

# 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



東北大金研, SLAC<sup>A</sup>

松澤智, 野尻浩之, 安村光正, Chi-Chang Kao<sup>A</sup>, Diling Zhu<sup>A</sup>, Jun-Sik Lee<sup>A</sup>



Development of X-ray Diffraction in Pulsed High Magnetic Field with X-ray Free Electron Laser

IMR, Tohoku Univ., SLAC<sup>A</sup>

S. Matsuzawa, H. Nojiri, H. Yasumura, Chi-Chang Kao<sup>A</sup>, Diling Zhu<sup>A</sup>, Jun-Sik Lee<sup>A</sup>

## はじめに

### 放射光パルス強磁場X線回折

磁気相転移などに伴う構造変化の直接観測に有用

・SPring-8での実験例

✓BL22XU — 30 T小型スプリットマグネット  
— 時分割測定 = 磁場依存性測定

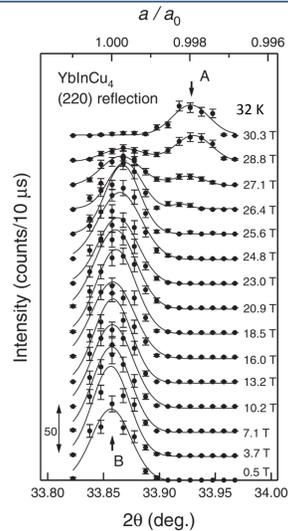
放射光ビーム強度:  $\sim 10^{13}$  photons/sec  
パルス幅:  $\sim 1$  ms

磁場誘起価数転移に伴う格子変位を観測

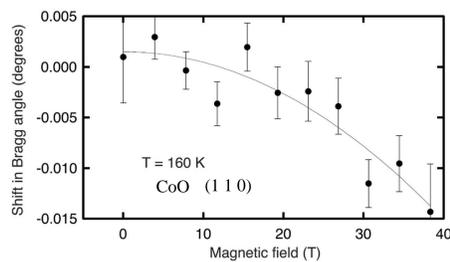
✓BL19LXU — 40 T中型スプリットマグネット  
2次元検出器で磁場頂点付近の  
数点で測定

放射光ビーム強度:  $\sim 10^{13}$  photons/sec  
パルス幅:  $\sim 5.5$  ms  
積分時間: 1 ms  
積分中の磁場変化:  $\sim 5\%$

反強磁性体CoOを測定  
磁気ひずみによる格子変位を観測



Y. H. Matsuda et al., J. Phys. Soc. Jpn. 75(2006) 024710.



N. Terada et al., Phys. Rev. B 75 (2007) 224411.

主に基本格子反射の測定

◎パルス強磁場下で信号が微弱な超格子反射の測定

➡ XFELを用いた単発強磁場X線回折を開発

✓XFELの特徴  
— 瞬間強度が極めて高い(ピーク強度:  $\sim 1 \times 10^{11}$  photons/pulse)

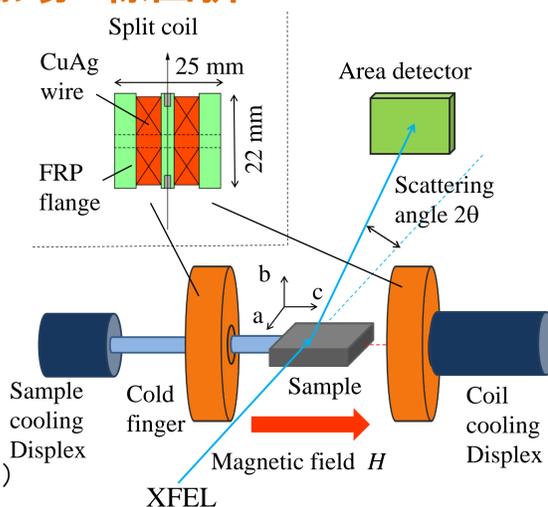
➡ 単発の1 msパルス磁場で、微弱な超格子反射が測定可能

## XFELによるパルス強磁場X線回折 @LCLS

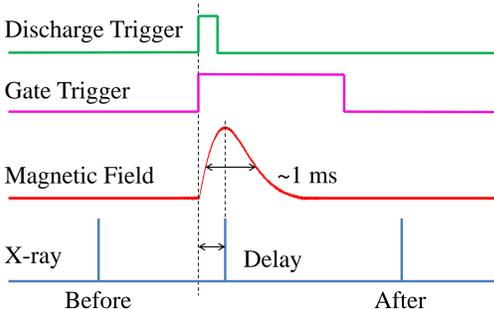
### 測定装置の配置

・小型スプリットコイル  
内径: 3 mm  
スリットギャップ: 1.4 mm

・XFEL  
ピーク強度:  $\sim 10^{11}$  photons/pulse  
パルス幅:  $\sim 50$  fs  
エネルギー:  $E=8.8$  keV  
ビームモード: ピンクビーム  
エネルギー分解能:  $\Delta E/E \sim 3 \times 10^{-3}$   
(エネルギー分解能を下げ、強度を向上)

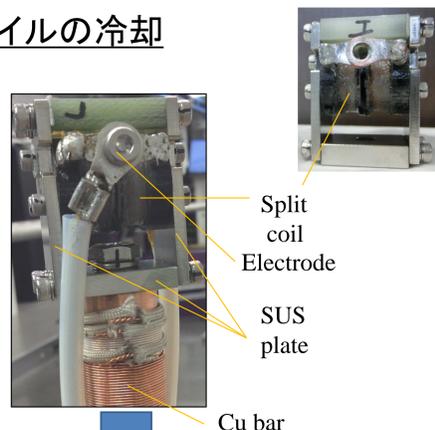


### タイミングチャート



・ゲートにより、パルス磁場とX線を同期、  
磁場頂点で測定  
・比較のため、磁場前後のゼロ磁場で測定

### コイルの冷却



冷凍機で冷却  
・繰り返し時間: 約25分 (28 T発生時)

