

# 異なる $J_c$ 分布を有する超電導バルクのパルス着磁特性

材料物性工学科 19 年度入学 21207038 玉田裕士

## 1. 序論

溶融法で作製された REBaCuO 系超電導バルク体に超伝導転移温度  $T_c$  以下で磁場を加えると、超電導バルク体のピン止め効果により磁束が捕捉され、超電導バルク体が疑似永久磁石になる。超電導バルク体を疑似永久磁石にする一般的な着磁方法として、磁場中冷却着磁法 (Field Cooling Magnetizing: FCM) がある。この方法は超電導マグネットを用いるために着磁装置が大型化し、高価である。それに対して、着磁装置が比較的小さくて安価なパルス着磁法 (Pulse Field Magnetizing: PFM) が注目されている。しかし PFM は FCM に比べて捕捉磁場が極めて小さい。その原因として、磁束がバルク体内を移動する時の抵抗力や、磁束が捕捉される時のピン止め効果による磁束の侵入方向と逆に働く力(ピン止め力)によって生じる発熱がある。またその発熱によるバルク内での温度上昇から、臨界電流密度  $J_c$  は低下し、ピン止め力の減少を引き起こしたためと考えられる。本研究室では図 1 のような MMPSC 法と呼ばれる初期温度  $T_s$  と印加磁場  $B_{ex}$  を変化させた二段階のパルス着磁法を提案した。この方法は 1<sup>st</sup>stage での捕捉磁場の影響で発熱を抑えることができるために捕捉磁場を向上させることができる。本研究では、中心での捕捉磁場  $B_r^c$  の向上のためにピン止め力が異なる  $J_c$  分布を有する超電導バルクに PFM を行い、その着磁特性の違いから更なる捕捉磁場の向上を検討する。

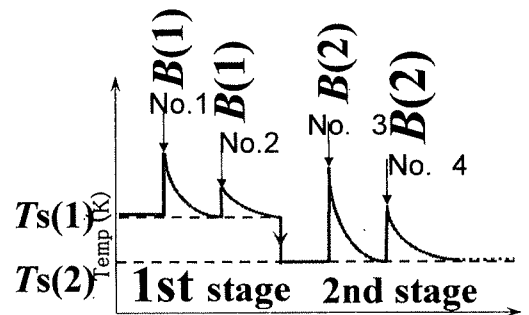


図 1 MMPSC の模式図

## 2. 実験方法

新日鐵製の直径 45 mm、厚さ 18 mm の Gd 系超電導バルク(バルク A)と同じく新日鐵製の直径 45 mm、厚さ 15 mm の Gd 系超電導バルク(バルク B)を使用した。バルクと冷凍機の cold stage の間にインジウムを挟み、さらに各接触部分にアピエゾングリースを塗布して熱伝導性を向上させた。バルク表面と cold stage に Cernox 抵抗温度計を貼り付けてバルクの温度を測定した。

バルクの初期温度  $T_s=40, 77$  K、印加磁場  $B_{ex}=3.5\sim 6.5$  T の条件で同一パルス着磁(Successive magnetic pulse application:SPA)によって着磁した。更に両バルクとも MMPSC を 1<sup>st</sup>stage の  $T_s(1)=77$  K、 $B(1)=2.9\sim 3.5$  T で、2<sup>nd</sup>stage の  $T_s(2)=40$  K、 $B(2)=5.6$  T $\sim$ 6.5 T で行った。パルス磁場を印加した後、バルク表面からそれぞれ 1.5 mm、1.0 mm 上方をホールセンサで走査し、捕捉磁場分布を測定した。

## 3. 実験結果

図 2 はバルク A の初期温度  $T_s$  を 40 K、印加磁場  $B_{ex}$  を 6.5 T で SPA により着磁したバルク A の捕捉磁場分布である。バルク A は均一できれいな円錐型の捕捉磁場分布となっている。これはバルク A のピン止め力が均一であるためと考えられる。

図 3 は同条件で着磁したバルク B の捕捉磁場分布である。バルク B は円錐型の捕捉磁場分布であるが、バルク A と比べるときれいな円錐型にならなかった。これはバルク内の  $J_c$  分布が不均一であるためと考えられる。

