

# ソレノイドを利用した動的触覚呈示デバイス による音楽演奏インタフェースの提案

金井隆晴<sup>†</sup> 菊川裕也<sup>†</sup> 鈴木龍彦<sup>†</sup>

馬場哲晃<sup>†</sup> 串山久美子<sup>†</sup>

著者ら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)」を制作している。このデバイスは上面に手をかざすことで主に触角のみで情報の入出力ができ、様々な用途で汎用的に使用できるインタフェースである。本稿では音楽演奏インタフェースとして用いることを提案する。

## A Proposal of Musical Interface On a Dynamic Tactile Sensation Device

Takaharu Kanai<sup>†</sup> Yuya Kikukawa<sup>†</sup> Tatsuhiko Suzuki<sup>†</sup>

Tetsuaki Baba<sup>†</sup> Kumiko Kushiyama<sup>†</sup>

We developed a box-shaped device “PocoPoco” which controls the movement of columnar units with built in solenoid actuator, and gives users dynamic tactile sensations using them. PocoPoco is an input/output device which can be used without visual information, because it can indicate all input/output information through the dynamic tactile sensations. This device is a versatile interface which can be used in various situations. In this paper, we propose to use it as a musical interface.

### 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、ソレノイド機構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いる。今回はそこでの知見を利用し、ソレノイド機構を有し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デバイス「PocoPoco (ポコポコ)」を提案する。PocoPoco は汎用的な用途を想定したデバイスで玩具や様々な入出力インタフェースとしての利用が考えられる。著者らは過去に、PocoPoco を使用したアプリケーションとして健常者と視聴覚障害者が一緒に遊ぶことが出来るゲーム「PocOthello (ポコセロ)」の提案を行った4)。これは本デバイスを共有玩具として用いる提案である。本稿ではPocoPoco を音楽演奏用のインタフェースとして使用することを提案する。またこの用途で用いるアプリケーションを「Poco Sequencer (ポコシークエンサ)」とし、それについても紹介する。このアプリケーションではインタフェースのそのものが動くことにより、音楽演奏に視覚情報、触覚情報を付加することができる。

### 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.Michelitsch ら5)が行った「HapticChameleon」や、中谷ら6)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。「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。マトリクス上に配置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、EmergingKeysのキーは数が多く(10行×6列)、キー同士の間隔は50mmと広いと、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。そこでデバイス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行×4列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。

<sup>†</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科  
Tokyo Metropolitan University Graduate school of System Design

### 3. 実装

#### 3.1 PocoPoco のシステム

PocoPoco の外観を図1 に、PocoPoco の基本となるシステム構成を図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マトリクス状に配置されており、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。この入力機構に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 デバイスの外観  
Figure 1 Appearance of Device

#### 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、最も重要になったのはソレノイドユニットの部分である。今回提案するデバイスは触覚呈示を行うアクチュエータと入力を行うスイッチの機能が一体化した機構が必要となる。市販のソレノイドアクチュエータでは代用が困難であるため、ソレノイドユニットを自作した。

##### (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。コイルに電流が流れることで極性が生じ、それにネオジウム磁石が反発することで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。

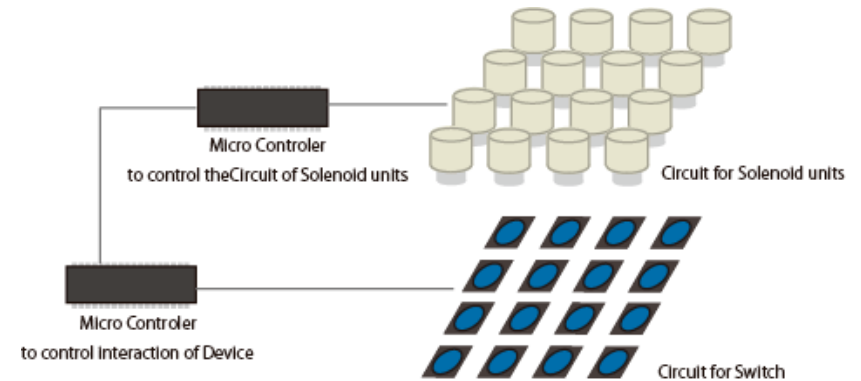


図2 PocoPoco のシステム構成  
Figure 2 System of PocoPoco

##### (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。当初は筒の部分もABS樹脂で作成したのだが、ABS樹脂の場合、可動部が上下移動する際にバネ運動してしまった。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、逆向きに電磁力が生じて、等速運動に近い動きとなる。この逆向きの力によって、樹脂素材を使用した際に見られたバネ運動が見られなくなった。この動きの方が我々が意図していた動きに近いという理由から、筒の材質をアルミニウムに変更した。

