

令和 3 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07005

研究課題名(和文)核不拡散・核テロ防止のための非破壊測定技術開発に重要な核データの研究

研究課題名(英文) Nuclear data and its preparedness for developing non-destructive assay technique for non-proliferation and nuclear security

研究代表者

相楽 洋 (Sagara, Hiroshi)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：60401519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：今後の核不拡散・核セキュリティ技術開発には、これまでの原子力技術や放射線利用からのニーズとは全く異なる核反応や精度ニーズが存在する。本研究は核物質の検知・測定技術である非破壊測定技術(NDA)について、その鍵である核物質からの直接・間接放射線放出に係る核データに焦点を当て、非破壊測定技術に重要な核種と反応の調査、核データ収集・NDA性能解析、核不拡散・核セキュリティ技術開発に重要な核データ測定精度ニーズを作成した。パッシブおよびアクティブ中性子測定手法、パッシブガンマ線・中性子線トモグラフィ法、光核反応を利用したアクティブ手法を対象にし、一部は予備実験を行い今後の測定に向けた工程を策定できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、これまで着目されてこなかった特殊な核データに対する測定要求を非破壊測定技術の観点から体系的に明確化し、基礎科学分野に対し学術上貢献すること、非破壊測定技術の高度化により接近性の困難さから破壊分析の制限が多い原子力工学の多様な範囲(安全工学、品質管理、保守管理)で広く工学上貢献する。

社会的意義としては、喫緊の課題である世界規模での対テロ対策への迅速な強化への貢献、「核物質や放射性物質を適正に管理する技術」による世界の核不拡散体制の深化と合理化が挙げられる。

研究成果の概要(英文)：There are strong needs of nuclear reaction and its nuclear data accuracy different from conventional nuclear engineering or radiation application, from the aspects of nuclear non-proliferation and security. In this research, nuclear reactions of nuclear material in active/passive measurement by non-destructive assay (NDA) technology were focused, and the accuracy of nuclear data important to NDA measurement were summarized. Passive/active neutron measurement, passive gamma/neutron tomography, active method utilizing photo-nuclear reaction were investigated and analyzed. As an advanced point, some of measurement were proceeded for the future nuclear data measurements.

研究分野：原子力学

キーワード：非破壊測定技術 核データ 核不拡散 核セキュリティ トモグラフィ 光核反応

1. 研究開始当初の背景

核不拡散は原子力平和利用における最重要課題の一つであるが、国家による核兵器保有のみならず、近年勢力拡大が著しいテロ組織等による核兵器及び核物質盗取や原子力施設破壊といった不法行為を予防し対応すること(核セキュリティ)も世界規模での対応が求められる喫緊の課題である。国際的枠組み等の制度面に加え、「核物質や放射性物質を適正に管理する技術」導入が重要である。例を挙げると、同時多発テロ事件以来ホームランド・セキュリティを最重要課題とする米国にて、核物質検知のための非破壊測定技術開発が強力に進められている(コンテナ全量検査法が2007年成立するも運用可能な技術開発を要するため未施行)。また米国では次世代保障措置イニチアチブプロジェクトにより国家による原子炉照射燃料の不法転用を防止する非破壊測定技術を最優先開発課題に掲げ、産学官一丸で実証研究を進めている。

研究代表者は核物質測定が最も困難な溶融燃料デブリに用いる非破壊測定技術のパッシブ(受動)法の研究開発を行ってきた。パッシブ法で重要な強放射線放出核種の照射燃料中の予測精度が10~20%程度と最新の核データライブラリーを用いても依然大きくこれら生成反応核データを拡充することが精度及び信頼性向上に直結することを示唆している。

また、非破壊測定技術のアクティブ(能動)法としては外部中性子線や光子線を標的に入射し、その応答反応により内部物質情報を得る手法の研究開発が進められている。高エネルギーガンマ線はコンテナに対しても高い透過性を有するため、光核反応を利用した核物質検知のための測定方法の研究が進められているが、主要な核分裂性核種ですら実験データは不足しており精度のよい核データは全く整備されていない。

