

Oral presentation | 2 Ionizing Radiation : 2.2 Radiation physics fundamentals & applications, radiation generators, new technology

📅 Fri. Sep 20, 2024 9:00 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2024 12:00 AM - 3:00 AM UTC 🏢 D62
(Bandaijima Bldg)

[20a-D62-1~11] 2.2 Radiation physics fundamentals & applications, radiation generators, new technology

Kenichi Watanabe(Kyushu Univ.), Makoto Arimoto(金沢大)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[20a-D62-1]

【Absent】 Post-irradiation analysis of a nucleotide by using TOF-SIMS

○Tetsuro Ohta^{1,2}, Chizuru Asahara², Hidetsugu Tsuchida¹ (1.Kyoto Univ., 2.TRC)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[20a-D62-2]

Ultrasonographic visualization of heavy ion particle track in water

○MASANORI KOBAYASHI¹, Osamu Okudaira¹, Naoya Shikazono², Kazuhiro Terasawa³, Satoshi Kodaira⁴, Nagaya Okada⁵ (1.CIT, PERC, 2.QST-KPSI, 3.Keio Univ., 4.QST-NIRS, 5.Honda Electronics Co., Ltd.)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[20a-D62-3]

Linear attenuation coefficient of H, C, O measured by photon counting CT

○Ryuga Nagahashi¹, Syuhei Furukawa¹, Kazushi Hoshi¹, Yuki Hasebe¹, Kosuke Suzuki¹, Masami Torikoshi², Hiroshi Sakurai¹ (1.Gunma Univ., 2.QST)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[20a-D62-4]

Analysis of Photon-Counting CT Images Using PHITS Simulation

○Ren Ezaka¹, Kazushi Hoshi¹, Yuki Hasebe¹, Kosuke Suzuki¹, Akihiko Matsumura², Masami Torikoshi³, Hiroshi Sakurai¹ (1.Gunma Univ., 2.GHMC, 3.QST)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[20a-D62-5]

Mixed Reality Visualization of Internal Structures in Aluminum Die Castings Using 3D X-ray CT

○Hiroki Kase^{1,2}, Junichi Nishizawa^{2,3,5}, Katsuyuki Takagi², Ajith Bandarad⁴, Yusuke Katanaga⁴, Natsuhito Soga^{3,4}, Toru Aoki^{1,2,3} (1.Shizuoka Univ. Info., 2.Shizuoka Univ. R.I.E., 3.Shizuoka Univ. M.P., 4.Chuo Hatsumei Inst., 5.Hamamatsu Univ. S.M.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[20a-D62-6]

Optimization Study on Imager Geometry in Imaging Methods Based on Detector Response Patterns

○Yoshiharu Kitayama^{1,2}, Mitsuhiro Nogami², Keitaro Hitomi² (1.JAEA, 2.Tohoku Univ.)

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

[20a-D62-7]

Development of silicon solid-state detectors for super heavy element experiment

○Fuyuki Tokanai¹, Kouji Morimoto², Daiya Kaji², Pierre Brionnet², Mirei Takeyama¹, Kosaku Kuramoto¹, Koudai Kato¹, Kazumasa Kosugi³, Takuya Majima⁴, Keisuke Yasuda⁵ (1.Yamagata Univ., 2.RIKEN Nishina Center, 3.Hamamatsu Photonics, 4.Kyoto Univ., 5.Kyoto Pref. Univ.)

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

[20a-D62-8]

Study of on-site detection technique for nuclear materials concealed in heavy metals

○Kosuke Tanabe¹, Masao Komeda², Yosuke Toh², Ken'ichi Tsuchiya¹, Tsuyoshi Misawa³, Yasunori Kitamura³, Hiroshi Sagara⁴ (1.NRIPS, 2.JAEA, 3.Kyoto Univ., 4.Tokyo Tech.)

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

[20a-D62-9]

Study of Beam Losses at J-PARC Linac L3BT

○Hideto Nakano¹, Katsuhiro Moriya¹, Tomoaki Miyao², Yasuhiro Fuwa¹, Yong Liu², Masashi Otani², Takatoshi Morishita¹ (1.JAEA, 2.KEK)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[20a-D62-10]

Simulator for designing high-intensity small neutron source using pyroelectric crystal heated by laser light

○Fuuma Ooue¹, Satoshi Abo¹, Fujio Wakaya¹, Tomoaki Masuzawa², Hidenori Mimura² (1.Osaka Univ., 2.Shizuoka Univ.)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[20a-D62-11]

Observation of rovibrational transitions in the infrared region of strontium oxide for ⁹⁰Sr analysis

○Ryohei Terabayashi¹, Masabumi Miyabe², Takumi Mochizuki³, Hideki Tomita³, Kenji Shimazoe¹, Shuichi Hasegawa¹ (1.UTokyo, 2.JAEA, 3.Nagoya Univ.)

TOF-SIMS を用いたヌクレオチドの照射後解析

Post-irradiation analysis of a nucleotide by using TOF-SIMS

京大院工¹, ㈱東レリサーチセンター², [○]大田 哲郎^{1,2}, 浅原 千鶴², 土田 秀次¹Kyoto Univ.¹, Toray Research Center², [○]Tetsuro Ohta^{1,2}, Chizuru Asahara², Hidetsugu Tsuchida¹

E-mail: ohta.tetsuro.37c@st.kyoto-u.ac.jp

粒子線がん治療において、高速イオンビームが生体分子にどのような損傷を与えるかを理解することは極めて重要である。この損傷を調べるために、FT-IR などの分光学的手法を用いた生体分子標的の照射後解析が行われてきた。[1] FT-IR や XPS を用いた結合状態解析は、イオンビーム照射による生体分子の化学構造変化を局所的に明らかにすることができる。一方で DNA のような巨大分子の損傷においては DNA の単位構造であるヌクレオチドのうち、リン酸、糖、塩基の部位に分けた損傷の解析が望まれる。そこで本研究では、イオンビーム照射実験と有機材料の表面分析によく用いられる TOF-SIMS 法を組み合わせることで、イオンビーム照射後の生体分子損傷を解明するための新しいアプローチを実施した。

