

Fri. Jul 10, 2026**JRIA Encouragement Award**

10:40 AM - 11:50 AM JST | 1:40 AM - 2:50 AM UTC | A(Miraikan Hall)

2026年日本アイソトープ協会奨励賞授与式・受賞講演

Chairman:Tetsuya Sakashita(QST)

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[3A01] Development of neutron beam polarization techniques using polarized ^3He gas and applied research centered on particle and nuclear physics○Takuya Okudaira¹ (1. Nagoya University)

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

[3A02] Evaluation of soft error risk in particle radiotherapy○Makoto Sakai¹ (1. Kyushu University)

11:35 AM - 11:50 AM JST | 2:35 AM - 2:50 AM UTC

[3A03] Radiolabeled probe for in vivo lipid radical detection based on carbon radical-reactive compounds○Toshihide Yamasaki¹ (1. Kobe Pharmaceutical University)**Special Lecture**

1:00 PM - 2:00 PM JST | 4:00 AM - 5:00 AM UTC | A(Miraikan Hall)

特別講演「我が国で新たに承認された前立腺癌に対するPSMA治療とは：セラノスティクスの現状と展望」

Chairman:Ichiei Kuji(Department of Nuclear Medicine, Saitama Medical University International Medical Center)

1:00 PM - 2:00 PM JST | 4:00 AM - 5:00 AM UTC

[3A04] Newly Approved PSMA-Targeted Therapy for Prostate Cancer in Japan: Current Evidence and Future Perspectives○Masatoshi Hotta¹ (1. Department of Radiology and Nuclear Medicine, National Center for Global Health and Medicine)**Panel Discussion**

2:10 PM - 4:10 PM JST | 5:10 AM - 7:10 AM UTC | A(Miraikan Hall)

What is the next? -Radiation Measurement-

Chairman:Shunsuke Kurosawa(Nagoya University)

2:10 PM - 2:30 PM JST | 5:10 AM - 5:30 AM UTC

[3A05] From Basic Research to Social Applications of Quantum Measurement Technology: A Case Study of Nuclear Emulsions○Tatsuhiro Naka¹ (1. Toho University)

2:30 PM - 2:50 PM JST | 5:30 AM - 5:50 AM UTC

[3A06] Development of a Thorium-229 Nuclear Clock for Next-Generation Quantum Metrology○Sayuri Takatori¹ (1. Okayama University)

2:50 PM - 3:10 PM JST | 5:50 AM - 6:10 AM UTC

[3A08] Emerging Quantum Detection Technologies for High-Energy Nuclear Physics—Semiconductor Photodetectors and Streaming Data Acquisition—○Sho Nagao¹ (1. University of Tokyo)

3:10 PM - 3:30 PM JST | 6:10 AM - 6:30 AM UTC

[3A07] How can technologies for measuring invisible particles be applied to society? Perspectives from nuclear physics experiments○Tatsuya Furuno¹ (1. University of Fukui)

Intro

4:15 PM - 4:35 PM JST | 7:15 AM - 7:35 AM UTC | A(Miraikan Hall)

表彰式・閉会式

Invited Lecture

10:00 AM - 10:30 AM JST | 1:00 AM - 1:30 AM UTC | B(Conference Room Saturn)

放射線計測2

Chairman:Kenji Shimazoe(The University of Tokyo)

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

[3B01] Development of Radiation Diagnostics in Magnetic Confinement Fusion Plasma

○Kunihiro Ogawa^{1,2}, Longyong Liao¹, Eiji Takada³, Mitsutaka Isobe^{1,2} (1. National Institute for Fusion Science, 2. SOKENDAI, 3. NIT, Toyama)

Oral Presentation

10:35 AM - 11:35 AM JST | 1:35 AM - 2:35 AM UTC | B(Conference Room Saturn)

放射線計測3

Chairman:Kenji Shimazoe(The University of Tokyo), Norikaki Katayama(Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute)

10:35 AM - 10:50 AM JST | 1:35 AM - 1:50 AM UTC

[3B02] Development of Bayesian-based rapid detection method for Low-level environmental gamma radiation

○Shota Nakata¹, Soma Itiba¹, Hiroyuki Miyamaru¹ (1. OMU)

10:50 AM - 11:05 AM JST | 1:50 AM - 2:05 AM UTC

[3B03] High-sensitivity detection of environmental gamma radiation using coincidence method

○Soma Ichiba¹, Syouta Nakata¹, Hiroyuki Miyamaru¹ (1. OMU)

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[3B04] Evaluation of the effect of uniformity of Cs-137 gamma ray irradiation field on calibration using an on-site calibration irradiation system

○Masahiro KATO¹, Nozomi Saito², Hiroyuki Tanaka² (1. AIST/NMIJ, 2. JCAC)

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

[3B05] Methods for the removal of tritium from liquid scintillator waste 2

○Hirokazu Miyoshi¹, Tomoyuki Iwasaki² (1. ARREMC/Tokushima Univ., 2. ARSC/Ehime Univ.)

Invited Lecture

10:00 AM - 10:30 AM JST | 1:00 AM - 1:30 AM UTC | C(Conference Room Uranus)

リスクコミュニケーション

Chairman:Masahiro Hirota(Shinshu University)

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

[3C01] Implementation, Educational Impact, and Future Directions of Inquiry-Based Instruction Using Clearance Metal in High School Education

○Yukinori Asai¹ (1. Fukuiminami High school)

Oral Presentation

10:30 AM - 11:15 AM JST | 1:30 AM - 2:15 AM UTC | C(Conference Room Uranus)

放射線教育・安全文化

Chairman: Masahiro Hirota (Shinshu University)

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

[3C02] Teaching Material Development of Deterministic Effects (Tissue Reactions) for Radiation Education

○Tomohisa Kakefu¹ (1. JSF)

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

[3C03] Learn about radon with a cloud chamber

○Yukio YOSHIKAWA Yoshizawa¹ (1. Radiation Education Forum)

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

[3C04] Theoretical Structure of Safety Culture in Medical Radiation Practice: A Theoretical Construct Mapping Study of the IAEA Radiation Safety Culture Traits

○Naoyuki WATANABE¹ (1. IAEA/Kanagawa Prefectural Government)

Exhibition

10:00 AM - 12:00 PM JST | 1:00 AM - 3:00 AM UTC | D(Conference Room Mercury, Mars, Venus)

ポスター発表・機器展示

JRIA Encouragement Award

🎵 Fri. Jul 10, 2026 10:40 AM - 11:50 AM JST | Fri. Jul 10, 2026 1:40 AM - 2:50 AM UTC | 🏢 A(Miraikan Hall)

2026年日本アイソトープ協会奨励賞授与式・受賞講演

Chairman: Tetsuya Sakashita(QST)

10:40 AM - 11:05 AM JST | 1:40 AM - 2:05 AM UTC

表彰式

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[3A01] Development of neutron beam polarization techniques using polarized ^3He gas and applied research centered on particle and nuclear physics

○Takuya Okudaira¹ (1. Nagoya University)

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

[3A02] Evaluation of soft error risk in particle radiotherapy

○Makoto Sakai¹ (1. Kyushu University)

11:35 AM - 11:50 AM JST | 2:35 AM - 2:50 AM UTC

[3A03] Radiolabeled probe for in vivo lipid radical detection based on carbon radical-reactive compounds

○Toshihide Yamasaki¹ (1. Kobe Pharmaceutical University)

偏極 ^3He ガスを用いた偏極中性子ビーム偏極技術の開発と素粒子・原子核分野を
中心とした応用研究の展開

Development of neutron beam polarization techniques using polarized ^3He gas
and applied research centered on particle and nuclear physics

名古屋大学理学研究科^{*1}

○奥平 琢也^{*1}

(OKUDAIRA, Takuya^{*1})

1. はじめに

中性子は電荷を持たない、透過力が高い、軽元素に散乱されやすい、スピンを持つなどの特性を持ち、広範な研究領域に対して有用なプローブである。中性子ビームはスピンを揃える(偏極する)ことで、対称性の破れの研究、物質の磁気構造決定、生体分子の構造決定、磁場イメージング、など、無偏極中性子とは質的に異なる新しい研究が可能になる。本研究では偏極 ^3He ガスを用いた中性子偏極デバイスの開発と大強度中性子施設 J-PARC MLF にて応用研究を行なった。