以上より、核不拡散・核セキュリティの迅速な強化に重要な各非破壊測定技術について、核データ拡充と測定優先度の体系的及び戦略的な明示が喫緊の課題である。

2. 研究の目的

本研究は核物質の検知・測定技術である非破壊測定技術(NDA)について、その鍵である核物質からの直接・間接放射線放出に係る核データに焦点を当て、非破壊測定技術に重要な核種と反応の調査、核データ収集・NDA性能解析、核不拡散・核セキュリティ技術開発に重要で高付加価値の核データ測定精度ニーズリストの作成を目的とした。

3. 研究の方法

本研究は、「非破壊測定技術の調査及び核データの観点からの評価」、「核データ収集・解析」、「総合評価」からなる。パッシブ法及びアクティブ法を用いた非破壊測定技術に重要な核種及び反応を、先行研究や公開情報を基に調査する。核データの実験データ収集・解析を最新の汎用核データセット、公開情報収集や、核データに係る実験データベース解析を通じて実施し、今後の核不拡散技術開発に重要で高付加価値の核データファイルの基盤を構築する。また各非破壊測定技術精度に対する核データ不確かさを感度解析により定量評価し、大幅な測定精度向上に直結する核データ測定ニーズを抽出する。最後に核データ測定の優先順位付けを核不拡散・核セキュリティの観点から体系的に行う。

4. 研究成果

保障措置のためのNDAに重要な核データとして、パッシブおよびアクティブ中性子測定手法、パッシブガンマ測定法、パッシブガンマ線トモグラフィ法、パッシブ中性子線トモグラフィ法、光核核分裂反応を利用したアクティブ手法、について調査及び感度解析を行った。

パッシブおよびアクティブ中性子測定手法では、核物質からの中性子発生反応である軽元素のフッ素、酸素、窒素の(γ, n)反応、及び自発核分裂中性子放出率の精度向上がNDAの測定精度に重要であることを明らかにした。さらに、軽元素不純物が不明な物質の測定において、(γ, n)反応によるノイズを低減する新たな同時係数法のデータ処理アルゴリズムの開発に繋がった[1]。

パッシブガンマ線測定法では、照射済燃料の燃焼度測定等に用いられるガンマスペクトロメトリ法に重要な ^{154}Eu の軽水炉内生成パスは、(1) Fission $^{153}\text{Eu}(n, \gamma) ^{154}\text{Eu}$ 、(2) Fission ^{154}Eu の主に2系統である。特に核データ整備が不足している(2)パスについて ^{235}U からの核分裂収率が極めて小さくウラン燃料中での寄与は極めて小さいが、MOX燃料では ^{239}Pu からの累

積核分裂収率の寄与が無視できないことを明らかにした。[2-3]

パッシブガンマ線トモグラフィ法では、照射済み核燃料集合体のガンマ線測定から線源の3次元分布を作成し、標準的な核燃料のガンマ線分布との差分情報から不正転用を検知シミュレーションを実施した。標準ガンマ線源分布作成で主要な核種である ^{137}Cs については収率及びその生成・消滅計算精度は1で<3%と高く核データは十分であるが、同様に主要核種であり化学的に安定な ^{154}Eu などは<10%と小さくないことが分かった。光核分裂反応を利用した手法では、高エネルギーガンマ線(6~11MeV)に対し現状核データ不確かさは10%超であるが、高濃縮ウランの検知測定に応用するためには3%以下にする必要があることを解析により見出した[4-6]。同様の解析を中性子トモグラフィ法に対しても行い、主要な中性子発生源である Cm-244 の原子炉内での生成に関わる核データの向上が重要であることを明らかにした[7]。

