

# 超電導バルクの着磁における臨界電流密度の不均一が及ぼす

## 磁束運動と捕捉磁場

22210001 藤代研究室 荒屋敷 貴大

### 1.序論

超電導バルク体におけるバルク内のピン止め力  $F_p$  (又は臨界電流密度  $J_c$ ) の増加は捕捉磁場の増大が期待される。磁場中冷却着磁(Field Cooled Magnetization: FCM)は低温化で強磁場捕捉が可能であるが、パルス着磁 (Pulsed Field Magnetization: PFM)はパルス磁場印加時の温度上昇により FCM よりも捕捉磁場が減少する。本研究グループでは2段階の PFM 法 (MMPSC 法)を提案し、PFM における最大捕捉磁場 5.2T を捕捉した[1]。更なる捕捉磁場の向上には高いピン止め力を有すると共に、バルク内のピン止め力分布の均一性が高いバルクであることが求められる。これらの報告は全て円板型の超電導バルク体に対する報告である。円板型の超電導バルク体から切り出すことで四角形状の超電導バルク体にすることが可能であり、四角形超伝導バルクはタイル状に敷き詰められる利点があり、応用が求めるバルク材の一つである。本研究では、従来の円板型超電導バルクと成長領域境界 (GSB)の配置が異なる (クロス型及び十字型)四角形超伝導バルクに対して FCM, ゼロ磁場冷却着磁(Zero Field cooled: ZFC), PFM を行い、四角形超伝導バルクの着磁特性について検討する。

### 2.実験方法

本研究では新日鉄製の円板型と四角型の Gd 系超電導バルクを各 2 個使用した。それぞれの詳細は table.1 に示すが、円板型のうち、 $\phi 46\text{mm}$  級バルク材として作製したバルクを S バルク、 $\phi 65\text{mm}$  級バルク材として作製したバルクから  $\phi 46\text{mm}$  に切り出した円板型バルクを L バルクとする。また、四角型バルクは共に  $\phi 65\text{mm}$  級バルク材から GSB が対角線上配置になるバルクと、そこから  $45^\circ$ 回転させた位置になるように切り出したバルクをそれぞれクロス型バルク、十字型バルクとした。全てのバルクは肉厚 5mm の SUS リングで補強した。

着磁には FCM と ZFC では 10T 級超電導マグネット(磁場変化速度:3.7mT/s)、PFM ではソレノイド型パルスコイル(立ち上がり時間: 12ms)を使用した。各着磁における印加磁場  $B_{ex}$ 及びバルク初期温度  $T_s$ の条件は、FCM において  $T_s=77\sim 48\text{K}$ ,  $B_{ex}=10\text{T}$ 、ZFC において  $T_s=77\text{K}$ ,  $B_{ex}=0.5\sim 1.5\text{T}$ 、PFM において  $T_s=77\sim 40\text{K}$ ,  $B_{ex}=2.6\sim 6.5\text{T}$  で行なった。着磁後、FCM と ZFC はバルク表面から 4.0 mm 上方、PFM はバルク表面から 1.0 mm 上方の捕捉磁場をホールセンサ走査により分布測定を行なった。FCM, 及び ZFC はバルク表面(0 mm up)にホールセンサを貼付けバルク中心の捕捉磁場  $B_T^C$ とし、PFM は 1.0 mm 上方の捕捉磁場分布の中心を  $B_T^C$ とした。また、PFM は捕捉磁場分布の正の値を積分した値を総磁束量  $\Phi_T$ と定義した。温度測定は Cernox 抵抗温度計を SUS リングの側面に貼り付けモニタした。

名称	寸法	備考	
S バルク	円板形状 $\phi 46\text{mm} \times 15\text{mm}$ t	$\phi 46\text{mm}$ 級バルク材	
L バルク	円板形状 $\phi 46\text{mm} \times 15\text{mm}$ t	$\phi 65\text{mm}$ 級バルク材から切り出し	
クロス型バルク	四角形状 45.2mm 角 $\times 15\text{mm}$ t	GSB が $\times$ 配向	$\phi 65\text{mm}$ 級バルク材から切り出し
十字型バルク	四角形状 45.2mm 角 $\times 15\text{mm}$ t	GSB が $+$ 配向	

Table.1 使用した円板型及び四角型バルクの詳細

### 3. 実験結果

Fig.1 に各バルクの ZFC における 4.0mm 上方の捕捉磁場分布を示す。(a) S バルクと(c) クロス型バルク(d) 十字型バルクの 3 バルクでは GSR 内で高い捕捉磁場を示す領域が見られ、(b) L バルクでは GSB や GSR による捕捉領域の変化は見られなかった。L バルクのような捕捉磁場分布はバルク内のピン止め力分布の均一性が非常に高いバルクで見られる形状の分布である。ZFC において四角型バルクは円板型バルクと同様に、ピン止め力の弱い領域から磁束が優先的に侵入し捕捉する。