実験では、ヌクレオチド分子の試料としてウリジン-5'-リン酸 (UMP) を用いた。試料は UMP ニナトリウム塩粉末試薬を油圧プレスでペレット化することにより作製した。4 MeV の C^{2+} イオンをペレトロン加速器で発生させ、真空中で試料に照射した。4 MeV C^{2+} イオンビーム照射後、試料を搬送して TOF-SIMS 測定を実施した。TOF-SIMS 測定では、一次イオンとして加速電圧 30 kV で加速した Bi_3^{2+} をペレット試料に照射し、放出された二次イオンを飛行時間型質量分析計で質量分析した。

Fig.1 は、4 MeV C^{2+} イオンビーム照射後または未照射の領域において測定した、TOF-SIMS による負イオンの二次イオン質量スペクトルである。縦軸の収量は一次イオン数で規格化した。質量スペクトルの特徴として、リン酸や塩基に由来するフラグメントが強く、一方、糖に由来するフラグメントの強度は比較的弱く検出された。いずれのフラグメントにおいても照射後のピーク強度は減少しているが、未照射領域における各フラグメントのピーク強度に対する減少率はフラグメントの種類毎に異なっており、例えば、 PO_3^- と $C_4H_3N_2O_2^-$ を比較すると $C_4H_3N_2O_2^-$ の減少率が高く、高速イオンビームによる損傷がより起きやすい可能性が示唆された。

[1] C. Mejia *et al.*, *Nucl. Instrum. Meth. B* **534**, 11 (2023).

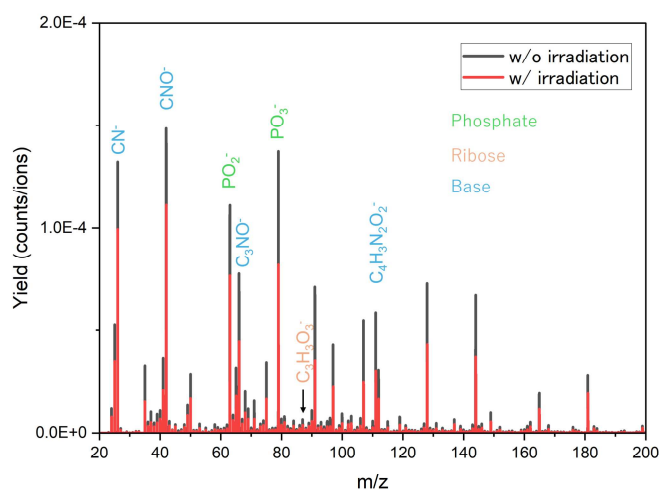


Fig. 1 Negative ion mass spectrum. Black: without irradiation, Red: with 4 MeV C^{2+} 1.0×10^{13} ions/cm²

超音波エコーを利用した水中における重粒子線飛跡可視化の研究

Ultrasonographic visualization of heavy ion particle track in water

千葉工大惑星研¹, 量研関西², 慶応大医³, 量研放医研⁴, 本多電子(株)⁵

○小林 正規¹, 奥平 修¹, 鹿園 直哉², 寺沢 和洋³, 小平 聡⁴, 岡田 長也⁵

Chiba Institute of Technology¹, QST-KPSI², Keio Univ.³, QST-NIRS⁴, Honda Electronics Co., Ltd.⁵,

○Masanori Kobayashi¹, Osamu Okudaira¹, Naoya Shikazono², Kazuhiro Terasawa³,

Satoshi Kodaira⁴, Nagaya Okada⁵

E-mail: kobayashi.masanori@it-chiba.ac.jp

本研究では、水中に重粒子線を照射した際、超音波エコーによって可視化される現象についてその機序について解明するために実験を行ってきた。

医学物理の分野では水ファントム(水を入れた水槽)に粒子線を照射して、そのブラッグピークの位置から発生する「音響波」を検出・測定する研究が国内外で活発に行われている。一方本研究では、粒子線が照射された水中で「音響波」ではなく、「音響波」を発している部分を検出しようという試みである。これは粒子線が水中でエネルギーを損失することで局所的な温度の上昇や密度の変化があるとすれば、音響伝播的に変化が見られるのではないかという発想からきている。

これまでに量研HIMACの共同利用研究のマシントimeを利用してFe500MeV/n ビームを照射した水槽を超音波診断装置と同等の装置を使って照射位置をモニターした。その実験の様子と、得られた超音波画像の例を Fig.1 に示す。本講演では、研究の経緯やこれまでに得られた結果を報告する。水中の粒子線の飛跡を可視化することは医療分野にも大きなインパクトがあり、将来の応用に向けた研究の意義は高い。また、「水」と「超音波エコー」という組み合わせで粒子線の飛跡を可視化する新しいタイプの放射線検出器を開発できる可能性もある。

