

### 1. 担当 PM

稲見 昌彦（東京大学 先端科学技術研究センター 教授）

### 2. クリエータ氏名

望月 草馬（筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類）

### 3. 委託金支払額

2,736,000 円

### 4. テーマ名

3D プリンタで創る音の触感

### 5. 関連 Web サイト

なし

### 6. テーマ概要

現代において普及している非接触での情報伝達手段としては、視覚および聴覚に依存するものが多い。VR や AR などの XR が普及する中、これでは Reality を実現する技術として不足があると言わざるを得ない。装着型の触覚提示デバイスなども開発されているが、旧来のメディアと同様にそれ自身が巨大な存在感を持っているため、結果的にデジタルコンテンツと人の距離を引き離してしまう。この問題を解決するデバイスとして音響放射圧を用いた非接触での触覚提示装置が存在するが、普及には至っていない。その理由は、装置の稼働に大量の並列演算資源を必要とし、高い技術力や多くの資金が必須であるため、研究開発並びに装置の入手・導入が難しいからである。

そこで本プロジェクトでは、3D プリンタの造形物を用いた新たな超音波の位相制御手法により、非接触で触覚情報提示を容易に実現するソフトウェアとハードウェアを開発する。使用目的・環境に応じ、自作のソフトウェアで 3D データを生成することにより、3D プリンタや CNC を用いて位相制御を行う構造体を容易に作製することができるため、本システムの汎用性は非常に高い。

本プロジェクトにより膨大な計算資源を必要としない安価で簡便な非接触型の触覚提示装置の提供が可能となるため、触覚提示技術の研究開発と普及の促進が期待される。

## 7. 採択理由

コロナ禍の中、接触することなく触感を知覚可能な空中触覚ディスプレイは注目を集めている。申請テーマは収束超音波を用いた触覚ディスプレイに関するものであり、すでに東京大学、筑波大学、Sussex 大学などで多数の超音波振動子を配列し、位相制御により任意の点に超音波を集束させる手法が継続的に研究されている。本申請は、3D プリントされた立体物を巧妙に用いることで簡便かつ安価に超音波を集束させることを可能とする、玄人はだしの提案であり、文句なしに採択に値すると判断した。

## 8. 開発目標

本プロジェクトでは簡便かつ安価でありながら高い汎用性を持った新たなフェーズドアレイ手法を考案・実装することで、個人でも手軽に超音波フェーズドアレイを実現できることを示し、非接触型触覚提示技術の研究開発と普及を促進させることを目的とした。

## 9. 進捗概要

本プロジェクトでは超音波フェーズドアレイを簡便に実現するための手法の提案および装置の開発を行った。

振動子の位置制御による新たなフェーズドアレイ手法及び、凹凸形状を持った板（以下、位相記録板）と上下に可動な振動子アレイによって物理的に行うことで簡便に実現する手法を考案した（図 1）。

同時に位相記録板の薄型化手法についても発案し、板表面の導電面配置によるフェーズドアレイ手法を考案した（図 2）。

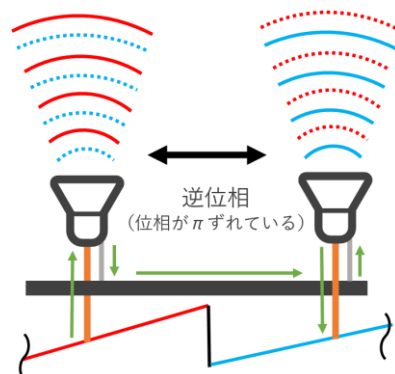
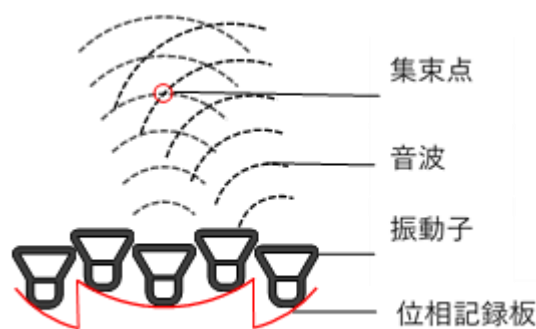


図 1：凹凸形状で音の集束をしているイメージ

図 2：位相記録板の薄型化

## 振動子アレイ

上記手法を実現する振動子アレイを試作機 3 つと実用可能なもの 3 つを作成した。

- 一号機  
振動子 85 個を利用し、3D プリンタの造形物と身近な材料を用いて作成した (図 3)。
- 二号機  
振動子 154 個を利用し、独自設計の PCB によって個々の振動子の取り外しを可能とすることでメンテナンス性と組み立ての簡便性を確保した。また、はんだ付けを行わずに作成することもできた (図 4)。
- 三号機  
振動子 342 個を利用し、独自設計の PCB によって大型の振動子アレイを作成した (図 5)。



