

磁性エラストマーを用いた足踏みハプティックデバイスのための磁場印加法 の実験的検討

Experimental examination for applying method of magnetic field on magnetic elastomer for foot haptic device.

○天野健人*, 増田恭伸*, 菊池武士*, 三俣哲*, 大堀優*

○Kento Amano*, Yasunobu Masuda*, Takehito Kikuchi*, Tetsu Mitsumata*, Suguru Ohori*

*山形大学

*Yamagata University

キーワード: 磁性エラストマー (Magnetic-field sensitive elastomer), ハプティックデバイス (haptic device),
バーチャルリアリティ (Virtual Reality), 歩行(walking), 足裏(sole)

連絡先: 〒992-8510 米沢市城南4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学科 菊池研究室
菊池武士, Tel.: (0238)26-3892, Fax.: (0238)26-3892, E-mail: t_kikuchi@yz.yamagata-u.ac.jp

1. 諸言

近年の高齢化社会に伴い、高齢者の生活の質(QOL:Quality of Life)の向上は重要な課題となっている。原田ら¹⁾の高齢者の生活習慣における調査において高齢者の余暇活動に関するアンケートが実施されており、男女ともに1位は「旅行」、2位は「歩行」となっており、自発的な歩行運動が関連している。近年、ワイヤ駆動系²⁾やリンク機構³⁾を用い、足底へと力覚提示する歩行シミュレータの開発がなされている。しかしながら、これらの機構は大掛かりなシステムであるため一般家庭において使用するのには困難である。そこで我々は、家庭での簡易な使用が可能であり、足底部へ力触覚を提示可能な歩行シミュレータの開発を目標とする。本研究では、足踏みハプティックデバイスに使用可能な程度に小型である新規の圧力提示デバイスの開発を目的とする。具体的には、靴で外部環境を歩行した時の足底部の力感覚を、室内でこのデバイスを使用したときに再現する。本研究では機能性材料の一種である磁性エラストマー⁴⁾を用いたデバイス開発を目指す。磁性エラストマーには、外部磁場によってその粘弾性が調整できる特徴がある。また本研究では、磁場を印加することで磁場方向に伸びる磁性エラストマーの伸縮性の特性⁵⁾を活かし摩擦力の制御にも応用する。

本稿では、ピンを用いたデバイスで考えられる力触覚制御法の提案、その検証実験を行い、今後のデバイス開発に有効と思われる制御法を考察する。

2. 磁性エラストマー

磁性エラストマー(Magnetic-field sensitive elastomer(以下 MSE))とは、近年開発された新しい機能性材料の一種である。この材料は非磁性エラストマーに磁性材料を混合した混合物であり、MSE 内部の磁束密度によってその粘弾性を変化させる特性を持つ。従来の MSE はその弾性率変化が精々数倍であったが、近年、三俣ら⁴⁾は100倍を超えるせん断弾性率変化を示す MSE を開発しており、スマート構造、ハプティックデバイス等、実用的な研究課題への応用が期待されている。本研究で使用した MSE 作製のため、ポリオールに触媒とジイソシアートを添加し、磁性微粒子であるカルボニル鉄を分散させた。仕込みの磁性微粒子濃度は70wt%と80wt%である。これを鋳型に流し込み100℃で2時間半硬化させることで作製した。なお、磁場無印加時の MSE の貯蔵弾性率は6.45kPaである。

3. MSE とピンを用いた力触覚制御法

複数のピンを介して足裏への圧力を部分毎に提示するデバイスの開発を行う。ピンでの提示圧力を MSE で制御する4種類の方法を提案する。まず、ピンの反力提示に使用する力の種類として、MSE をピンの直下に配置し MSE の弾性力の変化を利用する方法、MSE をピンの側面に配置し、摩擦力を利用する方法の2種類。また、磁場印加法の種類として、磁場流れ横向き、縦向きで2種類が考えられる (Fig.1)。以降、反力提示に弾性力

を使用するものを A, 摩擦力を使用するものを B, 磁場を横向きに印加するものを I, 縦向きに印加するものを II とし, 制御法をそれぞれ A I, A II, B I, B II とする. 尚, B II 制御法によるデバイスは, 可能性はあるが MSE の変形が逆応答になるため (Fig.2) 今回は検討していない.