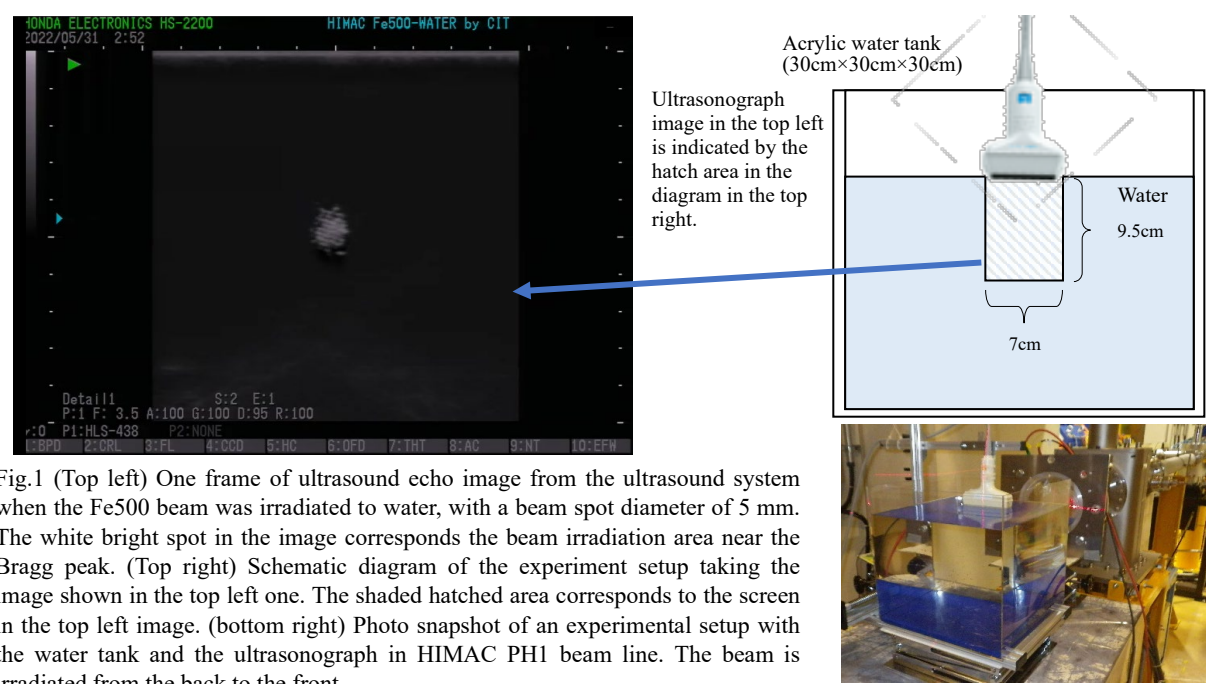


Fig.1 (Top left) One frame of ultrasound echo image from the ultrasound system when the Fe500 beam was irradiated to water, with a beam spot diameter of 5 mm. The white bright spot in the image corresponds the beam irradiation area near the Bragg peak. (Top right) Schematic diagram of the experiment setup taking the image shown in the top left one. The shaded hatched area corresponds to the screen in the top left image. (bottom right) Photo snapshot of an experimental setup with the water tank and the ultrasonograph in HIMAC PH1 beam line. The beam is irradiated from the back to the front.

フォトンカウンティング CT を用いて測定した H, C, O の線減弱係数

Linear attenuation coefficient of H, C, O measured by photon counting CT

群馬大院理工¹, 量子科学技術研究開発機構² ◯(M1)長橋 龍河¹, 古川 修平¹, 星 和志¹,
長谷部 有希¹, 鈴木 宏輔¹, 取越 正己², 櫻井 浩¹

Gunma University¹, QST² ◯Ryuga Nagahashi¹, Syuhei Furukawa¹, Kazushi Hoshi¹,
Yuki Hasebe¹, Kosuke Suzuki¹, Masami Torikoshi² and Hiroshi Sakurai¹

E-mail: t241d039@gunma-u.ac.jp

高エネルギーの X 線は透過率が高いため、現在では医療診断、非破壊検査、セキュリティ検査の分野で利用されている。従来の X 線イメージング技術では、強度情報を利用して形状の測定をすることは可能ではあるが、物質の種類を特定することは困難である^[1]。しかし、フォトンカウンティング CT を用いて物質の線減弱係数スペクトルを測定することによって、物質の特定が可能となる可能性がある。我々は、フォトンカウンティング CT を用いて、水、エタノール、酢酸およびそれらの混合溶液の線減弱係数スペクトルを測定・解析することによって、H, C, O など軽元素の組成が定量できることを報告した^[2]。ここで、解析における fitting の基底関数として H, C, O など軽元素の線減弱係数スペクトルが必要であるが、実験的に求めた H, C, O の軽元素の線減弱係数スペクトルを用いると定量精度が向上することを見出した。そこで本研究では H, C, O の線減弱係数スペクトルについて、測定と NIST の XCOM データベース^[3]の値と比較することを目的とする。

Fig.1 は実験で求めた H, C, O の減弱係数と NIST の XCOM データベースとの比較である。C、O 減弱係数スペクトルでは、概ね測定と XCOM データベースは一致する。一方、H の減弱係数は低エネルギー側で測定値が大きい。

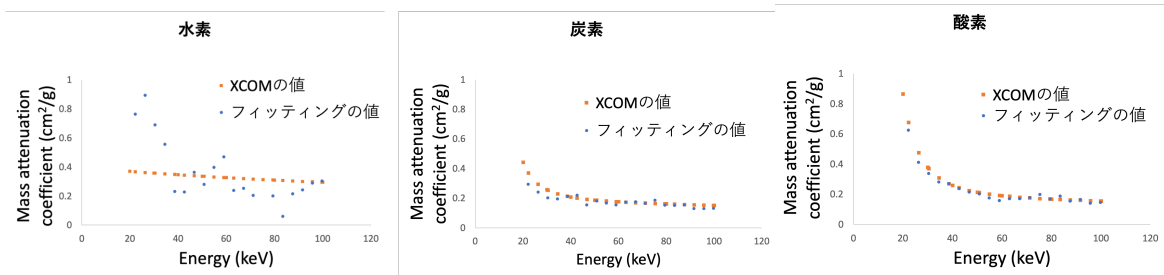


Fig.1 Comparison of H, C, O attenuation coefficients with the XCOM database

[1]R. E. Alvarez and A. Macovski, Energy selective reconstructions in x-ray computerized tomography, Phys. Med. Biol. 21, 733-744 (1976).
[2]古川 修平、長橋 龍河、長谷部 有希、星 和志、鈴木 宏輔、取越 正己、櫻井 浩, [25p-12E-9]フォトンカウンティング CT を用いた元素分離, 2024 年第 71 応用物理学会春季講演会、2024 年 3 月、東京都市大学
[3] M. J. Berger, J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, J. Chang, J. S. Coursey, R. Sukumar, D. S. Zucker and K. Olsen, (2010), NIST Standard Reference Database 8 (XGAM) [<https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database>]

PHITS シミュレーションを用いた フォトンカウンティング CT 画像の解析

Analysis of Photon-Counting CT Images Using PHITS Simulation

群大院理¹, 群大重粒², 量研機構³ ○(M1) 江坂 怜¹, 星 和志¹, 長谷部 有希¹, 鈴木 宏輔¹,
松村 彰彦², 取越 正己³, 櫻井 浩¹

Gunma Univ.¹, GHMC², QST³, ○Ren Ezaka¹, Kazushi Hoshi¹, Yuki Hasebe¹, Kosuke Suzuki¹,
Akihiko Matsumura², Masami Torikoshi³, Hiroshi Sakurai¹

