Vol.2014-MUS-104 No.18
2014/8/26

空間指向性を含む音楽構成の検討

石野 力[1,a)]　中 祐介[1]　吉田 侑矢[1]　松井 雄佑[2]　米澤 朋子[2]

概要：本稿では音に指向性を持たせた音楽構成システムを提案する．２自由度を持つ可動型の超指向性スピーカーを用いたシステムである．超指向性スピーカの特性を生かし，特定方向から聞こえてくる音場を生成する．また，音場の生成は演奏者の直観的操作に基づき，楽曲の構成と共に指向性を持たせた音を指示方向に飛ばす仕組みとなっている．音楽構成に音位置という新たな要素を加えることを目指し，予備的検討を行った．

キーワード：空間音響，屋内音響デザイン，ステップシーケンサ，即時作曲，ループ音楽，超指向性スピーカ

Music Structure and Composition with Sound Directivity in 3D Space

Riki Ishino[1,a)]　Yusuke Naka[1]　Yuya Yoshida[1]　Yusuke Matsui[2]　Tomoko Yonezawa[2]

Abstract: In this research, we propose a novel loop-sequential music with sound directivity for each note. The performance system has two parametric speakers with two degrees of freedom for each speaker in order to create a spatial acoustic field for each note. We adopted an intuitive gestural input using Kinect in order to give each directional sound for real-time composition.

Keywords: Spatial acoustics,Interior acoustic design,Real time composition,Loop music,Parametric speaker

1. はじめに

1.1 研究背景

従来，音楽の要素としてはメロディー，ハーモニー，リズムの３要素が挙げられてきた．音楽を鑑賞するに当たっては曲としての美しさも必要ながら，音の位置である定位も聴衆への聞かせ方という点で重要である．例えばオーケストラや合唱を見てもわかるとおり，その音がどこから発されているのか，どう聴かせるのかがどう音を重ねるのかが奏者聴衆共に音楽に携わる上で重要となっている．

音の定位は器楽曲からバンド形式の演奏まであらゆる音楽に関わっているものの，生演奏を演奏を聴くときに特に重視されてきた．これまでの音楽鑑賞環境においては２チャンネルのステレオ形式による鑑賞形態が一般的であったからだ．もちろんステレオ形式の鑑賞形態においても音の配置や音像の移動などを感じることはできる．近年では技術の発達により，5.1ch サラウンドをはじめとするマルチスピーカ形式の鑑賞環境が広まりつつある．それらの環境に対応した音楽は特に要素として音の定位が重要となっている．また鑑賞環境の発達に伴い，作曲及び録音技術も発達している．

ここで取り上げたいのは即興作曲に関する点だ．音の定位はあらゆる音楽にかかわる要素であるものの，事前のセッティングなしの即興演奏に関しては定位設定は難しい．即興演奏ではその場の雰囲気や盛り上がりに合わせて適宜演奏及び変更をせねばならないからである．そのため，不慣れな演奏者は自身の演奏に手いっぱいでリアルタイムに音の定位を決定することが困難である．．本研究はどのような演奏者でも即興演奏を行いつつ直感的に音の配置を行う体験及び，音の配置による新たな音楽生成手法を提案する．

1　関西大学大学院 総合情報学研究科
Kansai University Graduate School of Informatics, 2-1-1 Ryozenji-cho, Takatsuki-shi, Osaka, 569-1095, Japan
2　関西大学 総合情報学部
Kansai University Faculty of Informatics, 2-1-1 Ryozenji-cho, Takatsuki-shi, Osaka, 569-1095, Japan
a)　k957371@kansai-u.ac.jp

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

1.2 研究概要

本研究では，誰もが即興演奏と音の配置を行うシステムを制作した．

演奏に合わせて指で方向指示を行うことでスピーカの向きを直感的に変更することが可能となっている．スピーカはパラメトリックスピーカを用いることでスポットライトのように音の放射を行う．このため，音の広がりが制限され，望んだ場所へ音を放射することが可能となった．

即興演奏部分は 2 小節を 8 分割した音価を 1 単位とした 8 ステップのループ音楽を演奏する．2 小節目の最後の音価を演奏し終わると，1 小節目の 1 音価目に戻り，シーケンス停止まで繰り返し続ける．演奏は 8*8 のボタン式キーボードを押下することで行う．

