

令和 4 年 4 月 19 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01916

研究課題名（和文）LCS-NRFによる同位体3Dイメージング法の基盤確立

研究課題名（英文）Establishment of Isotope 3D imaging by LCS-NRF Method

研究代表者

大垣 英明（Ohgaki, Hideaki）

京都大学・エネルギー理工学研究所・教授

研究者番号：10335226

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の成果は

波長1896nm、出力50Wのファイバーレーザーとこの光学系をUVSOR-IIIのBL-01U整備し、ガンマ線発生量を従来の約10倍増強した。このレーザーコンプトンガンマ線と、²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pbの濃縮同位体ターゲットを用いて、^{Pb-208}（高濃縮）の選択的同位体3D-CTイメージの取得に成功した。Fusion Visualization法を開発し、目標を上回る空間分解能1mmの^{Pb-208}同位体CT画像再構成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究開発により、原子力安全に必須の核セーフティ/セキュリティに対し、基盤技術となる特定の同位体のサンプル中での3次元分布を、ガンマ線を用いて、実用可能な時間内での3次元分布の取得を可能にした。本技術は従来シミュレーション研究のみが世界中で実施されてきたが、本研究で実験的に本技術の実証を行うとともに、短時間・高分解画像の取得法までも提示した、意義のある研究成果を得た。

研究成果の概要（英文）：In this project, we succeeded to generate about 10 times higher flux LCS gamma-rays using a 50 W fiber laser installed into the BL1U at UVSOR-III. By using this enhanced LCS gamma-rays, an isotope (^{Pb-208}) selective 3D CT image has been taken. Furthermore, we succeeded to obtain a 1mm pixel resolution of the isotope (^{Pb-208}) selective 3D CT image by developing a fusion visualization method.

研究分野：核セーフティ/セキュリティ、加速器

キーワード：同位体3Dイメージング LCSガンマ線 NRF

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

X線CTは医療診断において現在ではなくてはならない技術である。また、電子加速器の制動放射X線を用いた産業用(工業製品、考古学的物品、美術品等)CTも用いられている。原子力分野では、核燃料集合体等の分析のため研究開発が原子力機構やカラダッシュ原子力研究センター(仏)で行われている。これらの手法では制動放射X線を用いているが、エネルギーが連続分布であるため原理的に分解能に限界がある。そのため、単色性の高いレーザーコンプトン散乱(LCS)線を用いた研究や、放射性同位体の崩壊線を用いた手法等が研究されてきた。しかし、これらは透過撮像法を用いるため、特に重い元素では近接する原子番号を有する元素の識別が困難である上、同位体の識別は不可能である。そこで、新しい原理に基づいた重い元素と別の重い元素、更には同位体までも非破壊で識別できるCT技術が望まれている。

2. 研究の目的

本研究課題では、我々が世界に先駆けて開発してきた、同位体CTイメージング法の研究を行う。本技術は、準単色のレーザーコンプトン散乱(LCS)線と、核種(同位体)ごとに励起エネルギーが異なる核共鳴蛍光散乱(NRF)を利用して、ウランとプルトニウム等の原子番号が近接した元素の識別だけでなく、U-235とU-238の識別が可能という画期的な技術である。これまでに分子研のUVSOR-III放射光施設に設置したLCS線装置を用いて、初歩的な2DのNRF-CTイメージの取得に世界で初めて成功した。本提案では、LCS線の強度を10倍増加し、実際に鉛の同位体(Pb-206とPb-208)を用いて、選択的同位体3次元CT画像の取得を行う。イメージを再構築するアルゴリズムに関して研究を行い、同位体CTの高分解能化(目標2mm)を行う。

3. 研究の方法

UVSOR-IIIにLCS線ビームライン開発し、2017年には分解能8mmのCTイメージング画像を世界で初めて取得した。現在、LCS線の発生のために、5WのCWレーザーが導入されており、線収量は蓄積電流300mAでレーザー出力5Wの場合、 $(0.7-1.1) \times 10^7$ photons/sを得ている。現在、50W、2 μ m波長のファイバーレーザーが入手可能である。このレーザーをUVSOR-IIIのビームラインに導入する事で、10倍のLCS強度を得る。更にレーザーの波長を1.90 μ mにチューニングし、Pb-208のNRF励起に最適なエネルギーのLCS線の発生を行う。

