

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 202-2 Radiation Physics,  
Radiation Detection and Measurement

📅 Wed. Sep 11, 2024 2:45 PM - 4:55 PM JST | Wed. Sep 11, 2024 5:45 AM - 7:55 AM UTC 🏠 Room  
A(Recture RoomsA 1FA101)

## **[1A06-13] Contamination Measurement Techniques**

Chair:Hideki Tomita(Nagoya Univ.)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[1A06]

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

(1)Development of Non-destructive Measurement Method for Fuel Debris

\*Shin Takasaki<sup>1</sup>, Takahiro Tanaka<sup>1</sup>, Keisuke Shimizu<sup>1</sup>, Toyonobu Nabemoto<sup>1</sup>, Wataru Kawamura<sup>1</sup>, Masanori Hatori<sup>1</sup>, Itaru Suzuki<sup>1</sup>, keisuke okumura<sup>2</sup>, yosuke toh<sup>2</sup>, taketeru nagatani<sup>2</sup>  
(1. Tousou Mirai Technology, 2. Japan Atomic Energy Agency)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[1A07]

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

(2) Development of active neutron method

\*Yosuke Toh<sup>1</sup>, Makoto Maeda<sup>1</sup>, Masao Komeda<sup>1</sup> (1. JAEA)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[1A08]

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

(3) Development of passive neutron technique

\*Natsumi Mitsuboshi<sup>1</sup>, Taketeru Nagatani<sup>1</sup>, Yoshihiro Kosuge<sup>2</sup>, Toyofumi Okada<sup>1</sup> (1. JAEA, 2. NESI)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[1A09]

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

(4) Development of Muon Scattering Method for Fuel Debris

\*naoto Kume<sup>1</sup>, yuki nakai<sup>1</sup>, kyohei noguchi<sup>1</sup>, takuro fujimaki<sup>1</sup>, masaki yoda<sup>1</sup>, shin takasaki<sup>2</sup>, takahiro tanaka<sup>2</sup>, toyonobu nabemoto<sup>2</sup> (1. TOSHIBA ENERGY SYSTEMS & SOLUTIONS CORPORATION, 2. Tousou Mirai Technology Co. Ltd.)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[1A10]

Study on the Estimation Method of the Contamination Distribution of a Shield Plug Bottom in TEPCO Fukushima Daiichi Power Plant Unit 2

\*Ikuo Kanno<sup>1</sup>, Keisuke Okumura<sup>1</sup>, Taichi Matsumura<sup>1</sup>, Eka Sapta Riyana<sup>1</sup>, Kenichi Terashima<sup>1</sup>, Masahiro Sakamoto<sup>1</sup> (1. Japan Atomic Energy Agency)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[1A11]

Verification test of Cooperative Operation Robot system for Radiation Source Exploration:  
CORRASE

\*Mitsuhiro Nogami<sup>1</sup>, Yoshiharu Kitayama<sup>2,1</sup>, Keitaro Hitomi<sup>1</sup>, Baduy Nguyen<sup>1</sup>, Yusuke Tamura<sup>1</sup>, Ryutaro Kawata<sup>3</sup>, Shin-ichiro Kaneko<sup>3</sup>, Eiji Takada<sup>3</sup>, Tatsuo Torii<sup>4,5</sup> (1. Tohoku Univ., 2. JAEA, 3. NIT Toyama College, 4. Fukushima Univ., 5. Univ. of Fukui)

---

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[1A12]

Development of Tungsten Pinhole Collimators for the Portable Gamma-ray Imaging Device  
GeGI5 and Quantitative Evaluation of Their Effects

\*Kiyokazu Tsugane<sup>1</sup>, Go Yoshida<sup>1</sup>, Hiroshi Matsumura<sup>1</sup>, Akihiro Toyoda<sup>1</sup>, Hajime Nakamura<sup>1</sup>, Kazuyoshi Masumoto<sup>1</sup>, Taichi Miura<sup>1</sup> (1. KEK)

---

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[1A13]

Development of a remote alpha/beta detection system and analysis method for alpha/beta  
classification

\*YUKI Morishita<sup>1</sup>, hiroko miyamura<sup>1</sup>, yuki sato<sup>1</sup>, jun matsubara<sup>2</sup>, yasue mitsukura<sup>2</sup> (1. JAEA, 2. Keio University)

---

4:45 PM - 4:55 PM JST | 7:45 AM - 7:55 AM UTC

Time reserved for Chair

---

## 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

### (1)燃料デブリ等の非破壊計測技術の開発

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

#### (1)Development of Non-destructive Measurement Method for Fuel Debris

\*高崎 新<sup>1</sup>, 田中 貴大<sup>1</sup>, 鍋本 豊伸<sup>1</sup>, 川村 亘<sup>1</sup>, 羽鳥 正訓<sup>1</sup>, 鈴木 格<sup>1</sup>,  
奥村啓介<sup>2</sup>, 藤 暢輔<sup>2</sup>, 長谷竹晃<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東双みらいテクノロジー株式会社, <sup>2</sup>JAEA