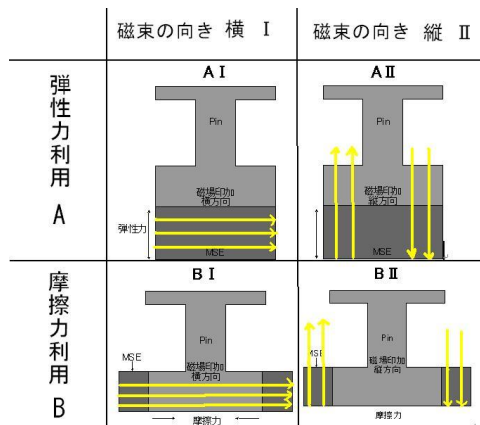


Fig. 1 ピン制御法

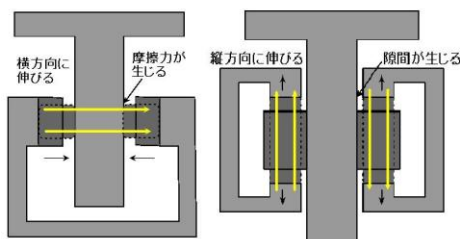


Fig. 2 摩擦力メカニズム

4. AII デバイス性能評価

4.1 評価方法

AII の検証装置として, プロトタイプ 1⁶⁾ に用いた電磁石 1 を使用し, MSE とピンを設置したもので AII の検証を行った. デバイスの構図を (Fig.3) に示す. 使用した MSE のサイズは厚さ 10 mm, 直径 20 mm の直円柱である. 磁気回路の材質は S400 である. また, MSE 上にピンを設置する形状場合では, ピンの底部形状及び材質が MSE の変形及び内部磁束密度分布に影響を与える. よって, MSE 上に材質, 形状の異なるピンをのせ, MSE の変位とピンへの反力を測定し, 最大反力を提示するピンの評価も行った.

ピンの材質は SS400, SUS304, A2017, アクリル樹脂の 4 材質を使用した. ピンの形状は直径 20 mm, 厚さ 20 mm の円柱. 底部の形状に差異があり穴なし, φ8 mm 深さ 8 mm の穴空き, φ14 mm 深さ 5 mm の穴空きの 3 形状 (それぞれ, 以降 Normal ピン, φ8 穴ピン, φ14 穴ピン) を用意した (Fig.4). 使用した電磁石の詳細を Table .1 に, 磁場解析の結果を Table .2 に示す.

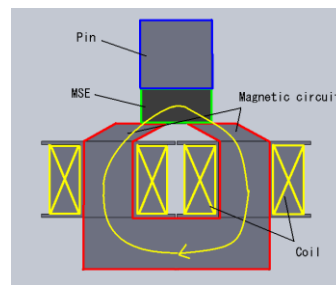


Fig. 3 プロトタイプ 1 断面図

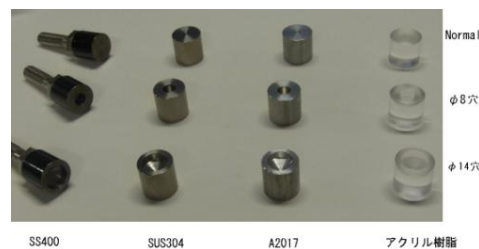


Fig. 4 使用ピン

Table. 1 電磁石 1 仕様

巻数	840
導線全長抵抗[Ω]	11.4
導線直径[mm]	0.40 (被覆込で 0.45)
最大電流[A]	1.0
内寸法[mm]	16.0
外寸法[mm]	33.0
高さ[mm]	20

Table. 2 AII 70wt%MSE 磁場解析結果

ピン材料	SS400	非磁性材
最高磁束密度[T]	0.69	0.63
平均磁束密度[T]	0.30	0.29

4.2 試験結果

AII 検証試験として, 小型引張試験機 (AIKOHENGINEERING, MODEL-1840, 最大荷重:50 kgf) を用いて, 磁場の印加, 無印加時それぞれの変位 0.5 mm 刻みで 0.5~5.0 mm 時の反力を測定した. 結果を (Fig.5, 6) に示す. 実験はそれぞれ 3 回測定し, 結果はその平均で表した. 材質の比較として, Normal ピンの磁場有時反力と磁場無時反力の差と MSE の変位での, 変位反力差線図を示した (Fig.5). 形状の比較として, 材質比較の結果最も反力差の大きいアクリル樹脂での形状比較を行った. ピンの 3 形状それぞれの磁場有無での反力差と MSE の変位での変位反力差線図を図示した (Fig.6). 磁場有り時最大反力はアクリル樹脂製 Normal ピンが最も高く 13.57 N, 磁場有り無しでの最大反力差も同ピンの変位 5.0 mm 時 6.54 N であった.

一方磁場解析の結果、最も MSE 内平均磁束密度の高かった SS400 製 Normalpin だが最大反力は 11.87 N、最大反力差は変位 4.5 mm 時の 1.86 N と低い値となった。これは実験時、MSE とピンの接触前に引張試験機が引力を検知していたことから、SS400 製ピンが電磁石に引き寄せられた結果、反力が小さくなったと推測できる。

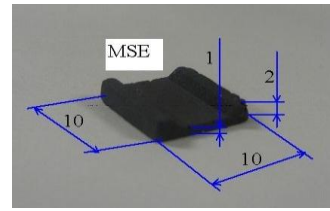


Fig. 7 使用 MSE

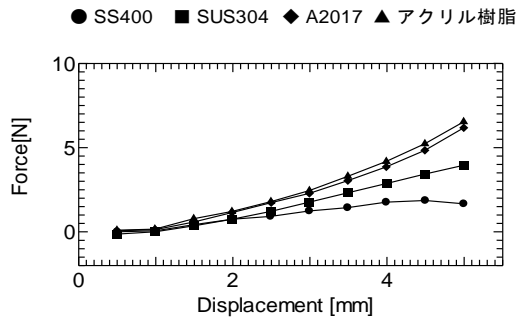


Fig. 5 材質比較用変位反力差線図

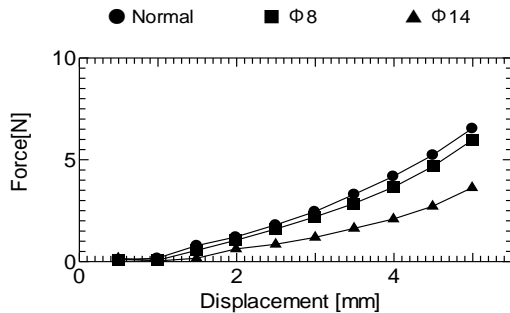


Fig. 6 形状比較用変位反力差線図

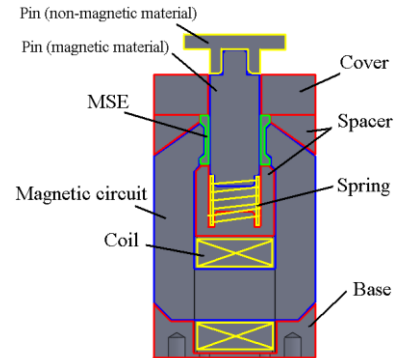


Fig. 8 プロトタイプ 2 断面図

Table. 3 電磁石 2 仕様

コイル巻き数	407
導線抵抗[Ω]	3.71
導線直径[mm]	0.40(被覆込で0.45)
最大電流[A]	1.0
内寸法[mm]	22.0
外寸法[mm]	11.0
高さ[mm]	15.0

Table. 4 B I 磁場解析結果

使用 MSE	70wt%	80wt%
最高磁束密度[T]	0.75	0.88
平均磁束密度[T]	0.46	0.55

5. B I デバイス性能評価

5.1 評価方法

B I 検証装置として摩擦力を利用したプロトタイプ 2 とそれに使用する電磁石 2 の設計と開発を行った⁷⁾。MSE を Fig.7 に示す。デバイスの構造を Fig.8 に示す。MSE は磁性微粒子濃度 70wt%、80wt% の 2 種類用い、サイズは縦横 10 mm、厚さは薄い部分が 1 mm、厚い部分で 2 mm である。ピンは、一辺 20 mm、厚さ 3 mm の直方体の提示部と一辺 10 mm、長さ 25 mm の直方体の支持部から成る。C 型磁気回路でピン両側面に配置した MSE を挟み込み、コイルで磁場を発生させる。圧力提示部位の縦方向の変位制御にはバネを用いて最大変位は 5 mm とした。電磁石の詳細を Table .3 に示す。C 型の磁気回路、MSE と接触しているピンの材質は SS400 である。磁場解析の結果を Table .4 に示す。

5.2 試験結果

B I 試験として、フォースゲージ(日本計測システム株式会社製 HANDY FORCE GAUGE HF-50) と手動縦型スタンド(日本計測システム株式会社製 JSV-500H(D))を用いて A II と同様に反力を測定した。性能試験の結果を変位-反力の線図として Fig.9 に示す。磁場有り時の最大反力は MSE 磁性微粒子濃度 80wt% で 3.27 N、70wt% で 1.77 N、最大反力差は 80wt% が変位 5 mm の時 1.73 N、70wt% が変位 2.5 mm の時 0.37 N であった。