2. 方法

^3He スピンフィルタは偏極 ^3He ガスをガラスセルに封入したデバイスである。広いエネルギーの中性子を偏極可能、立体角が広い、散乱中性子バックグラウンドが小さいという多くの有用な特長を持つ。 ^3He 原子核は自身と反平行スピンの中性子的み吸収するため、偏極 ^3He に無偏極中性子を透過させると偏極中性子を得ることができる(図 1)。ガラスセルに ^3He と共にアルカリ金属を封入し、光ポンピング法を用いて ^3He を偏極する。円偏光大強度近赤外レーザーの照射により、アルカリ金属を偏極させること

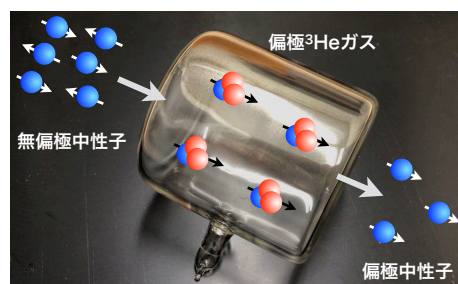


図 1. ^3He スピンフィルタ。ガラスセルに封入した ^3He ガスを偏極することで透過した中性子を偏極できる。

で、 ^3He 原子核を偏極する。ガラスセル内部の不純物、不均一な空間磁場により ^3He 核偏極は容易に壊れてしまうため、J-PARC にて極めて清純な ^3He スピンフィルタの作製システムの構築、ビームラインにおける一様な磁場環境の構築を行なった。また、 ^3He を高効率で偏極させるための Rb-K を用いたハイブリット光ポンピング法の導入、100W 大強度レーザー光学系の構築などを行なった。

3. 結果および考察

これらの装置を用いて 80%程度の高い ^3He 核偏極を達成することに成功した。本装置は J-PARC の中性子ビームラインに導入され、物性、化学、素粒子原子核分野など多様な実験を行なった。特に原子核が中性子を吸収する際に、核子間相互作用由来の対称性の破れが大きく増幅される現象について研究を行なった。J-PARC BL04 にて熱中性子を偏極させ、 ^{139}La が偏極中性子を吸収する際に放出される γ 線に角度分布があることを発見した。また、超伝導磁石と希釈冷凍機を用いて ^{139}La を偏極させ、偏極中性子の透過率を精密測定することにより、スピン依存する断面積の測定にも成功した。これらを統合的に解析することにより、核子間に時間反転対称性を破るような未知の相互作用が存在する場合、その効果が基本相互作用に比べて 10^6 倍と、非常に大きく増幅されることが明らかになった。

4. 結論

J-PARC にて ^3He スピンフィルタを実用化し、偏極中性子ビームの応用研究に成功した。本成果を受けて核内未知相互作用の探索実験が本格的に始動している。中性子のみならず偏極ミュオン He 原子を用いた量子電磁気学の精密検証にも本技術が応用されつつあり、様々な分野で ^3He スピンフィルタを用いた成果創出が期待される。

^{*1} Graduate School of Science, Nagoya University

粒子線治療におけるソフトエラーリスクの評価 Evaluation of soft error risk in particle radiotherapy

九州大学大学院医学研究院^{*1}

○酒井 真理^{*1}

(SAKAI, Makoto^{*1})

1. はじめに

粒子線（陽子線・重粒子線）治療は、ブラッグピークと呼ばれる物理特性を利用して腫瘍へ高線量を集中させる先進的な放射線治療である。一方、粒子線照射に伴う核反応により中性子や二次イオンが発生し、半導体デバイスに一時的な誤作動（ソフトエラー）を引き起こす可能性が指摘されている（図1）。特にペースメーカーなどの医療機器では、一時的な誤作動であっても致命的な影響を及ぼす可能性があり、その安全性評価は重要な課題である。

しかし、医学分野ではソフトエラーに関する研究がほとんど行われておらず、過度な適用制限や現場負担が生じている。本研究では、Field Programmable Gate Array (FPGA) を用いて、粒子線治療場で生じるソフトエラーを定量的に測定し、リスク評価を行った。

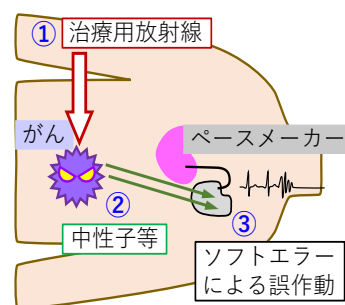


図1. ソフトエラーの発生機序。

2. 方法

FPGA (XC7S50, Xilinx) をアクリルファントム内に設置し、設置位置から 8 cm の位置に炭素ビームを照射した。照射前後の内部メモリ状態を比較し、メモリ反転数をソフトエラー発生数としてカウントした。FPGA に入射する二次粒子のスペクトルを変化させるため、FPGA 周辺の素材を様々に変化した。照射体系を再現したモンテカルロ・シミュレーションにより、FPGA 位置での二次粒子のスペクトルを計算し、ソフトエラー発生数と比較することで、ソフトエラー発生断面積を評価した。

さらに、照射パラメーターによるソフトエラー発生数への影響や、人体ファントムを用いた疑似的な治療条件におけるソフトエラー発生数について評価した。

3. 結果および考察

重粒子線治療における二次粒子のフルエンス、エネルギースペクトルおよび反応断面積の評価結果から、主に高エネルギー中性子がソフトエラーの主な原因であると考えられた（図2）。また、コリメーター開口径や重粒子線のエネルギー、照射方向がソフトエラー発生数に大きく影響することから、同一部位への治療であっても、治療計画によってソフトエラー発生リスクが増減することが分かった。

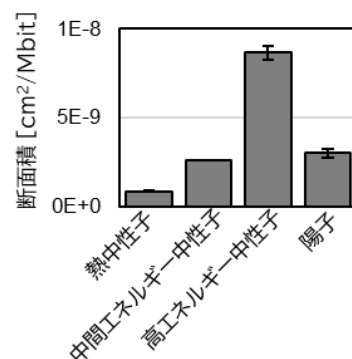


図2. 測定された反応断面積

4. 結論

本研究により、粒子線治療環境におけるソフトエラー発生機構を定量的に評価するための基盤技術を確立した。特に、実測とシミュレーションを統合した評価手法により、従来の吸収線量中心の安全評価から、確率論的指標に基づく新たな評価体系へ転換できる可能性が示された。今後は、本手法を臨床データと統合し、患者ごとのリスク予測および品質管理手法へ発展させることで、粒子線治療における医療機器安全性の向上と新たな放射線防護概念の確立に寄与することが期待される。

炭素ラジカル反応性化合物を基盤とする生体内脂質ラジカル検出放射性プローブの開発 Radiolabeled probe for in vivo lipid radical detection based on carbon radical-reactive compounds

神戸薬科大学^{*1}

○山崎 俊栄^{*1}

(YAMASAKI, Toshihide^{*1})

1. はじめに

脳梗塞や神経変性疾患など多様な疾患において、酸化ストレスが病態形成に深く関与することが知られている。脳は脂質に富む組織であるため、酸化ストレスによる脂質過酸化が他臓器より生じやすく、脂質炭素ラジカルを発端とした連鎖的な過酸化伝播が疾患の形成・進展に影響を与えるが、脂質過酸化と病態との詳細な関係は十分に解明されていない。また、脂質過酸化反応は酸素濃度の影響を受けやすく、大気圧下と生体内では酸素分圧が異なることから、生体内環境に即した計測手法が必要である。そこで本研究では、感度・定量性・生体適用性に優れる放射性同位元素を活用した放射性プローブを開発し、脳虚血再灌流障害モデルにてその有用性を評価した。

2. 方法

脂質炭素ラジカルと選択的に反応して捕捉する化合物（ニトロキシド）の捕捉反応性を維持しつつ放射性ヨウ素を安定導入するため、ラジカル部位から離れた位置にベンゼン環を有する化合物を設計・合成し、そのベンゼン環部位へ放射性ヨウ素を導入した。脂質炭素ラジカルに対する選択性は ESR 測定により評価した。また、健常マウスでの体内放射能分布を評価するとともに、プローブがラジカル状態を保ちながら脳へ移行するかどうかを ESR イメージング (ESRI) により確認した。脳虚血再灌流モデルマウスは中大脳動脈閉塞後に再灌流させて作製し、放射性プローブ投与後の脳切片における放射能分布をオートラジオグラフィにより解析した。

