

# 非平面配置可能な独立ピンアレイデバイスの提案

杉本 隆平\* 佐藤 俊樹†

**概要.** 本提案では、組み合わせることで様々な応用が可能になる伸び縮みするピン型構造に着目し、シンプルな自己完結型ピン型デバイスを提案する。従来の平面的なピンアレイ構造では、ピンを伸び縮みさせることで立体形状をその表面に形成できるが、その次元は2.5次元という制限があった。そこで我々はピンアレイディスプレイのすべてのピンを独立して自律動作可能なデバイスとして設計することによって、ピンアレイの曲面上への配置を可能にする。それにより従来のピンアレイでは表せなかった球や立方体などの3次元的な立体を表現することができる。本稿では、提案する独立したピンを複数本用いた場合に可能となるアプリケーション案について述べ、最後にデバイスの評価手法等の今後の展望を述べる。

## 1 背景と提案

従来のピンアレイディスプレイ [2][3][1] におけるピンの配置は平面的であり、例えば図1(左)のような立体形状を再現することはできるが、図1(中央)のような球体形状のような立体下部の形状を含む立体形状を再現することはできなかった。これは、ピンアレイディスプレイの各ピンを動作させるために必要なアクチュエータ機構やバッテリー、制御部などの大きな機構が、図1(右)のような下部形状を再現するために必要な立体的なピンの配置の障害となるからである。

そこで我々は、ピンアレイを構成するピンを、自立して動作する一つのデバイスとして実装し、複数本の自律的なピンが協調動作することによって、ピンアレイのピンの分解・再配置や、図1(右)のようなピンの3次元的な配置を可能にする新しいピンアレイディスプレイシステムを提案する。

本研究の試みは、全てのピンを自律動作可能な独立したデバイスとして設計することにより、ピンアレイディスプレイのピンを土台が必要なデバイスから開放し、例えば球体のような3次元形状に沿った再配置を可能にすることである。

これにより、ピンアレイディスプレイが再現可能な立体形状は、手に取ることのできるような立体オブジェクトまで拡張されることになる。このような立体の下部分まで含んだ形状を投影可能にすることは、3Dモデルを現実世界の物体として投影することを可能にし、ピンアレイディスプレイを利用するユーザの体験を2.5次元上の面の体験から、3次元的な立体の形状を視覚的そして触覚的に知覚する体験に拡大する。

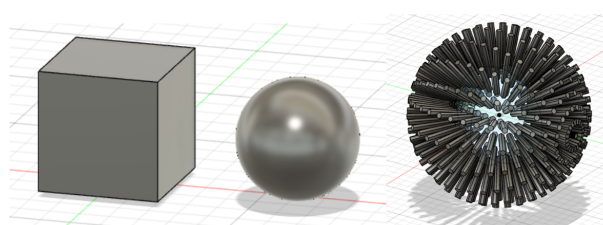


図1. 左: 立方体 中央: 球体 右: ピンの球面上の配置例

本稿では、このような再配置や3次元的な配置が可能な独立動作する新しいピン型デバイスの設計および試作開発を行い、3次元的な配置の代表例として球状のピンアレイディスプレイの制作を目指す。

## 2 プロトタイプング

上記のような振る舞いを可能にするためには、ピンアレイディスプレイを構成するピンの一つ一つを内部に電源や制御機構を搭載した独立のデバイスとして設計する必要がある。

まず各ピンが自律・独立して自身の長さを動的に変化させる機能が必要である。例えば図2左のようにピンの内部に、ピンの伸び縮み動作を生み出す小型サーボモータおよび小型のクラウンギアを用いた機構を搭載することで実現できると考える。この時のピンの長さは、ピンに内蔵する各種センサからリアルタイムに得られる情報と、搭載する小型マイクロコントローラに無線経由で自由に書き込めるプログラムにより、プログラマブルに制御可能である。全ての小型マイクロコントローラに対して一斉に命令をするブロードキャスト型の通信を連続的に行うことで、ピン全体はシームレスに動的な変化をするディスプレイとして振る舞うことができる。

また、センサ・ディスプレイ部は図2右のように本体のピンとは「別モジュール」として着脱・換装可能な設計にし、用途に合わせたカスタマイズ性を

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

\* 電気通信大学

† 北陸先端科学技術大学院大学

持たせた。今回のプロトタイプでは、ここに距離センサとフルカラー LED を搭載し、実際の機体は図 3 のようになった。なお、ピンの外径はより造形物の解像度を上げるため可能な限り小型化を行い、今回の実装では 19mm 程度となった。

