

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560265

研究課題名(和文) 酸化物高温超電導コイルを用いた磁気浮上の基礎研究

研究課題名(英文) Basic study on magnetic levitation system using superconducting coil

研究代表者

小森 望充 (Komori, Mochimitsu)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30195870

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：現在、磁気力を使った浮上方式について様々な研究が行われている。いづれの浮上方式に於いても、電磁石に大きな電流を流すとジュール熱により、巻線が焼き切れてしまうので、発生する力には限界がある。そこで、巻線として超電導コイルを用いることで、ジュール熱を発生を抑え、通常電磁石よりも大きな力を発生させることが可能である。本研究では、超電導コイルの永久電流と、ソレノイドコイルにより、浮上体である永久磁石のワイドギャップでの安定浮上を目指す。本研究では、超電導コイルとソレノイドコイルの基礎評価、浮上のシミュレーション、ワイドギャップ9mmでの浮上特性について評価・検討している。

研究成果の概要(英文)：Superconducting technique is applied to the levitation system. Persistent current in superconducting coil and control current in copper coil are used for levitating object and controlling object, respectively. The system is composed of a superconducting coil, a copper coil, a levitated object, a photo sensor, a PID controller, and power amplifiers. In this paper, basic study on superconducting coil and solenoid coil, and the dynamic characteristics of levitated object are performed. As a result, it is found that the levitated object continues to levitate at a distance 9.0 mm for 15 s. This may be the first trial that superconducting coil is used for magnetic levitation.

研究分野：機械力学，計測制御，機械システム

キーワード：磁気浮上 磁気軸受 超電導浮上 低温工学

1. 研究開始当初の背景

電磁力を使った浮上方式の大半は、電磁石を用いて、その電磁石に流す電流を制御する EMS(Electro Magnetic Suspension)システムである。電磁石に大きな電流を流すとジュール熱が発生し、巻線が焼き切れてしまうなど、その使用には限界がある。そこで、巻線として超電導コイルを用いることで、ジュール損失が無い高電磁力を発生するシステムを作製することが出来ると考えられる。また、超電導コイルに大電流を流すことで通常の電磁石よりも大きな電磁力を発生させることが可能である。風洞試験装置とは、Fig.1 に示すような航空機等の空力性能を評価する装置であるが、非接触支持を実現するために磁気浮上力を用いた装置の研究・開発がなされている[1-3]。

- [1] 澤田秀夫, 低速風洞用 60 cm 磁力支持装置の開発, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 50, No. 580, pp. 188-195, 2002.
- [2] T. Mizuno, D. Sekine, Y. Ishino and M. Takasaki, Proposal of Force Measurement Using Series Magnetic Suspension, ASME 2012 5th Annual Dynamic Systems and Control Conference joint with the JSME2012 & 11th Motion and Vibration Conference, pp. 55-60, 2012.
- [3] Y. Kawamura and T. Mizota, Wind Tunnel Experiment of Bluff Body Aerodynamic Models Using a New Type of Magnetic Suspension and Balance System, *J. Fluids Eng.*, Vol. 135, No. 10, pp. 1-5, 2013.

2. 研究の目的

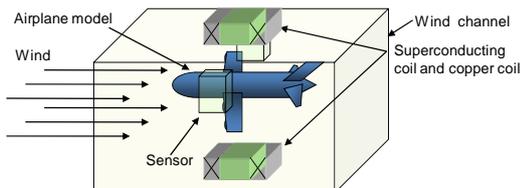


Fig.1 Wind channel test equipment with an airplane supported by a magnetic levitation system

本研究は、風洞試験等への応用を目指した、超電導コイルを用いたワイドギャップ磁気浮上支持装置の開発を目的としている。特に、超電導コイルの永久電流を用いることにより、エネルギー損失無く長時間に渡って高磁場を得ることが出来るという、極めて優れた特性が得られる。今回は、永久電流を含む超電導コイルの基礎特性について報告する。

3. 研究の方法

Fig.2 に磁気浮上支持装置の概略図を示す。液体窒素中に永久電流モードの超電導コイルと、その内側に銅のソレノイドコイルを配置し、永久磁石を2つ搭載した円柱状の浮上体(長さ 100mm)を超電導コイルと銅コイルの下部に配置し浮上させる。こ

