

ソレノイドを利用した動的触覚呈示が可能な 「あそび」の提案

金井隆晴[†] 菊川裕也[†] 馬場哲晃^{††} 串山久美子^{††}

本研究ではソレノイド機構によって上下運動をする円柱状の可動ユニットを利用した、箱型の動的触覚呈示デバイス「PocoPoco (ポコポコ)」の制作、およびこのデバイスを利用した「あそび」の提案を行う。PocoPocoは上面に手をかざすことで触覚情報の入力出力が可能なデバイスである。本稿では実際の制作したデバイスに関する報告及び、デバイスの動的な凹凸表現を利用したテーブル対戦ゲーム「PocOthello (ポコセロ)」の提案を行う。

A Proposal of an Tangible Play with Dynamic Tactile Sensation by Solenoids

Takaharu Kanai[†] Yuya Kikukawa[†]
Tetuaki Baba^{††} Kumiko Kushiyama^{††}

In this study, we propose a device “PocoPoco” which conveys Dynamic tactile sensation using move of solenoid units and a new tangible play using this device. PocoPoco is a device enable to input and output using tactile sensation without visual information. And we propose a game “PocOthello” for both of visual impaired user and physically unimpaired user.

1. はじめに

著者らはこれまで触覚呈示を利用した装置を開発してきた 1)2)3)。その中で、ソレノイドと磁石を利用した動的な触覚呈示が可能な入出力デバイスを制作してきた。本稿はそこでの知見を利用し、ソレノイドと磁石を組み合わせたユニットをマトリクス上に配し、触覚呈示に重点を置いたインタラクションを行う玩具デバイス「PocoPoco (ポコポコ)」を提案する。玩具には様々な種類があるが、本研究では比較的对象年齢の高いパズルゲームやボードゲーム、電子楽器などを対象とする。また、触覚呈示に重点をおき、上記のような知的作業を伴う「あそび」を制作することで、視聴覚障害をもつユーザとそうでないユーザが別け隔てなく遊べる「共有玩具」の開発も目指す。

「あそび」を提案するためにはデバイス制作だけでなく、そのデバイスを利用したインタラクションの提案が必要である。本稿では、PocoPocoのデバイスシステムを紹介すると同時に、このデバイスを使用した「あそび」として、健常者と視覚障害者が同様に参加可能なゲーム「PocOthello(ポコセロ)」の提案を行う。なおこの名前は遊び方がオセロに類似することから名づけられた。

2. 関連研究

状況に応じて形状が変化するインタフェースという点でG.Michelitshら4)が行った「Haptic Chameleon」や、中谷ら5)の「Pop Up!」などの研究がある。Haptic Chameleonではボリューム操作やトラック操作等の入力要望に応じてつまみ式インタフェースの形状が変化する。ユーザの状況に応じて形状を変化するという点において、本研究と類似している。「Pop Up!」では形状記憶合金を利用した動的な触覚ディスプレイを実現している。マトリクス上に配された各々の物体の高さが制御できるという点で、本研究において類似しているが、突出の高低差や即時性、入力機構に関する点が異なる。

著者らが以前に制作した「Emerging Keys」では底面に磁石がついたキーが電磁力によって浮き上がり、凸部を表現することができる。つまり凹凸によって視覚と触覚に情報を伝える出力装置としての機能を持ち、同時に下部にスイッチを備えることにより入力装置としての機能を持つ。またこのデバイスは用途によって、突出するキーが変動し、ユーザに使用しやすいキー配置を提供することが出来た。しかし今回の我々の目的に対しては、Emerging Keysのキーは数が多く(10行×6列)、キー同士の間隔は50mmと広いため、触覚のみで一度に全体の凹凸を認識するのは困難であった。そこでPocoPocoの制作においては両手をかざすことで感知可能な大きさに設計し、4×4列

[†] 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科
Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

^{††} 首都大学東京
Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University

の円柱状可動ソレノイドユニットを 35mm 間隔に配置することにした。

3. 実装

3.1 PocoPoco のシステム概観

PocoPoco の外観を図 1 に、PocoPoco のシステム構成を図 2 に示す。16 個のソレノイドユニットは各々が独立してマイコンに接続され、可動部の動きが制御される。

