

1. 序論

高温超電導体バルクは擬似永久磁石、モーター、発電機、磁気分離、磁気浮遊などに応用される。超電導体バルク磁石の研究は超電導マグネットを用いる磁場中冷却着磁法(FCM)が一般的であるが、装置の大型と高価であることから実用的ではない。そこで比較的コンパクトで安価なパルス着磁法(PFM)が注目されている。しかし、粘性力やピン止め損失による発熱が臨界電流密度(J_c)を低下させているため FCM に比べ捕捉磁場が低い。これまで研究されてきた RE-Ba-Cu-O (RE:希土類元素)超電導体バルクは高い捕捉磁場を得られるが、バルク体の作製には結晶配向が必要であるため、バルクの大型化が困難である。MgB₂ は捕捉磁場が低いものの、RE 系超電導体に比べ、電磁的異方性が低くコヒーレンス長が長いことから多結晶体でバルクの作製が可能であるため、大型バルクの作製が比較的容易である。2つを組み合わせることにより高い捕捉磁場、軽量、レアアースの減量、バルクの大型化が実現可能である。

本研究では、高い捕捉磁場が実現可能な Gd-Ba-Cu-O バルクと大型バルクの作製が容易である MgB₂ バルクによってデメリットを補完し合う Hybrid バルクを用いて、応用面で注目されているパルス着磁法を利用し、着磁特性とそれぞれが及ぼす影響について研究することを目的とする。

2. 実験方法

Hybrid バルクはHIP法で作製された MgB₂ バルク($\phi 38$ mm, 7 mm³)にワイヤ放電加工で直径 22 mm の穴を開け、改良型 QMG 法で作製された Gd-Ba-Cu-O バルク($\phi 20$ mm, 7 mm³)をはめ込み、スタイキャスト(2850GT)で接着させ作製した。Hybrid バルクを冷凍機で伝導冷却し、銅コイルを用いてパルス磁場を印加した。捕捉磁場(B_T)はバルク表面の axial-type ホールセンサーで測定し、温度は SUS リング側面に設置したセルノックス抵抗温度計で測定した。パルス磁場を印加後、axial-type ホールセンサーを 1.0 mm 上方にし、磁場分布測定を行った。表 1 に本研究での着磁条件を示す。1st stage で Gd-Ba-Cu-O に着磁させ、2nd stage で MgB₂ に磁場を捕捉させる 2 段階でのパルス着磁を適用した。Pattern 2 の 2nd stage では発熱を抑えるため Multi pulse を適用した。

表 1 着磁条件

Pattern No.	stage No.	T_S	B_{ex}
Pattern 1	1 st stage	20 K	$B_{ex1}=5.98$ T
	2 nd stage		$B_{ex2}=1.78$ T
Pattern 2	1 st stage		$B_{ex1}=5.99$ T
	2 nd stage		$B_{ex2}=1.41$ T $B_{ex3}=1.80$ T

3. 結果と考察

図 1 に各初期温度における Gd-Ba-Cu-O バルクの捕捉磁場の印加磁場依存性を示す。 $T_S=70$ K, 50 K では MgB₂ の超電導転移温度以上であるため、Gd-Ba-Cu-O バルクのみに磁場が捕捉される。 $T_S=20$ K では高い印加磁場であるた

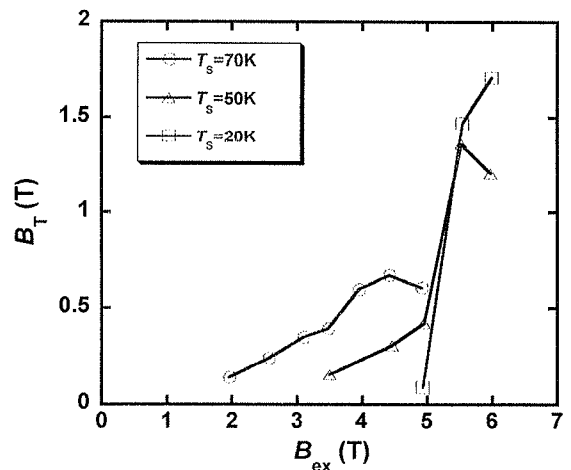


図 1 各 T_S における Gd-Ba-Cu-O バルクの捕捉磁場の印加磁場依存性

めリング型 MgB_2 バルクでは磁場の捕捉はされない。 T_S の低下により B_T のピークは高磁場側へずれる。これは臨界電流密度が高くなり、強い粘性力とピン止め力により遮蔽されるためである。図 1 より 1st stage の着磁は最大捕捉磁場 ($B_{T\text{max}}$) が得られた $T_S=20$ K, $B_{\text{ex}1}=6.0$ T の条件で行った。2nd stage ではリング型 MgB_2 バルクの磁場分布測定において高い捕捉磁場分布が得られた $T_S=20$ K, $B_{\text{ex}2}=1.8$ T のパルス磁場を印加した。

