

Thu. Jul 9, 2026

Invited Lecture

10:00 AM - 10:30 AM JST | 1:00 AM - 1:30 AM UTC | A(Miraikan Hall)

東京電力福島第一原子力発電所事故関連3

Chairman:Hirofumi Tsukada(Fukushima University, Professor Emeritus)

10:00 AM - 10:30 AM JST | 1:00 AM - 1:30 AM UTC

[2A01] Mechanistic controls of radioesium by soil minerals: How complete is our understanding?

○Atsushi Nakao¹ (1. Kyoto Prefectural University)

Invited Lecture

1:45 PM - 2:15 PM JST | 4:45 AM - 5:15 AM UTC | B(Conference Room Saturn)

放射能測定1

Chairman:Yasushi Sato(AIST)

1:45 PM - 2:15 PM JST | 4:45 AM - 5:15 AM UTC

[2B01] Imaging-Based Dosimetry in Targeted Radionuclide Therapy and the Importance of Dose Calibrator Calibration

○Kenta Miwa¹, Noriaki Miyaji¹ (1. Fukushima Medical University)

Invited Lecture

1:45 PM - 2:15 PM JST | 4:45 AM - 5:15 AM UTC | C(Conference Room Uranus)

陽電子消滅1

Chairman:Masaki Maekawa(QST)

1:45 PM - 2:15 PM JST | 4:45 AM - 5:15 AM UTC

[2C03] Plasma experiments with low energy positrons

○Hiroyuki Higaki¹, Koji Michishio², Haruhiko Saitoh³, Naofumi Kuroda⁴ (1. ADSE, Hiroshima Univ., 2. AIST, 3. Grad. Sch. Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo, 4. Institute of Phys. The Univ. of Tokyo)

Invited Lecture

📅 Thu. Jul 9, 2026 10:00 AM - 10:30 AM JST | Thu. Jul 9, 2026 1:00 AM - 1:30 AM UTC | 🏢 A(Miraikan Hall)

東京電力福島第一原子力発電所事故関連3

Chairman: Hirofumi Tsukada (Fukushima University, Professor Emeritus)

10:00 AM - 10:30 AM JST | 1:00 AM - 1:30 AM UTC

[2A01] Mechanistic controls of radioesium by soil minerals: How complete is our understanding?

○Atsushi Nakao¹ (1. Kyoto Prefectural University)

土壌鉍物による放射性セシウムの動態制御機構は正しく理解されているだろうか？
Do we fully understand the mechanisms controlling radiocesium dynamics in soils?

京都府立大学大学院生命環境科学研究科^{*1}

○中尾 淳^{*1}

(NAKAO, Atsushi^{*1})

大気経由で地表に沈着した放射性セシウムは、土壌中で地下への移流をほとんど示さず、植物への移行割合も極めて小さい。その結果、福島原発事故から 10 年以上経過しても、放射性セシウムのほとんどが深さ 10 cm 程度の表層土壌に留まっている。この低移動性を主に制御しているのが、土壌の一般的な鉍物成分の一つ雲母系鉍物への吸着反応である。雲母系鉍物は、シート状の骨格を持ち、負に帯電したシートの間（層間）に陽イオンを吸着することで電気的中性を保っている。この層間には元々カリウムイオンが脱水状態すなわち無水イオンとして吸着している。ところが、セシウムイオンはカリウムイオンよりも無水イオンになりやすい性質をもつため、土壌に沈着した後にイオン交換反応によってカリウムイオンと置換し層間に吸着する。この吸着選択性が非常に大きいことが、低移動性の主要因と考えられている。

さらに、理想構造に近い雲母系鉍物よりも、層間カリウムイオンが部分的に失われ、カルシウムなどの水和陽イオンに置換された（すなわち部分膨潤した）雲母の方が、セシウムイオンの選択的吸着が顕著に起こることが知られている。こうした部分膨潤化に伴い層間に形成される選択吸着サイトはフレイド・エッジ・サイトと呼ばれ、放射性セシウムの低移動性を機構論的に説明する概念として広く用いられてきた。しかし近年では、「低移動性はフレイド・エッジ・サイトへの“不可逆的”吸着に起因する」とする単純化されたロジックが援用される事例も少なくない。

しかし実際には、これまでの関連研究から、以下のようないくつかの重要な注意点が指摘されている。すなわち、セシウムの選択的吸着はフレイド・エッジ・サイトに限らず他の鉍物表面でも生じ得ること、フレイド・エッジ・サイトと総称される吸着サイト群の中にも形状や吸着強度に大きな不均一性が存在すること、フレイド・エッジ・サイトが存在していても土壌物質との相互作用により吸着力の低下が起きること、さらに一旦それらのサイトに吸着したセシウムであってもその全てが不可逆的に固定されるわけではなく、一定条件下では脱着が起こり得ることが明らかになっている。

