光化学測定器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

岩　山　洋　士（助教）（2010 年 4 月 1 日着任）

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：軟Ｘ線分子分光，光化学反応動力学

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) Ｘ線自由電子レーザーを用いた溶液光学反応のフェムト秒実時間観測手法の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

a) ソフトマターは分子が凝集し集団となることで特徴的な粘弾性や複屈折などの機能を有する材料であり，分子１個の性質を調べただけではその機能・物性解明には不十分である。特にソフトマターはメゾスコピック領域である数 nm ～ 100 nm 程度の空間スケールで分子配向に構造を持っており，その構造を明らかにすることが液晶相物質の誘電率などの物性を理解する上で重要である。このようなメゾスコピック領域の構造測定としＸ線小角散乱が考えられるが，非共鳴におけるＸ線散乱は電子密度の変調に敏感であるが，分子配向の変化に対しては感度が弱い。一方共鳴散乱は内殻電子の遷移先の非占有軌道と入射光偏光ベクトルとの角度に強く依存し，分子配向に敏感な散乱である。また，元素選択性を有し，特定の官能基などの構造解析が可能である。そのため，共鳴散乱は，メゾスコピック領域の分子配向構造を調べる上で極めて有用であるが，液晶分子などのソフトマターは主に軽元素の炭素，酸素，窒素原子で構成されており，その K 殻吸収端は光エネルギー 1 keV 以下の軟Ｘ線領域であるため，軟Ｘ線を用いる必要がある。本グループでは 2020 年度より軟Ｘ線共鳴散乱法を実現すべく，散乱観測のための装置開発を行っている。装置の立ち上げでは，液晶分野を専門とする共同研究者らと共にキラルスメクチック液晶を用いて，従来のＸ線小角散乱法では観測できなかった，強誘電体，反強誘電体およびその副次相による数 nm から 10 nm の周期構造に由来する回折像の観測に成功し，本軟Ｘ線共鳴散乱法が液晶におけるメゾスコピック領域の構造を明らかにするうえで有用な測定方法であることを示した。また，さらなる装置開発により，測定範囲を数 nm から 10 nm 程度であったものを，最大 100 nm 程度まで測定可能にし，屈曲型液晶分子がおおよそ 60 nm の周期でらせん構造を有するナノヘリカルフィラメント構造であることを確認した。

b) Ｘ線自由電子レーザー SACLA BL1 を利用した液体試料用のポンプ・プローブ法によるフェムト秒時間分解・透過型軟Ｘ線吸収分光器の開発を提案し，2020 年度 SACLA 基盤開発プログラムに採択され研究を進めている。化学反応の多くは溶液内で起こり，また光合成をはじめとした光化学反応また生命現象は細胞液内でおこることを考えると，固相・気相に加え液相を研究対象に加えることは重要である。特に，軟Ｘ線領域は生命において重要な炭素，窒素，酸素元素の K 殻吸収端を含む。本年度は，溶液試料を用いた透過型軟Ｘ線吸収分光を実現すべく，20 から 2000 nm の範囲で液体試料厚を調整可能な液体セルを開発し，SACLA BL1 にて水および酢酸溶液の軟Ｘ線吸収スペクトルを計測した。また，高強度のポンプ光では，メンブレンが破損するため，メンブレンを用いないマイクロ流路を用いた

液厚 20 〜 1000 nm の超薄膜フラットジェット法の開発を行った。現在，超薄膜フラットジェットの厚みを評価するための，干渉計を準備しており，2022 年度より稼働する予定である。今後，液体セル法またはフラットジェット法と同期光学レーザーと組み合わせることで，ポンプ・プローブ法によるフェムト秒時間分解軟Ｘ線吸収スペクトルを実現し，溶液の光化学反応を明らかにする。

B-1) 学術論文

T. KANEYASU, Y. HIKOSAKA, M. FUJIMOTO, H. IWAYAMA and M. KATOH, “Electron Wave Packet Interference in Atomic Inner-Shell Excitation,” *Phys. Rev. Lett.* **126(11)**, 113202 (6 pages) (2021). DOI: 10.1103/PhysRevLett.126.113202

J. KESKINEN, K. JANKALA, S. M. HUTTULA, T. KANEYASU, Y. HIKOSAKA, E. SHIGEMASA, H. IWAYAMA, K. SOEJIMA, K. ITO, L, ANDRIC, M. A. KHALAL, J. PALAUDOUX, F. PENENT and P. LABLANQUIE, “Auger Decay of the 3d Hole in the Isoelectronic Series of Br, Kr^{+}, and Rb^{2+},” *Phys. Rev. A* **103(3)**, 032828 (8 pages) (2021). DOI: 10.1103/PhysRevA.103.032828

Y. HIKOSAKA, T. KANEYASU, M. FUJIMOTO, H. IWAYAMA and M. KATOH, “Reply to ‘Comment on “Coherent Control in the Extreme Ultraviolet and Attosecond Regime by Synchrotron Radiation”’,” *Nat. Commun.* **12(1)**, 3782 (3 pages) (2021). DOI: 10.1038/s41467-021-24029-4

F. ALLUM, N. ANDERS, M. BROUARD, P. BUCKSBAUM, M. BURT, B. DOWNES-WARD, S. GRUNDMANN, J. HARRIES, Y. ISHIMURA, H. IWAYAMA, L. KAISER, E. KUKK, J. LEE, X. LIU, R. S. MINNS, K. NAGAYA, A. NIOZU, J. NISKANEN, J. O’NEAL, S. OWADA, J. PICKERING, D. ROLLES, A. RUDENKO, S. SAITO, K. UEDA, C. VALLANCE, N. WERBY, J. WOODHOUSE, D. YOU, F. ZIAEE, T. DRIVER and R. FORBES, “Multi-Channel Photodissociation and XUV-Induced Charge Transfer Dynamics in Strong-Field-Ionized Methyl Iodide Studied with Time-Resolved Recoil-Frame Covariance Imaging,” *Faraday Discuss.* **228**, 571–596 (2021). DOI: 10.1039/d0fd00115e

B-7) 学会および社会的活動

学会誌編集委員

原子衝突学会学会誌編集員 (2020–).