

[様式第4号の1]

令和6年 3月 31日

令和5年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	S. C. Lev. 研究グループ	
研究課題名	磁性流体の超伝導浮上に関する研究	
研究代表者 (学生)	学籍番号	B25M016
	氏 名	勝又 咲花
指導教員	学 科	機械工学科
	氏 名	二村 宗男

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

磁性流体の超伝導浮上に関する研究

システム科学技術学部 機械工学科
1年 勝又 咲花
1年 佐々木 郁
1年 澤邊 竜馬
1年 菅原 徳哉
1年 武田 公平

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科
助教 二村 宗男

1. 研究背景と目的

高校で電磁気について学習し、電磁気は様々なところで私たちの暮らしを支えていることを知った。大学で専門的に学ぶようになると、電磁気と関連の強い超伝導や流体分野の磁性流体の存在を知り、興味を持った。詳しく調べると、超伝導は核融合炉や超伝導モーターなどにも利用され、環境問題解決の糸口として注目されていること、磁性流体は回転軸シールやダンパー、スピーカーなどに利用され、世の中に必要不可欠であることがわかった。そこで、超伝導や磁性流体の特徴とその利用例を学び、これら2つを組み合わせることで従来にはないシステムを実現することを目指して、超伝導体と磁性流体の位置や形状の制御について追究し、より理解を深めるため本研究を行った。

2. 実験内容と結果・考察

本研究は以下の3つの事柄について調べた。

2-1. 液体窒素を用いた超伝導浮遊

超伝導状態とはある物質を極低温に冷やすことで電気抵抗が0になることをいう。さらに超伝導状態は磁石の磁力線を捕まえる性質（磁束ピン止め効果）をもつ。これによって超伝導体と磁石間には元の磁場の位置に戻るための復元力が作用し、磁石は超伝導体上に安定に浮上する。はじめにこれを確認するために実験を行った。超伝導体（新日鉄製QMG-GdBaCuO）を断熱容器中に置き、その上にスペーサを介して永久磁石を置く。超伝導体を液体窒素で十分に冷却してから、スペーサを取り除くと、超伝導体から少し間隔を空けて磁石が空中に浮上した。次に磁石を掴んで持ち上げると、磁石の下に距離を空けて超伝導体が浮遊することが確認できた（図1）。その数秒後には気温により超伝導体の温度が上がり、落下した。このように超伝導体を利用して磁石を空中に浮上することが可能であり、浮遊している磁石に磁性流体を吸着することで、浮上する液体というこれまでには研究されたことのない状態を実現できるのではないかと考え、次の実験を行った。

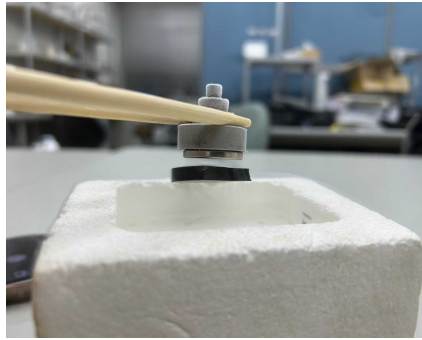


図1 超伝導浮遊（吊り下げ）の様子

2-2. 様々な磁石とヨーク（継鉄）を用いた磁性流体制御

磁性流体に磁石を近づけたときに磁力線の向きに生じるトゲ（スパイク）を抑制し、滑らかな状態が持続しながら超伝導体上に磁石が浮上できるようにすることを目標に進めた。初めに、磁石の材質、形状の違いと、キャップ状のヨークを付けた磁石に磁性流体を付着させ、その様子を観察した。磁石にはフェライト磁石とネオジウム磁石を使用した。等しい大きさのフェライト磁石とネオジウム磁石では付着する磁性流体の量、見た目には違いは見られなかった。キャップ付きネオジウム磁石とは、ネオジウム磁石に磁性体のヨーク（継鉄）が被せられたものである。このキャップ付きネオジウム磁石では下部のスパイク現象を抑制でき、滑らかなものにする事ができた。次に、中央部に穴が開いたリング型キャップ磁石と、キャップ部にフック形状の突起が付いたものを試した。穴の開いたものは、磁性流体の量が多くなると穴の部分の凹みは目立たなくなり、結果的には穴の無いものと変わったところは見られなかった。このことから、磁性流体の量を調整しない限り、形状の変化を顕著に見ることができないことが分かった。フック状のものはフック先端に多くのトゲが確認でき、スパイク現象が見られた。磁力線の向きに従ってトゲは伸びることから、表面積が大きく様々な方向に磁力線が存在するフック形状のものはスパイク現象が顕著に表れると考えられる。

