

卒業論文要旨

磁気浮上を用いた機械試験機の応力印加機構の提案

Proposal for a Stress Applying Mechanism for Mechanical Testing Machines Using Magnetic Levitation

システム工学群

機械システム制御研究室 1240103 土居 菜

1. 緒言

磁気浮上技術は非接触という利点を活かし、様々な産業に広く用いられており、機械試験機にも用いられている⁽¹⁾。特殊環境試験時の従来の機械試験機と磁気浮上を用いた機械試験機を図1に示す。図1(a)に示すように従来の機械試験機は試験片を保持する治具と装置全体がつながっており、接触力を用いることで機械試験を行っている。そのため、真空中や水中といった特殊環境を想定した機械試験を行う場合、試験機全体を特殊環境内に置く必要がある。図1(b)に示すように磁気浮上機構を用いた機械試験機では、試験片と治具のみを特殊環境下に置くことが出来るため、装置の小型化や試験機のカセンサやアクチュエータへの影響を防ぐことが出来る。本研究では、図1(b)に示すような磁気浮上機構を用いて、引張・圧縮、ねじり、曲げ試験を一台で行える試験機の開発を行う。試験装置下部の応力印加のための機構の検討を行う。

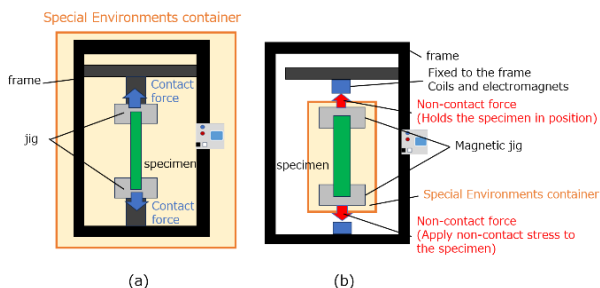


Fig 1 Special Environment Test
(a) Overview of Conventional testing machine
(b) Overview of Magnetic levitation testing machine

2. 実験機の構造と動作原理

2.1 実験機の構造

磁気浮上機構を用いた引張圧縮、曲げ、ねじり試験が可能な機械試験機の概要を図2に示す。試験片とそれを保持するための治具を浮上させる。試験片上部は試験片を保持するための機構であり、試験片下部の機構を用いて応力を印加する。試験片下部の機構を図3に示す。試験片下部の機構は、Z軸

周りのトルク印加機構、水平方向の応力印加機構、垂直方向の応力印加機構の三層に分かれており、それぞれの機構が干渉し合うことを防ぐため、各機構間に非磁性体を挟む。試験片下部の機構を用いて、引張圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験を行うときの、それぞれの動作原理を図4に示す。

2.2 引張圧縮試験機構の動作原理

引張圧縮試験の動作原理を図4(a)に示す。永久磁石と空芯コイル間のローレンツ力により吸引力と排斥力を発生させる。

2.3 ねじり試験機構の動作原理

ねじり試験の動作原理を図4(b)に示す。鉄柱の両端に設置した鉄心コイルがフレーム上を回転することで、鉄柱と鉄心コイル間の吸引力により、試験片を回転させる。

2.4 曲げ試験機構の動作原理

曲げ試験の動作原理を図4(c)に示す。ねじり試験で用いた鉄柱と2本の鉄心コイルの層と、その下に設置した鉄円柱と3本の鉄心コイルの層の2層を用いる。2層の鉄心コイルと鉄柱間にそれぞれx軸方向に逆の力をかけることでトルクを発生させ、曲げ試験を行う。また、治具が中心位置に留まるように、曲げ機構2層目の鉄と3本の鉄心コイル間で3方向からの水平制御を行う。