燃料デブリ中に含まれる核燃料物質の量を非破壊で計測推定できる技術が確立されていない。この技術は、その精度次第では計測対象の性状把握や燃料デブリの仕分けに利用できる可能性がある。

本報告では、燃料デブリの非破壊計測技術の開発に関する検討状況や試験の概要等を紹介する。

**キーワード:** 福島第一原子力発電所, 燃料デブリ, 非破壊計測, アクティブ中性子法, パッシブ中性子法, ミュオン散乱法, X線CT法, パッシブガンマ線法

#### 1. 緒言

福島第一原子力発電所の廃止措置においては、事故により発生した燃料デブリ（核燃料溶融物）を取り出し、安全に収納／保管することが検討されている。原子炉格納容器内部から取り出される物質には、同燃料デブリだけでなく、核燃料溶融物が付着しているグレーチングや支柱のような構造材溶融物も含まれている。現状では燃料デブリや他溶融物中に含まれる核燃料物質の量を非破壊で計測推定できる技術が確立されておらず、この技術は、その推定精度次第では計測対象の性状把握や燃料デブリとの仕分け（区別）に利用できる可能性がある。そこで、5つの非破壊計測技術（アクティブ中性子法、パッシブ中性子法、ミュオン散乱法、X線CT法、パッシブガンマ線法）について、シミュレーション解析や要素試験、推定アルゴリズムの導出を実施し、燃料デブリ他への適用性を評価している。

#### 2. 燃料デブリ等の非破壊計測技術の開発

##### 2-1. シミュレーション解析による非破壊計測技術の適用性評価

5つの非破壊計測技術についてシミュレーション解析を行い、各手法ごとに核燃料物質の量を推定するにあたっての阻害因子（中性子吸収材や水分）と、阻害因子の補正方法についての検討状況を報告する。

##### 2-2. 核燃料物質等の定量または推定方法の適用性評価

2-1の結果を元に核燃料物質の量の推定に適用できる見込みがある非破壊計測技術としては高速中性子による核分裂反応を用いるアクティブ中性子法（FFCC法）とミュオン散乱法である見通しを得た。熱中性子を用いたアクティブ中性子法は中性子吸収材の影響を受けるため、単独で推定することは困難な見込み。X線CT法は2種類の物質が混合した場合は困難な見込み。パッシブ中性子/ガンマ線法は計測対象物質と核燃料物質の帯同性が証明できる見込みが得られていないことから推定は困難な見込みである。今後は計数値から核燃料物質量を推定するアルゴリズムの検討を進め推定精度の検証を実施していく。なお核燃料物質の推定が困難な手法については、他の非破壊計測手法との組み合わせによる補正や別目的での使用を想定した活用に着目し検討を継続していく。

##### 2-3. 当該手法の適用先候補の導出

2-2で得られた結果及び5つの非破壊計測技術の概念設計を実施し計測装置の具現化を行い、各計測技術の現場適用性の考察・評価の方針を報告する。

#### 3. 結論

燃料デブリ等を対象とした非破壊計測の開発に関する取り組みを紹介した。本開発成果を通じて燃料デブリ等の核燃料物質の定量に向けた非破壊計測技術の確立を目指していく。

#### 4. 謝辞

本研究は、経済産業省／令和5年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発（仕分けに必要な燃料デブリ等の非破壊計測技術の開発）」に係る補助事業として実施したものであり、東京電力HD(株)をはじめ、日本原子力研究開発機構、三菱重工(株)、日立GEニュークリア・エナジー(株)、東芝エネルギーシステムズ(株)の各社ご協力により得られた成果である。

\*Shin Takasaki<sup>1</sup>, Takahiro Tanaka<sup>1</sup>, Toyonobu Nabemoto<sup>1</sup>, Wataru Kawamura<sup>1</sup>, Masanori Hatori<sup>1</sup>, Itaru Suzuki<sup>1</sup>, Keisuke Okumura<sup>2</sup>, Yosuke Toh<sup>2</sup>, Taketeru Nagatani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tousou Mirai Technology Co. Ltd. <sup>2</sup>Japan Atomic Energy Agency

## 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

### (2) アクティブ中性子法開発

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

#### (2) Development of active neutron method

\*藤 暢輔, 前田 亮, 米田 政夫

JAEA

福島第一原子力発電所の廃止措置に資するため、原子炉格納容器内部から取り出された物体に含まれる核燃料物質量を計測するための非破壊測定技術開発を実施している。本講演では、候補技術の一つであるアクティブ中性子法に関する開発において得られた成果を報告する。

