

電子ビーム制御研究部門（極端紫外光研究施設）

平 義隆（准教授）（2020 年 4 月 1 日着任）

脇田 幸哉（特別共同利用研究員）

YANG, Yuxuan（特別共同利用研究員）

ZHOU, Weixin（特別共同利用研究員）

石原 麻由美（事務支援員）

加茂 恭子（事務支援員）

横田 光代（事務支援員）

A-1) 専門領域：ガンマ線計測，陽電子計測，光渦計測

A-2) 研究課題：

- a) 超短パルスガンマ線の発生と利用研究
- b) 軸対称偏光レーザーを用いたガンマ線の発生と計測技術開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 世界の放射光施設でも UVSOR の独自技術である超短パルスガンマ線を用いた陽電子消滅分光法によるバルク材料の原子スケール欠陥分析に関する研究である。超短パルスガンマ線は、フェムト秒レーザーと 750MeV 電子ビームの 90 度衝突逆トムソン散乱によって発生し、そのパルス幅はサブピコ秒からピコ秒オーダーである。この超短パルス性とバックグラウンドの低さを活かしたガンマ線の利用研究として、陽電子消滅分光法による材料中の欠陥分析をユーザーに提供している。陽電子は、対生成と呼ばれる現象によって材料内部でガンマ線から発生し、材料中の欠陥に捕獲される。欠陥の大きさによって陽電子の寿命が変化するために、陽電子寿命を測定することで材料中の欠陥を非破壊で分析することができる。さらに、ガンマ線は物質に対する透過率が高いために厚さ数 cm のバルク材料の欠陥分析を行うことが可能である。陽電子寿命測定法のユーザー利用が現在行われており、放射性同位元素から発生する陽電子を直接試料に照射する従来の方法では実施困難な金属材料の応力負荷及び水素脆化時の欠陥形成のその場測定手法の開発を進めている。応力負荷時の測定については論文の執筆を開始している。

逆トムソン散乱では、偏光レーザーを使うことで偏光ガンマ線が発生する。エネルギー広がり準単色かつエネルギー可変の偏光ガンマ線が発生する唯一の方法であるため、偏光ガンマ線検出器の応答測定にも利用されている。J-PARC において中性子捕獲反応によって発生する円偏光ガンマ線を測定することで、原子核の励起状態のスピンやパリティを決定するための実験が行われている。ガンマ線の偏光計として使用される電磁石を UVSOR に持ち込み、円偏光ガンマ線に対する偏光計の感度測定が行われた。開発している偏光計が、円偏光ガンマ線に対して予想値とほぼ一致する感度が得られている事を確認した。この偏光計を J-PARC 物質・生命科学実験施設の ANNRI ビームラインに設置し、中性子捕獲反応によって発生する円偏光ガンマ線の測定が行われている。この実験に関するユーザー執筆の論文が *Eur. Phys. J. A* に掲載された。

- b) 本研究課題では、特殊な偏光状態であるラジアル偏光やアジマス偏光の軸対称偏光レーザーを用いた逆トムソン散乱によって発生するガンマ線の偏光分布を明らかにする。直線偏光及び円偏光レーザーを用いると、直線偏光及び円偏光のガンマ線が発生する事は既に実験的に確かめられているが、軸対称偏光レーザーを使用した場合にどのよ

うな偏光状態のガンマ線が発生するのは理論的にも実験的にも確認されていない。新しい偏光特性をもつガンマ線を発生出来れば、新たな利用開拓に繋がる可能性がある。軸対称偏光レーザーは、Altechna社のS-waveplateを用いて直線偏光のレーザーから変換する。最初の実験として、ガンマ線の空間分布を2次元検出器(AdvaPIX TPX3)で測定した。軸対称偏光レーザーを用いると、直線偏光及び円偏光のガンマ線とは異なる空間分布になることが確認された。この結果に関する論文が *Phys. Rev. A* に掲載された。

