

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）

神山 和輝（特別共同利用研究員）

山本 涼平（特別共同利用研究員）

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）

稲垣 いつ子（事務支援員）

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ナノメート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。2021 年度は、新しいレーザー導入チャンバーを電子蓄積リングに導入し、ガンマ線の強度が 40 倍になったことを確認した。陽電子の寿命測定に加えて、寿命運動量相関測定法の開発も開始しており、分析技術の拡充を目指す。また、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 15 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 マイクロトロ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 50 mJ のレーザー装置の立ち上げを現在行っている。一方で、UVSOR の円偏光アンジュレータを用いて発生できる紫外光領域の光渦の計測技術開発も行っている。アンジュレータから発生する光渦に関しては世界の他の施設でも行われており、円偏光モードでの計測だけが行われていた。平らの計算により、楕円偏光モードでも位相構造をもつ光渦が発生することが新たに分かり、UVSOR で実証実験を行った。光渦を2重スリットに通したときの干渉縞をサンプリングモアレ法によって位相解析することで光渦の位相構造を測定し、計算との比較を行った。この結果に関して論文が *New Journal of Physics* に掲載された。

B-1) 学術論文

K. ALI, H. ZEN, H. OHGAKI, T. KII, T. HAYAKAWA, T. SHIZUMA, H. TOYOKAWA, M. FUJIMOTO, Y. TAIRA and M. KATOH, “Three-Dimensional Nondestructive Isotope-Selective Tomographic Imaging of ^{208}Pb Distribution via Nuclear Resonance Fluorescence,” *Appl. Sci. (Switzerland)* **11**(8), 3415 (14 pages) (2021). DOI: 10.3390/app11083415

K. ALI, H. OHGAKI, H. ZEN, T. KII, T. HAYAKAWA, T. SHIZUMA, H. TOYOKAWA, Y. TAIRA, V. IANCU, G. TURTURICA, C. A. UR, M. FUJIMOTO and M. KATOH, “Selective Isotope CT Imaging Based on Nuclear Resonance Fluorescence Transmission Method,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **67**(8), 1976–1984 (2020). DOI: 10.1109/TNS.2020.3004565

E. SALEHI and M. KATOH, “Spatial Structure and Angular Momentum of Electro-Magnetic Wave Radiated from a Relativistic Electron Moving on a Spiral Orbit,” *J. Adv. Simulat. Sci. Eng.* **8**(1), 87–97 (2021). DOI: 10.15748/jasse.8.870

K. ALI, H. ZEN, H. OHGAKI, T. KII, T. HAYAKAWA, T. SHIZUMA, M. KATOH, Y. TAIRA, M. FUJIMOTO and H. TOYOKAWA, “Fusion Visualization Technique to Improve a Three-Dimensional Isotope-Selective CT Image Based on Nuclear Resonance Fluorescence with a Gamma-CT Image,” *Appl. Sci. (Switzerland)* **11**(24), 11866 (17 pages) (2021). DOI: 10.3390/app112411866

B-4) 招待講演

平 義隆, 「高エネルギー電子ビームを用いた新規ガンマ線源開発と利用研究」, 電気学会調査専門委員会「放射線技術を利用した微量分析およびイメージング技術」, オンライン開催, 2021 年 12 月.

B-6) 受賞, 表彰

平 義隆, 第 64 回放射線化学討論会優秀賞 (一般) (2021).

山本涼平, 2021 年度ビーム物理研究会若手の会若手発表賞 (2021).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

ビーム物理研究会 若手の会 幹事 (2020–).

学会の組織委員等

日本加速器学会第 18 回年会組織委員 (2020–2021).

日本加速器学会第 18 回年会プログラム委員 (2021).

日本加速器学会第 19 回年会組織委員 (2021–2022).

日本加速器学会第 19 回年会プログラム委員 (2022).

学会誌編集委員

日本放射光学会誌「放射光」編集委員 (2019–2021).

B-8) 大学での講義, 客員

理化学研究所, 客員研究員, 2018年9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–2024年).

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–2023年).

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。