3. 結果および考察

放射化学的収率 85%、放射化学的純度 99%以上で ^{125}I 標識ニトロキシド誘導体の合成に成功した。ESR 測定から、本プローブは各種活性酸素種とは反応せず、脂質炭素ラジカルに選択的に反応することが確認された。健常マウスの体内分布評価では甲状腺への集積は認められず、ヨウ素の脱離は生じていないと推察された。ESRI では、投与直後からプローブが脳内に均一に分布し、ラジカル状態を維持したまま脳へ到達していることが示された。脳虚血再灌流モデルマウスのオートラジオグラフィでは、梗塞側で非梗塞側を上回る放射能集積が確認され、特に再灌流後 30 分では梗塞側全体に高い集積が認められた一方、3 時間・5 時間後では異なる部位への集積が観察された。これらの結果は、脂質炭素ラジカルの生成部位が経時的に変化することを示唆しており、本プローブが生体内でのラジカル検出に機能する可能性が示された。

4. 結論

本研究では、脂質炭素ラジカルに対して高い選択性と生体適用性を有する ^{125}I 標識ニトロキシド誘導体を開発し、脳虚血再灌流障害モデルにおける有効性を実証した。これにより、脂質炭素ラジカルの生成動態を生体内で非侵襲的に追跡できる可能性が示された。今後は生体計測プローブとしての有用性をさらに検証し、酸化ストレスと病態との関連性の解明に貢献することを目指す。

^{*1} Kobe Pharmaceutical University

Special Lecture

⌚ Fri. Jul 10, 2026 1:00 PM - 2:00 PM JST | Fri. Jul 10, 2026 4:00 AM - 5:00 AM UTC | 会A(Miraikan Hall)

特別講演「我が国で新たに承認された前立腺癌に対するPSMA治療とは：セラノスティクスの現状と展望」

Chairman: Ichiei Kuji (Department of Nuclear Medicine, Saitama Medical University International Medical Center)

1:00 PM - 2:00 PM JST | 4:00 AM - 5:00 AM UTC

[3A04] Newly Approved PSMA-Targeted Therapy for Prostate Cancer in Japan: Current Evidence and Future Perspectives

○Masatoshi Hotta¹ (1. Department of Radiology and Nuclear Medicine, National Center for Global Health and Medicine)

我が国で新たに承認された前立腺癌に対する PSMA 治療とは：
セラノスティクスの現状と展望

PSMA-Targeted Therapy for Prostate Cancer Newly Approved in Japan:
The Current Landscape and Future Perspectives of Theranostics

国立国際医療センター 放射線核医学科^{*1}

堀田昌利^{*1}

(MASATOSHI HOTTA ^{*1})

本講演では、我が国で新たに承認された前立腺癌に対する PSMA 標的放射線治療を中心に、セラノスティクスの現状と将来展望について概説する。近年、核医学領域では、診断と治療を一体化した「セラノスティクス」の概念が急速に発展しており、前立腺特異的膜抗原（prostate-specific membrane antigen: PSMA）を標的とした治療は、その代表例として注目されている。まず、セラノスティクスの基本概念と、PSMA PET による高精度画像診断の意義について概説したうえで、前立腺癌診療における PSMA 治療の位置づけについて解説する。特に、VISION 試験および PSMAfore 試験などの主要臨床試験の結果を踏まえ、去勢抵抗性前立腺癌における ¹⁷⁷Lu-PSMA 治療の有効性や適応について整理する。また、PSMA PET 所見を踏まえた「PSMA 治療の良い適応となる症例」の特徴についても、実臨床の観点から考察する。さらに、現在は主として進行例を対象としている PSMA 治療が、今後はアンドロゲン受容体経路阻害薬（androgen receptor pathway inhibitor: ARPI）導入早期など、より前治療段階へと適応拡大していく可能性についても紹介する。加えて、Ac-225 などの α 線放出核種を用いた次世代 PSMA 治療の開発状況や課題についても触れ、前立腺癌におけるセラノスティクスの今後の方向性について展望する。

Panel Discussion

📅 Fri. Jul 10, 2026 2:10 PM - 4:10 PM JST | Fri. Jul 10, 2026 5:10 AM - 7:10 AM UTC | 🏢 A(Miraikan Hall)

What is the next? -Radiation Measurement-

Chairman: Shunsuke Kurosawa(Nagoya University)

2:10 PM - 2:30 PM JST | 5:10 AM - 5:30 AM UTC

[3A05] From Basic Research to Social Applications of Quantum Measurement Technology: A Case Study of Nuclear Emulsions

○Tatsuhiro Naka¹ (1. Toho University)

2:30 PM - 2:50 PM JST | 5:30 AM - 5:50 AM UTC

[3A06] Development of a Thorium-229 Nuclear Clock for Next-Generation Quantum Metrology

○Sayuri Takatori¹ (1. Okayama University)

2:50 PM - 3:10 PM JST | 5:50 AM - 6:10 AM UTC

[3A08] Emerging Quantum Detection Technologies for High-Energy Nuclear Physics
—Semiconductor Photodetectors and Streaming Data Acquisition—

○Sho Nagao¹ (1. University of Tokyo)

3:10 PM - 3:30 PM JST | 6:10 AM - 6:30 AM UTC

[3A07] How can technologies for measuring invisible particles be applied to society? Perspectives from nuclear physics experiments

○Tatsuya Furuno¹ (1. University of Fukui)

3:30 PM - 4:10 PM JST | 6:30 AM - 7:10 AM UTC

討論

原子核乾板技術を例にした量子計測技術の基礎研究から社会応用
From Basic Research to Social Applications of Quantum Measurement Technology:
A Case Study of Nuclear Emulsions

東邦大学理学部^{*1}

○中 竜大^{*1}

(Tatsuhiko NAKA^{*1})

1. はじめに

これまでの歴史をみても、基礎研究と応用研究は、両輪として相互に連携をしながら学問と科学技術の発展、そして社会の発展に寄与してきた。量子計測技術において、19世紀後半の放射線の発見依頼、原子核物理学、量子力学、相対性理論そして素粒子物理学への発展とそれに伴う計測技術の発達、そして、その計測技術はさまざまな社会実装として結びつき、生命科学、医療科学、材料科学等さまざまな分野へと波及していった。その中で、本講演の題材として挙げる「原子核乾板」は、1910年、木下季吉が写真乾板が放射線（ α 線）の飛跡を記録できることを発見したことを皮切りに、その後、原子核物理や素粒子物理へ広く使われるようになった。その後、写真フィルムの市場拡大と技術開発に大きく助けられ、湯川秀樹が日本人として最初のノーベル賞を受賞する「 π 中間子」の発見に重要な貢献をなすことになった。今現在、原子核乾板はさらなる高度化を果たし、基礎科学のみならず社会実装においても注目されるようになってきている。特に、近年、最も注目をされたのがミューオンラジオグラフィによる大型構造物の内部透視であろう。ここでは、量子計測技術が基礎科学からどのように社会実装にいきついたかについて、原子核乾板の事例を紹介し、その後のパネルディスカッションへの話題提供とする。

2. 原子核乾板とその応用

原子核乾板は、銀塩写真フィルム的一种であり、微細なハロゲン銀(AgBr(I))結晶がポリマー中に分散された構造を持つ。AgBr(I)結晶のサイズは、典型的な原子核乾板で200nm程度であり、ここに放射線（荷電粒子）が通過すると、その電離作用によって内部で化学反応が生じ、最終的に放射線の飛跡を銀粒子の形で光学顕微鏡を用いて可視化することができる（図1参照）。原子核乾板は、この微細なAgBr(I)結晶がセンサーとして機能することから、極めて高い空間分解能を持つ放射線飛跡検出器として機能する。この記録された飛跡を読み出す技術は、光学顕微鏡が基本となるが、それを高速に読み出す技術開発が半世紀近く継続して進められ、それに伴い、原子核乾板実験を用いた実験の大型化が可能となった。

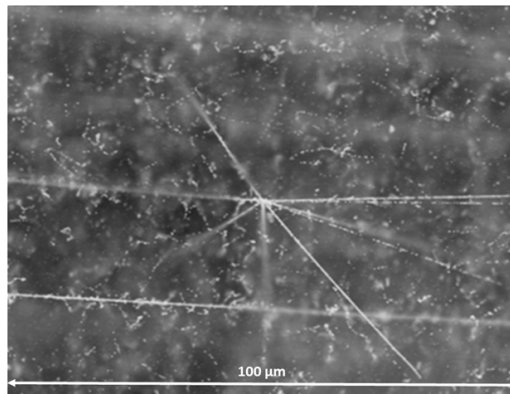


図1 原子核乾板に記録された重粒子線飛跡と核破砕反応の光学顕微鏡画像

原子核乾板を用いた最も大きな実験は2015年の梶田隆章博士がノーベル物理学賞を受賞した「ニュートリノ振動」の最終検証実験として行われたOPERA実験であり、産学連携での大規模な実験が行われ、大型化と効率化におけるさまざまな技術開発が行われた。これらの技術基盤と、原子核乾板が持つ高い空間分解能とそれに伴う放射線飛跡の高い角度分解能ならびに汎用性が、ミューオンを用いた非破壊イメージングに適していることが提案され、ミューオンを用いた非破壊イメージング（ミューオンラジオグラフィ）へと繋がり、基礎・応用科学両面において活用される量子計測技術として発展している。

