

Φ65mm 大型超伝導体バルクのパルス着磁特性

平成 15 年度入学 12 番 藤代研究室 欠端 浩介

1. 序論

高温超伝導体バルクは磁束ピン止め特性に優れ、低温で擬似的永久磁石としての応用が期待されている。本研究では超伝導体バルクの、パルス着磁(Pulse Field Magnetization)に関する研究である。この着磁法の利点は超伝導マグネットを使用せず、コイルが小型なために実験装置に容易に組み込めることにある。しかし、高磁場を印加するとバルク内で発熱が起り、捕捉磁場が減少するという欠点がある。この欠点を軽減し、捕捉磁場を増加させる方法として、本研究室で考案した M-MPSC(Modified Multi-Pulse technique with Step-wise Cooling)法がある。図 1 に M-MPSC 法の概念図を示す。このプロセスは二つの段階で構成される。最初の段階(1st Stage)では比較的低磁場を、次の段階(2nd Stage)では高磁場を印加する。1st Stage である程度磁場を捕捉させておくことで超伝導バルク体の捕捉磁場減少の原因となる発熱を抑制することができる。本研究グループはこの方法を用いて、Φ45mm 超伝導体バルクで約 5.2T の捕捉磁場を記録した。今回の実験で使用した Φ65mm 大型超伝導体バルクは、これまでの実験で使用した Φ45mm 超伝導体バルクに比べて、総磁束量の増加、捕捉磁場の増大、といった様々な利点が考えられる。そこで本実験では、Φ65mm 大型超伝導体バルクに M-MPSC 法を用いてパルス着磁法を行い、捕捉磁場の向上を目指した。

2. 実験方法

本実験で使用するバルクとして、直径 65mm、厚さ 20mm の C 軸指向 GdBaCuO バルクを使用した。1st Stage の印加磁場を B_{ex}^1 , 2nd Stage の印加磁場を B_{ex}^2 とし、中心の捕捉磁場を B_{LC} , 周辺の捕捉磁場を B_{LE} と定義する。 B_{LC}, B_{LE} はバルク表面の中心(C)と端(E)に設置し、ホールセンサーで計測する。また、温度はバルク表面に熱電対を設置し計測した。次に、GM 冷凍機で超伝導バルク体を冷却した後、パルス電源を用いて液体窒素で冷却したコイルに電流を流し M-MPSC 法を用い、1st Stage の温度 $T_s^1 \approx 60K$, 2nd Stage の温度 $T_s^2 \approx 40K$ に設定し、それぞれ二発ずつ、計四発パルス磁場を印加した。比較のために同じパルス磁場を複数回印加する SPA(Successive Pulse Application)法も行った。また、SPA 法の最初のパルスを単一パルスと定義した。

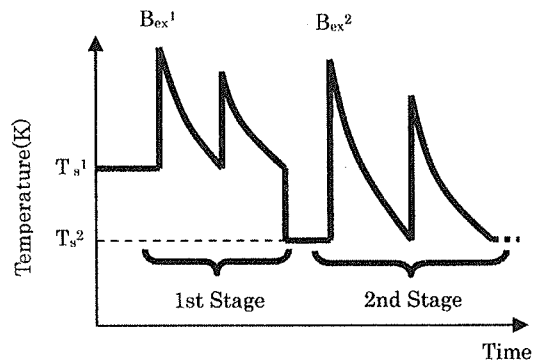


図 1 M-MPSC 法の概念図

3. 実験結果

3.1 単一パルスにおける捕捉磁場

図 2 は、 $T_s = 60K, 40K$ における印加磁場 $\mu_0 H_a$ と B_{LC} の関係を示している。40K では印加磁場を増加していくにつれ、 B_{LC} が単調に増加していく。これに対して 60K では、印加磁場 6T 付近で、ピークを示している。これは、60K では 40K に比べ、ピンニング力が低いために中心まで磁束が侵入できる。また、60K で高磁場を印加すると、バルク体