次に磁性流体表面が滑らかになりえそうなヨーク形状を4案設計し、学科の加工場で製作してもらった（図2 上）。材料は鉄であり、下部にネオジウム磁石を付けて磁束を誘導して磁性流体を吸着した様子を観察した。階段状のもの（図2 1番左）は段差の角の部分には多くのスパイクが見られたが、平面部には磁性流体はほとんど付着しなかった。これらから、磁力線が磁性流体に対して平行するところでは磁性流体は付着しにくく、スパイク現象が出にくいことがわかる。円錐状のもの（図2 左から3番目）は円錐面には磁性流体が付着せず、先端部のみスパイクが見られた。しかし、磁性流体の量が一定の量を超えると、先端のトゲとなっていた磁性流体が崩れ、円錐面をつたって下部に付着し下部のみが膨張した。磁石の磁束が円錐に沿って先端部に集中して、円錐面からは磁束が吹き出なかったために磁性流体が付着しなかったと考えられる。他の2種類のヨークにも同様の傾向が見られた。

続いて、フェライト磁石を砕き、その粉碎した物をネオジウム磁石に付けて円錐の形状にしたものに磁性流体を吸着した。この方法は最もスパイク現象を抑制できた。これは砕いたフェライト磁石の集合体内において粒子同士でS極とN極で引き合

うことで、磁力線が外部に漏れることが少なかったためだと考えられる。ただし、フェライト磁石が均等の大きさに粉碎できていないことにより、磁力にムラができたため、目標としている滑らかな状態にはならなかった

これらのすべての実験を通して、磁性流体を滑らかに吸着するためには磁力を残したまま磁力線が磁石から放射されないように調節して制御することが重要であることがわかった。

