

Thu. Jul 9, 2026**Young Scientist Award Nominee**

10:30 AM - 11:45 AM JST | 1:30 AM - 2:45 AM UTC | A(Miraikan Hall)

東京電力福島第一原子力発電所事故関連4

Chairman:Hirofumi Tsukada(Fukushima University, Professor Emeritus)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[2A02] Exploration of mineral species associated with ^{137}Cs in sediments sampled at the Tama river watershed○Yotaro Shimizu¹, Toru Takahashi¹, Yugo Mitsuta¹, Satoshi Inose¹, Yuya Koike² (1. Grad. Sch. Sci. Tech., Meiji Univ., 2. Sch. Sci. Tech., Meiji Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[2A03] Activity concentration of radioactive caesium in river water sampled at the Tama river watershed 15 years after the accident

○Yugo Mitsuta¹, Satoshi Inose¹, Yotaro Shimizu¹, Toru Takahashi¹, Yuya Koike² (1. Grad. Sch. Sci. Tech. , Meiji Univ., 2. Sch. Sci. Tech. , Meiji Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[2A04] Analysis of Temporal Variations in Ambient Dose Equivalent Rates Considering Downward Migration of Radiocesium and Soil Moisture Variability in Forested Areas

○Yusei Uehara¹, Yuichi Onda², Junko Takahashi², Minsik Kim³, Kimiaki Saito³, Masahiko Machida³, Kazuya Yoshimura³ (1. University of Tsukuba, 2. Center for research in radiations, isotopes, and earth system sciences, University of Tsukuba, 3. Japan Atomic Energy Agency)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[2A05] Status of the environmental radioactivity measurement in Yamagata Prefecture using Ge semiconductor detector in 2026

○Toru Moriya¹, Hoin Takeda², Aoto Watanabe³, Towa Masui³, Emiko Inui³, Mirei Takeyama¹, Takeshi Ito⁴, Mitsuhiro Kuronuma⁵, Hirohisa Sakurai³, Fuyuki Tokanai^{1,3} (1. Center for AMS, Yamagata Univ., 2. Grad. Sch. Science and Engineering, Yamagata Univ., 3. Faculty of Science, Yamagata Univ., 4. Water and Air Environ. Div., Environ. and Energy Dept., Yamagata Pref., 5. Environmental Science Research Center of Yamagata Pref.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[2A06] Trend in ambient dose rate within the evacuation-restricted areas in Fukushima Prefecture

○Koume Watanabe¹, Natsuhori Masahiro¹, Seiichi Wada¹, Takehiko Kakizaki¹, Sachiko Matsudate (1. Kitasato University)

Young Scientist Award Nominee

2:15 PM - 4:35 PM JST | 5:15 AM - 7:35 AM UTC | B(Conference Room Saturn)

放射線計測1・放射能測定2

Chairman:Yasushi Sato(AIST), Kenji Shimazoe(The University of Tokyo)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[2B02] Construction of a Source Model for Photon Counting CT to Evaluate Patient Organ Dose○Yuzuki Saito¹, Yusuke Koba², Weishan Chang¹, Katsunuma Yasushi³, Yoshida Ryoichi³, Hirai Yuta¹, Shinsho Kiyomitsu¹ (1. Tokyo Metropolitan University, 2. QST, 3. Tokai University Hospital)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[2B03] Evaluation of Nonlinear Scintillation Response of a Large-Volume GAGG and Advancement of Background Modeling for Double Beta Decay Searches○Takumi Omori¹ (1. Univ. of Tsukuba)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

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

[2B04] Rapid hydrothermal synthesis of ZrO₂ nanoparticles and application to liquid scintillators○Akito Watanabe¹, Akira Yoko², Gimyeong Seong³, Takaaki Tomai⁴, Tadafumi Adschiri⁵, Yamato Hayashi⁶, Hiroki Kawamoto⁶, Yutaka Fujimoto⁶, Masanori Koshimizu⁷, Keisuke Asai⁶ (1. U. Tokyo, 2. SRIS, Tohoku Univ., 3. U. Suwon, 4. FRIS, Tohoku Univ., 5. AIMR, Tohoku Univ., 6. Tohoku Univ., 7. Shizuoka Univ.)

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

[2B05] Measurement of ⁶³Cu(n, p)⁶³Ni reaction cross section (4) Evaluation of copper-induced quenching effects in liquid scintillation counting○Shunya Nakasone¹, Megumi Fukai¹, Akira Yunoki¹, Asako Shimada², Taiki Yoshii¹, Kengo Shibuya¹, Hirotaka Sakai¹, Taro Shimada² (1. NRA of Japan, 2. JAEA)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

3:20 PM - 3:35 PM JST | 6:20 AM - 6:35 AM UTC

[2B06] Assessment of ^{177m}Lu Impurity level in ¹⁷⁷Lu Produced by the Direct Production Route○Tsubasa Fukui¹, Haru Maegawa¹, Yuya Soeta¹, Takahiro Yamada^{1,2} (1. Grad.Sch.Sci.Eng.,Kindai Univ., 2. AERI, Kindai Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

3:35 PM - 3:50 PM JST | 6:35 AM - 6:50 AM UTC

[2B07] Influence of ^{177m}Lu Impurity on Activity Measurement of Directly Produced ¹⁷⁷Lu by 4πβ-4πγ Coincidence Counting○Haru Maegawa¹, Tsubasa Hukui¹, Yuya Soeta¹, Takahiro Yamada^{1,2} (1. Grad. Sch. Sci. Eng., Kindai Univ., 2. AERI, Kindai Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

3:50 PM - 4:05 PM JST | 6:50 AM - 7:05 AM UTC

[2B08] Construction of a Detection Efficiency Evaluation Framework for Non-Destructive Radioactivity Measurement

(1)Analysis of the Probabilistic Structure of Detection Efficiency Based on 3D Geometry Reconstruction and Radiation Transport Simulation

○Ren Ichikawa¹, Riku Kaneko¹, Takahiro Yamada^{1,2}, Akiko Hachisuka³, Yohei Kataoka³ (1. Graduate School of Science and Engineering, Kindai Univ, 2. Atomic Energy Research Institute, Kindai Univ, 3. National Institute of Health Sciences)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

4:05 PM - 4:20 PM JST | 7:05 AM - 7:20 AM UTC

[2B09] Construction of a Detection Efficiency Evaluation Framework for Non-Destructive Radioactivity Measurement

(2) Modeling of a Non-Destructive Radioactivity Measurement System and Deterministic Evaluation of Detection Efficiency Variation for a Whole Pheasant Sample

ORiku Kaneko¹, Ren Itikawa¹, Takahiro Yamada^{1,2}, AKiko Hachisuga³, Yohei Kataoka³ (1. Graduate School of Science and Engineering, Kindai Univ, 2. Atomic Energy Research Institute, Kindai Univ, 3. National Institute of Health Sciences)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

4:20 PM - 4:35 PM JST | 7:20 AM - 7:35 AM UTC

[2B10] Large-Scale High-Resolution Spatial Distribution Measurement of Neutron and Photon Radiation Fields in a High-Energy Electron Accelerator Room

— Application to Radiation Damage Risk Assessment of LED Lighting —

OKiyokazu Tsugane¹, Hiroshi Matsumura¹, Akihiro Toyoda¹, Go Yoshida¹, Hajime Nakamura¹, Eisuke Watanabe¹, Eunji Lee¹, Takahiro Oyama¹, Hiroshi Iwase¹, Madoka Tanaka¹, Ngoc Thien Bui¹ (1. KEK)

Young Scientist Award Nominee

2:15 PM - 4:15 PM JST | 5:15 AM - 7:15 AM UTC | C(Conference Room Uranus)

陽電子消滅2

Chairman:Atsuo Kawasuso(QST), Koji Michishio

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[2C04] Calculation of photodetachment cross sections of positronic atoms using a three-body model

ONaoki Kamiya¹, Takuma Yamashita^{1,2}, Yasushi Kino¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku Univ., 2. IEHE, Tohoku Univ.)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[2C05] Effect of chirality on positronium formation at aminoacid molecular film surface

○Atsuo Kawasuso¹, Masaki Nobuoka¹, Masaki Maekawa¹, Wookjin Choi², Shuhei Seki² (1. QST, 2. Kyoto Univ.)

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

[2C06] Development of trap-based spin-polarized slow positron beam accumulator

○Masaki Maekawa¹, Atsuo Kawasuso¹, Akira Ishida², Toshio Nanba³ (1. QST Takasaki, 2. AIST, 3. U-Tokyo)

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

[2C07] Study of Cs atom intercalation at the graphene/Co(0001) interface using TRHEPD

○Yuki Fukaya¹, Songtian Li², Seiji Sakai² (1. JAEA, 2. QST)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

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

[2C08] Development of a Slow Positron Beam System Based on an Electron Linear Accelerator for Material Characterization.

○Masaki Uno^{1,2}, Atsushi Kinomura² (1. Kyoto Univ., 2. Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

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

[2C09] Evaluation of Irradiation Damage in Moderator materials for Reactor-Based Positron Source

○Kazuki Harashima^{1,2}, Atsushi Kinomura², Hidetsugu Tsuchida¹ (1. Kyoto Univ., 2. KURNS)

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

[2C10] Development of a reflection-type brightness enhancement system for positron beams using a SiC remoderator

○Koji Michishio¹, Eri Suzumura¹, Atsushi Kinomura² (1. AIST, 2. KURNS, Kyoto Univ.)

Young Scientist Award Nominee

📅 Thu. Jul 9, 2026 10:30 AM - 11:45 AM JST | Thu. Jul 9, 2026 1:30 AM - 2:45 AM UTC | 🏢 A(Miraikan Hall)

東京電力福島第一原子力発電所事故関連4

Chairman: Hirofumi Tsukada (Fukushima University, Professor Emeritus)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[2A02] Exploration of mineral species associated with ^{137}Cs in sediments sampled at the Tama river watershed

○ Yotaro Shimizu¹, Toru Takahashi¹, Yugo Mitsuta¹, Satoshi Inose¹, Yuya Koike² (1. Grad. Sch. Sci. Tech., Meiji Univ., 2. Sch. Sci. Tech., Meiji Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[2A03] Activity concentration of radioactive caesium in river water sampled at the Tama river watershed 15 years after the accident

○ Yugo Mitsuta¹, Satoshi Inose¹, Yotaro Shimizu¹, Toru Takahashi¹, Yuya Koike² (1. Grad. Sch. Sci. Tech., Meiji Univ., 2. Sch. Sci. Tech., Meiji Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[2A04] Analysis of Temporal Variations in Ambient Dose Equivalent Rates Considering Downward Migration of Radiocesium and Soil Moisture Variability in Forested Areas

○ Yusei Uehara¹, Yuichi Onda², Junko Takahashi², Minsik Kim³, Kimiaki Saito³, Masahiko Machida³, Kazuya Yoshimura³ (1. University of Tsukuba, 2. Center for research in radiations, isotopes, and earth system sciences, University of Tsukuba, 3. Japan Atomic Energy Agency)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[2A05] Status of the environmental radioactivity measurement in Yamagata Prefecture using Ge semiconductor detector in 2026

○ Toru Moriya¹, Hoin Takeda², Aoto Watanabe³, Towa Masui³, Emiko Inui³, Mirei Takeyama¹, Takeshi Ito⁴, Mitsuhiro Kuronuma⁵, Hirohisa Sakurai³, Fuyuki Tokanai^{1,3} (1. Center for AMS, Yamagata Univ., 2. Grad. Sch. Science and Engineering, Yamagata Univ., 3. Faculty of Science, Yamagata Univ., 4. Water and Air Environ. Div., Environ. and Energy Dept., Yamagata Pref., 5. Environmental Science Research Center of Yamagata Pref.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[2A06] Trend in ambient dose rate within the evacuation-restricted areas in Fukushima Prefecture

○ Koume Watanabe¹, Natsuhori Masahiro¹, Seiichi Wada¹, Takehiko Kakizaki¹, Sachiko Matsudate (1. Kitasato University)

多摩川集水域底質中 ^{137}Cs と関連する鉱物種の探索 Exploration of mineral species associated with ^{137}Cs in sediments of the Tama River watershed

明治大学大学院理工学研究科^{*1}, 明治大学理工学部^{*2}

○清水 洋太郎^{*1}, 高橋 亘^{*1}, 光田 侑悟^{*1}, 猪瀬 聡史^{*1}, 小池 裕也^{*2}

(SHIMIZU, Yotaro^{*1}; TAKAHASHI, Toru^{*1}; MITSUTA, Yugo^{*1}; INOSE, Satoshi^{*1};

KOIKE, Yuya^{*2})

1. はじめに

多摩川集水域では、福島第一原子力発電所事故由来の ^{137}Cs が検出されている¹⁾。川崎市で採取された土壌や底質中の ^{137}Cs は約 75 %が難溶性形態として存在し、粘土鉱物中に取り込まれていることが示唆されている¹⁾。しかし、底質中 ^{137}Cs 濃度と鉱物含有量との定量的な関係は未だ不明瞭である。本研究では、多摩川集水域で採取された底質に対して粉末 X 線回折分析 / Rietveld 解析を行い、鉱物含有量を算出した。底質中 ^{137}Cs 濃度と鉱物含有量の関係から、多摩川の支流野川における底質中 ^{137}Cs の移行に関与する鉱物種を探索した。

2. 方法

底質は 2018 年に野川の 7 地点で採取した。放射能分析はねじ口 U 式容器 U8 に底質を充填し、高純度 Ge 半導体検出器 (PGT, Inc., IGC-10200NPR) で γ 線測定した。粉末 X 線回折分析には、遊星型ボールミル粉砕機 (Fritsch, Pulverisette 6) で粉砕した粉末試料に内標準物質として α -アルミナを全質量の約 10wt% となるよう混合した試料を用いた。混合試料は、デスクトップ X 線回折装置 (Rigaku, MiniFlex600) で測定し、鉱物種の同定および Rietveld 解析による鉱物量の定量を行った。

3. 結果および考察

野川の 7 地点で粘土鉱物である Vermiculite (Vrm) が同定された。各地点の底質中 ^{137}Cs 濃度と Vrm 含有量の相関図を Fig. 1 に示す。相関係数は $r = 0.89$ であり、正の相関が認められた。Vrm は層間に陽イオンを保持する層状構造を有する²⁾。層間の陽イオンは土壌溶液中の陽イオンとイオン交換可能であり、 Cs^+ は優先してイオン交換が行われることが報告されている²⁾。また、Vrm は雲母類鉱物の風化により形成されることが多く、膨潤層と非膨潤層が混在する構造を有する²⁾。この構造により、層間がくさび状に開いたフレイドエッジサイト (FES) が形成され、FES では Cs^+ が高い選択性をもって強固に保持されることが報告されている²⁾。野川の河川環境において、Vrm は ^{137}Cs の移行や滞留に関与していると考えられる。

4. 結論

野川では、底質中 ^{137}Cs は Vrm と共に移行している可能性が示唆された。本発表では、多摩川本流の底質に対しても同様な分析に供することで、多摩川集水域広域での底質中 ^{137}Cs 濃度と鉱物含有量の関係について考察する。

1) 越智康太郎, 藤井健悟, 萩原健太, 大淵敦司, 小池裕也: 分析化学, **66**, 175 (2017).