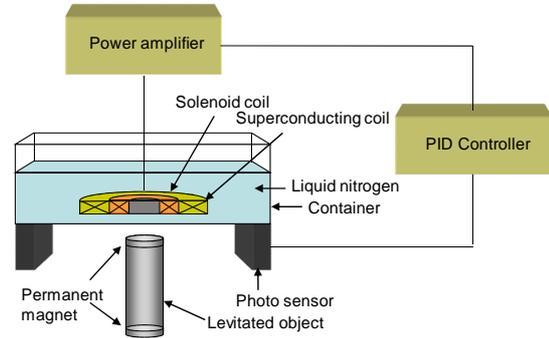


Fig.2 Wind channel test equipment with an object supported by a magnetic levitation system

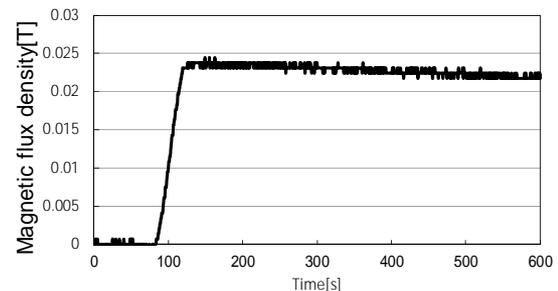


Fig.3 Persistent current mode test, showing the relationship between magnetic flux density and time

のときの超電導コイルと永久磁石間の距離(ギャップ)をフォトセンサにより測定し、PID コントローラにより制御を行い、パワーアンプにより電流を増幅することで、銅コイルの励磁を行う。

超電導コイルに永久電流を励磁し、その時間変化を評価した。永久電流を確認するためにコイル表面での磁束密度を測定した。Fig.3 に永久電流モードの試験結果を示す。励磁電流は 20A で、磁束密度 0.023T に対応している。実験結果から、約 100s で永久電流が流れ始め、約 600s ではさほど変化が見られない。このことから、永久電流を磁気浮上支持に用いることが出来ると考えられる。

4. 研究成果

4.1 吸引力測定

超電導コイルを用いて浮上体との吸引力測定を

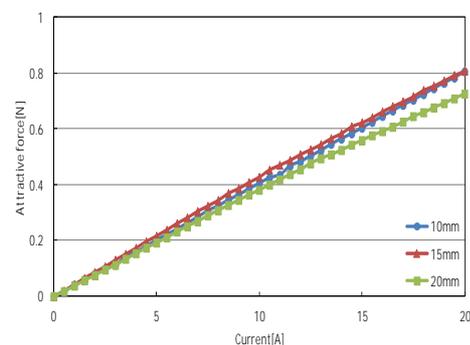


Fig.4 Relationship between attraction force and current

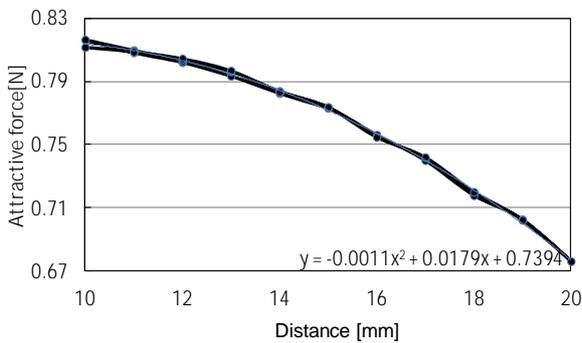


Fig.5 Relationship between attraction force and distance

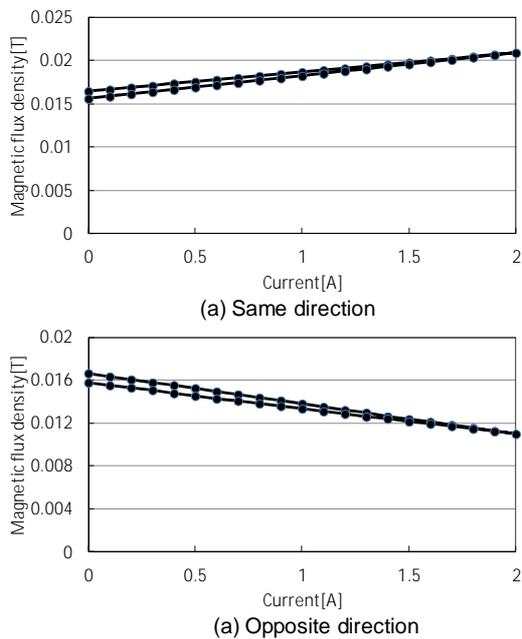


Fig.6 Relationship between magnetic flux density and applied current to copper coil