一方、CTイメージングは、測定物を透過してくるX線の原子吸収を測定し、測定物を回転させることで画像再現を行うものである。これに対し同位体CTイメージングでは、測定対象となる核種固有の励起状態のエネルギーに等しい線を対象物に照射し、NRFを起こさせる。その結果、透過した線は、線のビーム軸上に存在する対象核種の量に応じて減衰する。次に透過吸収させた背後に、測定対象と同じ核種のターゲットを設置する(ウィットネスタarget)。このターゲットからのNRFによる線を検出器で計測することで、測定対象となるサンプル中の透過吸収を測定する。この測定を一定角度毎に回転させて行い、最尤推定-期待値最大化法等を用いて、画像の再構成することで、同位体2Dイメージング画像が得られ、これを上下方向にスキャンする事で、同位体3Dイメージングが得られる。

これまでのUVSOR-III施設での実験によって、入射線は、原子との相互作用(主にコンプトン散乱、光電効果)によって発生する線の吸収を補正する必要があることが判明した。そのため、NRF-CTにおいて、透過線を直接計測して原子との相互作用による吸収を同時に計測する手法を考案した。この手法の実際の適用方法をより詳細に検討し、実験を行う。更には、NRFの反応断面積が非常に小さく測定点数が限られるため、CT画像の測定に長時間が必要である上に得られる画像の分解能はこれまで8mm/pixelとなっている。本研究では鉛の同位体(206Pbと208Pb)を用いて実験を行い、より短時間で2mm/pixelの高分解能の画像が取得できる手法について研究を行う。

4. 研究成果

本研究課題の目標は「LCS線の強度を10倍増加し、実際に鉛の同位体(206Pbと208Pb)を用いて、原子による散乱や、CTイメージを再構築するアルゴリズムに関して研究を行い、同位体CTの高分解能化(目標2mm)を行う。」ことにある。

この目標に対し、

UVSOR-IIIのBL-01Uに構築してきたレーザーコンプトンガンマ線ビームラインにおいて、波

長 1896nm、出力 50W のファイバーレーザーと、この光学系の整備を行い、ガンマ線発生量を 1×10^8 photon/s の、これまでの約 10 倍に増強するとともに、ガンマ線最大エネルギーを 5.52MeV に引き上げた。図 1 に LaBr3 (Ce) 検出器で測定した LCS ガンマ線のスペクトルを示す。

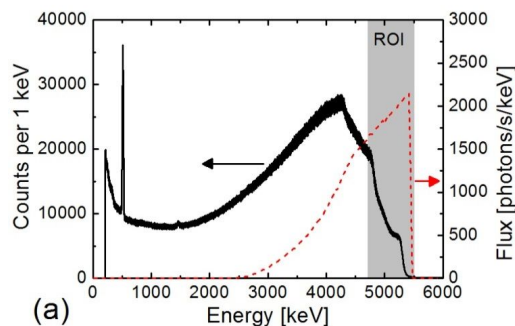


図 1 LCS ガンマ線のスペクトル

このレーザーコンプトンガンマ線と、Pb-206, Pb-208 の濃縮同位体ターゲットを用いて、同位体 CT の 2D イメージの取得を NRF 吸収法にて行い、2 mm/pixel の分解能の Pb-208 のみの選択的な CT 画像の取得に成功した。一方、3D での同位体 CT 画像の取得を行い、3 層の Pb-208 のみの選択的な 3D 画像の取得に成功した。図 2 に Pb-208 を選択的に NRF 励起し取得した 3D CT 画像を示す。

短時間で取得可能な通常のガンマ線 CT 画像と、同位体 CT 画像との重ね合わせ法の開発のために、LaBr 検出器を用いて、CT ターゲットを透過するガンマ線の CT 画像を 1 mm/pixel の高分解で取得した。この画像と NRF による 3D 画像を用いて、Fusion Visualization 法と呼ぶ手法を開発し、当初の目標を上回る、空間分解能 1 mm/pixel の Pb-208 同位体 CT 画像の再構成に成功した。図 3 に Fusion Visualization 法による高分解能画像を示す。