そこで本講演では、放射性セシウムの低移動性をフレイド・エッジ・サイトへの不可逆吸着のみで説明する従来の枠組みを再考し、吸着サイトの不均質性および吸脱着の可逆性を明示的に取り込んだ理解へと拡張することを試みる。さらに、これらの観点に基づき、土壌中でのセシウムの実効的な移動性を支配する機構について再評価を行う。

^{*1} Graduate School of Life and Environmental Sciences, Hoshasen University

Invited Lecture

📅 Thu. Jul 9, 2026 1:45 PM - 2:15 PM JST | Thu. Jul 9, 2026 4:45 AM - 5:15 AM UTC | 🏢 B (Conference Room Saturn)

放射能測定1

Chairman: Yasushi Sato (AIST)

1:45 PM - 2:15 PM JST | 4:45 AM - 5:15 AM UTC

[2B01] Imaging-Based Dosimetry in Targeted Radionuclide Therapy and the Importance of Dose Calibrator Calibration

○ Kenta Miwa¹, Noriaki Miyaji¹ (1. Fukushima Medical University)

SPECT/CT 画像による核医学治療線量評価とそれを支えるドーズキャリブレーション校正
SPECT/CT-based Dosimetry for Targeted Radionuclide Therapy
and Dose Calibrator Calibration

福島県立医科大学保健科学部診療放射線科学科^{*1}

○三輪 建太^{*1}, 宮司 典明^{*1}

(MIWA, Kenta^{*1}; MIYAJI, Noriaki^{*1})

核医学治療 (targeted radionuclide therapy, TRT) では、患者ごとの吸収線量を評価する個別線量評価法 (dosimetry) の重要性が高まっている。従来の核医学治療では、投与放射エネルギーに基づく画一的な治療が行われることが一般的であるが、近年では治療効果の最大化と正常毒性の低減を目的として、dosimetry を活用した患者個別化治療への関心が高まっている。特に ^{177}Lu -DOTATATE や ^{177}Lu -PSMA などの発展に伴い、患者ごとの吸収線量を考慮した治療最適化が求められている。核医学治療 dosimetry では、投与した放射性医薬品の体内分布を定量的に評価し、時間経過に伴う放射能変化から吸収線量を推定する。一般的には、投与放射能測定、定量 SPECT/CT 画像取得、関心領域設定、時間放射能曲線 (time-activity curve, TAC) の作成、time-integrated activity coefficient (TIAC) の算出、さらに Monte Carlo simulation や voxel S-value 法などを用いた吸収線量計算を経て線量評価が行われる。近年では、臓器平均線量のみならず、腫瘍内線量不均一性を反映可能な Voxel-based dosimetry への関心も高まっている。

一方で、高精度な核医学治療 dosimetry を実現するためには、画像定量だけではなく、投与放射能測定の信頼性確保が不可欠である。特に、投与放射エネルギーを測定するドーズキャリブレーションは、定量 SPECT/CT の基盤となる重要な計測機器であり、その校正や不確かさ評価が dosimetry 全体の精度に大きく影響する。ドーズキャリブレーションは、核種、容器形状、液量、測定位置などに依存して応答が変化するため、国家標準にトレーサブルな校正体系と測定精度管理が求められる。

これまで我々は、 ^{177}Lu および ^{211}At を対象として、国家標準と整合した放射能測定体系の構築に取り組んできた。 ^{177}Lu では、液体シンチレーションカウンタを用いた CIEMAT/NIST 法により放射能絶対値を算出し、その値を基準としてドーズキャリブレーションの最適校正定数を導出した。さらに、Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) に基づき、測定不確かさを定量的に評価した結果、拡張不確かさ ($k=2$) は 2.4% であった。また、測定位置依存性、長期安定性、校正定数の差異についても検討を行い、臨床条件を考慮した放射能測定精度管理の重要性を示した。さらに、 α 線核種である ^{211}At に対しても、国家標準に基づく放射能絶対値を参照し、ドーズキャリブレーションの最適校正定数および不確かさ評価を行った。 ^{211}At では、ALOKA 社製 IGC-8B を用いて最適校正定数を導出し、拡張不確かさは 5.6% であった。 α 線核種は崩壊特性や測定条件の影響を受けやすく、定量管理の難易度が高い一方で、本研究により国家標準にトレーサブルな測定体系構築の可能性が示された。

