

# 三次元放射音場再生のための放射型スピーカアレイの製作

○荒木峻我（東北学院大学大学院），木村敏幸（東北学院大学）

## 1. はじめに

木村研究室では、遠隔で人々が取り囲みながら何も身に着けずに音楽ライブや舞台等のステージを鑑賞できる未来の3Dテレビの開発を目指し、これまでに波面合成法を用いた三次元放射音場再生技術を提案している[1].

波面合成法は原音場内に設定した制御領域の境界面上に配置したマイクロホンアレイで音を収録し、再生音場内に設定した聴取領域の境界面上に配置したスピーカアレイで収録した音をそのまま再生することによって、Huygensの原理に基づき制御領域の波面を聴取領域で忠実に合成する三次元音場再生技術である.

本研究では昨年度試作したスピーカアレイ[2]を基に5面からなる放射型スピーカアレイを製作し、点音源を提示するシステムを構築した.

## 2. 製作作業

### 2.1. スピーカケーブルの結線

先行研究[2]と同様に、スピーカユニットからの導線を25ピンのD-subコネクタに接続した. その際、スピーカユニットのマイナス側の2本の導線を1つにまとめることで、1つのD-subコネクタで16個のスピーカユニットの個別再生が可能になった. さらに、漏電による接触不良を防ぐため、半田付け部分をゴムチューブで被覆した.

また、64個のスピーカユニットを接続する為、D-subコネクタに接続されたケーブルユニットを計4つ製作した.

### 2.2. 本体の組み立て

縦50cm×横50cm×厚さ1.2cmの天板及び底板用板材と、縦35.1cm×横48.8cm×厚さ1.2cmの板材4枚を側板として用い、直方体状の放射型スピーカアレイ本体を組み立てた. 底板以外の組み立ての接着には木工用ボンドを用いた. また、スピーカユニットの取り付けのため、天板に16箇所、側板に12箇所の取り付け穴を設けた. 取り付け穴の間隔は縦横ともに12.5cmである.

### 2.3. スピーカユニットの取り付け

先行研究[2]と同様に、スピーカユニットにケ

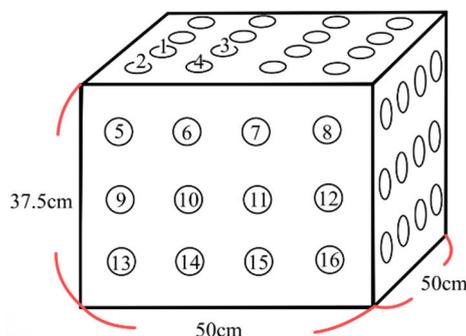


図1 スピーカユニットの配置及び出力先チャンネル

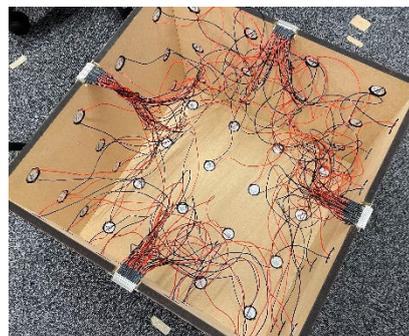


図2 製作したスピーカアレイ内部の結線を結線したうえで組み立てた本体に取り付け、ねじ止めした. その際、D-Subコネクタからの動線を考慮し、図1に示すようにスピーカユニットの出力先は天板に1-4ch、側板に5-16chとした. 同様の作業を計4回繰り返した. スピーカアレイ内の結線の様子を図2に示す.

### 2.4. 動作確認・その他

ホワイトノイズを再生して動作確認をしたところ、スピーカユニットごとに音量に差異が生まれることを確認した. これはスピーカユニットおよびアンプの性能差に起因しているため、騒音計を用いてアンプのゲインをチャンネルごとに調整し、出力音量がなるべく均一となるように補正した.

さらに、D-Subコネクタの側板への固定や、底板の着脱を可能とするパッチン錠の取り付けなど、実使用を想定した機能を追加した. 完成した放射型スピーカアレイの外観を図3に示す.