^{*1} Faculty of Science, Toho University

^{*2} Kobayashi-Maskawa Institute for Origin of Particle and the Universe, Nagoya University

次世代量子計測に向けたトリウム 229 原子核時計の開発
Development of a Thorium-229 Nuclear Clock for Next-Generation Quantum Metrology

岡山大学異分野基礎科学研究所^{*1}

○高取沙悠理^{*1}

(TAKATORI, Sayuri ^{*1})

原子時計は、原子やイオンの量子準位間の遷移周波数を標準として時間を測定する技術であり、現代の量子計測を代表する技術の一つである。特に光格子時計や単一イオン時計では、極めて高い周波数精度が実現されており、重力ポテンシャル差の測定、基礎物理定数の時間変化探索等への応用も進んでいる。他方、トリウム 229 (^{229}Th) は約 8.4 eV という原子核としては特異的に低い第一励起準位（アイソマー準位）を持ち、レーザーによる直接制御が可能な、現在知られる唯一の原子核である。この原子核遷移を周波数標準として用いる原子核時計は、従来の原子時計より高い周波数精度を持つ可能性があり、その実現が期待されている。近年、 ^{229}Th アイソマー準位からの脱励起光の直接観測や、レーザーによる共鳴励起が相次いで報告され、原子核時計の実現に向けた研究が世界的に急速に進展している。

我々の研究グループも、放射光 X 線を用いた独自の励起手法により、 ^{229}Th アイソマー準位からの脱励起光の直接観測に成功し、レーザーでの直接励起に向けた長年の課題であったアイソマー準位のエネルギーおよび寿命の決定に貢献してきた。また、原子核時計の実現には、アイソマー準位の高精度レーザー分光が不可欠であるが、この遷移は波長約 148 nm の真空紫外（VUV）領域に対応するため、専用の狭線幅 VUV レーザー光源が必要となる。我々のグループでは、四光波混合法により、レーザー分光可能な狭線幅 VUV パルスレーザーを開発し、 ^{229}Th をドープしたフッ化カルシウム結晶を標的とした固体中での原子核レーザー分光を行った。実験の結果、固体結晶中における原子核遷移スペクトルの取得に成功した。

このように、我々の研究グループでは、 ^{229}Th 原子核時計の実現に向けて、アイソマー準位からの脱励起光直接観測、および VUV パルスレーザーによるレーザー分光を進めてきた。これらの成果は、原子核遷移を用いた新しい周波数標準および精密量子計測技術の実現に向けた重要なステップである。

本講演では、近年大きな進展があった ^{229}Th 原子核時計研究の現状や今後の展開について、我々の研究グループの成果とともに紹介する。

^{*1} Research Institute for Interdisciplinary Science (RIIS), Okayama University

高エネルギー原子核実験における次世代量子計測技術とは？

—半導体光検出デバイスと高速データ収集系—

Emerging Quantum Detection Technologies for High-Energy Nuclear Physics

—Semiconductor Photodetectors and Streaming Data Acquisition—

東京大学大学院理学系研究科^{*1}○永尾 翔^{*1}(NAGAO Sho ^{*1})1. はじめに

高エネルギー原子核実験では、電子・陽子など加速器から供給される高エネルギー粒子ビームを用い、原子核・ハドロンの構造や相互作用を実験的に解明してきた。その測定には、飛跡検出器、シンチレーション検出器、チェレンコフ検出器、カロリメータなど、多様な検出器が用いられ、粒子の位置、時間、エネルギー、識別情報を同時に取得する必要がある。検出器からの信号は、NIM/CAMAC/VMEなどのフロントエンド回路、さらに各研究所、実験グループ単位で開発されたトリガー型データ収集システムを組み合わせることで読み出されてきた。

一方で、近年の原子核実験では、希少事象の高精度測定に向けたビームの大強度化が進展しており、多チャンネル、精密時間・位置測定、高計数率環境、耐放射線、汎用化などをキーワードとして検出器・読み出し系の高度化が求められている。

2. 注目される技術的要素

このような要求に応えるため、半導体光検出デバイス、高集積フロントエンド回路、ストリーミング型高速データ収集系などを組み合わせた次世代量子計測技術の導入が進みつつある。

浜松ホトニクス社の Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) に代表される SiPM は、小型で高い光子検出効率を有し、磁場中での動作が可能であることから、従来の光電子増倍管に代わる光読み出しデバイスとして注目されており、多数のシンチレーションファイバーやセグメント化されたシンチレータと組み合わせる導入事例がある。

また、多チャンネル・高計数率環境に対応するためには、検出器信号を低雑音かつ高速に処理するフロントエンド回路が不可欠である。近年の原子核実験では、従来型の低速な電荷積分型 ADC といったフロントエンド回路から、サンプリング ADC モジュールや Time-Over-Threshold (TOT) 法、キャリアチェーン型 FPGA-TDC への移行が急速に進んでいる。さらにこれらフロントエンド回路モジュールに輸入された全チャンネルの信号を連続的かつ高速に読み出すストリーミング型データ収集系の導入も進んでいる。

3. 導入事例の紹介

このような新世代の量子計測技術の導入により、高レート環境における効率的なデータ収集、複雑な事象選別条件への柔軟な対応が可能となった。また、この技術は小規模から大規模実験までを同じフレームワークで計測可能な汎用システムとなっている。前述の技術要素を取り入れた事例として、宇宙線・密封線源を用いたテスト実験、東北大学や J-PARC の加速器を利用した原子核実験の例を紹介する。これら事例では、従来の技術では回路規模が大きい、または計測困難であった実験を前述の新技术導入によりテーブルサイズのセットアップで実現している。

4. 結論

原子核実験では、多チャンネル化・高精度化・高計数率化に対応する新しい計測基盤が求められており、近年、新技术の発展と導入が進んでいる。本講演では、MPPC、高集積フロントエンド回路、ストリーミング DAQ の導入事例を通じ、その現状と展望を述べる。

見えない粒子を測る技術は、社会にいかに応用されるか：原子核実験からの視点
How can technologies for measuring invisible particles be applied to society?
Perspectives from nuclear physics experiments

福井大学学術研究院物理工学講座^{*1}

古野 達也^{*1}

(FURUNO, Tatsuya^{*1})

原子核物理実験では、原子核、ガンマ線、中性子に代表されるような、目に見えず、直接触れることのできない粒子や反応を測定対象としてきた。そのため、シンチレータ、半導体検出器、ガス飛跡検出器、カロリメータ、高速波形読み出しなど、多様な検出技術が発展してきた。これらの技術の本質は、単に放射線を検出することではなく、その粒子の種類、エネルギー、到来方向、反応位置、時間相関を再構成し、「見えない現象」を物理量として可視化する点にある。

このような原子核実験の計測技術は、基礎科学にとどまらず、医療、環境、産業、宇宙開発など幅広い分野に応用されている。たとえば医療分野では、PET や SPECT などの核医学イメージング、陽子線・重粒子線治療における線量分布や飛程の検証、放射性同位体の製造・品質管理などに放射線計測技術が用いられている。また、環境放射能の監視、非破壊検査、宇宙放射線計測などにも、基礎科学実験で培われた高感度・高分解能な検出技術が活かされている。

本講演では、原子核物理実験で用いられる粒子検出器とデータ解析の考え方を紹介し、それらが社会の中でどのように利用され得るかを議論する。「見えない粒子を捉える」技術は、次世代の医療画像、粒子線治療モニタリング、線量評価において重要な役割を果たす可能性がある。原子核実験を起点として、基礎研究と社会応用をつなぐ量子検出技術の展望を考えたい。

^{*1} Department of Applied Physics, University of Fukui

Intro

🎵 Fri. Jul 10, 2026 4:15 PM - 4:35 PM JST | Fri. Jul 10, 2026 7:15 AM - 7:35 AM UTC | 🏢A(Miraikan Hall)
表彰式・閉会式

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

表彰式

4:30 PM - 4:35 PM JST | 7:30 AM - 7:35 AM UTC

挨拶

Invited Lecture

📅 Fri. Jul 10, 2026 10:00 AM - 10:30 AM JST | Fri. Jul 10, 2026 1:00 AM - 1:30 AM UTC | 🏢 B (Conference Room Saturn)