**キーワード：**アクティブ中性子法、福島第一原子力発電所、非破壊測定、核燃料物質、廃止措置

#### 1. 緒言

福島第一原子力発電所の廃止措置においては、原子炉格納容器などから取り出された物体の性状把握、もしくは燃料デブリと放射性廃棄物に仕分けすることなどによって、燃料デブリの取り出しから保管までの作業の合理化などが期待できる。取り出される物体には核燃料物質のほか、測定を妨害する制御棒由来の中性子吸収材や原子炉構造物などの多様な物質が含まれているため、それらに適用できる非破壊測定技術の開発を実施している。

#### 2. アクティブ中性子法開発

本研究開発においては、廃止措置に資する核燃料物質の非破壊測定の候補技術として、中性子による誘発核分裂反応を利用する 2 つのアクティブ中性子法：高速中性子直接問いかけ法 (FNDI 法) および高速核分裂中性子同時計数法 (FFCC 法) の検討を行っている。FNDI 法は測定試料によって熱化された中性子による核燃料物質の核分裂反応を利用する測定法であり、核分裂性物質の総量のほか、試料の内容物の情報を含む中性子減衰時間が得られる。FFCC 法は、高速中性子による核分裂反応を利用して、ウラン総量を測定する手法であり、デブリに含まれる中性子吸収材の影響を受けにくいという特長がある。モンテカルロ計算コード PHITS および MVP を用いて FNDI 法および FFCC 法のシミュレーションモデルを作成し、典型的なデブリの測定を模擬したところ、FNDI 法は中性子吸収材を含むデブリ等の測定が困難であるものの、得られる中性子減衰時間が FFCC 法の補正に使える可能性があること、FFCC 法は中性子吸収材を含むデブリでも測定可能であることなどが分かった。本講演では、シミュレーション結果に加えて、核燃料物質を用いた要素試験等で得られた結果も報告する。

**謝辞：**本研究成果は、「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発（仕分けに必要な燃料デブリ等の非破壊計測技術の開発）」に係る東双みらいテクノロジー株式会社からの受託事業において得られた成果である。

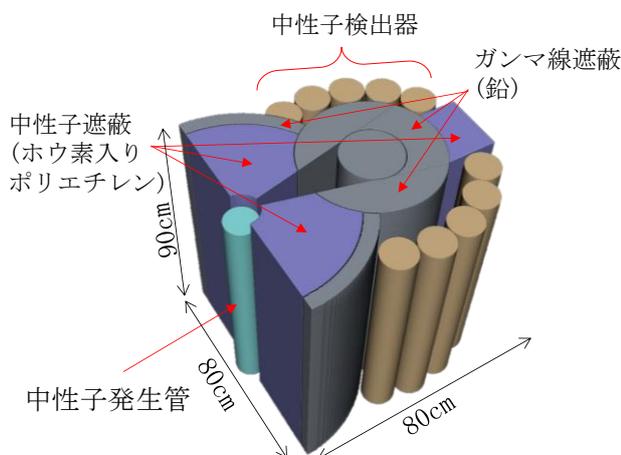


図 1 アクティブ中性子法装置のシミュレーション体系例

\*Yosuke Toh, Makoto Maeda, Masao Komeda, Japan Atomic Energy Agency

## 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発 (3) パッシブ中性子法開発

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

### (3) Development of passive neutron technique

\*三星 夏海<sup>1</sup>, 長谷 竹晃<sup>1</sup>, 小菅 義広<sup>2</sup>, 岡田 豊史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAEA, <sup>2</sup>NESI

福島第一原子力発電所における燃料デブリの性状把握や仕分けのための非破壊計測に対する候補技術の特性評価の一環として、パッシブ中性子法の適用性評価を実施した。

**キーワード**：福島第一原子力発電所, 燃料デブリ, 非破壊計測, パッシブ中性子法

#### 1. 緒言

燃料デブリを対象としたパッシブ中性子法では、中性子同時計数値と主な中性子放出核種である自発核分裂核種 Cm-244 の実効質量との相関関係及び組成情報等を組み合わせて、間接的に Pu 量を定量する。しかし、燃料デブリ中の中性子吸収材や中性子減速材の影響により中性子計数率が変動することや、Pu 量の定量において、燃焼度の混在に由来する組成情報の不確かさの伝播の影響を受けることが課題である。本研究では、中性子吸収材及び中性子減速材による中性子計数率への影響及びその補正方法、並びに半減期の違いを用いて自発核分裂核種量から Pu 量を定量する手法 Dual-time measurement 法（以下 DTM 法という。）[1]の有効性を確認することを目的とする。