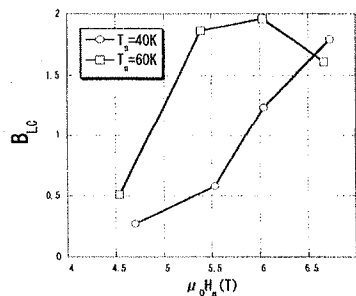


図 2 60,40K での単一パルスにおける印加磁場と B_{LC} の関係

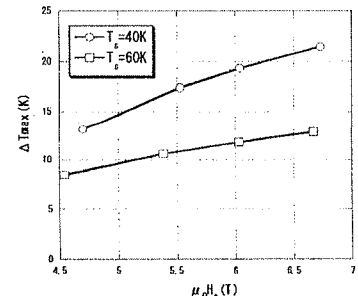


図 3 単一パルスにおける印加磁場と温度上昇の最大値 ΔT_{max} の関係

の発熱が起り B_{LC} の減少につながる。一方 40K では、ピンニング力が強いために磁束がバルク体の中心にまで到達できない。図 3 は、60K,40K の印加磁場と温度上昇の最大値の関係を表している。この図より、印加磁場を増加するにつれて ΔT_{max} も単調増加していくことが分かる。また、60K と 40K を比較すると、40K の場合、60K に比べ ΔT_{max} が大きい。これは、比熱が小さくなり少量の熱量でも発熱が起りやすくなりピン止めされていた磁束が逃げるため、大きな捕捉磁場が得られない。単一パルスの他に、SPA 法を用いて複数回磁場を印加しても、捕捉磁場の向上は見られな

った。

3.2 M-MPSC 法による結果

図4、図5はM-MPSC法を行い、計四発印加したときの $B_{ex}^1=4.75T$ (No.1 Pulse), $B_{ex}^2=6.88T$ (No.3 Pulse)の時の $\mu_0 H_a$ と B_{LC}, B_{LE} の時間依存性を示している。M-MPSC法により $T_s^1 \approx 60K$ で $B_{ex}^1=4.75T$ の場合、 B_{LC} では約 $0.5T$ 、 B_{LE} では約 $4T$ まで磁束が侵入した後、

$1.5T$ 近く捕捉された。その後 $T_s^2 \approx 40K$

に冷却し、 $6T$ 以上の高磁場を印加することで、中心に約 $3T$ の磁場を捕捉させることができた。M-MPSC法は 2nd Stage で単一パルス法や、SPA法より高磁場を印加しても、あらかじめ低磁場で着磁し、温度上昇を抑え、 B_{LC} を向上させることができると考えられる。

次に、 B_{ex}^1 と B_{ex}^2 を変化させていった時の局所磁場を示す。まず、図6では $B_{ex}^2=6.8T$ で一定にし、 B_{ex}^1 を $4.33\sim 5.18T$ まで増加させていった。この場合、三発目で B_{LC} はそれぞれ $B_{ex}^1=4.33T$ では $2.5T$ 、 $B_{ex}^1=4.75T$ では約 $3T$ まで捕捉された。 $B_{ex}^1=5.18T$ の場合、1st Stage で B_{LC} とともに温度上昇が高かったため、三発目で B_{LC} が向上しなかったと考えられる。また、1st Stage で磁場を印加することにより、図から分かるように中心よりも周辺部の捕捉磁場が高くなった状態(M字型)も変化してくる。 B_{LC} に $3T$ 捕捉できた時は B_{ex}^1 で B_{LC} に約 $0.5T$ 、 B_{LE} では $1.25T$ 着磁されたM字型が最適だと考えられる。

図7、図8では $B_{ex}^1=4.4, 3T$ に固定して、 B_{ex}^2 を変化させていった。これらの場合だと、図6に比べ B_{ex}^1, B_{ex}^2 がともに低かった。そのため中心には約 $2T$ しか捕捉されなかった。これは、 B_{ex}^1, B_{ex}^2 が足りなかったために上げる必要があると考えられる。 B_{ex}^1 で着磁されたM字型の形状により 2nd Stage での B_{LC} が関係していくということが考えられる。

