

Magnetoscan 法による臨界電流密度分布の測定

平成 18 年度 藤代研究室 半田拓也

1.序章

バルク超伝導体には送電線等に利用される導体応用や、リニアモーターカーに利用される浮上応用や磁気分離装置に利用される磁石応用などがある。このように様々な応用方法を持っているバルク超伝導体を評価する場合、臨界電流密度の値が重要である。臨界電流密度を上昇させることで捕捉磁場の値も大きくなり、磁石応用の幅が広がる。今までの臨界電流密度の測定は超伝導量子干渉計(SQUID)や第三高調波電圧によって測定された。しかし、SQUID による臨界電流密度は正確な値を測定することが出来るが、バルク超伝導体を破壊しなければならない。また、第三高調波電圧は非破壊でバルク超伝導体全体の臨界電流密度の測定が可能であるが、装置が非常に高価であるため、一般的に使用することは難しい。本研究では臨界電流密度を測定するに当たり、Magnetoscan 法によって測定を行った。この方法は Eisterer らの研究によって開発され、バルクを破壊せず、かつ、安価に表面の臨界電流密度の分布を測定することが出来る。

2.原理

バルク超伝導体を超伝導転移温度以下まで冷却し、小さな永久磁石を近づける。図 1 のように、バルク超伝導内の欠陥に永久磁石からの磁場が及ぶと局部的部分に磁場を打ち消す方向に遮蔽電流が生じる。そのため、バルク超伝導体と永久磁石の間の磁場が打ち消され、磁場が弱く測定される。しかし、バルク内に臨界電流密度の低い欠陥部分が存在すると遮蔽電流から発生する磁場が弱くなるため、永久磁石との差が大きくなり、磁場が強くなり測定される。その磁場変化をホール素子で読み込む、永久磁石とホール素子を動かし、磁場変化を測定することで、1mm 以下の範囲の試料の局部的な臨界電流密度分布を測定することが可能になる。この時、ホールセンサとバルク超伝導体の距離は出来るだけ近くする事で正確な分布を測定することが可能になる。

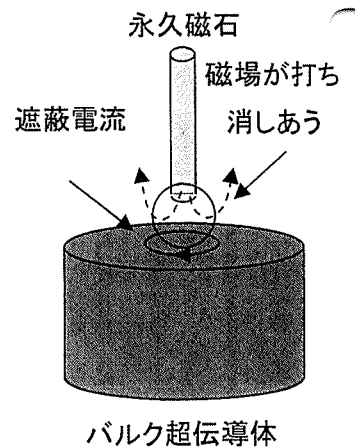


図 1 永久磁石の接近による遮蔽電流の発生

3.測定方法

図 2(a)にホールセンサと永久磁石の位置関係を示した。この時、型番が HHP-NP、アクティブエリアが $1.25\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ 、入力電流を 10mA、ホール定数が 165.9V/T のホールセンサを使用した。永久磁石(NdFeB)は直径 6mm、高さ 10mm、磁束密度 430mT である。この装置をバルク超伝導体の上に設置し、XY 方向のプロット間隔を 0.5mm、wait time を 0.5 秒でバルク超