放射線計測2

Chairman: Kenji Shimazoe (The University of Tokyo)

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

[3B01] Development of Radiation Diagnostics in Magnetic Confinement Fusion Plasma

○ Kunihiro Ogawa^{1,2}, Longyong Liao¹, Eiji Takada³, Mitsutaka Isobe^{1,2} (1. National Institute for Fusion Science, 2. SOKENDAI, 3. NIT, Toyama)

磁場閉じ込めフュージョンプラズマ診断のための放射線計測研究開発 Development of Radiation Diagnostics in Magnetic Confinement Fusion Plasma

自然科学研究機構核融合科学研究所^{*1}，総合研究大学院大学^{*2}，富山高等専門学校³

○小川 国大^{*1,2}，LIAO Longyong^{*1}，高田 英治^{*3}，磯部 光孝^{*1,2}

(OGAWA, Kunihiro^{*1,2}; LIAO, Longyong^{*1}; ISOBE, Mitsutaka^{*1,2}; TAKADA, Eiji^{*3})

フュージョンエネルギーの実現に向け、磁場閉じ込めフュージョンプラズマの研究開発が行われている。フュージョンプラズマの診断においては、放射線計測が広く用いられている。

フュージョンプラズマにおいては、重水素－三重水素反応によって生成される高速中性子の総発生率を計測することで、フュージョン出力が得られる。また、現行の実験では、主加熱源である重水素－三重水素反応によって生成される高エネルギーアルファ粒子の挙動を理解するため、高エネルギー陽子或いは重陽子をプラズマ中に発生させ、その挙動を理解する研究が行われている。プラズマ中に発生した高エネルギー重陽子と主プラズマの重陽子の反応によって生成された中性子の発生率・発生分布・エネルギースペクトル分析を行うことで、高エネルギー重陽子の情報が得られる。プラズマから発生する中性子発生率は加熱・プラズマの状態に追随し、短時間(ミリ秒オーダー)に何桁も変動しうるため、ガンマ線に不感であり、時間応答に優れ、且つ広いダイナミックレンジを有するものが求められる。我々は、ポリエチレン減速材付きフィッションチェンバーを検出器として用い、パルス計測系とキャンベル計測系を併用するとともに、Field Programmable Gate Array (FPGA) に基づく高速信号処理を行うことで、時間応答 2 ms および 6 桁以上のダイナミックレンジを実現するシステムを構築した。中性子の発生分布計測においては、スチルベンシンチレータ、ゲイン変動耐性の高い光電子増倍管、および 1 GHz サンプリングのパルス波形収集機能を有するデータ収集系から構成されるシステムを構築した。本システムは、 10^6 counts/s のパルス計数率に耐えるとともに、優れたパルス波形弁別性能を有する。中性子エネルギースペクトル計測においては、従来の EJ-309 液体シンチレーション検出器に加え、塩素の中性子反応を利用したアンフォールディング不要の $\text{Cs}_2\text{7LiYCl}_6\text{:Ce}$ シンチレータに基づくシステムを構築し、フュージョンプラズマ中の重水素-重水素中性子のドップラーシフトを観測した。さらに、直接あるいは荷電交換反応によってプラズマ外へ逃逸した高エネルギー粒子を測定するため、 ZnS:Ag シンチレータ平板を用いた磁場スペクトロメータを構築し、二次元イメージ計測を実施した。また、放射線耐性に優れた人工単結晶ダイヤモンド検出器を用いて、高エネルギー中性粒子のエネルギースペクトル計測を行った。

講演においては、フュージョンプラズマにおける放射線計測機器の詳細及び研究開発の現状について述べる。

^{*1} National Institute for Fusion Science, National Institutes of Natural Sciences

^{*2} The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI

^{*3} National Institute of Technology, Toyama College

Oral Presentation

🎵 Fri. Jul 10, 2026 10:35 AM - 11:35 AM JST | Fri. Jul 10, 2026 1:35 AM - 2:35 AM UTC | 🏢 B (Conference Room Saturn)

放射線計測3

Chairman: Kenji Shimazoe (The University of Tokyo), Norikaki Katayama (Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute)

10:35 AM - 10:50 AM JST | 1:35 AM - 1:50 AM UTC

[3B02] Development of Bayesian-based rapid detection method for Low-level environmental gamma radiation

○ Shota Nakata¹, Soma Itiba¹, Hiroyuki Miyamaru¹ (1. OMU)

10:50 AM - 11:05 AM JST | 1:50 AM - 2:05 AM UTC

[3B03] High-sensitivity detection of environmental gamma radiation using coincidence method

○ Soma Ichiba¹, Syouta Nakata¹, Hiroyuki Miyamaru¹ (1. OMU)

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[3B04] Evaluation of the effect of uniformity of Cs-137 gamma ray irradiation field on calibration using an on-site calibration irradiation system

○ Masahiro KATO¹, Nozomi Saito², Hiroyuki Tanaka² (1. AIST/NMIJ, 2. JCAC)

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

[3B05] Methods for the removal of tritium from liquid scintillator waste 2

○ Hirokazu Miyoshi¹, Tomoyuki Iwasaki² (1. ARREMC/Tokushima Univ., 2. ARSC/Ehime Univ.)

環境中の微量ガンマ線を対象としたベイズ推定による高速検知法の開発 Development of fast Bayesian estimation method for detecting trace amounts of gamma rays in the environment

大阪公立大学大学院 工学研究科 量子放射線系専攻^{*1}

○中田 将太^{*1}, 市場 颯馬^{*1}, 宮丸 広幸^{*1}

(NAKATA, Shota^{*1}; ICHIBA Soma^{*1}; MIYAMARU, Hiroyuki^{*1})

1. はじめに

東日本大震災による原発事故により、放射性物質であるセシウム 137(Cs-137)が環境中に放出され現在も広い地域の土壌に残留している。また発電所近隣地域の除染により発生した大量の除染土（復興再生土）は今後全国各地での活用が考えられており、極微量 Cs-137 の検知は重要となる。一般にシンチレーション検出器を用いた屋外でのガンマ線測定では、微量の Cs-137 から放出される 662 keV の光電ピークは自然バックグラウンド(BG)スペクトルに埋もれやすく有意な検知には長時間の測定を要する。本研究では、臭化セリウム(CeBr3)シンチレーション検出器からのエネルギースペクトルを対象として、ベイズ推定に基づいた Cs-137 のガンマ線を高速に検知する手法の開発を行っている。

2. 方法

本手法は広域ベイズ推定と局所ピーク推定の2つの指標を組み合わせた逐次検知法である。

図1に示すように、緑色で示した広域スペクトル領域を用いたベイズ推定では、PHITS シミュレーションで得た Cs-137 の検出器応答スペクトルと事前計測した BG スペクトルを基にモデルを構築し、逐次更新されるスペクトルデータから Cs-137 計数率の事後確率分布を推定した。青色で示す局所ピーク推定では、カリウム

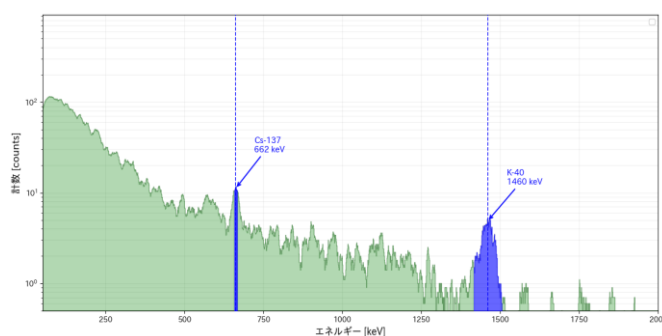


図1. ガンマ線スペクトルと各監視領域

40 の形成する 1460 keV ピーク領域を参照指標として、Cs-137 が存在しない条件における BG が成す 662 keV ピーク領域との計数率比率の差を Cs-137 のピーク形状で重み付けしながら逐次累積した。両指標において Cs-137 が存在する確率がそれぞれ設定した閾値を超えた時点で検知と判定した。両指標が各々設定した閾値を超えた時点で AND 条件により検知と判定し、理論誤検知率を 5%以下に抑えるとともに、2 指標が使用するスペクトル領域が重複しないよう設計した。