このシステムを使用することで，音の配置を伴う即興演奏を誰もが体験できることを目標とした．動作イメージを **図 1** に示す．

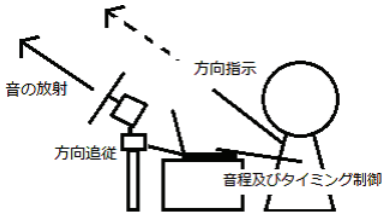

図 1 動作イメージ
Fig. 1 Performance image

1.3 用語の定義

本稿にて使用する用語を以下に定義する．

音の配置

本稿ではシーケンサ上にステップごとの音高及び発音方向を指定することを指す．

ループシーケンサ

一定周期で演奏情報の初期位置に戻り，再び演奏を再開するシーケンサ．本システムでは 8 ステップ（段階）のシーケンサを採用している．1 ステップ目から順に演奏し，8 ステップ目を演奏し終わった後，再び 1 ステップ目から再生を開始する．

パラメトリックスピーカ

超音波スピーカ，超指向性スピーカ，オーディオ・スポットライトなどとも呼称される．パラメトリックスピーカの原理については鎌倉らによる研究 [2], [3] に詳細が述べられている．スピーカの発信面に，超音波発信子を平面上に敷き詰めたパラメトリックアレイにより構成されている．音にビームのような直進性を持たせ放射することが可能となっている．本システムで使用するパラメトリックスピーカはトライステート社のパラメトリックスピーカ実験キット [1] **図 2** である．本パラメトリックスピーカは縦置きでおよそ 20 度，横置きで約 10 度の指向特性を持っている．

反射音を用いた音源生成

パラメトリックスピーカから放射された音が壁や天井などの構造物にぶつかった結果，その構造物を振動させてスピーカとして音を聞かせることを指す．

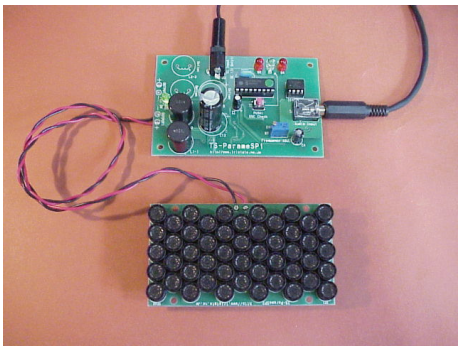

図 2 本稿で使用するパラメトリックスピーカ
Fig. 2 Parametric speaker in this paper

2. 関連研究

パラメトリックスピーカを利用した音像配置としては矢田ら [4] による空中音源配置がある．圧電型トランスデューサーをアレー上に配置して空中音源を実現している．また，長尾ら [5] はパラメトリックスピーカを利用した音像提示としてミュージアムでの展示物鑑賞支援システムを制作している．パラメトリックスピーカの特性を生かして特定の人に対しての音像提示を行っている．本稿で提案するシステムもオーディオスポットライトのように特定の人ないしは対象に対して音を提示している．

空間に音像を提示する手法としては，パラメトリックスピーカを使用する以外にもさまざまな方法がある．風間ら [6] や久木元 [7] による通常のスピーカを複数使用するトランスオーラル再生方式の仮想音源再生．窓枠型にスピーカアレイを構築した時岡 [8] らの手法も存在している．これらは複数のスピーカを用いることで空間に音を配置するシステムである．

また，パラメトリックスピーカを利用した音像移動型提示装置として伊藤ら [9] による”X-Media Galaxy”がある．音定位を物体の移動に合わせ変化させることで，移動音像を実現している．伊藤らはこれを音像プラネタリウム形式と呼称している．同様に森勢ら [10] による音像プラネタリウムもある．3 次元音場再生方式を用い，移動音像を実現している．両者とも複数のパラメトリックスピーカを利用した移動音像の実現方式である．パラメトリックスピーカではなく通常のスピーカを球状に配置した研究としては牧ら [11] や林ら [12] による球形スピーカがある．通常のスピーカを用いることでリアルな音源再生を狙いとしたシステムである．これらはいずれも複数スピーカを用いている．これらのシステムはスピーカを動かさず，全体に配置

