断層や局所的に発達した割れ目（図 1）などを含む不均質な地層を対象とした場合、評価結果の信頼性の低下や調査費用の増加を招く。このため、断層や発達した割れ目の回避が鍵となる。

そこで本研究は人形峠地域の花崗岩を対象として、断層と発達した割れ目を回避するための調査技術を検討し、ボーリング調査による確認を行った。

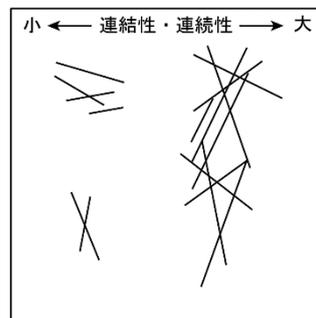


図 1 割れ目発達の概念図

### 調査技術の検討

図 2 に示したように、文献調査、地形判読、そして、地質調査の結果を踏まえ、断層を回避できるボーリング調査位置を決定した。

実際のボーリングコアの現場観察から、均質な地層の区分と分布を推定するとともに、原位置透水試験を実施して透水性を把握した。さらに、ボアホールカメラ観察により割れ目と岩脈及び鉱物脈の分布を解析して均質な地層を区分して、その分布を把握することとした。

### ボーリング調査結果とまとめ

図 3 にボーリング調査結果を整理した。人形峠センター敷地内（標高：約 735 m）から鉛直下方向きに約 105 m 掘削し、孔壁保護のためケーシングパイプを深度約 33 m まで設置し、それ以深でのボアホールカメラと原位置透水試験により、割れ目と岩脈及び鉱物脈の分布データと透水係数データを取得した。

ボーリングコアの現場観察により断層の回避を確認した。また、割れ目が少ないため均質と判断される地層は、深度 50 m から 80 m 付近に分布すると推定し、この均質な地層と、それ以外の地層の透水係数を把握するため原位置透水試験を実施した。

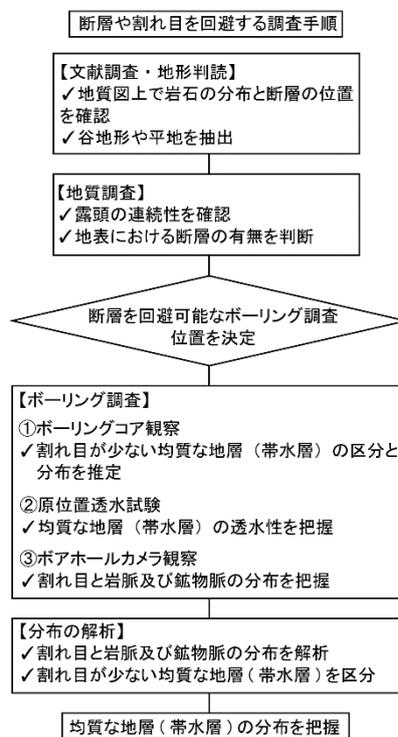


図 2 調査フロー図

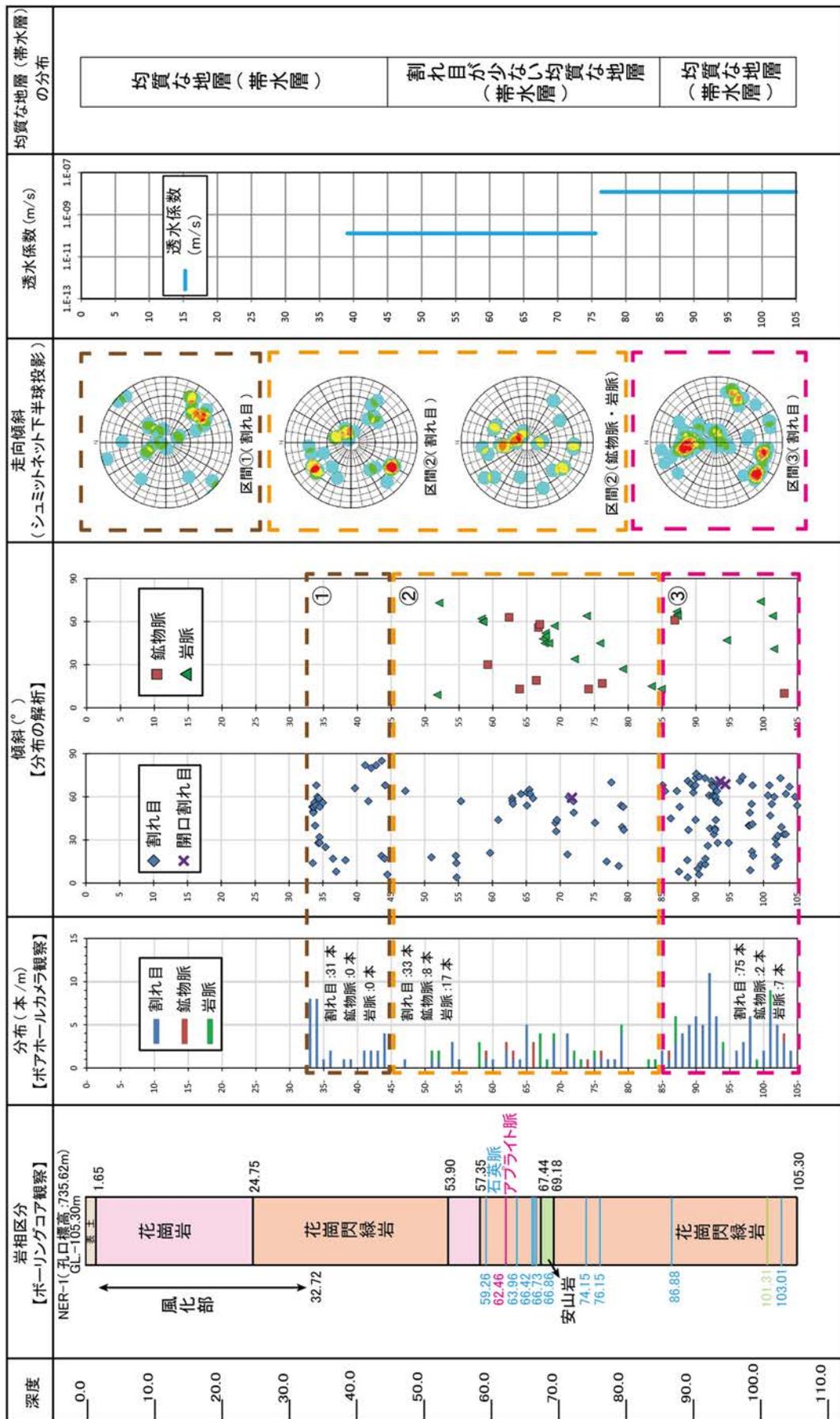


図3 ボーリング調査の結果

その結果、均質な地層に相当する上位試験区間（深度約 40 m から約 76 m まで）の透水係数は  $1.28 \times 10^{-10}$  m/s であり、難透水性であることを明らかとした。それ以外の地層の下位試験区間（深度約 76 m から約 105 m まで）の透水係数は  $1.20 \times 10^{-8}$  m/s であり、上位試験区間と比べて 2 桁大きいことを確認した。

続いて、割れ目の分布と透水性との関係を調べるため、ボアホールカメラ観察を実施し、割れ目と岩脈及び鉱物脈の分布を解析した。

その結果、均質な地層とそれ以外の地層の割れ目の分布に違いを認めたため、割れ目の交差による透水性の増大を仮定し、1 m あたりの割れ目の本数と走向傾斜から、図 3 のように深度方向の区間①～③に区分した。区間①では、区間長約 12 m に平均 2.6 本/m の割れ目を認め、北東走向で中角度傾斜の割れ目が発達することがわかった。区間②と区間③では、それぞれ区間長約 40 m に平均 0.8 本/m の割れ目と区間長約 20 m に平均 3.6 本/m の割れ目が認められ、北西走向及び北東走向で中角度傾斜～高角度傾斜の割れ目が発達することがわかった。

同様に、岩脈及び鉱物脈の分布について解析した結果、区間②では、中角度傾斜から高角度傾斜の安山岩岩脈と、低角度傾斜の石英脈及びアプライト脈が密集して分布することがわかった。この区間②は、低角度傾斜及び高角度傾斜の割れ目が安山岩岩脈と鉱物脈に充填されて、割れ目の連結性が失われ透水性が低下したことによって、割れ目が少ない均質な地層になったと考えられる。このように、岩脈及び鉱物脈が均質な地層の分布と透水性に影響を与えることを示して、割れ目が少ない均質な地層の区分を達成した。また、この割れ目が少ない均質な地層の分布は、岩脈及び鉱物脈の分布と関係していることも明らかとしつつある。

ボーリング調査により、本研究の調査技術により確かに断層を回避できることを確認し、安山岩、石英脈及びアプライト脈の分布と関係する均質な地層の分布を把握した。

## 今後の予定

以下の調査を実施し、トレンチ処分の安全性評価手法の確立に向けた課題を確認する。

- ・均質な地層の連続性を把握するため、割れ目及び鉱物脈等の広域的な特徴と分布を調べる。
- ・鉱物等により充填された割れ目の特徴や分布の透水性に対する影響を把握するため、花崗岩に発達した割れ目の鉱物組合せと化学組成を調べ、割れ目の発達～充填プロセスを明らかにする。

## 1.2 露天採掘場跡地の風化花崗岩におけるラジウムの固定

環境技術開発課 栗原雄一

東京大学 山口瑛子、桧垣正吾、高橋嘉夫

### 目的

人形峠環境技術センターは、ウラン鉱山である人形峠鉱山を有しており、1960年代から1980年代にかけて採鉱と製錬を含む鉱山活動を行ってきた。鉱山活動の終了に伴い、日本原子力研究開発機構（JAEA）は1987年から鉱山跡措置を行うための技術開発を開始し、現在は鉱山施設の跡措置、維持管理と廃水処理を行っている。センター内の抗水中のラジウム（ $^{226}\text{Ra}$ ）濃度が排水基準を超えていることから、センター内の環境におけるラジウムの挙動の把握は重要である。そこで、 $^{226}\text{Ra}$ 濃度が最も高い露天採掘場跡地内のコア試料について様々な分析を行い、跡地内のラジウムの挙動を把握し、坑水中の $^{226}\text{Ra}$ 濃度低減策を検討することを目的とする。

### 要約

センター内のラジウムの挙動を調べるために、センター内のボーリングコア試料中のラジウム及びウランについてゲルマニウム半導体検出器による分析を行ったところ、ボーリングコア試料の下部にある風化花崗岩層上部においてウランに対するラジウムの濃集が見られた。また、X線回折（XRD）分析や放射光分析の結果から、ラジウムの粘土鉱物への固定が示唆された。

### 進捗

試料には、採掘したウラン鉱石からウランをヒープリーチングで抽出し、中和処理した後の残渣（捨石）を埋め戻した露天採掘場跡地内のコア試料を用いた（堆積岩層及び風化花崗岩層の上に捨石層が存在する）。試料中の $^{226}\text{Ra}$ は、 $^{214}\text{Pb}$ からのガンマ線（351.9 keV）を分析線として定量した。一方、試料中の $^{238}\text{U}$ は、 $^{235}\text{U}$ からのガンマ線（185.7 keV）を分析線として $^{235}\text{U}$ を定量し（ $^{226}\text{Ra}$ からのガンマ線（186.2 keV）の寄与を差し引いた）、天然の $^{238}\text{U}$ と $^{235}\text{U}$ の存在割合から求めた。また、放射光マイクロビームを用いた分析（ $\mu\text{-XRF}$ 、 $\mu\text{-XRD}$ 及びXAFS法など）により、微量元素の濃集や元素の存在状態も調べた。

露天採掘場跡地内のコア試料中のラジウム及びウラン濃度は、ウラン鉱石を含む堆積岩層で最も高い値を示した。これに対し、 $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ 放射能比は、捨石層で最も高い値（約9）を示したが、その下に位置する堆積岩層では1より低い値（約0.8）を示し、さらにその下の風化花崗岩層上部で再び高い値（約5）を示した。捨石層で $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ 放射能比が高い原因は、ヒープリーチング処理によりウランが選択的に抽出されたためと考えられる。一方、風化花崗岩層上部で $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ 放射能比が高くなった原因としては、堆積岩層で $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ 放射能比が1より低い値を示したことから、堆積岩層中のラジウムが、その下の風化花崗岩層へ移行し固定されたためと考えた。このことを確認するために、ラジウムと挙動の近いバリウムを代替物質（元素）とし、風化花崗岩層上部の薄片に対して放射光 $\mu\text{-XRF}$ による元素マッピングを行い、濃集点でXRDを測定したところ、粘土鉱物の存在が確認された。この結果より、堆積岩層から移行した

ラジウムは、風化花崗岩層上部において、粘土鉱物に吸着する形で固定されていることが示唆された。

#### 今後の予定

露天採掘場跡地“外”のコア試料中についても同様の検討を行い、今回示唆された現象が、天然（自然界）においても起こっているかどうかについて検証する。

### 1.3 領域分割法による Adjoint 法を用いた逆解析計算の高速化

環境技術開発課 井上準也

島根大学 増本清

#### 目的

人形峠環境技術センターは、鉱山跡措置を進めるにあたり坑水の発生源対策を計画している。発生源対策を計画的に進めるにあたり地下水シミュレーションによる対策効果の評価・予測が重要となるが、その信頼性や妥当性は使用ユーザーのキャリブレーション作業（モデル設定）に左右される。そのため客観的なキャリブレーションが可能な逆解析が有効と考えられるが、逆解析における計算コストの増大が問題となる。そこで、逆解析において勾配計算効率の良い Adjoint 法に並列計算が可能となる領域分割法を適用することで高速な逆解析計算を可能とすることを目的とした。

