

# REBaCuO 系高温超電導バルクの磁場中冷却着磁に関する研究

平成 22 年度入学 藤代・内藤研究室 20210002 石戸谷 和

## 1, Introduction

液体窒素温度以上で超電導現象を発現する銅酸化物高温超電導体は 1986 年に発見されてから多くの研究がなされ、ピン止め効果を用いた擬似永久磁石など、様々な応用がなされてきた。中でも REBaCuO 系(RE はまたは希土類元素)高温超電導バルクは、磁場中でのピン止め力が強い小型 MRI などの強磁場発生源として応用が見込まれている。超電導体には臨界磁場の違いにより第一種超電導体、第二種超電導体がある。不純物や欠陥を含む第二種超電導体はエネルギー効率的に得であることに起因し、外部からの磁場を捕捉することで擬似永久磁石になるという性質を持つ。RE 系超電導バルクは超電導電流を担う超電導相  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (RE123)とピン止め点として働く不純物相である常電導相  $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$  (RE211)の複合材料であり、大型のバルクとして研究が進められている。超電導体を磁石化する操作を着磁と呼び、その着磁法の一つに磁場中冷却着磁法(Field Cooled Magnetization 以下、FCM)がある。本研究では磁場捕捉による擬似永久磁石への応用のため、FCM を用いて種々の GdBaCuO 高温超電導バルクに着磁を行い、その評価をすることで、捕捉磁場特性の向上の条件を探ることを目的とする。従来、捕捉磁場の温度依存性は各温度で FCM を行う方法を行ってきたが、本研究では低温で着磁したバルクを一定の速度で昇温することで捕捉磁場の温度依存性を調べるスweep法を用いた。測定試料の着磁条件を揃えることで各試料の特性による違いの比較を行った。

## 2, Experimental

新日鐵住金から提供された 4 種類の GdBaCuO 系バルクの捕捉磁場特性の測定、評価を行った。測定試料の概要を表 1 に示す。本研究で用いた Gd 系バルクは、高配向した超電導相(123 相)の中に  $1\mu\text{m}$  程度の常電導相(211 相)を微細分散させた試料で、熔融法により作製した。試料サイズは直径 46 mm、厚さ 15 mm とした。4 つの試料はそれぞれ常電導相の仕込量(mol%)や、作製条件に違いがあるため液体窒素温度(77K)での捕捉磁場が異なる。また、すべての試料は機械的特性を改善するため銀添加が行われ、さらに周囲を SUS リングで補強している。捕捉磁場特性とその温度依存性は、8.5 T、10 T の外部磁場中で転移温度以下の 40 K 程度まで冷却し着磁した後、温度を 0.1 K/min で上昇させながら測定した。本実験ではホールセンサーを用いてバルク表面中心の印加磁場と、捕捉磁場を測定し、セルノックス抵抗温度計を用いて FCM プロセスにおけるバルク表面中心の温度を測定した。

表 1 測定試料の概要

試料名	サイズ	211 相仕込量 (mol%)	新日鐵住金で測定した 捕捉磁場 at 77 K	本研究で測定した 捕捉磁場 at 77 K	備考
NSC-3	φ 46×15	25%	1.5 T	1.9 T	77K で捕捉磁場特性が異なる試料の比較
NSC-4		25%	1.0 T	1.3 T	
NSC-5		20%	1.37 T	2.2 T	211 相仕込量が異なる試料の比較
NSC-6		30%	1.45 T	1.8 T	

### 3, Result and discussions

図1はすべての試料の印加磁場 8.5 T で FCM 着磁したときの捕捉磁場の温度依存性である。条件の違う4つのバルクはそれぞれ捕捉磁場の温度依存性が違うことが分かる。図1において77 Kでの捕捉磁場特性の異なる NSC-3、4を見ると77 Kではやはり NSC-3のほうが大きく、液体窒素中での測定と同じ結果が得られた。図2は、NSC-3,4をそれぞれ8.5 T、10 TでFCM着磁を行った後の結果であるが、低温の高磁場領域で磁場捕捉能力が逆転していることが観測できる。印加磁場が8.5 Tのグラフでもわずかではあるがこの現象がみられる。図2において10 Tより高い印加磁場で測定することで低温域において更に差が大きくなることが予想される。この温度領域における逆転現象はピン止め力の温度依存性が異なることに起因しており、低磁場では超伝導状態にあるが高磁場では常伝導になるような超電導特性の弱い部分や、高磁場ではピン止め点として実用的な働きをしない酸素欠損、粒界などの影響によるものだと考えられる。