また各ソレノイドユニットの下にはタクトイルスイッチがあり、ユーザが可動部を押すとスイッチも押される仕組みになっている。スイッチからの入力を取り入れることでよりインタラクティブな動作を可能とした。デバイスの仕様については表 1 に示す。

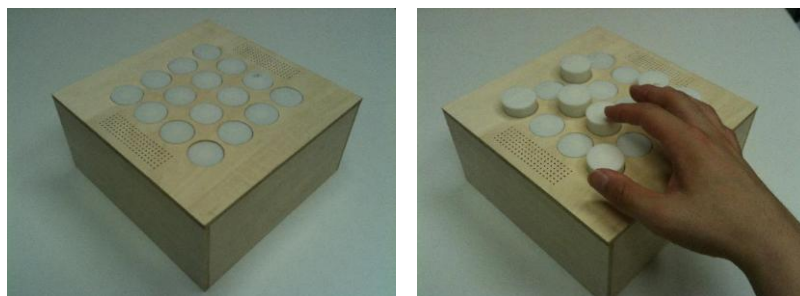


図 1 PocoPoco の外観
 Fig. 1 Appearance of PocoPoco

表 1 PocoPoco の仕様
 Table.1 Details of PocoPoco

動作電圧	9V
最大電力	40W(最大)
筐体寸法	寸法 205x205x10 (WxDxH)mm
総重量	1100g
筐体材質	シナベニヤ
ソレノイドのピッチ	35mm
可動部の上下動の差	10mm
可動部重量	5g
コイル巻き数	500 回
ソレノイドユニット材質	ABS 樹脂, アルミニウム

3.2 ソレノイドユニットの制作

PocoPoco のハードを設計する上で、最も重要になるのはソレノイドユニットの部分である。今回提案するインタラクションでは、スイッチを押す独自の機構が必要となるため、市販のソレノイドでは代用が困難であった。そのため、ソレノイドを自作した。

(1) ソレノイドユニットの構造

ソレノイドユニットは大きく分けて、可動部と土台部から出来ている(図 3)。可動部の底にはリング型ネオジウム磁石が取り付けられており、土台部はエナメル線が巻かれソレノイドの役割を果たしている。ソレノイドに電流が流れることで、ネオジウム磁石が反発力を受け、可動部が浮き上がる。またソレノイドユニットの下にはタクトスイッチが配置してあり、ソレノイドユニットを上から押すことで、可動部の底から伸びた棒状のパーツがスイッチを押す構造となっている。

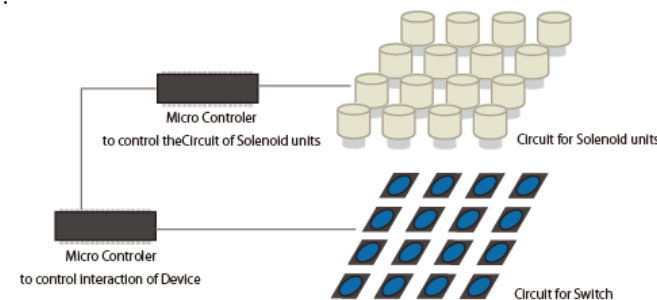


図 2 PocoPoco のシステム構成
 Fig. 2 System chart of PocoPoco

(2) 材質の検討

ソレノイドユニットの大部分は ABS 樹脂で形成されている。ただし可動部を収容する筒の部分(図 3 参照)はアルミニウムパイプを使用した。試作の段階では、ABS 樹脂製の筒も作成し使用してみたが、この材質では可動部が勢よく飛び跳ねた後、静止する直前には小刻みなバウンド(バネ運動)が見られた。一方でアルミニウムパイプを利用した場合、アルミニウムは常磁性の金属であるため、アルミパイプの中をネオジウム磁石が移動すると、その移動を妨げる方向に力がかかる(電磁誘導の法則、ファラデーの法則、フレミング左手の法則に従う)。この逆向きの力によって、樹脂製にみられたバネ運動が見られなくなった。