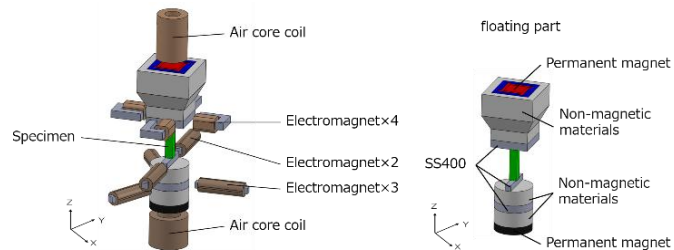


Fig2 Overall

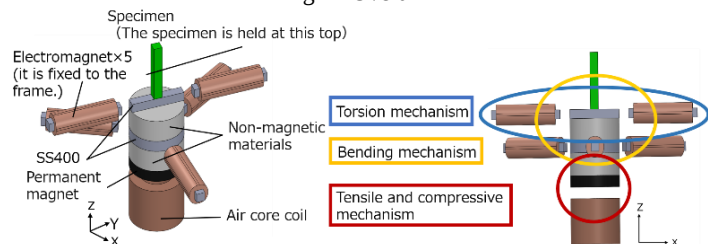


Fig3 Mechanism at the bottom of the specimen

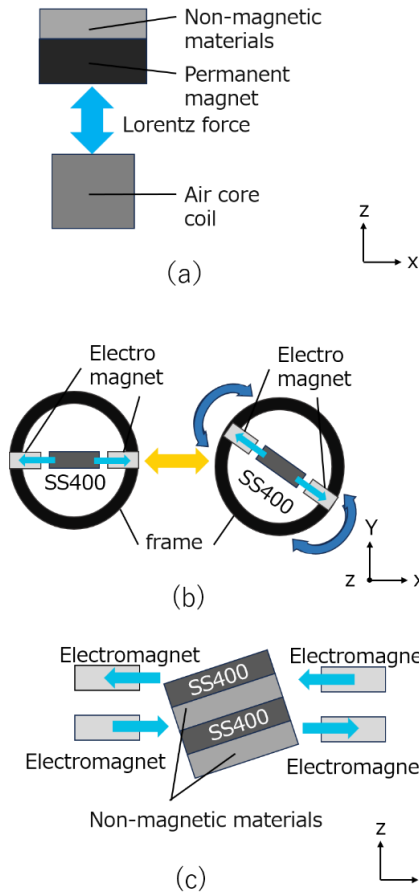


Fig4 Operating principle of each mechanism
(a)Tensile and compressive mechanism
(b) Torsion mechanism
(c) Bending mechanism

3. シミュレーション

MATLAB を用いて水平制御機構に外乱を与えたときの、電磁石と鉄円柱のエアギャップ z を電磁石の電流 i で制御し、安定させることを目的とし、シミュレーションを行った。

水平制御機構では、図 5 のようにコイルを配置した際の並進制御を行う。このとき、coil1, coil2, coil3 と鉄円柱の間に掛かる力をそれぞれ F_1, F_2, F_3 として運動方程式を立てた。

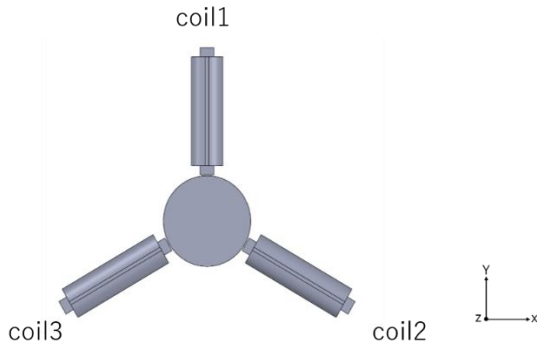


Fig5 Schematic of control mechanism

電磁石と鉄円柱間のエアギャップを z 、鉄心コイルに流す電流を i 、浮上物体の質量を m とするときのプラントモデルを以下とする。

$$\frac{\Delta z_1}{\Delta i_1} = \frac{2k_i}{2k_z - ms^2} \quad (8)$$

k_i と k_z はそれぞれ電流係数と変位係数である。平衡状態 $F_{0(i_0, z_0)}$ を $i_0 = 4(A)$, $z_0 = 0.8(mm)$ と定義し、PD 制御器を用いてエアギャップ z の位置制御のシミュレーションを行う。1 秒後に Y 方向に 0.3mm のステップ外乱を与え、そのときに設定したパラメータを表 1、結果を図 6 に示す。

$m[kg]$	$z_0[mm]$	$P[A/m]$	$D[As/m]$	$k_i[N/A]$
0.403	0.3	63.3	1.76	13.7

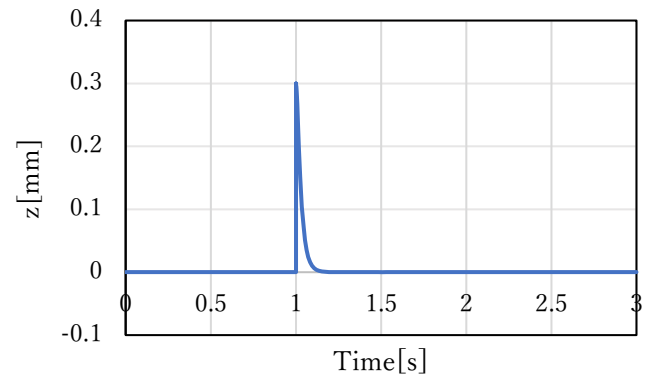


Fig6 Simulation results

図 6 より、1 秒にステップ外乱を加えたとき、定常値に収束する整定時間が 0.1[s]であるのに対し、ステップ外乱に対するオーバシュートが 5%以内であるため、Y 方向の変位 z の安定性を維持するためには十分な結果であると言える。X 方向の水平制御機構に関しても同様にシミュレーションを行い、それぞれのゲインなどのパラメータを求めた。

文献

- (1) N. Tada and H. Masago, "Remotely-controlled tensile test of copper-cored lead-free solder joint in liquid using permanent magnet", Proc. IMPACT, pp. 186-189, Oct. 2013.
- (2) Ren, Mengyi, and Koichi Oka. "Design and analysis of a non-contact tension testing device based on magnetic levitation." IEEE Access 10 (2022):19312-19332.
- (3) Ren, Mengyi, and Koichi Oka. "Design of a Non-contact Bending Testing Device using Magnetic Levitation Mechanism." IEEE Transactions on Industrial Electronics (2023).
- (4) Ren, Mengyi, and Koichi Oka. "Design of a Non-contact Torsion Testing Device Using Magnetic Levitation Mechanism." Actuators. Vol. 12. No. 4. MDPI, 2023.
- (5) Takenori Suzuki and Koichi Oka. "Magnetic levitation mechanism for non-contact materials testing machine." MoViC2024 & APVC 2024