

光源加速器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

加 藤 政 博（特任教授（クロスアポイントメント*））（2019 年 4 月 1 日着任）

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）

*広島大学放射光科学センター

A-1) 専門領域：ビーム物理学，加速器科学，放射光科学

A-2) 研究課題：

- a) シンクロトロン光源の研究
- b) 自由電子レーザーの研究
- c) 相対論的電子ビームからの電磁放射の研究
- d) 量子ビームの発生と応用に関する研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) シンクロトロン光源 UVSOR の性能向上に向けた開発研究を継続している。電子ビーム光学系の最適化による電子ビーム輝度の大幅な向上，電子ビーム強度を一定に保つトップアップ入射の導入などに成功し，低エネルギー放射光源としては世界最高水準の光源性能を実現した。高輝度放射光発生のために真空封止アンジュレータ 3 台，可変偏光型アンジュレータ 3 台を設計・建設し，稼働させた。UVSOR の将来計画に関する設計研究に着手し，既存加速器の更なる高度化の可能性を検討した後，新しい光源加速器の設計を開始し，これまでに電子エネルギー 1 GeV，周長約 70 m の放射光源の基礎設計を完了した。高エネルギー加速器研究機構などと連携し，持続可能な加速器の実現を目指して加速器要素技術の開発に着手した。
- b) 自由電子レーザーや関連技術に関する研究を継続している。蓄積リング自由電子レーザーとして世界最高の出力を記録した。また，共振器型自由電子レーザーに関する基礎研究を進め，レーザー発振のダイナミクスやフィードバック制御に関する先駆的な成果を上げた。外部レーザーを用いて電子パルス上に微細な密度構造を形成することでコヒーレント放射光を極紫外領域やテラヘルツ領域において生成する研究を継続している。この手法により一様磁場中から準単色テラヘルツ放射光を発生することに世界に先駆けて成功した。電子パルス上に形成された密度構造の時間発展に関するビームダイナミクス研究により先駆的な成果を上げた。
- c) 高エネルギー電子ビームによる光渦の生成に成功し，その原理の解明に世界に先駆けて成功した。自然界での光渦の生成の可能性について，研究を進めると共に，深紫外・真空紫外領域での物質系と光渦の相互作用に関する基礎研究を進めている。
- d) 外部レーザーと高エネルギー電子線を用いた逆コンプトン散乱によるエネルギー可変，偏光可変の極短ガンマ線パルス発生に関する研究を進めた。パルス幅数ピコ秒以下の超短ガンマ線パルスの生成，エネルギー可変性の実証に成功した。光陰極を用いた電子源の開発を進めた。また，これら偏極量子ビームの応用研究の開拓を進めている。

- e) アンジュレータ放射光波束の時間構造に着目した研究に原子分子物理学研究者と共同で取り組み、2連のアンジュレータからの自然放射を用いた孤立原子の量子状態制御に世界で初めて成功した。放射光の時間構造や干渉性の実験的検証を進めた他、単一電子からの放射の観測など、全く新しい放射光利用法の開拓に向けた実験研究を進めている。