#### 2. 中性子吸収材及び中性子減速材の影響確認試験

燃料デブリを模擬するため、核燃料物質の近傍に中性子吸収材または中性子減速材を配置した試料を、図 1 に示すプルトニウムスクラップ測定装置（以下 PSMC という。）[2]の試料室に入れて測定を行う。測定に用いる核燃料物質は、約 800 gPu、核分裂核種量約 600 g の PuO<sub>2</sub> 粉末であり、中性子吸収材としてホウ酸粉末及び酸化ガドリニウム粉末、中性子減速材としてポリエチレン樹脂ビーズを用いる、これらはバイアル瓶に充填した状態で使用する。中性子吸収材及び中性子減速材の種類及び量による中性子計数率の変動を評価し、その補正方法を検討する。

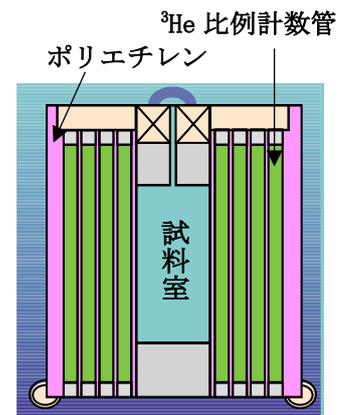


図 1 PSMC の鉛直断面図

#### 3. 自発核分裂性核種量からの Pu 量の導出試験

DTM 法とは、短半減期核種 Cm-244（半減期約 18.11 年）の重量が時間の経過とともに指数関数的に減少するのに対し、長半減期核種である Pu-238（半減期約 87.7 年）、Pu-240（半減期約 6,561 年）及び Pu-242（半減期約  $3.735 \times 10^5$  年）等の重量は不変であるという仮定に基づき、時間間隔をあけて 2 回測定を行うことによって指数分布を推定し、短半減期核種と長半減期核種の重量を評価する手法である。核燃料物質の周辺に Cf-252 中性子線源を配置して模擬燃料デブリ試料を PSMC により測定する。2023 年度及び 2024 年度にかけて約 2 か月間の間隔を空けて複数回の測定を実施し、DTM 法の有効性を評価する。

**謝辞**：本研究成果は、「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発（仕分けに必要な燃料デブリ等の非破壊計測技術の開発）」に係る東双みらいテクノロジー株式会社からの受託事業において得られた成果である。

#### 参考文献

[1] 長谷竹晃, et al., 第 43 回 INMMJ 年次大会論文集, 2022. [2] H.O. Menlove, et al., LA-12479-M, 1993.

\*Natsumi Mitsuboshi<sup>1</sup>, Taketeru Nagatani<sup>1</sup>, Yoshihiro Kosuge<sup>2</sup>, Toyofumi Okada<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup>NESI

## 燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発

### (4)ミュオン散乱法開発

Development of analysis and estimation techniques to determine the properties of fuel debris

#### (4) Development of Muon Scattering Method for Fuel Debris

\*久米 直人<sup>1</sup>, 中居 勇樹<sup>1</sup>, 野口 恭平<sup>1</sup>, 藤牧 拓郎<sup>1</sup>, 依田 正樹<sup>1</sup>,  
高崎 新<sup>2</sup>, 田中 貴大<sup>2</sup>, 鍋本 豊伸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東芝エネルギーシステムズ株式会社 <sup>2</sup>東双みらいテクノロジー株式会社

福島第一原子力発電所（1F）の事故で発生した燃料デブリ中のウラン量などを非破壊で推定する手法として、ミュオン散乱法を検討している。解析で、ウラン量の推定精度を評価した。

**キーワード**：福島第一原子力発電所，燃料デブリ，非破壊計測，ミュオン散乱法

#### 1. 緒言

1Fの燃料デブリ中のウラン量などを推定できる可能性がある複数手法の評価を進めている。候補の1つであるミュオン散乱法について、検出器応答を模擬した解析評価を行い、ウラン量の推定精度を評価した。

#### 2. 核燃料物質の推定

##### 2-1. 解析評価

ミュオンは、物質を通過する際に原子番号、測定対象の厚さに応じて散乱する。ミュオン散乱法は、ミュオンの軌跡から得られる平均散乱角から、測定対象内のウラン量などを推定する。

解析では、 $\gamma$ 線遮蔽体で覆われた約2.4m×2.4mの軌跡検出器を測定対象の上下に設置する構造を採用した（図1）。軌跡検出器中央に燃料デブリを想定した測定対象を設置し、上下のミュオン軌跡を評価した。検出器の応答を模擬するため、この軌跡には、 $\gamma$ 線ノイズの影響も考慮した軌跡検出器の測定性能を反映させた。得られた軌跡から、測定対象近傍を通過したイベントを抽出し、平均散乱角を得た。

##### 2-2. ウラン量の推定

平均散乱角は、測定対象中の組成と、厚さ（量）に依存する。精度よくウラン量を推定するため、解析結果の平均散乱角に加え、測定対象全体の重さ、体積情報を活用したアルゴリズムとした。