ガンマ線の空間偏光分布を測定するため、偏光計の設計および構築を行った。ガンマ線が直線偏光の場合、ターゲットで散乱されるコンプトン散乱ガンマ線の断面積が方位角方向に変化するため、ガンマ線の偏光軸に対して90度方向に散乱されるガンマ線の割合が高くなる。そのため、ガンマ線検出器を方位角方向に複数配置し、散乱ガンマ線の方位角分布を測定する事でガンマ線の偏光軸を測定できる。また、直径10 mm程度に広がったガンマ線の一部を直径1 mmの鉛コリメータを用いて切り出してターゲットに照射することでその位置での偏光軸を測定できる。さらに、コリメータを2次元スキャンして同様の測定を行う事で、ガンマ線の空間偏光分布を測定できる。実験に向けて、最初に偏光計の設計を行った。放射線シミュレーションコードを用いてガンマ線検出器の選定、ターゲット形状や配置および計数率の計算を行った。検出器固定治具の設計および組立は装置開発室に依頼した。

最初に、偏光特性の分かっている直線偏光および円偏光ガンマ線の空間偏光分布を測定した。理論計算が示すように、ガンマ線ビーム断面の位置によってガンマ線の偏光軸が変化することを測定することができた。今後、軸対称偏光レーザーを用いて発生するガンマ線の空間偏光分布を測定し、その偏光特性を明らかにする。

B-1) 学術論文

R. SATO, M. HAMDAN, K. SHIMAZOE, M. UENOMACHI and Y. TAIRA, “Measurement of Scattering Azimuthal Distribution of Polarized Gamma-Rays in Compton Scattering Using GAGG(Ce) Scintillator,” *J. Instrum.* **20(2)**, C02007 (2025). DOI: 10.1088/1748-0221/20/02/C02007

Y. TAIRA, “Spatial Distribution of Gamma Rays Produced by Axially Symmetric Polarized and Optical Vortex Lasers,” *Phys. Rev. A* **110(10)**, 043525 (2024). DOI: 10.1103/PhysRevA.110.043525

S. ENDO, R. ABE, H. FUJIOKA, T. INO, O. IWAMOTO, N. IWAMOTO, S. KAWAMURA, A. KIMURA, M. KITAGUCHI, R. KOBAYASHI, S. NAKAMURA, T. OKU, T. OKUDAIRA, M. OKUIZUMI, M. OMER, G. ROVIRA, T. SHIMA, H. M. SHIMIZU, T. SHIZUMA, Y. TAIRA, S. TAKADA, S. TAKAHASHI, H. YOSHIKAWA, T. YOSHIOKA and H. ZEN, “Circular Polarization Measurement for Individual Gamma Rays in Capture Reactions with Intense Pulsed Neutrons,” *Eur. Phys. J. A* **60(8)**, 166 (2024). DOI: 10.1140/epja/s10050-024-01392-6

B-3) 総説, 著書

S. KERA, T. ARAKI, K. TANAKA, Y. TAIRA, M. KATOH and F. MATSUI, “UVSOR Synchrotron Facility 40th Anniversary,” *Synchrotron Radiat. News* **37(2)**, 41–42 (2024). DOI: 10.1080/08940886.2024.2330876

B-4) 招待講演

平 義隆, 「超短パルスガンマ線の発生と利用研究」, RARiS研究会「加速器を用いたガンマ線ビームの生成, 基礎科学と産業分野への利用」, 仙台, 2024年9月.

平 義隆, 「UVSORにおけるガンマ線源の開発と利用」, 第664回高崎研オープンセミナー, 高崎, 2024年5月.

Y. TAIRA, “Gamma-ray-induced positron annihilation spectroscopy at UVSOR,” 13th International Workshop on Positron and Positronium Chemistry (PPC-13), Kanazawa, November 2024.

B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員等

ビーム物理研究会 若手の会 幹事 (2020–).

日本加速器学会第 21 回年会組織委員 (2024).

学会誌編集委員

日本陽電子科学学会会報編集委員 (2024–2025).

B-8) 大学等での講義, 客員

理化学研究所, 客員研究員, 2018 年 9 月–.

総合研究大学院大学先端学術院, 「放射光科学」, 2024 年 7 月–8 月.

C) 研究活動の課題と展望

陽電子消滅分光法に関しては, 陽電子寿命測定法と寿命運動量相関測定法に加えて, 同時計数ドップラー拡がり法やスピン偏極陽電子の発生と計測技術開発を行い, 分析技術の拡充を図る。計算上はパルス幅数ピコ秒のガンマ線が発生していると考えられるが, 超短パルスガンマ線のパルス幅計測手法の開発も行う。軸対称偏光レーザーを用いたガンマ線発生に関しては, ガンマ線の偏光分布の測定技術を開発する。