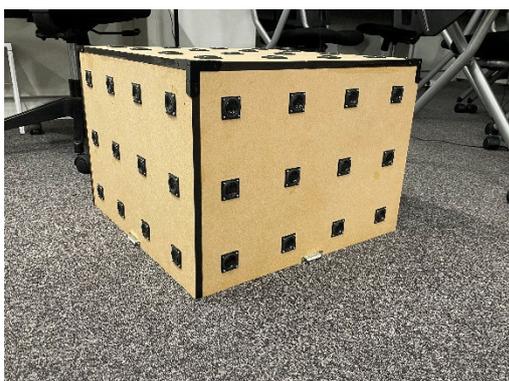


図3 製作した放射型スピーカアレイの外観

### 3. システム構築

先行研究[3]を基に、本スピーカの再生システムを Unreal Engine [4]及び Max [5]で構築した。ヘッドマウントディスプレイの Meta Quest 3 [6]を用いることで、点音源の位置を視覚的に把握することができる。

#### 3.1. 音源座標の設定 (Unreal Engine)

Unreal Engine の三次元空間に透過型の疑似スピーカアレイを作り、この範囲内に点音源のオブジェクトを配置する。このオブジェクトはゲームコントローラの入力により、疑似スピーカアレイ内で移動が可能である。この点音源の座標を OSC 信号により Max に送信する。ヘッドマウントディスプレイにおいて放射型スピーカアレイの本体と疑似スピーカアレイを重ねた図を図 4 に示す。

#### 3.2. スピーカの出力 (Max)

Max では、OSC 信号により点音源の座標  $(X, Y, Z)$  を受信し、各スピーカユニット  $i$  の位置  $(x_i, y_i, z_i)$  に基づいて音圧及び遅延を計算する。音源とスピーカユニット間の距離  $d_i$  は、

$$d_i = \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2 + (Z - z_i)^2} \quad (1)$$

により計算される。この距離に応じた音圧減衰  $P_i (= 1/d_i)$  は距離の逆数に比例すると仮定して

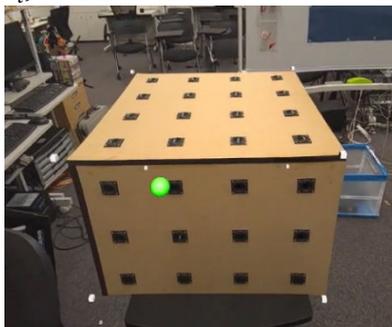


図4 構築したシステムの視点

求める。音源から各スピーカまでの到達時間に相当する遅延時間  $t_i (= d_i/340)$  は音速を 340 m/s として算出する。これらの式はいずれも実空間の音波伝搬特性に基づいている。

### 4. まとめ

本研究では未来の 3D テレビの実現のため、5面からなる放射型スピーカアレイを製作し、システム構築により点音源の提示が可能となった。評価実験等は行っていないが、実空間に基づいた距離減衰の実装により、ホワイトノイズを再生した際の音像定位が可能であることを確認した。

今後は、音源の種類や指向性音源の実装といったシステム面の改良を行ったうえで、評価実験を行っていく予定である。

### 参考文献

- [1] T. Kimura, Y. Yamakata, M. Katsumoto, T. Okamoto, S. Yairi, Y. Iwaya and Y. Suzuki, "Three-dimensional Radiated Sound Field Display System Using Directional Loudspeakers and Wave Field Synthesis," *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol. 33, No. 1, pp. 11-20 (2012).
- [2] 遠藤健太, 木村敏幸, "三次元放射音場再生のための放射型スピーカアレイの試作," 令和 7 年東北地区若手研究者研究発表会講演資料, No. YS-23-P03, pp. 133-134 (2025).
- [3] 荒木峻我, 木村敏幸, "三次元放射音場再生のための MR ゴーグルを用いた放射型映像提示システムの開発," 令和 7 年東北地区若手研究者研究発表会講演資料, No. YS-23-P02, pp. 131-132 (2025).
- [4] Unreal Engine, <https://www.unrealengine.com/ja/unreal-engine-5/>.
- [5] Max, <https://cycling74.com/ja/products/max-9>.
- [6] Meta Quest 3, <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>.

### 連絡先

- 氏名：木村敏幸
- 所属：東北学院大学情報学部
- 所在地：宮城県仙台市若林区清水小路 3-1
- 電話番号：022-354-8752
- E-mail：t-kimura@m.ieice.org