

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）

杉田 健人（助教）

SALEHI, Elham（特任研究員）

田部 圭梧（特別共同利用研究員）

後藤 啓太（特別共同利用研究員）

小澤 舜ノ介（特別共同利用研究員）

塩原 慧介（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）

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) 短波長光渦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。2022 年度に陽電子寿命測定法及び寿命運動量相関測定法の検出器の数を 2 倍にすることで、計数率が 2 倍になることを確認した。これまでと同じ統計を貯めるのに測定時間が半分になり、限られた時間で測定できる試料の数が増えたため、ユーザーにとって利便性が向上した。寿命運動量相関測定法の開発に関する論文が *Rev. Sci. Instrum.* に掲載され、シンチレータ材料の陽電子消滅分光法に関するユーザー執筆の論文が発表された。また、超短パルス円偏光ガンマ線を用いたスピン偏極陽電子消滅分光法の開発も開始しており、複数の分析技術をユーザーに提供することを目指す。一方で、パルスではない連続ガンマ線を用いたユーザー利用も行っており、ユーザー執筆の論文が発表された。陽電子消滅分光法とガンマ線の施設利用及び協力研究と有償利用（民間企業）の全申請件数は、2020 年度が 8 件、2021 年度 16 件、2022 年度 16 件と順調に伸びており、今後の成果発表が期待される。
- b) 本研究課題では、らせん波面を形成するエネルギー sub-MeV 以上のガンマ線渦を世界に先駆けて開発し、素粒子や原子核、物性研究への応用開拓を行うことを最終目標としている。このガンマ線は、位相構造がらせんであるために軌道角運動量（Orbital angular momentum: OAM）を運ぶということに大きな特徴がある。ガンマ線渦の発生には、

平らが初めて見出した電子ビームと高強度円偏光レーザーの非線形逆トムソン散乱法を用いる。2019年度から関西光科学研究所において高強度レーザーと150MeVマイクロトン電子加速器を用いた実験を行っており、光渦の特徴である空間分布が円環になることを測定することを目標としている。また、UVSORにおいても非線形逆トムソン散乱実験を行うため、パルスエネルギー50mJのレーザー装置の立ち上げを現在行っている。2022年11月に非線形逆トムソン散乱実験を行ったが、光渦である高次高調波の確認が出来なかった。今後課題解決に取り組み、再実験する予定である。

B-1) 学術論文

Y. TAIRA, R. YAMAMOTO, K. SUGITA, Y. OKANO, T. HIRADE, S. NAMIZAKI, T. OGAWA and Y. ADACHI, “Development of Gamma-Ray-Induced Positron Age-Momentum Correlation Measurement,” *Rev. Sci. Instrum.* **93(11)**, 113304 (2022). DOI: 10.1063/5.0105238

H. OTA, E. SALEHI, M. FUJIMOTO, K. HAYASHI, T. HORIGOME, H. IWAYAMA, M. KATOH, N. KONDO, S. MAKITA, F. MATSUI, H. MATSUDA, T. MIZUKAWA, A. MINAKUCHI, E. NAKAMURA, M. NAGASAKA, Y. OKANO, T. OHIGASHI, M. SAKAI, K. SUGITA, K. TANAKA, Y. TAIRA, F. TESHIMA, J. YAMAZAKI, T. YANO, H. YUZAWA and S. KERA, “UVSOR Synchrotron Facility Update,” *J. Phys.: Conf. Ser.* **2380(1)**, 012003 (2022). DOI: 10.1088/1742-6596/2380/1/012003

E. SALEHI, Y. TAIRA, M. FUJIMOTO, L. GUO and M. KATOH, “Lattice Design of the UVSOR-IV Storage Ring,” *J. Phys.: Conf. Ser.* **2420(1)**, 012062 (2023). DOI: 10.1088/1742-6596/2420/1/012062

M. KITAURA, Y. TAIRA and S. WATANABE, “Characterization of Imperfections in Scintillator Crystals Using Gamma-Ray Induced Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy,” *Opt. Mater: X* **14**, 100156 (2022). DOI: 10.1016/j.omx.2022.100156

B-4) 招待講演

Y. TAIRA, “Ultra-short pulsed gamma rays and their application to material science,” Asia-Oceania Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation 2022, Sendai (Japan), November 2022.

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19回年会組織委員 (2021-2023).

日本加速器学会第19回年会プログラム委員 (2022-2023).

日本加速器学会組織委員 (2022-2023).

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物理科学研究科, 「光物理」, 2022年7月.

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(B) (一般), 「超短パルスガンマ線を用いた陽電子寿命運動量相関測定法の開発と利用研究の推進」, 平 義隆 (2021年度-2023年度).

科研費基盤研究(A), 「放射光の位相構造制御法の開発」 (代表: 加藤政博), 平 義隆 (研究分担者) (2020年度-2022年度).

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。光渦に関しては, ガンマ線の波面計測の技術を開発し, らせん波面を形成するガンマ線渦が発生していることを実験的に実証する。