## 試料: 銅酸化物高温超伝導体 (YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>: YBCO)

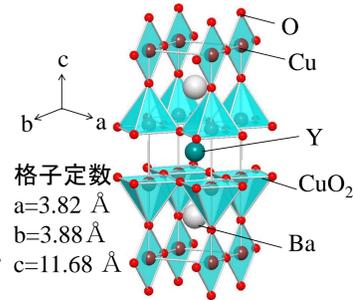
(試料提供: Bonn's Group, University of British Columbia)

YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>6.67</sub> (酸素欠損量:  $\delta=0.33$ ) Ortho-VIII

ホールドーピング量:  $p \sim 1/8 \sim 0.12$

試料サイズ: 1.1 mm × 0.5 mm × 0.6 mm 単結晶

超伝導転移温度:  $T_c=67$  K



➡ 磁場で超伝導を壊したときのCDWの振る舞い

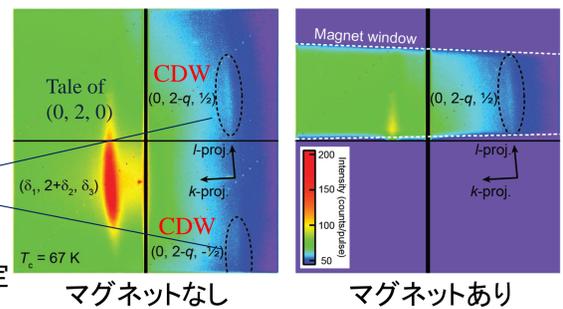
➡ 強磁場下で超格子反射の直接観測

## 測定結果

### 超格子反射の回折パターン

$Q=(0, 2-q, \pm 1/2)$ のCDW

$Q=(0, 2-q, 1/2)$ の磁場依存性を測定



### 磁場依存性@10 K

・0~25 TのCDW回折  
パターンとピーク強度

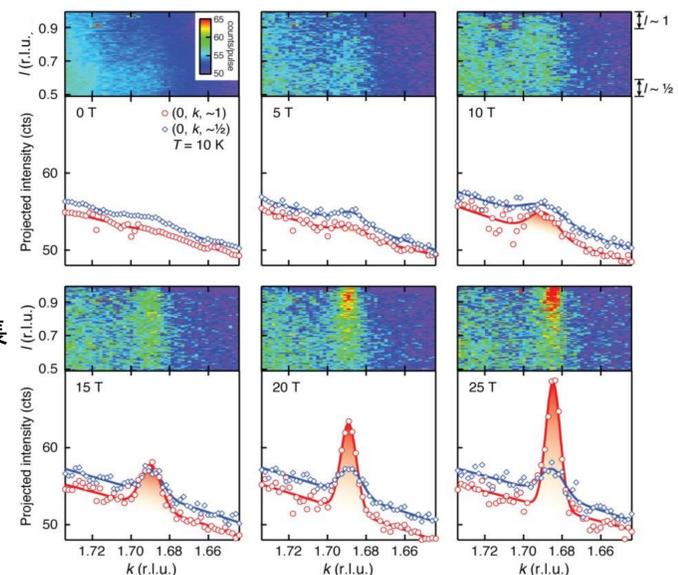
青:  $l=1/2$

✓15 T以降で磁場依存性がほとんどない

赤:  $l=1$

✓磁場の増加で急激に成長  
磁場依存性が強い

$l \sim 1/2$ と $l \sim 1$ の2成分で  
磁場依存性が大きく異なる

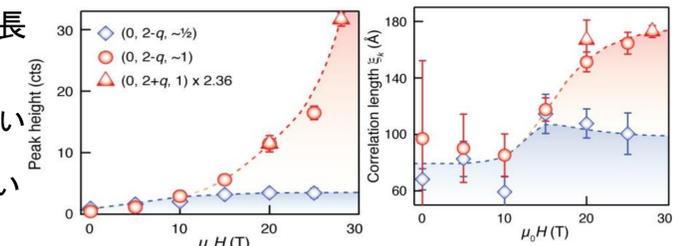


・CDWピーク強度と相関長の  
磁場依存性

$l \sim 1$ は28 Tでも飽和していない

$l \sim 1/2$ と $l \sim 1$ 磁場依存性の違い

➡ 2種類のCDW

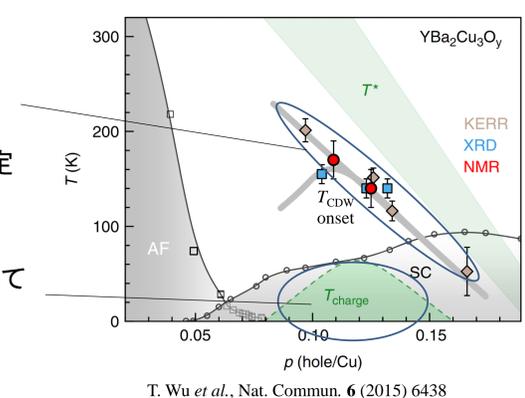


### YBCOの相図

低磁場測定で見つかったCDW

➡  $l \sim 1/2$ はこれまでの低磁場測定  
の結果と一致

NMRなどの強磁場測定で見つかった  
磁場誘起CDW相



## まとめ

・世界初のXFELを用いたシングルショットのパルス強磁場X線  
回折に成功。

・強磁場下でYBCOのCDWを測定し、磁場依存性の異なる2種類  
のCDWが観測された。