$\Phi 210\text{mm}$  高さ 200mm に設定した容器に燃料デブリが入った条件の評価結果を図2に示す。推定したウラン量は概ね設定量と相関が得られており、評価した条件の設定量と推定量の差の偏差として 1.4kg を得られた。誤差が大きい条件もあるため、精度向上を進めるとともに、他の条件での解析評価を継続していく。

**3. 謝辞** 本研究は、経済産業省／令和5年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発（仕分けに必要な燃料デブリ等の非破壊計測技術の開発）」に係る 東双みらいテクノロジー株式会社からの受託事業において得られた成果である。

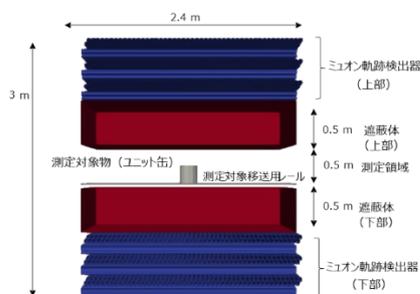


図1 検出器の体系

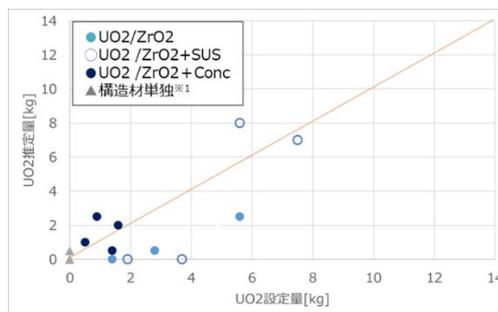


図2 評価結果（ユニット缶）

\*Naoto Kume<sup>1</sup>, Yuki Nakai<sup>1</sup>, Kyohei Noguchi<sup>1</sup>, Takuro Fujimaki<sup>1</sup>, Masaki Yoda<sup>1</sup>, Shin Takasaki<sup>2</sup>, Takahiro Tanaka<sup>2</sup> and Toyonobu Nabemoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, <sup>2</sup> Tousou Mirai Technology Co. Ltd.

# 東京電力福島第一発電所 2号機シールドプラグ下部汚染分布推定法の検討

Study on the Estimation Method of the Contamination Distribution of a Shield Plug Bottom

in TEPCO Fukushima Daiichi Power Plant Unit 2

\*神野 郁夫, 奥村 啓介, 松村 太伊知, Eka Sapta Riyana, 寺島 颯一, 坂本 雅洋

日本原子力研究開発機構

東京電力福島第一原子力発電所(1F)2号機のシールドプラグ下部汚染分布を評価するため、ガンマ線ピンホールカメラを用いて一定厚さの遮蔽体背後にある Cs-137 汚染分布を得る手法を計算により開発した。

**キーワード:** ガンマ線ピンホールカメラ, 1F シールドプラグ下部汚染分布

**1. 緒言** 1F 事故により、原子炉格納容器から Cs-137 が漏洩し、コンクリート製シールドプラグ(プラグ)下部を汚染した。この汚染量はいくつかの方法で推定されている。一方、プラグ下部から上方 62 cm のオペレーションフロア(オペフロ)で測定する線量率にはオペフロ表面およびプラグ下部のそれぞれに付着した Cs-137 が寄与するため、プラグ下部の汚染分布は不明である。今回、ガンマ線ピンホールカメラを用いたプラグ下部汚染分布評価法を計算で検討したので報告する。

**2. 方法** 日立製作所が作成したピンホールカメラ[1]の諸元を参考にして、構築した計算体系を図 1 に示す。

計算の簡略化のため、1次元で検討した。長さ 4 cm のラインセンサ(17 画素)がピンホールから 5 cm の位置にある。ピンホールをオペフロ表面から 1 cm の位置に設置すると、測定範囲はプラグ下部-25.2~+25.2 cm, オペフロ表面-0.4~+0.4 cm である。x 軸位置 0, 25.2, 50.4 cm の 3 点で測定し、画素値を  $P(i,j)$  ( $i=0,2, j=0,16$ ) とする。

プラグ下部およびオペフロ表面の汚染密度を  $Q(m)$  ( $m=0,32$ ),  $R(0,j)$ ,  $R(1,j)$ ,  $R(2,j)$  とする。各画素に入射するガンマ線のコンクリートによる減弱  $A(j)$  ( $j=0,16$ ) を減弱の式で評価すると、画素値は、 $P(i,j)=Q(8i-j+16)A(16-j)+R(i,16-j)$  となる。

ここで、オペフロ表面の観測範囲が狭いので、 $R(0,j)=1$ ,  $R(1,j)=a$ ,  $R(2,j)=b$  とする。以上から、同じ  $Q(m)$  に由来する異なる  $P(i,j)$  を用いることで、 $Q(m)$  および定数  $a, b$  を求めることができる。