どちら材質を使用した場合でも可動はするが、我々が意図していた動きに近いという理由から、筒の材質にはアルミニウムを選択した。

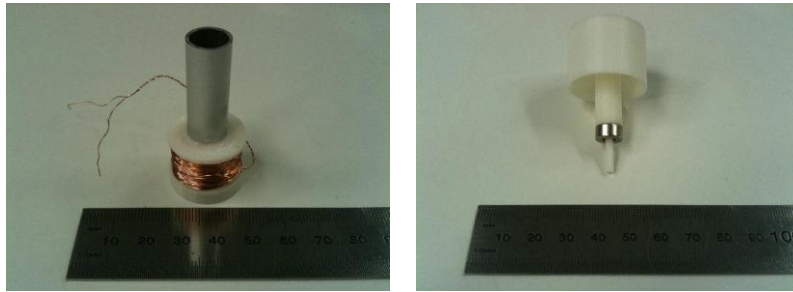


図3 ソレノイドユニットの外観(左：土台部，右：可動部)
Fig. 3 Appearance of the Solenoid unit (Left : Base, Right : Action part)

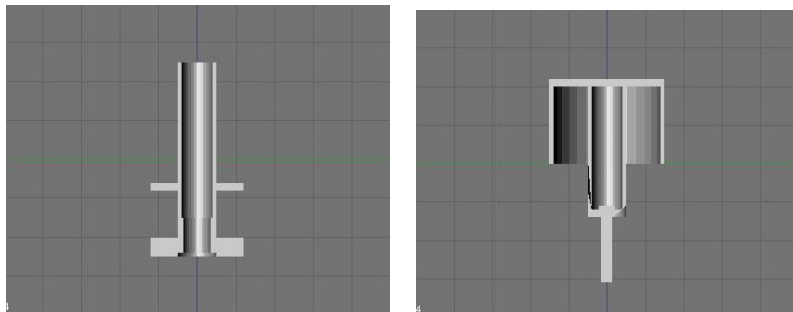


図4 ソレノイドユニットを構成する部品の断面図(左：土台部，右：可動部)
Fig. 4 Cross-section view of the Solenoid unit (Left : Base, Right : Action part)

4. インタラクション

4.1 PocOthello (ポコセロ)

ユーザはこの PocOthello によって動的な触覚情報を受け取ることができる。我々はこのデバイスを利用することで、凹凸のリアルタイム表現を用いたテーブルゲーム「PocOthello (ポコセロ)」を提案する。PocOthello は2人のユーザが交互に可動部(以下、PocOthello においては可動部のことを“Poco”と呼ぶ)を押し16個全ての Poco を突出させること(突出した状態の Poco を以下 Deco と呼ぶ)、もしくは全ての Poco を平らに戻すこと(突出していない状態の Poco を以下 Boco と呼ぶ)を目指して競い合うボードゲームである。なお、Boco と Deco の状態は Poco を押すたびに切り替わり、

その制御はマイクロコントローラによって行われる。PocOthello のゲーム手順は以下のとおりである。

1. ゲームスタート時、16個の Poco のうちランダムで半数が Boco、半数が Deco の状態になる(図5, 1参照)。
2. 先手は Deco のうち1つを選び、それを押すことで Boco に変える。このとき、いずれかの Deco を縦・横・斜め方向に Boco で挟み、挟まれた Deco も全て Boco に変わる。挟まれた Deco や Boco の逆の状態に変わる動作もデバイスが自動で行う(図5, 2参照)。
3. 後手は Boco のうち1つを選び、それを押すことで Deco に変える。このとき、いずれかの Boco を縦・横・斜め方向に Deco で挟み、挟まれた Boco は全て Deco に変わる(図5, 3参照)。
4. このように先手と後手が Deco と Boco を取り合いながら、先手は全ての Deco を Boco に、逆に後手は全ての Boco を Deco にすることを目的としてゲームをプレイする。
5. 16個の Poco が全て Deco または Boco になった時点、あるいは事前に設定したターン数が経過した段階でより多くの Poco を自身が目的とする状態(Deco または Boco、その状態を図5, 5に示す)にしていたプレイヤーの勝ちとなる。

なお、相手の Poco の状態を変更することができない Poco を押すことはできない。押すことのできる Poco がない場合はパスとなり、パスの回数に制限はない。押すことのできる Poco がある場合はパスをすることはできない。