2) 山口紀子: 土壌の物理性, **126**, 11 (2014).

^{*1} Graduate School of Science and Technology, Meiji University

^{*2} School of Science and Technology, Meiji University

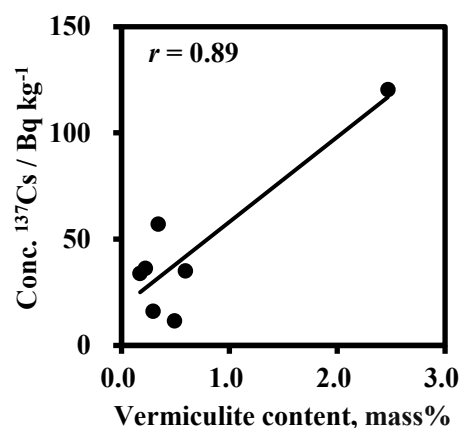


Fig. 1 Relationship between Vrm content and activity concentration of ^{137}Cs in sediments sampled at the Nogawa river in 2018.

事故後 15 年の多摩川集水域における河川水中の放射性セシウム濃度 Activity concentration of radioactive caesium in river water sampled at the Tama river watershed 15 years after the accident

明治大学大学院理工学研究科^{*1}, 明治大学理工学部^{*2}

○光田 侑悟^{*1}, 猪瀬 聡史^{*1}, 清水 洋太郎^{*1}, 高橋 亘^{*1}, 小池 裕也^{*2}

(MITSUTA, Yugo^{*1}; INOSE, Satoshi^{*1}; SHIMIZU, Yotaro^{*1};

TAKAHASHI, Toru^{*1}; KOIKE, Yuya^{*2})

1. はじめに

関東圏の多摩川集水域では、福島第一原子力発電所事故由来の放射性核種が検出されている¹⁾。本研究では、多摩川集水域で河川水を採取し、河川水中溶存態および懸濁態 ^{137}Cs の濃度を観測している。観測結果をもとに事故後 15 年が経過する多摩川集水域における ^{137}Cs 濃度分布を調査した。本要旨では多摩川集水域支流の平井川での調査結果を報告する。

2. 方法

河川水試料は 2025 年 4 月 20, 21 日に平井川の 3 地点 (Fig. 1) で採取した。河川水試料はガラス繊維フィルター (Whatman, GF/B, 孔径: $1.0\ \mu\text{m}$) を用いて加圧ろ過を行い、溶存態および懸濁態に分離した。溶存態 ^{137}Cs の濃縮は、リンモリブデン酸アンモニウム (AMP) 法にて行った。AMP 法は、ろ液 5 L に対して AMP 2 g と塩酸 30 mL を加えて 1 時間かく拌した²⁾。一晩静置後、定量ろ紙 (Advantec, No.5B, 孔径: $5\ \mu\text{m}$) でろ過することで AMP を回収した。回収したろ紙ごとねじ口 U 式容器 U8 に充填し、溶存態試料とした。この試料を高純度 Ge 半導体検出器 (PGT, Inc., IGC-10200NPR) で 24 時間以上 γ 線測定し、得られた γ 線スペクトルから ^{137}Cs 濃度を算出した。

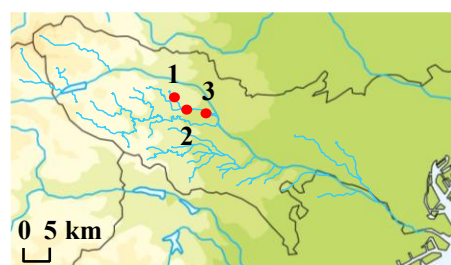


Fig. 1 Map of sampling points at Tama River watershed.

3. 結果および考察

平井川における溶存態 ^{137}Cs 濃度を Fig. 2 に示す。平井川上流から下流にかけて ^{137}Cs 濃度の減少傾向がみられた。これまでの調査³⁾では、多摩川本流において上流から下流にかけて ^{137}Cs 濃度の上昇傾向がみられおり、支流との移行挙動に違いがあると推測された。この要因として、溶存態 ^{137}Cs の懸濁態への吸着⁴⁾による移行が考えられる。懸濁態の性状と ^{137}Cs の固定を含め、継続した調査が必要である。

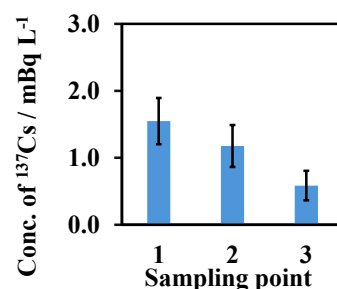


Fig. 2 Concentration of ^{137}Cs in river water sampled at Hirai river.

4. 結論

平井川における溶存態 ^{137}Cs 濃度は上流から下流にかけて減少傾向がみられた。本発表では、事故後 15 年が経過した本流と支流を含む多摩川集水域全域での河川水中溶存態および懸濁態 ^{137}Cs 濃度を算出し、その分布や移行挙動について追究する。

1) Hagiwara, K. Ochi, K. and Koike, Y.: *RADIOISOTOPES*, **70**, 227 (2021).

2) Aoyama, M. and Hirose, K.: *Radioactivity in the Environment*, **11**, 137 (2008).

3) 猪瀬聡史, 萩原健太, 青林諒, 小池裕也: 放射化学, **45**, 1, (2022).

4) 塩沢昌: 農業農村工学, **84** (6), 495, (2016).

^{*1} Graduate School of Science and Technology, Meiji University

^{*2} School of Science and Technology, Meiji University

森林域における放射性セシウムの方下移行と土壌水分変動を考慮した空間線量率変動の解析

筑波大学^{*1}，日本原子力機構^{*2}

○上原 雄正^{*1}，恩田 裕一^{*1}，高橋 純子^{*1}、金 敏植^{*2}，齋藤 公明^{*2}、町田 昌彦^{*2}、吉村 和也^{*2}

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故後，森林土壌中に沈着した放射性セシウムは，空間線量率の時間的変動に大きく寄与してきた。空間線量率の低下要因としては，放射性崩壊に代表される物理的要因と表層から深部への方下移行や土壌水分変動に代表される環境的要因に分けられ，環境的要因については，十分に定量化されてこなかった。

2. 方法

本研究では，森林土壌中における放射性セシウムの方下移行および土壌水分変動に着目し，それぞれが空間線量率の時間変動に及ぼす影響を定量的に評価した。方下移行の影響については，2011年以降に福島県山木屋地区で採取された土壌の放射性セシウム深度分布データを基に線源条件を設定し，評価を行った。土壌水分の影響については，土壌含水率を変化させた放射線輸送計算（PHITS）により定量化した。

観測は福島県飯舘村の森林サイトにおいて実施し，地上1 m 高に設置した線量計による空間線量率および土壌含水率の連続観測データを取得した。放射性セシウムの深度分布は，令和7年度成果報告書を基に，0–5 cm を0.5 cm 刻み，5–10 cm を1 cm 刻み，10–20 cm を5 cm 刻みとして算出したデータを線源条件として用いた。PHITS 計算では，線源深度分布および土壌マテリアル中の水および酸素原子の構成比を変化させることで，土壌水分変動を表現した。放射性セシウムが方下浸透することにより空間線量率が低下することが確認され，森林管理による放射性セシウムの方下移行促進の重要性を定量的に示すことができた。

3. 結果および考察

2011年度の表層付近に，多くの放射性核種が付着している状態では，土壌中の水分状態を変化させたモデル結果においても，通常の状態と比べて5%程度の変化率しか見られなかった。一方で，2025年度の深度分布データを用いた際に，土壌中の水分状態を変化させると，通常の状態に比べて，約20%の変化が見られた。

4. 結論

各層ごとに，変化率を見た際に，深度が深いほど減少率が大きくなった。今後，放射性核種の方下移行が進んでいくと考えられているため，土壌水分状態を考慮したモデルの作成や線量測定は必要となると考えられる。

Ge 半導体検出器を用いた山形県内の環境放射能測定の実況報告 2026

Status of the environmental radioactivity measurement in Yamagata Prefecture using Ge semiconductor detector in 2026

山形大学高感度加速器質量分析センター^{*1}, 山形大学大学院理工学研究科^{*2},
山形大学理学部^{*3}, 山形県環境エネルギー部水大気環境課^{*4}, 山形県環境科学研究センター^{*5}

○森谷 透^{*1}, 武田 鳳胤^{*2}, 渡邊 蒼人^{*3}, 増井 翔和^{*3}, 乾 恵美子^{*3},
武山 美麗^{*1}, 伊藤 健^{*4}, 黒沼 光洋^{*5}, 櫻井 敬久^{*3}, 門叶 冬樹^{*1,3}

(Moriya, Toru^{*1}; Hoin Takeda^{*2}; Aoto Watanabe^{*3}; Towa Masui^{*3}; Inui, Emiko^{*2};
Takeyama, Mirei^{*1}; Ito, Takeshi^{*4}; Kuronuma, Mitsuhiro^{*5}; Sakurai, Hirohisa^{*3};
Tokanai, Fuyuki^{*1,3})

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故により、環境中に Cs-137 や Cs-134 などの人工放射性物質が放出され、山形県内においても環境への影響が懸念された。山形大学では 2012 年から山形県と共同で、県内の学校のグラウンドなどから採取した土壌や、河川や湖沼など公共用水域の水及び底質の放射性物質濃度等の調査を行ってきた[1]。

2. 実験方法

土壌および底質試料のサンプリングは、文部科学省の「環境試料採取法」に準じて行った[2]。採取した試料は、105℃の恒温槽で乾燥した後、2 mm メッシュのふるいで篩別し、U8 容器に高さ 50 mm まで充填した。各試料の重量を測定した後、東京大学宇宙線研究所に設置された Ge 半導体検出器および 2024 年 3 月に新たに山形大学に設置された Ge 半導体検出器を用いて放射能濃度を測定した。

3. 実験結果

図 1 に、山形県内の定点 30 地点で採取した 0~5 cm 深の土壌試料中の Cs-137 放射能濃度分布を示す。左図は事故後初期にあたる 2012~2013 年、右図はその約 12 年後にあたる 2023~2025 年の結果である。県内の Cs-137 放射能濃度は全体として減少し、多くの地点で物理学的半減期のみから予想される低下よりも速い減少が確認された。一方で、事故後数年で濃度が上昇した後に減少する地点や、バックグラウンドレベルで推移する地点も見られた。本講演では、福島県の森林外における空間線量率の減衰傾向[3]とも比較し、山形県内の土壌中 Cs-137 放射能濃度の長期変動について報告する。

参考文献

- [1] 伊藤健 他(2014) : 季刊全国環境研会誌(JELA), 39, 147.
[2] 文部科学省(1983) : 放射能測定法シリーズ 16, “環境試料採取法”.
[3] 日下部 一晃 他(2023) : 環境放射能除染学会誌, 11, 15-23.

^{*1} Center for AMS, Yamagata Univ.,

^{*2} Grad. Sch. Science and Engineering, Yamagata Univ.,

^{*3} Faculty of Science, Yamagata Univ.,

^{*4} Water and Air Environ. Div., Environ. and Energy Dept., Yamagata Pref.,

^{*5} Environmental Science Research Center of Yamagata Pref.