**3. 解析** 図 2 の赤丸のプラグ下部汚染分布を仮定する。また、 $a, b$  をそれぞれ 2 および 3 とした。3 点で測定した結果を青、緑、黒丸で示す。例として、 $Q(8)$  由来のガンマ線を測定した  $P(0,8)=Q(8)A(8)+1$ ,  $P(1,16)=Q(8)A(0)+a$  を用いて、 $Q(8), a$  を得る。

**4. 結論** 画素とピンホールとを結ぶ線の延長上のガンマ線源を測定するピンホールカメラを利用し、一定厚さの遮蔽体背後の Cs-137 汚染分布を評価する手法を開発した。オペフロ表面の 1 点の汚染密度を測定すれば、汚染密度分布の絶対値が得られる。今後、画素が見込む汚染部分の立体角の考慮などを行う。

[1] Y. Ueno, et al., Nucl. Instrum. Meth. A893, 15 (2018).

\*Ikuro Kanno, Keisuke Okumura, Taichi Matsumura, Eka Sapta Riyana, Kenichi Terashima, Masahiro Sakamoto

Japan Atomic Energy Agency

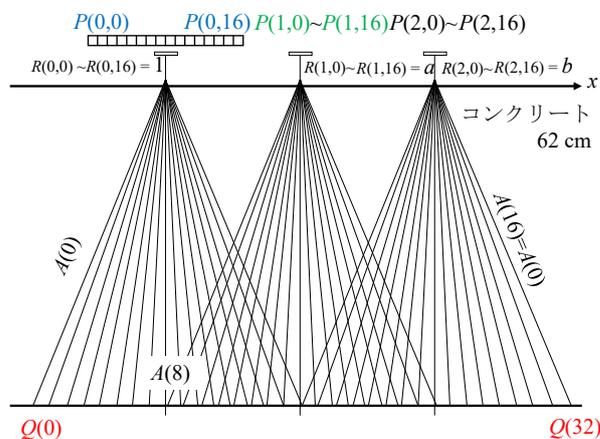


図 1. 計算体系

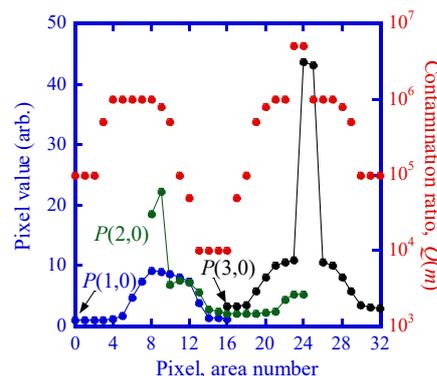


図 2. 設定したプラグ下部の汚染密度と各測定点の画素値.

## 連携計測による線源探査ロボットシステムコラッセの実証試験

Verification test of Cooperative Operation Robot system for Radiation Source Exploration: CORRASE

\*野上 光博<sup>1</sup>, 北山 佳治<sup>2,1</sup>, 人見 啓太郎<sup>1</sup>, 阮 覇唯<sup>1</sup>, 田村 雄介<sup>1</sup>,  
河田 竜太郎<sup>3</sup>, 金子 慎一郎<sup>3</sup>, 高田 英治<sup>3</sup>, 鳥居 建男<sup>4,5</sup>  
<sup>1</sup>東北大, <sup>2</sup>JAEA, <sup>3</sup>富山高専, <sup>4</sup>福島大, <sup>5</sup>福井大

我々の研究グループでは、高視野・迅速・安価な放射線源探査を実現するロボットシステム (Cooperative Operation Robot system for Radiation Source Exploration: CORRASE) コラッセの研究開発を行っている。現在までに、コラッセに搭載する指向性検出器の開発を中心に報告 (2024 年秋の年会 2H-10 など) を行ってきたが、本発表ではロボットシステムと指向性検出器を組み合わせ製作したコラッセの実証試験についての報告を行う。

キーワード：多面体型、指向性検出器、連携計測、線源探査、ロボットシステム

### 1. CORRASE の実証試験

福島第一原子力発電所内の廃炉作業の円滑化のためには、発電所内のガンマ線源分布を調査することは重要な要素である。我々の研究グループでは、ロボットとガンマ線イメージャを組み合わせた高視野・迅速・安価な放射線源探査を実現するロボットシステム CORRASE (Cooperative Operation Robot system for Radiation Source Exploration) の開発に取り組んでいる。CORRASE の原理実証のための実証試験を JAEA CLADS 国際共同研究棟 2 階会議室で実施した。7.8 × 5.3 m<sup>2</sup> の会議室内に障害物および、模擬放射線汚染源として <sup>137</sup>Cs 密封線源を設置し、実証試験用の未知環境を構築した。実証試験では、指向性検出器を搭載したロボット 3 組を用いて、未知環境の探索、未知環境の地図の作成、放射線カウントのヒートマップ作成、線源イメージングのための最適観測配置の計算、線源イメージング、地図と線源イメージング情報の重ね合わせを行った。Fig.1 には、線源イメージング時の様子を示す。CORRASE の実証試験の詳細については会場にて報告を行う。



