

# スポットライト

～第7回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

## GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 超伝導体の減圧下での磁気浮上時間の変化

福岡県立筑紫丘高等学校 3年(2023年3月卒業) 熊井悠介  
九州大学工学府 修士2年(2023年3月修了) 清原悠生  
九州大学工学府 修士2年(2023年3月修了) 原口顕輔

### 1. 緒言

私は九州大学未来創成科学者育成プロジェクトに参加し、大学の先生や先輩方と共に研究を行っています。ロケットや人工衛星などの宇宙開発に興味があり、超伝導体を宇宙開発で応用したいと思っています。超伝導体は、極低温では電気抵抗ゼロに起因して磁石に浮上する性質をもつことから、極低温の真空環境である宇宙で、人やモノを運べる乗り物に超伝導体を応用することができるのではないかと私は考えています。そこで、宇宙空間類似の減圧環境における超伝導体の挙動に注目し、減圧下における磁気浮上時間の変化と大気圧下で超伝導体を走行させるための条件を調査しました。

### 2. 減圧下における超伝導体の磁気浮上時間の調査

本研究では GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 超伝導体(直径 32 mm, 厚さ 3.1 mm)を用いました。GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> は超伝導状態になる温度が約 95 K であり<sup>(1)</sup>、液体窒素冷却で超伝導状態を得ることができます。まずは、減圧下における超伝導体の浮上時間の変化を調べました。

真空ポンプを繋いだ真空容器内に永久磁石を設置し、液体窒素中で 5 分間冷却した超伝導体をその磁石の上面に配置して真空ポンプにて減圧し、浮上時間を計測しました(図 1)。その結果、大気圧下では 42 s であった浮上時間が、約 10 hPa 下では 70 s まで増加しました。減圧下で浮上時間が増加した要因を考察するために浮上中の挙動をスマートフォンで撮影した結果、液体窒素温度の超伝導体によって冷却された空気中の霧が、減圧下ではほとんど発生していないことが明らかとなりました。このことは、減圧下では超伝導体に熱を伝える物質(空気)が減少することを示しており、熱伝導および対流の影響が小さくなることで超伝導体の温度上昇が抑制され、浮上時間が増加したと考えられます。

### 3. 大気圧下における超伝導体の走行条件の調査

より具体的な超伝導体の応用につなげたいと思い、大気圧

下で超伝導体を周回走行させる実験を行いました。本来は、減圧下で周回走行させることを想定していましたが、安定して走行させることが困難であったため、まずは大気圧下で超伝導体を周回させるために必要な条件を調査しました。グローブボックス内に N 極と S 極が周回方向で一列に揃うように配置した永久磁石のレールを作製し(図 2)、以下の手順で調査しました。

- ① 液体窒素温度に冷却した超伝導体をレール上に配置する。重り(0.88 kg~5.8 kg)を用いて超伝導体を磁石に押し付けて超伝導体内に磁束をピン止めする(磁石の磁力線が超伝導体内部へ侵入して磁化するため、超伝導体が磁石の同極上で固定され、浮上した状態のままレール上を走行できるようになる)<sup>(2)</sup>。
- ② 振り子を用いて超伝導体に初速度を与えて走行させる。(振り子の初速度は振り子の高さによって調整する。高さ: 130 mm~170 mm)
- ③ ピン止め用の重りの質量と初速度を与える振り子の高さ、磁石レールの磁石の間隔が超伝導体の周回挙動に及ぼす影響を調査する。

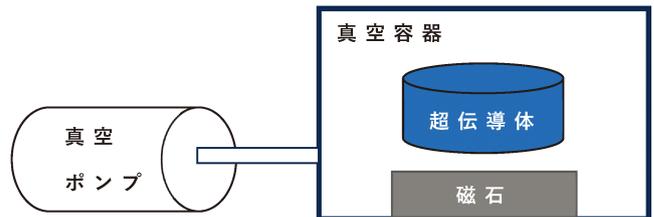


図1 実験のレイアウト。(オンラインカラー)

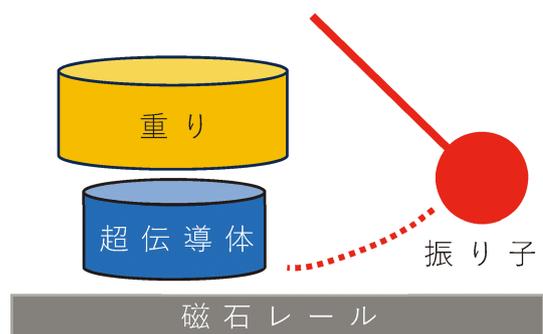


図2 真空容器の内観。(オンラインカラー)

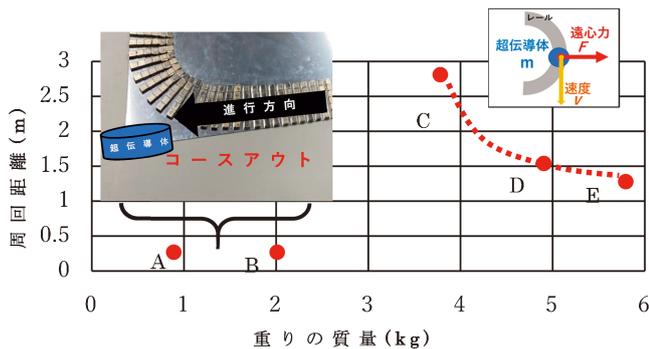


図3 重りの質量と周回距離の関係(A, Bはコースアウト)(振り子の高さは135 mm). (オンラインカラー)

