

BL07LSU

東京大学放射光アウトステーション物質科学

東京大学では2016年12月に東京大学放射光連携研究機構の発展的解消が行われ、同時に東京大学放射光分野融合国際卓越拠点が設立された。SPring-8の長直線部に世界最高水準の軟X線アンジュレータビームライン (BL07LSU) 及び先端分光実験ステーションを建設し^[1]、高輝度放射光を利用した先端的研究の展開を目指している。

SPring-8 BL07LSUは高輝度軟X線アンジュレータビームラインとして、(1) 光エネルギー250-2000 eV、(2) 分解能10,000以上、(3) スポットサイズ10 μm 以下 (ゾーンプレートで70 nm、ミラー集光で1 μm を記録)、(4) 強度 $\sim 10^{12}$ photons/秒、(5) 偏光の切換を達成している。特に(5)については本ビームラインのクロスアンジュレータによって、偏光スイッチングを世界最速 (繰り返し周期: 77ミリ秒) かつ偏光状態の変化を連続的に実施することができる。これまでに本光源特性を活かして、連続偏光変調を利用した軟X線磁気光学実験法を開発し、世界で唯一、軟X線領域での複素誘電率テンソルの直接決定に成功している^[2]。またビームラインBL07LSUでは現在1) 時間分解軟X線分光実験、2) 3次元走査型光電子顕微鏡、3) 超高分解能軟X線分光、4) フリーポートの4つの実験ステーションが設置・整備されており、2017年度も全て共同利用実験装置として開放した。

本稿ではSPring-8ビームラインBL07LSUの実験ステーションにおける研究成果の一部をトピックスとして紹介する。

1. 時間分解磁気円偏光二色性測定によるスピンの超高速ダイナミクス観測^[3]

近年、光を利用して高速に動作する電子・スピン材料の開発が進められており、世界中の放射光施設においても光誘起によるスピンドイナミクスの実験が盛んに実施されている。ビームラインBL07LSUにはSPring-8の放射光パルスと同期した超短パルスレーザーステーションがあるので、2017年度は本システムを利用して時間分解X-ray Magneto Circular Dichroism (X線磁気円偏光二色性, XMCD) 及び共鳴軟X線散乱 (弾性散乱・回折) の測定装置を建設し、磁性材料の光誘起ダイナミクスのリアルタイム測定を行った。

図1 (a) は本装置の配置であり、チャンバーの上半分において時間分解共鳴軟X線散乱 (弾性散乱・回折) 測定を行い、下半分において時間分解XMCD測定が行う。直線導入器及び 2θ 回転器上にマイクロチャンネルプレート (Micro Channel Plate, MCP) 検出器を設置しており、試料と検出器の位置関係を調整できるようにしてある。BL07LSUのレーザーステーションから実験チャンバー内の試料へ放射光と同期したレーザーパルス

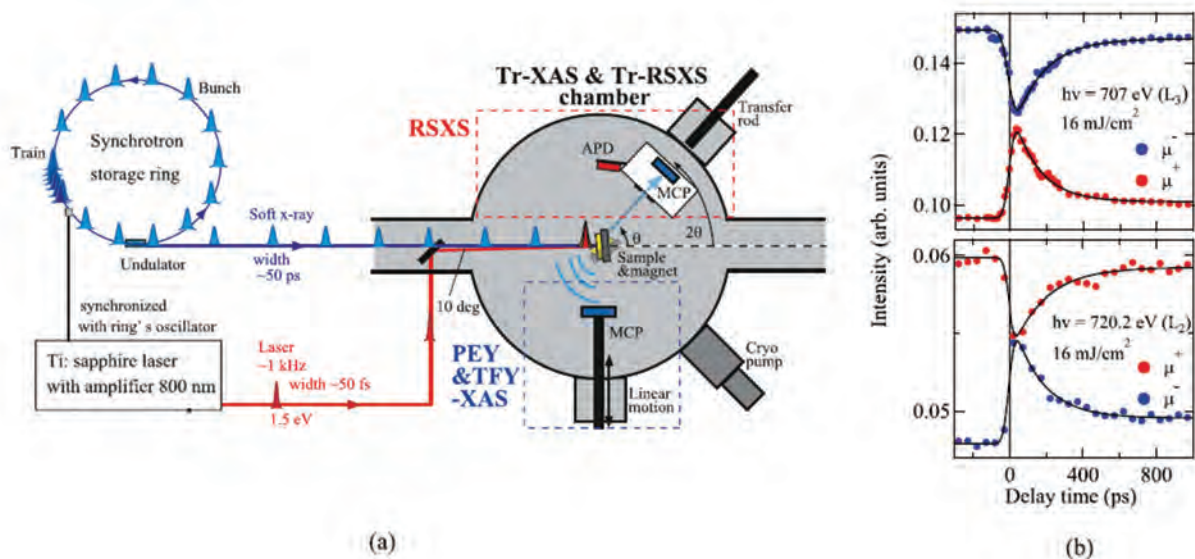


図1 (a) SPring-8 BL07LSUにおける時間分解XMCD (Tr-XMCD) 及び共鳴軟X線散乱 (Tr-RSXS) 測定装置の概要. (b) FePt薄膜のTr-XMCD時間発展プロファイル (上図Fe L_3 端、下図 L_2 端). XMCDは吸収分光 (XAS) の一部であり、部分電子収量法 (PEY) 及び蛍光法 (TFY) による信号検出が可能である.^[3]