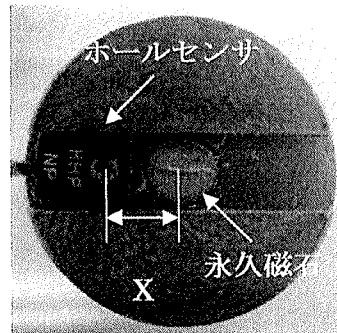


図 2(a) ホールセンサと永久磁石の位置関係

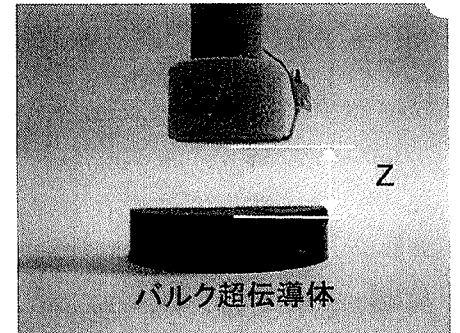


図 2(b) ホールセンサとバルク超伝導体の位置関係

伝導体上をスライドさせ、測定を行った。この時に、ホールセンサ先行で測定する場合と永久磁石先行で測定を行っているため、ホールセンサ先行の値を使用した。ホール素子の中心と永久磁石の中心の距離を $X(5.8 \leq X \leq 7.0)$ 、バルク上面とホール素子までの距離を $Z(0.25 \leq Z \leq 1.0)$ として Magnetoscan の最適状態の検討を行った。使用したバルク超伝導体は直径 45mm、高さ 10.5mm であり、図 3 に示すように半分に分断し、幅 0.8mm、深さ 1.3mm の大きさの切れ目を入れたものを使用した。これは切れ目を入れることで擬似的な欠陥を導入するためである。

4.結果と考察

始めに $Z=0.5\text{mm}$ で固定し、 X を変化させて測定を行った。図 4 は (a) $X=6.2\text{mm}$ 、(b) $X=6.7\text{mm}$ で測定し、目盛間隔を 0.2mT にしたグラフである。そのため、線がはっきりとしている部分は電流密度の差が大きいことを示す。 $X=6.2\text{mm}$ の時、2本の切れ目は確認できるものの、 $X=6.7\text{mm}$ の方が良く確認できた。 $X=5.8\text{mm}$ の結果では右の切れ目が確認できたが、 $X=6.2$ と $X=6.7\text{mm}$ に比べると、はっきりとしたものではなかった。また、 $X=7.0\text{mm}$ では2つの切れ目はほぼ確認することが出来なかった。この結果から、 X の最適値は 6.2mm から 6.7mm の範囲に存在すると思われる。次に $X=6.7\text{mm}$ で固定し、 Z を変化させて測定を行った。図 4(c)は図 4(b)で縦軸が 10mm のところの臨界電流密度分布から算出した磁場を示すものである。このれより、グラフの2つの円で囲まれた位置が切れ目だと思われる。図 5 は $X=6.7\text{mm}$ で $Z=0.25\text{mm}$ のグラフである。 $Z=0.5\text{mm}$ と $Z=0.25\text{mm}$ のグラフを比べる、大きな違いは見ることができなかったが、共に2本の切れ目が確認することができた。しかし $Z=1.0\text{mm}$ のグラフでは切れ目をほとんど確認できなかった。これより、 Z は遠すぎると測定できないことがわかった。 $Z=0.5\text{mm}$ と $Z=0.25\text{mm}$ の時の変化がないのは、ホール素子のアクティブエリアが広すぎたことによるものだと考える。

5.まとめ

本研究では非破壊、かつ、安価に臨界電流密度を測定することができる Magnetoscan の最適条件の検討を行った。 Z を固定して測定をした結果、 $X=6.2\text{mm}$ と $X=6.7\text{mm}$ の時に2本の切れ目を確認できた。この結果から、 X の最適値は 6.2mm から 6.7mm の範囲に存在することが確認できた。 Z については、 $X=6.7\text{mm}$ で固定して測定を行った。 $Z=0.5\text{mm}$ と $Z=0.25\text{mm}$

の時の変化は特に見られなかった。図 6 にアクティブエリアが $0.05\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ のホール素子を使用し、 $X=6.2\text{mm}$ 、 $Z=0.5\text{mm}$ 、 XY 方向に 0.25mm の測定結果を示す。図 4(b)と比較すると、ホール素子の範囲を狭く

することでより良い臨界電流密度分布の測定することが可能である。今

後はアクティブエリアの小さいホールセンサを用いることで他に影響を受けることなく臨界電流密度分布の測定が可能である。また、プロットの幅を 0.5mm から 0.25mm まで小さくすることでより詳細な測定をすることが可能になる。