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

することによってあらゆる方向のカバーを試みている．本システムとの違いはスピーカの駆動性にある．複数パラメトリックスピーカを用いることなく単一スピーカでの全方位カバーを試みている．

3. システム

3.1 システム概要

本システムを使用することで，ループ音楽の演奏及び音の配置を行うことが可能となる．指の方向へパラメトリックスピーカが自動的に向き，音の放射を行う．テンポに合わせて方向を指示することで様々な場所から音が鳴っているように聞かせることが可能である．**図 3** にシステム概要図を示す

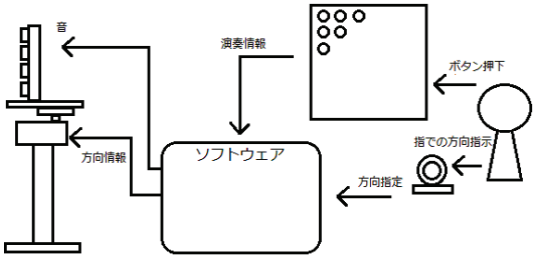

図 3 システム概要
Fig. 3 System schema

3.2 ハードウェア

本システムはスピーカ及び駆動装置（以下「スピーカ」と称す），8*8 キーボード（以下「演奏装置」と称す），ウェブカメラ，演奏及び駆動制御ソフトウェア（以下「ソフトウェア」と称す）によって構成されている．スピーカ及び演奏装置はそれぞれ独立したマイコンによって制御されており，PC とシリアル通信を行うことでデータを送受信している．

操作者は演奏装置及びソフトウェアを使用し，ループ音楽の演奏及びスピーカの制御を行う．また，直感的操作を行うためにウェブカメラによる指先のトラッキングを行っている．現在は 1 基のスピーカによる演奏を行うことが可能だ．

スピーカ及び演奏装置はそれぞれ Arduino のシリアル通信機能を用いて接続している．サーボモータ 2 基への出力は Arduino1 がデジタルポートの PWM を利用している．また，サーボモータ駆動のために AC アダプタからの給電を行っている．また，スピーカは PC のオーディオジャックに接続されている．　演奏装置は 8*8 のキーボードマトリクスである．これは Arduino2 によって制御されており，ボタンの押下を受けると，ソフトウェア側にどのボタンが押されたかをシリアル通信で送信する仕組みだ．デジタルポートを多く使うために，Arduino Mega によって実装されている．全体構成を**図 4** に示す．

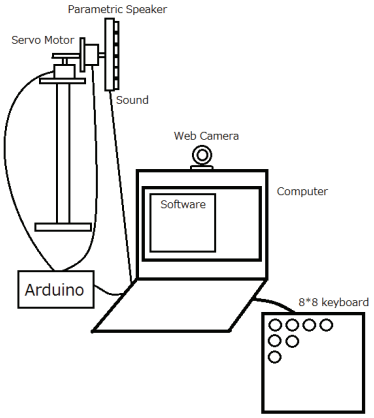

図 4 システム全体図
Fig. 4 System detail

3.2.1 パラメトリックスピーカ

本パラメトリックスピーカは発信面に 50 個の発信子を持つ．また置き方によっても約 10 度，約 20 度の指向特性を持つ．後述のサーボモータにより，適切な場所へ音を放射する．

3.2.2 駆動装置

駆動装置はサーボモータを用いている．スタンドの台座に取り付けられており，スピーカの向きを決定するのに使用される．0 度から 180 度の可動範囲を持ち，90 度を初期数値として持つ．1 度刻みで制御が可能である．PC とシリアル通信で繋がっており，後述するソフトウェアによって制御される．**図 5** にスピーカ及び駆動装置を示す．