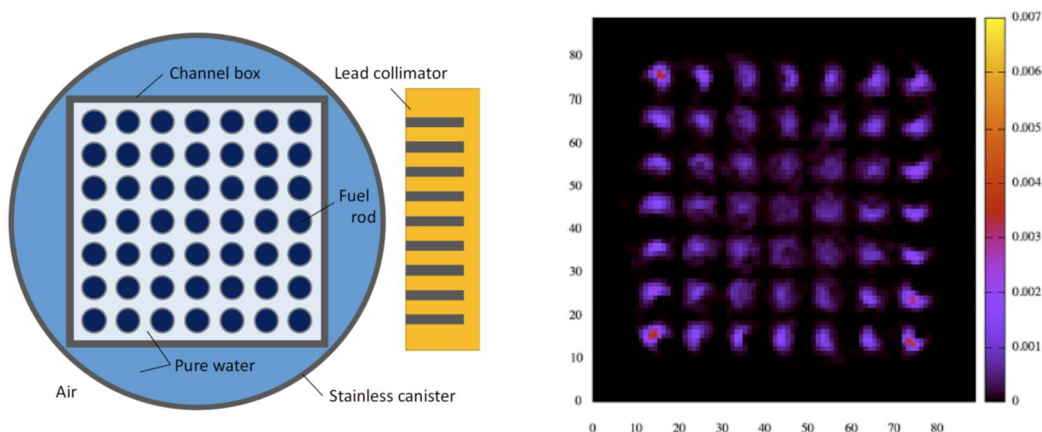
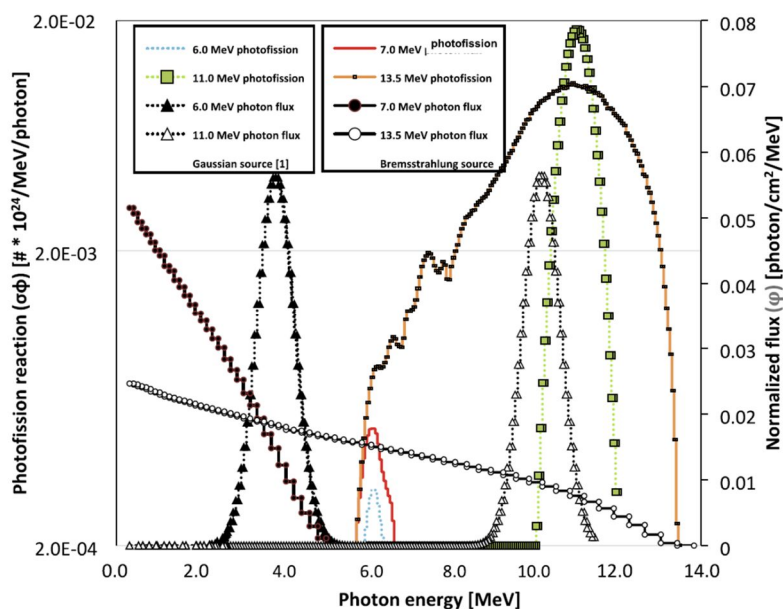


図 パッシブガンマ線トモグラフィ法における測定モデル(左)、シミュレーション結果(右)[4]

光核分裂反応を利用した手法では、主要核物質核種である ^{235}U 、 ^{238}U であっても敷居エネルギーである6MEV以上での核データの整備は十分とは言えず、精度は少なくとも10%以上であった。保障措置におけるウラン濃縮度検認に適用するためには、核データ精度を3%未満に向上させることが求められることを明らかにした。また、単色光に加え、電子線線形加速器から発生可能な制動放射 X 線を問いかけ線源とした場合であっても、同様の測定が可能であることを明らかにした[8]。以上より、本反応の核データ向上による NDA 測定精度向上が著しく期待できることを見出し、高エネルギーガンマ線に対するウランの光核反応の予備実験を開始し、今後の実証試験のための工学的課題を見出し、今後の工程を策定した。



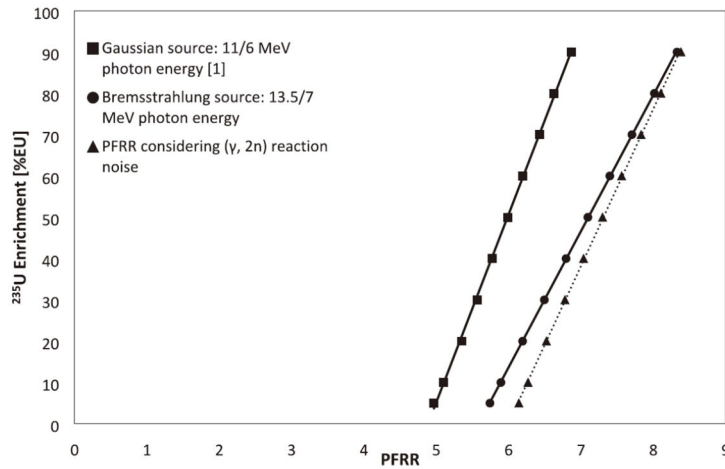


図 制動放射 X 線を用いた光核反応率(上)、ウラン濃縮度の測定可能性(下)[8]

