

バルク超伝導体のパルス着磁における温度上昇

材料物性工学科

池部研究室

植田 祐史

1. 目的

溶融法で作製した REBaCuO 超伝導体の強力バルク磁石としての応用において、装置が比較的コンパクトで安価であるパルス着磁法(PFM)は盛んに研究されている。しかし、PFM による捕捉磁場 B_T は 77K 以下で磁場中冷却着磁(FCM)より極めて低い。この原因は、磁束がピンニング力や粘性力に逆らって運動することによって生じる温度上昇 ΔT である。そこで本研究では、冷凍機冷却した GdBaCuO 超伝導バルクについて、パルス磁場印加後の ΔT と B_T の関係を調べた。

2. 実験方法

使用した GdBaCuO バルク(新日鉄製)は、c 軸配向した結晶で直交した 4 つの結晶粒界面をもつ。結晶は Gd123 と Gd211 のモル比 1 : 0.4, Ag₂O 10wt%, Pt 0.5wt% の混合粉から作製され、真空エポキシ含浸を施してある。バルク上面と下面のエポキシ樹脂は、正確な温度を測定するためとバルクとコールドステージの熱的接触抵抗を減少させるため、削り取った。バルク結晶は直径 45mm, 厚さ 18mm である。図 1 にバルク結晶のセットアップの図と温度測定の配置を示す。ホールセンサーと熱電対を図 1(a)のようにセットし、同じ大きさをもつ 5 発の磁場パルスを印加し温度と捕捉磁場をそれぞれの印加後に測定した。 B_T の 2 次元分布は軸状のホールセンサーで測定したものでバルク表面 3mm 上をスキャンさせた。バルク表面の初期温度 T_s は 40K とした。バルクは液体窒素で冷却したパルスコイルを用いて磁化した。パルス磁場 B_{ex} の立ち上がり時間は約 10ms で、印加パルス磁場の大きさは 3.01T~5.42T の範囲で行った。

3. 実験結果

図 2(a),(b)は、1 発目のパルスを印加した時の T1~T5 の温度と磁場分布の結果を示し、 B_{ex} はそれぞれ、3.01T, 3.87T である。図 2(a)では、T4 が最初に上昇し、次に T2 と T3 と T5 が上昇し、最後に T1 が上昇した。最大温度上昇 ΔT_{max} は、T4 が他の場所より大きかった。挿入図から B_T は、4 の位置が最も大きかった。 $(B_T=0.8T)$ この結果は、4 の位置で表面バリアーを壊して磁束が侵入し、他の場所ではバリアーがそのまま残ったことを示している。図 2(b)では、T2~T5 ではほぼ同時に急激に上昇した。それは、磁束が外周表面から均一に侵入し、熱が主にバルクの周辺部全体から発生していることを意味している。T1 での ΔT は周

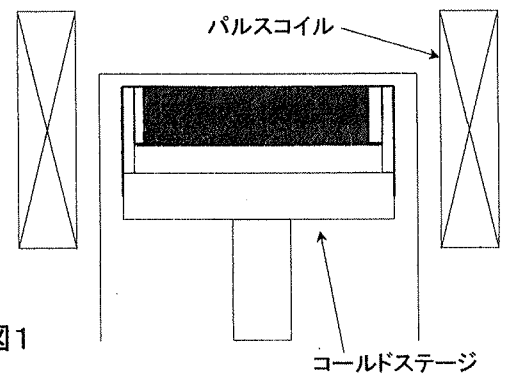
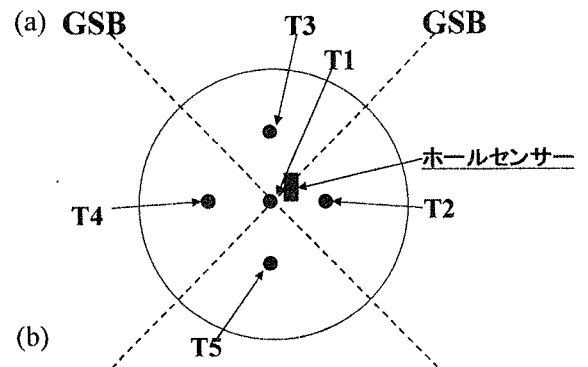