行った。実験装置には、超電導コイル、浮上体の永久磁石、ロードセル、Z ステージなどを用いた。

超電導コイルと永久磁石のギャップを 10, 15, 20mm と一定としたとき、超電導コイルと永久磁石間の吸引力を測定した結果を Fig.4 に示す。超電導コイルの励磁電流が大きいほど、吸引力も大きくなっている。

超電導コイルに 20A (一定) を通電した状態で、超電導コイルと永久磁石との距離を 10mm → 20mm → 10mm と変化させた時の吸引力を測定する。測定結果を Fig.5 に示す。距離が大きくなるにつれて吸引力が小さくなるのが分かる。また、ヒステリシスが殆ど無いことも分かった。

4.2 超電導コイルと銅コイルの干渉

超電導コイルと銅コイルを併用することで生じる磁束密度の影響について評価を行う。銅コイル上 15mm の位置にホールセンサを配置し、銅コイルに

電流を流す。実験は全て液体窒素中で行った。Fig.6(a)は、超電導コイルに永久電流 15A を通電した状態で、永久電流と同方向に銅コイルを励磁したときの磁束密度を測定した結果を示している。銅コイルの励磁電流は 0A 2A 0A と変化させている。この結果より、励磁電流が増加するに従って、吸引力も増加していることが分かる。また、行きと戻りの同じ 0A で、多少の誤差があり、ヒステリシスが生じている。これは、超電導コイル内での遮蔽電流に何らかの履歴を持つためと考えられる。Fig.6(b)は、超電導コイルの永久電流と逆方向に銅コイルを励磁したときの磁束密度を測定した結果を示している。銅コイルの励磁電流は 0A 2A 0A と変化させている。この結果より、励磁電流が増加するに従って、吸引力は減少していることが分かる。また、行きと戻りの 0A で、多少の差があり、Fig.6(a)と同様ヒステリシスが生じている。これらの結果より、超電導コイルと銅コイルは干渉しているが、それほど大きいものではないことが分かった。

4.3 浮上特性

15mm(容器底面から 9mm)での浮上実験を行った。Fig.7 に浮上時の特性を示す。Fig.7(a)は浮上時の変位データであり、Fig.7(b)は浮上時の制御電流を示している。Fig.7(a)より、3s から 20s にかけて浮上高さ 9mm で安定に浮上しているのが分かる。20s 以降は、振動が激しくなり、落下した。これは浮上体の横揺れが原因と考えられる。また、Fig.7(b)よ

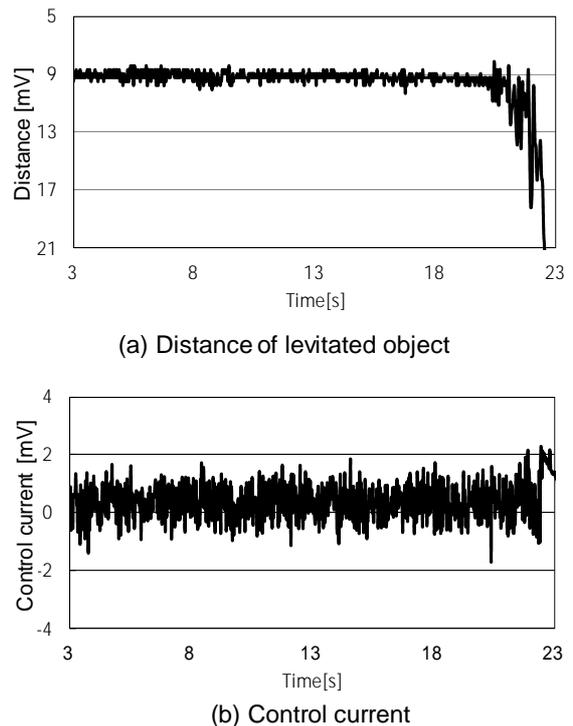


Fig.7 Distance of levitated object and control current

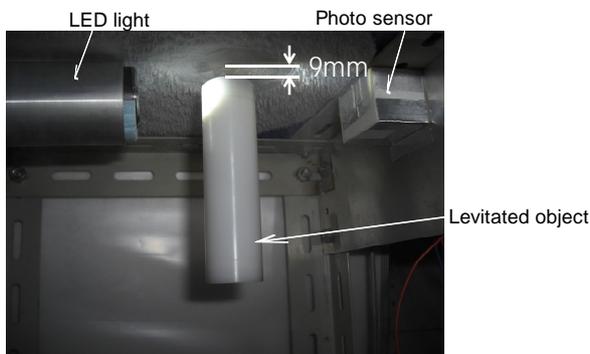


Fig. 8 Photo of levitated object at a distance 9.0 mm from the container bottom surface