3. 結果および考察

従来法（5 分積算）における検出限界相当の Cs137 計数率を対象に、1000 回のシミュレーションを実施した。1.5 インチの CeBr3 シンチレーション検出器を用いた場合の測定結果をもとに、検知率 99%、平均検知時間約 50 秒、誤検知率 4%が得られ、従来法と比較して検知時間を約 1/6 に短縮しつつ、高い検知率を維持することが確認された。本手法は事前 BG データを必要とするが、複数サンプリング試料のスクリーニングでは一度の事前計測で対応可能であり、サンプリング数が増えるほど従来法に対する時間的優位性が拡大する。今後は実測データによるパラメータ最適化と検証を課題とする。

^{*1} Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University

同時計数法を用いた環境中微量ガンマ線の高感度検出 High-sensitivity detection of environmental gamma radiation using coincidence counting method

大阪公立大学大学院工学研究科 量子放射線系専攻^{*1}

○市場 颯馬^{*1}, 中田 将太^{*1}, 宮丸 広幸^{*1}

(ICHIBA, Soma^{*1}; NAKATA, Shota^{*1}; MIYAMARU, Hiroyuki^{*1})

1. はじめに

放射性物質であるセシウム 137 (Cs137) は東京電力の原子力発電所事故に由来する長期的な環境汚染の主要核種であり、662 keV のガンマ線を放出する。しかし、自然環境中において Cs137 の微弱な放射能を測定する場合、光電ピークは環境中の連続ガンマ線やコンプトン散乱連続部等のバックグラウンド (BG) に埋もれやすく、特に遮へいが困難な屋外では検出が困難となる。

本研究は、この問題を解決するため、複数のシンチレーション検出器を用いた同時計数法に基づく計測手法を提案し、開発を行っている。本発表では同時計数回路による 2 次元エネルギースペクトルの取得とその解析に関する実験結果を報告する。

2. 方法

本研究では、2 台のタリウム活性ヨウ化ナトリウムシンチレーション (NaI(Tl)) 検出器を近接に配置し、同時計数回路に接続しその同時事象信号のみを取り出して 2 次元エネルギースペクトルを取得し解析した。実験では Cs137 標準線源を用いて線源-検出器間距離および計測時間を変化させることで、計数率を変化させながら測定を行った。

2 台の検出器で同時に検出された事象は、両検出器の波高値を縦横の軸にとった 2 次元スペクトルとして記録される。Cs137 は 1 台目でコンプトン散乱されたガンマ線が 2 台目の検出器内で光電効果を行った場合には、2 台の検出器に分配されるエネルギーの和が元のガンマ線エネルギーに等しくなる。このような事象は、2 次元スペクトル上では負の傾きをもつ直線分布が現れる。また BG の多くの事象は同時計数事象から除外され、チャンスコインシデンスによる同時計数事象も Cs137 による分布の位置とは異なる領域に計数を与えるために、2 次元スペクトル上では BG の低減が期待できる。

Cs137 のガンマ線に相当するこの斜めの分布に沿った領域内の計数を積算することで、Cs137 による計数を取り出すことができる。各計測時間における領域内計数率と BG 計数率の差を BG のポアソンゆらぎで割ることで有意度を求め、検知性能の計数率による影響を評価した。

3. 結果および考察

NaI(Tl)検出器 2 台を用いて遠方に配置した Cs137 標準線源を測定し、同時計数と単一スペクトル測定を比較した結果、現状では単一測定によるピーク認識性能が同時計数によるものを上回った。次に偶発同時計数 (チャンスコインシデンス) の低減のため鉛遮蔽を施すと、BG 計数率が低下し同時計数でも Cs137 の検出が可能になった。しかし、鉛遮蔽の条件下でも、2 次元同時計数の有効性を単一スペクトルに対して明確に示すには至らなかった。これは散乱線の検出効率が低いことに起因している。今後は 2 次元スペクトル上で Cs137 の信号が集中する領域に限定して信号抽出することや、市販の検出器形状にこだわらず同時計数法に適した検出器デザインを検討する予定である。

^{*1} Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University

現地校正用照射装置による Cs-137 ガンマ線照射場の不均一性が校正に及ぼす影響の評価 Evaluation of the effect of nonuniformity of Cs-137 gamma ray irradiation field on calibration using an on-site calibration irradiation system

産総研・計量標準^{*1}，日本分析センター^{*2}

○加藤 昌弘^{*1}，斎藤 望美^{*2}，田中 博幸^{*2}

(KATO, Masahiro^{*1}; SAITO Nozomi, TANAKA Hiroyuki^{*2})

1. はじめに

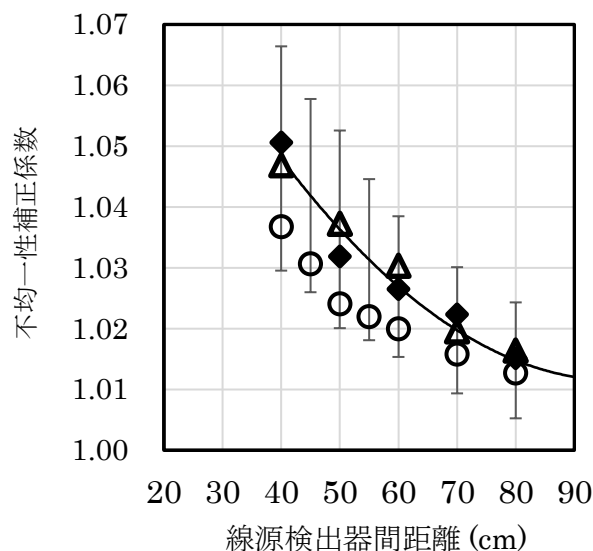
モニタリングポスト等の環境 γ 線による空間線量を測定する据付型の環境モニタリング機器を現地校正する手法として、可搬型の現地校正用照射装置によって校正する手法^[1]が用いられている。この手法では、放射線管理区域を設定せずに使用可能な比較的小さい数量の線源を用いる必要があるため、線源検出器間距離は 40 cm から 1 m 程度と短い距離で測定が行われる。検出部が大きい電離箱式の線量計を校正する場合は検出器に対して γ 線が均一に照射されないことになるため、不均一性の影響を見積もる必要がある。本研究では 22 L の電離箱式線量計について不均一性の影響を補正係数として評価した。

2. 方法

22L 電離箱式線量計の校正定数を、①産総研の γ 線照射施設、②現地校正用照射装置の両方で測定し、値を比較した。線源は Cs-137 に対して行った。現地校正用照射装置については線源検出器間距離 d を 40 cm から 1.0 m まで変化させた。さらに EGS5 コードによるモンテカルロシミュレーションにより、Cs-137 ガンマ線が③平行に照射された場合の校正定数と④拡散ビームとして照射された場合の校正定数とを計算し、線源検出器距離ごとにこれらの校正定数の比を求めた。測定による導出は 2 回行った。①～④の方法で得た校正定数をそれぞれ N_1 , $N_2(d)$, N_3 , $N_4(d)$ とし、 $N_1/N_2(d)$ および $N_3/N_4(d)$ を不均一補正係数として d に対してプロットした。

3. 結果および考察

2 セットの測定値とシミュレーション値は 2% 以内で一致した。シミュレーション結果に基づき、補正係数を決定するための近似式を導出した。40 cm から 80 cm の線源-検出器距離の範囲において、補正係数に関連する拡張不確かさ(包含係数 $k=2$)は 1%-1.8%であると評価した。この結果は、本研究で提案した補正法が、環境モニタリング機器の実用的な現場校正において十分な精度を提供することを示している。



図：線源検出器間の関数としての不均一補正係数。
 ○, △：測定による結果($N_1/N_2(d)$ より導出)。◆：シミュレーションによる結果($N_3/N_4(d)$ より導出)。実線：シミュレーション結果に対する近似式による値。エラーバー：近似式による補正係数の拡張不確かさ。いくつかの距離について示した。

[1] M. Kato et al., Journal of Radiation Protection and Research 2024; 49(4): 166-173.