図 1

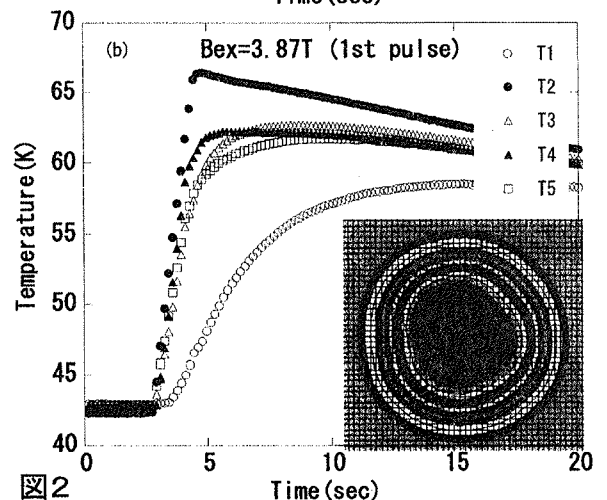
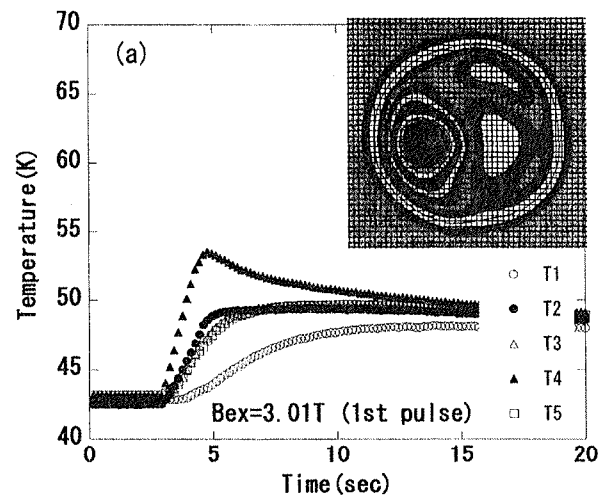


図 2

辺部からの伝熱によるものであるため立ち上がり最も遅い。図2(b)の挿入図は、T2~T5の全てのポジションで磁束が表面バリアーを壊して侵入し、均一に着磁されていることを示している。B_Tは1.6Tであった。

図3は、5.03Tの同一パルスを印加した時のT3の時間依存性である。ΔTは1発目が一番大きくパルス印加回数を重ねると減少し、一定に近づく。なぜなら、1発目に一番多く磁束が侵入するからである。また、ΔTが減少し一定に近づくのは、捕捉磁束量が限界に近づき、磁束の運動が減り、それによって生じる発熱が減少するからである。3.87T、4.64T印加時も、同様の振る舞いであった。さらに、高磁場においては、ΔT1の振る舞いは大きく変化した。図4(a)は、5.42Tの同一パルス印加した時のT3の時間依存性で、4発目以降T3付近での磁束の運動が増加したことを示している。図4(b)は、5.42T印加時の全てのポジションでのΔTを示す。T3でのみ、ΔTが上昇した。すなわち、T3付近から磁束が逃げたことが影響している。また、5.03T印加時に比べて全ての測定位置でΔTは大きかった。

図5は貼り付けたホールセンサーにおける捕捉磁場B_TとT3における最大温度T3-maxの結果である。また、FCMにおけるB_Tも図に示す。図の矢印は、パルスの印加の繰り返しによって変化したことを示す。B_{ex}が4.64TでFCのラインに触れ、2発目以降B_Tの変化はわずかである。5.03Tの1発目では、温度上昇が大きいためB_Tは低下し2発目以降では温度上昇がかなり抑えられるためFCのラインに沿って上昇した。5.42Tの1発目では、さらにB_Tが低下し2発目以降FCのラインに沿って一度は上昇するが印加磁場が大きすぎるために温度上昇が大きくなり4発目以降では低下した。5.42Tの4発目以降でのB_Tの減少は、T3を通して磁束が逃げたことが原因と考えられる。

4. 結論

本研究ではGdBaCuO超伝導体の初期温度T₀=40Kにおいて、B_{ex}=3.01T~5.42TのPFMを印加した時の温度上昇ΔTと捕捉磁場B_Tの関係を調べた結果、以下の点が明らかになった。

- (1) 比較的低い3.01T印加時では、4の位置のみで表面バリアーが壊れ、そこから磁束が侵入する。B_{ex}が小さいために中心まで磁束は侵入しない。B_{ex}=3.87T以上では、全ての外周から磁束が表面バリアーを壊して侵入する。
- (2) B_{ex}=5.03T以下では、パルス印加回数を重ねると温度上昇は減少し一定に近づく。B_{ex}=5.42Tでは、4発目以降T3で、温度上昇が大きくなった。B_{ex}=5.42Tの4発目以降での温度上昇が、B_Tの減少につながっている。

