

超小型パルスマグネットによる強磁場 X 線吸収分光

東北大学金属材料研究所、JST さきがけ
松田康弘

【はじめに】磁場は、温度や圧力に比べて制御性に優れ、物質の性質を精密かつクリーンに変化させることが可能である。また、時間制御も容易であり、速い磁場変化に対する物質の応答ダイナミクスは基礎・応用の両面から興味深い。さらに、近年、磁化だけでなく電子状態や結晶構造が磁場により劇的に変化する強相関物質群が注目され、磁場環境の重要性はますます高まっている。

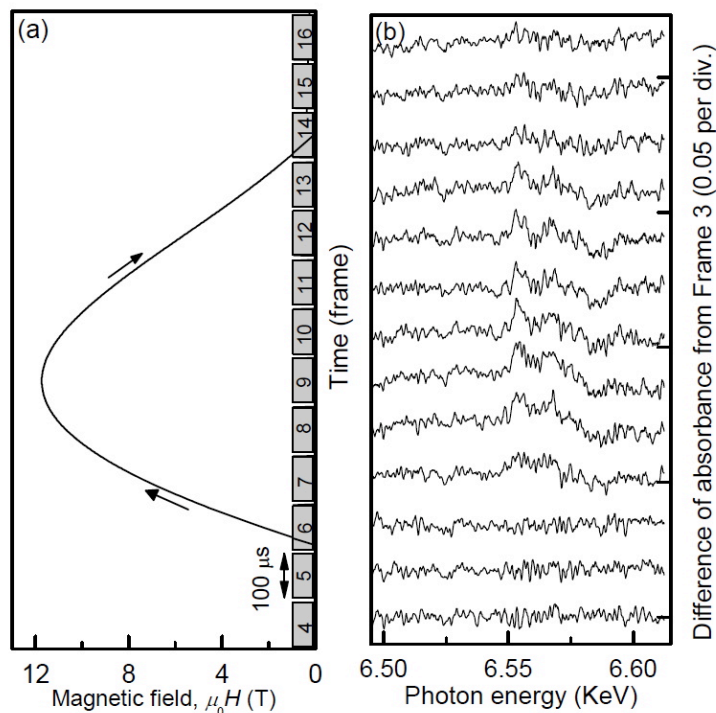
放射光 X 線は、磁場中の結晶構造や電子状態を調べる上で最適なプローブの 1 つであるが、強磁場環境の構築は世界的にも発展途上段階にある。これまで我々は、SPring-8 において超小型パルスマグネットを用いた技術開発を行い、30~50 テスラ強磁場中での X 線回折及び X 線吸収分光実験を実現してきた。[1-4]

最近、新たに、時間分解での強磁場 X 線磁気円二色性 (XMCD) 計測技術の開発を目指し、PF-AR NW2A において DXAFS 装置とパルス強磁場の組み合わせ技術開発を開始した。DXAFS 装置との組み合わせにより、XMCD スペクトルのパルス磁場応答をリアルタイムで高効率に計測可能となり、電子状態や局所結晶構造に関するダイナミクスの研究を行えると期待できる。本研究会では、技術開発の現状と、これまでに得られた研究成果について紹介する。

【実験技術】パルス磁場技術は、強い磁場を簡易的に得る手法であるが、我々は、手のひらサイズの超小型マグネットを用いることで、簡易性をさらに向上させている。具体的には、内径 3 mm、外径 30 mm、長さ 30 mm 程度の巻き線コイルをマグネットとして用いる。これは、従来の典型的なパルスマグネットの体積比で 1/100 程度の大きさであり、磁場発生に必要なエネルギーも 1~2 kJ 程度と少なくすむ。このため、コンデンサー電源も含めた磁場発生装置一式は容易に運搬可能な大きさとなり、さまざまなビームラインに設置可能である。[3] マグネットは、市販の低温装置に組み込むことで、4 K 程度の極低温下での実験が可能となる。パルス磁場の典型的なパルス幅は 1 ミリ秒であり、検出器と同期をとることでスペクトルの磁場依存性を得る。また、DXAFS 装置の焦点距離近傍の限られたスペースにマグネットを配置する事も、マグネットの超小型化により、比較的容易である。XMCD 測定にはダイヤモンド移相子を必要とするが、これについては現在、予備測定を終えた段階である。

【成果】パルスマグネットを用いた強磁場 DXAFS 測定の最初の対象物質として、巨大磁気抵抗効果を示す物質として知られるペロフスカイト Mn 酸化物の 1 つである $\text{Pr}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{MnO}_3$ [5]を選び、パルス磁場中での Mn K 端での XANES 測定を行った。

図には、パルス磁場に同期させて計測した XANES スペクトルより算出した、差分吸収スペクトル： \langle 磁場中スペクトル $\rangle - \langle$ ゼロ磁場スペクトル \rangle を磁場波形と共に示した。測定温度は 20 K である。磁場値がある値を超えるところから、差分スペクトルに特徴的な信号が現れ、成長し、磁場が減少すると信号が弱まり、やがて消えることが分かる。これは、 $\text{Pr}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{MnO}_3$ の電荷整列絶縁体 (COI) 相から強磁性金属 (FMM) 相への相転移に対応した変化であると考えられ、Mn の周りの酸素八面体の変形と密接に関連した現象であると予想される。



また、詳細に見ると、磁場上昇時と磁場下降時で、変化の様子は非対称になっていることが分かり、履歴をともなった 1 次相転移現象をうまく捉えられている。[6]

これまで、Mn 酸化物の磁場誘起 COI-FMM 転移を XAFS から調べた例はほとんど無く、 $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ では初めての結果である。今回の測定から、X 線回折などでは捉えることが難しい局所格子変形の観測が可能であることがわかり、パルス強磁場 DXAFS 測定は、磁性体を中心とした他の多くの物質の研究にも大変有用であると期待される。

【展望】 現在、4 K 程度の極低温での 40 テスラ強磁場環境の実現にむけて技術開発を進めている。また、ダイヤモンド移相子を本格的に導入し、強磁場 XMCD 測定を可能にする予定である。これらの開発により、さらに対象物質が拡大し、また、元素選択的な磁気モーメント計測は、状態混成などの詳細な電子状態の解明に威力を発揮すると予想される。

【謝辞】 本研究の共同研究者である以下の方々に感謝します。

Ouyang Zhongwen (東北大金研)、野尻浩之 (東北大金研)、有馬孝尚 (東北大多元研)、丹羽尉博 (物構研)、稲田康宏 (物構研)、平野馨一 (物構研)

[1] Y. H. Matsuda, T. Inami, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **75** (2006) 024710.

[2] Y. H. Matsuda, T. Inami, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 034702.

[3] 松田康弘、稲見俊哉、大和田謙二、野尻浩之、 固体物理 Vol. 40 (2005) 882.

[4] 松田康弘、稲見俊哉、大和田謙二、野尻浩之、 固体物理 Vol. 42 (2007) 881.

[5] Y. Tomioka *et al.*, Phys. Rev. B **53** (1996) R1689.

[6] Z. W. Ouyang, Y. H. Matsuda *et al.*, *in preparation*.