^{*1} National Metrology Institute of Japan, AIST

^{*2} Japan Chemical Analysis Center

液体シンチレータ廃液からのトリチウム除去法の検討 2

Methods for the removal of tritium from liquid scintillator waste 2

徳島大学放射線総合センター^{*1}, 愛媛大学学術支援センター^{*2}

○三好 弘一^{*1}, 岩崎 智之^{*2}

(MIYOSHI, Hirokazu^{*1}; IWASAKI, Tomoyuki^{*2})

1. はじめに

低エネルギー β 線の放射能測定には、液体シンチレータ(LS)を用いた液体シンチレーションカウンター(LSC)で測定する方法が一般的である。生じた LS 廃液は、有機溶媒や界面活性剤を主成分とした LS と RI 標識化合物水溶液の混合状態にある。自施設での放射能濃度を限定した LS の焼却処理または日本アイソトープ協会による引取りによって処分している。前回の報告では、トリチウム(^3H)の LS 廃液について、Molecular Sieves (MS)と、有機溶媒相と水相の分離が可能な Phase separator (PS)を用いて ^3H の除去結果を発表した。本研究では、MS と PS を組み合わせた簡便で効果的な ^3H の除去法と除去率について調べた結果を報告する。

2. 方法

トリチウム水(HTO)を 100 μL 採取して LS(National diagnostics, Ecoscint Ultra) 8 mL と混合し、LS 廃液のモデル溶液とした。MS 3A, 13X (富士フィルム) をガラス製ろ過筒に一定量詰め、LS 廃液を 0.8 mL/g として MS 3A, 13X を満たすように加えて 0~192 時間浸した。その後、1 枚の PS (Cytiva)でろ過して得られた廃液中の ^3H の正味の計数率を LSC-6100 (Aloka)で測定して LS 廃液中の ^3H 残存率を算出した。

3. 結果および考察

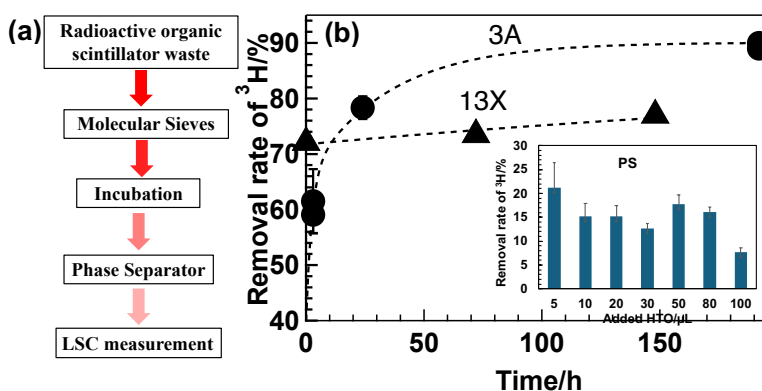


Fig.1 (a)Procedure of ^3H removal. (b) Removal rate of ^3H vs time.

Inset: Removal rate of ^3H vs. added HTO using PS.

α -cage (super cage)と β -cage (sodalite cage)があることから、 α -cage への早い吸着と β -cage への遅い吸着を示唆している。(R. Lin et al. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2015**, 54, 10442–10448.) MS 3A への浸漬時間の増加とともに LS 廃液中の HTO 吸着量が増加し、PS に滴下される LS 廃液中の HTO は減少することから、PS による HTO 除去率は増加する(挿入図)と考えられる。

4. 結論

HTO を含む LSC 廃液を MS 3A に 192 h 浸漬した後、PS で濾過することで 90%以上の HTO を簡便に除去することができた。

^{*1} Adv. Rad. Res., Edu. Mgmt. Ctr., Tokushima University

^{*2} Advanced Research Support Center, Ehime University

Invited Lecture

📅 Fri. Jul 10, 2026 10:00 AM - 10:30 AM JST | Fri. Jul 10, 2026 1:00 AM - 1:30 AM UTC | 🏢 C(Conference Room Uranus)

リスクコミュニケーション

Chairman: Masahiro Hirota (Shinshu University)

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

[3C01] Implementation, Educational Impact, and Future Directions of Inquiry-Based Instruction Using Clearance Metal in High School Education

○Yukinori Asai¹ (1. Fukuiminami High school)

クリアランス金属を教材とした高等学校「総合的な探究の時間」における授業実践と 教育効果および展望

Educational Practice, Impact, and Future Directions of Inquiry-Based Learning Using Clearance Metal as Instructional Material at the High School Level

福井南高等学校*1

浅井 佑記範*1

(ASAI, Yukinori*1)

1. はじめに

福井南高等学校では、「原子力発電と社会的受容」をテーマに 2021 年度から生徒たちが主体的に探究を進めている。2022 年度からは、原子力発電所の廃止措置に伴って生じる人体に影響がないと国が認定した放射性廃棄物（以下、クリアランス物）を用いて当時の生徒たちが街灯を製作、およそ 2 年かけて通学路への設置を実現した。これは、クリアランス物を用いた日本初の公共インフラである。現在では、リレー探究方式で、生徒たちが県内外の希望する教育機関を中心に街灯の設置や交流を進めている。

ここでは、教育的な視点から、このクリアランス物を扱う意義や活動におけるリスクについて述べる。

2. 方法

本校では生徒有志が 2021 年度から原子力発電の社会的受容というテーマで自主学習を行っている。これが発展するかたちで、通学路が暗いという学校課題、地域産業の活性化という地元課題、そして地層処分という国全体の課題、ひいては資源のリサイクルという地球規模の課題という複数のスケールをかけ合わせてクリアランス金属を用いた街灯づくりが 2022 年度からはじまった。各専門家監修のもとで照度や鑄造工学、モチーフとした水仙に関する知識、また道路行政や補助金の管理、合意形成など様々な領域を学際的に学び、およそ 2 年かけて国内初のクリアランス金属製公共インフラとして通学路上に設置を実現した（右写真）。この間、卒業生が大学進学後もゼミ助手のかたちで活動に参画する仕組みが自然と形成され、大学での学びと高校での実践を往還することで学びを深化させている。



3. 結果および考察

設置にあたっては地域住民への周知や反対意見への説明など、生徒たちは教科書に書いてあることだけでなく、実社会における矛盾や不合理、また人間の感情面への対応にも直面し、科学の社会実装における課題を多く学ぶことができた。街灯設置のニュースは各メディアで取り上げられ、2026 年 5 月 7 日時点で要望があった北海道、福井県、岐阜県、兵庫県、島根県、長崎県、鹿児島県教育機関計 10 校に設置されている。また、今年度は 6 道県計 7 校で設置準備が進められている。設置校の校種や学科は様々であり、目的も放射線教育だけでなく原子力発電のバックエンドという社会課題に触れる機会やものづくりなど多岐にわたる。クリアランス金属は教材として射程の広い素材であるといえる。

4. 結論

生徒たちの自主学習は 2022 年度から高等学校ではじまった「総合的な探究の時間」に引き継がれ、現在もリレー探究形式で後輩たちに受け継がれている。一方で、教員ネットワークづくりが急務である。

*1 Fukuiminami High School

Oral Presentation

🎵 Fri. Jul 10, 2026 10:30 AM - 11:15 AM JST | Fri. Jul 10, 2026 1:30 AM - 2:15 AM UTC | 🏢 C(Conference Room Uranus)

放射線教育・安全文化

Chairman: Masahiro Hirota (Shinshu University)

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

[3C02] Teaching Material Development of Deterministic Effects (Tissue Reactions) for Radiation Education

○Tomohisa Kakefu¹ (1. JSF)

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

[3C03] Learn about radon with a cloud chamber

○Yukio YOSHIZAWA Yoshizawa¹ (1. Radiation Education Forum)

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

[3C04] Theoretical Structure of Safety Culture in Medical Radiation Practice: A Theoretical Construct Mapping Study of the IAEA Radiation Safety Culture Traits

○Naoyuki WATANABE¹ (1. IAEA/Kanagawa Prefectural Government)

放射線教育のための確定的影響（組織反応）の教材開発
Teaching Material Development of Deterministic Effects (Tissue Reactions)
for Radiation Education

（公財）日本科学技術振興財団^{*1}

○掛布 智久^{*1}

（KAKEFU, Tomohisa ^{*1}）

1. はじめに

当財団では、放射線教育に取り組む教職員をサポートするため、eラーニングページ、コンテスト（放射線教材、放射線授業事例）、出前授業、貸出等、放射線教育支援サイト“らでい”（<https://www.radi-edu.jp/>）を通じた様々な情報提供、活動を行っている。放射線の学習に際し、児童生徒が強く興味関心を示すテーマの1つに「人体影響」がある。特に、生物を選択しなかった高校生、大学生にも取り組むことのできる「人体影響」に関する教材を開発し、実習を通じた放射線教育のさらなる充実を目指している。本発表では、昨年度の「確率的影響」をテーマにした教材開発に続いて、「確定的影響（組織反応）」について開発した教材を紹介する。

