

「X線自由電子レーザーを用いたパルス強磁場中 X線回折」

松澤智

東北大学金属材料研究所

強磁場下の放射光 X 線回折は、磁場誘起相転移における構造変化を観測できるため様々な磁気相転移や格子変調とカップルした高温超伝導の研究に有用である。これまでの定常磁場 X 線回折は 20 T 程度までであり、それ以上の磁場で測定する場合はパルス磁場が必要となってくる。パルス強磁場下での放射光 X 線回折は SPring-8 の BL19LXU などで行われているが[1]、放射光強度の制限から基本格子反射の測定に留まっており、信号が微小な超格子反射までは測定できていない。そこで我々は、超格子反射を強磁場下で観測するために、X 線自由電子レーザー (XFEL) とパルス強磁場を組み合わせた X 線回折実験を行った。

実験は、米国 SLAC 国立加速器研究所の LCLS で行い、ピーク強度 10^{11} Photons/Pulse、パルス幅が約 50 fs の XFEL を使用した。BL19LXU であれば、単色化したときのビーム強度は 10^{14} Photons/Sec であるため、放射光に比べ XFEL のビーム強度は極めて高い。そのため、長い積分時間が必要とされていた超格子反射などの微小信号でも、XFEL であればシングルショットで測定することができる。

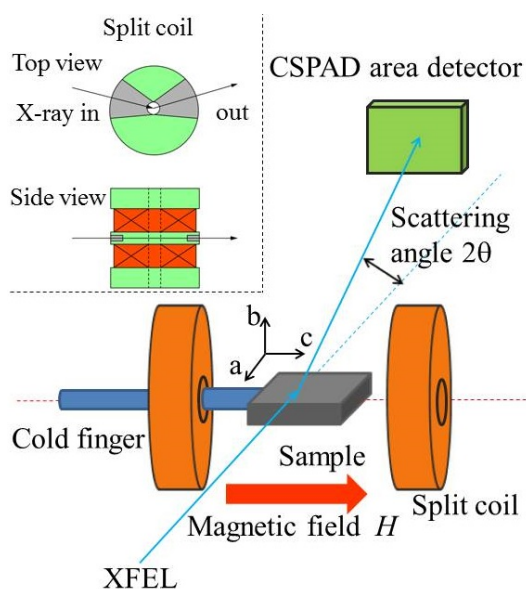


図 1 : 測定装置概略図

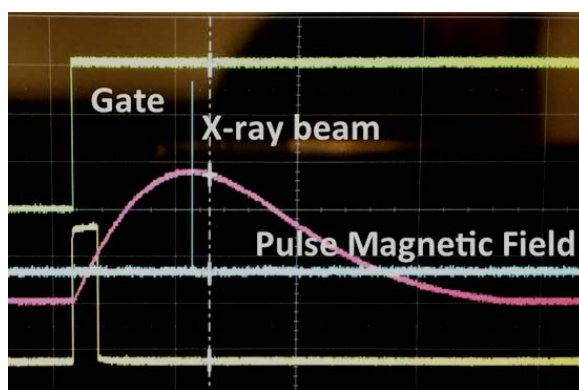


図 2 : XFEL と磁場波形

今回行った回折実験の測定概略図を図 1 に示す。磁場の発生には小型スプリットコイル、信号の検出には 2 次元 X 線検出器を用いた。パルス磁場と XFEL は図 2 のようにゲートトリガーによって同期されており、パルス磁場のピークで測定をした。本実験では、銅酸化物高温超伝導体である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.67}$ (YBCO) (ホールドーピング量 $p=1/8$) を用いて測定を行った。

YBCO はこれまでの研究から温度を下げていくと 150 K 付近で $l \sim 1/2$ の電荷密度波 (CDW) が発現し、 $T_c=67$ K 付近で超伝導になることが知られている。また、15 T 以上の磁場印加によって新たに CDW 相が発見されているが、この磁場誘起 CDW 相の詳細は明らかにされていない。そこで我々は X 線自由電子レーザーを用いた 28 T までのパルス強磁場 X 線回折実験を行った。その結果、強磁場相では $Q=(0, 2-q, \sim 1)$ の CDW が発生していることがわかった。この磁場誘起 CDW 相は温度の低下とともに成長することから、超伝導と競合していると考えられる。さらに、図 4 に示すように、 $l \sim 1$ の CDW 相は磁場の増加に伴い成長することを見出した。本発表では、測定装置や測定結果の詳細を報告する。

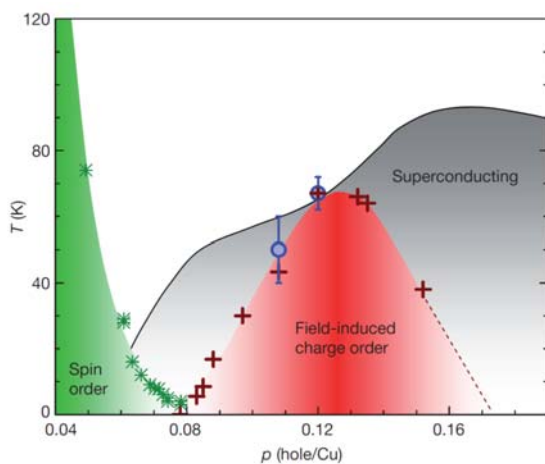


図 3: YBCO 相図 [2]

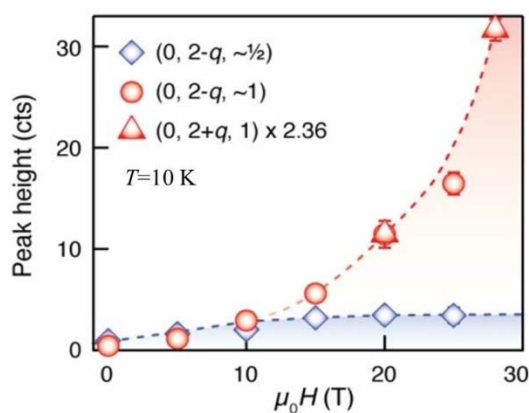


図 4: CDW ピーク強度の磁場依存性

[1] Y. Narumi *et al.*, J. Synchrotron Rad. **13** (2006) 271.

[2] T. Wu *et al.*, Nature **477**(2011) 191.