また、図1で磁束ピン止めに有効な不純物相である RE211 相の仕込量が異なる NSC-5,6の比較では液体窒素を用いた測定とは異なり、全体的に NSC-5の方が優れた捕捉磁場特性を持っているといえる結果になった。酸化物高温超伝導体はコヒーレンス長が非常に小さいため、ピン止め点として作用する不純物相もナノサイズの微細化が必要になる。この場合、211相の仕込量を低下したことで密度が低下し NSC-5における不純物相の微細分散に働いたと予想する。測定初期の段階では外部磁場を10 Tに設定し測定を行っていたが NSC-6が外部磁場を減磁する際に破損してしまった。図3は FCM 着磁後外部磁場を減磁する際のバルク表面の温度変化であり、例として NSC-3を用いた。バルク表面中心の温度を見ると量子化磁束の運動に伴う発熱が起こっているのがわかる。この発熱が大きい場合、局所的に超伝導が壊れることで抵抗が生じ、さらに発熱が起こるクエンチと呼ばれる連鎖反応が起こる。この急激な温度や磁場の変化によりバルクが破損したと考える。

### 5, Conclusion

本研究では種々の GdBaCuO 高温超伝導体バルクを同条件の FCM で着磁し、スイープ法を用いて測定することで捕捉磁場特性の温度依存性を比較してきた。本研究ではバルク体における非超伝導相がもたらす捕捉磁場特性への影響を観測することが出来た。常伝導相や内部欠陥等のピン止め点を人工的に制御可能なものにする事で捕捉磁場特性の向上が期待できると考えた。

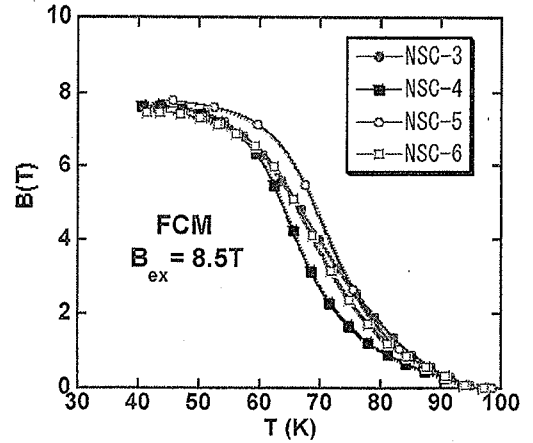


図1 印加磁場 8.5 Tにおける全試料の捕捉磁場の

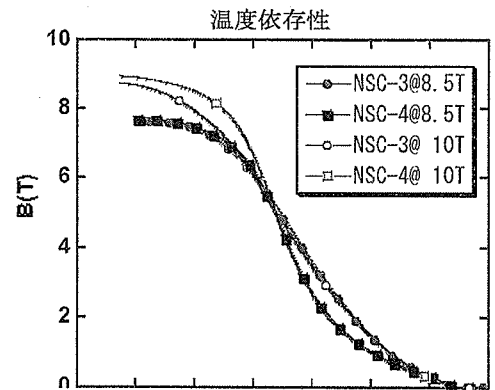


図2 印加磁場 10 T, 8.5 Tにおける NSC-3,4の捕捉

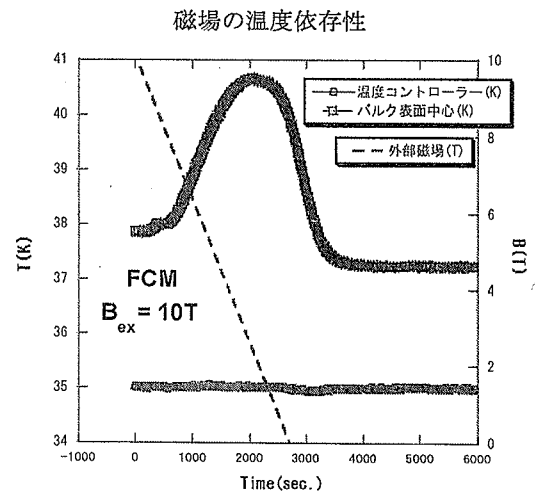


図3 FCM 着磁後外部磁場を減磁する際の NSC-3のバルク表面の温度変化