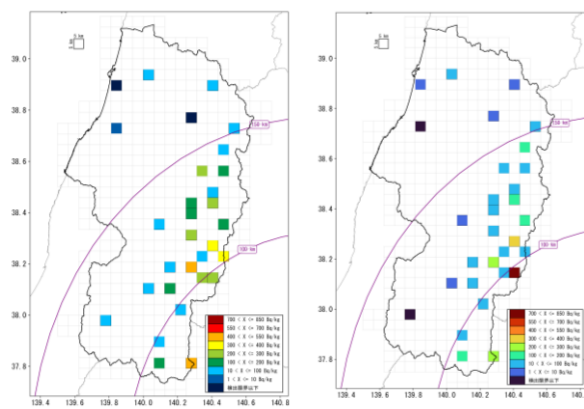


図 1 : (左)2012 年から 2013 年および(右)2023 年から 2025 年に山形県内の定点 30 地点で採取された 0~5 cm 土壌試料中の Cs-137 放射能濃度分布

福島県の帰還困難区域内における空間線量の 15 年間の推移
Fifteen-year trends in ambient dose rate within the difficult-to-return zones in
Fukushima Prefecture

北里大学・獣医放射線研究室^{*1}

○渡邊 小梅^{*1}, 夏堀 雅宏^{*1}, 佐々木 康^{*1}, 指田 元^{*1},
松館 祥子^{*1}, 佐々木 美郁^{*1}, 和田 成一^{*1}, 柿崎 竹彦^{*1}

(WATANABE Koume^{*1}; NATSUHORI Masahiro^{*1}; SASAKI Kou^{*1}; SASHIDA Hajime^{*1};
MATSUDATE Sachiko^{*1}; SASAKI Miku^{*1}; WADA Seiichi^{*1}; KAKIZAKI Takehiko^{*1})

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災後の福島第一原子力発電所事故によって、原子炉内の放射性物質が大量に環境中に放出された。環境中における空間線量率の変化は、物理学的半減期だけでなく風雨などの自然要因による減衰（ウェザリング効果:WE）が生じる。本研究では、汚染が深刻とされる浪江町小丸地区に照準を当て、過去のモニタリングポスト（MP）の空間線量率の推移から、実効半減期および環境半減期(WE 半減期)の推定、降雪等の影響、各放射性物質(¹³¹I、¹³²I、¹³²Te、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs)の空間線量率に与える寄与率の推移について解析を行った。

2. 方法

小丸多目的集会所に設置された MP による線量率（2012 年 4 月 3 日より測定値が公開）の推移を ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs 由来の 2 つの指数項のモデルとして、非線形最小二乗法により実効半減期および WE 半減期を求めた。さらに、震災以降に予想される 15 年間の積算線量および積算線量に対する各放射性物質の寄与率について推定した。また、気象の影響と思われた一時的な線量率の低下について低下率と水の半価層から水の遮蔽能力を推定し、その日の降水量との相関を求めた。

3. 結果および考察

MP 値は 2012 年 4 月 3 日の 30.29 μ Sv/h から 2025 年 4 月 10 日の 4.52 μ Sv/h まで約 13 年間で 1/7 程度低下した。2025 年の 4 月と 5 月には、MP エリアにおける除染活動の影響と考えられる 30~50%程度の空間線量率の低下が見られた。除染前までの推移は二つの指数項からなる二相性の減衰を示した。MP 設置後は ¹³⁴Cs の寄与が大きく、空間線量率は 1.79 年の実効半減期で低下した。一方で、事故から約 40 ヶ月後には ¹³⁴Cs より ¹³⁷Cs の寄与が大きくなり、空間線量率は 9.17 年の実効半減期で低下した。以上のことから、WE 半減期は、¹³⁴Cs で 13.24 年、¹³⁷Cs で 13.18 年となった。空間線量率に対する放射性核種の寄与率については、事故当初はヨウ素やテルルといった短命核種が 90%程度を占めていたが、これらの影響は約 60 日後には 1%以下となり、2026 年 3 月 15 日時点では長命核種である ¹³⁷C が 98%、¹³⁴Cs が 2%と推定された。15 年間の積算線量(2011 年 3 月 15 日~2026 年 3 月 15 日)は約 1600mSv、この積算線量に対する放射性核種の寄与率はセシウムが 95%を占めていると推定された。また、特定の時期の一過性の線量率の低下の要因として、積雪によるスカイシャインの低下が考えられた。

4. 結論

空間線量率の経時的変化を解析することは、その地区で放牧飼育される黒毛和牛の外部被ばく線量推定の根拠となる。また、将来的な線量率推移を把握することで、避難指示解除や住民帰還を検討する際の一つの目安として活用できる可能性がある。

^{*1} Laboratory of Veterinary Radiology, School of Veterinary Medicine, Kitasato University

Young Scientist Award Nominee

📅 Thu. Jul 9, 2026 2:15 PM - 4:35 PM JST | Thu. Jul 9, 2026 5:15 AM - 7:35 AM UTC | 🏢 B (Conference Room Saturn)

放射線計測1・放射能測定2

Chairman: Yasushi Sato (AIST), Kenji Shimazoe (The University of Tokyo)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[2B02] Construction of a Source Model for Photon Counting CT to Evaluate Patient Organ Dose

○ Yuzuki Saito¹, Yusuke Koba², Weishan Chang¹, Katsunuma Yasushi³, Yoshida Ryoichi³, Hirai Yuta¹, Shinsho Kiyomitsu¹ (1. Tokyo Metropolitan University, 2. QST, 3. Tokai University Hospital)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[2B03] Evaluation of Nonlinear Scintillation Response of a Large-Volume GAGG and Advancement of Background Modeling for Double Beta Decay Searches

○ Takumi Omori¹ (1. Univ. of Tsukuba)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

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

[2B04] Rapid hydrothermal synthesis of ZrO₂ nanoparticles and application to liquid scintillators

○ Akito Watanabe¹, Akira Yoko², Gimyeong Seong³, Takaaki Tomai⁴, Tadafumi Adschiri⁵, Yamato Hayashi⁶, Hiroki Kawamoto⁶, Yutaka Fujimoto⁶, Masanori Koshimizu⁷, Keisuke Asai⁶ (1. U. Tokyo, 2. SRIS, Tohoku Univ., 3. U. Suwon, 4. FRIS, Tohoku Univ., 5. AIMR, Tohoku Univ., 6. Tohoku Univ., 7. Shizuoka Univ.)

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

[2B05] Measurement of ⁶³Cu(n, p)⁶³Ni reaction cross section (4) Evaluation of copper-induced quenching effects in liquid scintillation counting

○ Shunya Nakasone¹, Megumi Fukai¹, Akira Yunoki¹, Asako Shimada², Taiki Yoshii¹, Kengo Shibuya¹, Hirotaka Sakai¹, Taro Shimada² (1. NRA of Japan, 2. JAEA)

3:15 PM - 3:20 PM JST | 6:15 AM - 6:20 AM UTC

break

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

3:20 PM - 3:35 PM JST | 6:20 AM - 6:35 AM UTC

[2B06] Assessment of ^{177m}Lu Impurity level in ¹⁷⁷Lu Produced by the Direct Production Route

○ Tsubasa Fukui¹, Haru Maegawa¹, Yuya Soeta¹, Takahiro Yamada^{1,2} (1. Grad.Sch.Sci.Eng., Kindai Univ., 2. AERI, Kindai Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

3:35 PM - 3:50 PM JST | 6:35 AM - 6:50 AM UTC

[2B07] Influence of ^{177m}Lu Impurity on Activity Measurement of Directly Produced ¹⁷⁷Lu by 4πβ-4πγ Coincidence Counting

○ Haru Maegawa¹, Tsubasa Fukui¹, Yuya Soeta¹, Takahiro Yamada^{1,2} (1. Grad. Sch. Sci. Eng., Kindai Univ., 2. AERI, Kindai Univ.)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

3:50 PM - 4:05 PM JST | 6:50 AM - 7:05 AM UTC

[2B08] Construction of a Detection Efficiency Evaluation Framework for Non-Destructive Radioactivity Measurement

(1) Analysis of the Probabilistic Structure of Detection Efficiency Based on 3D Geometry Reconstruction and Radiation Transport Simulation

○Ren Ichikawa¹, Riku Kaneko¹, Takahiro Yamada^{1,2}, Akiko Hachisuka³, Yohei Kataoka³ (1. Graduate School of Science and Engineering, Kindai Univ, 2. Atomic Energy Research Institute, Kindai Univ, 3. National Institute of Health Sciences)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

4:05 PM - 4:20 PM JST | 7:05 AM - 7:20 AM UTC

[2B09] Construction of a Detection Efficiency Evaluation Framework for Non-Destructive Radioactivity Measurement

(2) Modeling of a Non-Destructive Radioactivity Measurement System and Deterministic Evaluation of Detection Efficiency Variation for a Whole Pheasant Sample

○Riku Kaneko¹, Ren Itikawa¹, Takahiro Yamada^{1,2}, Akiko Hachisuga³, Yohei Kataoka³ (1. Graduate School of Science and Engineering, Kindai Univ, 2. Atomic Energy Research Institute, Kindai Univ, 3. National Institute of Health Sciences)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

4:20 PM - 4:35 PM JST | 7:20 AM - 7:35 AM UTC

[2B10] Large-Scale High-Resolution Spatial Distribution Measurement of Neutron and Photon Radiation Fields in a High-Energy Electron Accelerator Room

— Application to Radiation Damage Risk Assessment of LED Lighting —

○Kiyokazu Tsugane¹, Hiroshi Matsumura¹, Akihiro Toyoda¹, Go Yoshida¹, Hajime Nakamura¹, Eisuke Watanabe¹, Eunji Lee¹, Takahiro Oyama¹, Hiroshi Iwase¹, Madoka Tanaka¹, Ngoc Thien Bui¹ (1. KEK)

フォトンカウンティング CT による患者臓器被ばく線量評価のための線源モデルの構築 Study of a Source Model of Photon-counting CT for Evaluating Organ Exposure Dose

東京都立大学^{*1}, 量子科学技術研究開発機構^{*2}, 東海大学医学部附属病院^{*3}

○齊藤 柚季^{*1}, 古場 裕介^{*2}, 張 維珊^{*1}, 勝沼 泰^{*3}, 吉田 亮一^{*3}, 平井 悠大^{*1}, 眞正 浄光^{*1}

(SAITO, Yuzuki^{*1}; KOBAYASHI, Yusuke^{*2}; Chang, Weishan^{*1}; KATSUNUMA, Yasushi^{*3};

YOSHIDA, Ryoichi^{*3}; HIRAI, Yuta^{*1}; SHINSHO, Kiyomitsu^{*1})

1. はじめに

日本は他国に比べて医療被ばくが多く、特に CT 検査による被ばくが高い。2019 年に患者線量管理が義務化されてから、国内で医療被ばく低減への関心が高まっている。フォトンカウンティング CT(PCCT)が製品化され数年が経ち、PCCT を導入する医療機関も増えている。PCCT は従来のエネルギー積分型検出器 CT(EIDCT)と比較して画質が良く、CTDIvol は低いと報告されている。しかし、人体に与える影響を示す値である実効線量での比較は行われていない。そこで、本研究では PCCT を使用した CT 検査の臓器線量と実効線量を計算し、EIDCT と比較した。また、今までに取得した EIDCT の線源データと PCCT の線源データを比較した。

2. 方法

PCCT の X 線管を上部に固定し、半導体検出器を使用して X 線束の吸収線量と Al 半価層の水平方向の分布を測定した。測定結果から線源モデルを作成し線源モデルと日本人ボクセルファントムを使用してモンテカルロ計算を行った。計算結果から PCCT で撮影した場合の臓器線量データベースを作成し、CTDIvol あたりの臓器線量を計算した。既に作成されている EIDCT の 29 種類の臓器線量データベースから EIDCT で撮影した場合の CTDIvol あたりの臓器線量を計算し、1 種類の PCCT と比較した。

3. 結果および考察

CTDIvol あたりの臓器線量は PCCT のほうがわずかに低くなる部分があるが、明確な差は確認できなかった。先行研究では、同等の画質で撮影する場合、PCCT での CT 検査の CTDIvol は EIDCT での CT 検査の 1/4 から 1/2 になると報告されている。このことから、臓器線量においても、EIDCT より PCCT のほうが大幅に線量が低減されと考えられる。両者の線源データを比較すると、対して線量分布の広がり性を示す FWHM と X 線中心の総ろ過に EIDCT と PCCT で大きな違いはなく、これが CTDIvol あたりの臓器線量に明確な差がない理由と推察できる。

4. 結論

本研究では PCCT と EIDCT の臓器線量と線源データを比較した。CTDIvol あたりの臓器線量は PCCT と EIDCT で明確な差がなかったことから、同等の画質で撮影した場合、PCCT の臓器線量は EIDCT より大幅に低減すると考えられる。また、線源データを比較した結果、PCCT と EIDCT は異なる線源を使用していることがわかった。今後は本研究で使用した CT 装置以外の PCCT や EIDCT の臓器線量データベースと線源データを取得し、より詳細な比較を行う。

^{*1} Graduate School of Human Health Sciences, Tokyo Metropolitan University

^{*2} Institute of Radiological Sciences, National Institutes for Quantum Science and Technology

^{*3} Department of Radiology, Tokai University Hospital

二重ベータ崩壊探索に向けた大型 GAGG シンチレータの発光特性評価と 背景事象モデルの高度化

Evaluation of Scintillation Properties and Improvement of Background Modeling for Large-Volume GAGG Scintillator toward Double Beta Decay Search

筑波大^{*1}, ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社^{*2}, 東北大^{*3}, 株式会社 C&A^{*4},
徳島大^{*5}, 帯広畜産大^{*6}, 大阪大^{*7}, 福井大^{*8}

○大森 匠^{*1}, 飯田 崇史^{*1}, 壽賀 洋祐^{*2}, 吉野 将生^{*3,4}, 伏見 賢一^{*5}, 丸藤(寺島) 亜寿紗^{*6,3},
日野原 伸生^{*1}, 細川 佳志^{*3}, 石上 元直^{*1}, 鎌田 圭^{*3,4}, 岸本 忠史^{*7}, 水越 慧太^{*3},
中島 恭平^{*8}, 庄子 育宏^{*4}

(OMORI, Takumi^{*1}; IIDA, Takashi^{*1}; SUGA, Yosuke^{*2}; YOSHINO Masao^{*3,4};
FUSHIMI Ken-Ichi^{*5}; GANDO Azusa^{*6,3}; HINOHARA Nobuo^{*1}; HOSOKAWA Keishi^{*3};
ISHIGAMI Motonao^{*1}; KAMADA Kei^{*3,4}; KISHIMOTO Tadafumi^{*7}; MIZUKOSHI Keita^{*3};
NAKAJIMA Kyohei^{*8}; SHOJI Yasuhiro^{*4}

1. はじめに

PIKACHU 実験では大型 GAGG(Ce:Gd₃Al₂Ga₃O₁₂)シンチレータを用いて, ¹⁶⁰Gd の二重ベータ崩壊の発見を目指している^{*1}. 探索は, GAGG で測定したエネルギースペクトルを背景事象および信号モデルによって再現することで行う. したがって, 実験の高感度化には高精度な背景事象モデルが不可欠であり, そのためには GAGG の詳細な発光特性の理解が重要となる. 本研究では, 特に GAGG の発光量非線形応答に着目し, その定量的理解と背景事象モデルの高度化を目的とする.

2. 方法

本研究では, β 線に対する非線形応答を Compton Coincidence Technique (CCT)^{*2} を用いて評価した. CCT では GAGG に単色 γ 線を入射し, Compton 散乱した γ 線を Ge 検出器で観測した(図 1). GAGG における入射, 散乱 γ 線のエネルギーを E_γ , E_{Ge} とすると, GAGG 内の反跳電子エネルギーは $E_\gamma - E_{Ge}$ で表される. 一方, GAGG が測定するエネルギー E_{GAGG} とすると, 非線形性 $nPR = E_{GAGG}/E_\gamma - E_{Ge}$ として求めることができる. 本研究では, $E_\gamma=1274$, 2614 keV を用い, 複数の散乱角(θ)で測定することで $50\sim2700$ keV の広いエネルギー範囲で非線形性を評価した. また, γ 線に対する非線形性も ²²Na, ⁶⁰Co, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs, ²⁰⁸Tl, ²⁴¹Am の光電ピーク位置から評価した.

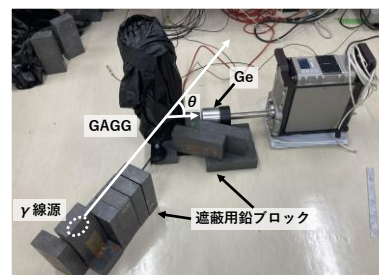


図 1:測定セットアップ

3. 結果および考察

図 2 に, 反跳電子エネルギー(横軸)に対する nPR (縦軸)を示す. 丸点および四角点は, それぞれ β 線および γ 線に対する nPR を表している. 測定の結果, γ 線に対する nPR は β 線の場合よりも小さく, γ 線に対してより強い非線形性を示すことが明らかとなった. さらに, それぞれの nPR を関数でフィットし, 背景事象モデルへ組み込んだところ, nPR 補正をしないモデルと比較して, 測定データの再現性が 5~6 倍程度向上した.

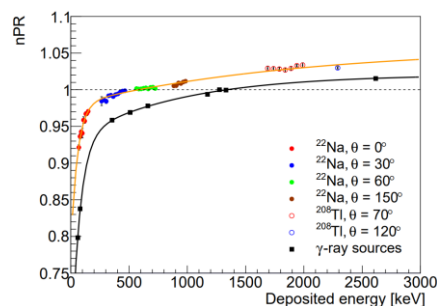


図 2:GAGG における反跳電子エネルギーに対する非線形性

4. 結論

本研究では, CCT および各種 γ 線源を用いて, GAGG の β 線および γ 線に対する非線形応答を詳細に評価した. その結果を二重ベータ崩壊探索における事象背景モデルへ組み込むことで, 測定データの再現性が大きく向上し, 実験の高感度化に貢献した. 本研究で確立した測定手法は, 今後 PIKACHU 実験で開発される GAGG シンチレータの非線形評価への活用が期待される.

^{*1} T. Omori et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 2024 (2024) 033D01. ^{*2} P. B. Ugorowski et al., Nucl. Instr. and Meth. A 615 (2010) 182-187.

ZrO₂ ナノ粒子の急速水熱合成および液体シンチレータへの応用

Rapid hydrothermal synthesis of ZrO₂ nanoparticles and application to liquid scintillators

東京大学大学院工学系研究科^{*1}, 東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター^{*2}, The University of Suwon^{*3}, 東北大学 学際科学フロンティア研究所^{*4}, 東北大学材料科学高等研究所^{*5}, 東北大学大学院工学研究科^{*6}, 静岡大学電子工学研究所^{*7}
○渡邊 晶斗^{*1}, 横 哲^{*2}, 成 基明^{*3}, 筈居 高明^{*4}, 阿尻 雅文^{*5}, 林 大和^{*6}, 川本 弘樹^{*6}, 藤本 裕^{*6}, 越水 正典^{*7}, 浅井 圭介^{*6}
(WATANABE, Akito^{*1}; YOKO, Akira^{*2}; SEONG, Gimyeong^{*3}; TOMAI, Takaaki^{*4}; ADSCHIRI, Tadafumi^{*5}; HAYASHI, Yamato^{*6}; KAWAMOTO, Hiroki^{*6}; FUJIMOTO, Yutaka^{*6}; KOSHIMIZU, Masanori^{*7}, ASAI, Keisuke^{*6})

1. はじめに

有機シンチレータは、特定の放射線と相互作用する金属元素の添加によって検出特性を制御可能であり、近年、ニュートリノや X・γ 線、中性子等の多くの放射線検出器の候補として研究されている。著者のグループは、これまでに、ニュートリノを伴わない二重 β 崩壊探索実験に用いられる検出器として ⁹⁶Zr (二重 β 崩壊の候補同位体) が添加された有機液体シンチレータに注目してきた。金属種は通常、有機金属錯体の形態で添加されるものの、これらの化学種はシンチレータの発光を再吸収することから、金属添加濃度の上昇に伴う有機シンチレータの消光が大きな問題となる。本研究では、代替する材料として、シンチレータの発光波長で透明な酸化物ナノ粒子を分散させた液体シンチレータの開発を行う。特に、二重 β 崩壊探索実験や γ 線検出器等の用途では、大量のナノ粒子の分散が要求されるため、高収率で大量生産が可能な合成プロセスの利用が必須である。そこで本研究では、急速昇温型超臨界水熱プロセスによって ZrO₂ ナノ粒子分散液を開発し、当該材料の液体シンチレータとしての応用を試みた。

2. 方法

0.1 M の 2 エチルヘキサン酸ジルコニウム, 0.4 M の 6 フェニルヘキサン酸を 3.75 ml の超純水とともに 5 ml のハステロイ管に封入し, 300 °C, 10 min. の条件で水熱反応を実施した。得られた生成物をエタノールで洗浄し, 凍結乾燥を施すことで, ナノ粒子粉末状試料を得た。得られたナノ粒子をトルエンに分散させ, 蛍光体である DPO, POPOP を添加することで, ナノ粒子添加液体シンチレータを作製した。

3. 結果および考察

合成した ZrO₂ ナノ粒子はトルエンに対する優れた溶解性を示しており, 20 wt% 以上の濃度においても透明性を保ったままトルエン中に分散した。0, 2.5, 5, 10, および 20 wt% の濃度でナノ粒子が分散した液体シンチレータを作製し, ¹³⁷Cs 線源を用いて波高スペクトルの測定を行うことで, シンチレータの発光量およびエネルギー分解能を推定した。発光量は各々 12000, 11000, 9900, 8500, および 5500 photons/MeV, エネルギー分解能は各々 27, 21, 17, 18, および 25% となり, 10 wt% のナノ粒子を添加した時点においても優れた発光量とエネルギー分解能を両立した。

4. 結論

本研究では, 有機溶媒に高濃度分散する酸化物ナノ粒子を高速で, 精密に合成するプロセスを開発しており, これはナノ粒子分散シンチレータの実用化を大きく加速しうる。また, ナノ粒子分散材料を用いることで, 消光を大きく抑制できることも判明した。

^{*1} Sch. Eng., U. Tokyo, ^{*2} SRIS, Tohoku Univ., ^{*3} Dept. Environ. Energy Eng., Univ. Suwon, ^{*4} FRIS, Tohoku Univ., ^{*5} WPI-AIMR, Tohoku Univ., ^{*6} Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ., ^{*7} RIE, Shizuoka Univ.

$^{63}\text{Cu}(\text{n,p})^{63}\text{Ni}$ の反応断面積の測定

(4) 液体シンチレーション測定における銅に起因するクエンチング影響の評価

Measurement of $^{63}\text{Cu}(\text{n,p})^{63}\text{Ni}$ reaction cross section

(4) Evaluation of copper-induced quenching effects in liquid scintillation counting

原子力規制庁^{*1}, 日本原子力研究開発機構^{*2}○仲宗根 峻也^{*1}, 深井 恵^{*1}, 柚木 彰^{*1}, 島田 亜佐子^{*2},
吉居 大樹^{*1}, 澁谷 憲悟^{*1}, 酒井 宏隆^{*1}, 島田 太郎^{*2}(NAKASONE, Shunya^{*1}; FUKAI, Megumi^{*1}; YUNOKI, Akira^{*1}; SHIMADA, Asako^{*2};YOSHII, Taiki^{*1}; SHIBUYA, Kengo^{*1}; SAKAI, Hirotaka^{*1}; SHIMADA, Taro^{*2})

1. はじめに

原子力発電所の廃止措置の進展に伴い、今後ケーブルもクリアランスの対象となることが予想されている[1]。ケーブルに使用されている銅の放射化で生じる ^{63}Ni (β 線放出核種、半減期 100.1 年) は、放射能濃度評価上重要である。 ^{63}Ni は純 β 核種であることから、その放射能濃度はケーブルの使用履歴に基づく放射化計算で評価されることが見込まれる。しかしながら、熱中性子領域における $^{63}\text{Cu}(\text{n,p})^{63}\text{Ni}$ の反応断面積は、評価済み核データライブラリ間で約 10 倍もの違いがあることが指摘されている[1]。このため、原子力規制庁では、放射能濃度評価の妥当性確認のため、熱中性子領域における $^{63}\text{Cu}(\text{n,p})^{63}\text{Ni}$ の反応断面積の評価方法に関する研究を実施している[2][3][4]。本研究では、液体シンチレーションカウンタ（以下「LSC」という。）を用いて、銅試料（1 個当たりの質量が 0.7 g のペレット）に中性子照射することで生成した ^{63}Ni の放射能を測定して反応断面積を評価する。これには、銅試料を酸で溶解する工程があるため、液体シンチレーションカクテル（以下「測定用カクテル」という。）の酸濃度が LSC を用いた通常の測定よりも高く、さらに銅が多く含まれる状況での測定となる。このため、クエンチングの影響が強く現れることで、計数効率 (s^{-1}/Bq) が低くなることが懸念される。これまでに、酸濃度及び液体シンチレータ量に対する計数効率 (s^{-1}/Bq) の依存性について検討しており[4]、今回は測定溶液中の銅が計数効率 (s^{-1}/Bq) に与える影響を評価した結果について報告する。

2. 方法

測定用カクテルは、溶液 3.6 mL 及び液体シンチレータ 16.4 mL の割合で調製した。溶液 3.6 mL は、銅試料を硝酸又は混酸（硝酸＋硫酸）で溶解した場合を想定し、溶液 3.6 mL に対して硝酸濃度 0.7-2 mol/L、硫酸濃度 1 mol/L、銅濃度 0-53 mg とした。液体シンチレータには、Ultima Gold LLT（以下「LLT」という。）又は Ultima Gold AB（以下「AB」という。）を用いた。この測定用カクテルに、 ^{63}Ni (1.52 ± 0.04 kBq/g, Eckert&Ziegler Isotope Products 社製標準溶液) をそれぞれに約 180 Bq 加え、測定は、Tri-Carb 3110TR（Rivvity 社製）を用いて 100 分間測定し、それぞれの試料に対する計数効率 (s^{-1}/Bq) を比較した。

3. 結果および考察

AB の計数効率 (s^{-1}/Bq) は、溶液中の銅の量が 0 mg から 53 mg に増加すると、66%から 50%に低下した。LLT の計数効率 (s^{-1}/Bq) は、溶液中の銅の量が 0 mg から 30 mg までは減少傾向（65%から 52%）を示したが、53 mg（銅ペレット 1 個を溶かして得られる溶液に含まれる量）では増大し、銅を含まない場合と同程度の計数効率（62%）を示した。各条件における検出下限は、AB では 0.011-0.013 Bq/mL、LLT では 0.011-0.015 Bq/mL であった。熱中性子領域の反応断面積は、既存核データライブラリの最小値よりも小さい値を設定し、熱中性子束と照射時間は本研究で用いた照射装置の参考値を用いて照射銅ペレット 1 個当たりの ^{63}Ni 放射能濃度を評価した結果は 0.53 Bq/mL であった。上記の検出下限と比較して十分に大きいことから、本測定条件下において照射試料の放射能が検出可能であると評価された。

4. 結論

溶液中の銅の含有割合に対する計数効率の依存性について把握することができ、本手法が $^{63}\text{Cu}(\text{n,p})^{63}\text{Ni}$ の反応断面積を評価するための放射能測定手法として有効であることが示された。

本講演は、原子力規制庁と産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構及び東京都市大学との共同研究「放射線測定及び質量分析に係る測定の信頼性確保に関する研究」の成果の一部である。

[1] Yamanishi *et al.*, JAEA-Conf 2020-001, 217-220 (2020)