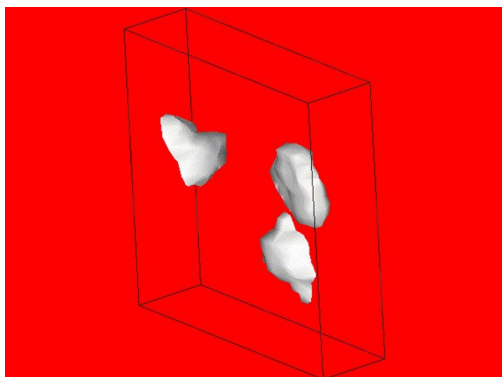


図 2 Pb-208 選択的 NRF-3D CT 画像

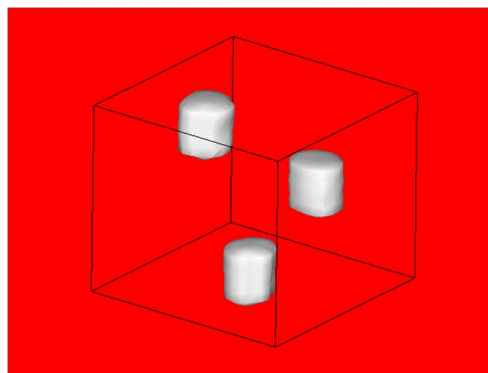


図 3 Fusion Visualization 法による画像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ali Khaled, Zen Heishun, Ohgaki Hideaki, Kii Toshiteru, Hayakawa Takehito, Shizuma Toshiyuki, Toyokawa Hiroyuki, Fujimoto Masaki, Taira Yoshitaka, Katoh Masahiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Three-Dimensional Nondestructive Isotope-Selective Tomographic Imaging of 208Pb Distribution via Nuclear Resonance Fluorescence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 3415 ~ 3415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11083415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ali Khaled, Zen Heishun, Ohgaki Hideaki, Kii Toshiteru, Hayakawa Takehito, Shizuma Toshiyuki, Katoh Masahiro, Taira Yoshitaka, Fujimoto Masaki, Toyokawa Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Fusion Visualization Technique to Improve a Three-Dimensional Isotope-Selective CT Image Based on Nuclear Resonance Fluorescence with a Gamma-CT Image	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 11866 ~ 11866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app112411866	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Negm Hani, Zen Heishun, Ohgaki Hideaki	4. 巻 60
2. 論文標題 Comprehensive simulation study on CT isotope imaging beyond the experiment on the ²⁰⁸ Pb based on nuclear resonance fluorescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2021.2016511	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ali Khaled, Ohgaki Hideaki, Zen Heishun, Kii Toshiteru, Hayakawa Takehito, Shizuma Toshiyuki, Toyokawa Hiroyuki, Taira Yoshitaka, Iancu Violeta, Turturica Gabriel, Ur Calin Alexandru, Fujimoto Masaki, Katoh Masahiro	4. 巻 67
2. 論文標題 Selective Isotope CT Imaging Based on Nuclear Resonance Fluorescence Transmission Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 1976 ~ 1984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2020.3004565	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ali Khaled, Zen Heishun, Ohgaki Hideaki, Kii Toshiteru, Hayakawa Takehito, Shizuma Toshiyuki, Toyokawa Hiroyuki, Fujimoto Masaki, Taira Yoshitaka, Katoh Masahiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Three-Dimensional Nondestructive Isotope-Selective Tomographic Imaging of 208Pb Distribution via Nuclear Resonance Fluorescence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 3415 ~ 3415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11083415	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ali Khaled, Zen Heishun, Ohgaki Hideaki, Kii Toshiteru, Hayakawa Takehito, Shizuma Toshiyuki, Katoh Masahiro, Taira Yoshitaka, Fujimoto Masaki, Toyokawa Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Fusion Visualization Technique to Improve a Three-Dimensional Isotope-Selective CT Image Based on Nuclear Resonance Fluorescence with a Gamma-CT Image	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 11866 ~ 11866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app112411866	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Negm Hani, Zen Heishun, Ohgaki Hideaki	4. 巻 60
2. 論文標題 Comprehensive simulation study on CT isotope imaging beyond the experiment on the ²⁰⁸ Pb based on nuclear resonance fluorescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2021.2016511	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zen Heishun, Ohgaki Hideaki, Taira Yoshitaka, Hayakawa Takehito, Shizuma Toshiyuki, Daito Izuru, Yamazaki Jun-ichiro, Kii Toshiteru, Toyokawa Hiroyuki, Katoh Masahiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Demonstration of tomographic imaging of isotope distribution by nuclear resonance fluorescence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 035101 ~ 035101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5064866	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, Y. Taira, M. Fujimoto, M. Katoh