B-1) 学術論文

- S. KERA, F. MATSUI, K. TANAKA, Y. TAIRA, T. ARAKI, T. OHIGASHI, H. IWAYAMA, M. FUJIMOTO, H. MATSUDA, E. SALEHI and M. KATOH**, “Prospects Required for Future Light-Source Facilities: A Case of UVSOR Synchrotron Facility,” *Electron. Struct.* **5**(3), 034001 (2023). DOI: 10.1088/2516-1075/acdf32
- M. KATOH, H. OTA, J. YAMAZAKI, K. HAYASHI, Y. OKANO, E. SALEHI, Y. TAIRA, A. MANO, M. FUJIMOTO, Y. TAKASHIMA, M. HOSAKA, F. SAKAMOTO, T. KANEYASU and H. ZEN**, “Light Source Developments at UVSOR BL1U,” *J. Phys.: Conf. Ser.* **2687**, 032005 (2024). DOI: 10.1088/1742-6596/2687/3/032005
- E. SALEHI and M. KATOH**, “Bayesian Optimization of the Dynamic Aperture in UVSOR-IV Design Study,” *J. Phys.: Conf. Ser.* **2687**, 032030 (2024). DOI: 10.1088/1742-6596/2687/3/032030
- S. WADA, H. OHTA, A. MANO, Y. TAKASHIMA, M. FUJIMOTO and M. KATOH**, “Young’s Double-Slit Experiment with Undulator Vortex Radiation in the Photon-Counting Regime,” *Sci. Rep.* **13**, 22962 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-49825-4
- Y. HIKOSAKA, T. KANEYASU, S. WADA, H. KOHGUCHI, H. OTA, E. NAKAMURA, H. IWAYAMA, M. FUJIMOTO, M. HOSAKA and M. KATOH**, “Frequency-Domain Interferometry for the Determination of Time Delay between Two Extreme-Ultraviolet Wave Packets Generated by a Tandem Undulator,” *Sci. Rep.* **13**, 10292 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-37449-7
- E. SALEHI, M. HOSAKA and M. KATOH**, “Time Structure of Undulator Radiation,” *J. Adv. Simulat. Sci. Eng.* **10**(1), 164–171 (2023). DOI: 10.15748/jasse.10.164
- T. KANEYASU, Y. HIKOSAKA, S. WADA, M. FUJIMOTO, H. OTA, H. IWAYAMA and M. KATOH**, “Time Domain Double Slit Interference of Electron Produced by XUV Synchrotron Radiation,” *Sci. Rep.* **13**, 6142 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-33039-9

B-4) 招待講演

- M. KATOH**, “Spatiotemporally structured synchrotron radiation,” SPIE Nanoscience + Engineering 2023, UV and Higher Energy Photonics: From Materials to Applications 2023, San Diego (USA), August 2023.

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

日本加速器学会評議員 (2020–).

日本放射光学会評議員 (2022–).

文部科学省、学術振興会、大学共同利用機関等の委員等

高エネルギー加速器研究機構教育研究評議会評議員 (2021–2023).

高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設運営委員 (2018–).

B-8) 大学等での講義, 客員

名古屋大学シンクロtron光研究センター, 客員教授, 2018年4月－.

高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設, 客員教授, 2018年4月－.

核融合科学研究所, 客員教授, 2022年4月－.

B-10) 競争的資金

科研費挑戦的研究(萌芽), 「広帯域インコヒーレント放射光の可干渉性を利用する革新的光技術の探索」, 加藤政博 (2022年度-2024年度).

C) 研究活動の課題と展望

UVSOR は 2000 年以降の継続的な高度化により, 低エネルギーのシンクロtron光源としては世界的にも最高レベルの性能に到達したが, 国内外では新しい光源の建設稼働が相次ぎ, 更なる競争力の向上が求められている。現在の加速器の更なる高度化の可能性を検討した結果, 現在の性能を大幅に上回る高度化改造は困難であると結論づけ, 新規に回折限界を目指す光源加速器の建設について検討を進めている。基礎設計は概ね完了し, 概念設計レポートの作成を行った。今後は詳細設計レポートの作成を進める。また, 高エネルギー加速器研究機構や名古屋大学シンクロtron光研究センター, 広島大学放射光科学研究所などと連携し, 持続可能な加速器施設を目指した省エネルギー化や運転の自動化などを念頭に, 次期光源に必要とされるハードウェア技術開発を進める。

高エネルギー自由電子を用いた光発生として, 自由電子レーザーやレーザーコンプトン散乱ガンマ線, コヒーレントシンクロtron放射の発生法の開発や高度化, それらの利用法の開拓に取り組んできた。最近では光子の時空間構造やその干渉性の実験的検証やその利用法の開拓に挑戦している。放射光による光渦の生成, さらに放射光光渦同士のコヒーレントによるベクトルビーム発生など, UVSOR の研究環境を活用して世界に先駆けた研究ができた。また, 二重アンジュレータから放射される光子の時間構造を利用した量子状態制御について先駆的な成果が出ている。相対論的自由電子からの電磁放射の時空間構造の制御とその応用というこれまで全く着目されていなかった領域を切り拓きつつあり, 引き続き基礎研究を進めるとともに幅広く応用展開の可能性を探っていきたい。