表1 デバイスの仕様  
 Table 1 Detail of Device

動作電圧	12V
最大電力	60W
筐体寸法	205x205x90(WxDxH)mm
総重量	1000g
筐体材質	アクリル
ソレノイドのピッチ	35mm
可動部の上下動の差	20mm
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
ネオジム磁石の仕様	リング型, $\phi 10 \times \phi 5 \times 5$
	表面磁束密度 4090G/ 409mT

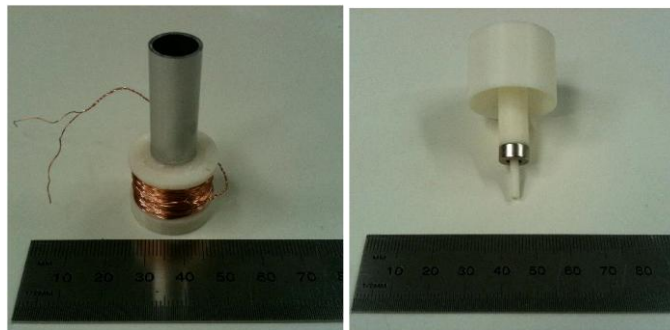


図3 ソレノイドユニットの外観(左：土台部，右：可動部)  
 Figure 3 Appearance of the Solenoid unit (Left : Base, Right : Action part)

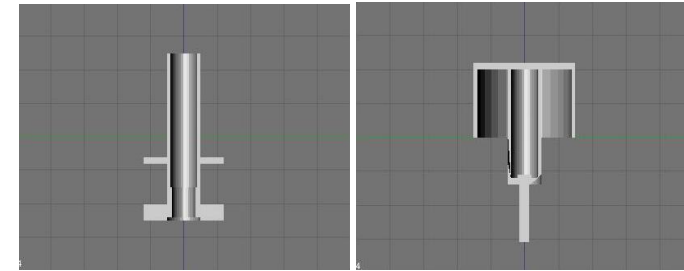


図4 ソレノイドユニットを構成する部品の断面図(上：土台部，下：可動部)  
 Figure 4 Cross-section view of the Solenoid unit (Upper : Base, Lower : Action part)

#### 4. Poco Sequencer (ポコシークエンサ)

ソレノイドユニットの上下運動をコントロール可能なPocoPoco の特色を活かした新たなリズムシークエンサアプリケーション「Poco Sequencer (ポコシークエンサ)」提案する。

##### 4.1 概要

Poco Sequencer はPocoPoco を利用した音楽演奏用アプリケーションである。演奏者はソレノイドユニット (Poco Sequencerの解説においては、ソレノイドユニットのことをPocoと呼ぶ)のスイッチの on/off を選択することで一定周期の自動演奏を繰り返すリズムシークエンサの演奏音を操作することが出来る。16個のPocoはそれぞれシークエンサの演奏する一小節の音楽の16 分音符に対応しており、スイッチがonになっているPocoは所定のリズムで上下運動を行い、同時にそれに対応する音源が再生される。

##### 4.2 システム処理の流れ

Poco Sequencerはリズムに合わせてPocoを上昇させ同時にMIDI out からMIDI note on のメッセージを伝達する。コンピュータソフトウェアMAX / MSPは各MIDI インタフェースからのメッセージを受け取り音源再生用のDAW ソフトウェア, Logic pro に送る中継の役割と、複数台のPocoPocoのMIDI inに対して同時に同一のMIDI メッセージを送ることでPocoPocoがリズムを同期させるための役割を担っている。MAX / MSP からMIDI メッセージを受け取ったLogic Proは各MIDI チャンネル, MIDIノートに対応した音源を再生する。このシステムの構成図を図5に示す。

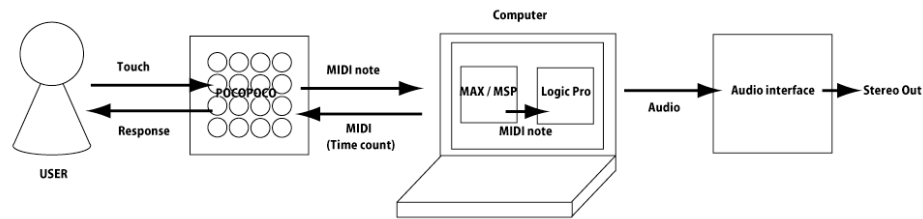


図5 Poco Sequencer システム構成図  
Figure 5 System Organization of Poco Sequencer

### 4.3 同時押しによる MIDI チャンネル切り替え

デバイスの入力はPocoの下に配置された16個のスイッチのみである。故に一つずつのPocoのon/offを切り替えるだけでは16個の音源を再生する/しないという単純な指示しか出せない。そこで複数のPocoが同時に押されたことを認識し別の音色に切り替えるプログラムをつくり(MIDIチャンネルを切り替える)、一つのデバイスで実質的に16個×16チャンネルのon/offを使った演奏を可能にした。