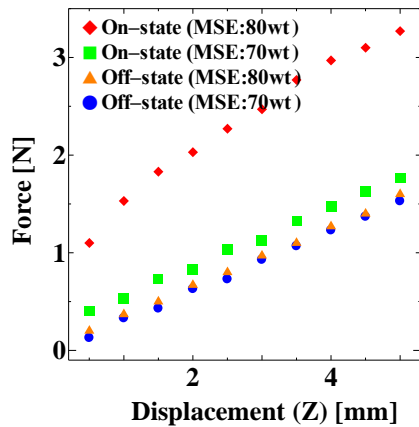


Fig. 9 B I 変位反力線図

6. 考察

A II では、磁性材を用いると電磁石による磁気吸引力が生じ、ピン自体が電磁石方向に引っ張られ提示反力の減少を招くことが分かった。一方、非磁性材ピンは磁気吸引力の影響を受けず MSE の弾性変化を反力に反映出来た。また、磁場解析の結果からも分かる通り MSE 内部磁束密度に、磁性材と非磁性材のピンでの大きな差は無く、結果として非磁性材のピンの方が最大反力、反力差共に大きな値となった。

しかし、弾性力を利用しているため、デバイスの低変位時に反力差が低いという課題も残る。

B I では発生した反力差は小さいものの、反力提示に MSE 摩擦力とバネ弾性力を使用しており、デバイスを小型化しつつ大きな反力を与える可能性が有る。また、デバイスの低変位域においても反力差が生じている。

現在の B I デバイスでは、MSE の最適な厚さギャップや形状が判明していない。よって、MSE のギャップの変更し磁束密度を変化させる、ピン側面に凹凸を付け摩擦力を強化する、バネを変更する等の試みを行っていく。一例として、MSE のギャップを 1.0 mm から 0.5 mm に変更した磁場解析の結果を記載する (Table .5) (Fig.10)。摩擦力は MSE からの磁気吸引力に比例し、磁気吸引力は MSE の接触面磁束密度の 2 乗に比例する。よって、このギャップ変更によって摩擦力は平均 78% の上昇が見込める。

Table. 5 ピンと MSE 接触面の磁束密度

MSE80wt%	GAP1.0 mm	GAP0.5 mm
最高磁束密度[T]	0.74	1.04
平均磁束密度[T]	0.60	0.80

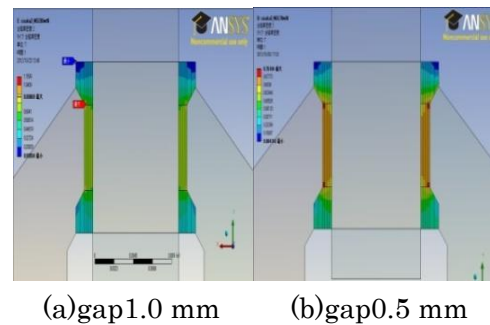


Fig. 10 ANSYS 磁場解析図(a)(b)

7. 結言

本研究では、VR 歩行に使用する足踏みハプティックデバイスの制御に使用する磁場印加法の検証を行い、制御法の考察を行った。

謝辞

本研究の一部は、カシオ科学振興財団、総務省 SCOPE の助成を受けて実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 原田隆, 加藤恵子, 小田良子, 内田初代, 大野知子, "高齢者の生活習慣に関する調査(2)-余暇活動と生きがい感について-", 名古屋文理大学紀要, 第 11 号, pp.27-33, 2011.
- 2) Simon Perreault and Clement M. Gosselin, "Cable-Driven Parallel Mechanisms; Application to a Locomotion Interface," Journal of Mechanical Design, Vol. 130, Issue 10, pp. 102301-102308, 2008.
- 3) Henning Schmidt, "HapticWalker - A novel haptic device for walking simulation," Proceedings of Eurohaptics 2004, pp. 60-67, 2004.
- 4) Tetsu Mitsumata, Suguru Ohori, "Magnetic polyurethane elastomers with wide range modulation of elasticity", Polymer Chemistry, Vol.2, pp.1063-1067 (2011)
- 5) T.Mitumata, Y.Horikoshi and K.Negami,"High-Power Actuators Made of Two-Phase Magnetic Gels"Jomal of Applied Physics, Vol.47, No.9, pp7257-7261, 2008
- 6) 増田恭伸, 菊池武士, 小林慧吾, 三俣哲, 大堀優, "磁性エラストマーを用いた力触覚提示デバイス(MSED)に関する研究", 日本機械学会 2011 年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集 (DVD), 1P1-C04 (2011.6, 岡山).
- 7) Yasunobu Masuda, Takehito Kikuchi, Wataru Kobayashi, Tetsu Mitsumata, Suguru Ohori, Design of Unit for Haptic Device on Foot, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, in press (2012)