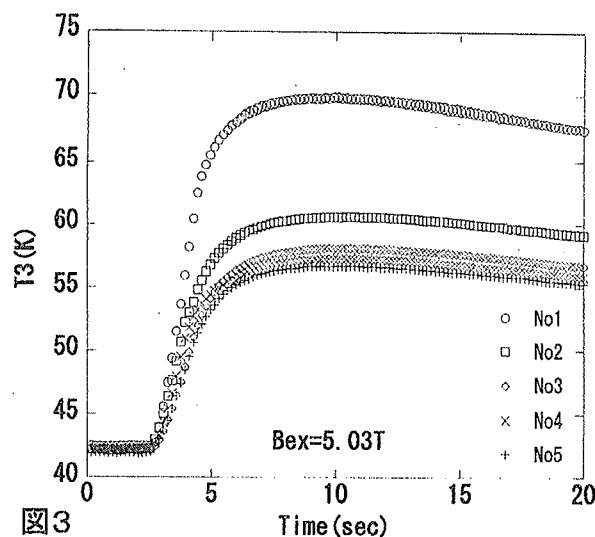


図3

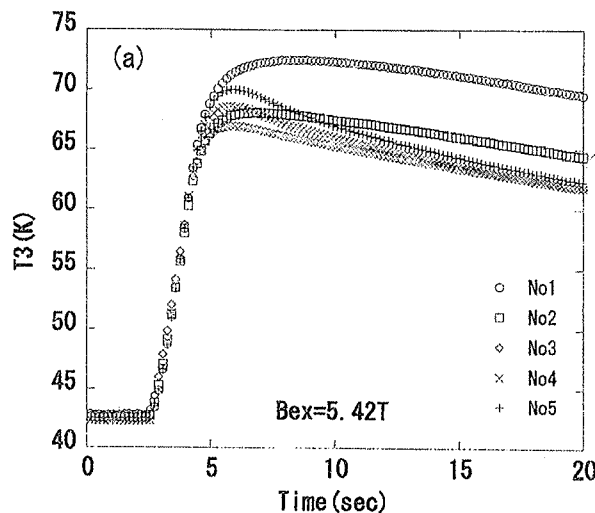


図4

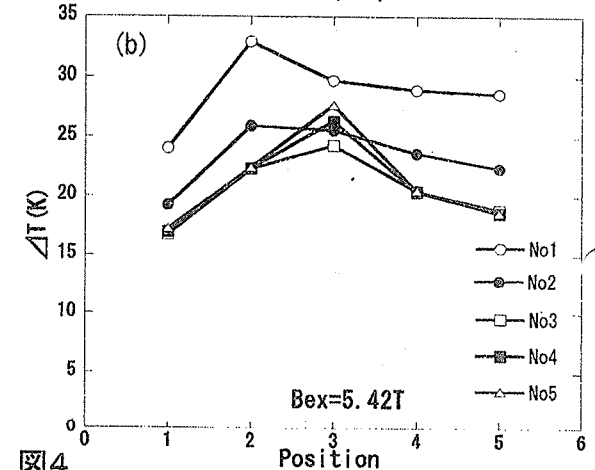


図4

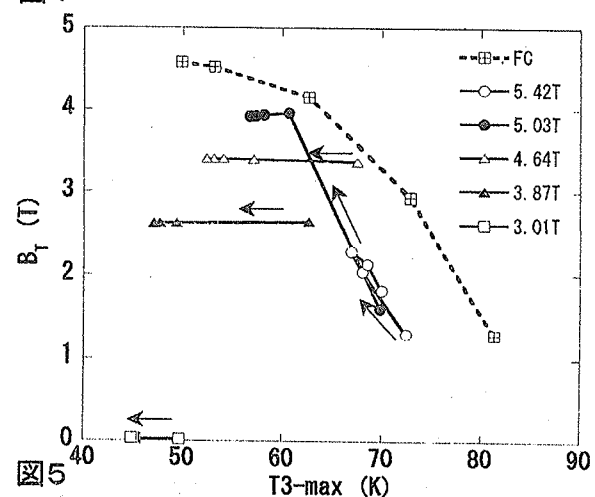


図5