2. 方法

環境省『放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和6年度版）』の「細胞死と確定的影響（組織反応）」（<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-05.html>）では、「放射線の量が増え、死亡する細胞が増加すると、その組織や臓器の機能が一時的に衰え、臨床症状が出る場合があります」「さらに大量の放射線を浴び、組織や臓器の細胞の損傷が大きい場合には、永久に機能喪失や形態異常が起こる可能性があります」との説明がある。この確定的影響（組織反応）の内容を学習する教材として100円ショップなどで簡単に入手できる（株）成成『ぐらっとモンキーツリー（図1）』を活用することができるのではないかと考えた。『ぐらっとモンキーツリー』のそれぞれのくぼみを「細胞」、くぼみの集合である緑色の板を「組織」と見立て、そのくぼみにピンが載ることで細胞損傷を表現してみた。ピンを何個も載せていくと、どこかでバランスを失って崩れる仕組みを使って、しきい線量を超えて「組織」が回復不能となる場面を表現したいと考えたわけである。

そこで、いくつかの高校や大学で本教材を活用した授業（講義）を実施して、アンケートによる効果測定、教材内容（説明、実習の手順等を含む）のブラッシュアップを図ることにした。

3. 結果

アンケート結果によると、「わかりやすかった」「関心度は高くなった」「積極的に取り組めた」「身近な問題としてとらえることができた」「仕組みがよくわかった」という設問に対し、多くの受講者からポジティブな回答を得ることができた。その理由の1つに、「DNA」ではなく、「細胞」と大きく捉えることによって、中学校理科の知識があれば理解できる内容となったことが考えられるだろう。

4. 謝辞

放射線による人体影響をテーマにした教材を開発するにあたり、元帝京大学教授・鈴木崇彦氏、（公財）環境科学技術研究所理事長・島田義也氏に、多大なるご指導とご助言を賜りました。深く感謝申し上げます。



図1. 『ぐらっとモンキーツリー』

^{*1} Japan Science Foundation

ラドンについて霧箱で学ぶ

Alpha rays from Radon in water can be observed using a cloud chamber

放射線教育フォーラム

吉澤 幸夫

(YOSHIZAWA, Yukio)

1. はじめに

放射線は目に見えないため実感が伴いにくく、その理解は容易ではない。そのため、放射線測定器を用いて、客観的な「測定値」として把握することが放射線の存在を理解する手段の一つとなる。一方、霧箱を用いると、放射線を飛行機雲のような白い飛程として観察できる。抽象的な「電離作用」や「放射線の軌跡」を可視化することで、直感的な理解を促すことができ、教育的価値が高い。

本稿では、湧水等の水中に溶け込んでいるラドンを気体として回収して霧箱で観察する方法について解説し、さらに観察結果の解釈について述べる。本手法により、大地に含まれるウランやトリウムが崩壊し、子孫核種を生み出している様子を観察することができる。

2. 方法

2.1 霧箱の作成

容器には市販のプラスチック密閉容器「パール金属 HB-1427 NEW キープロック 正方形 M」を用いた。底面を均一に冷却するため、容器底面の外面を厚さ 0.1 mm のアルミテープで覆った。また、飛跡を見やすくし、エタノールを効率よく拡散させるため、十字形に切り抜いた黒色の手芸用フェルトを敷き詰めた。

2.2 試料の調製

ラドン試料の調製には、250 mL 広口洗瓶を用いた。内部のチューブを約 8 cm 切断して短くすることで、容器を圧縮した際に液体ではなく上部の気体のみ排出されるように加工した。この洗瓶に試料水 125 mL を入れ、激しく 1 分間振盪させて水中のラドンを気相に移行させた。

2.3 霧箱での放射線の観察

霧箱の底に消毒用エタノールを深さ 3 mm 程度入れ、容器の上部をリケンテクノス フォーラップで覆い、輪ゴムで密閉した。室温で数分間放置してエタノールを気化させた後、ドライアイスを敷き詰めた容器の上に霧箱を水平に置いた。ラップを止めている輪ゴムを少し持ち上げ、その隙間から洗瓶内の空気を 2.5 mL ほど霧箱の上部に注入した。室内を薄暗くし、霧箱を斜め上から LED ライトで照らして飛跡を観察した。

3. 結果および考察

気体の注入直後は霧箱内が一時的に白い霧状となったが、1～2 分後に過飽和領域が回復すると、放射線の飛跡が観察された。 ^{222}Rn のアルファ線のエネルギーは 5.59 MeV で飛跡は 4 cm、 ^{220}Rn は 6.288 MeV で飛跡は 5 cm で、両者の判別は飛跡の長さからは難しかった。 ^{222}Rn の子孫核種である ^{218}Po は半減期 3.10 分で、 ^{220}Rn の子孫核種である ^{216}Po は半減期 0.145 秒である。その結果、 ^{220}Rn が壊変した直後に高確率で ^{216}Po が壊変し、V 字型の飛跡が形成され、 ^{220}Rn と ^{222}Rn を判別することができた。

4. 結論

霧箱を用いた授業は、普段目に見えない放射線が水や空気と同じように自然界に普遍的に存在していることを認識させる。単に飛跡を見るのではなく、「なぜ放射線が存在するのか」、「その量はどれくらいか」について生徒自らが問いを立て、探究する学習の場を提供できる点で大きな意義を持っている。

The Radiation Education Forum

医療放射線分野における安全文化の理論的構造：

IAEA 放射線安全文化特性の理論的構成概念マッピング

Theoretical Structure of Safety Culture in Medical Radiation Practice:

A Theoretical Construct Mapping Study of the IAEA Radiation Safety Culture Traits

国際原子力機関^{*1}，神奈川県^{*2}渡邊 直行^{*1,2}(WATANABE, Naoyuki^{*1,2})1. はじめに

医療および高リスク技術領域において安全文化は基盤概念として広く受容されている。医療放射線分野では IAEA Radiation Safety Culture Traits が規範的枠組みとして参照されるが、その構成要素の理論的位置づけは必ずしも明確ではない。安全文化は複数の理論伝統にまたがる多層的概念であり、この不明確性は解釈や実践に影響し得る。そこで本研究は IAEA Traits を対象に、複数の理論視座から理論的構成概念マッピングを行い、その理論的射程と分布構造の明確化を目的とする。

2. 方法

IAEA Traits の各 trait (特性) の公式解説文および記述中に反復して現れる構成要素を抽出し、これを分析単位として要素レベルで対応判定を行い、その結果を trait 単位へ統合した。分析には、組織行動論、安全風土理論、社会技術システム (STS) 論、Guldenmund, F.の三次元モデル、Schein, E.H.の組織文化に基づく三層モデルの五つの理論視座を参照枠として用いた。各要素については、対象とする現象の性質、作用点 (個人・チーム・組織、現場・管理層・経営層)、およびプロセス位相 (報告、意思決定、実行、学習・改善) を記述化した上で、各理論概念との整合性に基づき 4 つのレベルの対応度を判定した。さらに、対応度を数値化してヒートマップとして可視化し、IAEA Traits が理論空間のどの領域に重心を置くかという分布構造を体系的に示した。

3. 結果および考察

理論マッピングの結果、IAEA Traits は安全関連行動を、心理社会的相互作用に加えて作業プロセス、意思決定、リーダーシップ責任といった制度的・構造的条件を含む多層的メカニズムとして捉える構成を示した。組織行動論的には学習や発言を支える機序に加え、業務設計や統治責任への対応が相対的に強く、STS 視座では社会・技術・組織・情報の四要素に広く主対応が分布した。安全風土理論においても、相互作用的条件に加え、資源配分や意思決定過程に関する知覚を明示的に含んでいた。さらに Guldenmund の三次元では心理・行動・構造の各層にまたがる分布を示し、Schein, E.H.の三層モデルでは主として中層に位置しつつ、制度化された実践への接続を特徴とした。以上より IAEA Traits は、安全文化を規範と制度設計の統合構造として提示する枠組みであることが示された。

4. 結論

本研究の結果、IAEA Traits は安全文化そのものを直接測定する枠組みではなく、安全関連行動を成立させるための規範的条件と制度的構造を提示する参照枠組みとして位置づけられた。対象は発言可能性や学習循環に加え、作業プロセス設計、意思決定、資源配分、リーダーシップ責任などの社会技術的条件である。これらは相互作用と構造にまたがる条件として統合され、安全文化を規範と実践の結合構造として捉える特徴を示した。以上より IAEA Traits は、安全文化を行動生成条件の体系として理解するための理論的基盤を提供する。

^{*1} International Atomic Energy Agency

^{*2} Kanagawa Prefectural Government

Exhibition

🎫 Fri. Jul 10, 2026 10:00 AM - 12:00 PM JST | Fri. Jul 10, 2026 1:00 AM - 3:00 AM UTC | 🏢 D(Conference Room Mercury, Mars, Venus)

ポスター発表・機器展示

[Poster Presentation](#)

10:00 AM - 12:00 PM JST | 1:00 AM - 3:00 AM UTC

ポスター発表・機器展示