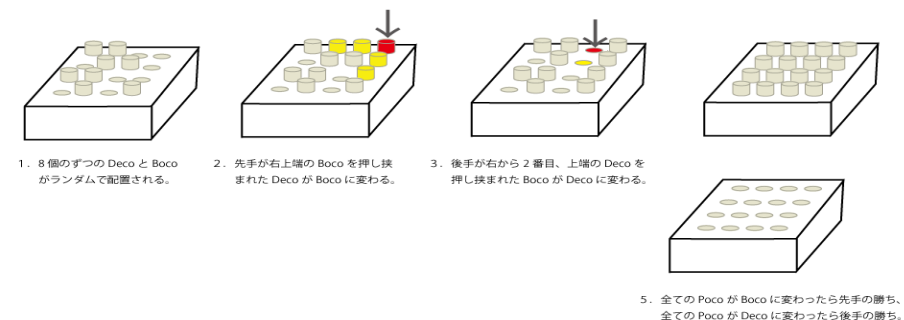


図5. PocOthello のルール説明図
Fig. 5 Illustration of the rules of PocOthello

5. 今後の展望

5.1 PocOthello の改良

今回制作した PocOthello の遊び方を発展させていく上では、最初に決まる 8 個ずつの Deco と Boco の割合を変更することでハンディキャップを設定できるようにすることや、音声によるガイダンスを通じて決められたターン内での優劣を競う形式にすることを考えている。また、一人でも決められたターン数で Boco になっている Poco を全て Deco にすることを旨とする「詰め PocOthello」モードなども検討している。

5.2 ソレノイドの数の検討

PocoPoco が内蔵しているソレノイドユニットの数は 4×4 列、16 個である。成人の手の大きさならば、両手をかざせばユニット全体に触れることが可能であり、触覚情報のみで入出力を行うデバイスとしては適当なサイズと言える。しかし、16 個のユニットがそれぞれ“凹”と“凸”の 2 種類の状態しか表示できなければ、扱う情報や、デバイスを利用したインタラクションの内容によっては情報量が少なすぎるという問題がある。これに対する改善策として、ユニットの直径を小さくし、より高密度に配置することや音声によるガイダンスの充実させることなどを検討している。しかし、ユニットのサイズを小さくすると、可動部のネオジム磁石やソレノイドのサイズも小さくせざるを得なくなり、可動ユニットの動作。ユニットの高密度化においてはこの構造的な問題を解決する必要がある。

5.3 Poco Sequencer (ポコシークエンサ)

我々は次の段階として、PocoPoco デバイス内部に GMMidi 音源モジュールとスピーカを内蔵させ、デバイス単体で音声情報を発生する機能を追加することを予定している。これにより、ソレノイドユニットがリズムに合わせて運動する新たなリズムシークエンサ「Poco Sequencer (ポコシークエンサ)」提案することを検討している。

謝辞

本研究は(財)科学技術振興機構、地域活動支援機関連携型の支援を受け行われた。

参考文献

- 1) Kushiya, K., Inose, M., Yokomatsu, R., Fujita, K., Kitazawa, T., Tamura, M., and Sasada, S. 2006. Thermoesthesia: about collaboration of an artist and a scientist. In *ACM SIGGRAPH 2006 Sketches* (Boston, Massachusetts, July 30 - August 03, 2006). SIGGRAPH '06. ACM, New York, NY, 142.
- 2)]Kumiko Kushiya, Shinji Sasada 「Fur-Fly Art GalleryACM SIGGRAPH2009,2009-8 Leonardo Journal August 2009
- 3) Baba, T., Ushiana, T., and Tomimatsu, K. 2008. Emerging keys: interactive electromagnetic levitation

keys. In *ACM SIGGRAPH 2008 Posters* (Los Angeles, California, August 11 - 15, 2008). SIGGRAPH '08. ACM, New York, NY, 1-1.

4) Michelitsch, G., Williams, J., Osen, M., Jimenez, B., and Rapp, S. 2004. Haptic chameleon: a new concept of shape-changing user interface controls with force feedback. In *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Vienna, Austria, April 24 - 29, 2004). CHI '04. ACM, New York, NY, 1305-1308.

5) Nakatani, M., Kajimoto, H., Sekighuchi, D., Kawakami, N., and Tachi, S. 2004. Pop Up!: a novel technology of shape display of 3D objects. In *ACM SIGGRAPH 2004 Emerging Technologies* (Los Angeles, California, August 08 - 12, 2004). H. Elliott-Famularo, Ed. SIGGRAPH '04. ACM, New York, NY, 21.