定量 SPECT/CT とドーズキャリブレーション校正は、核医学治療線量評価を支える両輪である。定量 SPECT/CT による高精度な体内放射能分布評価に加え、投与放射能測定のトレーサビリティ、不確かさ管理、精度保証を適切に実施することで、より信頼性の高い患者個別の dosimetry が可能となる。本講演では、核医学治療 dosimetry の基礎概念から、定量 SPECT/CT、Voxel-based dosimetry、Monte Carlo simulation を用いた線量評価法、さらに ^{177}Lu および ^{211}At に対するドーズキャリブレーション校正とトレーサブルな定量管理技術について概説する。

Invited Lecture

🎵 Thu. Jul 9, 2026 1:45 PM - 2:15 PM JST | Thu. Jul 9, 2026 4:45 AM - 5:15 AM UTC | 🏢 C (Conference Room Uranus)

陽電子消滅¹

Chairman: Masaki Maekawa (QST)

1:45 PM - 2:15 PM JST | 4:45 AM - 5:15 AM UTC

[2C03] Plasma experiments with low energy positrons

○ Hiroyuki Higaki¹, Koji Michishio², Haruhiko Saitoh³, Naofumi Kuroda⁴ (1. ADSE, Hiroshima Univ., 2. AIST, 3. Grad. Sch. Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo, 4. Institute of Phys. The Univ. of Tokyo)

低エネルギー陽電子を用いたプラズマ実験 Plasma experiments with low energy positrons

広島大学 院先進理工^{*1}, 産業技術総合研究所^{*2}, 東京大学 院新領域^{*3}, 東京大学 院総合文化^{*4}

○桧垣 浩之^{*1}, 満汐 孝治^{*2}, 齋藤 晴彦^{*3}, 黒田 直史^{*4}

(HIGAKI, Hiroyuki^{*1}; MICHISHIO, Koji^{*2}; SAITOH, Haruhiko^{*3}; KURODA, Naofumi^{*4})

1. はじめに

陽電子は放射性同位元素(β^+ 線源)や電子線形加速器(対生成)、原子炉(中性子捕獲によるガンマ線生成)などで生成され、50 年近く前から種々の減速材(W, 等)を利用して低エネルギー陽電子ビームとして研究開発に用いられてきた。30 年程前からは窒素バッファーガスを利用したペニングトラップを用いて低エネルギー陽電子を蓄積し、ビーム強度やエネルギー分解能を上げる工夫がされてきた。

本講演では、大量の陽電子を 1 eV 以下の非中性プラズマ状態として蓄積し、物理実験に利用している例として、(1) 反水素合成実験と (2) 陽電子プラズマ実験について紹介する。

2. 方法

(1) 低エネルギーの反水素原子を合成するにあたっては、大型の加速器施設から供給される反陽子ビームを減速した大量の反陽子と共に、低エネルギーの陽電子が必要である。典型的には 50mCi 程度の²²Na 密封線源と固体 Ne 減速材を用いて数十 eV の連続ビームを生成する。それを窒素バッファーガストラップ中で短時間蓄積し、少量の陽電子をパルスビームとして引き出し、超伝導磁石を用いた強磁場、極高真空中のペニングトラップに蓄積する。10⁷~10⁸ 程度の陽電子を 10⁵~10⁶ 程度の反陽子と混合することにより反水素原子ビームを生成する。

(2) 電子線形加速器からの 40 MeV パルス電子ビームを Ta 標的に入射し、対生成された高エネルギー陽電子を W 減速材に入射して数十 eV のパルス陽電子ビームを生成する。これを窒素バッファーガストラップ中で数秒蓄積したのち 10⁵ 程度のパルスビーム(<1 μ s)として引き出し、磁気ダイポールトラップに入射する。

3. 結果および考察

(1) 強磁場中のペニングトラップで生成された反水素原子をビームとして引き出し、電磁場の影響を受けないところに設置した検出器(約 4 m 下流)で計測する。1 回の反水素生成サイクル毎に 100 カウントを超える反水素原子を計測できているが、現状、高励起状態の反水素原子が含まれている。マイクロ波分光をすることにより、基底状態の反水素原子の超微細構造を精度よく測定するのが目的であるので、基底状態が増えるように脱励起する過程を導入する必要がある。

(2) パルス状に入射された陽電子は磁気ダイポール中で、100 kHz 程度でトロイダル回転しながら、200 μ s 程度で一様化し、0.2 ~ 5 ms は電位閉じ込め、5 ~ 500 ms は強い磁気ミラー閉じ込め、500 ms 以降は弱い磁気ミラー閉じ込め、というように位相空間分布が時間変化していることが放射線計測によって明らかになった。しかしながら、プラズマ実験をするには陽電子数が桁違いに小さいので、バッファーガストラップの下流に陽電子蓄積用の超伝導磁石を用いた強磁場、極高真空中のペニングトラップを開発中である。

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

^{*2} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

^{*3} Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

^{*4} Institute of Physics, The University of Tokyo