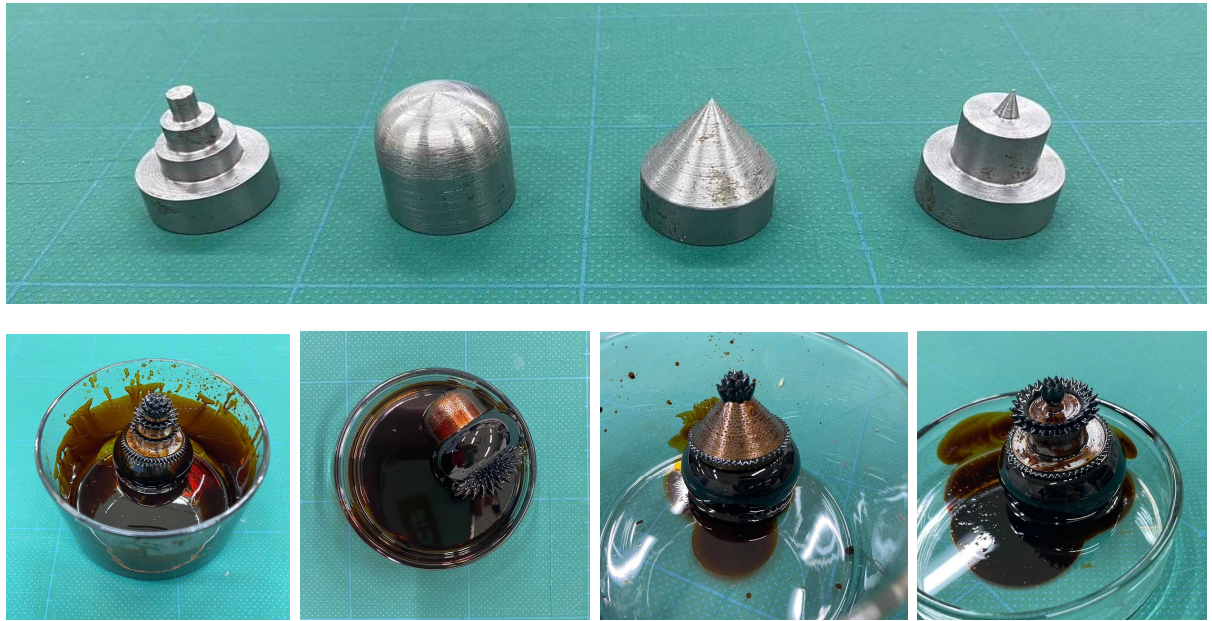


図2 上：製作した形状の異なるヨーク4種類
下：各ヨークを磁石に付けて磁性流体を吸着した様子



図3 粉碎したフェライト磁石を付けたネオジウム磁石

2-3. 磁場の変化による磁性流体の形状制御

磁場の変化による磁性流体の形状の変化を調べた。測定の概要を図3に示す。磁性流体（シグマハイケミカル社製 DS-60, 65.6 g）の入ったシャーレをアルミフレームで組立てた台上に置き、その下方からネオジウム磁石（ $\phi 40\text{mm} \times 10\text{mm}$ ）を近づけてゆく。ネオジウム磁石は高さ調節台（ラボジャッキ）によって鉛直に移動することができる。ネオジウム磁石と磁性流体の距離 L を変化させながら、磁性流体表面のスパイクの数 n と高さ h （シャーレ底面からスパイク頂点までの長さ）を記録した。スパイク数 n は上部から写真を撮影して、スパイク頂点の数を数えた。スパイク高さ h は、細い銅線（非磁性）を磁性流体に鉛直に差し込んで、先端がシャーレ底面に付いたら抜き取り、銅線に付着した磁性流体の長さを測定した。これらの測定結

果を図4に示す。青丸プロットが左軸でスパイクの数，オレンジ色四角プロットが右軸でスパイク高さ h である。スパイクの数は磁性流体とネオジウム磁石の距離が近づいていくにつれて増え，ゼロから $L=64.1\text{ mm}$ では80個にまで増加した。スパイク高さ h も，スパイク無しの状態の 7.7 mm から， 14.4 mm まで大きくなっていくのがわかる。これは磁石が近づくとつれて磁性流体がシャーレ中央部に集まって高くなるのが大きく影響している。また，測定中に複数のスパイクが連鎖的に結合して一時的に数が減ったり，高さが減ったりすることがあった。

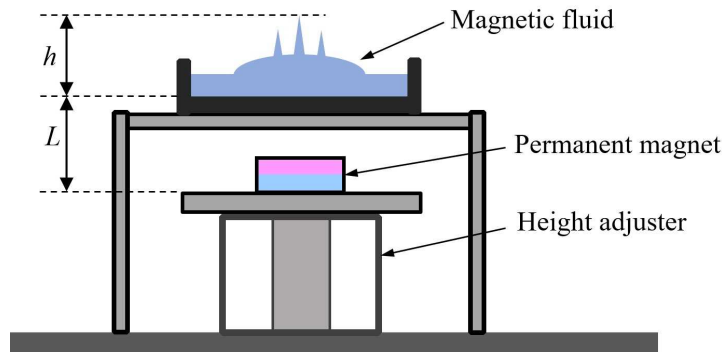


図3 磁性流体スパイクの測定概要

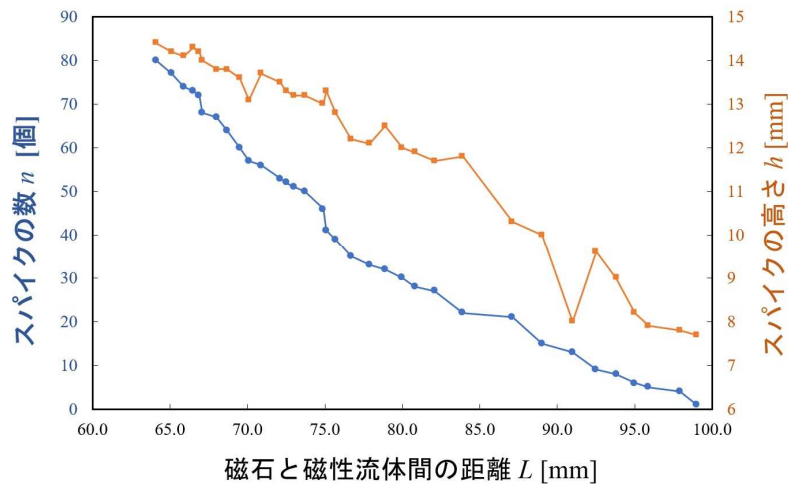


図4 磁石との距離による磁性流体の変化

3. まとめ

本研究を通して，磁性流体のスパイク現象は制御する磁石の形状を変えたり，距離を変更したりすることでスパイクの数や大きさが変化することが確認できた。しかし，当初の目的とした形の磁性流体の浮上を達成するための制御には限界があった。超伝導体の浮遊実験も超伝導状態での必要条件を知ることができた。これらの社会的利用方法についても研究を進めていくことでより理解を深めることができ研究目標である超伝導と磁性流体に関する知識をつけることを達成できた。