[2] 仲宗根ら, 第 61 回アイソトープ・放射線研究発表会, 3B01-03-01 (2024)

[3] 深井ら, 第 62 回アイソトープ・放射線研究発表会, 2C12-14-01 (2025)

[4] 仲宗根ら, 第 62 回アイソトープ・放射線研究発表会, 2C12-14-02 (2025)

^{*1} Nuclear Regulation Authority^{*2} Japan Atomic Energy Agency

直接法生成による ^{177}Lu における不純物 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 含有率の評価Assessment of $^{177\text{m}}\text{Lu}/^{177}\text{Lu}$ Activity Ratio in ^{177}Lu Produced by the Direct Production Route近畿大学大学院総合理工学研究科¹, 近畿大学原子力研究所²○福井 飛翔¹, 前川 羽瑠¹, 添田 悠也¹, 山田 崇裕^{1,2}FUKUI, Tsubasa¹; MAEGAWA, Haru¹; SOETA Yuya¹; YAMADA, Takahiro^{1,2}

1. はじめに

直接法により生成した ^{177}Lu (半減期: 6.64 d) には、生成過程に起因して $^{177\text{m}}\text{Lu}$ が副生成物として含有される。 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ は半減期が 160.4 d と長く、さらに ^{177}Lu と同一又は近接したエネルギーの γ 線を放出するため、直接法生成 ^{177}Lu の核種純度評価及び γ 線スペクトロメトリによる放射能評価において考慮すべき不純物核種である。本研究では、Ge 検出器を用いた γ 線スペクトロメトリにより、直接法生成 ^{177}Lu に含まれる $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の定量評価について検討した。

2. 方法

本研究では、JRR3 において直接法により生成された ^{177}Lu 溶液を Ge 検出器からの距離 25 cm の位置に設置し、 γ 線スペクトルを取得した。1 回の測定時間は 10,000 s とし、同一試料に対して連続測定を実施した。得られたスペクトルから $^{177\text{m}}\text{Lu}/^{177}\text{Lu}$ 放射能比を算出するため、まず、 ^{177}Lu の γ 線とは重ならず、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ を単独での評価可能な γ 線ピークを用いて $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の放射能 A_m を算出した。次に、 $^{177}\text{Lu}+^{177\text{m}}\text{Lu}$ 混合ピークについて $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の寄与を差し引くことで、 ^{177}Lu の放射能 A_g を算出した。さらに、連続測定により得られた $^{177}\text{Lu}+^{177\text{m}}\text{Lu}$ 混合ピーク面積の経時変化を用い、 ^{177}Lu 成分及び $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 成分を考慮したフィッティングによる $^{177\text{m}}\text{Lu}/^{177}\text{Lu}$ 放射能比評価も試みた。なお、本報告で示す放射能比は、測定開始時点における値として評価した。

3. 結果及び考察

図 1 に、測定開始時及び ^{177}Lu が十分に減衰した後に取得した γ 線スペクトルを示す。測定開始時の γ 線スペクトルでは、 ^{177}Lu の主要な γ 線ピークである 112.9 keV と 208.3 keV が確認された。一方、 ^{177}Lu 減衰後のスペクトルにおいても残存するピークが確認され、ピークエネルギー及び計数率の減衰挙動からこれらは $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 由来の γ 線ピークであることを確認した。

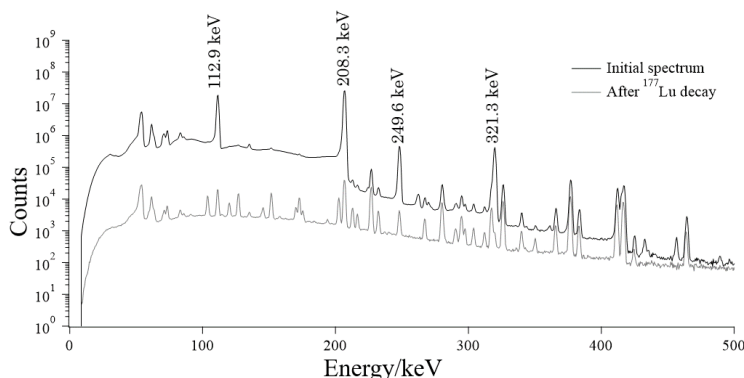


図 1 : 直接法生成 ^{177}Lu 試料の測定開始時及び ^{177}Lu 減衰後における γ 線スペクトル

$^{177\text{m}}\text{Lu}$ 由来の単独ピークを解析した結果、

$^{177\text{m}}\text{Lu}$ の放射能 A_m は 50.3 ± 0.06 kBq であった。この値を用いて、 $^{177}\text{Lu}+^{177\text{m}}\text{Lu}$ 混合ピークから $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の寄与を差し引くことで、 ^{177}Lu の放射能 A_g 及び放射能比 A_m/A_g を算出した。その結果、112.9 keV における A_g は 1.73 ± 0.001 MBq、 A_m/A_g は 2.91%、208.3 keV における A_g は 1.91 ± 0.001 MBq、 A_m/A_g は 2.63% であった。また、混合ピーク面積の経時変化に対してフィッティングを行った結果、112.9 keV における A_g は 1.76 MBq、 A_m は 43.3 kBq、 A_m/A_g は 2.46% であり、208.3 keV における A_g は 1.91 MBq、 A_m は 50.8 kBq、 A_m/A_g は 2.66% であった。208.3 keV では、単独ピークを用いた評価とフィッティングによる評価が良好に一致した。一方、112.9 keV では両手法の間に差が見られたため、今後さらに検討する必要がある。

4. 結論

本研究では、Ge 検出器による γ 線スペクトロメトリを用いて、直接法生成 ^{177}Lu 中の $^{177\text{m}}\text{Lu}/^{177}\text{Lu}$ 放射能比を評価した。 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 単独ピーク及び $^{177}\text{Lu}+^{177\text{m}}\text{Lu}$ 混合ピーク解析により、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の寄与を考慮した ^{177}Lu 放射能を算出した。さらに、混合ピーク面積の経時変化を用いた $^{177\text{m}}\text{Lu}/^{177}\text{Lu}$ 放射能比評価の可能性について確認した。関数フィッティングを行うことで、各成分における放射能及び放射能比を算出した。今後、不確かさ評価を精査し、本手法の適用性及び妥当性について検討する。

¹ Graduate School of Science and Engineering, Kindai University

² Atomic Energy Research Institute, Kindai University

直接法生成 ^{177}Lu の $4\pi\beta$ - $4\pi\gamma$ 同時計数法による放射能測定に対する
不純物核種 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の影響評価
Influence of $^{177\text{m}}\text{Lu}$ Impurity on Activity Measurement of Directly Produced ^{177}Lu
by $4\pi\beta$ - $4\pi\gamma$ Coincidence Counting

近畿大学大学院総合理工学研究科*1, 近畿大学原子力研究所*2

○前川 羽瑠*1, 福井 飛翔*1, 添田 悠也*1, 山田 崇裕*1,2

(MAEAGWA, Haru*1; FUKUI, Tsubasa*1; SOETA, Yuya*1; YAMADA, Takahiro*1,2)

1. はじめに

直接法により ^{177}Lu を生成する場合、長半減期の核異性体である $^{177\text{m}}\text{Lu}$ が不純物として副生成される。 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ は ^{177}Lu の主要 γ 線である 112.9 keV 及び 208.3 keV と同一又は近接したエネルギーの γ 線を放出するため $4\pi\beta$ - $4\pi\gamma$ 同時計数測定では、その寄与を分離することに困難がある。さらに、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ は複雑なカスケード γ 線放出及び内部転換を伴うため、 γ チャンネルだけでなく、 β チャンネル及び同時計数チャンネルにも影響を与える可能性がある。本研究では、直接法生成 ^{177}Lu の $4\pi\beta$ - $4\pi\gamma$ 同時計数測定における $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の各観測量への寄与について検討した。

2. 方法

^{177}Lu 溶液を厚さ 1 mm のプラスチックシンチレータ上に秤量滴下し、乾燥後、同じ厚さのシンチレータで挟み込むことで $4\pi\beta$ 検出器とした。この検出器を光電子増倍管と組み合わせ、さらに 5 インチの井戸型 NaI(Tl) 検出器の井戸部に挿入することで、 $4\pi\beta$ - $4\pi\gamma$ 同時計数測定を行った。 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の混入率は γ 線スペクトロメトリにより評価した。 γ ゲートは Gate1(112.9 keV)、Gate2(208.3 keV) に設定した。 γ チャンネルへの $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 寄与は、各ゲートに入る $^{177\text{m}}\text{Lu}$ γ 線の放出割合を合計し、対応する ^{177}Lu の主要 γ 線放出割合と比較することで評価した。同時計数チャンネルについては、 γ ゲート内に含まれる $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 由来成分が同じ壊変に伴う内部転換電子等と同時計数を形成し得ると考え、 γ チャンネルで評価した不純物寄与率に基づく一次近似的な補正を検討した。 β チャンネルについては、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ に伴う内部転換電子が高効率で検出されると仮定し、放射能比に基づく一次近似的な寄与評価を行った。

3. 結果及び考察

γ 線スペクトルでは、 ^{177}Lu の主要ピークである 112.9 keV 及び 208.3 keV 付近に、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ に由来する γ 線成分が確認された。 γ 線スペクトロメトリにより求めた測定時の $^{177\text{m}}\text{Lu}/^{177}\text{Lu}$ 放射能比は 0.47% であった。一方、核データに基づき各 γ ゲート内に入る $^{177\text{m}}\text{Lu}$ γ 線の放出割合を合計し、対応する ^{177}Lu の主要 γ 線放出割合と比較したところ、放出割合比は Gate1(112.9 keV) で 9.0、Gate2(208.3 keV) で 11.3 となった。従って、放射能比は 1% 未満であっても、 γ チャンネルにおける $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の寄与は各ゲートで約 4-5% 程度になり得ることが分かった。

β チャンネルについては、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ に伴う内部転換電子が 2 枚のプラスチックシンチレータにより高効率で検出されると仮定すると、その寄与は一次近似的に放射能比と同程度、すなわち約 0.5% と見積もられる。さらに、 γ ゲート内に含まれる $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 由来成分は内部転換電子等と同時計数を形成し得るため、 γ チャンネルのみを補正するだけでは同時計数法における影響を十分に評価できない可能性がある。以上より、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の影響は単に放射能比 0.47% として扱えるものではなく、 γ ゲート内に入る γ 線放出割合により γ チャンネルでは数% 程度まで増幅される可能性があること、また β 、 γ 及び同時計数の各観測量を整合的に扱う必要があることが示唆された。

4. 結論

直接法生成 ^{177}Lu に含まれる $^{177\text{m}}\text{Lu}$ 不純物について、 $4\pi\beta$ - $4\pi\gamma$ 同時計数測定における β 、 γ 及び同時計数チャンネルへの影響を整理し、一次近似に基づく補正方針を検討した。その結果、 $^{177\text{m}}\text{Lu}$ の影響は放射能比のみで評価できず、 γ ゲート条件、内部転換電子の寄与及び同時計数応答に依存する可能性が示された。今後は、複数試料に対して本補正手法を適用し、ゲート条件ごとの補正量及び効率外挿により得られる放射能への影響を定量的に評価する予定である。

*1 Graduate School of Science and Engineering, Kindai University

*2 Atomic Energy Research Institute, Kindai University

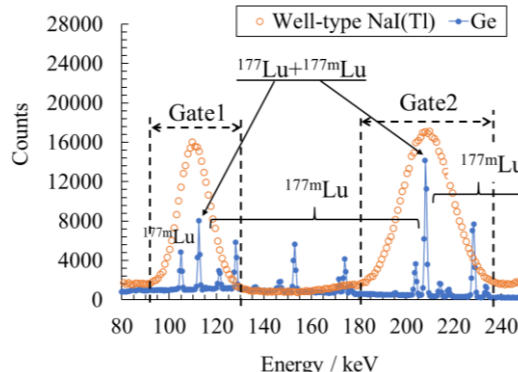


図1 γ 線スペクトルとゲート条件

非破壊式放射能測定における検出効率評価体系の構築

(1) 三次元形状再構築と放射線輸送計算に基づく検出効率の確率構造解析

Construction of a Detection Efficiency Evaluation Framework for Non-Destructive Radioactivity Measurement

(1) Analysis of the Probabilistic Structure of Detection Efficiency Based on 3D Geometry Reconstruction and Radiation Transport Simulation

近畿大学大学院総合理工学研究科^{*1}, 近畿大学原子力研究所^{*2}, 国立医薬品食品衛生研究所^{*3}○市川 廉^{*1}, 兼子 凌徳^{*1}, 山田 崇裕^{*1,2}, 蜂須賀 暁子^{*3}, 片岡 洋平^{*3}ICHIKAWA, Ren^{*1}; KANEKO, Riku^{*1}; YAMADA, Takahiro^{*1,2}; HACHISUKA, Akiko^{*3}; KATAOKA, Yohei^{*3}

1. はじめに

非破壊式放射能測定では、試料を破碎・均質化せずに測定するため、試料の形状・配置が検出効率に影響を及ぼす。実試料は不定形な上、測定毎に生じる試料配置の変化が測定値の不確かさ要因となるが、その影響を体系的に評価する手法は十分に確立されていない。本研究では、3D スキャナによる試料形状データ、物理演算エンジンによる配置生成及び放射線輸送計算を統合したパイプラインを構築し、非破壊式測定における検出効率のばらつきを分布として評価する計算体系の構築を目的とした。