を照射することによるポンプ（レーザー）-プローブ（放射光）法で時間分解測定を行う。今回、実験の測定対象としてMgO基板上に作製した50 nm厚のFePt合金膜に注目した。このFePt薄膜は室温で強磁性を示す垂直磁化膜であるため、応用面で期待されている。この物質にレーザーを照射すると図1 (b) のように磁化が消え（消磁）、ピコ秒時間スケールでの緩和過程が大きく進行することがリアルタイムで観測できる。このような実験セットアップは日本の放射光施設で唯一であり、今後、系統的な磁性体のスピンドイナミクス研究に本ビームラインが活用されることが期待される。

2. 高分子ブラシ内における水分子ネットワークの研究^[4]

近年、新たな表面高機能化材料として高分子電解質ブラシに注目が集まっている。このブラシは、その超親水の性質から水中において固体に良好な潤滑性や防汚性を付与できることが特徴であり、その理由としてブラシ中に存在する水が通常の水（バルク水）とは異なる水素結合構造を形成することが指摘されていた。そこで、ビームラインBL07LSUにおいてバルク水と高分子電解質ブラシ中の水の水素結合にどのような違いがあるか調べるために、軟X線吸収・発光分光測定が行われた。

図2は各液体における水の酸素1s発光スペクトルである。高分子電解質ブラシ中の水のスペクトルを見ると、大きく歪んだ水素結合環境を示す $1b_1''$ と呼ばれるピークがほぼ観測されていない。一方で水によく似た秩序構造を示す $1b_1'$ と呼ばれるピークのみが観測されており、ブラシ内では水分子同士がすべて水素結合でつながれていると考えられる。さらに高分子電解質ブラシ中の水のスペクトル（赤）では $3a_1$ に帰属されたピークが顕著に観測される。この $3a_1$ 成分は結晶水（青）のように水分子が正四面体配位で秩序だって結合すると光学的に遷移できなくなり消えるが、バルク水（緑）では歪みの影響で

光学的に遷移できるようになり、さらに様々な配位環境を反映してエネルギー位置が分散するためになだらかなスペクトル構造となるものである。高分子電解質ブラシにおいて、 $3a_1$ ピークが非常に強く出ていることは、ブラシ内では水素結合で水分子全体がネットワークを作りながら、“ある一定の歪み”を持った環境で $3a_1$ ピークが活性化していると解釈することができる。このような歪んだ氷様の水は、ブラシ表面に付着する水とは異なるネットワークを持ち、それが超親水性を低下させるものと考えられる。実際、今回測定した高分子電解質ポリマーは、潤滑性や防汚性などの機能性を持ちながら完全な超親水性ではないことが知られており、本実験結果が今後の高分子電解質ブラシのさらなる開発に役立つことが期待される。

参考文献

- [1] S. Yamamoto *et al.*, *J. Syn. Rad.* 21, 352 (2014) .
- [2] Y. Kubota, Y. Hirata, J. Miyawaki, S. Yamamoto, H. Akai, R. Hobara, Sh. Yamamoto, K. Yamamoto, T. Someya, K. Takubo, Y. Yokoyama, M. Araki, M. Taguchi, Y. Harada, H. Wadati, M. Tsunoda, R. Kinjo, A. Kagamihata, T. Seike, M. Takeuchi, T. Tanaka, S. Shin, and I. Matsuda, *Phys. Rev. B* 96, 214417 (2017).
- [3] K. Takubo, K. Yamamoto, Y. Hirata, Y. Yokoyama, Y. Kubota, S. Yamamoto, S. Yamamoto, I. Matsuda, S. Shin, T. Seki, K. Takanashi, and H. Wadati, *Appl. Phys. Lett.* 110, 162401 (2017).
- [4] K. Yamazoe, Y. Higaki, Y. Inutsuka, J. Miyawaki, Y. Cui, A. Takahara, and Y. Harada, *Langmuir* 33, 3954 (2017).

東京大学放射光分野融合国際卓越拠点
(東京大学物性研究所)

松田 巖、原田 慈久、和達 大樹

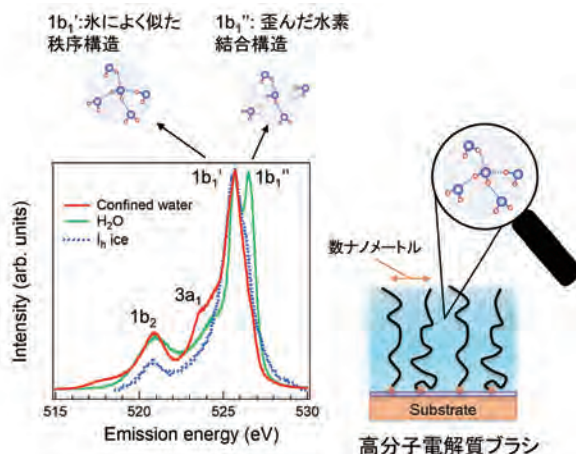


図2 高分子電解質ブラシ中の水、通常の水、固体（結晶水）中の水の酸素1s発光スペクトル。^[4]