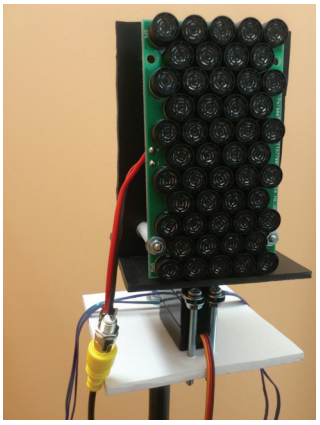

図 5 スピーカ及び駆動装置
Fig. 5 Parametric speaker and servo motor

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

3.2.3 演奏装置

演奏装置は 8*8 のキーボードマトリクスによって実装されている．8 列 8 行にそれぞれタクトスイッチを同間隔に配置してマトリックスを作り，Arduino Mega による一定タイミングごとの走査時にボタンが押下されているかをシリアル通信でソフトウェアに送っている．8 ステップのシーケンサとして利用しており，各ステップごとに音の選択肢は 8 つある．**図 6** に演奏装置を示す．

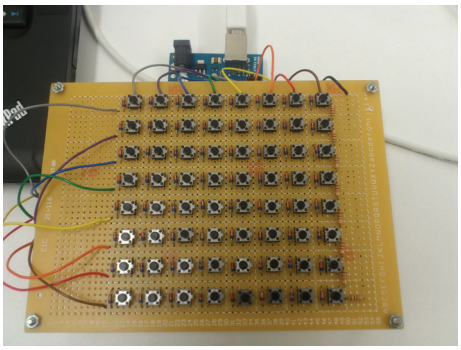

図 6 演奏装置
Fig. 6 Performance device

3.2.4 ウェブカメラ

スピーカの向きを直感的に制御するため，操作者の指先をトラッキングするためのデバイスである．本システムでは UCAM-DLQ30HSV を使用している．

3.3 ソフトウェア

本稿で提案するシステム全体を制御するためのソフトウェアである．主な機能は以下の通りである．Windows7,Processing 環境下で実装した．このソフトウェアは主に方向指示部と演奏担当部によって構成されている．

- ウェブカメラからの画像取得・表示・角度計算
- 方向指示の録画
- 演奏装置からの情報取得・視覚的反映
- 演奏の開始・停止
- 演奏速度の変更

マウスによる操作を想定している．**図 7** にソフトウェアを示す．演奏速度の変更に関してはサーボモータの駆動速度に合わせ設定する必要がある．

3.4 方向指示部

スピーカの向き変更を担当する．ウェブカメラからの画像情報を元に角度指定を行う．指先の色情報をカラートラッキングしている．指先の xy 座標を取得し，ソフトウェア内で方向指定用の座標配列に格納する．曲に合わせサーボモータ制御用の PWM 信号を Arduino を通じて発している．

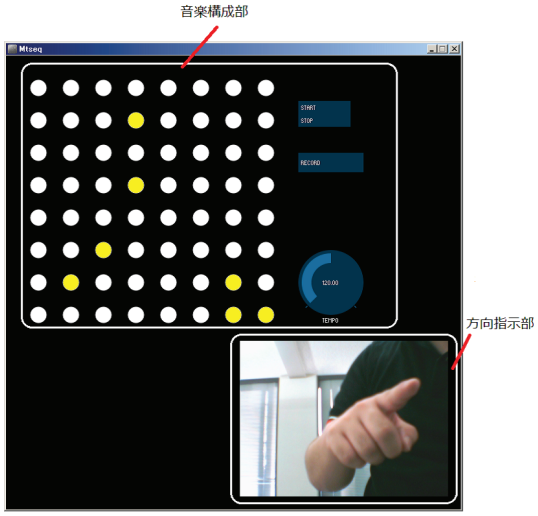

図 7 演奏及び駆動制御ソフトウェア
Fig. 7 Performance and servo motor drive software

3.5 音楽構成部

3.2.3 と連動して演奏を行っている．本システムでは 8 ステップのループ音楽を構成する．各ステップごとに音高は 8 種存在している．本システムでは最下段を C3 から C4 までの白鍵部分をそれぞれ割り当てている．発音タイミングが来たときにそのボタンの押下済み情報があれば発音する仕組みになっている．同ステップ内での別音同時発音も可能である．**図 8 図 9 図 10** に本システムの音楽構成部フローチャート及び演奏例を示す．

