

# 磁界変化を用いた 1 次元触覚提示デバイスに関する一検討

田中 久範<sup>\*1</sup> 伊藤 弘大<sup>\*1</sup> 伊藤 雄一<sup>\*1</sup>

## A Study of One-Dimensional Tactile Presentation Device Using Magnetic Field Change

Hisanori Tanaka<sup>\*1</sup>, Kodai Ito<sup>\*1</sup> and Yuichi Itoh<sup>\*1</sup>

**Abstract** - In computers, there are many interactions with one-dimensional operations such as scrollbars. However, these actions do not provide tactile feedback, making precise manipulation difficult. The development of a tangibles user interface has made it possible to manipulate information in the information space using natural objects, which is intuitive and easy for humans to understand and operate. In this study, we propose a system that enables users to experience the weight or lightness of information by changing the magnetic field using a coil and a neodymium magnet, compared to one-dimensional movement on a computer. In this paper, we investigate how much tactile sensation we can experience by using a coil and a neodymium magnet.

**Keywords** : magnet, magnetic field, haptic and tactile device

### 1. はじめに

現在スマートフォンを含む多くのコンピュータが普及し、約 9 割の人がコンピュータを利用している[1]。スマートフォンなどのコンピュータでは、例えばスクロールバーやシークバーのような 1 次元方向の操作をするインタラクションが多く存在している。しかし、それらの操作には、画面からの力覚的なフィードバックがないため、スクロールバーを止めたい場所やカーソルを合わせたい場所に移動する際、的確な操作が難しい。そこで、1 次元インタラクションを簡単にするために Pseudo-haptics をはじめとした、重さや摩擦、凹凸など触覚情報を視覚的に付加する研究が行われている。このように、1 次元の操作に対し触覚情報を付加することで GUI をより直感的に使う方法はさまざまに提案されている。

一方で、実物体を用いて情報空間の情報を操作することができるタンジブルユーザインタフェースの研究も活発に行われている。例えばスタイラスやコントローラなどは、実物体を使って操作することで直接画面に触れることができるため、人間にとって直感的で分かりやすく操作方法が理解しやすいという利点がある。

スクロールバーやシークバーなどの 1 次元インタラクションに対して、実際の触覚としてフィードバックをかけることができれば、ユーザインタフェースの操作方法を直感的に理解でき、かつ 1 次元インタラクションに強弱をつけることができると考えられる。そこで、本研究では、電磁石とネオジウム磁石を用い、電磁石の磁界を変化させることで、1 次元インタラクションに対し触覚情報を反発力と吸引力として提示可能なシステムを提案す

る。

本稿では、デバイスの概要、電磁石とネオジウム磁石を用いたデバイスの構成、デバイスが提示可能な力について述べる。

### 2. 関連研究

#### 2.1 1 次元方向に対する触覚提示に関する研究

触覚フィードバックの提示は、直感的な理解を促すことができるため、情報提示のための重要な要素となっている。ここでは、本研究と関連の深い、1 次元方向に対する触覚提示デバイスについて紹介する。ピンを用いたディスプレイでは、ピン一つ一つにアクチュエータをつけ、その高さを制御することで 1 次元方向に対する触覚フィードバックを提示している[2, 3, 4]。岩田らが開発したピン型ディスプレイ FEELEX[2]は、作動するピンディスプレイの表面に映像を投影し、CG に触感を与えることを目指している。Nakagaki らの提案した inFORCE[3]では、ピンを用いて、入力した力の再現を行っている。例えば、物体の硬さや形をスキャンし、スキャンした物体の形状や弾力性の再現を実現している。さらに、Materiable[4]では、柔軟性、弾性、粘性の 3 つの特性を、ピンベースのディスプレイで再現している。固体や液体をディスプレイ上に投影して、固体や液体にみられるへこみや波の伝達のような感触を、ピンの 1 次元移動(上下移動)で表現している。

しかし、これらのシステムはピンの配列を用いて形状ディスプレイを作成しているため必要なアクチュエータの数が多く、システムが複雑で高価であり、また多くの電力を消費してしまう。