図 2 に Pattern 1 の条件で着磁した磁場分布の断面図を示す。1st stage では Gd-Ba-Cu-O バルクの最大捕捉磁場は 1.87 T であった。2nd stage では Gd-Ba-Cu-O バルク中心において $B_{T\text{max}}=1.80$ T であり磁場の減少が確認された。2nd stage における MgB_2 の発熱による磁場損失がリング型 MgB_2 バルクによる捕捉磁場の向上よりも大きかったためであると考えられる。また、リング型 MgB_2 バルクにおいて、 MgB_2 のみに着磁させたときよりも低い磁場となった。これは Gd-Ba-Cu-O バルクの漏れ磁場(逆向き)の影響が起因していると考えられる。

図 3 に Pattern 2 の条件で着磁した磁場分布の断面図を示す。1st stage において Gd-Ba-Cu-O バルクだけで磁場を捕捉し、 $B_{T\text{max}}=1.93$ T が得られた。パルス磁場 $B_{\text{ex}2}=1.41$ T 印加後、Gd-Ba-Cu-O バルクは $B_{T\text{max}}=1.94$ T であり、 MgB_2 によるわずかな磁場増加が見られた。しかしパルス磁場 $B_{\text{ex}3}=1.80$ T 印加後の捕捉磁場分布が大きく歪んでいったため、フラックスジャンプが生じたと考えられる。この影響によりリング型 MgB_2 バルクの B_T が低く、Gd-Ba-Cu-O バルク中心における B_T のかさ上げにはつながらなかった。フラックスジャンプを抑制できれば Multi pulse により、発熱で生じる磁場損失が抑制でき B_T の向上につながると推測する。

4. 結論

Gd-Ba-Cu-O バルクとリング型 MgB_2 バルクを用いた Hybrid バルクのパルス着磁を行い、パルス着磁特性とそれぞれが及ぼす影響について研究することを目的とした。 $T_S=20$ K, $B_{\text{ex}1}=5.98$ T (1st stage) で Gd-Ba-Cu-O バルクに着磁し、 $T_S=20$ K, $B_{\text{ex}2}=1.78$ T (2nd stage) でリング型 MgB_2 バルクに着磁する条件で高い捕捉磁場と均一な磁場分布が得られた。リング型 MgB_2 バルクは Gd-Ba-Cu-O バルクの漏れ磁場(逆向き)により捕捉磁場が減少し、Gd-Ba-Cu-O バルクはリング型 MgB_2 バルクの発熱の影響で捕捉磁場の向上には至らなかった。 MgB_2 の発熱を抑えるため、2nd stage で Multi pulse を適応し、Gd-Ba-Cu-O バルクの最大捕捉磁場の向上を試みた。本研究ではフラックスジャンプが生じたが、Multi pulse による捕捉磁場の向上が得られると推測する。リング型 MgB_2 バルクにおいてフラックスジャンプが生じたと考えられることから、フラックスジャンプの抑制を検討する必要がある、捕捉磁場のかさ上げにつながると考えられる。また、 MgB_2 における Multi pulse の研究も課題となる。

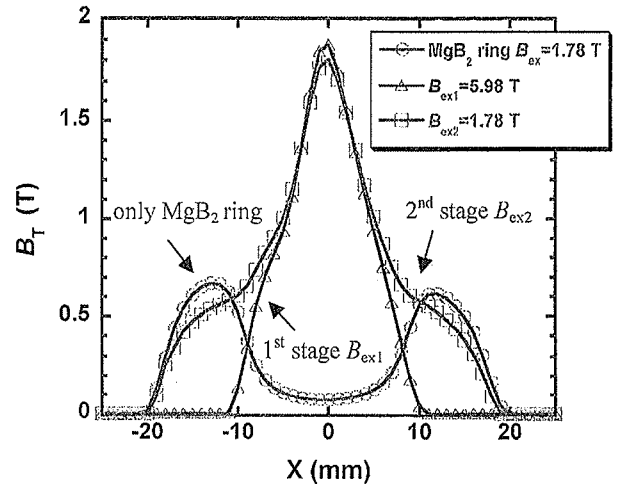


図 2. Pattern 1 における磁場分布の断面図

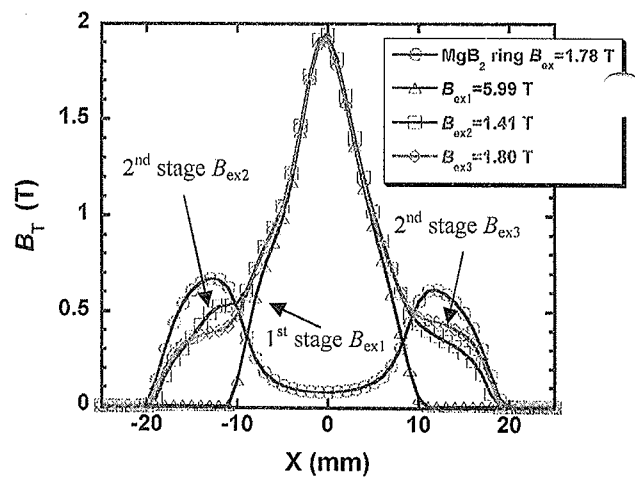


図 3. Pattern 2 における磁場分布の断面図