Fig.1 線源イメージングの様子

\*Mitsuhiro Nogami<sup>1</sup>, Yoshiharu Kitayama<sup>2,1</sup>, Keitaro Hitomi<sup>1</sup>, Baduy Nguyen<sup>1</sup>, Yusuke Tamura<sup>1</sup>, Ryutaro Kawata<sup>3</sup>, Shin-ichiro Knaeko<sup>3</sup>, Eiji Takada<sup>3</sup>, Tatsuo Torii<sup>4,5</sup> <sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>JAEA, <sup>3</sup>NIT Toyama College, <sup>4</sup>Fukushima Univ. <sup>5</sup>Univ. of Fukui

# 可搬型 $\gamma$ 線イメージング装置「GeGI5」におけるタングステン製ピンホールコリメータ導入とその効果の定量評価

Development of Tungsten Pinhole Collimators for the Portable Gamma-ray Imaging Device GeGI5 and Quantitative Evaluation of Their Effects

\*津金 聖和, 吉田 剛, 松村 宏, 豊田 晃弘, 中村 一, 榎本 和義, 三浦 太一  
KEK

GeGI5 による放射化イメージングの効率向上のため、遮蔽能に優れるタングステン合金(W)製のコリメータを新規製作し、従来の鉛-アンチモン合金(Pb-Sb)製コリメータとの性能差を、標準線源を用いて実験的に評価した。1000 keV 以上の  $\gamma$  線領域で、材質変更で分解能が 1.3 倍に、径の拡大では S/N が最大 2 倍程度になることがわかった。

**キーワード:** 可搬型 $\gamma$ 線イメージング装置, GeGI5, 加速器, 放射化

## 1. 緒言

我々は、可搬型 $\gamma$ 線イメージング装置による加速器放射化の定量評価に向けた検討を行ってきており、PHDS 社製の「GeGI5」が、最有力機種であると結論付けた。GeGI5 はピンホール方式による線源の可視化が行え、その際に付属の Pb-Sb 製のコリメータを用いる。しかしながら、加速器施設特有の周囲全体が放射化した条件下では、さらなる S/N の改善、つまり遮蔽能の向上が要求されることがわかった。我々は、孔径を変えた複数の W 製のコリメータを新規製作し、Pb-Sb からの性能向上を標準線源にて実験的に評価した。

## 2. 実験

GeGI5 は 90 mm 径 $\times$ 11 mm 厚の Ge 単結晶を搭載している。W または Pb-Sb コリメータを装置前方に装着し、標準線源と Ge 単結晶の距離が 1.0 m になる位置に GeGI5 を配置した。コリメータ径は 5, 7, 9 mm とした。標準線源は  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{60}\text{Co}$  を使用し、光電効果による全吸収の一事象で線源位置を特定する「ピンホールモード」にて測定した。得られた可視化画像から FWHM(分解能)と S/N によりコリメータの性能を定量評価した。

## 3. 結果と考察

分解能と S/N の $\gamma$ 線エネルギー依存性を図 1 に示す。1000 keV 以上の高エネルギー $\gamma$ 線領域では、同じ 5 mm 径コリメータでも材質を Pb-Sb から W に変更することで、分解能が 1.3 倍に向上することが分かった。また、W への材質変更に加えて径を 5 mm から 9 mm にすることで、分解能を Pb-Sb と同程度に維持したまま、S/N を 1.3~1.5 倍に向上することができた。500 keV 以下の $\gamma$ 線領域では、最大 2 倍程度まで向上しており、W 製コリメータによる性能向上を定量的に評価できた。

## 4. 結論

GeGI5 による加速器放射化イメージングの効率化のため、孔径 5, 7, 9 mm の W 製コリメータを新規製作し、標準線源を用いて従来の Pb-Sb 製品との性能比較を行った。Pb-Sb から W への材質変更で分解能が最大 1.3 倍に、5 mm から 9 mm への孔径拡大で S/N が最大 2 倍程度になることがわかった。