E-mail: t241d008@gunma-u.ac.jp

X 線 CT 画像におけるカップリングアーチファクトの原因は、X 線が物体を透過する際に起こるビームハードニング効果であり、フォトンカウンティング CT(PCCT)を用いればその効果は軽減されると考えられている。我々は PCCT を用いた測定から、Binning 幅 4.1 keV 程度まで狭くすればカップリングアーチファクトが軽減されることを報告した[1]。そこで、本研究では、PHITS(Ver.3.32)シミュレーションを用いて CT 画像を生成し Binning 幅 4.1 keV および Binning 幅 14.6 keV におけるカップリングアーチファクトを検討した。さらに、単色 X 線におけるカップリングアーチファクトを検討した。Fig.1 は直径 5 mm の Al 円柱を想定して PHITS シミュレーションを用いて生成した CT 画像である。入射 X 線が

20 keV 以上 (22.1 keV) においては、Binning 幅 14.6 keV (Fig.1(a)) では中心付近の線減弱係数が減少するカップリングアーチファクトが見られる。Binning 幅 4.1 keV(Fig.1(b)) ではカップリングアーチファクトが見られない。これは、実験[1]を再現する。さらに、入射 X 線が 14.5 keV(Fig.1(c))になると、Binning 幅 4.1 keV でもカップリングアーチファクトが見られる。実験[1]でも同様の結果であった。そこで、入射 X 線を 14.0 keV の単色 (Fig.1(d)) として CT 画像を求めるとカップリングアーチファクトがみられることがわかった。入射 X 線の光子数を増加さ

せてシミュレーションするとカップリングアーチファクトが軽減することから、試料を透過する光子数が少ない場合はカップリングアーチファクトが生じると考えられる。

[1] 石崎 賢弥, 星 和志, 古川 修平, 長谷部 有希, 松村 彰彦, 取越 正己, 櫻井 浩, フォトンカウンティング CT におけるビームハードニング効果の検討 (オンライン), 2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 2023 年 9 月, 熊本大学

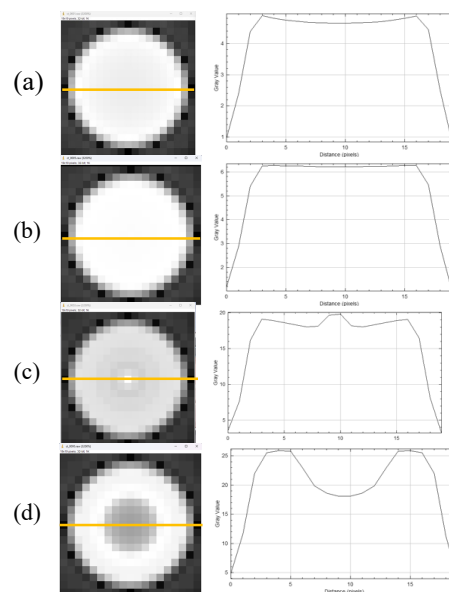


Fig.1 Simulated CT images of Al pillar. (a)CT image at 22.1 keV with a binning width of 14.6 keV. (b)CT image at 22.6 keV with a binning width of 4.1 keV. (c)CT image at 14.5 keV with a binning width of 4.1 keV. (d)CT image using 14.0 keV monochromatic X-rays.

3D X線CTによるアルミダイキャスト内部構造の複合現実化

Mixed Reality Visualization of Internal Structures in Aluminum Die Castings Using 3D X-ray CT

静岡大情¹, 静岡大電子研², 静岡大光医工³, 中央発明研究所⁴, 浜松医大 Nx-CE0⁵

○加瀬 裕貴^{1,2}, 西澤 潤一^{2,3,5}, 都木 克之², Ajith Bandarad⁴, 湯永 裕介⁴, 曾我 夏人^{3,4},
青木 徹^{1,2,3}

Shizuoka Univ. Info.¹, Shizuoka Univ. R.I.E², Shizuoka Univ. M.P³, Chuo Hatsumei Inst.⁴,
Hamamatsu Univ. S.M.⁵

○Hiroki Kase^{1,2}, Junichi Nishizawa^{2,3,5}, Katsuyuki Takagi², Ajith Bandarad⁴, Yusuke Katanaga⁴,
Natsuhito Soga^{3,4}, Toru Aoki^{1,2,3}

E-mail: kase.hiroki@shizuoka.ac.jp

工業向け 3DX 線 CT を用いた検査は、欠陥検出、組立解析、計測、故障解析、リバースエンジニアリングなどへの手段として有効である。特に近年ではフォトンカウンティング X 線 CT によるエネルギー情報を使用した特性評価や組成情報に応じてセグメンテーションを行うなど、新たな評価方法が確立されている。一方で、アルミダイキャスト部品における欠陥部分などの形状は、図 1 に示されるように従来の多断面再構成(MPR)像やサーフェスレンダリングを使用した場合でも、中に空洞があるようなモデルの場合、各軸方向からの欠陥の構造は把握可能であるが、モデルの内部にある欠陥の三次元構造について全体を把握することが難しい。我々の研究では、これまでに 3DX

線 CT で撮像された物体の内部構造を複合現実(MR)にて表現し、空間再現ディスプレイとモーションキャプチャーを組み合わせ、立体視をしながらも直感的な操作で内部構造が空間的に把握できるようなシステムを提案してきた。本研究では、工業向け 3DX 線 CT にて撮像された部品について欠陥部分の構造を、MR を用いて容易に空間的に表現することを試みる。アルミダイキャスト部品のサンプルを用意し、表層部分・内部のクラックの表示に適した閾値を設定した二種類のモデルを用意し、図 2 のように半透明に色分けをして重ね合わせた上で断面に DICOM から生成した MPR 像を断面の位置・角度に応じて貼り付けることで内部構造が把握できるようなシステムを提案した。

