

指向性スピーカと波面合成法を用いた 近接三次元音場再生のシステム試作*

○木村敏幸, 山肩洋子, 勝本道哲 (NICT), 岡本拓磨, 矢入聡, 岩谷幸雄, 鈴木陽一 (東北大)

1 はじめに

近年, Fig. 1 に示すように立体映像や立体音響を用いて超臨場感コミュニケーションを実現する研究が行われている [1, 2]. このように, 三次元空間上に映像や音響をよりリアルに表現し, 周囲から鑑賞することができるようになれば, 今までの映像・音響メディアでは実現できなかったより臨場感のあるコミュニケーション(立体テレビや立体遠隔通信会議など)が可能になると期待される. 我々はこのような超臨場感コミュニケーションを聴覚的に実現するために, 三次元音場再生技術の一つである波面合成法 [3-7] に着目している.



Fig. 1 Future image of ultra-realistic communication [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, Kirchhoff-Helmholtz

積分方程式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. その際, マイクロホンとスピーカはそれぞれの領域で同じ位置にしておく. この技術は聴取者の両耳位置ではなく三次元空間上の領域の音場を制御するので, 聴取者はヘッドホンのような音響デバイスを装着せずに領域内の好きな場所で音を聞くことができる.

我々は超臨場感コミュニケーションを実現するための立体音響技術として, 指向性スピーカと波面合成法を用いることによって聴取者が音源の周囲で音を聞くことができる近接三次元音場再生技術を先に提案し, 忠実に波面が合成できる条件を計算機シミュレーションによって検討してきた [8]. 本報告では実際にマイクロホンアレイとスピーカアレイを構築することによってシステムを試作し, 提案した技術が実現可能であるかを検討した.

2 指向性スピーカと波面合成法を用いた近接三次元音場再生システム

先に提案した近接三次元音場再生システム [8] の構成を Fig. 2 に示す. まず, 原音場において音源の周りの境界面上に多数の無指向性マイクロホンで構成された包囲型マイクロホンアレイを配置し, 音 $x_i(t)$ を収録する. 次に, 再生音場においてマイクロホンと同じ数の指向性スピーカで構成された放射型スピーカアレイを配置し, 収録した音 $x_i(t)$ をそのまま再生する. その際, 指向性スピーカの位置はマイクロホンと同じ位置にし, 指向性スピーカの向きは境界面の外側に向けるようにする. すると, 境界面の外側で波面が忠実に合成されることにより, 境界の外側にいる聴取者は外側のどこにいてもあたかも境界内で音源が鳴っているように感じることが期待される. Fig. 2 の例で言えば, ピアノの近くにいる聴取者はピアノが近くで鳴っているように感じるし, バイオリンの近くにいる聴取

* Development of Prototype System for Near 3D Sound Field Reproduction Using Directional Loudspeakers and Wave Field Synthesis. by T. Kimura, Y. Yamakata, M. Katsumoto (National Institute of Information and Communications Technology), T. Okamoto, S. Yairi, Y. Iwaya and Y. Suzuki (Tohoku University)

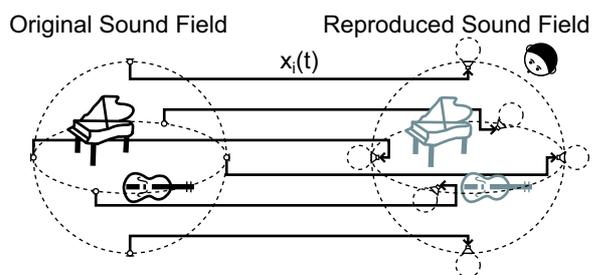


Fig. 2 Near 3D sound field reproduction system using directional loudspeakers and wave field synthesis [8]



Fig. 3 Image of surrounding microphone array placed in the recording room [9]

者はバイオリンが近くで鳴っているように感じるようになることが期待される。

3 システムの試作

3.1 包囲型マイクロホンアレイ

システムを試作するために用いる包囲型マイクロホンアレイには東北大学電気通信研究所の包囲型マイクロホンアレイが設置されている部屋を利用した [9]。この部屋の残響時間は約 150 ms であり、Fig. 3 に示すように部屋の 5 つの壁面から内側に 30 cm 離れたところに計 157 個の無指向性マイクロホン (Brüel & Kjaer: Type 4951) が設置されている。但し、部屋全体で防音加工を施しており、さらに壁面に吸音マットを装着しているため、結果として各マイクロホンは部屋の内部に配置した音源からの直接音を主に収録していることになるので、部屋の内側方向に指向性を持っていると言える。

各マイクロホンの配置を Fig. 4 に示す。2 面の狭い壁面 (Wall A) には 1 面ごとに 20 (= 5 × 4) 個

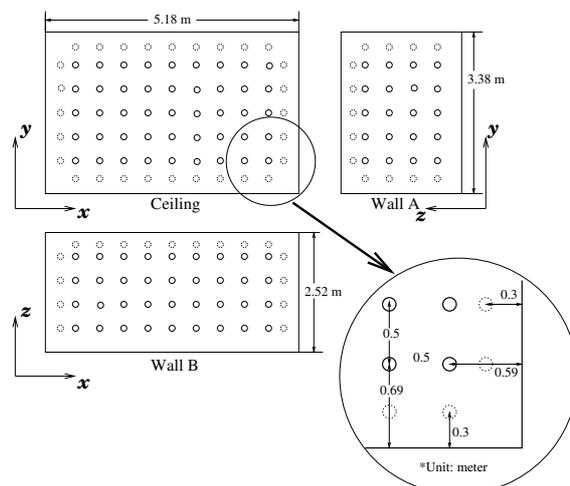


Fig. 4 Arrangement of microphones in the surrounding microphone array [9]

