

外部磁界コイルを備えた高温超電導バルク体を用いた永久磁石の移動

菊池 宏直^{*1}, 石郷岡 猛^{*2}

Magnetic Move of Permanent Magnet on High Temperature Bulk Superconductor using Auxiliary Coil

Hironao KIKUCHI^{*1}, Takeshi ISHIGOHKA^{*2}

(Received March 24, 2006)

1. はじめに

超電導体を用いた磁気浮上は機械的摩擦がなく非接触で移動可能であるためその実用化が期待されている。現在、一般に磁気浮上を行う場合超電導体を浮上させる方法が用いられている。これに対し、本研究では浮上体を永久磁石とし超電導体を地上側に固定している。このため、浮上体を冷却する必要が無く、連続運転時間の制限がない利点が得られる。

一般に、超電導体と永久磁石のみの浮上では最初に決定された浮上位置からその高さを変えることができない。そこで、浮上した永久磁石の位置を調節するためにコイルによる外部磁界を印加することによって、永久磁石の浮上位置を変化させる。その際、コイルによる追加的磁界が強すぎると超電導体と永久磁石間のピンニングがはずれ安定した浮上ができなくなってしまう。本稿では、コイルにより外部磁界を印加したときの永久磁石の振る舞いについて報告する。

2. 原理

本研究の磁気浮上では、まず永久磁石を高温超電導バルク体の上部に近づけ、ある高さで固定した状態で、バルク体を冷却しフィールドクール法によってバルク体を着磁する。

この状態で、コイルによる外部磁界を印加すると永久磁石と超電導体の間の磁界分布が変化する。しかしながら、超電導状態下のバルク体は、初期着磁での磁束分布を維持しようとする性質がある。本手法ではバルク体は

固定してるため、永久磁石が初期位置から変化することによって、バルク体は初期着磁磁束密度分布を維持することになる。これにより、永久磁石は新たな安定した高さに移動する。

3. 実験装置

3.1 酸化物超電導バルク体

Fig.1 に本実験で使用した超電導体を示す。ピン止めの中心となるのが結晶中の不純物(酸化物)、空孔、転位、析出物、結晶粒界などである。寸法 66.6 mm × 20 mm の新日本製鐵(株)製の Gd 系高温超電導体を使用した。

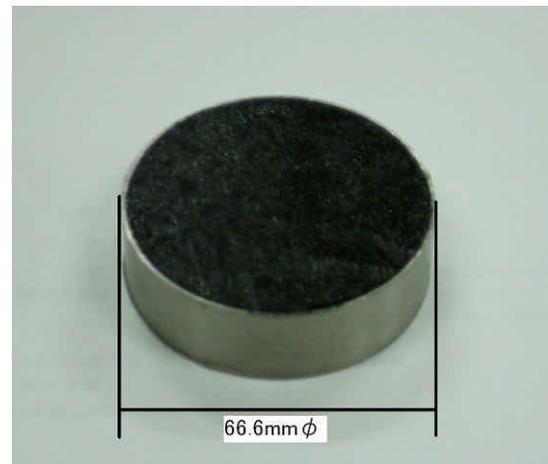


Fig.1: High Temperature Bulk Superconductor

3.2 ネオジム永久磁石

ネオジム永久磁石は直径 40 mm × 10mm で、この磁石を超電導体の着磁および磁気浮上に使用した。この永久磁石の表面磁束密度は約 0.3 T である。

3.3 外部磁界用コイル

コイルの寸法は外径 180 mm 内径 71 mm 厚さ 25 mm で、

*1:成蹊大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程
(dm053205@mserv.cc.seikei.ac.jp)

*2:成蹊大学理工学部エレクトロメカニクス学科教授
(Professor, Dept. of Electrical and Mechanical Engineering)

銅線を用いた。巻数は 1298 ターンで全体の抵抗値は常温で 12 Ω, 液体窒素中(約 73K)では 1.5 Ω である。コイル電流 1 A 当たり発生する磁界はコイルの中心で 136.96[G/A]である。



Fig.2: External coil

4. 実験

4.1 超電導体の着磁

超電導体をコイルの中心にはめ込み、超電導体と永久磁石の間にスペーサをはさんで両者の距離を一定にしておく。その後、液体窒素を徐々に注ぎ外部磁界印加用コイルと超電導体を同時に冷却し超電導体に永久磁石による磁束を捕捉させる。十分に冷却した後スペーサを取り除き永久磁石を浮上させる。(Fig.3)



Fig.3: Levitating permanent magnet

4.2 外部磁界の印加

本実験では浮上している永久磁石の位置を変化させるため外部磁界を印加した。コイルによる外部磁界の印加により、永久磁石が一定の高さまで上昇すると永久磁石と超電導体との間のピンニング力が低下し永久磁石に掛

かる案内力が失われる。これにより、永久磁石は超電導体のマイスナー効果によってはじかれてしまう。(Fig.4)

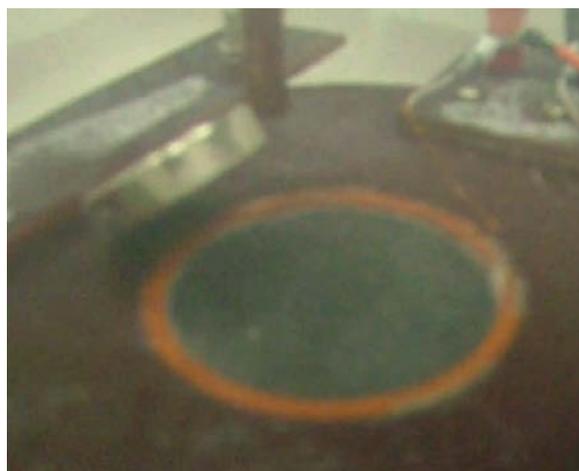


Fig.4: Dislocated permanent magnet

4.3 その後外部磁界を除去した場合の変化

永久磁石がバルク体上からはじかれた後、外部磁界の印加を止めると、ピンニング力が回復し、バルク体上からはずれなかった永久磁石が着磁直後の浮上位置 (Fig.3 の状態) に自律的に戻った。

5. 結論

高温超電導バルク体の周囲に巻いたコイルにより外部磁界を印加していくと、永久磁石の位置が変わらなければバルク体の初期着磁磁束密度分布が変化してしまう。これを一定に保つため、永久磁石の位置が変化、すなわち永久磁石が超電導体から離れる事になる。このとき、永久磁石と超電導体間の距離が離れるにつれてピンニング力は弱っていき、最後には安定して浮上することができなくなり落下してしまう。

永久磁石が落下した後、外部磁界の印加を止めると初期磁束密度分布からの増加分が無くなるので永久磁石と超電導体の間には着磁直後の安定した状態に戻ろうとする力が働き、2つの位置関係は元に戻る。

しかし、このとき落下した永久磁石が超電導体から離れすぎていると外部磁界を止めたあとも元の位置にはもどらず、落下した位置にとどまっている事も確認できた。このため永久磁石の振る舞いには超電導体との位置関係による磁氣的結合力が大きな要因であるといえる。

永久磁石と着磁されたバルク高温超電導体の間には常にバルク体の着磁磁束密度分布が一定になるような力が働く事が確認された。今後は着磁した超電導体を複数用いることで永久磁石を横方向へも移動させる予定である。