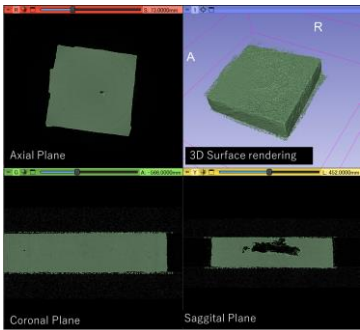


Fig1. Representation of data from 3D X-ray CT imaging of aluminum die-cast components

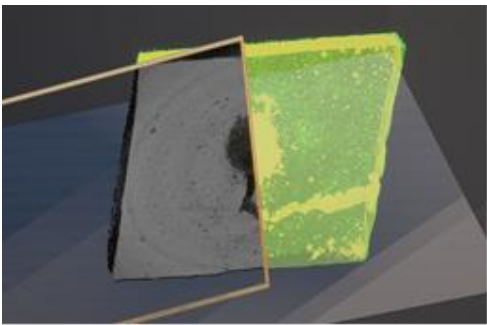


Fig2. Surface-rendered models and boundary surfaces represented in mixed reality.

検出器応答パターンに基づくイメージング手法における
イメージャーのジオメトリの最適化検討

Optimization Study on Imager Geometry in Imaging Methods Based on
Detector Response Patterns

原子力機構¹, 東北大工² °北山 佳治^{1,2}, 野上 光博², 人見 啓太郎²

JAEA.¹, Tohoku Univ.², °Yoshiharu Kitayama^{1,2}, Mitsuhiro Nogami², Keitaro Hitomi²

E-mail: kitayama.yoshiharu@jaea.go.jp

我々は、複数の検出器の応答強度パターンから、ガンマ線の入射方向を推定する手法に関する研究を続けている。本手法は空間に複数配置した遮蔽体と検出器で構成される全方位視野を持ったガンマ線イメージング技術である。見る角度によって、遮蔽体と検出器の奥行構造が異なるため、ガンマ線の入射方向によって測定される検出応答パターンが異なる。そのため、測定された検出器応答パターンからガンマ線の入射方向をアンフォールディングによって逆推定できる。

これまでのシミュレーションと実験によって得られた結果から、図 1 に示すように、ガンマ線の入射方向によってイメージング精度に大きな差が生じていることが分かってきた。ガンマ線源の位置によって、得られた結果の信頼性に違いが生じることになるため、結果の正確な解釈に支障をきたす。イメージング精度に影響を与える要因を検討した結果、イメージャーの遮蔽体と検出器の配置（ジオメトリ）が強く影響していることがわかってきた。特に、検出器の応答パターンのコントラストが低下するような方向においてイメージング精度が極端に悪化していることが分かった。そこで本研究では、イメージャーのジオメトリを、検出器の応答パターンのコントラストという観点から修正し、その結果イメージング精度の向上が確認されたことを報告する。

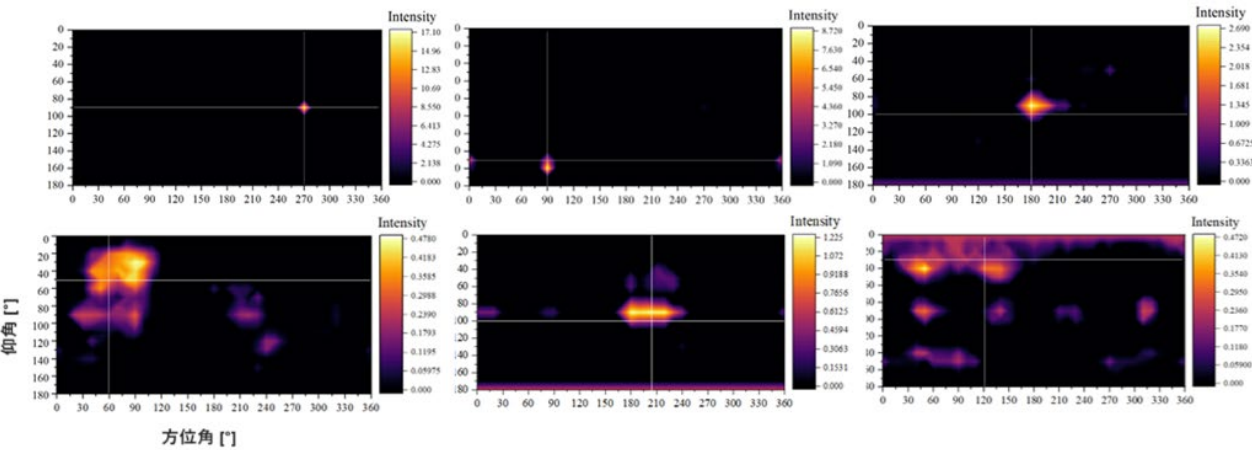


図1. 線源位置によるイメージング精度の違いを示したイメージングシミュレーションの結果。
二本の直線の交点が真の線源位置。

超重元素実験用シリコン半導体検出器の開発

Development of silicon solid-state detectors for super heavy element experiment

○門叶 冬樹¹、森本 幸司²、加治 大哉²、Pierre Brionnet²、武山 美麗¹、倉本 幸作¹、

加藤 紘大¹、小杉 和正³、間嶋 拓也⁴、安田 啓介⁵

山形大理¹、理研仁科加速器研究センター²、浜松ホトニクス³、京大院工⁴、京府大⁵

°Fuyuki Tokanai¹, Kouji Morimoto², Daiya Kaji², Pierre Brionnet², Mirei Takeyama¹,

Kosaku Kuramoto¹, Koudai Kato¹, Kazumasa Kosugi³, Takuya Majima⁴, Keisuke Yasuda³

Yamagata Univ.¹, RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science²,

Hamamatsu Photonics K. K.³, Kyoto Univ.⁴, Kyoto Pref. Univ.⁵

E-mail: tokanai@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

原子番号が 103 より大きい元素は超重元素と呼ばれる。理化学研究所では、入射ビームと標的との核融合反応により生成された超重元素を気体充填型反跳分離機 (GARIS-II, III : 図 1 左) を用いて入射ビームや副生成粒子から分離し、焦点面に設置された検出器によって収集する手法を用いて超重元素の研究が行われている[1,2]。GARIS の焦点面検出器は飛行時間検出器と両面シリコンストリップ検出器(DSSD)およびその側面を 4 台のピクセル型 Si 半導体検出器(pixel-SSD)で囲んだ Si-Box で構成されている (図 1 右)。DSSD では、DSSD に打ち込まれた超重元素やその連鎖 α 崩壊および自発核分裂事象の位置、時間、エネルギー情報が観測される。pixel-SSD は、崩壊の際に DSSD から飛び出した α 粒子や核分裂片といったエスケープ事象を検出し、超重元素の核種同定の精度を高める役目を担っている。

