

# (Y, La)-Ba-Cu-O および(Y, Pr)-Ba-Cu-O 超伝導バルク体の 77 K 以下の磁束ピン止め特性

## Vortex Pinning Properties of (Y, La)-Ba-Cu-O and (Y, Pr)-Ba-Cu-O Bulk Superconductors below 77 K

岩手大・工 内藤 智之、佐藤 清知、藤代 博之  
東北大・金研 西寄 照和、小林 典男

T. Naito<sup>1</sup>, K. Sato<sup>1</sup>, H. Fujishiro<sup>1</sup>, T. Nishizaki<sup>2</sup> and N. Kobayashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Iwate University

<sup>2</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

### 1. はじめに

RE-Ba-Cu-O (REBCO)高温超伝導バルク体(RE: 希土類元素)は超伝導体  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (RE123)と非超伝導体  $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$  (RE211)の複合材料である。溶融法によって直径数十 mm、厚さ 10-20mm 程度バルク体が得られている。REBCO バルク体に磁束を高密度で捕捉させるとテスラ級疑似永久磁石となる。従来のコイル型磁石と異なり開放空間でテスラ級磁場の利用を可能にすることから様々な応用が考えられている。バルク体の磁場捕捉能力は臨界電流密度  $J_c$  で決まる。理想的な第 2 種超伝導体の  $J_c$  は下部臨界磁場を超える磁場領域では磁場の増加とともに減少するが、銅系高温超伝導体では磁束ピン止め中心の存在によりある磁場領域で  $J_c$  が増加する、いわゆるピーク効果が生じる。従って、磁場捕捉能力を高めるには、有効磁場領域の異なる複数のピン止め中心の導入によってこの  $J_c$  のピーク領域を広くすることが出来れば良いと考えられる。これまでも数多くの置換効果が検討されてきた[1]。本研究ではこれまであまり報告例がない YBCO バルク体の Y サイトを La または Pr で置換することによるピン止め中心の導入を試みた。また、従来は液体窒素温度での磁束ピン止め効果が議論されてきた。近年、冷凍機冷却が一般的になってきていることから 77K 以下の温度領域の磁束ピン止め特性を評価した。

### 2. 実験方法

(Y, La)BCO および(Y, Pr)BCO バルク体は溶融法で育成された。劈開した NdBCO バルクを種結晶として用いた。La および Pr 置換量は 1%とした。育成後のバルク体を 1 気圧、400°Cの酸素気流中で 1 週間熱処理した[2]。測定には、種結晶から 3mm 下の部分から切り出した薄板状試料(2×2×1mm<sup>3</sup> 程度)を用いた。電気抵抗は直流四端子法で測定した。15 テスラ超伝導マグネットを使用し最大 15 テスラの磁場を c 軸に平行に印加した。

### 3. 実験結果および考察

Fig.1 に YBCO、(Y<sub>0.99</sub>La<sub>0.01</sub>)BCO および (Y<sub>0.99</sub>Pr<sub>0.01</sub>)BCO バルクの電気抵抗の温度依存性  $R(T)/R(100\text{ K})$ を示す。電気抵抗は 100K の値で規格化してある。ゼロ抵抗への転移温度で定義した臨界温度  $T_c$  は、YBCO が 89.5 K、(Y<sub>0.99</sub>La<sub>0.01</sub>)BCO が 89.8K、