2. 方法

対象試料としてザル詰めのシイタケを想定した。3D スキャナにより取得したシイタケの形状データを計算用モデルに変換し、CAD で作成したザル形状モデルとともに物理演算環境に導入した。シイタケモデルを自由落下・積層させることで、現実的に生じる配置体系を多数生成した(図1)。各配置体系について試料中に ^{137}Cs が均一に分布すると仮定し、PHITS により検出効率を算出した。また、試料形状データ取得、配置体系生成、PHITS 入力ファイル作成、計算実行及び結果集計を一連の処理として接続し、多数の配置体系を効率的に評価可能な計算パイプラインを構築した。

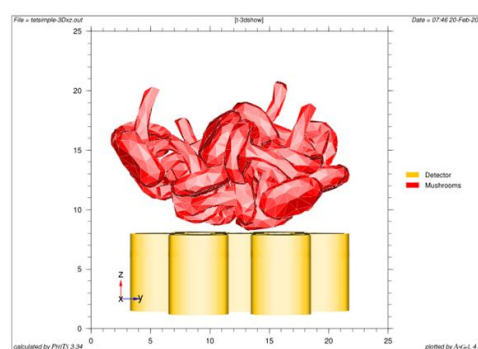


図1 物理演算により生成したシイタケ積層体系の PHITS 計算体系への導入例

3. 結果および考察

構築したパイプラインにより、シイタケの配置が異なる複数の測定体系について検出効率を一括して評価できることを確認した。15 個のシイタケを用いた条件では、配置毎に算出した検出効率の平均値は 0.0273、配置の違いに起因する標準不確かさは 0.0011 であった。また、個数を増加させると変動係数が低下する傾向が認められ、複数個体をまとめて測定することにより、個々の配置差の影響が平均化されることが示唆された。さらに、検出効率が高い配置及び低い配置を抽出して可視化することにより、過大評価、過小評価につながる配置条件を確認出来た。

4. 結論

3D 形状構築、物理演算による試料配置生成及び PHITS による放射線輸送計算を統合することで、非破壊測定における検出効率のばらつきを分布として評価する手法を構築した。本手法により不定形試料の配置に起因する検出効率の変動を定量的に評価できる可能性が示された。今後はファントム試料を用いた実測検証及び試料内部の放射能不均一分布の導入を進め、現実の測定条件により対応した不確かさ評価手法として高度化を図る。

謝辞 本研究は厚生労働科学研究費 23KA1006 及び 26KA401006 の助成を受けたものです。

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Kindai University

^{*2} Atomic Energy Research Institute, Kindai University

^{*3} National Institute of Health Sciences

非破壊式放射能測定における検出効率評価体系の構築

(2) 非破壊式装置モデルの構築とキジ肉測定における決定論的効率評価

Construction of a Detection Efficiency Evaluation Framework for Non-Destructive Radioactivity Measurement

(2) Modeling of a Non-Destructive Radioactivity Measurement System and Deterministic Efficiency Evaluation for Pheasant Meat Samples

近畿大学大学院総合理工学研究科^{*1}，近畿大学原子力研究所^{*2}，国立医薬品食品衛生研究所^{*3}

○兼子 凌徳^{*1}，市川 廉^{*1}，山田 崇裕^{*1,2}，蜂須賀暁子^{*3}，片岡洋平^{*3}

KANEKO, Riku^{*1}； ICHIKAWA, Ren^{*1}； YAMADA, Takahiro^{*1,2}， HACHISUKA, Akiko^{*3}，

KATAOKA, Yohei^{*3}

1. はじめに

非破壊式放射能測定では、試料を破碎・均質化せずに測定するため、試料形状や検出器に対する配置条件が検出効率に影響を及ぼす。特に野生鳥獣肉のような不定形試料では、測定時の置き方によって検出効率に変化し、測定値のばらつきや系統的な偏りの要因となり得る。本研究では、非破壊式放射能測定装置 FF1 の検出部を PHITS 上にモデル化し、3D スキャナにより取得したキジ肉試料形状を放射線輸送計算体系に導入することで、代表的な試料配置条件における検出効率の配置依存性を評価した。

2. 方法

本研究では、2"φ×2"NaI(Tl)検出器 7 本で構成される非破壊式放射能測定装置 FF1（日栄工業（株））の検出部を PHITS 上でモデル化した。作成した装置モデルの妥当性は、検出器表面中心に配置した ¹³⁷Cs 点線源の実測値と計算値を比較することにより確認した。キジ肉試料の形状データは、冷凍試料を 3D スキャナで撮影して取得し、PHITS 計算体系に導入した。試料中の ¹³⁷Cs は均一に分布すると仮定した。検出効率の配置依存性を評価するため、平置き、表裏反転及び縦置きを含む図 1 に示す 6 種類の配置パターンを設定し、それぞれについて検出効率を算出した。

3. 結果及び考察

6 つの配置条件に対して計算した検出効率は、①0.0358、②0.0403、③0.0374、④0.0395、⑤0.0290、⑥0.0289 であった。平置き条件における表裏反転の影響を比較すると、①と②、③と④の相対差はそれぞれ約 12%及び約 6%であった。一方、⑤及び⑥のように試料を縦置きにした場合、①～④の平置き配置と比較して、検出効率は最大で約 20%低下した。この結果から、同一試料であっても検出器に対する姿勢や接触面の違いにより検出効率に変化し、特に検出器に対する試料の有効距離や厚さ方向の違いが効率評価に影響することが示唆された。

4. 結論

本研究では、非破壊式放射能測定装置 FF1 の検出部を PHITS 上でモデル化し、3D 形状データに基づくキジ肉モデルを用いて、代表的な試料配置条件における検出効率を評価した。その結果、表裏反転や縦置きといった配置条件の違いにより検出効率に変化し、不定形試料の測定では試料姿勢が重要な不確かさ要因となり得ることが確認された。本計算体系は、野生鳥獣肉のような不定形試料に対して、配置条件が検出効率に与える影響を事前に評価する手法として有用であると考えられる。

謝辞 本研究は厚生労働科学研究費 23KA1006 及び 26KA-401006 の助成を受けたものです。

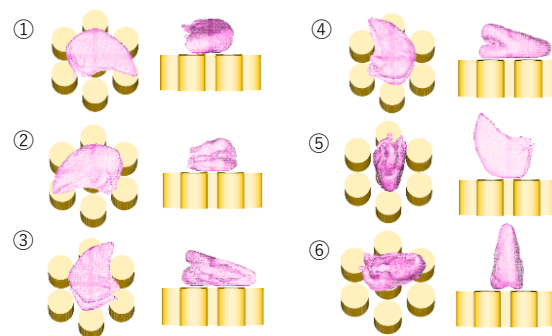


図 1 PHITS 計算体系に導入したキジ肉モデルの 6 種類の配置パターン
(左) 上面図 (右) 側面図

^{*1} Graduate School of Engineering, Kindai University

^{*2} Atomic Energy Research Institute, Kindai University

^{*3} National Institute of Health Sciences

高エネルギー電子加速器室内中性子・光子放射線場の大規模高分解能空間分布測定
— LED 照明放射線損傷リスク評価への応用 —

Large-Scale High-Resolution Mapping of Neutron and Photon Radiation Fields in
High-Energy Electron Accelerator Facilities

— Application to Radiation Damage Risk Assessment for LED Lighting Systems —

高エネルギー加速器研究機構(KEK)^{*1}

○津金 聖和^{*1}, 松村 宏^{*1}, 豊田 晃弘^{*1}, 吉田 剛^{*1}, 中村 一^{*1}, 渡邊 瑛介^{*1}, Lee Eunji^{*1},
大山 隆弘^{*1}, 岩瀬 広^{*1}, 田中 窓香^{*1}, Bui Ngoc Thien^{*1}
(TSUGANE, Kiyokazu^{*1}; MATSUMURA, Hiroshi^{*1}; TOYODA, Akihiro^{*1}; YOSHIDA, Go^{*1};
NAKAMURA, Hajime^{*1}; WATANABE, Eisuke^{*1}; LEE, Eunji^{*1}; OYAMA, Takahiro^{*1};
IWASE, Hiroshi^{*1}; TANAKA, Madoka^{*1}; BUI, Ngoc Thien^{*1})

1. はじめに

KEK では、総延長 5 km に及ぶ電子加速器トンネル内に、3000 台超の蛍光灯照明が設置されている。一方で、2027 年には蛍光灯の製造・輸入が禁止されることから、既存照明の LED 化が検討されており、10 年程度の長期運用を想定している。しかし、市販の LED 照明に搭載されている半導体素子(MOSFET)は、放射線脆弱性を有し、光子と中性子で異なる故障が生じる。光子による総吸収線量効果(TID)では、累積線量依存の故障が、10 MeV 以上の速中性子による単一事象バーンアウト(SEB)では、確率的な素子破壊が起こる。どちらも MOSFET への印加電圧に依存するが、特に SEB は電源 OFF 時には起こらないため、電源 ON 時に故障リスクが高くなる。本研究では、KEK 内のほぼ全ての加速器を対象に、運転中の中性子・光子分布を大規模かつ高分解能に測定し、LED 照明の耐用年数を評価した。

2. 方法

市販の LED 照明器具について、QST 高崎の ⁶⁰Co 標準放射線場でγ線耐性試験を行った。照射中は電源 ON/OFF 状態を模擬し、照射後の点灯状態および入力 AC 電流から故障判定を行った。

また、KEK 内の主要加速器トンネル内に、光子線量(空気吸収線量)測定用のガフクロミックフィルム、中性子評価用の金箔および固体飛跡検出器(CR-39)を、トンネル側壁に約 5 m 間隔で、計 1000 点以上設置した。設置期間は 1~3 ヶ月で、運転停止後に試料を回収し、分析を行った。設置期間における運転履歴およびビーム電荷量による補正に加え、PHITS を用いた照明と試料位置の差異、トンネル形状の違いによる測定値補正を行った。さらに、PHITS 計算に基づき、金放射化法により評価される熱中性子フルエンスから速中性子フルエンスを推定した。文献値に基づく SEB 断面積より、発生期待値 1 相当のフルエンスを SEB しきい値とし、補正後の速中性子フルエンスと比較して耐用年数を評価した。

3. 結果

照射試験の結果、電源 ON 時で約 100 Gy、OFF 時で約 600~2000 Gy の範囲で故障が確認され、OFF 時の TID しきい値は 1000 Gy とした。これらの TID しきい値および文献値より求めた SEB しきい値を用いて、推定光子線量および速中性子フルエンスから、LED 照明の耐用年数を評価した。その結果、ON 時では SEB より TID による損傷リスクが高かった。一方、OFF 時でも TID リスクは残存した。特に PF-AR では、電源 ON で全体の約 6 割が 3 年以内に故障する予測となった。本研究では、KEK 電子加速器全域の LED 照明の耐用年数を大規模・高分解能に評価した。これにより、加速器運転中は LED 照明を電源 OFF で運用する基本方針が示された。また、一部高線量領域では電源 OFF でも数年以内に故障に至る可能性があり、電源回避型 LED への変更等の対策が必要であることが示唆された。

^{*1} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Young Scientist Award Nominee

📅 Thu. Jul 9, 2026 2:15 PM - 4:15 PM JST | Thu. Jul 9, 2026 5:15 AM - 7:15 AM UTC | 🏢 C(Conference Room Uranus)

陽電子消滅2

Chairman: Atsuo Kawasuso(QST), Koji Michishio

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[2C04] Calculation of photodetachment cross sections of positronic atoms using a three-body model

○ Naoki Kamiya¹, Takuma Yamashita^{1,2}, Yasushi Kino¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku Univ., 2. IEHE, Tohoku Univ.)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[2C05] Effect of chirality on positronium formation at amino acid molecular film surface

○ Atsuo Kawasuso¹, Masaki Nobuoka¹, Masaki Maekawa¹, Wookjin Choi², Shuhei Seki² (1. QST, 2. Kyoto Univ.)

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

[2C06] Development of trap-based spin-polarized slow positron beam accumulator

○ Masaki Maekawa¹, Atsuo Kawasuso¹, Akira Ishida², Toshio Nanba³ (1. QST Takasaki, 2. AIST, 3. U-Tokyo)

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

break

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

[2C07] Study of Cs atom intercalation at the graphene/Co(0001) interface using TRHEPD

○ Yuki Fukaya¹, Songtian Li², Seiji Sakai² (1. JAEA, 2. QST)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

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

[2C08] Development of a Slow Positron Beam System Based on an Electron Linear Accelerator for Material Characterization.

○ Masaki Uno^{1,2}, Atsushi Kinomura² (1. Kyoto Univ., 2. Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University)

◆ Young Scientist Oral Presentation Award candidate

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

[2C09] Evaluation of Irradiation Damage in Moderator materials for Reactor-Based Positron Source

○ Kazuki Harashima^{1,2}, Atsushi Kinomura², Hidetsugu Tsuchida¹ (1. Kyoto Univ., 2. KURNS)

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

[2C10] Development of a reflection-type brightness enhancement system for positron beams using a SiC remoderator

○ Koji Michishio¹, Eri Suzumura¹, Atsushi Kinomura² (1. AIST, 2. KURNS, Kyoto Univ.)