<引用文献>

1. 中嶋 翔, 相楽 洋, 韓 治暎, 長谷 竹晃, “軽元素不純物を多く含む Pu 酸化物の Pu-240 実効質量測定における DDSI 法の適用可能性,” 日本原子力学会 2021 年春の年会, 2021.
2. 相楽 洋, 片淵 竜也, “核不拡散・核テロ防止のための非破壊測定技術開発に重要な核データの研究 Nuclear data and its preparedness for developing non-destructive assay technique for non-proliferation and nuclear security - overview -, ” 日本原子力学会 2018 年春の年会, 大阪大学吹田キャンパス, 3月26日 - 28日 (2018).
3. H. Sagara, et al., “Feasibility study of passive gamma spectrometry of molten core material from Fukushima Dai-ichi nuclear power plant unit 1, 2 and 3 cores for special nuclear material accountancy - Low-volatile FP & special nuclear material inventory analysis and fundamental characteristics of gamma-ray from fuel debris - ” J. Nucl. Sci Technol, vol. 51, no. 1, p. 1-23 (2014).
4. Shigeki Shiba, Hiroshi Sagara, “MLEM reconstruction method applied to partial defect verification using simulated data,” Annals Nuclear Energy Vol. 139, 107242 (2020).
5. Shiba Shigeki, Sagara Hiroshi, “Passive gamma emission tomography with ordered subset expectation maximization method,” Annals Nuclear Energy, Vol. 150, 107823 (2021).
6. Shiba Shigeki, Sagara Hiroshi, “Iterative reconstruction algorithm comparison using Poisson noise distributed sinogram data in passive gamma emission tomography,” Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 58, 659-666 (2021).
7. 徳田崇哉, 柴 茂樹, 相楽 洋, “パッシブ中性子線断層撮影法を用いた非破壊測定技術の開発と部分欠損検認への適用可能性” 第41回日本核物質管理学会年次大会会議論文 2020.
8. Kim Wei Chin, Hiroshi Sagara †, Chi Young Han, “Application of photofission reaction to identify high-enriched uranium by bremsstrahlung photons,” Annals Nuclear Energy, Vol 158, 108295 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kim Wei Chin, Hiroshi Sagara, Chi Young Han	4. 巻 158
2. 論文標題 Application of photofission reaction to identify high-enriched uranium by bremsstrahlung photons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals Nuclear Energy	6. 最初と最後の頁 108295, 108295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shiba Shigeki, Sagara Hiroshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Iterative reconstruction algorithm comparison using Poisson noise distributed sinogram data in passive gamma emission tomography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 659 ~ 666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2020.1854882	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 Shigeki Shiba, Hiroshi Sagara	4. 巻 150
2. 論文標題 Passive gamma emission tomography with ordered subset expectation maximization method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals of Nuclear Energy	6. 最初と最後の頁 107823, 107823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Rei Kimura, Hiroshi Sagara, Satoshi Chiba	4. 巻 131
2. 論文標題 Applicability Study of the Photofission Based Nuclear Material Isotopic Composition Measurement Method on the Thorium Uranium System	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Energy Procedia	6. 最初と最後の頁 264, 273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 徳田崇哉, 柴 茂樹, 相楽 洋	4. 巻 -
2. 論文標題 パッシブ中性子線断層撮影法を用いた非破壊測定技術の開発と部分 欠損検認への適用可能性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第41 回日本核物質管理学会年次大会会議論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 中岫 翔, 相楽洋, 韓治暎	4. 巻 -
2. 論文標題 多様な放射性廃棄物内核物質測定へのDDSI 法の適用可能性 (2) 解析モデルの構築と妥当性確認	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第41 回日本核物質管理学会年次大会会議論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kim Wei Chin , Hiroshi Sagara and Chi Young Han	4. 巻 -
2. 論文標題 Applicability Study of Photofission Reaction to Identify High-Enriched Uranium by utilizing the Bremsstrahlung Photon (3) Impact of (, 2n) Reaction Noise on Photofission Reaction Ratio Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 41st Annual Meeting of INMM Japan Chapter	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 柴 茂樹, 相楽 洋	4. 巻 -
2. 論文標題 パッシブ 線断層撮影法を用いた画像再構成技術の開発 (3) 収納缶中の燃料デブリのパッシブ 線源分布の画像再構成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第41 回日本核物質管理学会年次大会会議論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Chin Kim Wei, Sagara Hiroshi, Han Chi Young	4. 巻 158
2. 論文標題 Application of photofission reaction to identify high-enriched uranium by bremsstrahlung photons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals of Nuclear Energy	6. 最初と最後の頁 108295 ~ 108295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anucene.2021.108295	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 該当する