図 4 にバルク A とバルク B の 40 K、77 K における中心での捕捉磁場の印加磁

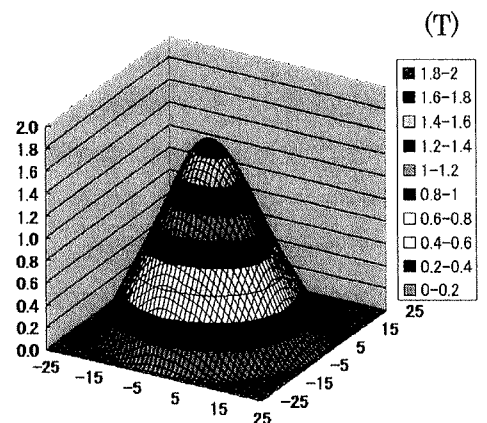


図 2  $T_s=40$  K,  $B_{ex}=6.5$  T  
バルク A の捕捉磁場分布

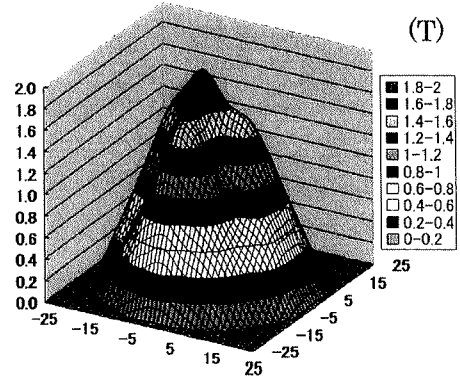


図 3  $T_s=40$  K,  $B_{ex}=6.5$  T  
バルク B の捕捉磁場分布

場依存性を示す。バルク A では  $T_s$  を 40 K、 $B_{ex}$  が 6.2 T の場合中心での捕捉磁場  $B_T^C$  が最大となった。同様に  $T_s$  を 77 K、 $B_{ex}$  が 4.7 T の場合  $B_T^C$  のピークがみられた。それに対してバルク B は  $T_s$  を 40 K、77 K で磁場を 2.9 T ~ 6.5 T 印加しても  $B_T^C$  のピークがみられなかった。

この結果はバルク A が有するピン止め力に逆らって生じた発熱によって磁束が抜けたためと考えられる。バルク B は  $B_T^C$  のみを考えると発熱が少なく磁束が抜けなかったためにピークがみられなかった。そのためバルク B はバルク A と比較するとピン止め力が強いといえる。

図 5(a) はバルク A の  $T_s(1)=77$  K  $B(1)=2.90$  T による MMPSC 1<sup>st</sup> stage No. 1 の捕捉磁場分布を、図 5(b) はバルク A の  $T_s(2)=40$  K  $B(2)=6.08$  T による MMPSC 2<sup>nd</sup> stage No. 3 の捕捉磁場分布である。1<sup>st</sup> stage の段階でバルク周辺部に均一に磁場が捕捉された。その結果 2<sup>nd</sup> stage で SPA

と同じきれいな円錐型な捕捉磁場分布となった。図 6(a) はバルク B の  $T_s(1)=77$  K  $B(1)=3.90$  T における MMPSC 1<sup>st</sup> stage No. 1 の捕捉磁場分布を、図 6(b) はバルク B の  $T_s(2)=40$  K  $B(2)=6.08$  T による MMPSC 2<sup>nd</sup> stage No. 3 の捕捉磁場分布である。1<sup>st</sup> stage No. 1 では少し歪ではあるがバルク中心が窪んだ M 字型の捕捉磁場分布となった。1<sup>st</sup> stage の影響により 2<sup>nd</sup> stage の捕捉磁場分布は SPA と比べてバルク周辺部では磁場が抜けたために周辺部がへこんだ円錐型の捕捉磁場分布となった。

これは 1<sup>st</sup> stage No. 1 の段階で  $B_{ex}$  が強くバルクの周辺部に磁束が捕捉され過ぎたためと考えられる。両バルクとも SPA と比べて MMPSC で  $B_T^C$  の向上はバルク A では 18%、バルク B では 2% とあまり向上はみられなかった。これは 1<sup>st</sup> stage の段階でそれぞれバルク A は全体的に捕捉磁場が小さく、バルク B はバルク周辺部の捕捉磁場が大きいためである。