我々は、超重元素の核種同定の精度向上を目的に、Si-box の DSSD およびそれを取り囲む全ての pixel-SSD に、不感層の薄い新しい Si 半導体検出器を導入する。DSSD は 123 mm×60 mm の有効面積を持ち、X 方向に 1.9 mm ピッチで 64 本、Y 方向に 0.94 mm ピッチで 64 本の電極がそれぞれ構成されている。側面用の pixel-SSD は 60 mm×60 mm の有効面積を持ち、16 チャンネル (4×4) にピクセル化された電極を持つ。上下面用の pixel-SSD は 123 mm×60 mm の有効面積を持ち、その電極は 32 チャンネル (8×4) にピクセル化されている。本発表では超重元素実験用シリコン半導体検出器開発の現状について報告する。

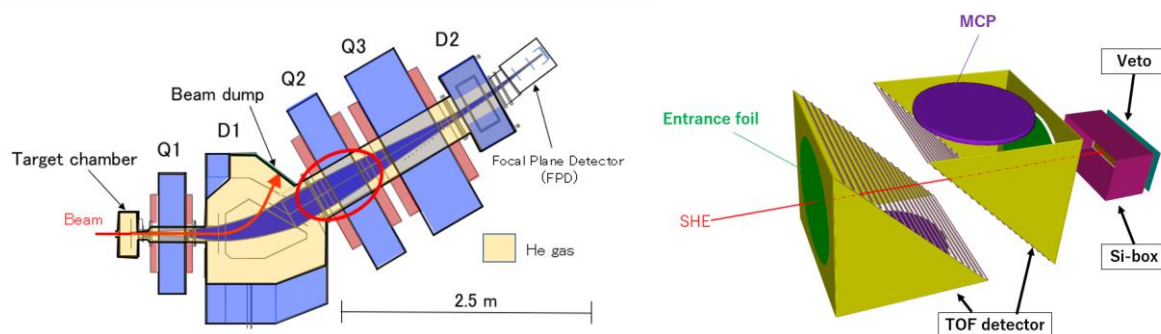


Fig.1 Schematic view of GARIS-III (left) and a focal plane detection system for GARIS-II and GARIS-III (right).

参考文献

- [1] H. Sakai, H. Haba, K. Morimoto and N. Sakamoto, Eur. Phys. J. A 58, 238 (2022).
- [2] D. Kaji, K. Morimoto, N. Sato, A. Yoneda and K. Morita, Nucl. Instrum. Meth. B 317, 311 (2013).

重金属中に隠匿された核物質の現場検知技術に関する研究

Study of on-site detection technique for nuclear materials concealed in heavy metals

科学警察研究所¹, 日本原子力研究開発機構², 京都大学³, 東京工業大学⁴ ○田辺 鴻典¹,

米田 政夫², 藤 暢輔², 土屋 兼一¹, 三澤 毅³, 北村 康則³, 相楽 洋⁴

Natl. Res. Inst. of Police Sci.¹, JAEA², Kyoto Univ.³, Tokyo Tech.⁴ °Kosuke Tanabe¹, Masao Komeda²,

Yosuke Toh², Ken'ichi Tsuchiya¹, Tsuyoshi Misawa³, Yasunori Kitamura³, Hiroshi Sagara⁴

E-mail: tanabe@nrrips.go.jp

近年、CBRNE テロに代表される国際テロリズムの脅威の高まりを背景に、核セキュリティ体制強化へ向けた流れが世界的に加速している。核物質の不法移転の検知を目的として、各国で核物質の非破壊測定 (NDA) 技術の開発が進められているが、依然として重金属中に隠匿された核物質の現場レベルでの検知は困難な状況にある。高濃縮化することで大量破壊兵器として用いられる可能性が高い ^{235}U は、自発核分裂が少なく、放出されるガンマ線のエネルギーも低いため、簡単な遮蔽を施されるだけでパッシブ型の NDA 装置による検知が不可能となる。

アクティブ型の NDA 手法は、隠匿された核物質の検知に適しており、パッシブ法に比べ感度も高い有望な手法であるが、非常に高価で重厚かつ大型な装置を必要とする上、現場運用に適した外部放射線源も存在しないことから、計量管理等を目的とした据置型の利用に適用範囲が限られていた。そこで我々は、回転照射法と呼ばれる新たなアクティブ中性子法を提案し、本手法による核物質検知を実証した¹⁾。回転照射法による核物質検知装置は、主に中性子線源を回転させる回転照射装置と中性子検出器で構成される。3.7 MBq の ^{252}Cf 線源 (表示付認証機器) の使用を想定しているため、測定感度向上には高い検出効率を有する中性子検出器の使用が必須となる。我々は、中性子検出用の物質として水に着目し、回転照射法に特化した水チェレンコフ中性子検出器 (WCND) を新たに開発した。ガンマ線との弁別には波高弁別法を採用し、従来の ^3He 検出器に対して、低コストかつ高感度な中性子検出を実現した²⁾。本研究では、鉛板で遮蔽された濃縮ウラン試料に対して、WCND を用いた回転照射法を適用し、核物質検知可否の検証を行った (Fig. 1)。最も高いガンマ線検出感度を有するパッシブ型検出器の一つである可搬型ゲルマニウム半導体検出器による測定も実施し、両手法の比較も行ったので、結果を報告する。

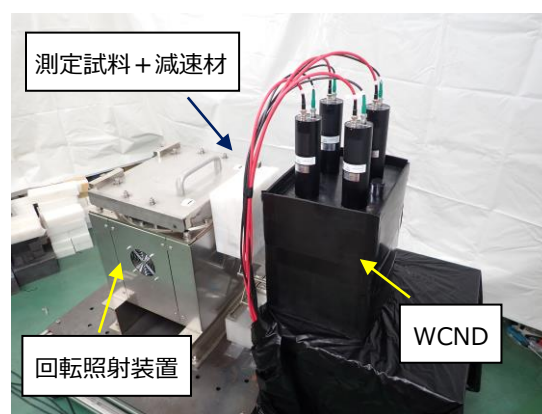


Fig. 1 実験セットアップ

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP20K15213, JP24K17638 の助成を受けたものです。

1) M. Komeda, Y. Toh, K. Tanabe et al., Ann. Nucl. Energy, **159** 108300, 2021.