1. 著者名 Shiba Shigeki, Sagara Hiroshi	4. 巻 150
2. 論文標題 Passive gamma emission tomography with ordered subset expectation maximization method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals of Nuclear Energy	6. 最初と最後の頁 107823 ~ 107823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anucene.2020.107823	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 該当する

1. 著者名 Shiba Shigeki, Sagara Hiroshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Iterative reconstruction algorithm comparison using Poisson noise distributed sinogram data in passive gamma emission tomography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 659 ~ 666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2020.1854882	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 該当する

1. 著者名 徳田崇哉, 柴 茂樹, 相楽 洋	4. 巻 -
2. 論文標題 パッシブ中性子線断層撮影法を用いた非破壊測定技術の開発と部分 欠損検認への適用可能性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第41 回日本核物質管理学会年次大会会議論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 中嶋 翔, 相楽洋, 韓治暎	4. 巻 -
2. 論文標題 多様な放射性廃棄物内核物質質量測定へのDDSI 法の適用可能性 (2) 解析モデルの構築と妥当性確認	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第41 回日本核物質管理学会年次大会会議論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kim Wei Chin, Hiroshi Sagara and Chi Young Han	4. 巻 -
2. 論文標題 Applicability Study of Photofission Reaction to Identify High-Enriched Uranium by utilizing the Bremsstrahlung Photon (3) Impact of (, 2n) Reaction Noise on Photofission Reaction Ratio Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第41 回日本核物質管理学会年次大会会議論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 柴 茂樹, 相楽 洋	4. 巻 -
2. 論文標題 パッシブ 線断層撮影法を用いた画像再構成技術の開発 (3) 収納缶中の燃料デブリのパッシブ 線源分布の画像再構成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第41 回日本核物質管理学会年次大会会議論文	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shigeki Shiba and Hiroshi Sagara	4. 巻 Vol. 139
2. 論文標題 MLEM reconstruction method applied to partial defect verification using simulated data,	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Nuclear Energy	6. 最初と最後の頁 1,6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shigeki Shiba and Hiroshi Sagara	4. 巻 VOL. 57
2. 論文標題 Fast reconstruction of Bayesian iterative approximation in passive gamma-ray tomography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Nucl. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 546,552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2019.1699192	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16件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 柴 茂樹, 相楽洋
2. 発表標題 パッシブ 線断層撮影法を用いた画像再構成技術の開発(2)モックアップ燃料集合体中 線源分布の画像再構成,
3. 学会等名 日本核物質管理学会第40回年次大会プロシーディングス, P4006,
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kim Wei Chin, Hiroshi Sagara, Chi Young Han and Rei Kimura
2. 発表標題 Applicability Study of Photofission Reaction to Identify High-Enriched Uranium by utilizing the Bremsstrahlung Photon (2) Selection of incident electron energies and validation of PFRR principle,
3. 学会等名 Proc. 40th Annual Mtg. INMMJ Japan Chapter, P4005
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田 崇哉, 柴 茂樹, 相楽 洋