#### 4. まとめ

両バルクを比較するとバルク A の方がピン止め力が弱い、均一なピン止め力分布を有する

バルクといえる。バルク B は  $B_T^C$  のピークがみられなかったのに対し、バルク A はピークがみられた。このことは PFM には最適な  $B_{ex}$  が存在し、それよりも大きな磁場を印加しても  $B_T^C$  は減少するが、バルクのピン止め力が強ければピークは高磁場へシフトする。そのためバルク B の方がバルク A よりもピン止め力が強いといえる。MMPSC で  $B_T^C$  の向上させるために両バルクとも 1<sup>st</sup> stage の最適条件の検討が必要である。またピン止め力の強さよりもピン止めが均一なバルクの方が  $B_T^C$  の向上に重要である。

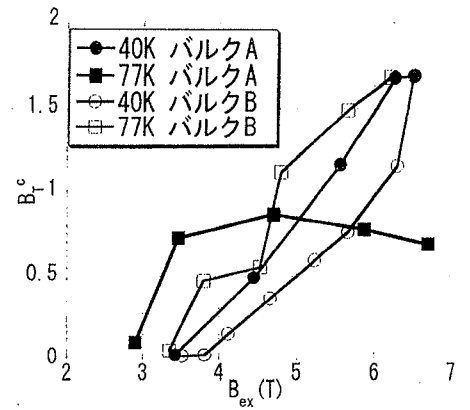


図 4 両バルクの中心での捕捉磁場の印加磁場依存性

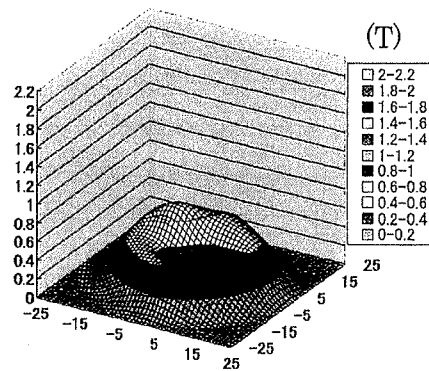


図 5(a) MMPSC 1<sup>st</sup> stage  $T_s=77$  K  $B_{ex}=3.30$  T によるバルク A の捕捉磁場分布

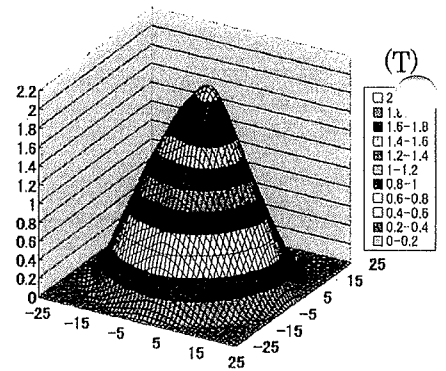


図 5(b) MMPSC 2<sup>nd</sup> stage  $T_s=40$  K  $B_{ex}=6.08$  T によるバルク A の捕捉磁場分布

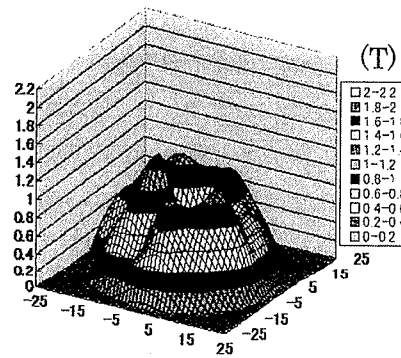


図 6(a) MMPSC 1<sup>st</sup> stage  $T_s=77$  K  $B_{ex}=3.90$  T によるバルク B の捕捉磁場分布

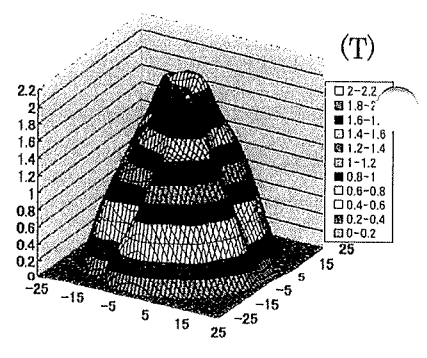


図 6(b) MMPSC 2<sup>nd</sup> stage  $T_s=40$  K  $B_{ex}=6.08$  T によるバルク B の捕捉磁場分布