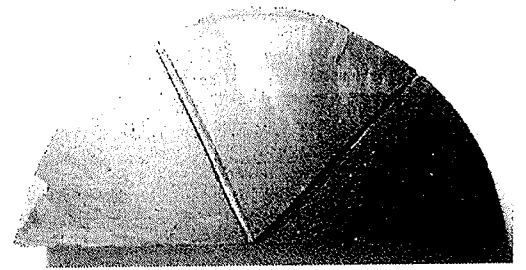


図 3 測定に使用したバルク

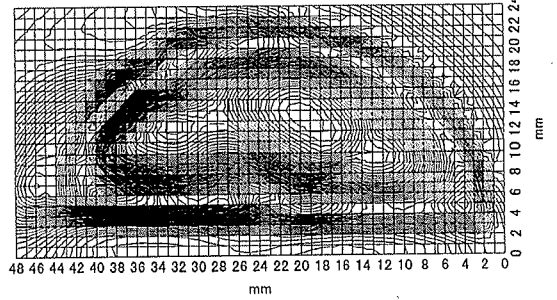


図 4(a) $X=6.2\text{mm}$ $Z=0.5\text{mm}$

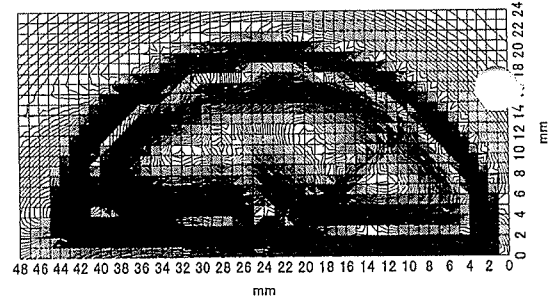


図 4(b) $X=6.7\text{mm}$ $Z=0.5\text{mm}$

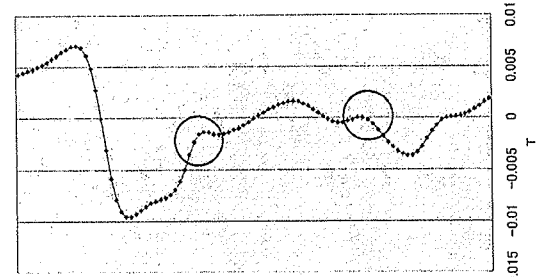


図 4(c) $X=6.7\text{mm}$ $Z=0.5\text{mm}$

縦軸 10mm での磁場

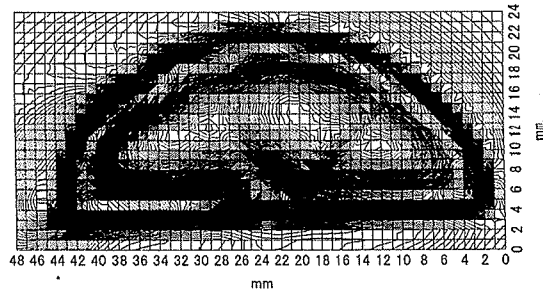


図 5 $X=6.7\text{mm}$ $Z=0.25\text{mm}$

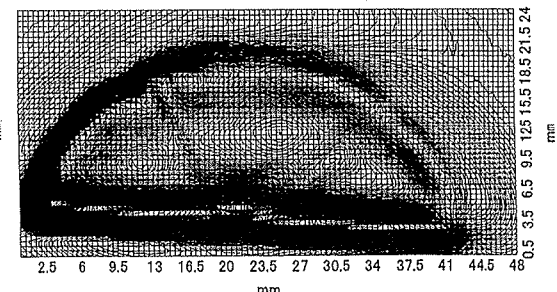


図 6 $X=6.7\text{mm}$ $Z=0.5\text{mm}$
プロット 0.25mm