2. 発表標題 パッシブ ・中性子線断層撮影法を用いた非破壊測定技術の研究(1)使用済燃料由来パッシブ中性子線断層撮影法の部分欠損検認への適用の研究計画,
3. 学会等名 日本核物質管理学会第40回年次大会プロシーディングス, P4008
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Sagara and Sunil Chirayath,
2. 発表標題 Status and Future Challenges on R&Ds for International Safeguards (1) R&Ds for Nuclear Non-proliferation and Safeguards on future reactors and nuclear fuel cycle
3. 学会等名 AESJ Fall Mtg, 1I_PL02 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴 茂樹, 相楽 洋、
2. 発表標題 パッシブ 線断層撮影法を用いた画像再構成技術の開発(1) ベイズ型逐次近似法によるモックアップ燃料集合体中 線源分布の画像再構成
3. 学会等名 日本原子力学会2019年秋の大会, 1109
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chin Kim Wei, Hiroshi Sagara, Chi Young Han and Rei Kimura
2. 発表標題 Application of Photofission Reaction to Identify Highly Enriched Uranium by Utilizing Bremsstrahlung Spectrum Photon
3. 学会等名 AESJ Fall Mtg, 1108
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Sagara
2. 発表標題 Nuclear data and its preparedness for nuclear non-proliferation and security
3. 学会等名 2018 Symposium on Nuclear Data (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴 茂樹,相楽洋
2. 発表標題 パッシブ 線断層撮影法を用いた画像再構成技術の開発 (1) 統計的逐次近似法による使用済BWR 燃料集合体中 線源分布の 画像再構成
3. 学会等名 日本核物質管理学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nur Husna Md Hanipah,相楽洋,韓治暎
2. 発表標題 Applicability of LaBr3 (Ce) Detector for 154Eu Quantification in Molten Fuel Material by Using Passive Gamma
3. 学会等名 日本核物質管理学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chin Kim Wei,相楽洋,韓治暎,木村礼
2. 発表標題 制動放射スペクトルガンマ線を用いたPFRR 法の高濃縮U検知への適用性研究
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会,茨城大学,2019.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 KIM WEI CHIN、HIROSHI SAGARA、REI KIMURA
2. 発表標題 Applicability study of Photofission Rate of Reaction Ratio (PFRR) method to identify High Enriched Uranium (HEU) by utilizing the Bremsstrahlung spectrum photon
3. 学会等名 日本原子力学会2019年春の年会,茨城大学,2019.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相楽洋
2. 発表標題 「シグマ」特別専門委員会の平成27, 28 年度活動報告(3)核セキュリティの立場からのデータニーズ
3. 学会等名 日本原子力学会2017年秋の大会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相楽 洋, 片瀨 竜也
2. 発表標題 核不拡散・核テロ防止のための非破壊測定技術開発に重要な核データの研究 -全体概要-
3. 学会等名 日本原子力学会2018年春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中岫 翔, 相楽 洋, 韓 治暎, 長谷 竹晃
2. 発表標題 軽元素不純物を多く含むPu 酸化物のPu-240 実効質量測定におけるDDS1 法の適用可能性
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会予稿集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳田 崇哉, 柴 茂樹, 相楽 洋,
2. 発表標題 パッシブ中性子線断層撮影法の使用済燃料集合体への適用可能性
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴 茂樹, 相楽 洋
2. 発表標題 パッシブ 線断層撮影法を用いた画像再構成技術の開発 (2) 推定画像を用いたベイズ型逐次近似法によるモックアップ燃料集合体中 線源分布の画像再構成及びCNN を用いた燃料棒の画像認識
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究に関し、IAEA保障措置技術に対する支援の枠組み（MSSP: Member States Support Programmes）で実施された国際共同研究IAEA PGETプロジェクトに、日本によるIAEA保障措置技術支援（JASPAS: Japan Support Programme for Agency Safeguards）として採択され参画した。

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	片淵 竜也 (Kaabuchi Tatsuya) (40312798)	東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授 (12608)	

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		
米国	Texas A&M University		
オーストリア	International Atomic Energy Agency		