4. まとめ

M-MPSC法は、中心に着磁させるのに有効なプロセスである。M-MPSC法は 1st Stage と 2nd Stage の二つの段階があるが、これらにはそれぞれ最適な印加磁場が存在する。今回の実験では大型超伝導体バルクの着磁において、SPA法では $2T$ であったが、M-MPSCでは $3T$ まで向上した。また、使用した $\Phi 65mm$ 大型超伝導体バルクは、 $\Phi 45mm$ 超伝導体バルクよりも捕捉磁場の向上が期待できたが、今回の実験では捕捉磁場の向上が見られなかった。その理由として、パルス電源のエネルギーを上げる必要がある。

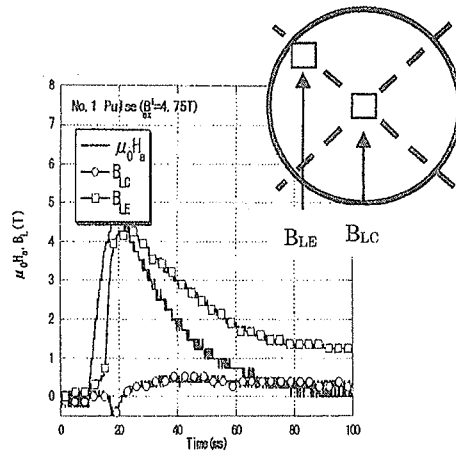


図4 4.75T印加した時の B_{LC}, B_{LE} の時間依存性

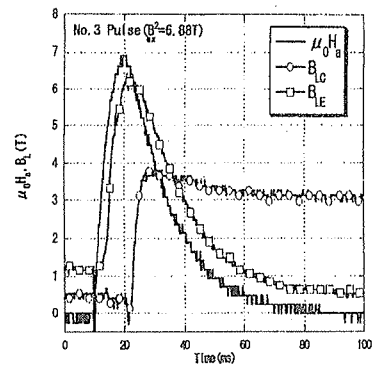


図5 6.88T印加した時の B_{LC}, B_{LE} の時間依存性

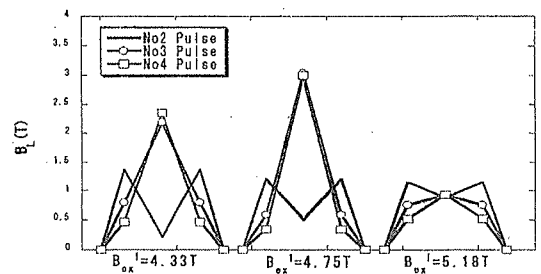


図6 $B_{ex}^1=4.33\sim 5.18T$ まで変化した時の捕捉磁場 ($B_{ex}^2=6.8T$)

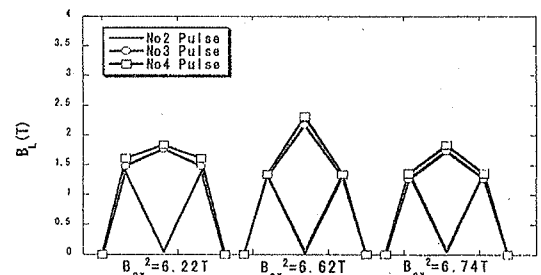


図7 $B_{ex}^1=4T$ 、 $B_{ex}^2=6.22\sim 6.74T$ まで変化した時の捕捉磁場

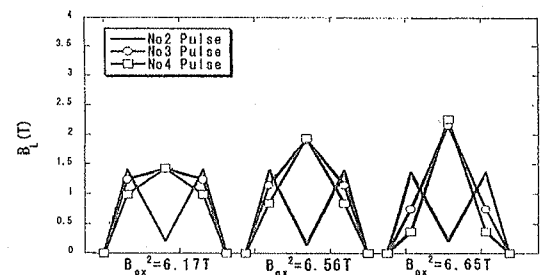


図8 $B_{ex}^1=4.3T$ 、 $B_{ex}^2=6.17\sim 6.65T$ まで変化した時の捕捉磁場