三体模型による陽電子原子の光脱離断面積の計算
Calculation of photodetachment cross sections of positronic atoms
using a three-body model

東北大・院理

○神谷 直紀, 山下 琢磨, 木野 康志

(KAMIYA, Naoki; YAMASHITA, Takuma; KINO, Yasushi)

1. はじめに

陽電子と中性原子は、分極率やイオン化エネルギーに応じて束縛状態を持つ場合がある[1]。この陽電子原子の構造は、原子のイオン化エネルギーによって大きく二分される。イオン化エネルギーがポジトロニウム ($\text{Ps: } e^+e^-$) の束縛エネルギー (6.8 eV) より大きい原子、例えば銅原子では、陽電子が中性原子を取り囲むような構造を取る。一方、イオン化エネルギーが小さいリチウム、ナトリウム原子では陽電子が価電子と Ps を形成、これが陽イオンを取り囲むような構造を取る。原子負イオンとも水素化物とも異なる、このような陽電子原子の特異な構造が光反応性とどのように関連しているかは化学反応の基礎的なモデルケースとして興味深い。また、陽電子原子の直接観測は未だなされておらず、その生成・検出原理を理論計算から提案することも重要である。本研究では陽電子原子 (e^+A , $A = \text{Li, Na, Cu}$) の光脱離反応 ($e^+A + h\nu \rightarrow A + e^+, A^+ + \text{Ps}$) の断面積を計算した。

2. 方法

中性原子を閉殻イオンと価電子として扱い、陽電子を加えた三体模型により計算した。イオンと電子、陽電子間の相互作用についてはモデルポテンシャルを用いて記述した。波動関数はガウス関数展開法[2]により計算した。光脱離は、双極子近似の下、複素座標回転法[3,4,5]によって記述した。

3. 結果および考察

陽電子リチウム原子の光脱離について、陽電子が脱離するチャンネルの断面積は Ps が脱離するチャンネルに比べて、大きな値を示した (図 1)。陽電子リチウム原子は Li^+ が Ps を緩く束縛したような構造を取り、 $\text{Li}^+ - \text{Ps}$ 間距離は $9 a_0$ 程である。そのため、陽電子が脱離する際には、価電子の分布に収縮が生じることが明らかになった。発表では Na , Cu の場合の計算結果も示し、光脱離断面積と双極子モーメントおよび構造との関連を議論する。

4. 結論

陽電子原子の光脱離断面積を初めて計算した。得られた断面積は陽電子原子の実験観測に向けて重要な予言を与える。

[1] C. Harabati *et al.*, Phys. Rev. A **89**, 022517 (2014).

[2] E. Hiyama *et al.*, Prog. Part. Nucl. Phys. **51**, 223 (2003).

[3] Y. K. Ho, Phys. Rep. **99**, 1 (1983).

[4] A. Buchleitner *et al.*, J. Phys. B **27**, 2663 (1994).

[5] N. Kamiya *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. **3029**, 012007 (2025).

* Graduate School of Science, Tohoku University

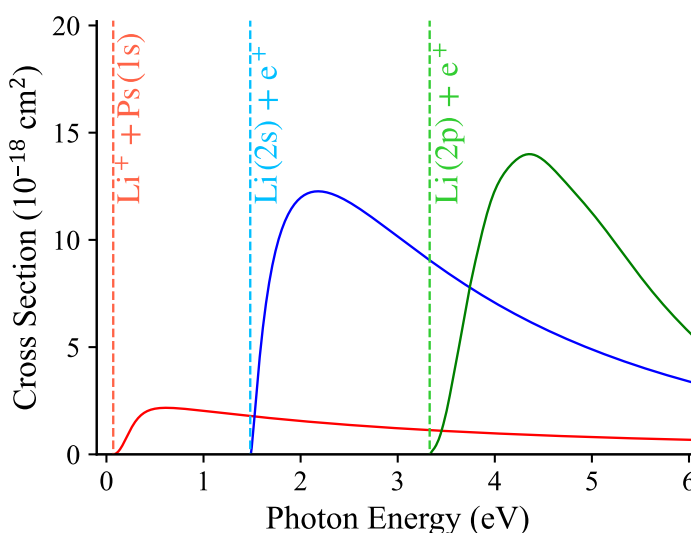


図 1 陽電子リチウム原子の光脱離断面積

アミノ酸分子膜表面におけるポジトロニウム生成のキラリティ効果 Effect of chirality on positronium formation at amino acid molecular film surface

量子科学技術研究開発機構^{*1}, 京都大学^{*2}

○河裾 厚男^{*1}, 崔 旭鎭^{*2}, 信岡 正樹^{*1}, 有馬 健晟^{*2}, 小八重 良輔^{*2}, 前川 雅樹^{*1}, 関 修平^{*2}
(KAWASUSO, Atsuo^{*1}; CHOI, Wookjin^{*2}; NOBUOKA, Yoko^{*1};
MAAEKAWA, Masaki^{*1}; SEKI Shuhei^{*2})

1. はじめに

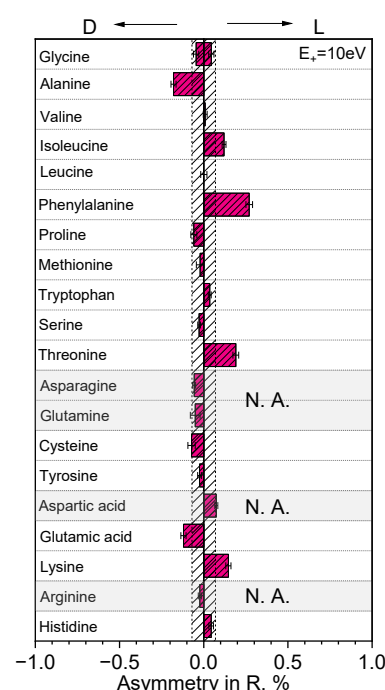
陸棲生物の主要な構成体であるアミノ酸と糖は、最大の光学活性(カイラリティ)を示す。RNA・DNA中の糖は例外なく D 異性体であり、その結果 RNA・DNA とともに右巻き構造となる。同様にタンパク質中のアミノ酸も L 異性体のみである。鏡像異性体間にエネルギー差はなく、無生物的な合成では、これらは等量できるはずである。しかし、生体分子には何故か一方の鏡像異性体しか含まれていない。これはホモキラリティと呼ばれ、人類の謎の一つとなっている。様々な説が提案される中で、ホモキラリティの原因を宇宙の非対称性—物質優勢宇宙—と結びつけるものがある。その誕生以来、地球は太陽のみならず超新星爆発などで生じた宇宙放射線に晒されながら進化を続けてきた。その結果、宇宙の多数派であるベータマイナス崩壊核種が地上に降り注ぎ、そこから放出された電子がどちらか一方の異性体を僅か ($\sim 10^{-10}$) に多く破壊したため、糖・アミノ酸分子が合成されて以降、生命が誕生する頃までには一方の異性体が行き残ったというのである。これは結局、分子の放射線分解がヘリシティによって異なるという仮説である。スピン偏極陽電子を用いたポジトロニウム生成量の測定は、この仮説検証に有望であることが、40 年以上前に提案された。しかし、本格的な研究に発展しないまま今日に至っている。ここでは、改めてこの問題に取り組んでおり、生体アミノ酸分子膜におけるポジトロニウム生成について、現時点までに得られた結果を報告する。

2. 実験方法

ロードロックを介して陽電子ビーム装置に接続された真空チャンバー内で、Au(30 nm)/Ti(2 nm)/a-SiO₂を基板として、L 体と D 体の生体アミノ酸分子を交互に蒸着した (1 回あたりの膜厚: 30nm~10 分子層、全蒸着回数: 100 回=1 セット)。毎回の蒸着の後に、消滅ガンマ線エネルギースペクトルの三光子消滅強度 (R パラメータ) 測定によりポジトロニウム生成量を決定した。入射陽電子のエネルギーは 10 eV であった。1 セット目の測定で誤差を上回る非対称度が出たものについては、再度測定を行い、真偽を確認している。20 種類の生体アミノ酸のうち、4 種類 (アスパラギン、グルタミン、アスパラギン酸、アルギニン) は、真空蒸着が困難であった。グリシンはアキラルのため、参照試料扱いである。

3. 結果および考察

右図は、現在までに得られているポジトロニウム生成量の L 体/D 体の非対称度である。斜線部分は、主に装置の安定度由来する測定誤差を示している。この測定誤差を十分に上回る非対称度は、アラニン、フェニルアラニン、トレオニンの 3 種類であり、その他の分子では非対称度有りとする判定は難しい。



^{*1} National Institute for Quantum Science and Technology

^{*2} Kyoto University

蓄積型スピン偏極陽電子ビーム装置の開発 Development of trap-based spin-polarized positron beam accumulator

量研 高崎量子技術基盤研究所*1、東京大学素粒子物理国際研究センター*2、産業技術総合研究所*3

○前川 雅樹*1、河裾 厚男*1、難波 俊雄*2、石田 明*3

(MAEKAWA, Masaki; KAWASUSO, Atsuo; NAMBA, Toshio, ISHIDA, Akira)

1. はじめに

ポジトロニウム (Ps) は、反物質を含む初のボース・アインシュタイン凝縮 (Ps-BEC) を実現する有望な系であり、物質・反物質対称性の研究や、超短波長ガンマ線レーザーのような次世代量子技術への応用が期待されている。Ps-BEC の臨界条件は、冷却温度 10 K の場合で密度 $10^{18}/\text{cm}^3$ 以上と非常に高く、しかも Ps の寿命内にこれを達成しなければならない。Ps には長寿命 (142 ns) のオルソ Ps と、単寿命 (125 ps) のパラ Ps があり、Ps-BEC に必要な冷却時間を考慮すると、利用可能なのは長寿命のオルソ Ps のみである。スピン無偏極の陽電子および電子からはオルソ Ps が 75% の割合で生成するが、BEC を起こすような高密度ポジトロニウム塊では、スピン交換衝突や自己消滅によりその大部分 (約 95%) が数百ピコ秒以内に失われてしまうため[1]、Ps-BEC の実現には超高強度の陽電子ビームが必要とされる。我々は、スピン偏極した陽電子を用いてこの損失を抑制し、Ps-BEC に必要な陽電子個数の低減を試みている。スピン偏極陽電子は β^+ 壊変核種から得られるが、強度は限られている。そこで線源から発生する直流陽電子ビームを電磁トラップ内に一定時間蓄積し、瞬間的に取り出すことで高強度のパルスビームを形成[2, 3]できる、スピン偏極陽電子ビーム蓄積装置の開発を進めている。

2. 開発の現状

図 1 に現在構築中のスピン偏極・超高密度陽電子パルス発生装置の概略を示す。陽電子ビーム発生には独自開発の小型 Na-22 線源 (500 MBq) を使用した。これは有効面積が 2mm に抑えられており、市販密封 Na-22 線源に比べ発生面積が数分の 1 となるため高輝度化に有利である。またバックング材に軽元素 (カーボン) を使用することで、スピン偏極率を高める工夫がなされている[4]。これを本装置に装着し、固体ネオン減速材を用いた場合、ビーム径 2mm Φ 、強度 5×10^5 個/s と、ほぼ設計値通りの性能を得た。現在、パルス形成実験の実施に向け、ビーム発生条件の最適化、関連機器の調整などの準備作業を進めている。

本研究は JSPS 科研費 JP23H05462 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] O. Morandi *et al.*, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **47** (2014) 155202.
- [2] D. B. Cassidy *et al.*, Rev. Sci. Instr. **77**, 073106 (2006). DOI: 10.1063/1.2221509
- [3] J. Clarke *et al.*, Rev. Sci. Instr. **77**, 063302 (2006). DOI: 10.1063/1.2206561
- [4] M. Maekawa *et al.*, Nucl. Inst. Methods B **480** (2020) 49. DOI:10.1016/j.nimb.2020.08.001

*1 Takasaki Institute for Advanced Quantum Science, QST

*2 Graduate School of Science, The University of Tokyo (UTokyo)

*3 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

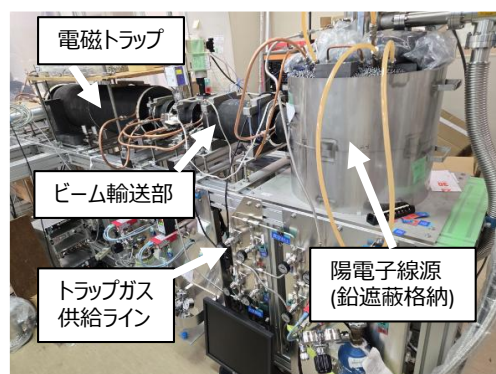


図 1 製作中のスピン偏極陽電子ビーム蓄積装置の外観写真。

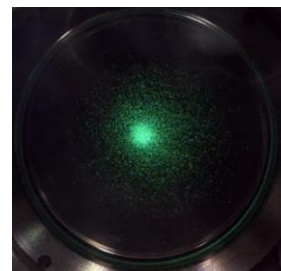


図 2 電磁トラップ部での陽電子ビーム像。ビーム径 2mm、強度 5×10^5 個/s の陽電子ビームが得られている。

全反射高速陽電子回折によるグラフェン/Co(0001) 界面への Cs 原子インターカレーションの研究

Study of Cs atom intercalation at the graphene/Co(0001) interface using TRHEPD

日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター^{*1},
量子科学技術研究開発機構量子機能創製研究センター^{*2}

○深谷 有喜^{*1}, 李 松田^{*2}, 境 誠司^{*2}
(FUKAYA, Yuki^{*1}; LI, Songtian^{*2}; SAKAI, Seiji^{*2})

1. はじめに

異種原子のインターカレーションは、基板上に合成されたグラフェンの物性制御に有効な手段の一つとして注目されている。例えば、Ni(111)基板上のグラフェンでは、界面における強い軌道混成によりディラックコーンが消失することが知られている[1]。しかし、グラフェン上にアルカリ金属原子を蒸着し、アニールすると、ディラックコーンが再出現することが報告されている[1]。この現象から、アルカリ金属原子がグラフェン/Ni(111)界面にインターカレーションすることで、グラフェンと基板原子との相互作用がデカップリングした可能性が示唆されている。これまで、様々な系で単層グラフェン直下へのアルカリ金属原子インターカレーションが研究されてきたが、その焦点は主にディラックコーンなどの電子状態に当てられてきた。そのため、インターカレーション後の界面構造変化に関する知見は未解明な点が多く、構造に基づく議論が不足しているのが現状である。本研究では、全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) [2]を用いて、Cs 原子インターカレーションによるグラフェン/Co(0001)界面の構造変化について報告する。

2. 方法

実験は、高エネルギー加速器研究機構低速陽電子実験施設にて実施した。陽電子ビームの加速電圧は 10 kV に設定した。

試料作製は、まず $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 基板上に Co 単結晶薄膜を作製し、その表面にアセチレンガスを曝露することで単層グラフェンを合成した。

3. 結果および考察

図 1 に Cs 原子インターカレーション前後の TRHEPD ロッキング曲線を示す。インターカレーション後、視射角 $3\sim 5^\circ$ の範囲において、複数の微細なピークが出現していることが確認された。これは、グラフェン/Co(0001)界面へのインターカレーションにより、グラフェンとインターカレーション層との層間隔が増大したことに対応すると考えられる。講演では、動力学的回折理論に基づく強度解析を行い、この構造変化の詳細について報告する。

[1] A. Nagashima, N. Tejima, and C. Oshima, Phys. Rev. B **50**, 17487 (1994).