#### 要約

高速な逆解析を実施するために、Adjoint 法に 2 種類の領域分割法（加法シュワルツ法と部分構造法）を適用し、OpenMP（Open MultiProcessing）による並列計算プログラムにより計算速度を比較した。比較結果から領域分割数が 4 以上の場合、Adjoint 法に部分構造法を適用したケースが最も高速であることが示された。なお、両手法とも OpenMP を使用したプログラムではコア数が 16 個以上では、台数効果が飽和することが示された。

#### 進捗

Adjoint 法による勾配計算では以下の連立一次方程式

$$Ax = b \quad (1)$$

を取り扱う。式 (1) に対して加法シュワルツ法と部分構造法の 2 種類の領域分割法を適用した。加法シュワルツ法（Additive Schwarz Domain Decomposition: ASDD）では分割した部分領域の一部がオーバーラップすることで、一方では解が求められる領域、他方では一方の境界条件となる。各部分領域の境界値問題を交互に解くことにより解を更新する手法である。対して部分構造法（Substructuring method）では解析領域に内部境界領域を設定することで各小領域に分割した後、内部境界上の値について解を求める。その後、内部境界を境界条件として各小領域の値について解を求める手法である。これらの手法の並列化には共有メモリ型の OpenMP 規格を使用した。並列計算の標準規格としては分散メモリ型の MPI（Message Passing Interface）も利用可能であるが、本実験では実装の手軽さから OpenMP を採用した。

実験では式 (1) の解法に前処理付き GPBiCG\_AR 法を使用し、これに対して加法シュワルツ法と部分構造法を適用して数値計算を実施した。計算には人形峠で実施している地下水シミュレーションモデル（未知数：90630、時間ステップ：192）を使用した。計算機は Solution Workstation（CPU コア：AMD EPYC 7742×2、メモリ 256 GB、OS：Cent OS 7.9.2009）を、コンパイラは GNU Fortran Compiler ver.4.8.5 を使用した。それぞれの計算時間を表 1 に、領域分割法による飽

和性能を図 1 に示す。表 1 より領域分割数が 2 の場合は加法シュワルツ法が短時間で終了したが、4 以上では部分構造法が短時間で終了した。図 1 より加法シュワルツ法、部分構造法ともに分割数が 16 以上から、極端に台数効果が低下することが示された。原因として OpenMP によるスレッド生成・解法に伴うオーバーヘッドやランダムなメモリアクセスが考えられる。

表 1 各領域分割法における領域分割数ごとの計算時間 (秒)

領域分割数	加法シュワルツ法	部分構造法
1	3984	3984
2	2829	2879
4	1674	1549
8	1033	975
16	750	620
32	879	599
64	924	602

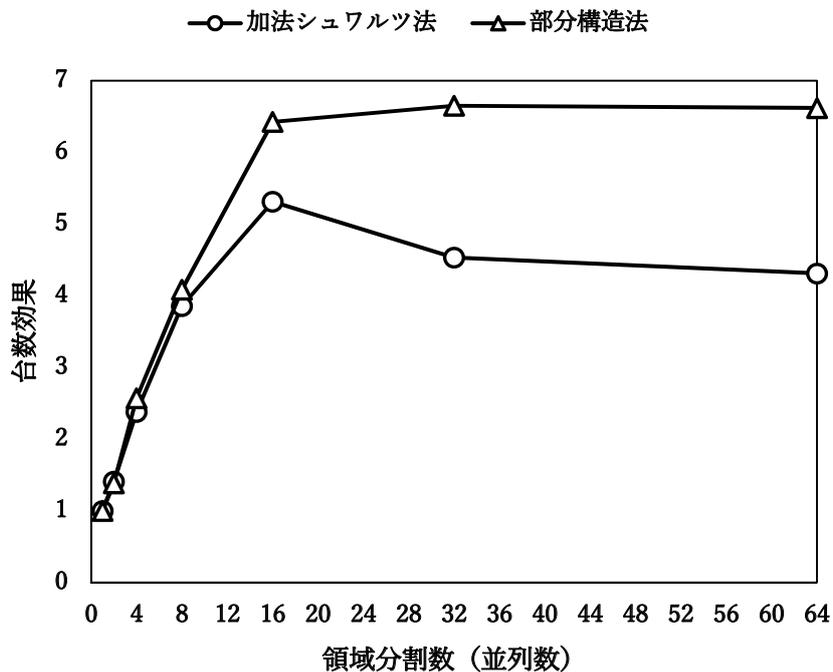


図 1 領域分割法の領域分割数に伴う飽和性能

### 今後の予定

メッセージの交換を明示的に記述可能な MPI による並列計算プログラムを実装し、同様の実験を行う。スレッド生成・解放に伴うオーバーヘッドやランダムなメモリアクセスが解消されることで、台数効果の飽和性能が改善されることが期待される。

## 1.4 カルシウム部分置換バライトを用いた放射性ストロンチウムの効果的な処理法の開発

環境技術開発課 徳永紘平

JAEA 先端基礎研究センター 界面反応場科学研究グループ 香西直文

東京大学 高橋嘉夫

### 要約

水圏における微量元素の挙動には、吸着/脱着、共沈/溶解、イオン交換などの水-鉱物界面での様々なプロセスが関与する。本研究では新たに、バライト構造の一部をカルシウム (Ca) などの不純物で置換させ、結晶構造に不安定性を与えたバライト試料 (Ca 部分置換のバライト (BaSO<sub>4</sub>) 試料) を利用した、放射性 Sr の新しい固定化法の開発を行った。バライトやアンハイドライト (CaSO<sub>4</sub>) などの通常の硫酸塩鉱物への Sr 吸着率は 1 %以下であり、硫酸塩鉱物へ吸着を用いた安定化は困難であるとの結果が先行研究より得られていたが、この不純物として Ca イオンを含んだ試料を用いることで固相に対する Sr の吸着率は大幅に上昇し、海底堆積物中における放射性 Sr 汚染に対して効果的に働くことが示唆された。

### 目的

福島第一原子力発電所の廃炉作業を速やかに進めると共に、廃炉作業が終了するまでの極めて深刻な課題である汚染水中の放射性核種問題を解決するためには、水への溶解性が高い多種の放射性核種を水相から除去する技術の確立が急務である。これらの核種に対する新規の除去法として、放射性廃棄物処理の分野でこれまで用いられてこなかったバライト (BaSO<sub>4</sub>) を用いた手法の確立を行ってきた。本研究では新たに、バライト構造の一部をカルシウム (Ca) などの不純物で置換させ、結晶構造に不安定性を与えたバライト試料 (Ca 部分置換のバライト試料) を利用した、放射性 Sr の新しい固定化法の開発を行った。福島湾の海水や海底堆積物において Sr による汚染は深刻な問題となっているが、Sr は海水中の他の元素 (Ca-Mg など) の影響を受けやすいため、鉱物や樹脂を用いた処理が難しく、有効な除去技術は未だ開発されていない。特に海底堆積物中において Sr は粘土鉱物などに安定性の低いイオン交換反応により吸着し、堆積物間隙を容易に移動するため問題となっている。これら海底堆積物中における放射性 Sr 汚染に対し、我々はこれまでバライトやアンハイドライト (CaSO<sub>4</sub>) などの硫酸塩鉱物への吸着を利用したその場環境での Sr の固定化の研究を行ってきたが、これら鉱物に対する Sr 吸着率は 10 %以下であり、硫酸塩鉱物へ吸着を用いた安定化は困難であるとの結果が得られていた (図 1)。

### 結果と考察

本研究で私たちは、不純物として Ca<sup>2+</sup>をバライトに置換させた試料による Sr の吸着を調べた。すると固相に対する Sr の吸着は大幅に上昇することが分かった (図 1)。この時、水溶液中の Sr 濃度の減少と Ca 濃度の上昇が同時に起こっていることから、合成した試料の Ca 成分の結晶構造中での不安定性により Sr の吸着反応が促進した可能性が考えられる。こうしたイオ

ン交換反応を明らかにしたのは本研究が初めてであり、詳細なメカニズムは分かっていない。そこで本研究では、Ca 部分置換バライトへの吸着過程における Sr の挙動を室内のシミュレーション実験より詳細に調べ、どのような結晶構造や元素の配位環境下でこれら試料への Sr の取り込み量が最大となるかの系統的な解析を行った。その結果、①共存イオンの競合効果を受けずに、海水条件においても Sr の高い分配率と低い溶出率を持つ試料を特定し、②海水条件で粘土鉱物から溶出した Sr の再固定化が可能であることが分かった。

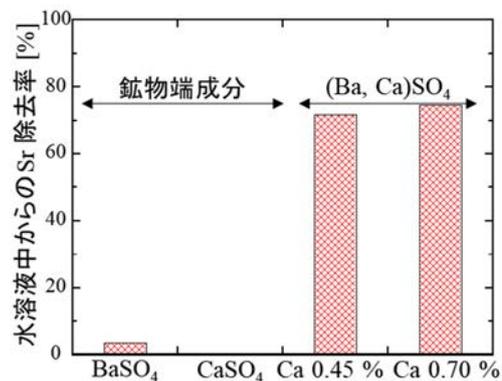


図1. 各鉱物相間のSr最大吸着量の比較

これらの結果から“Ca 部分置換バライト試料”などの不純物を含んだバライト試料を用いることで、溶液中で沈殿を生成させる共沈法とは異なり、従来の吸着装置の充填剤のように固相を用いることが可能になる。またこの吸着法では、元素は固相内部に置換され安定化されると推測されるため、従来の手法では処理が難しい福島の実地堆積物に含まれる放射性 Sr などのその場環境での安定化が可能になると期待される。

#### 今後の予定

本研究は 2018–2019 年度に JAEA の廃炉国際共同研究センターの 1F 廃炉研究推進費にて行った研究課題であり、現在国際的な評価の高い論文誌への投稿のための追加実験及び執筆を行っている。

This is a blank page.

## 2. ウラン廃棄物工学研究

This is a blank page.

## 2.1 レーザークリーニング装置による NR 鋼材表面塗装膜の分離に係る調査研究

設備処理課 山根いくみ、高橋信雄

処理技術開発課 小川潤平、西脇大貴、澤山兼吾、松本孝志、野村光生

九州大学 有馬立身

### 背景

人形峠環境技術センターの設備解体・撤去により発生する解体物の発生予想量は約 13 万トンで、そのうち汚染の履歴がない放射性廃棄物でない廃棄物（以下、NR: Nonradioactive Waste という）が約 80 %である。現在、NR として解体物を管理区域外に搬出するために念のための測定を行い、汚染がないこと確認している。搬出予定物のうち、汚染履歴を否定できない鋼材については汚染のおそれのある箇所の塗装の分離（以下、NR 処理という）をグラインダー等の回転工具を使用して行っている。分離の際には、粉塵の飛散防止のためグリーンハウス（以下 GH: Green House という）を設置し、粉塵の付着防止・吸入防止として作業員はタイベックスーツと全面マスクを着用している。夏季の塗装膜分離作業は、グラインダーの研磨熱や GH、重装備などの影響により、高温環境の作業となるため、作業員に相当な作業負荷がかかる。また、分離作業には、時間を要することや鋼材の形状に応じた工具の選定が必要であることなど、作業員の習熟度によって左右される点が挙げられる。また、平板以外の形状（以下、複雑形状という。具体的には、H 鋼や配管）の鋼材は工具の刃先が届かない箇所が発生し、研磨が難しいことや、粉塵対策の装備が二次廃棄物として発生するなどの様々な課題がある。

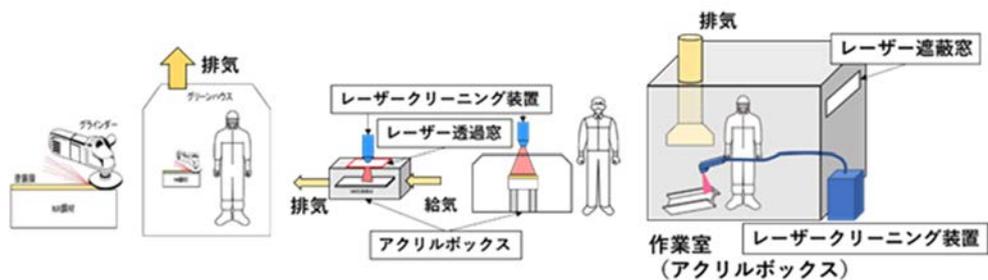
これらの課題の対策にレーザークリーニング装置の導入を考える。固定式レーザークリーニング装置を用いた場合、鋼材のみを覆うボックス（アクリルボックス等）に搬入し、レーザー透過窓を介してレーザー照射し分離することで、粉塵の発生をボックス内に抑えることが可能である。また粉塵は排気装置とフィルターで回収することができるため、図 1 のように従来法と比較して軽装備での作業が可能である。他方、ハンディ式レーザークリーニング装置を用いた場合、これまで分離に時間を要していた箇所も容易な分離が可能となり、複雑形状の鋼材でも分離作業時間の削減ができる等上述した課題の解決が見込まれる。