### 4.4 複数台での合奏

このシステムによりMIDIを介してコンピュータと複数台のPocoPocoを接続することで、それらのリズムを同期させて演奏を行うことができる。MIDIチャンネルの割り振りによってデバイスごとに別々の音色を設定することができ、様々な楽器音やサンプリング音源を利用した多様な合奏が可能である。著者らは3台のPocoPocoを同期させ、インターカレッジ・コンピュータ音楽コンサート2010(2010年12月、主催:インターカレッジ・コンピュータ音楽実行委員会)において合奏パフォーマンスを実施した。

## 5. インタラクション, 機能の追加

本節ではPocoPocoのデモ展示・発表において得られた体験者や鑑賞者のコメント、反応を基に検討・実装した追加機能について述べる。

### 5.1 光による視覚ガイド機能の実装

ソレノイドユニットの土台部にフルカラーLEDを配置することで、デバイスの状態に応じて各々のソレノイドユニットを指定した色に光らせる機能を追加した(図6)。これにより、例えばPoco Sequencerでは各々の音色(MIDIチャンネル)に対応して異なる色を

割り当てたり、再生を行う周期パターンを動的に光らせることで視覚的なガイドを付加することが可能となった。

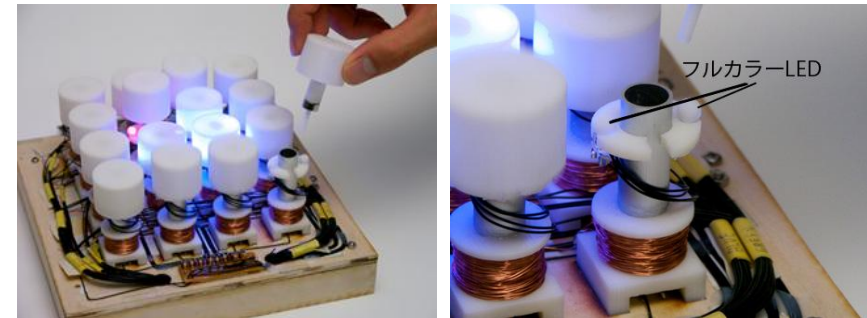


図6 LEDが取り付けられたソレノイドユニット  
Figure 6 Solenoid Units which have LEDs

### 5.2 フォトリフレクタによる可動部の位置, 運動情報の取得

ソレノイドユニットの土台部にフォトリフレクタを取り付けることで、可動部の上下位置や動きの情報の取得することを検討している。Poco Sequencerは本デバイスの音楽演奏インタフェースとして使用を提案したものだが、従来の仕様では可動部は再生音に同期して上下運動するだけであった。これに対し可動部の状態をセンシングすることで、その情報をフィードバックした演奏が可能となり、よりインタラクティブ性の高い音楽演奏インタフェースを提案できる。具体的なアクションとして、「上がってきた可動部を掴む」「掴んだ可動部を上下に揺する」「掴んだ可動部を回転させる」等が挙げられる。このようなアクションに応じて「音を伸ばす」「ビブラートをかける」といったエフェクトの実装を検討している。

## 6. おわりに

著者らは動的触覚情報を呈示する汎用デバイスを制作しており、本稿ではそのデバイスを音楽演奏インタフェースとして使用することを提案した。またデモ展示や実際の演奏パフォーマンスを経て得られた経験を基に、よりインタラクティブで演奏の幅が広いインタフェースとするための機能の追加・検討を行った。今後はこれらの機能を取り入れて実際に演奏や展示、ユーザ評価を行い、音楽演奏インタフェースとしての有用性を検討していきたい。

## 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 Gallery」ACM 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) 金井隆晴, 菊川裕也, 馬場哲晃, 串山久美子. “PocoPoco -ソレノイドを利用した動的触覚呈示が 能な「あそび」の提案-”. *エンターテインメン コンピューティング*2010, 2010.
- 5) 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.
- 6) Nakatani, M., Kajimoto, H., Sekiguchi, 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.