\*1: 青山学院大学 理工学研究科

\*1: Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

## 2.2 磁界を用いた触覚フィードバック

触感を提示するデバイスに関する研究の中でも、磁界を利用した研究は、デバイスをユーザの身体に装着する必要がないものが多く、ユーザへの負荷が低い。そのため、磁界を利用したユーザへの負荷が低いインタフェースの研究が盛んに行われている。磁界を用いた研究には磁石のみによる触覚提示や磁石やコイルを用いた触覚提示のようにさまざまな方法がある。Ogata の提案した Magneto-Haptics[5]は、複数の小さな磁石を用いて、触覚を提示している。Magneto-Haptics では、磁石が埋め込まれ、固定されたオブジェクト上で、磁石を埋め込んだ別のオブジェクトを直線的に移動させた際の触覚フィードバックを、「高さ」のメタファを利用して可視化している。この研究では、オブジェクトに埋め込んだ磁石の大きさや向きを変えることで、4 つのパターンの触覚フィードバックを提示し、これらに対するフィードバック力の可視化が適当であるかを評価している。また Evan らの提案した shiftIO[6]では、磁石と電磁石アクチュエータを利用し触覚を提示している。電磁石で反発と吸引を切り替えることにより磁石を移動させ触覚提示を行っている。この研究では触覚フィードバックが主目的であり、ユーザの指先に大きな力を加えることは目指していない。

本研究ではネオジウム磁石と電磁石を用いることで簡素な機構にし、また先行研究と比べ指の 1 次元位置を制御できる程度の大きな力覚フィードバックを出力することを目指す。

### 3. 磁界変化を用いた 1 次元触覚提示デバイス

#### 3.1 デバイスの概要

本研究では、磁界を利用した 1 次元インタラクションでの触覚フィードバックの提示を目的とし、ネオジウム磁石と電磁石を用いたデバイスを提案する。ネオジウム磁石は、ネオジウムや鉄、ホウ素を主な原料とする、磁束密度が高く、非常に強力な磁力を持っている磁石である。磁石の磁束密度が高いほど生成可能な触覚フィードバックの力の最大値は大きくなるため、磁石の中でも磁束密度の高い、ネオジウム磁石を使用した。電磁石は電氣的に制御可能であるため、状況に応じて触覚フィードバックを切り替えることができ、また電流の大きさを制御することで磁束密度を変化させることが可能である。そこで本研究では、直流電流を流したコイルと磁石との間に発生する磁力を利用して、触覚フィードバックを生み出すデバイスを提案する。

提案するデバイスは、図 1 に示すように、コイルを筒状の物体に巻き付けて複数配置し、これらのコイルに直流電流を流すことで、筒の内部に磁界を発生させる。ユーザは磁石を先端に付けた棒（以下磁石棒）を持ち、筒の中に入れ、その磁石棒を押し引きするといったものである。これにより、ユーザは把持している磁石棒を通し

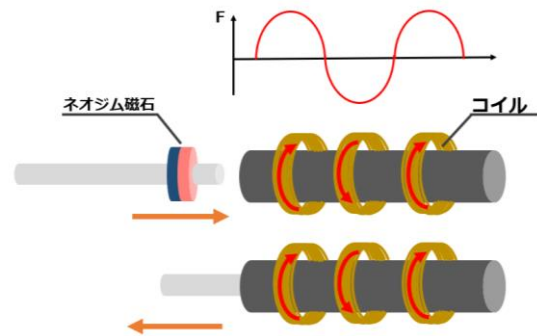


図 1 デバイスの概要



図 2 予備実験の様子

て触覚を感じることができる。さらにこの時、それぞれのコイルに流す電流の向きや大きさを制御することで、筒内部の磁界のパターンを変化させ、ユーザに与える触覚フィードバックも制御できると考えられる。