2. 発表標題 Proposal study for the fused visualization technique of 3D NRF-CT and a high-resolution gamma-CT image
3. 学会等名 3rd International Conference on Nuclear Photonics (NP2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, M. Katoh, M. Fujimoto, Y. Taira
2. 発表標題 Fused CT imaging technique to improve 3D isotope-selective NRF-CT image
3. 学会等名 日本原子力学会2021年秋の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Ali
2. 発表標題 Non-destructive Inspection for the hidden isotopes using Laser Compton scattering gamma rays
3. 学会等名 2021 Ajou & Kyoto & Zhejiang Joint Symposium on Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Khaled Ali, Hideaki Ohgaki, Heishun Zen, Toshiteru Kii, Takehito Hayakawa, Toshiyuki Shizuma, Hiroyuki Toyokawa, Yoshitaka Taira, Masaki Fujimoto, Masahiro Katoh
2. 発表標題 Evaluation of the gamma-ray CT image resolution by LCS gamma-ray beam in UVSOR-III
3. 学会等名 日本原子力学会2022年春の年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Khaled Ali
2. 発表標題 3D Imaging of Pb-208 via Nuclear Resonance Fluorescence and computed tomography
3. 学会等名 日本原子力学会関西支部若手研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, M. Katoh, M. Fujimoto, Y. Taira
2. 発表標題 Three Dimensional Isotope-Selective Tomographic Imaging for 208Pb distribution based on Nuclear Resonance Fluorescence
3. 学会等名 日本原子力学会2021春の年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ali, H. Zen, H. Ohgaki, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, M. Katoh, M. Fujimoto, Y. Taira
2. 発表標題 3-D Isotope-selective CT Imaging based on Nuclear Resonance Fluorescence Transmission Method
3. 学会等名 UVSOR Symposium 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, Y. Taira, M. Fujimoto, M. Katoh
2. 発表標題 Experimental Study on 3-D Isotope-Selective CT Imaging Based on Nuclear Resonance Fluorescence Transmission Method
3. 学会等名 2020 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Ali, H. Zen, H. Ohgaki, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, M. Katoh, M. Fujimoto, Y. Taira
2 . 発表標題 Three Dimensional Tomographic Isotope Imaging of 208Pb by Nuclear Resonance Fluorescence
3 . 学会等名 Zhejiang - Kyoto - Ajou Joint Symposium on Energy Science (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Ali
2 . 発表標題 NON-DESTRUCTIVE INSPECTION OF ENRICHED ISOTOPE (PB-208) USING NUCLEAR RESONANCE FLUORESCENCE WITH LASER COMPTON SCATTERING
3 . 学会等名 The 3rd International Conference on Radiation and Emission in Materials (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, Y. Taira, M. Fujimoto, M. Katoh
2 . 発表標題 Proposal study for the fused visualization technique of 3D NRF-CT and a high-resolution gamma-CT image
3 . 学会等名 3rd International Conference on Nuclear Photonics (NP2020) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, M. Katoh, M. Fujimoto, Y. Taira
2 . 発表標題 Fused CT imaging technique to improve 3D isotope-selective NRF-CT image
3 . 学会等名 日本原子力学会2021年秋の大会
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Ali
2. 発表標題 Non-destructive Inspection for the hidden isotopes using Laser Compton scattering gamma rays
3. 学会等名 2021 Ajou & Kyoto & Zhejiang Joint Symposium on Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Khaled Ali, Hideaki Ohgaki, Heishun Zen, Toshiteru Kii, Takehito Hayakawa, Toshiyuki Shizuma, Hiroyuki Toyokawa, Yoshitaka Taira, Masaki Fujimoto, Masahiro Katoh