### 目的

NR 処理に係る作業コストの低減及び二次廃棄物の発生量低減並びに作業員の負荷低減を図るため、NR 処理を行う鋼材を模擬した試料（以下、NR 鋼材という）とレーザークリーニング装置を用いた NR 鋼材表面塗装膜の分離作業に関する性能及び実作業への適合性について調査研究を行う。

### 塗膜分離試験

JAEA で使用する鋼材の塗装は耐酸性の強化等のため、一般建築物の鋼材の塗装膜と比較して厚い。そこで NR 鋼材の塗膜分離作業に適したレーザーの作業条件を調査するため、塗膜分離試験を実施した。レーザークリーニング装置にはハンディ式及び固定式の二種がある。本調



	従来法	レーザー法（固定式）	レーザー法（ハンディ式）
粉塵の吸入	全面マスク	不要	全面マスク
粉塵の付着	タイベックスーツ ゴム手袋	綿手袋	綿手袋、タイベックスーツ
粉塵の拡散	GH	アクリルボックス	作業室
レーザー光	不要	保護メガネ	保護メガネ、 出入管理（作業室）

図1 安全対策に関する従来法と本研究のレーザークリーニング法との比較

査ではこの二種のレーザークリーニング装置で模擬鋼材（本センターにある鋼材（以下、実鋼材という）と可能な限り同条件で塗装し製作した試料）及び実鋼材の表面塗装膜のクリーニング試験を実施し、ハンディ式、固定式の分離性能に関する違いを評価した。表1に使用した装置の概要を示す。分離性能は目視による外観観察及びJAEA所有のデジタルマイクロスコープによる表面観察で評価した。

表1 塗装膜分離試験装置の概要

	出力	名称	メーカー	試験場所
ハンディ式	200 W	redENERGY G4 M Type	SPI Lasers	日本レーザー
固定式	200 W	redENERGY G4 M Type	SPI Lasers	日本レーザー
	100 W	YLP-V2-1-100	IPG PHOTNICS	ライテック

1) 模擬試料の作成

40年経過した実鋼材は比較的処理が容易な平板を試料とした。比較対象に新たに模擬鋼材（以下、TP：Test Piece という）を作成した。TPは実鋼材を模擬した平板の他、分離作業が困難な鋼材の一例としてH鋼を用いた。なお、実鋼材の塗料には現在の物質規制で塗料に使用できない成分が含まれていたため、相当品を用いた。塗装の厚みは100±20 μmと実鋼材と同様の厚みを持たせた。次に固定式及びハンディ式の試験結果に関して、照射後の様子と作業時の操作性をそれぞれ示す。

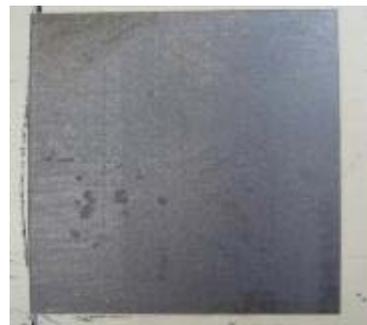
2) 固定式レーザーによる塗膜分離試験

① 平面部の塗膜分離

- ・照射結果：図 2 に固定式による平面部の塗膜分離状態を示す。80 mm×80 mm の範囲に対して 100 W では 193 秒、200 W では約 60 秒の照射時間で鋼材の母材が露出した。表面観察においても出力を問わず、塗膜が完全に分離されていることを確認した。また母材表面は平滑であり、塗装厚の誤差により一部薄くなった塗膜が残る等分離度の差はあるものの、塗装厚さが同じ箇所では分離性能は安定していた。
- ・操作性： 固定式では照射前に、照射範囲及びレーザー照射の間隔等のプログラムを設定する。そのため、最適なプログラムの設定が必要になるものの、照射範囲内では鋼材の操作も必要なく、ボタン入力一つで容易に作業を行うことができる。一方で照射可能範囲（約 100 mm×100 mm）を超える作業では照射の度に鋼材の操作を必要とする。



a) 200 W レーザーによる分離



b) 100 W レーザーによる分離

図 2 固定式レーザーによる平面部の塗膜分離状態

② H 型鋼材凹み角部（模擬鋼材）の塗膜分離

- ・照射結果：図 3 に 45 度方向時のフランジ、ウェブ及びその結合部（カーブ状の部分）の分離状態を示す。ウェブに対して直角方向からのレーザー照射では焦点深度や照射角度による損失により、分離度が低かった。ウェブに対して 45 度方向からの 100 W レーザー照射（照射範囲は約 80 mm×20 mm、照射時間は約 130 秒）では、カーブ状の部分にある塗装膜を分離できた。一方、ウェブ及びフランジ部分の塗装膜は焦点深度の損失により十分に分離できなかった。
- ・操作性： 装置のレーザー出力口は、下向きに固定している。そのため、カーブ状の部分にある塗装膜への照射は、H 鋼を傾けるための固定治具が別途必要であった。またレーザーの焦点距離（鋼材までの距離）を調整するのが困難である。

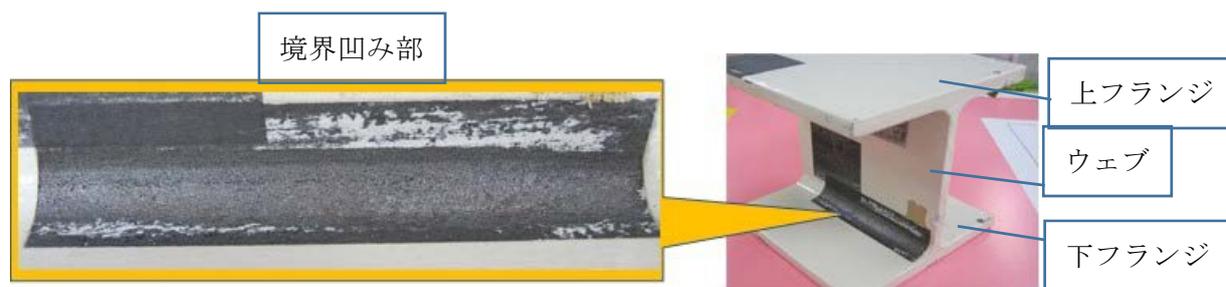


図3 固定式レーザーによるフランジとウェブの境界凹み部分の塗膜分離状態

### 3) ハンディ式レーザーによる塗膜分離試験

#### ① 平面部及びH型鋼材凹み角部（模擬鋼材）の塗膜分離

- ・照射条件：出力 200W、ライン幅 5mm（ライン幅説明図を図4に示す）
- ・照射結果：図5にハンディ式レーザーによる平面部の塗膜分離状態を、図6にハンディ式レーザーによるH鋼凹み角部の塗膜分離状態を示す。平面部では80mm×40mmの範囲を35秒程度の往復照射、凹み部分では80mm×10mmの範囲に10秒程度の往復照射により鋼材の母材部分が視認できた。なお、鋼材表面にはレーザー照射による損傷痕が視認された。
- ・操作性：効果的な塗膜分離には焦点距離を常に合わせる必要があり、装置の操作にある程度の習熟が必要であるものの、照射及び分離作業自体は容易に行うことができた。また分離が不十分な部分を重点的に照射する等の柔軟な対応が可能であった。ただし、照射時に保護メガネを着用するため、分離作業中に分離状態を視認することは困難であった。

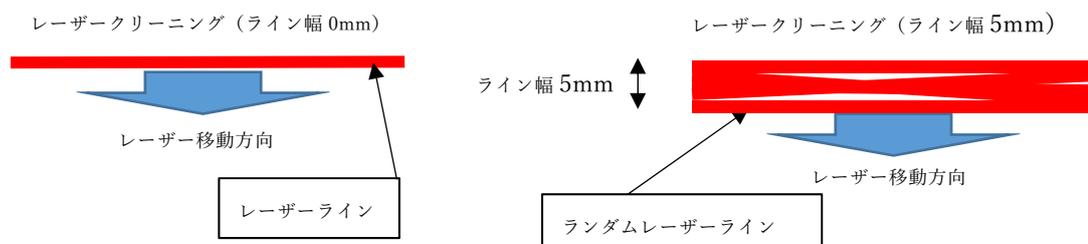


図4 ライン幅説明図



図5 ハンディ式レーザーによる平面部の塗膜分離状態



図6 ハンディ式レーザーによるH鋼凹み角部の塗膜分離状態

まとめ

NR 鋼材の塗膜分離作業における作業員の負担軽減のため、一般建築物の解体作業等で利用されるレーザークリーニング装置を用いて NR 鋼材の塗装膜分離作業への適応性に関する調査研究を行った。表2に固定式及びハンディ式レーザーにおける特徴を示す。

表2 固定式及びハンディ式レーザーの特徴

種類 条件	固定式	ハンディ式
対応可能形状	単純形状 (平板)	単純形状、複雑形状 (平板、H鋼の凹み部、円筒配管)
鋼材の発熱	無	無
安全対策	軽装備	重装備
操作	スイッチ操作、鋼材の移動 比較的安易に操作可能	スイッチ操作、焦点距離の調整 作業員の習熟が必要

本レーザークリーニング試験では、両者とも鋼材平面の厚さ  $100 \pm 20 \mu\text{m}$  の塗装膜を完全に分離していた。また照射後の母材表面に溶解を観察したが、直接手で触れても問題のない温度であった。また、単純形状の塗装膜分離では従来法と同程度の処理時間であったが、従来法と異なり鋼材の跳ね返りや工具による振動もなく安全且つ短時間で処理可能であることを確認した。さらに、固定式レーザークリーニング試験では発生した粉塵は付属の排気装置により回収されるため、粉塵対策による重装備が不要となり、軽装備での作業が可能となる。

上述のとおり、固定式及びハンディ式にはそれぞれ利点と欠点があり、実用化に向けては作業対象に応じた使い分けが効果的であると考えられる。

実用化に向けての課題

ハンディ式では様々な形状に柔軟に対応できるため、工具による分離が困難な複雑形状の鋼材に対しても塗装膜分離に適していると考えられる。ただし、レーザー照射時に焦点距離を合わせる必要があるため、作業員の習熟が必要である。また、今回試験に使用した装置のレーザ

ーヘッド部分は重く、軽量なヘッド部分の選定やパワーアシストによる作業員の支援等、本格運用に向けての検討や改良が必要である。さらに、安全性の確保のため、レーザー遮蔽窓のついた専用の区画を設ける等の対策を講じる必要がある。

一方、固定式ではレーザー照射時に鋼材を移動させる必要がある。そのため、本研究の結果を踏まえ最適な装置及び照射条件を整理し、回転等を含めた移動可能なステージに関する概念検討が必要である。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご多忙にも関わらず、株式会社天満理化研究所、株式会社ライテック、株式会社日本レーザーの担当者の皆様に快くご協力、ご指導いただきました。この場をお借りして感謝の意を表します。

## 2.2 機能水と超音波洗浄による除染技術開発

### (使用済み遠心分離機処理の実用システムに関する共同研究)

遠心分離機処理共同研究タスクチーム 酒瀬川英雄、横山薫、近藤伸次、澤山兼吾、西脇大貴  
 日本原燃株式会社 (JNFL) 泉亘、小林登、米川仁、上原典文、伴忠彦  
 東芝エネルギーシステムズ 矢板由美、村田栄一、赤山類  
 伊藤忠テクノソリューションズ (CTC) 池上泰史、小山純、入谷佳一

#### 目的

人形峠環境技術センターは JNFL と、ウラン濃縮原型プラント、実用規模カスケード試験装置、そして、JNFL 六ヶ所ウラン濃縮工場の金属胴遠心分離機を対象とした使用済み遠心分離機処理のための技術確立と体系化を目的とした「使用済み遠心分離機処理の実用システムに関する共同研究 (第二期)」を 2019 年度から実施している。この研究は解体技術、除染技術、廃液処理技術、そして、放射能測定技術の 4 つの領域に分けることができ、2020 年度は除染技術を中心に研究を進めてきた。この除染技術は 2018 年度までの共同研究成果に基づいており[1]、除染液として酸性機能水を使用し、超音波洗浄を組み合わせているところが特徴である。

#### 要約

使用済み遠心分離機内面の状態は運転条件、 $\text{IF}_7$  ガスによる系統除染処理状況[2]、そして、運転停止後の保管条件により影響を受ける。また、表面状態と合わせて、材料、形状についても考慮したうえで、酸性機能水を利用し、超音波洗浄を組み合わせた除染技術の適用範囲を明らかとする必要がある。

$\text{IF}_7$  ガスによる系統除染処理によりカスケード内に滞留していたウランの約 99 %が除去・回収されているものの約 1 %は残留している[2]。系統除染後の調査では、遠心分離機間のコンダクタンスのバランスにより、 $\text{IF}_7$  ガスが十分に供給されない遠心機が存在し、このような遠心機では、滞留していたウラン (中間フッ化物) がほとんど除去されていない。本研究はこの状態も考慮し、中間フッ化物の付着状態が異なる部位から供試材を採取した。

図 1 に除染による放射能の変化を示した。まず、 $\text{IF}_7$  処理により、ほとんどの中間フッ化物が除去された供試材は、約 2 分間の酸性機能水中での超音波洗浄によって目標レベル ( $0.04 \text{ Bq/cm}^2$ ) の除染を達成し、約 4 分間の洗浄によってさらに目標レベルよりも一桁低いレベル、検出限界 ( $0.003 \text{ Bq/cm}^2$ ) まで除染することができた。次に、中間フッ化物 ( $\text{UF}_4$  と考えられる暗緑色、部分的には鮮緑色の付着物) で表面が覆われている供試材は、約 20 分間の洗浄によって目標レベルまで除染できた。

図 2 は鮮緑色に見える中間フッ化物が洗浄を通じて除去されたことを示す代表的な写真である。

このように本除染技術は有望な結果を得つつあるが、使用済み遠心分離機処理の実用システムの一部として利用するためには、他の3つの領域である解体技術、廃液処理技術、そして、測定技術との整合やバランスを考慮した最適化の必要がある。

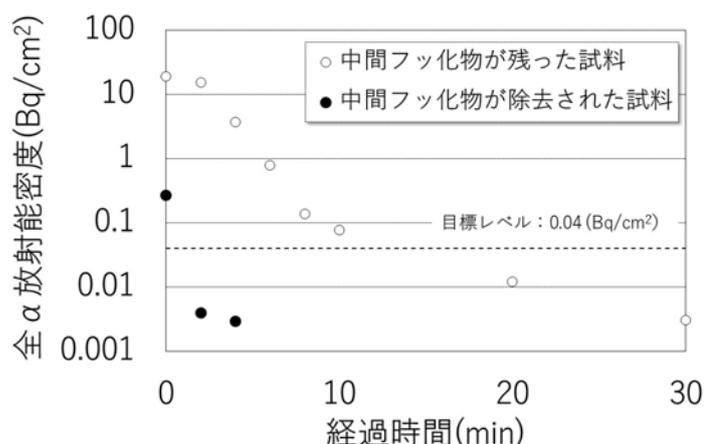
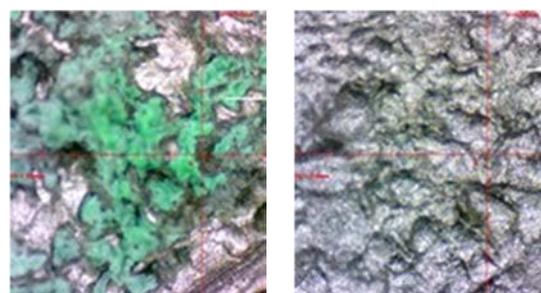


図 1 除染による放射能の変化

### 今後の予定

今後、材質の違いや運転停止後の保管状態の違いが与える影響にも注目した除染試験と合わせて、超音波解析ソフトウェア ComWAVE™ [3]を利用した超音波洗浄効果のシミュレーションや解析についても高度化していく。これまでの研究で、除染効果は音圧と密接な関係を持つことを確かめているが、さらに研究を進め、音圧や超音波の周波数とキャビテーションとの関係に注目した解析も行う予定である。現在の基礎試験ではケーシングや回転胴から採取した単純形状の試験片を除染対象としているが、



(a) 洗浄前 (b) 洗浄後

図 2 代表的な表面変化の写真

実用化段階では複雑形状を含んだ大型の部品が対象となる。この実規模段階における本除染技術の適合性確認のため、シミュレーションや解析は有効なツールとなることが期待できる。

### 参考文献

- [1] T. Nakayama, M. Nomura, Y. Mita, H. Yonekawa, M. Bundai, Y. Yaita, E. Murata, K. Hosaka, N. Sugitsue. Study on decontamination of steel surface contaminated with uranium hexafluoride by acidic electrolytic water. Proceedings of 2019 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP 2019) (2019).
- [2] 江間晃, 門一実, 鈴木和彦. IF<sub>7</sub>処理技術の除染性能評価と IF<sub>7</sub>製造手法の実証. 日本原子力学会和文論文誌 10 (3), 194-204 (2011).
- [3] engineering-eye, Cam WAVE, <https://www.engineering-eye.com/ComWAVE/> (accessed: 2021 年 11 月 30 日).

## 2.3 ウラン廃棄物に対するクリアランス測定技術開発

技術管理課 大橋裕介、横山薫

人形峠原子力産業株式会社 藤木直樹、山本知久、新免泰陽

### 目的

非破壊測定により、クリアランス測定技術、廃棄体測定技術を確立し、ウラン廃棄物の処理処分技術に反映する。本資料は今年度実施したクリアランス測定技術の結果について報告する。

### 要約

ウラン廃棄物のクリアランス測定をする際、複雑形状物については内部の汚染状況をアルファ線計測・評価することが困難であるため、これまでに行われたウラン廃棄物のクリアランスは、円筒状の単純形状の金属のみである。その一方で、わが国のウラン加工事業者で発生する金属解体物のうち、約60%以上はアルファ線計測が困難な複雑形状をしており、これらもクリアランスができるようになれば、廃棄物量の低減や資源の有効利用が可能となると同時に、大きな経済的効果も期待できる。アルファ線計測が困難な形状でもガンマ線であれば透過力が強いので測定できる。ウランの場合はガンマ線放出率が低いため、解体物をドラム缶に入れて、測定対象の物量を増やした状態で、高効率ガンマ線検出器を用いて測定する装置を開発し、ウラン量定量の精度を評価した。

### 進捗

ドラム缶に収納したウラン廃棄物を測定する場合、ウランの位置がドラム缶の中心にある場合と外周にある場合では、ドラム缶に収納された廃棄物による遮へいの強さが変わるため、同じウラン量でも、ガンマ線のカウントが大きく異なるという問題がある。過去(~令和元年度)、人形峠技術開発センターではドラム缶中のウランの偏在を補正する解析手法として、エネルギーの異なる2本のガンマ線を使って補正する等価モデル法を開発してきた。等価モデル法では、U-238の子孫核種であるPa-234mから放出される1001 keVと766 keVの2本のガンマ線の計数率比からU-238の遮蔽効果を補正し、U-238の定量を行う。なお、U-238量を定量する場合、定量誤差は2本のガンマ線のうち計数率が低いガンマ線に依存することから、計数率が低い766 keVに代わり、1001 keVのガンマ線とその散乱ガンマ線の2本を等価モデル法に適用すること



図1 クリアランス測定装置

で定量誤差を低減出来た。「資源エネルギー庁事業」で作製した、高効率のガンマ線検出器を備え、等価モデル法を適用したクリアランス測定装置を図1に示す。

等価モデル法の適用を評価するため、クリアランス測定装置を用いて、次の試験を実施している。

- ・検量線の設定試験

等価モデル法を実証することを目的として、ウラン量既知の標準ウラン線源を均一に配置した基準ドラム缶を用いて、等価モデル法による検量線の直線性が得られることを確認した[1]。

- ・ウランが偏在する廃棄物への適用性確認試験

実廃棄物を想定して、標準ウラン線源を不均一に偏在配置した基準ドラム缶を用いて、ウラン線源均一配置で設定した検量線によりウラン量を評価して誤差が小さくなることを確認し、クリアランス検認法としての適用性を確認した[1]。

- ・実廃棄物模擬試験

実廃棄物の収納状態を模擬して、施設の解体作業で発生する代表的な形状の廃棄物をドラム缶に均一に収納し、等価モデル法による検量線の直線性が得られることを確認した。更に標準ウラン線源を不均一に偏在配置した模擬廃棄物ドラム缶を用いて、設定した検量線によりウラン量を評価して誤差が小さくなることを確認し、クリアランス検認法としての適用性を確認した[2]。

施設の廃止措置で発生する廃棄物としては、各事業者でのクリアランス対象物の保管状態、将来的な除染処理後の状態等を調査し、クリアランス対象物の物量が多い山形鋼、チャンネル、角管、配管、H鋼の鋼材と遠心機部品を対象にした。

## 今後の予定

周辺環境等からの妨害ガンマ線の影響が大きい場合の測定方法について検討する。これらの検討を進めながら、評価手法の基本的手順について標準化（日本原子力学会）に向けた作業を継続して実施する。

## 参考文献

- [1] K. Yokoyama, Y. Ohashi. Development of clearance verification equipment for uranium-bearing waste. Applied Radiation and Isotopes 145, 19–23 (2019).
- [2] K. Yokoyama, Y. Ohashi. Clearance measurement for general steel waste. Annals of Nuclear Energy 141, 107299 (2020).

### 3. 安全技術・設備開発

This is a blank page.

### 3.1 人形峠環境技術センター鉱山施設の防災監視システム

環境技術開発課 福嶋繁、長安孝明、河野亮太

人形峠原子力産業株式会社 村下達也、牧野将志

#### 目的

人形峠防災システムで取得しているデータ及び公共の気象データや県や町の防災情報を活用して、鉱山施設の自然災害を未然防止もしくは、災害を最小限に留めるための防災監視システムの構築を目的・目標とする。

#### 要約

近年、人形峠周辺では日 300 mm を超える大雨が発生し、人形峠環境技術センター（以下、センターという）含む周辺地域において土砂災害が頻繁に発生している。センター敷地内においても、濃縮工学施設西側法面、見学坑道法面、製錬転換施設駐車場法面において地すべりが発生したことから、2018 年、2019 年にセンター周辺の河川や溪流について土石流発生の可能性及び発生した際の土砂や流木量を予測調査した。岡山県では、土砂災害防止法に基づく調査を実施して、その結果は 2020 年 2 月岡山県・鏡野町の住民説明後、岡山県のホームページで公開されている（図 1 左側は、センターで自主的に調査した土砂災害（土石流）の結果であり、「おこやま全県統合型 GIS」 [1]で示される範囲とは若干異なる。）。

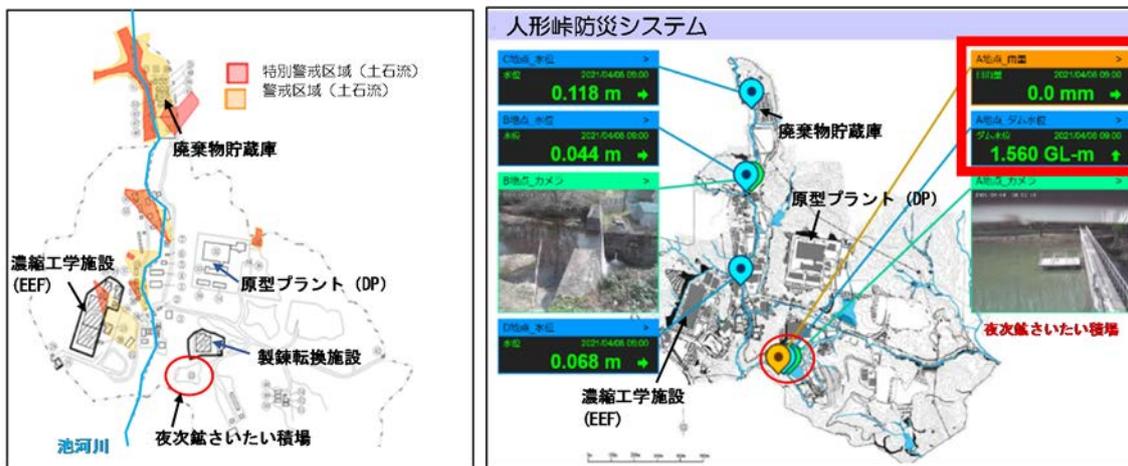


図 1 センター敷地内の土砂災害リスクと人形峠防災システム（令和 3 年 3 月現在）

センターではこのハザード情報を考慮して、池河川の本流及び支流の流況と夜次鉱さいたい積場を監視する人形峠防災システムを構築し運用している（図 1 右側）。現状の監視項目は河川流況（カメラ映像や河川水位）、雨量、夜次鉱さいたい積場の貯水位、震度、コンクリートかん止堤（かん止堤とは、鉱さいたい積場の集積物の崩壊または流出を防止するために構築した堤状の構築物をいう）のカメラ映像であるが、震度情報についてのみ人形峠防災システムには表示できない状態となっている。予定では、これらの情報を活用した「鉱山施設の防災監視シ

テム」の構築を目標としているが、今回は、鉱山施設の防災監視システムの一例として、夜次鉱さいたい積場の安全な維持管理を行うための坑水処理運転計画の作成に活用している鉱さいたい積場の貯水位（以下、ダム水位という）変動を予測する Excel®の紹介とその課題及び今後の取組みについて報告する。

## 進捗

人形峠防災システムを活用する以前は、ダム水位変動は警報設定している水位（かん止堤の堤頂から-0.70 m）にならないと管理者へ連絡されないシステムで、ダム水位の上昇傾向などの現状把握ができないため、維持管理担当者は鉱さいたい積場コンクリートかん止堤まで行って、直接ダム水位を確認するようにしていた。今般構築した人形峠防災システムを活用することにより、センター外部からでもインターネット経由でシステムにアクセスすることで、現時点のダム水位、降雨量及び過去のデータ取得や経時変化のグラフを閲覧でき、いつでもどこでも詳細に状況を把握することができるようになった。

また、維持管理担当者は Excel®のマクロ VBA で作成したダム水位予測変動シートをもちいて、人形峠防災システムからダム水位と雨量記録データ（図 2）を自動取得し、かつ民間気象情報ホームページから鏡野町と三朝町の時間雨量の予報値を自動取得して、今後のダム水位の変動を予測演算してグラフ表示するようにした。