のマイクロホンが配置されており、2 面の広い壁面 (Wall B) には 1 面ごとに 36 (= 9 × 4) 個のマイクロホンが配置されている。天井面には 45 (= 9 × 5) 個のマイクロホンが配置されている。全てのマイクロホンは 50 cm 間隔で配置されており、計 10 台の 16 ch マイクロホンアンプ (Brüel & Kjaer: Type 2694) に接続されている。

3.2 放射型スピーカアレイ

システムを試作するために用いる放射型スピーカアレイは新たに製造した。Fig. 5 に示すように直方体の形をしたスピーカ筐体の 5 つの面に計 157 個のスピーカユニット (AURASOUND: NSW1-205-8A 相当品) を外向きに配置した。スピーカユニット自身は指向性を持っていないが、筐体にスピーカユニットを直接埋め込み、筐体内部に放射された音は筐体の外に漏れないようにしているため、結果として各スピーカユニットは筐体の外側方向に指向特性を持っていると言える。また、立体テレビなどに応用される際に要求されるスピーカアレイの大きさを想定するため、製造した放射型スピーカアレイの大きさは 3.1 節で述べた包囲型マイクロホンアレイの 1/4 の大きさに設定した。

各スピーカユニットの配置を Fig. 6 に示す。各スピーカユニットの位置を各マイクロホンの位置と同じにするため、2 面の狭い側面 (Wall A) には 1 面ごとに 20 (= 5 × 4) 個のスピーカユニットを配置し、2 面の広い側面 (Wall B) には 1 面ごとに 36 (= 9 × 4) 個のスピーカユニットを配置した。天井面には 45 (= 9 × 5) 個のスピーカユニットを配置した。放射型スピーカアレイの大きさは包囲



Fig. 5 Image of radiated loudspeaker array

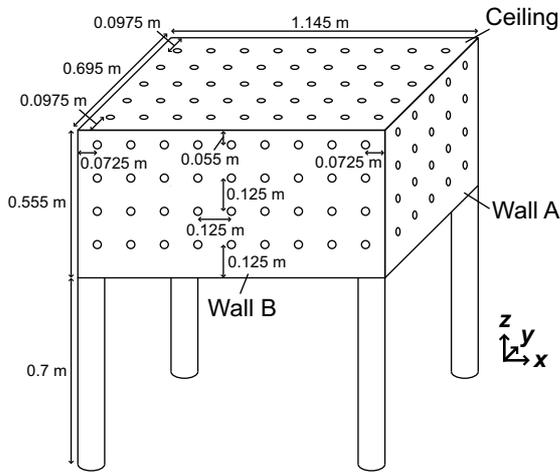


Fig. 6 Arrangement of loudspeaker units in the radiated loudspeaker array

型マイクロホンアレイの1/4であるため、全てのスピーカユニットは12.5 cm 間隔で配置し、157 ch 分のスピーカアンプ (特注品) に接続した。また、会議机上で再生されている音を周囲から聴くということを想定するため、足を取り付けて放射型スピーカアレイを床から0.7 m 底上げした。

4 システムの展示

4.1 音コンテンツの収録

試作したシステムを展示するために、展示用の音コンテンツを実際に包囲型マイクロホンアレイで収録した。Fig. 7に示すように、4名の演奏者(2名のバイオリン奏者、ビオラ奏者、チェロ奏者)を3.1節で述べた包囲型マイクロホンアレイが設置されている部屋に入れ、弦楽四重奏(曲目：モーツァルト「アイネ・クライネ・ナハト・

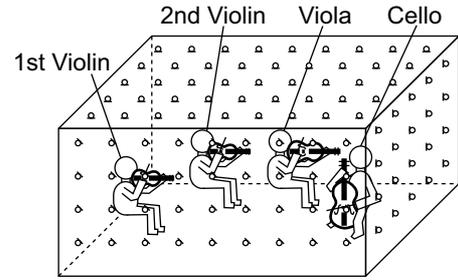


Fig. 7 Arrangement of string quartet in the surrounding microphone array for the display of the prototype system

ムジーク」第1楽章)を4名で一斉に演奏させた。そして、演奏中の音を包囲型マイクロホンアレイで157チャンネル同期収録を実施し、157チャンネルの入力信号を得た。収録機器にはMOTU HD192を14台用い、収録用ソフトウェアにはSteinberg Nuendo 3を4台のApple Power Mac G5にインストールして用いた。サンプリング周波数は48 kHzで、量子化ビットは16 bitである。

4.2 音コンテンツの再生

4.1節で収録した157チャンネル信号をFig. 6に示した放射型スピーカアレイでそのまま157チャンネル同期再生を実施した。その際、収録したマイクロホンの位置と再生したスピーカユニットの位置が同じになるようにチャンネルの割り当てを行った。1式のDigidesign Pro Tools HDを再生装置及びソフトウェアとして1台のApple Mac Proにインストールして用いた。サンプリング周波数は48 kHzで、量子化ビットは16 bitである。その結果、Fig. 8に示すように放射型スピーカアレイの外側ではスピーカアレイの中で弦楽四重奏を演奏している音場が形成されるので、スピーカアレイの外側で聴く場所によって弦楽四重奏の前や後ろ、横、上で演奏を聴いているように聴取者たちが感じることができるようになった。

なお、試作したシステムは現在までに報道発表を行い[10]、CEATEC JAPAN 2008 [11]や超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF)[12]音響分科会デモセッションにて展示している。展示した感想としては、「本当に弦楽四重奏がそこにあるように聴こえる」などといった良い評価が得られた。今後とも機会があれば随時展示していく予定である。