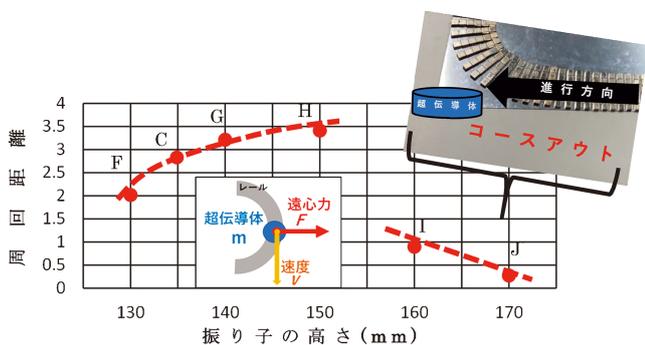


図4 振り子の高さとの周回距離の関係(I, Jはコースアウト). (オンラインカラー)

まずは、重りの質量を変化させて、ピン止め力の影響を調べました。その結果、図3のA, Bでは重りの質量が小さすぎて、超伝導体に侵入する磁力線の数が少なくなってピン止め力が弱まり、コースアウトしてしまうことが分かりました。一方、点DやEではピン止め力が強すぎるため周回距離が伸びないことが示され、与える初速度に応じて適度に超伝導体をコース上でピン止めできた点Cが最も周回距離が長くなることが分かりました。

次に、重りの質量を図3で走行距離が最も長かった点Cの3.8 kgで統一し、振り子の高さを変化させて初速度の影響を調べました(図4)。振り子の高さが160 mm以上ではコースアウトしたことから、 $F = mv^2/r$ ( $F$ :遠心力,  $m$ :超伝導体の質量,  $v$ :コーナーにおける速度,  $r$ :コーナーを円周とする円の中心までの距離)の関係において速度が増加すると遠心力が大きくなり、コースアウトしてしまうと推察されます。また、点F, G, Hではコースアウトせず、振り子の高さ10 mmの違いで周回距離が約0.8 m変化しました。

磁石で直線のレールを作り、走行時の磁石の間隔の影響について調べました。図5のように磁石の間隔が5 mmのときが最も走行距離が長くなりました。磁石の間隔が広いと、磁石と磁石の間に磁力線の隙間が生じて、レール上で磁界が不均質になってしまうため、磁石の間隔が狭いほど安定して長

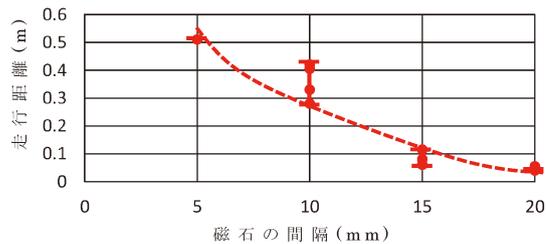


図5 磁石の間隔と走行距離の関係(重りの質量0 kg, 振り子の高さ30 mmで固定). (オンラインカラー)

い距離を走行できることが分かりました。

以上より、「超伝導体の磁束のピン止め力」「走行時の遠心力」「磁石レールの磁界の均一性」が大気圧下で超伝導体を移動させるための重要な条件であることが明らかになりました。

#### 4. ま と め

宇宙空間と類似の減圧環境における超伝導体の挙動に注目し、減圧下における磁気浮上時間の変化と大気圧下で超伝導体を走行させるための条件を、 $GdBa_2Cu_3O_y$ を用いて調査し、以下の結論を得ました。

- 減圧下では大気中よりも伝導および対流に伴う熱移動が起こりにくくなるため、超伝導体の温度上昇が抑制されて超伝導体の浮上時間が増加する。
- 大気圧下で超伝導体を移動させるための条件としては「超伝導体の磁束のピン止め力」「走行時の遠心力」「磁石レールの磁界の均一性」が重要である。

今後は、本研究で得られた周回走行させるための条件をもとに実際に減圧下で走行させ<sup>(3)</sup>、空気抵抗や熱伝導による走行距離の変化について研究を行っていきたくと考えています。当初、超伝導体と宇宙に関連させた研究を行いたく思っていました。先行研究も少なく、減圧下で実験を行うことが予想以上に困難でした。しかし、大学の先生や先輩方と意見を出し合い解決策を見出すことで、研究の楽しさを強く感じる事ができました。また、「高校生・高専学生ポスター発表」では、多くの方からご意見を頂くなど、大変貴重な経験をさせて頂きました。九州大学の寺西 亮教授をはじめ関係者の方々に深く感謝申し上げます。

#### 文 献

- (1) 坂井直道: 超伝導分科会スクールテキスト高温超伝導体データブック, 公益財団法人応用物理学会, (2009), 137-151.
- (2) 高重正明, 勝呂吏湖, 橋本明美, 山口俊久: 明星大学理工学部研究紀要, 52(2016), 5-12.
- (3) 南 展史, 湯山純平: 真空, 38(1995), 1026-1029. (2022年7月13日受理)[doi:10.2320/materia.63.196]