2) K. Tanabe, M. Komeda, Y. Toh et al., J. Nucl. Sci. Technol., **60**(7) 769-781, 2022.

J-PARC リニアック L3BT におけるビームロスの研究

Study of Beam Losses at J-PARC Linac L3BT

原子力機構¹, 高エネ研²,

○中野 秀仁¹, 守屋 克洋¹, 宮尾 智章², 不破 康裕¹, 劉 勇², 大谷 将士², 森下 卓俊¹

JAEA¹, KEK²,

○Hideto Nakano¹, Katsuhiko Moriya¹, Tomoaki Miyao², Yasuhiro Fuwa¹, Yong Liu², Masashi Otani²,

Takatoshi Morishita¹

E-mail: hnakano@post.j-parc.jp

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) は、素粒子・原子核物理、物性物理などの最先端の基礎研究、産業利用を目的とした研究施設である。ほぼ光速まで加速した世界屈指の大強度の陽子ビームから、中性子、ミュオン、ニュートリノ、K 中間子などの多彩な二次粒子ビームを作り出し、多種多様な実験を行っている。計測精度の向上、稀な現象の発見、実験の効率化に向けて更なる大強度化に対する要求が高まっている。中性子、ミュオン実験に用いる新しい核破碎中性子源では既設中性子源と併せて 1.5MW、放射性廃棄物の核変換に期待されている加速器駆動未臨界炉では 30MW と、1MW 超のビーム出力が要求されている。加速器の大強度化にあたって、陽子ビーム輸送中にロスした粒子が加速器内部の壁との接触で発生する放射線が大きな障壁の一つになる。具体的な問題としては、機器の放射化と構成機材の劣化が挙げられる。J-PARC の初段加速器にあたるリニアックでは、リニアックから後段の加速器である 3GeV シンクロトロンへの輸送ライン L3BT(Linac to 3GeV Synchrotron Beam Transport line) が特に残留放射能が多い場所の 1 つである。正しく加速されなかった粒子や粒子間の相互作用などにより電氣的に中性になってしまった粒子など、様々な要因で後段のビームラインに輸送されない粒子が存在する。これらの粒子のほとんどは、リニアックの直線部から最初にビームが曲げられる箇所である L3BT で、ビームパイプ等の構成機器に衝突し放射化を引き起こす。

本研究では J-PARC リニアック L3BT におけるビームロスを評価するために、残留線量の調査と PHITS による粒子輸送シミュレーションを行った。具体的には、上流から数えて 1 台目の偏向電磁石周辺で調査を行った。リニアック L3BT の中でもビームが曲げられる最初の箇所である。残留線量の調査では 1 週間毎に実施されるメンテナンス日に、1 週間のビーム運転による放射化を測定し線量分布を調査した。PHITS でのシミュレーションではビームラインを模した体系で陽子ビームを発生させ、ビームパイプ等との相互作用により発生した 2 次粒子を計算した。本講演ではこれらの結果について報告、議論する。

レーザー照射焦電結晶を用いた高強度小型中性子源設計のためのシミュレータ開発

Simulator for designing high-intensity small neutron source using pyroelectric crystal heated by laser light

阪大院基礎工¹, 静大電研² ○大上 楓真¹, 阿保 智¹, 若家 富士男¹, 増澤 智昭², 三村 秀典²

Osaka Univ.¹, Shizuoka Univ.², ○F. Ooue¹, S. Abo¹, F. Wakaya¹, T. Masuzawa², H. Mimura²

E-mail: u959364c@ecs.osaka-u.ac.jp

我々のグループでは焦電結晶を用いた超小型中性子源実現に向けて研究を行っている [1,2]。Fig. 1 にこの中性子源の構造を示す。D₂ ガスを導入したチャンバー内に電極板二枚を平行に設置し、一方の電極板内側に焦電結晶を取り付け、他方の電極に D-polymer を塗布した。これまでに、中性子の発生は確かめられているが、発生強度が小さいことが問題である [2]。様々なパラメータで実験したが、高強度化の最適条件は見つかっていない。中性子発生までに多くのプロセスを経ており、それぞれのプロセスの内部状態を測定できないためである。そこで、本研究では、高強度化の最適な条件を見つけることを目的として、中性子発生数を計算するシミュレータの開発を行った。

想定している中性子発生までのプロセスは次の通りである。1. 焦電結晶をレーザーで加熱することで分極が減少。2. 焦電結晶表面の補償電荷が過剰になり電界が発生。3. 過剰な補償電荷 (X⁺) の一部が電界により脱離。4. X⁺ と D₂ が散乱して D⁺ が発生。5. 発生した D⁺ も電界により加速。6. D⁺ が高エネルギーで D-polymer と衝突し、D-D 反応で中性子が発生。この中性子源内の粒子の数は非常に多く、計算すべき体積も大きいので、すべての粒子の運動を計算することは難しい。そこで、1 から 3 のプロセスは実験結果からモデル化、4 と 5 のプロセスはモンテカルロ法、6 は核反応断面積を用いた計算法、これらを組み合わせて中性子発生数を計算するシミュレータを開発した。時間のかかるモンテカルロ計算を事前に行い発生電圧毎のイオン散乱回数を求めデータベース化することで、実験では 1 条件の計測に数時間を要していたのに対して、本シミュレータを用いることで数秒で中性子発生数を計算することが可能になった。今後は開発したシミュレータを用いて、条件を変えながら中性子発生数を計算して高強度化のための最適な条件を求める。