2. 発表標題 Evaluation of the gamma-ray CT image resolution by LCS gamma-ray beam in UVSOR-III
3. 学会等名 日本原子力学会2022年春の年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Khaled Ali, Hideaki Ohgaki, Heishun Zen, Toshiteru Kii, Takehito Hayakawa, Toshiyuki Shizuma, Hiroyuki Toyokawa, Yoshitaka Taira, Masaki Fujimoto, Masahiro Katoh
2. 発表標題 Fused 3D visualization for NRF-CT with a high-quality gamma-CT image
3. 学会等名 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Khaled Ali
2. 発表標題 Image Reconstruction of the Enriched Isotope 208Pb Using Nuclear Resonance Florescence Absorption Method in UVSOR-BL1U
3. 学会等名 10th Japan-Korea Joint Summer School on Accelerator and Beam Science, Nuclear Data, Radiation Engineering and Reactor (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Khaled Ali
2. 発表標題 Demonstration of Isotope CT Using NRF Absorption Method in UVSOR-BL1U
3. 学会等名 Workshop on "Generation and Application of High Brightness Electron Beam" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, Y. Taira, V. Iancu, G. Turturica, Calin. A. Ur., M. Fujimoto, M. Katoh
2. 発表標題 Demonstration of Isotope CT Using NRF Absorption Method in UVSOR-BL1U
3. 学会等名 日本原子力学会秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Ohgaki
2. 発表標題 Proposal of Gamma-ray Imaging Application: Tomographic imaging of isotope distribution by nuclear resonance fluorescence using LCS beam
3. 学会等名 ELI-NP 1st user workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 全柄俊
2. 発表標題 LCSガンマ線によるアイソトープイメージング
3. 学会等名 第25回HiSOR研究会 小型放射光リングによる多彩な量子ビームの発生と応用
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Zen, K. Ali, T. Shizuma, T. Hayakawa, Y. Taira, H. Toyokawa, M. Fujimoto, G. V. Turturica, V. Iancu, C. A. Ur, T. Kii, M. Katoh, H. Ohgaki
2 . 発表標題 Progress of Isotope-Specific CT Imaging Experiment at BL1U
3 . 学会等名 UVSORシンポジウム2019
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Ali, H. Ohgaki, H. Zen, T. Kii, T. Hayakawa, T. Shizuma, H. Toyokawa, Y. Taira, V. Iancu, M. Katoh
2 . 発表標題 Development of Three-Dimensional gamma-CT Scan System in BL1U-UVSOR-III
3 . 学会等名 日本原子力学会2020年春の年会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Negm, H. Zen, H. Ohgaki
2 . 発表標題 CT Isotope Imaging Using Nuclear Resonance Fluorescence for Future Nuclear Safeguards: Monte Carlo Simulation of Prototype
3 . 学会等名 EMSES 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Ohgaki, T. Kii, I. Daito, H. Toyokawa, Y. Taira, T. Hayakawa, T. Shizuma, M. Katoh, J. Yamazaki, H. Zen
2 . 発表標題 Demonstration of NRF-CT Imaging by Laser Compton Backscattering Gamma-Rays in UVSOR
3 . 学会等名 Nuclear Photonics 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 大垣英明, 全炳俊, ネグム八二, 紀井俊輝, 早川岳人, 静間俊行, 加藤政博, 藤本 将輝, 豊川弘之, 平義隆
2. 発表標題 UVSORにおけるLCS-NRFによる 同位体CT測定システムの アップグレード計画
3. 学会等名 日本原子力学会秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大垣英明
2. 発表標題 LCS 線源を用いた非破壊同位体分布計測の現状と将来展望
3. 学会等名 NINS分野融合型WS 量子ビームを用いた次世代非破壊分析技術とその応用 惑星物質科学との可能性 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大垣 英明, 全 炳俊, 早川 岳人, 静間 俊行
2. 発表標題 高平均出力 "パルス" レーザーで守る社会セキュリティー
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第39回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	加藤 政博	分子科学研究所・極端紫外光研究施設・特任教授	
	(Katoh Masahiro)		
	(30185871)	(63903)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	静間 俊行 (Shizuma Toshiyuki) (50282299)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 東海量子ビーム応用研究センター・上席研究員(定常) (82502)	
研究分担者	早川 岳人 (Hayakawa Takehito) (70343944)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 東海量子ビーム応用研究センター・上席研究員(定常) (82502)	
研究分担者	豊川 弘之 (Toyokawa Hiroyuki) (80357582)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究グループ長 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関