#### 3.2 予備実験

デバイスでどのくらいの反発力・吸引力を提示すれば人が感じるのかという力覚の閾値を予備実験として調査した。実験方法としては、参加者に図 2 のように自然にフォースゲージに接続した棒を把持してもらい、少しずつフォースゲージごと棒を下げていき、実験参加者が棒の降下に気づいた時点でボタンを押下してもらい、反応速度を考慮し、ボタン押下時の 0.2 秒前から 1.2 秒前の 1 秒間に加わった力の平均値を記録した。このとき、実験の経過時間から棒の降下を推測できないように、測定開始から刺激開始までの時間を  $5 \cdot 10 \cdot 15$  秒でランダムに提示し、1 秒あたり 0.01 mm の速度で棒を下に降ろし刺激を与えた。このとき、指の位置が変わると加わる力が変化してしまうため、高さ 50 mm の台の上に指を置いて固定してもらった。測定の結果、棒を把持したときの反発は 0.25 N 以上の力が加わったときに識別できることが分かった。

本実験に使用する電磁石、ネオジウム磁石に必要なパラメータはコイルに流れる電流値、巻き数、磁石のサイズからなる。本実験で用いた磁石は視覚的に見やすい大き

さのΦ25 mm 高さ5 mmのN40ネオジウム磁石を使用した。またこの磁石を用いたときの磁力変化が起りやすい巻き数として200回を採用した。

#### 4. 実験

##### 4.1 実験概要

ユーザは把持している磁石棒から反発や吸引といった触覚を得る。この反発や吸引の力は電流値や磁石とコイルとの距離に関係していると考えられる。この関係を調査するために、図3のようにフォースゲージを用いコイルと磁石の距離を変化させ磁石に加わる力の大きさを測定する実験を行った。

実験手順としては、フォースゲージの先端に磁石を取り付け、台座に固定した200回巻きのコイルに向かってフォースゲージを1 mmずつ降下させ、その時点での力を記録した。計測は5回行い、その平均値を算出した。なお、磁石とコイルの距離はコイルの表面から上下に50 mmから-21 mmまでとした。以下、磁石とコイルが反発しているときを正の値、吸引しているときを負の値とした。また、コイルに流す電流は0.5 Aと1.5 Aとした。

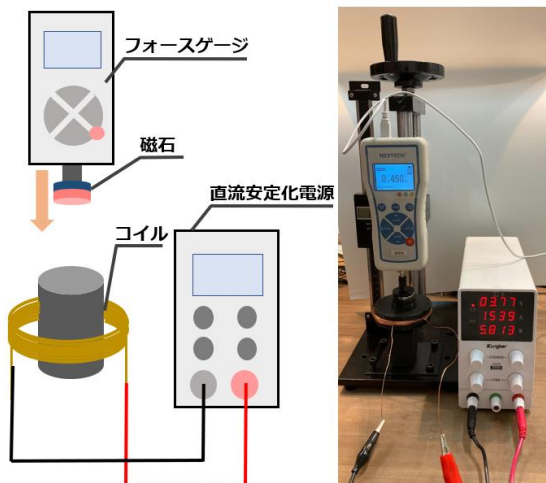


図3 測定の様子

##### 4.2 結果と考察

測定した5回の平均値を図4に示す。反発の力を正の値、吸引の力を負の値とする。この結果、コイルと磁石の距離が近づくにつれて力が増加することが分かった。コイルと磁石の距離が近づくにつれ、コイルと磁石間の対向する磁束密度が増加したため、力が増加したと考えられる。0.5 Aの場合は4 mmから-1 mmの範囲で、触覚の閾値である0.25 Nを超えており、判別可能な力の提示ができていたといえる。1.5 Aの場合は22 mmから-5 mmの範囲で0.25 Nを超えていた。特に4 mmから-1 mmの範囲では0.7 Nを超えており、触覚フィードバックの強弱に変化をつけられる可能性を示した。このことより、電流制御によって複数段階の力覚提示が可能であると考えられる。

また磁石がコイルの中を通過する0 mmの地点を境に、力の向きが反発から吸引に変化していることが分かった。図4より反発力が最大になった後、急激に吸引方向に力が推移することが分かった。磁石がコイルの表面を通過する際の急激な力の推移について考察する。磁石がコイルの表面を通過する前は磁石とコイルの磁束の向きが互いに対向すると考えられる。一方でコイルの表面を通過しコイル内部にいるときは、電磁誘導により磁石の磁束に対向するコイルの磁束が増加し反発力が低下したためだと考えられる。

#### 5. まとめ・今後の展望

本稿では、磁界変化を用いた1次元触覚提示デバイスの作成を目標とし、ネオジウム磁石とコイルを用いたデバイスを提案した。予備実験により、棒を把持したときの指先の力覚知覚の閾値は0.25 Nであることが分かった。実装した本デバイスでは力覚知覚の閾値を上回る力を出力でき、またコイルに流す電流を制御することで提示する力を制御できることを明らかにした。

今後の展望としては、複数のコイルを並べて電流の制御をすることで、特定の位置にデバイスを静止させたり、様々な触覚の出力の実現を目指す。また、力の大きさや

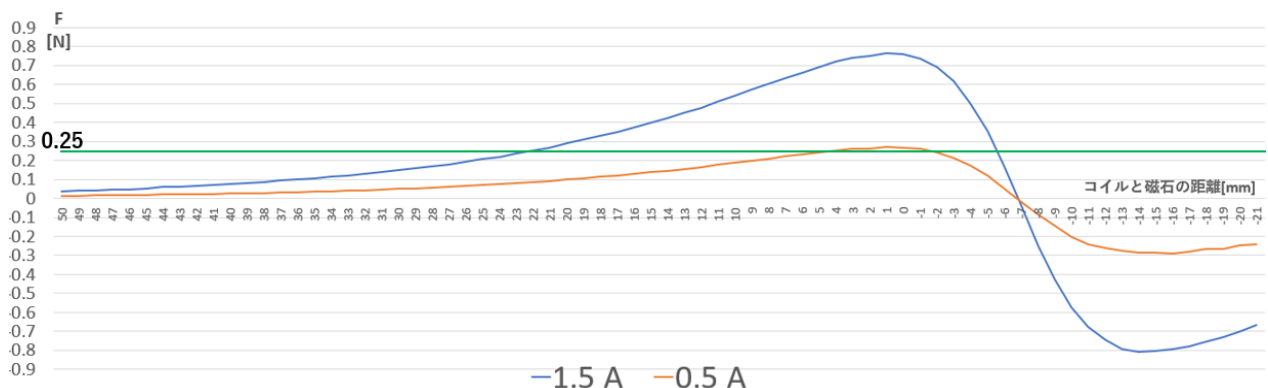


図4 コイルと磁石の距離と力の関係

反発や吸引の組み合わせの違いの識別が可能かの検証を行う予定である。

### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP20H04228 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] 総務省 通信利用動向調査の結果  
[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01tsushin\\_02\\_02000158.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin_02_02000158.html)
- [2] H Iwata, H Yano, F Nakaizumi, and R Kawamura. 2001. Project FEELEX: adding haptic surface to graphics. In Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, 469–476.
- [3] K Nakagaki, Daniel Fitzgerald, Zhiyao Ma, Luke Vink, Daniel Levine , and Hiroshi Ishii : inFORCE : Bi-directional ‘Force’ Shape Display for Haptic Interaction , In Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, ACM, pp.615- 623, 2019.
- [4] K Nakagaki, Luke Vink, and Jared Counts, et al. : Materiable: Rendering Dynamic Material Properties in Response to Direct Physical Touch with Shape Changing Interfaces. Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.2764-2772, 2016.
- [5] Masa Ogata : Magneto-Haptics: Embedding Magnetic Force Feedback for Physical Interactions , In Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology , UIST '18, pp.737–743, 2018.
- [6] Evan Strasnick, Jackie Yang, Kesler Tanner, Alex Olwal, and Sean Follmer. 2017. shiftio: Reconfigurable tactile elements for dynamic affordances and mobile interaction. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 5075–5086.