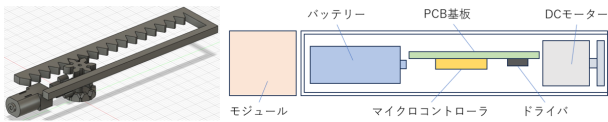


図 2. 右: ギア機構 左: ピン内部の設計

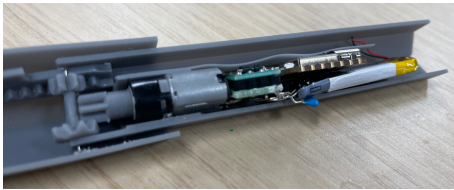


図 3. プロトタイプの写真

### 3 アプリケーション

#### 3.1 3D 形状モデリング

ピンを任意の 3D 形状に配置する。カラーセンサをモジュールに取り付け、カラーセンサの入力によってピンの伸び縮みを変化させるプログラムをピンに書き込む。それによりユーザはセンサにカラーライトを当てることによってピンアレイの長さを自由に操作することができる。ピンの伸縮した変化量をコンピュータにフィードバックし、レンダリングすることで現実世界のピンアレイの外形を 3D モデルへ変換する。このアプリケーションを用いてユーザは 3D モデルの作成や編集を行うことが可能になる。

#### 3.2 遠隔での立体形状の共有体験

2 つの同じ土台で同様のピン配列を取ったピンアレイディスプレイをそれぞれ離れた場所に設置する。上記と同様にピンの長さをユーザが編集できるようにカラーセンサを搭載する。これらのデバイスは同期しており、片方のピンの長さを変化させるともう片方も同じだけ変化する。この機能を用いて立体形状の共有を行う。通常、遠隔の相手にモノを届けるには運搬する工程が必要であるが、本アプリケーションでは物体の形状をシームレスに共有しながら、ピンの長さを変化させることで 3D 形状の編集を行うことができる。

#### 3.3 仮想オブジェクトの触覚フィードバックとインタラクション

現実世界のピンアレイディスプレイと、ユーザ視点から見て同じ場所に配置された仮想空間内の物体

を同期する。仮想空間内の物体の形が変化すれば、現実世界のピンアレイディスプレイも同じ形へと変化する。ピンアレイディスプレイの表面上に伸縮する素材を被せてピンとピンの間を覆い隠すことで連続的な触覚体験をする手法がある [2]。この手法を用いることによってピンアレイの表面をより滑らかにでき、表現する立体の外形を可視化する。このアプリケーションにより、ユーザに対し仮想空間内の物体を触覚的に知覚させることができる。例えば仮想空間内の物体が動いたときにユーザはその動きを触覚的に体験できる他、ユーザがピンアレイディスプレイのピンの先端に搭載されたセンサーを触ることによって仮想空間内の物体に対して入力を行うことができる。

### 4 まとめと展望

本研究では、2.5 次元的な立体形状を投影することのできる従来のピンアレイディスプレイに着目し、そのピン一つ一つを独立したデバイスとして再設計することで、従来では不可能であった 3D 形状を表現可能なピンアレイディスプレイを提案する。その一例として、3D 形状の代表的な例である球状の配置をしたピンアレイを構成し、そのアプリケーションの実装を目指す。その実現のために仮想空間上で視覚的に映る物体と現実世界で触覚的に感じられる物体に差異が生じることは避けるべきである。そのためまず、触っている物体が視覚的に現れた物体との程度一致しているかの評価を行う。また、視覚的に動く物体と実際にピンアレイが形状変化する速度がユーザの体験にどの程度差異を生じるかの評価実験を行う。これらの実験により視覚的に表示される物体とピンアレイの変化が体感的に一致し、より違和感のない体験を提供することを目指す。

今後はピンの現実世界での座標や傾いている向きをコンピュータに取り込むキャリブレーションや、投影するための立体形状をピンアレイの変化長へ変換するソフトを制作する。

### 参考文献

- [1] S. Follmer, D. Leithinger, A. Olwal, A. Hogge, and H. Ishii. InFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints through Shape and Object Actuation. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, p. 417–426, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [2] H. Iwata, H. Yano, F. Nakaizumi, and R. Kawamura. Project FEELEX: Adding Haptic Surface to Graphics. In *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '01, p. 469–476, New York, NY, USA, 2001. Association for Computing Machinery.

- [3] D. Leithinger and H. Ishii. Relief: A Scalable Actuated Shape Display. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, p. 221–222, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery.