

岩山 洋士（助教）（2010年4月1日～2024年4月15日）
（主任研究員）（2024年4月16日昇任）

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：軟X線構造解析，軟X線顕微鏡法，ソフトマター，X線非線形光学

A-2) 研究課題：

- a) 軟X線共鳴散乱法によるソフトマターのメゾスコピック構造解析
- b) 密着型軟X線顕微鏡法による生体試料のXAFSイメージング
- c) X線自由電子レーザーを用いた溶液表面における二次高調波発生による化学状態分析

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 高分子，液晶，コロイドなどのソフトマターは，メゾスコピック領域に特徴的な構造を持ち，多くの物性は系特有の構造に由来する。偏光顕微鏡などでは観察が困難な数 nm から数百 nm 程度の構造を調べる手法として，X線小角散乱法（SAXS）が用いられ，多くの成果を挙げている。しかしながら，SAXS は試料の電子密度変調には敏感であるものの，電子密度が近似した多成分系における特定成分の構造や，ねじれ構造などの観測は容易ではない。これに対し，X線共鳴過程を利用すれば，元素・分子種・分子配向に対して選択性を有する散乱強度を得ることが可能となる。ただし，ソフトマターの主成分である軽元素（炭素，窒素，酸素など）の共鳴エネルギーは 280 eV ～ 540 eV 程度の軟X線領域にあり，従来の SAXS で使用される 10 keV 程度の硬X線とはエネルギー域が大きく異なる。そこで我々は，軟X線領域の共鳴散乱を観測するための手法として「共鳴軟X線散乱法（RSoXS）」の開発を行っている。具体的には，分子科学研究所の UVSOR（BL3U）および放射光実験施設 Photon Factory（BL7A）において装置開発を進め，高分子や液晶の構造解析に適用してきた。本年度は，入射エネルギーを走査しながら散乱画像を取得するプログラムを開発した。これにより，炭素・窒素・酸素の K 殻吸収端を利用し，有機薄膜太陽電池のバルクヘテロジャンクション構造や，多成分有機薄膜の成分別解析，キラル液晶のモルフォロジー解析を実施した。また，Photon Factory（BL7A）では，軟X線検出器の回転機構を活用し，反射率測定による膜厚評価が可能なシステムを構築した。
- b) 軟X線を用いた生体試料内の元素および化学状態の可視化を実現すべく，密着型軟X線顕微鏡の開発を進めている。本手法では，シンチレーター上で細胞を培養し，厚さ 100 nm の Si_3N_4 メンブレンで封入した状態で軟X線を照射する。透過光像をシンチレーターによって可視光へ変換することで，細胞の XAFS イメージングを実現するものである。本年度は，ウシおよびトリの赤血球を対象として，試料内の鉄原子の分布計測に取り組んだ。具体的には，鉄の L 吸収端近傍の軟X線（700 ～ 740 eV）を用いて XAFS イメージング測定を実施した。鉄原子は炭素・窒素・酸素などの主要元素に比べると含有量は極めて少ないものの，鉄の L 吸収端における明瞭なスペクトルの取得に成功した。現在は，ピーク形状やピークエネルギーの解析から，鉄の価数状態に関する情報の抽出も進めている。
- c) X線自由電子レーザー施設「SACLA」の BL1 において，液体試料を対象とした実験装置の開発を進めている。本年度は，ネバダ大学の Craig Schwartz 氏らと共同で，液体表面からの二次高調波発生（SHG）に関する実験を行った。

一般に、液体表面などの界面では空間対称性が破れているため、二次高調波が発生しうる。この二次高調波を観測することで、表面に対して極めて敏感な測定が可能となる。特に液体表面（気液界面）は重要な反応場であり、その化学状態を特定する手法の確立は極めて重要である。さらに、軟X線の共鳴過程を利用することで、表面に存在する特定の元素の化学状態を選択的に観測できるという利点がある。本実験では、SACLA BL1 から照射される高強度の軟X線パルスを、ジメチルスルホキシド（DMSO）水溶液の超薄膜フラットジェットに照射した。その透過光および発生した二次高調波を、ビームライン下流に設置した斜入射分光器によって分光観測した。

B-1) 学術論文

H. IWAYAMA, H. YUZAWA and M. NAGASAKA, “Phase-Dependent Intermolecular Interactions of Nematic Liquid-Crystal Molecules Probed by Carbon K-Edge X-Ray Absorption Spectroscopy,” *Phys. Rev. E* **113**(1), 015413 (2026). DOI: 10.1103/17pr-b3wv

T. T. NGUYEN, T. HAYASHI, H. IWAYAMA and K. ISHIKAWA, “Valence Fragmentation Dynamics of a Promising Low Global Warming Etching Gas CF_3CHCF_2 ,” *Sci. Rep.* **15**(1), 9507 (2025). DOI: 10.1038/s41598-025-94119-6

T. KANEYASU, Y. HIKOSAKA, S. WADA, H. OTA, H. IWAYAMA, K. SHIMIZU, M. FUJIMOTO and M. KATOH, “Attosecond Interferometry Experiments at the Tandem Undulator Beamline BL1U of UVSOR-III Synchrotron,” *J. Phys.: Conf. Ser.* **3010**(1), 012086 (2025). DOI: 10.1088/1742-6596/3010/1/012086

B-3) 総説、著書

A. -A. HAGHIGHIRAD, R. ICHIKAWA, T. MIYAMACHI, H. ISHII, S. AKAMATSU, E. MASUI, O. ISHIYAMA, H. IWAYAMA, E. NAKAMURA, T. YOKOYAMA, E. INAMI and T. YAMADA, “STM Imaging and Electronic Correlation in van der Waals Ferromagnet Fe_3GeTe_2 ,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **64**(4), 040805 (2025). DOI: 10.35848/1347-4065/adc7be

B-4) 招待講演

岩山洋士, 「Study of Soft X-Ray Nonlinear Optical Effects Using Ultrathin Liquid Jet Sheets」, 第 39 回日本放射光学会, 仙台市, 2026 年 1 月.

H. IWAYAMA, “Development of Polymer Nanostructure and Chemical State Characterization Methods via Resonant Soft X-Ray Scattering and Reflectometry,” Optics & Photonics Japan, Tokushima, December 2025.

B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員等

日本放射光学会年次大会プログラム編集 (2024–2026).

学会誌編集委員

原子衝突学会学会誌編集員 (2020–).