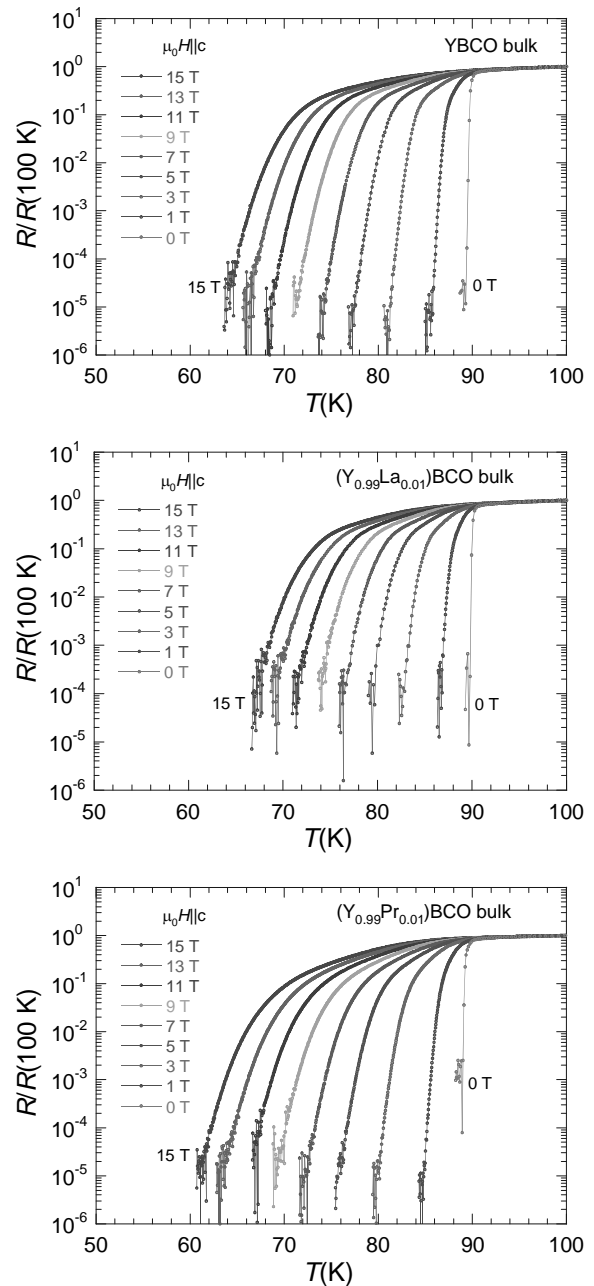


Fig.1: Temperature dependence of the reduced resistance  $R/R(100\text{ K})$  of YBCO, (Y<sub>0.99</sub>La<sub>0.01</sub>)BCO, and (Y<sub>0.99</sub>Pr<sub>0.01</sub>)BCO bulks for various magnetic fields parallel to the c-axis.

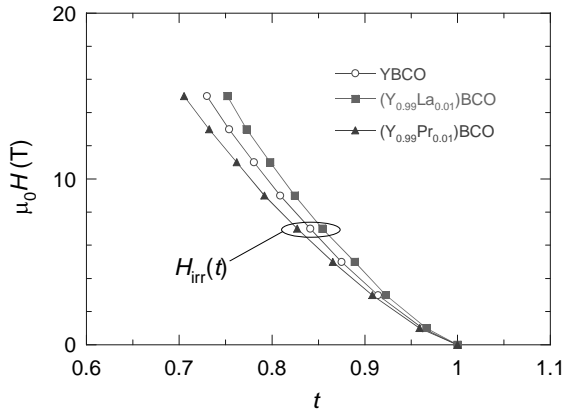


Fig.2: Irreversibility field as a function of the reduced temperature.

( $Y_{0.99}Pr_{0.01}$ )BCO が 88.9K であった。元素置換による  $T_c$  の変化は非常に小さかった。不可逆温度  $T_{irr}$  は  $R(T)/R(100\text{ K})$  が  $2 \times 10^{-4}$  になる温度で定義した。この基準値のとき YBCO と ( $Y_{0.99}Pr_{0.01}$ )BCO バルクはまだ有限の抵抗値を示している。しかしながら、( $Y_{0.99}La_{0.01}$ )BCO のノイズレベルが他の 2 つに比べて 1 桁程度高かったため、この基準値とした。今回は元素置換による不可逆温度の相対変化が分かれば良いため特に問題ない。Fig.2 に磁場—温度相図を示す。相図には不可逆磁場の温度依存性  $H_{irr}(t)$  としてプロットした。 $t$  は規格化温度 ( $t=T/T_c$ ) である。( $Y_{0.99}La_{0.01}$ )BCO の不可逆曲線は、YBCO の高温高磁場側に位置している。これは La 置換によって磁束ピン止め特性が向上したことを示唆する。一方、( $Y_{0.99}Pr_{0.01}$ )BCO の不可逆曲線は YBCO の低温低磁場側に位置していることから、磁束ピン止め特性が低いことを意味している。La 置換効果について考察する。Gd よりも原子番号が小さい RE の場合、Ba とのイオン半径が近くなることに起因して RE と Ba が固溶置換を起こす。それに伴い超伝導性が低下することが知られている[3]。従って、YBCO バルク内の La は Y ではなく Ba と置換されていると考えられる。今回は La 置換量が微量であることから超伝導性にはさほど影響を与えず、固溶置換部分が磁場誘起型磁束ピン止め中心になったと考えられる。同様の描像は Pr 置換についても成り立つはずであるが、今回は磁束ピン止めが弱まる結果であった。ただし、磁束ピン止めには Y211 相も重要な役割を担っている。従って、Y サイトへの微量元素置換効果は SEM 観察等から Y211 の効果 (例えば、分布や粒径) を分離して議論する必要がある。

#### 4. まとめ

今回、YBCO バルク超伝導体の Y サイトを La または Pr で置換することによって新たなピン止め中心の導入を試みた。ピン止め特性は電気抵抗測定から決定した不可逆曲線により評価した。その結果、La 置換試料の不可逆曲線は無置換試料の高温高磁場側に、Pr 置換試料は低温低磁場側に位置した。これは、La 置換が

磁束ピン止めに有効であり、Pr 置換はむしろ磁束ピン止め効果を低下させることを示唆している。ただし、磁束ピン止めには Y211 の影響も無視できない。従って、Y211 の効果を分離するなどのより詳細な検討が必要である。

#### 参考文献

- [1] G. Krabbes *et al.*, Physica C **330** (2000) 181;  
Y. Ishii *et al.*, Appl. Phys. Lett. **89** (2006) 202514
- [2] K. Kishio *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **26** (1987) L1228
- [3] M. Murakami *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **9** (1996) 1015