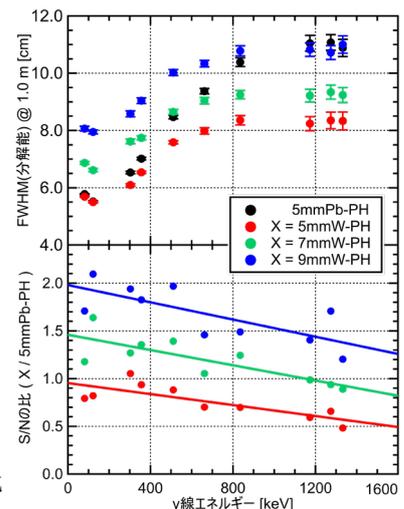


図 1. 分解能と S/N の $\gamma$ 線エネルギー依存性

\*Kiyokazu Tsugane, Go Yoshida, Hiroshi Matsumura, Akihiro Toyoda, Hajime Nakamura, Kazuyoshi Masumoto, Taichi Miura  
KEK

## $\alpha/\beta$ 線弁別測定のための遠隔測定器及び解析手法の開発

Development of a remote alpha/beta detection system and analysis method for alpha/beta classification

\*森下祐樹<sup>1</sup>、宮村浩子<sup>1</sup>、佐藤優樹<sup>1</sup>、松原潤<sup>2</sup>、満倉靖恵<sup>2</sup>

1. JAEA, 2. 慶応義塾大学

遠隔 $\alpha/\beta$ 汚染測定器を開発し、さらに $\alpha$ 線と $\beta$ 線の弁別や核種弁別を目的とした解析手法を開発した。検出器は、スチルベンシンチレータと小型のシリコン光電子増倍管 (SiPM) を用いて $\alpha/\beta$ 線検出器を構築した。ロボットに組み合わせた検出器の信号を機械学習で解析し、 $\alpha$ 線と $\beta$ 線を分類して測定できることを確認した。

**キーワード:**  $\alpha/\beta$  検出器、ロボット、サポートベクターマシン

### 1. 緒言

福島第一原子力発電所等の廃炉現場において $\alpha/\beta$ 汚染検出は放射線防護上重要である。そこで本研究では、遠隔機器を用いた $\alpha/\beta$ 汚染検出を可能にするための遠隔 $\alpha/\beta$ 汚染測定器を開発し、さらに $\alpha$ 線と $\beta$ 線の弁別や核種弁別を目的とした解析手法を開発した。

### 2. 方法と結果

スチルベンシンチレータと小型のシリコン光電子増倍管 (SiPM) を用いて $\alpha/\beta$ 線検出器を構築した。さらに小型のロボット (ライトローバー、ヴィストン株式会社) を組み合わせた遠隔 $\alpha/\beta$ 汚染測定システムを構築した (図1(a)及び(b))。検出器からの出力電圧波形をデジタイザ (DT5730, CAEN社) で収集した。評価のため $^{241}\text{Am}$ 線源 ( $\alpha$ 線源) と $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 線源 ( $\beta$ 線源) トリウム線源 ( $\alpha$ 線及び $\beta$ 線) をそれぞれ測定した。 $\alpha$ 線と $\beta$ 線の分類に関しては、機械学習の手法の一つであるサポートベクターマシン (SVM) を用いた。計測データ (検出器からの出力電圧波形) を時間軸方向に16個の特徴量とし、その値を正規化して使用した。ロボットに組み合わせた検出器で分類して測定できることを確認し、測定結果を解析した結果、従来法の tail to total integral より高い精度で識別ができることを確認した (表1)。

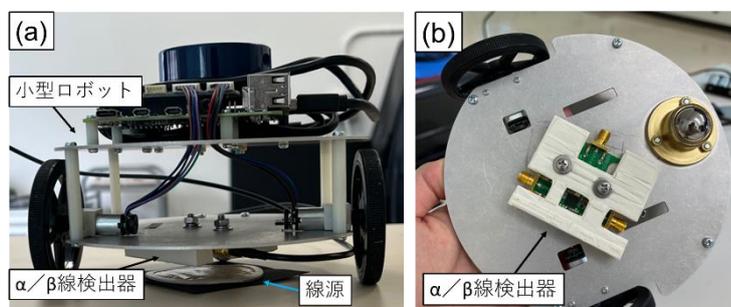


図1 (a) 遠隔 $\alpha/\beta$ 汚染測定器、(b) 遠隔 $\alpha/\beta$ 汚染測定器の検出器部 (ロボット底面)

表1  $^{241}\text{Am}$ と $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ の分類の accuracy の比較

	accuracy
従来法 tail to total integral の閾値 0.63	0.9480
最適パラメータ ( $\gamma, C$ ) = (0.0814, 4.41)	0.9735

### 3. 結論

遠隔 $\alpha/\beta$ 汚染測定器を開発し、さらに $\alpha$ 線と $\beta$ 線の弁別や核種弁別を目的とした解析手法を開発した。今後は開発した検出器を用いた実証試験などを進めていく。

\*Yuki Morishita<sup>1</sup>, Hiroko Miyamura<sup>1</sup>, Yuki Sato<sup>1</sup>, Jun Matsubara<sup>2</sup>, Yasue Mitsukura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JAEA, <sup>2</sup>Keio Univ.