[2] Y. Fukaya, A. Kawasuso, A. Ichimiya, and T. Hyodo, J. Phys. D: Appl. Phys. **52**, 013002 (2019).

^{*1} Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency

^{*2} Quantum Materials and Applications Research Center, National Institutes for Quantum Science and Technology

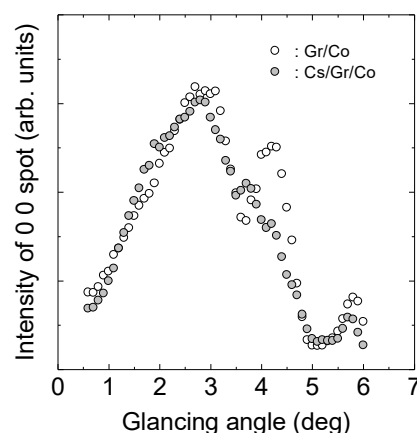


図 1 グラフェン/Co(0001)基板における Cs 原子インターカレーション前後の TRHEPD ロッキング曲線 (白丸：インターカレーション前、黒丸：インターカレーション後)。

電子線型加速器ベースの低速陽電子ビームを用いた材料測定系の開発
Development of a materials characterization system
using an electron-linac-based slow positron beam

京都大学大学院工学研究科^{*1}, 京都大学複合原子力科学研究所^{*2}

○宇野 将生^{*1}, 木野村 淳^{*2}

(UNO, Masaki^{*1}; KINOMURA, Atsushi^{*2})

1. はじめに

現在, 京都大学複合原子力科学研究所において運用されている電子線型加速器 (KURNS-LINAC) で発生する 30 MeV 電子ビームを利用した低速陽電子ビームラインの開発を進めている. 電子線型加速器を利用した低速陽電子ビームは, 発生源となる電子ビームが高周波加速で得られるパルスであることから, 対生成で生じる陽電子ビームも同様の時間構造を持つ. このため, 電子線型加速器ベースの低速陽電子ビームは原子炉ベース低速陽電子ビームの代替手段という位置付けに限らず, パルスビームの特徴を生かした材料測定への応用も期待される.

本研究では材料内部の欠陥を測定する低速陽電子ビームシステムの構築に向けて, 陽電子が試料部に到達していることの確認, 陽電子蓄積部内での陽電子保持時間と計数率の依存性の確認, ガンマ線スペクトルと陽電子寿命スペクトルの試験的測定を実施した.

2. 方法

タンダステン (W) コンバータに電子ビームを照射して対生成させた陽電子を, 白金 (Pt) モデレータで熱化し, 磁場により試料部まで輸送した. ビームの到達確認として, 試料部に設置した蛍光板付 MCP (Micro Channel Plate) の発光をカメラで記録した.

陽電子保持時間と計数率の依存性の確認のため, 陽電子蓄積部において陽電子を保持する時間を変化させて, 陽電子ビームを標準試料のポリイミドフィルムに照射し, その時の陽電子由来の γ 線を半導体 Ge 検出器で計測した.

陽電子蓄積部 (ストレージ) を使用しない場合, Ge 検出器が飽和して γ 線スペクトルの取得ができないが, ストレージの制御によりビームのパルス幅を広げて γ 線スペクトルが取得できることを確認した.

3. 結果および考察

陽電子ビームを試料に照射した時に蛍光板の発光が確認され, 陽電子が MCP の中心付近に到達していることが確認された. また, ガンマ線測定において, 陽電子保持時間を変化させたところ, 陽電子蓄積時間 1 ms 程度で陽電子由来の γ 線の計数数はピークを示し, 1 ms 以上で陽電子数が減少した. このことは, 電子線入射時の線源部の脱ガスの影響により, ビームラインの真空度が十分ではなく, 残留ガスに陽電子が衝突し消滅するためと考えられる.

4. 結論

これまでの実験により, 電子線型加速器ベースの低速陽電子ビームラインにおけるビーム輸送状況, およびストレージ制御に基づく陽電子パルス幅の制御が可能であることを確認した. 今後は, ビームラインの構造を改善して, 計数率の向上, 蓄積時間向上を目指す. そして, 陽電子寿命測定とドップラー広がり測定の測定システムの最適化を行う. 性能改善したビームラインを用いて, 材料内部の空孔サイズと濃度を測定する陽電子寿命測定への本格的な利用・展開を進めていく予定である.

謝辞: 本研究は科研費 22H02005 及び 25H00859 の支援を受けて実施した.

^{*1} Graduate School of Engineering, Kyoto University

^{*2} Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University

研究炉の陽電子線源部に使用するモデレータ材料の減速効率への照射損傷影響 Evaluation of Irradiation Damage in Moderator Materials for Reactor-Based Positron Source

京都大学大学院工学研究科^{*1}, 複合原子力科学研究所^{*2}

○原嶋 和輝^{*1,2}, 木野村 淳^{*2}, 土田 秀次^{*1}

(HARASHIMA, Kazuki^{*1,2}; KINOMURA, Atsushi^{*2}; TSUCHIDA, Hidetsugu^{*1})

1. はじめに

研究用原子炉を用いた低速陽電子ビーム発生技術は、他の手法と比較して、高強度かつ安定したビームが得られるという利点があり、これまでに複数の研究機関で開発が行われてきた。陽電子発生部が原子炉内にある場合、発生した陽電子を減速する際に用いる減速材（モデレータ）は、中性子照射による損傷を受け、減速効率が低下し、結果として低速陽電子ビームの強度低下が予想される^{*1}。

本研究では、陽電子の減速効率が照射損傷量と試料温度に対してどのように影響を受けるかを明らかにすることを目的とした。多結晶 Pt 箔試料に対して、中性子照射を模擬するため自己イオン照射を行い、陽電子消滅分光法を用いて欠陥評価を行った。

2. 方法

2.1 供試材料 厚さ 50 μm の多結晶 Pt 箔試料（純度 99.95%）に対し、加工歪を除去するため、真空中で 1100°C、1 h のアニーリングを行った。この試料に対して、9 MeV の自己イオン照射を行うことで、サブミクロンの深さにカスケード損傷を導入した。照射量と試料温度が異なる試験片を作製した。照射条件として、3 つの照射量： $\phi = 1 \times 10^{11}, 1 \times 10^{12}, 1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ と 4 つの温度：室温、373, 473, 573 K で照射した試料と、未照射試料とを比較した。

2.2 欠陥評価 照射量、試料温度の異なる 7 種の試験片に対して、複合研の原子炉ベース低速陽電子ビームラインを用いた陽電子消滅分光法により、試料内部の欠陥評価を実施した。ドップラー広がり測定を実施し、S-parameter の陽電子のエネルギー依存性（S-E カーブ）をエネルギー 0~30 keV の範囲で測定した。得られた S-E カーブを VEPFIT コードを用いて解析し、陽電子の拡散長を計算した。

3. 結果および考察

陽電子消滅分光法による測定の結果を Fig.1 に示す。照射量の増加に対し、材料深部における S-parameter の上昇が確認された。未照射と比較して、欠陥密度の増加傾向が示された。また、照射時温度の増加により、材料深部における S-parameter が低下した。室温と比較して、表面近傍で S-E カーブの急峻な変化が観測され、573 K では欠陥密度の増加による拡散長の減少傾向が示された。

陽電子の拡散長を計算した結果、試料温度の上昇に対して陽電子の拡散長が増加していることが示唆された。これは、核発熱の徐熱を制御して意図的に高温条件を与えることで、照射によって生成した点欠陥や二次欠陥のその場回復を促進して、モデレータの長寿命化につながる可能性を示している。

4. 結論

照射量の増加により損傷が蓄積し、陽電子の拡散長が低下した。また、照射時の試料温度の増加により、損傷蓄積が抑制され、陽電子の拡散長低下が抑制された。

謝辞：本研究の一部は文部科学省のもんじゅサイト新試験研究炉に関する研究予算の助成を受けて実施したものです。

^{*1} Graduate School of Engineering, Kyoto University

^{*2} KURNS, Kyoto University

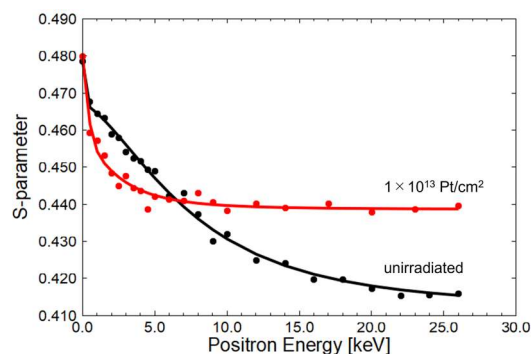


Fig.1 イオン照射を行った試料と未照射の試料の S-E カーブの比較

SiC 再減速材を用いた反射型陽電子ビーム高輝度化システムの開発 Development of a reflection-type brightness enhancement system for positron beams using a SiC remoderator

産業技術総合研究所^{*1}, 京都大学複合原子力科学研究所^{*2}

○満汐 孝治^{*1}, 鈴木 栄里^{*1}, 木野村 淳^{*2}

(MICHISHIO, Koji^{*1}; SUZUMURA, Eri^{*1}; KINOMURA, Atsushi^{*2})

1. はじめに

原子炉や電子加速器を利用することで、高強度の低速陽電子ビームを生成でき、材料評価や表面科学、基礎物理学などの幅広い研究に利用されている。陽電子は、原子炉や加速器からの高エネルギー光子線の対生成により生成され、タングステンなどの減速材に入射して低速化することで低速陽電子ビームが得られる。しかし、こうして得られる低速陽電子ビームの空間分布は、減速材のサイズを反映して大きく広がる（直径>2 cm）ため、そのままでは多くの測定への適用が困難である。このため、ビームを再減速材と呼ばれる物質に集束し、表面から再放出される陽電子を引き出すことで、ビーム径を効率的に縮小し輝度を向上させる高輝度化法が用いられる。この高輝度化法は、金属薄膜に陽電子を入射し裏面から放出される陽電子を利用する透過型と、厚い金属結晶表面に集束し、同一面から再放出される陽電子を利用する反射型に分類される。透過型は輸送系の構成が比較的単純である一方、原子炉ベースの低エネルギービーム（輸送エネルギー~1 keV）に適用する場合には、陽電子を金属薄膜中に効率的に打ち込むために、再減速材及び後段のビームラインを電氣的に昇圧する必要がある。これに対し反射型は、入射面と出射面が同一であるため輸送系が複雑になるものの、1 keV 程度の入射エネルギーでも比較的高い再放出効率が得られ、再減速材を接地電位で使用できる。このため、後段ビームラインの設計自由度や汎用性が高い。さらに、従来の金属結晶に代えて半導体結晶（SiC など）を再減速材として用いることで、再減速効率（高輝度化効率）を向上できる可能性がある。本研究では、原子炉および電子加速器ベースの低速陽電子ビームに適用可能な高効率高輝度化システムの実現を目的として、SiC 再減速材を用いた反射型高輝度化システムの開発を進めている。講演では、SiC 結晶の再減速材効率の評価実験とシステム開発の進捗について報告する。

2. 方法

SiC 結晶の再減速効率を評価するために、ナノ秒パルス状陽電子ビームと電場リターディング法を組み合わせた評価システムを開発した。陽電子ビームを再減速材に入射し、再放出された陽電子を追い返し電場の有無およびナノ秒時間分解測定によって選別することで、再放出効率を評価した。また、再放出効率の追い返し電圧依存性を測定することで、再放出エネルギー分布も評価した。さらに、再減速材の評価と並行して、荷電粒子軌道シミュレーションを用いた反射型高輝度化システムの輸送光学系の検討を行った。

3. 結果および考察

各種メーカーの 4H-SiC 結晶を対象に再減速効率を評価した結果、高品質な SiC エピタキシャルウェハーにおいて約 65%の効率が得られた。これは、従来用いられる W 結晶の約 2 倍の効率に相当し、SiC 結晶の適用により高輝度化効率を向上できる可能性が示された。また、反射型高輝度化システムの輸送光学系の検討では、再減速材への入射ビームを電界レンズと磁界レンズの併用により集束し、出射ビームを電界レンズで輸送するためのパラメータを決定した。今後は、これらの知見に基づき、SiC 再減速材を用いた反射型高輝度化システムを製作し、その性能評価を進める予定である。

^{*1} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

^{*2} Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University