

光化学測定器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

荒 木 暢（主任研究員）（2023 年 1 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）

A-1) 専門領域：放射光科学

A-2) 研究課題：

- a) 軟X線吸収分光を基礎とした生命科学へのアプローチ
- b) 液中観察のためのX線分光顕微鏡と試料環境開発
- c) 夾雑環境生体試料の定量化学状態マッピング

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 軟X線吸収分光を基礎とした生命科学へのアプローチ；UVSOR の次期計画を念頭に、既存の軟X線ビームラインを利用したトライアルとして、以下の2つの試料システムについて Scanning Transmission X-ray Microscopy (STXM) による実験を行った。

光合成タンパク質の超複合体の測定を行い、鉄の L 吸収端 X 線吸収スペクトル (XAS) において十分なレベルの信号を検出でき、スペクトルを正しく測定できることを確認したが、マンガンについては限られたビームタイム内では検出できなかった。更に実験を行い、鉄およびマンガンの共鳴 X 線散乱の実験に繋がりたいと考えている。

極限環境下で乾眠することが知られているクマムシについて、その微視的解剖学の観点から、樹脂に包埋した超薄切片試料について STXM 観察を行った。炭素、窒素、酸素の K 吸収端ではエネルギーを変化させる（特定の吸収構造に合わせる）ことでオルガネラに対応すると思われる微細構造が観察され、Scanning Electron Microscopy (SEM) で観察された構造にほぼ対応していることを確認した。今後、相補的な観点で用いる SEM との対比などを共同研究者と議論し、① STXM でしか見えない構造があるのか？ ② SEM で観察されている構造の特定に STXM が寄与できるか？ といったことを明らかにし、研究を進めたい。

X 線のコヒーレンスを生かしたイメージングについて現在の UVSOR および次期リングでの実現を検討するために、先行する海外施設での装置見学および実験を年度末に行い、計画を立案する。

- b) 液中観察のための X 線分光顕微鏡と試料環境開発；Diamond Light Source において硬 X 線顕微分光によって液中セルを使ったバクテリアに金ナノ粒子が担持されたポリマー粒子を添加した試料の観察を行った。金の酸化状態を XAS スペクトル測定から決定した。今後、軟 X 線領域での STXM でも同様の試料の観察を計画している。Transmission Electron Microscopy (TEM) 用に開発されたセルを利用した実験であり、今後の STXM 実験の参考になるものであった。TEM 用の液体セルの活用または、独自セルの開発の2つの観点で計画を進める。試料自体を走査する STXM の場合、液中セル自体を揺さぶることになるため、今後、集光 X 線の走査または結像型による試料を固定した状態での測定を模索する。また、液体エタンなどを冷媒に用いた急速凍結による試料準備のオプションも併せて検討する。

- c) 夾雑環境生体試料の定量化学状態マッピング；実際の細胞中の測定について、軟X線を使って行うことの実現性と他の手法と比べた利点を検討するため、様々な試料システムについて岡崎3機関や外部の共同研究者と議論を行ってきた。来年度からはバイオプロジェクトしてUVSORのビームタイムを確保し、フィージビリティ研究をSTXMや共鳴散乱法を使って行う計画である。細胞中の「夾雑環境」で、これまで高分子研究や皮膚への薬剤の浸透などで発揮された化学状態弁別性とメソスケールの空間分解能を生かした定量分析をどう実現するかを検討する。軟X線と組み合わせる手法の選択が重要となる。

B-1) 学術論文

C. VOLLMER, D. KEPAPTSOGLOU, J. LEITNER, A. B. MOSBERG, K. EL HAJRAOUI, A. J. KING, C. L. BAYS, P. F. SCHOFIELD, T. ARAKI and Q. M. RAMASSE, “High-Spatial Resolution Functional Chemistry of Nitrogen Compounds in the Observed UK Meteorite Fall Winchcombe,” *Nat. Commun.* **15(1)**, 778 (2024). DOI: 10.1038/s41467-024-45064-x

E. HARDING, T. ARAKI, J. ASKEY, M. HUNT, A. VAN DEN BERG, D. RAFTREY, L. ABALLE, B. KAULICH, E. MACDONALD, P. FISCHER and S. LADAK, “Imaging the Magnetic Nanowire Cross Section and Magnetic Ordering within a Suspended 3D Artificial Spin-Ice,” *APL Mater.* **12(2)**, 021116 (2024). DOI: 10.1063/5.0176907

K. EUSTERHUES, J. THIEME, S. NARVEKAR, T. ARAKI, M. KAZEMIAN, B. KAULICH, T. REGIER, J. WANG, J. LUGMEIER, C. HÖSCHEN, T. MANSFELDT and K. UWE TOTSCHKE, “Importance of Inner-Sphere P-O-Fe Bonds in Natural and Synthetic Mineral-Organic Associations,” *Sci. Total Environ.* **905**, 167232 (2023). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167232

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

B-4) 招待講演

T. ARAKI, “UVSOR BL4U STXM Beamline: Status and Future Outlook,” UVSOR-III + MAX IV International Workshop Frontier of Soft X-Ray Spectroscopy for Chemical Processes in Solutions, Okazaki, 2023年10月.

荒木 暢, 「Soft X-Ray Spectromicroscopy: Current Status and Future Perspectives」, 第15回日本放射光学会若手研究会「放射光と顕微鏡技術・機械学習との交差点」, 吹田市, 2023年9月.

B-8) 大学等での講義, 客員

Diamond Light Source, Visiting Scientist, 2023年—.