り、変位に対して、しっかりと制御できていることが確認できる。Fig.8 に浮上時の写真を示す。写真では、底面から浮上体までの距離を 9mm としている。写真は、Fig.7 の最初の安定な浮上状況に対応している。

4.4 まとめ

超電導コイルと銅コイルを用いた磁気浮上支持装置の提案を行った。超電導コイルの永久電流を用いることで、ワイドギャップ磁気支持装置の開発を目的とした。永久電流モードの試験から、数 10 分程度の永久電流モードの実現は実験室レベルで可能であることが分かった。超電導コイルと銅コイルの磁束密度同士の多少の影響があることが分かった。

超電導コイルと銅コイルとの間に多少の影響があるものの、安定に磁気浮上できることが確認できた。また、浮上時のギャップも 20mm 程度と多少なりとも大きいものであった。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) M. Komori, S. Takase, K. Nemoto, N. Sakai, K. Asami, Positioning on Magnetic Levitation System by Using Superconducting Coil, Proceedings of The 6th International Conference on Positioning Technology (Kitakyushu Int. Conference Center, Kitakyushu, Japan, Nov. 18-21, 2014) pp. 188-192 (査読有).
- (2) M. Komori, S. Takase, K. Nemoto, N. Sakai, K. Asami, Innovative Magnetic Levitation System by Using Persistent Current in Superconducting Coil, 14th International Symposium on Magnetic Bearings (ISMB14) (August 11-14, 2014 Linz, Austria) pp. 616-621 (査読有).
- (3) S. Takase, M. Komori, K. Nemoto, N. Sakai, K.

Asami, Basic Study on Magnetic Levitation System by Using Superconducting Coil, Journals of the Japan Society of Mechanical Engineers, to be published (8 pages) (査読有).

〔学会発表〕(計 6 件)

- (1) 高瀬真吾,小森望充,根本薫,坂井伸朗,浅海賢一,超電導コイルによる磁気支持の基礎的検討(浮上評価)第 27 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD27)(2015 年 5 月 14 日 - 5 月 15 日, 佐世保市・ハウステンボス) pp. 405-406.
- (2) 高瀬真吾,簗田輝,小森望充,坂井伸朗,浅海賢一,超電導コイルを用いた高ギャップ磁気支持装置の研究(1), 第 23 回 MAGDA コンファレンス in 高松 電磁現象および電磁力に関するコンファレンス (2014 年 12 月 4 - 5 日, 高松市・サンポートホール高松) pp. 223-224
- (3) 高瀬真吾,小森望充,根本薫,坂井伸朗,浅海賢一,超電導コイルによる磁気支持の基礎的検討, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2014), (2014 年 9 月 4 日 ~ 6 日, 福岡市・九州産業大学) pp. 1-3.
- (4) 高瀬真吾,小森望充,根本薫,花澤雄太,坂井伸朗,浅海賢一,超電導コイルによる磁気支持の基礎的検討,第 26 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD26)(2014 年 5 月 21 日 - 5 月 23 日, 盛岡市・アイーナ・いわて県民情報交流センター) pp. 156-158.
- (5) 高瀬真吾,坂井伸朗,浅海賢一,小森望充,超電導コイルを用いたワイドギャップ磁気支持装置(4), 日本機械学会九州支部講演会(2013 年 3 月 13 日, 福岡市・九州産業大学) pp.363 - 364.
- (6) 高瀬真吾, 小森望充, 浅見賢一, 坂井伸朗, 超電導コイルによるワイドギャップ磁気支持装置(2), 電気関係学会九州支部連合大会(2012 年 9 月 24-25 日, 長崎大学) p. 531.

〔その他〕

ホームページ等：なし

6 . 研究組織

- (1)研究代表者
小森望充 (KOMORI MOCHIMITSU)
九州工業大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：30195870
- (2)研究分担者
なし
- (3)連携研究者
なし