図 3 : 一号機

図 4 : 二号機

図 5 : 三号機

## 位相記録板

- 3D プリンタでの実装例  
位相記録板を 3D プリンタで作成した (図 6)。凹凸形状はパラメータ入力のみで形状を生成することができる CAD のアドオンを作成し、導電面の加工は市販されているアルミホイルや DIY 用の銅箔テープを用いる事ができるため、知識がなくとも簡便に作成することができる。
- 身近な材料を用いた実装例  
本プロジェクトでは任意の形状によって任意のフェーズアレイを実現することができるため、紙粘土や紙といった身近なものを用いても位相記録板を作成し、フェーズアレイを実現することができる (図 7、図 8)。

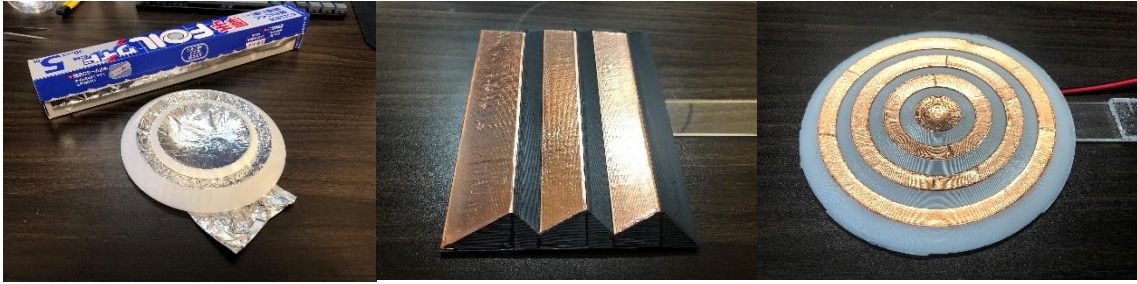


図 6 : 3D プリンタで作成した位相記録板



図 7 : 紙粘土で作成した位相記録板 図 8 : 紙で作成している様子

## 評価

本プロジェクトで考案・実装を行った手法でフェーズドアレイが行えているかを検証するため、音を直線上に集める位相記録板を利用して音圧分布を測定し、理論通りにフェーズドアレイが行えていることを確認した。

## ユーザテスト

手軽かつ簡便に使えることを検証するため、中高生向けの研究発表の場であるサイエンスキャスル 2021 関東大会の場を借りて様々な人に使用してもらった(図 9)。また、友人を招いてワークショップを行った。どちらも動作原理が単純であるため、使用者自ら応用手法を模索するといったことが見られた(図 10)。



図 9 : サイエンスキャスルにて

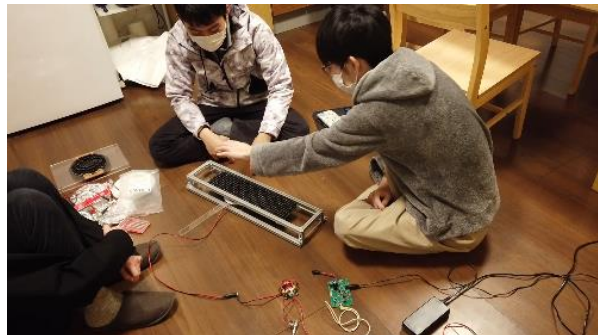


図 10 : 友人とのワークショップ

## 10. プロジェクト評価

既存のフェーズドアレイ技術では位相を制御するために FPGA などの計算資源を利用する必要があったが、本プロジェクトでは新たに振動子の位置制御による非常に単純な動作原理を考案し、実際に検証した点に新規性がある。原理だけでなく、デバイス自体も紙粘土といった身近なものを用いて凹凸形状を作ることによってフェーズドアレイを実現することができるのに加えて、既存の指向性スピーカに利用されている発振回路や、Arduino といったマイコンなどを利用することも可能である柔軟性を兼ね備えている点にも特徴がある。

非接触の需要が増えることによる、多様なフェーズドアレイ技術の応用例の拡大・普及が期待される。また、フェーズドアレイ手法の簡便・単純化により、フェーズドアレイと他の波形制御技術の組み合わせを容易に行うことができるようになったことなどから、研究開発の促進が期待される。

本プロジェクトのクリエイターである望月氏は、ハードウェアの実装力と並外れたモチベーションでミーティングのたびに笑顔で新たなプロトタイプを見せてくれたことが印象的である。一方でなかなかプロジェクトのターゲット分野を定められず、他のクリエイターや PM と議論する中で、「波動」を直観的に理解しうるツールとしての活用に思い至った。

望月氏はミーティングでも積極的に発言し、他のプロジェクトへのアドバイスも行うなどムードメーカーとしての側面も大きかった。今後の成長が楽しみである。

## 11. 今後の課題

望月氏は、今後本プロジェクトで考案した手法や作成したデバイスの公開と振動子アレイの販売を予定している。従来の手法・デバイスと同様の応用ができる他に、本プロジェクトで作成したデバイスにより、今後技術・知識がなくともフェーズドアレイを利用できることから、他分野に活用したり、直感的にフェーズドアレイを行ったりすることができるという特徴がある。