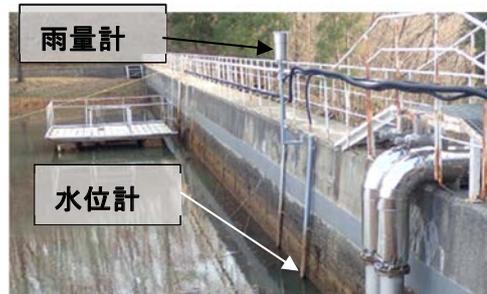


図 2 コンクリートかん止堤に設置している雨量計と水位計

### ①予測演算に用いる情報

- ・ダム水位：堤頂からダム水面までの距離を 0.01 m (1 cm) 単位で計測
- ・ダム水位－ダム貯水量換算データセット：2019 年 5 月に実施した鉱さいたい積場の測量結果から求めたダム水位と貯水量 (m<sup>3</sup>) の換算データセット。ダム水位⇔ダム貯水量。
- ・現地雨量：コンクリートかん止堤に設置した雨量計 (mm) 計測データ。0.5 mm 単位。
- ・予測に用いる時間雨量：(場所) 岡山県苫田郡鏡野町及び、鳥取県三朝町  
一般財団法人日本気象協会 予測時間雨量  
株式会社ウェザーニューズ 予測時間雨量
- ・鉱さいたい積場の集水面積：18,810 m<sup>2</sup>
- ・坑水処理量：1 系統処理の場合は 180 (m<sup>3</sup>/h)、2 系統処理は 360 (m<sup>3</sup>/h)。

### ②ダム水位予測演算の方法

$$\text{予測貯水量 (m}^3\text{)} = \text{現貯水量} + \text{予測時間雨量 (m)} \times \text{集水面積 (m}^2\text{)} + \text{その他流入量 (m}^3\text{/h)} \\ - \text{坑水処理量 (m}^3\text{/h)}$$

※その他流入量は、坑水処理を停止している時間帯のダム水位上昇と雨量による集水域から

の流入量の関係から求められる流量で、旧坑道水量（大排水溝、露天、見学坑道）と鉱さいたい積場周囲から流入する地下水量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）の合計と考えている。具体的な水量算出方法は、1時間単位のダム水位上昇の水量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）から、時間雨量による集水域流入量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）を差し引いた残水量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）を求め、10時間程度の平均や上昇もしくは下降傾向から、天気予報の時間雨量を考慮して、手入力する水量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）である（約20～50（ $\text{m}^3/\text{h}$ ））。

※現貯水量と予測ダム水位は、ダム水位－ダム貯水量換算データセットから求める。

### ③ダム水位予測演算例

図3にダム水位予測演算例を示す。

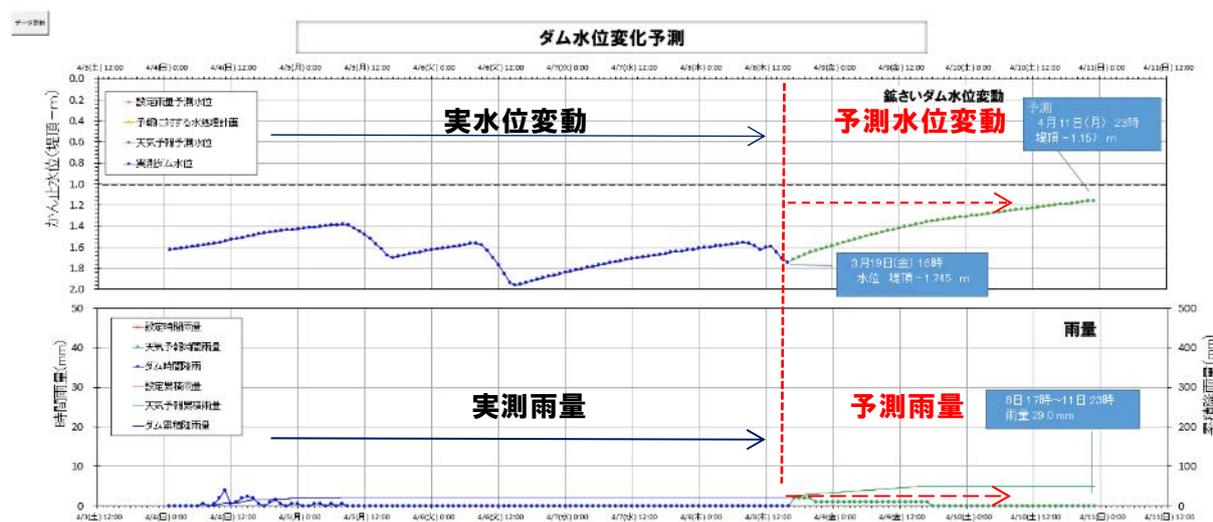


図3 予測演算 Excel®

ダム水位予測は②ダム水位予測演算の方法からもわかる通り、コンクリートかん止堤で観測している雨量計とダム水位計の2つの実測データと予測時間雨量を活用する単純なものである。また、予測者が「その他流入量」をどう設定（手入力）するかで予測精度が異なる。現状では、人形峠防災システムで得られる池河川の流況や鉱さいたい積場の映像、予測開始するまでの実測水位の水位上昇具合、そして今後の天気予報から技術者が導き出す数値「技術者の経験に基づく判断（エンジニアリングジャッジ）」に頼っている。

今後は、この技術者のエンジニアリングジャッジを予測演算コードにどう反映し予測精度を向上させるかが課題である。そこで、今年度実施したダム水位予測結果と実測の誤差について発生原因を検討し、技術者の感覚以外の改善すべき課題も含め今後の予定に示した。

### 今後の予定

ダム水位の予測演算 Excel®は、坑水処理運転計画の立案に役立つとともに、大きな予測誤差はダム水位の安全管理に影響する。特に、3日以上長期休暇が続く場合の処理計画や予測できなかった大雨発生時の緊急運転の計画立案時の予測誤差の影響は大きい。今後は、次に示す

誤差発生の原因について検討し、誤差を小さく出来るように取り組む。

## 予測誤差発生の原因と今後の取組み

### ①予測時間雨量（天気予報値）が関与する誤差

事前のダム水位予測と現状が大きく異なる最も大きな原因は、天気予報が大きく外れた場合である。大雨が予測されていて少雨になった場合は、維持管理上安全側であるが、予測もしていなかった大雨は、ダム水位上昇に直接寄与し、坑水処理計画を緊急変更することになる。

センターは、岡山県と鳥取県の県境にあることから、両県の天気予報値を取得して、時間単位で比較して大きい雨量を採用して予測するようにしているが、それでも峠の天気は不安定で予測値よりも多い降雨となる場合がある。この問題を解決するには、公共もしくは民間企業の気象予測の精度向上に期待するか、あるいは気象学に基づいて、天気予報値とセンターで観測している気圧や気温、湿度、風向、風速などのパラメータを組み合わせることでセンターの降雨の特徴を数値化することができれば、天気予報が寄与するダム水位誤差をより小さく出来、予測精度の向上が期待できる。

### ②その他流入量が関与する誤差

技術者の技量に頼っている「その他流入量」の手入力値（ $m^3/h$ ）は、旧坑道水量（大排水溝、露天、見学坑道）と鉦さいたい積場周囲から流入する地下水量（ $m^3/h$ ）の合計である。

図4に示す鉦さいたい積場の水収支より、旧坑道から鉦さいたい積場へは流入量の約半分を占めている。この鉦さいたい積場への坑水量は流量計で計測（実測）しているため、その数値を随時取得して、予測演算に取りこむことができれば、その他流入量の約半分は実測値に置き換えることができる。残る鉦さいたい積場流域に降る年間雨量と同等もしくは、それ以上の流入量である（図4参照）鉦さいたい積場周囲から流入する地下水量であるが、以下のような特徴がある。



図4 鉦さいたい積場の水収支

- ✓年間を通して一定量ではない。
- ✓多雨期に多く、少雨期に少ない。
- ✓融雪時期に多い（融雪時期の降雨時は特に多い）。
- ✓ダム水位が低い時に多く、水位が高くなると少なくなる傾向がある。

この特徴を見極め数値化するのが技術者の経験によるところであり、演算化が難しい部分である。しかし、この特徴を考察すると、鉱さいたい積場周囲から流入する地下水流入は、地表面から浸透して鉱さいたい積場に湧出するまでの時間が比較的短く、浅い深度の地下水であることが推察されることから、「飽和・不飽和浸透流解析コード」を駆使することで予測できる可能性がある。

この鉱さいたい積場への地下水流入問題は、将来の鉱さいたい積場の地山化に向けての対策工施工時の問題でもあることから、鉱山閉山措置事業と共通する課題として、この予測システムをより良いシステムに改善する取り組みの価値は高い。

#### 参考文献

- [1] おかやま全県統合型 GIS, <http://www.gis.pref.okayama.jp/pref-okayama/Portal> (accessed: 2021年11月30日).

This is a blank page.

#### 4. 放射線影響評価研究

This is a blank page.

#### 4.1 平衡等価ラドン濃度の簡便なスポット測定の方法論の開発

安全管理課 迫田晃弘、神崎訓枝、田中裕史

JAEA 高速増殖原型炉もんじゅ 石森有

##### はじめに

ラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) 被ばくはラドン子孫核種の吸入によって生じるため、より正確な線量評価には、ラドン濃度よりも子孫核種のポテンシャルエネルギーを考慮した平衡等価ラドン濃度 (EEC) が求められる。これまで EEC の測定には、評価目的を踏まえた様々な方法が開発されてきた。スポット測定の場合、ラドン子孫核種をフィルターに採取した後に、複数回のアルファ線グロスカウントまたはエネルギースペクトルを計測して、EEC を解析する。

人形峠環境技術センターでは、鉱山管理の一環で、多数の現場で定期的に EEC のスポット測定を行っている。本研究では、汎用的な資機材の組み合わせで比較的安価な測定器を作製し、単一のアルファ線グロスカウントから EEC が解析可能な方法論の開発を目的とした。

##### 方法

作製した EEC 測定器の基本構成は、ZnS (Ag) アルファ線サーベイメータ (SZS-206Z, 応用光研)、定流量ポンプ (MP-Σ500NII, 柴田科学)、及びフィルターホルダーであった (図 1)。

開発した方法論のコアは、「フィルターにアルファ核種 ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ) が存在する間は、サンプリング中も含めて計測し続ける」ことであった。まず、空気中のラドン子孫核種 ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ) を網羅的に仮定して、サンプリング中とその後にフィルター上に存在するそれら核種の個別放射能の時間変化を理論計算した (図 2)。さらに、放射線挙動計算コード (PHITS コード) で計算したアルファ線の検出効率から、個別放射能をグロスカウントに換算した。

本研究では我々の現場業務の状況を踏まえ、サンプリング時間と流量をそれぞれ 1 時間と 2 L/min に固定して、様々な計測時間における単一グロスカウントと EEC の関係を調べた。線形関係がみられた計測時間から最適条件を導き、検量線を導出した (図 3)。

##### 結果とまとめ

計測時間が 3 時間以上の場合、アルファ線グロスカウントに対する EEC のばらつきは比較的小さく、検量線としての利用可能性が見込まれた (図 3)。本研究の条件においては、検量線の誤差の程度も考慮して、最適な計測時間を 3 時間または 4 時間とした。

本研究で開発した方法論の有利な点は、空気中ラドン子孫核種の存在比を網羅的に考えており、仮定を設けずに検量線を求めたところである。先行研究[例えば、1]でも簡便な解析方法 (検量線) は考案されており、実際、本研究の計測時間よりも短時間で EEC 測定が可能な方法が多かった。しかし、実環境で想定される存在比を仮定していたため、想定外の環境へ適用した場合の結果の不確かさに対する懸念があったが、本研究で開発した方法論はこれを解決している。

また、本研究で導出した検量線の妥当性を検討するために、市販の EEC 測定器 (BWLM-PLUS-S, TRACERLAB) を標準測定器として、屋内外で比較試験を行った。その結果、我々の測定器

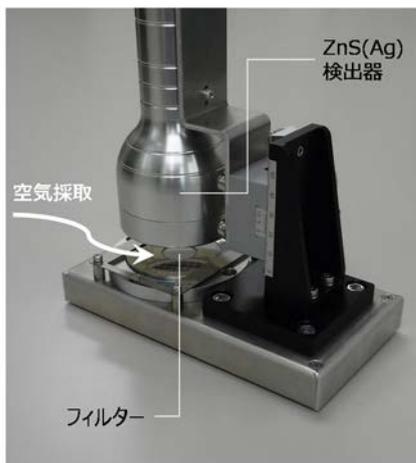


図 1 ZnS(Ag)検出器とサンプリングヘッド

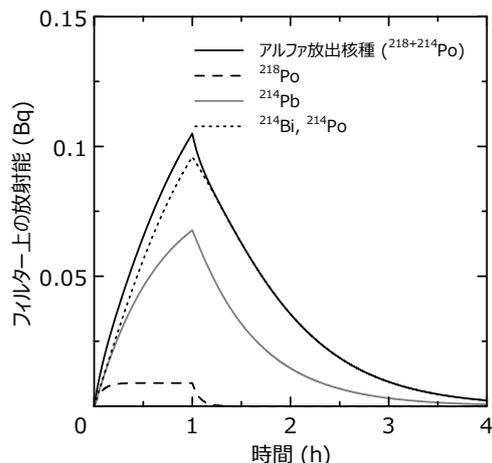


図 2 フィルター上のラドン子孫核種の放射能成長・壊変の理論計算（想定：各核種濃度 1 Bq/m<sup>3</sup>、採取流量 2 L/min、採取時間 1 時間）

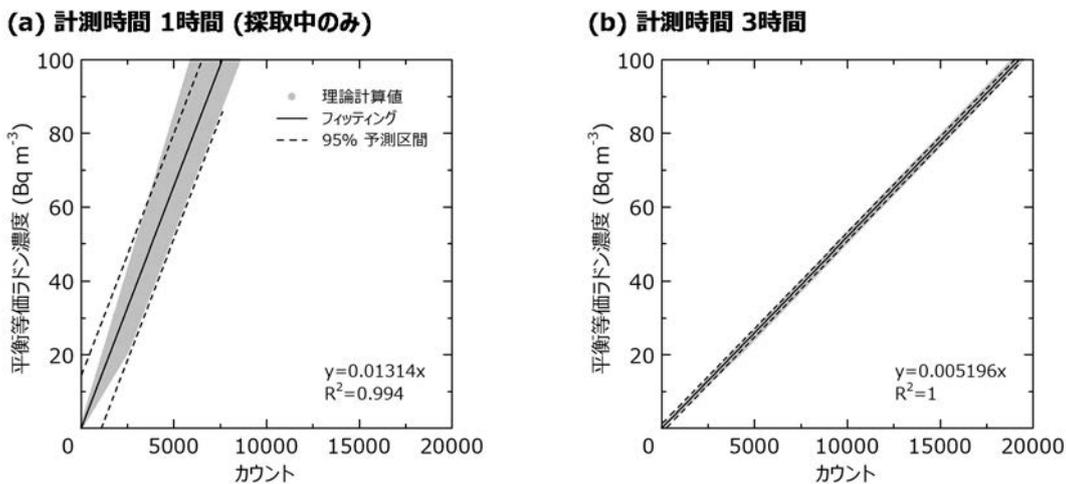


図 3 アルファ線グロスカウントと EEC の関係（採取流量 2 L/min の場合）

と標準測定器の結果はよく一致しており ( $y=1.038x, R^2=0.988$ )、妥当性が確認できた。

本方法は当初目的を果たしており、また、どのようなラドン子孫核種の存在比の環境下においても適度に小さな誤差で適用可能と考えられる。詳細を示した論文[2]では 0~100 Bq/m<sup>3</sup> の範囲での検量線を示したが、より広範な濃度条件で検量線を計算的に求めることもできる。今後、本方法が EEC 測定の新たな選択肢となることが期待される。

参考文献

[1] T.B. Borak. A method for prompt determination of working level using a single measurement of gross alpha activity. Radiation Protection Dosimetry 19, 97–102 (1987).  
 [2] A. Sakoda, Y. Ishimori, N. Kanzaki, H Tanaka. Methodology for simple spot measurement of equilibrium equivalent radon concentration. Radiation Protection Dosimetry 191, 383–390 (2020).

## 4.2 空気中または水中の皮膚表面に沈着したラドン子孫核種の線量計算

安全管理課 迫田晃弘、神崎訓枝、田中裕史

JAEA 高速増殖原型炉もんじゅ 石森有

岡山大学 片岡隆浩、光延文裕、山岡聖典

### はじめに

ラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) は環境中のどこにでも存在する放射性気体であり、肺がんのリスク因子として知られている。しかし、通常「ラドン被ばく」と言えば、ラドン自身ではなくその子孫核種の吸入に伴う肺の被ばくを意味する。一方、これ以外の被ばく経路として、ラドンの吸入・経口摂取（飲水）・皮膚吸収、ラドン子孫核種の皮膚沈着、空気中に存在する子孫核種による外部被ばくも検討されてきた。これら先行研究の多くは放射線防護の観点でなされてきたが、ラドンが経験的に温泉療法のひとつの要素としても見られてきたことから、ラドンの有益効果の観点でも、それら被ばく経路の評価がなされてきた[例えば、1]。

本研究では、皮膚に存在する免疫細胞（ランゲルハンス細胞）がラドン温泉療法の効果にとって重要な因子であるとの提案があったことから[2]、ラドン子孫核種の皮膚沈着に着目した。既存のヒト実験で得られた文献値に基づいて、被ばく評価に必要なパラメータである子孫核種の沈着速度を解析評価した後に、アルファ線由来の皮膚被ばくの線量係数を計算した。ここでは、あるシナリオの下で、皮膚や他の被ばく経路の線量比較について報告する。

### 線量比較

表 1 に、次の 2 種類のシナリオを想定して計算した、主な被ばく経路の実効線量をまとめた。

#### (1) 通常生活時の被ばくシナリオ（空気中）

- ・ 被ばく時間：1 時間
- ・ 平衡係数：0.4
- ・ 非付着成分比：0.08
- ・ 沈着速度：0.08  $\text{m h}^{-1}$ （非付着成分）
- ・ 8  $\text{m h}^{-1}$ （付着成分）
- ・ 反跳係数：0（アルファ、ベータ壊変）

#### (2) 入浴時の被ばくシナリオ（皮膚は水と接している）

- ・ 被ばく時間：20 分
- ・ 平衡係数：0.4（空気中）、1（水中）
- ・ 皮膚浸透係数： $2.1 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$ （水中）
- ・ 沈着速度：0.024  $\text{m h}^{-1}$ （水中）
- ・ 反跳係数：0（アルファ、ベータ壊変）

通常時は、ラドン子孫核種による寄与が最も大きいことがわかる。これに比べて皮膚沈着による線量は 1 桁ほど低いですが、実際には大部分の皮膚は常に衣類等で覆われていることから、表中の数値は過大評価と考えられる。一方、入浴時については、空気中または水中のラドン濃度が異なるので注意を要する。例えば、空気中濃度を  $1000 \text{ Bq m}^{-3}$ 、水中濃度を  $100 \text{ Bq L}^{-1}$  ( $= 100 \times 10^3 \text{ Bq m}^{-3}$ ) とすれば、ラドンの吸入は 32 nSv、皮膚浸透は 32 nSv、子孫核種の吸入は 1200

表 1 想定シナリオ下での実効線量の比較

シナリオ (被ばく時間)	空気または水中ラドン濃度あたりの実効線量 (nSv (Bq m <sup>-3</sup> , <sup>222</sup> Rn) <sup>-1</sup> )			
	ラドンによる被ばく		ラドン子孫核種による被ばく	
	吸入	皮膚浸透	吸入	皮膚沈着
通常時 (60 分)	9.7×10 <sup>-2</sup>	—	3.6	1.1×10 <sup>-1</sup>
入浴時 (20 分)	3.2×10 <sup>-2</sup>	3.2×10 <sup>-4</sup>	1.2	3.4×10 <sup>-3</sup>

nSv、皮膚沈着は 340 nSv と求まる。この場合、子孫核種の吸入が全体線量に最も寄与するが、空気中と水中ラドン濃度の条件次第では、寄与バランスが変わることがわかった。

### まとめ

本稿では、あるシナリオを想定に対応する線量係数を求め、被ばく経路間で比較した。ここ示した実効線量はリスク評価に指向した数値であるため、ラドン温泉療法の効果を評価するには吸収線量での比較が求められる。別途、ラドン子孫核種の皮膚沈着に伴う吸収線量係数も計算しており、詳細は論文[3]を参照いただきたい。

### 謝辞

本研究の開始当初、助言や支援をいただいた Jochen Tschiersch 博士(ドイツ Helmholtz Zentrum München) に感謝申し上げます。

### 参考文献

- [1] A. Sakoda, Y. Ishimori, J. Tschiersch. Evaluation of the intake of radon through skin from thermal water. *Journal of Radiation Research* 57, 336–342 (2016).
- [2] H. Tempfer, W. Hofmann, A. Schober, H. Lettner, A.L. Dinu. Deposition of radon progeny on skin surfaces and resulting radiation doses in radon therapy. *Radiation and Environmental Biophysics* 49, 249–259 (2010).
- [3] A. Sakoda, Y. Ishimori, N. Kanzaki, H. Tanaka, T. Kataoka, F. Mitsunobu, K. Yamaoka. Dosimetry of radon progeny deposited on skin in air and thermal water. *Journal of Radiation Research* 62, 634–644 (2021).

### 4.3 ラドンを代表としたアルファ核種の吸入による内部被ばくの横断的生体影響評価

安全管理課 神崎訓枝、迫田晃弘

岡山大学 片岡隆浩

#### 緒言

原子力損害賠償・廃炉等支援機構の6つの重要研究開発課題のひとつとして、「廃炉工程で発生する放射性飛散微粒子挙動の解明（アルファダスト対策を含む）」が挙げられており、廃炉作業者の健康を守るためには、アルファ核種の吸入による生物学的影響評価を進めていくことが重要である。そこで、平成30年度～令和2年度で、アルファ核種であるラドンを吸入したときの横断的生体影響評価を実施したので、本稿ではその成果の一部を報告する。

#### 方法と結果

マウスにラドン曝露を行い、脳と肝臓中のイオウ代謝物を網羅的に解析した。ラドン曝露実験では、マウスをバックグラウンドレベル（およそ20）、200、2000、20000 Bq/m<sup>3</sup>のラドン雰囲気、1、3、10日間飼育し、ラドン曝露後のマウスの臓器をサンプルに供した。その結果、グルタチオン（G-SH）やシステイン（Cys-SH）のようなチオール基（-SH）に余分なイオウが結合した活性イオウ分子種（G-S-SH や Cys-S-SH）が検出され、ラドン吸入により、その割合が増えることがわかった（図1）。また、肝臓については、イオウが2つ余分に結合したG-SS-SHの割合が、2000 Bq/m<sup>3</sup>以上で比較的吸入期間の短い場合に増加した。

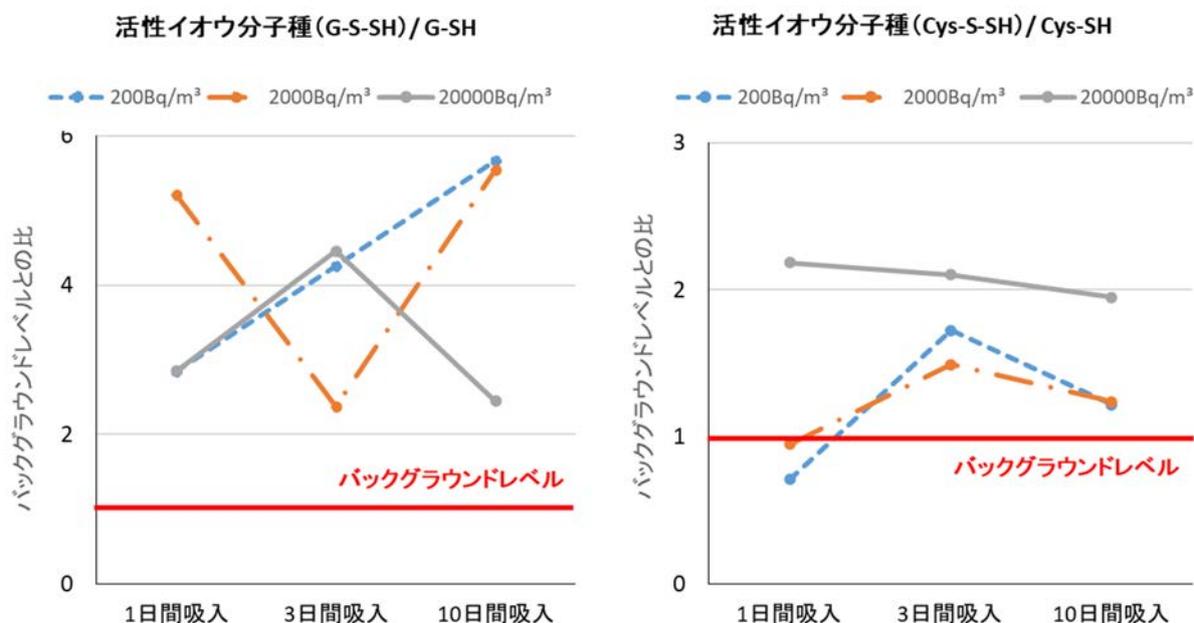


図1 ラドン吸入による脳中活性イオウ分子種の割合の変化

## まとめ

活性イオウ分子種は、チオール基よりも強く抗酸化作用に関与しているという報告がある。図1の結果等から、これらがラドン吸入による酸化ストレス緩和に関わっている可能性が示唆された。本研究のその他成果は、事業報告書及び論文を参照されたい[1-3]。本研究は今年度で終了するが、今後も引き続き関連研究を続け、ラドン吸入が生体に及ぼす影響を明らかにしていきたい。

## 謝辞

本研究は、JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（JPJA18B18072098）の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 廃炉国際共同研究センター，岡山大学．ラドンを代表としたアルファ核種の吸入による内部被ばくの横断的生体影響評価（委託研究），平成30年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業．JAEA-Review 2019-024 (2020)，61p.
- [2] 廃炉環境国際共同研究センター，岡山大学．ラドンを代表としたアルファ核種の吸入による内部被ばくの横断的生体影響（委託研究），令和元年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業．JAEA-Review 2020-029 (2020)，55p.
- [3] T. Kataoka, N. Kanzaki, A. Sakoda, H. Shuto, J. Yano, S. Naoe, H. Tanaka, K. Hanamoto, H. Terato, F. Mitsunobu, K. Yamaoka. Evaluation of the redox state in mouse organs following radon inhalation. *Journal of Radiation Research* 62, 206–2016 (2021).

#### 4.4 iPS 細胞由来組織細胞における放射線依存的突然変異計測系の確立

安全管理課 神崎訓枝

東京工業大学 島田幹男

量子科学技術研究開発機構 柳原啓見

#### 緒言

福島原発事故以来、放射線の生体影響に関する社会的関心は増加傾向にある。特に放射線による突然変異の発生と発がんの関係を研究することは、がん化リスクの評価と放射線防護の立場からも重要である。そこで、我々は、iPS 細胞から分化した組織細胞における放射線による突然変異を計測する実験を行った。具体的には、(1) iPS 細胞からの神経、皮膚、心筋及び血液細胞の作製、(2) 各種細胞における放射線照射後の突然変異の測定、(3) 突然変異した塩基配列の傾向を知る数理モデルの構築の 3 項目を計画し、平成 30 年度からの 3 か年で実施した。その概略を報告する。

#### 方法と結果

放射線に対する感受性の違う神経、皮膚、心筋、血液細胞を iPS 細胞から分化誘導し、放射線照射（紫外線、ガンマ線、中性子線）による突然変異を計測した（図 1）。突然変異は放射線により DNA に生じた傷が修復されずに残存することが原因と考えられるため、種々放射線の影響は、DNA ベクターに放射線を照射して損傷を生じさせた後、DNA ベクターを細胞に遺伝子導入することにより損傷を修復させた状態で評価した。本研究では、元来、紫外線の実験で汎用されているこの方法が放射線研究にも適用できるか検討し、成果や改善点をまとめた。さらに、視覚効果に優れた機械学習の一種である自己組織化マップを用いて特徴抽出を行い、感覚的に細胞の種類による突然変異の傾向をつかむことができた。例えば、トランジション (G:C→A:T、A:T→G:C) トランスバージョン (G:C→T:A、G:C→C:G、A:T→T:A、A:T→C:G)、挿入 (A、T、C、G)、欠失 (A、T、C、G) の 14 種類の突然変異を検討し、本研究で注目すべき 10 種類の突然変異のパターンを突き止めた。

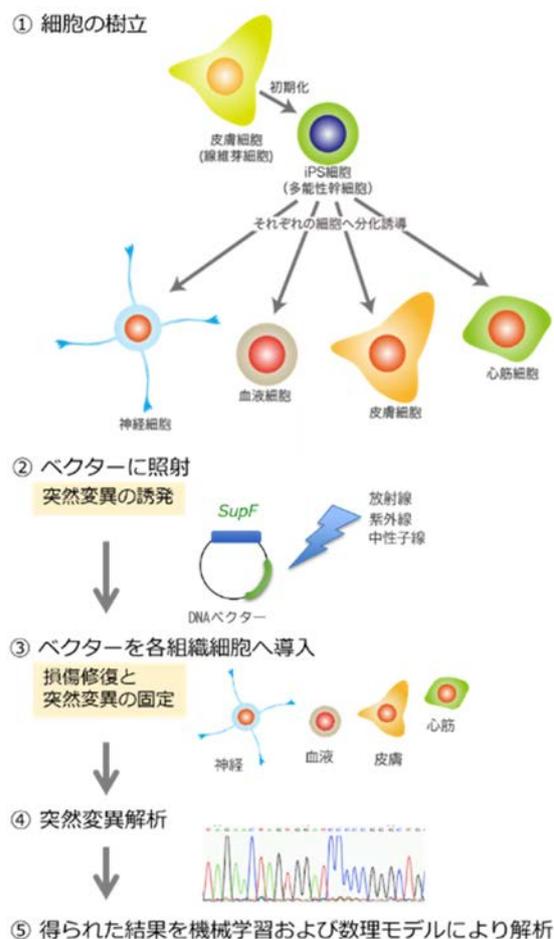


図 1 本研究の流れ

## まとめ

本研究で用いた各種組織細胞は、単一のヒト iPS 細胞から分化誘導した細胞であった。そのため、個体間の差を考慮する必要なしに純粋に組織における差を計測する実験系を確立できたことは本研究の特色と言える。遺伝子導入効率や細胞への負荷等の改善点が明らかになり、本実験系の確立に大きく貢献する知見が得られた。さらに、機械学習を用いたデータ解析で突然変異の特徴を分類し、各種細胞・放射線の特徴をまとめるのは新しい試みであったが、研究期間を通して、様々な手法の利点と欠点をまとめることができ、将来的に価値のある結果が出せた。本研究のその他成果は、事業報告書及び論文を参照されたい[1, 2]。

## 謝辞

本研究は、JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（JPJA18B 18071955）の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 廃炉国際共同研究センター，東京工業大学. iPS 細胞由来組織細胞における放射線依存的突然変異計測系の確立（委託研究）. 平成 30 年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業. JAEA-Review 2019-026 (2020), 51p.
- [2] 廃炉環境国際共同研究センター，東京工業大学. iPS 細胞由来組織細胞における放射線依存的突然変異計測系の確立（委託研究）. 令和元年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業. JAEA-Review 2020-061 (2020), 56p.

## 5. 業績一覧

This is a blank page.

## 5.1 論文

[査読あり]

1. T. Kataoka, N. Kanzaki, A. Sakoda, H. Shuto, J. Yano, S. Naoe, H. Tanaka, K. Hanamoto, H. Terato, F. Mitsunobu, K. Yamaoka, Evaluation of the redox state in mouse organs following radon inhalation, *Journal of Radiation Research* 62, 206–216 (2021).
2. H. Miura, T. Ishimaru, Y. Ito, Y. Kurihara, S. Otsuka, A. Sakaguchi, K. Misumi, D. Tsumune, A. Kubo, S. Higaki, J. Kanda, Y. Takahashi. First isolation and analysis of caesium-bearing microparticles from marine samples in the Pacific coastal area near Fukushima Prefecture. *Scientific Reports* 11, 5664 (2021).
3. K. Tokunaga, Y. Takahashi, K. Tanaka, N. Kozai. Effective removal of iodate by coprecipitation with barite: Behavior and mechanism. *Chemosphere* 266, 129104 (2021).
4. B.K. Kim, L. Tan, H. Sakasegawa, C.M. Parish, W. Zhong, H. Tanigawa, Y. Katoh. Effects of helium on irradiation response of reduced-activation ferritic-martensitic steels: Using nickel isotopes to simulate fusion neutron response, *Journal of Nuclear Materials* 545, 152634 (2021).
5. K. Yokoyama, Y. Ohashi, Clearance measurement for general steel waste. *Annals of Nuclear Energy* 141, 107299 (2020).
6. H. Miura, Y. Kurihara, M. Yamamoto, A. Sakaguchi, N. Yamaguchi, O. Sekizawa, K. Nitta, S. Higaki, D. Tsumune, T. Itai, Y. Takahashi. Characterization of two types of cesium-bearing microparticles emitted from the Fukushima accident via multiple synchrotron radiation analyses. *Scientific Reports* 10, 11421 (2020).
7. W. Naito, M. Uesaka, Y. Kuroda, T. Kono, A. Sakoda, H. Yoshida. Examples of practical activities related to public understanding of radiation risk following the Fukushima nuclear accident. *Radioprotection* 55, 297–307 (2020).
8. A. Sakoda, Y. Ishimori, N. Kanzaki, H. Tanaka. Methodology for simple spot measurement of equilibrium equivalent radon concentration. *Radiation Protection Dosimetry* 191, 383–390 (2020).
9. Y. Kobashi, T. Kataoka, N. Kanzaki, T. Ishida, A. Sakoda, H. Tanaka, Y. Ishimori, F. Mitsunobu, K. Yamaoka. Comparison of antioxidative effects between radon and thoron inhalation in mouse organs. *Radiation and Environmental Biophysics* 59, 473–482 (2020).

[査読なし]

1. 辻智之, 杉杖典岳, 佐藤史紀, 松島怜達, 片岡頌治, 岡田翔太, 佐々木紀樹, 井上準也. 最先端の研究開発 日本原子力研究開発機構 第6回 廃止措置と廃棄物の処理処分を目指して (1) 低レベル放射性廃棄物の処理処分とウラン鉱山閉山措置に関する技術開発. *日本原子力学会誌* 62, 658–663 (2020).
2. 吉田浩子, 黒田佑次郎, 河野恭彦, 内藤航, 迫田晃弘. 「福島第一原子力発電所事故後の Public Understanding (科学の公衆理解) の取り組みに関する専門研究会」のパネルセッションー活動成果報告及び関連分野からの専門家を交えた議論. *保健物理* 55, 257–263 (2020).

## 5.2 招待講演

1. 酒瀬川英雄. ウラン廃棄物工学研究 金属・コンクリート等の除染技術. 令和 2 年度国際原子力実践教育道場 第 2 回アジア大会 in おかやま (主催: 国際原子力人材育成大学連合ネットワークによる原子力教育基盤整備モデル事業), 岡山, 2020 年 12 月.
2. 栗原雄一. 人形峠環境技術センターにおける環境研究開発の概要. 令和 2 年度国際原子力実践教育道場 第 2 回アジア大会 in おかやま (主催: 国際原子力人材育成大学連合ネットワークによる原子力教育基盤整備モデル事業), 岡山, 2020 年 12 月.

## 5.3 受賞

[外部表彰]

1. 美作大学と人形峠の連携チーム MACAFI. 食品事業を革新するプラットフォームの構築. 企業賞, 岡山テックプラングランプリ 2020, 2020 年.

[機構内表彰]

1. 人形峠 遠心機処理・クリアランス対応グループ. 放射性廃棄物の低減を目指したクリアランス方法の確立と実践. 研究開発功績賞, 理事長表彰, 2020 年.

## 5.4 各種研究費

[外部資金]

1. 迫田晃弘 (代表者). 鉱物の内部性質に着目したラドン散逸現象の追究. 科学研究費助成事業, 科研費 基盤研究 (C), 2018-2020 年度.
2. 徳永紘平 (代表者). バライト共沈と固化体形成を組み合わせた陰イオン形核種の安定化処理法の開発, 科研費 若手研究, 2019-2021 年度.
3. 片岡隆浩 (受託者: 岡山大学), 迫田晃弘, 神崎訓枝 (連携先: JAEA). ラドンを代表としたアルファ核種の吸入による内部被ばくの横断的生体影響評価. 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業, 共通基盤型原子力研究プログラム, 日本原子力研究開発機構, 2018-2020 年度.
4. 島田幹男 (受託者: 東京工業大学), 神崎訓枝 (連携先: JAEA), 柳原啓見 (連携先: 量研機構). iPS 細胞由来組織細胞における放射線依存的突然変異計測系の確立. 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業, 共通基盤型原子力研究プログラム, 日本原子力研究開発機構, 2018-2020 年度.

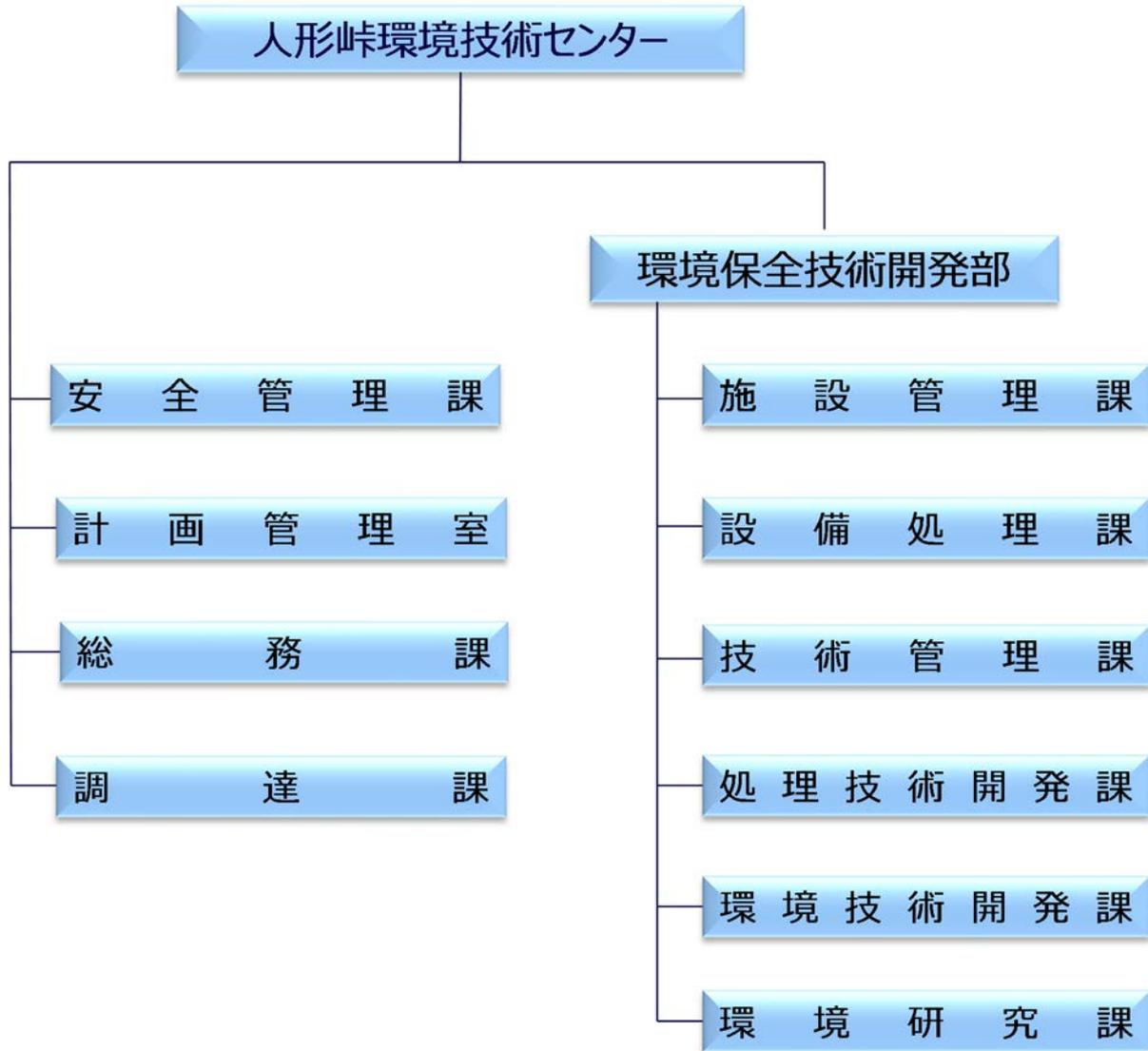
5. 迫田晃弘 (代表者), 福島原発事故で専門家の社会に向けた活動はどのように変わったか? — 関連学会のアウトリーチの事例分析. 「放射線災害・医科学研究拠点」共同利用・共同研究 (受入機関: 広島大学), 2020 年度.
6. 迫田晃弘 (代表者), 生活環境における天然放射性希ガスの時空間分布を支配する人間活動や環境因子の解析. 研究活動費助成事業, 公益財団法人ウエスコ学術振興財団, 2020 年度.

[機構内資金]

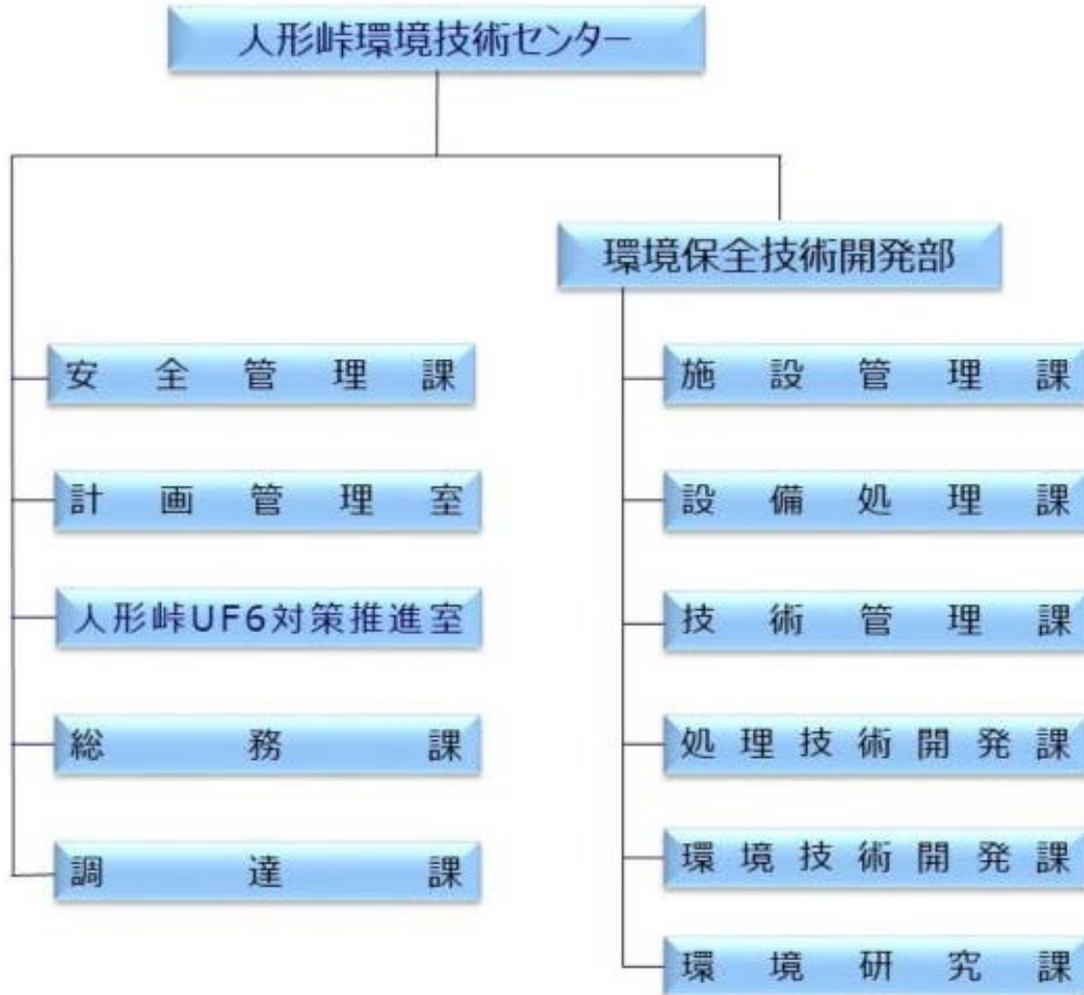
1. 井上準也 (代表者), 増本清 (連携先: 島根大学). 最適化手法を適用した地下水モデルの妥当性評価. 1F 廃炉研究開発推進費 基盤型廃炉研究開発プログラム B, 日本原子力研究開発機構 (事業計画統括部, 福島研究開発部門), 2020-2021 年度.
2. 徳永紘平 (代表者). 鉄・マンガン鉱物の結晶相遷移による人形峠土壌堆積物の元素固定化プロセスの検証. 萌芽研究開発制度, 日本原子力研究開発機構 (事業計画統括部), 2020-2021 年度.
3. 山根いくみ (代表者), 高橋信雄, 松本孝志, 小川潤平, 西脇大貴, 澤山兼吾, 有馬立身, 北野総作. レーザークリーニング装置による NR 鋼材表面塗装膜の分離に係る調査研究. 若手研究者・技術者育成ファンド, 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), 2020 年度.
4. 澤山兼吾 (代表者), 五十嵐覚 (連携先: 株式会社イガデン), 五十嵐武士 (連携先: 株式会社イガデン), 駒井武 (連携先: 東北大学). 多成分系廃液の一括電解処理技術の開発. 若手研究者・技術者育成ファンド, 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), 2020 年度.

付録1 組織図

(2020年4月1日～2020年8月31日)



(2020年9月1日～2021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

### 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）

食材の味と香りで第1次～3次までの地域食品事業の革新を目指す。本件は味覚センサー及び高感度ガス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）の実現を目指すものである。

具体的には、種苗から消費者の口に入る手前までの生産・加工・流通・小売といった食品事業全般の革新を図るため、それぞれのステージにおいて食材の香り測定及び得られたデータを活用した改良指導等を行うプラットフォームを美作大学内に構築する（図1）。この取り組みを通じて美作地域の食品産業全般を革新、業界全体の利益を拡大して地域の雇用拡大につなげていきたい。なお、「味」とともに「香り」に着目したのは、食材を食べた際に鼻に抜ける香り（フレーバーリリース）が味の多くを支配するためである。また、「味」と「香り」という分かり易さを切り口としており、生産者や加工事業者、そして消費者が分かり易いのが特徴である。

2020年度は、土壌の匂いと収量の関係についての考察、柚子の最適な収穫時期の検討及び販売方法の提案、保存方法の検証、生産方法の違いによる食材の調理前後の香り評価、地域商社販売品の香り比較等を実施した（図2）。

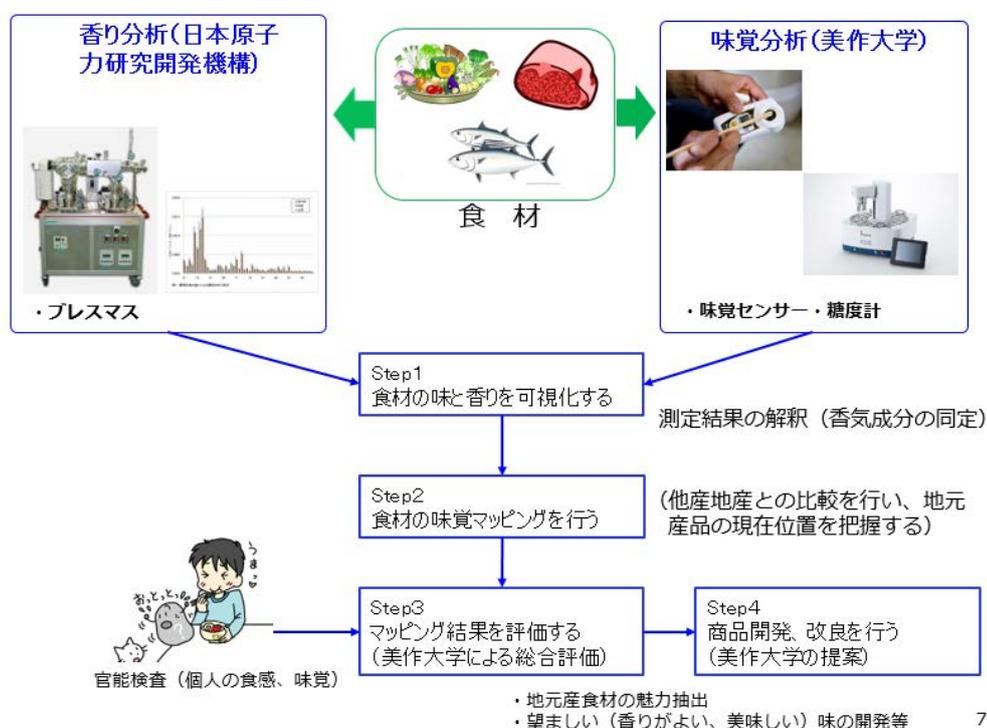


図1 美作大学との取り組み

目的：収穫初期、早期、中期、晩期 各3サンプルずつ採取し、最適収穫時期を把握

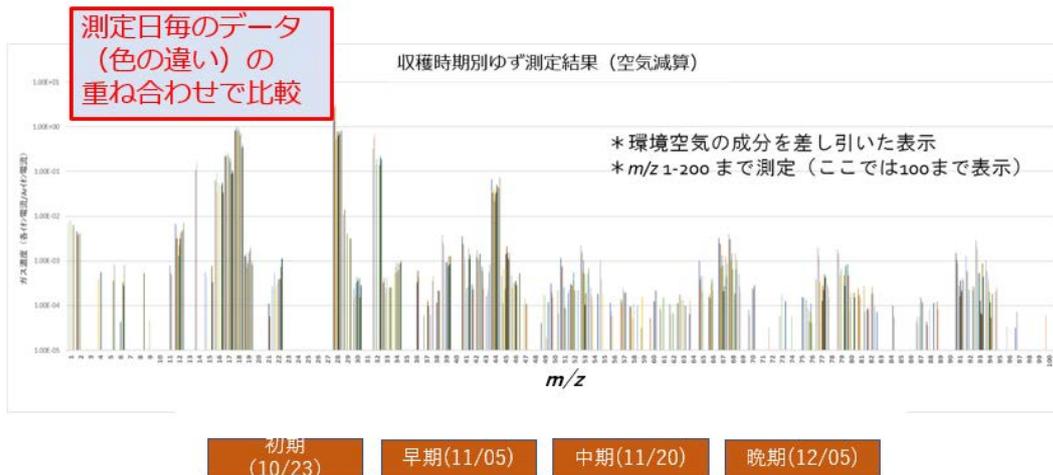


図2 収穫時期の比較データ (柚子の収穫時期の違いによる香り成分量の比較)

本取り組みについては、岡山市で開催されたビジネスプランコンテスト「岡山テックプラングランプリ 2020」において企業賞を受賞している (図3)。



図3 授賞式の様子

### 津山高専との連携

つやま産業支援センター、パナソニック株式会社コネクティッドソリューションズ社、人形峠環境技術センターが連携する津山工業高等専門学校 (津山高専) つやまイノベーションセンターにおいて、定期的な情報交換、活動報告等を行うとともに、連携した企業相談等を実施した (図4)。なお、毎年実施している岡山大学、津山高専と連携した3者シンポジウムについては、新型コロナウイルス感染症の感染防止の観点から開催を見送った。



図4 津山高専つやまイノベーションセンターを通じた連携

### サテライトオフィスの設置と活動

2016年12月に今後の事業計画案として「ウランと環境研究プラットフォーム」構想を公表し、その後「ウランと環境研究懇話会」での議論を踏まえ、今後の事業を展開するにあたって、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が重要との考えから、2020年6月16日、鏡野町総合文化施設ペスタロッツ館内に「サテライトオフィスふらっと」を開設した（図5）。

サテライトオフィスにおいては、JAEA が取り組むべき事業の周知、広報、人材育成及び産学連携活動を行っており、2020年度の来訪者は1,150名を超えている。なお、2020年度は新型コロナウイルス感染症の影響により、積極的な対外的な活動を一部自粛したが、Webを活用するなどして企業相談等を行っている。



図5 サテライトオフィスの室内状況