【謝辞】 本研究の一部は、生体医歯工学共同研究拠点の支援を受けたものです。

[1] 阿保他, 第 69 回春季応用物理学会, 22p-E304-5 (2022)

[2] 大上他, 第 33 回日本 MRS 年次大会, F-O14-012 (2023)

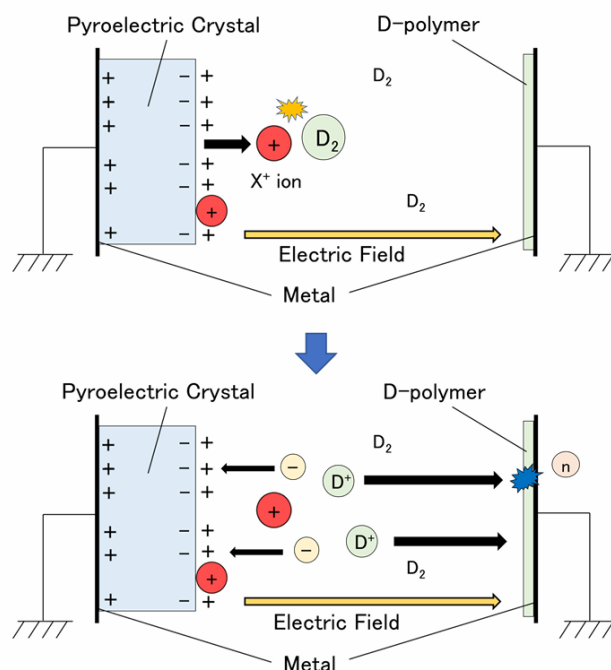


Fig. 1: Neutron source structure and principle of neutron generation

^{90}Sr 分析に向けた酸化ストロンチウムの赤外域振動回転遷移の観測

Observation of rovibrational transitions in the infrared region of strontium oxide for ^{90}Sr analysis

東大¹, JAEA², 名大³ ○寺林 稜平¹, 宮部 昌文², 望月 拓海³, 富田 英生³, 島添 健次¹,
長谷川 秀一¹

UTokyo¹, JAEA², Nagoya Univ.³, ○Ryohei Terabayashi¹, Masabumi Miyabe², Takumi Mochizuki³,
Hideki Tomita³, Kenji Shimazoe¹, Shuichi Hasegawa¹

E-mail: terabayashi@tokai.t.u-tokyo.ac.jp

1. 諸言 ストロンチウム 90 (^{90}Sr) は半減期 28.8 年の β 崩壊核種であり、福島第一原子力発電所事故で環境中に放出された主要な放射性核種の一つある。放射線計測や質量分析に基づく分析法に対し、本研究ではより簡便・迅速かつ現場に近いところで分析が可能な新たな ^{90}Sr 分析法の開発を目指し、光共振器により感度を強化した高感度レーザー吸収分光であるキャビティリングダウン分光法 (Cavity Ring-Down Spectroscopy: CRDS) に基づく手法の開発を進めている。 ^{90}Sr 原子に対する分光に対し、 ^{90}Sr を含む安定な分子を対象にしたレーザー分光が行えれば、分子由来の大きな同位体シフトを利用し、超高真空系を必要としない系での ^{90}Sr 分析実現が期待できる。そこで本研究では一酸化ストロンチウム (SrO) の赤外域遷移 (A-X バンド) に着目し、 ^{90}SrO の吸収を CRDS により選択的に分析する手法を提案する。このための基礎検討として、安定 SrO の A-X バンド帯吸収を観測し、得られた吸収スペクトルを計算と比較したうえで、 ^{90}SrO 吸収スペクトルを予測した。

2. SrO A-X(1,0)バンド吸収遷移の観測

SrO の A-X バンド遷移のうち、振動量子数 $v=0$ から $v=1$ に変化する遷移: (1,0)バンド (870 nm 帯) をターゲットとし、870 nm 帯で CRDS の実験体系を構築した。CRDS のガスセル内で直流グロー放電により SrO を生成、気体状化し SrO 吸収スペクトルを観測する実験を行った。得られた結果のうち、A-X(1,0)バンドヘッド領域について、ダンハム展開による遷移計算により予測されたスペクトルとともに図 1 に示す。 $^{88}\text{SrO} \cdot ^{87}\text{SrO} \cdot ^{86}\text{SrO}$ の各遷移について、 SrO 試料がセル内にある場合のみ試料なしの場合には観測されなかった特異なピークが得られ、その位置は計算とおおむね一致した。一方、最も存在量の少ない ^{84}SrO 遷移や上述した分子種の一部の回転遷移については、試料を導入していない場合にも見られた大きなバックグラウンドピークに埋もれ、観測することができなかった。これは直流グロー放電により生成された何らかの物質に由来するものであると考えられるが、その同定には至っていない。今後、由来の同定を進めるとともに、直流グロー放電に代わる SrO 分子源の開発を進める計画である。また、実験結果をもとに ^{90}SrO の吸収について計算により予測することができた。今後、 ^{90}Sr 試料を用いた実験により、 ^{90}SrO 吸収の観測を目指す。

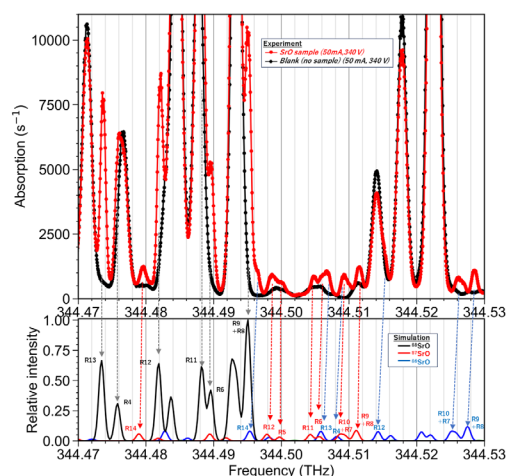


Fig. 1 A-X(1,0)バンドヘッド領域

謝辞: 本研究は、JSPS 科研費・学術変革領域研究 B (22H05021) の助成を受けたものです。また本成果の一部には中部電力公募研究 (R3-R4 年度) の成果を含みます。