Fig.2 に各バルクに対して  $T_s=77\text{K}$  で PFM を行なった時のバルク中心での捕捉磁場  $B_T^C$  と総磁束量  $\Phi_T$  の印加磁場依存性を示す。 $B_T^C$  において S バルクは  $B_{ex}=6.2\text{T}$  でもピークを示さなかったのに対し、L バルクは  $B_{ex}=4.6\text{T}$  でピークを示し、その後減少した。このことより、円板型バルクでは S バルクの方がピン止め力の強いバルクであることが分かる。クロス型バルクと十字型バルクはほぼ同様の振る舞いを示した。また、L バルクも四角型バルクと同様の振る舞いを示した。 $B_T^C$  は形状に関係なく  $\phi 65\text{mm}$  級バルク材によるバルク体の捕捉磁場特性が影響していることが分かる。 $\Phi_T$  は S バルクが高い振る舞いを示している。これは、S バルクの  $B_T^C$  が高いためである。 $\phi 65\text{mm}$  級バルク材を比較すると L バルクよりも四角型バルクが高い値を示した。これは、形状の違いにより四角型バルクの方が円板型バルクより表面積が大きいことによる正の積分である  $\Phi_T$  は四角型バルクの方が高い値を示したと考えられる。本研究では、GSB 配置の異なる 2 つの四角型バルクを用いたが、PFM においてピン止め力分布の違いによる着磁特性の変化はほとんど起こらないことが明らかになった。つまり、四角型超伝導バルク体に対して PFM を行なった場合、バルク内のピン止め力分布よりも四角形状という特異な形状が磁束運動及び捕捉磁場に影響すると考えられる。

### 4. 結論

GSB 配置が異なる四角形超伝導バルクに対して FCM, ZFC, PFM を行い、四角形超伝導バルクの着磁特性について検討した。ZFC においてバルク外周部のピン止め力の弱い GSR 内で高い捕捉磁場を示す領域があり、円板型バルクと同様の振る舞いを示した。しかし、GSB 配置が異なる四角型バルクに対して PFM を行なっても同様の振る舞いを示した。円板型バルクではパルス磁場印加時の磁束運動はピン止め力分布が大きく影響し、磁場を捕捉するのに対し、四角型バルクでは異なる着磁特性を示した。

### <参考文献>

[1] H. Fujishiro *et al.* Physica C 445-448 (2006) 334

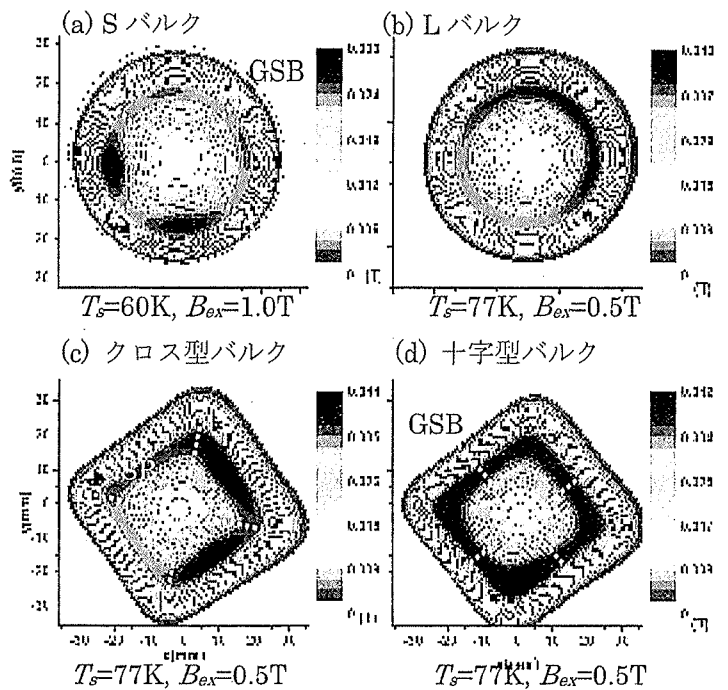


Fig.1 各バルクの ZFC における捕捉磁場分布(4.0 mm up)

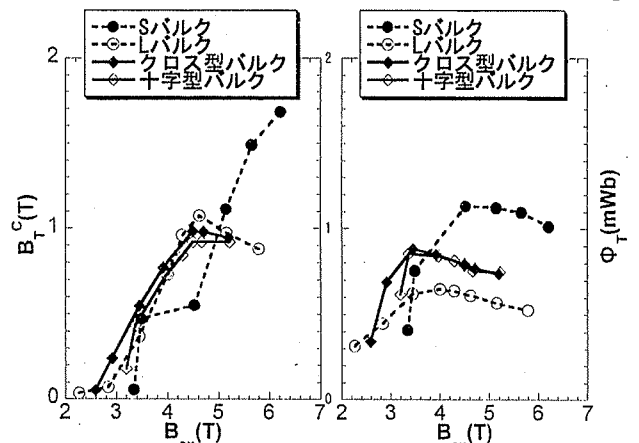


Fig.2 各バルクの  $T_s=77\text{K}$  における PFM のバルク中心での捕捉磁場  $B_T^C$  と総磁束量  $\Phi_T$  の印加磁場依存性