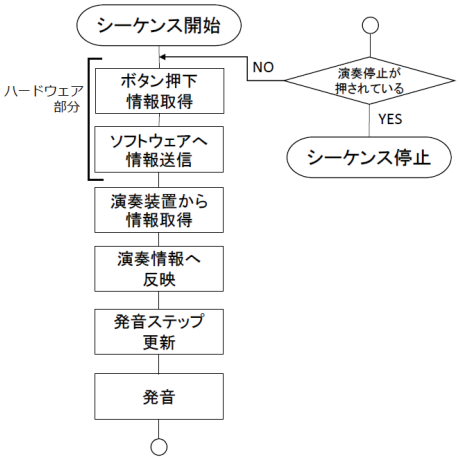

図 8 演奏部分フローチャート
Fig. 8 Performance flowchart

3.6 システム利用例

本システムは演奏に合わせてスピーカの向きが変化する．スピーカの向きを指定するにはウェブカメラの前で方向を指示することが必要である．演奏中に好きな方向を指さすことでその方向へスピーカが向く．また，動作の録画も可

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

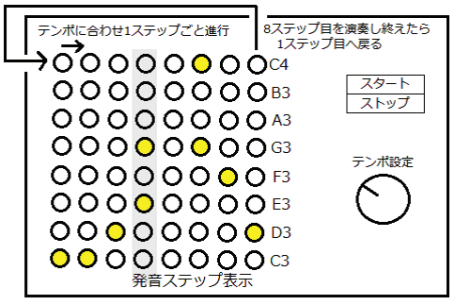

図 9 演奏例
Fig. 9 Performance example

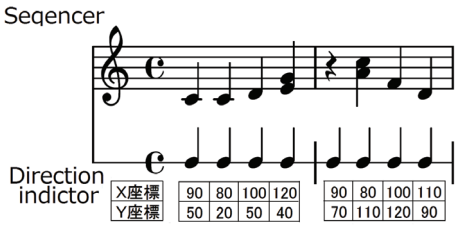

図 10 実際の演奏例
Fig. 10 Actual performance example

能でソフトウェアにどのタイミングで向きを変更すればよいのかを記憶させることができる．演奏自体はサーボモータの駆動に合わせて止まることはない．常に演奏し続けているためサーボモータ駆動中も音が途切れず，各ステップ間の方向変化中に予期せぬ音の配置を楽しむことができる．

3.7 演奏方法

演奏方法を述べる．操作者は演奏装置及び方向指示を利用し演奏を行う．以下に操作方法を述べる．

(1) ウェブカメラに自身の指が映っている確認する
(2) 動作の録画を行う場合はこの段階で行う
(3) 演奏開始ボタンをクリックする
(4) 演奏装置のボタンを適宜押下し，演奏情報をソフトウェアに送る
(5) 指でスピーカの方向を指示する
(6) 逐次演奏情報や方向を変化させつつ演奏を行う

4. 予備的検討

システムの使用感を知ることを目的に，調査を行った．以下の 2 点の検証を行った．

(1) システムを利用して音を配置しているという感覚はあったか
(2) 音を配置する行為によって演奏感がどれほど変わるか

4.1 調査手法

被験者は男性 3 名である．屋内に設置したシステムを実際利用させ，自由記述形式で回答させた．屋内はさほど広くない講義室を利用して，スピーカから音を流した時に講義室の端まで届くような音量に設定した．配置は**図 11** である．椅子や机などの障害物は配置していない．

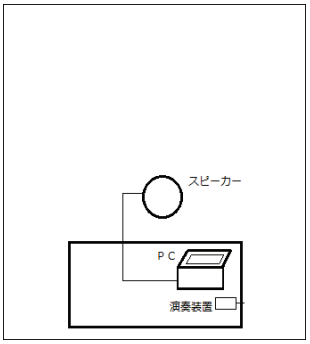

図 11 調査時の配置
Fig. 11 Location when research

4.2 調査手順

捜査方法を被験者に対し説明し，実際の操作方法を理解させた．まず，被験者に 3 分間方向指示なし状態でシステムを使用させた．次に，被験者に 3 分間方向指示あり状態でシステムを使用させた．最後に好きなように被験者に 3 分間システムを使用させた．その後，自由記述形式のアンケートに回答させた．

4.3 調査結果および考察

4.3.1 調査結果

自由記述の回答結果を以下に示す．

システムを利用して音を配置しているという感覚はあったか

- あった．音が様々な方向から聞こえてくるようになるのは面白い．
- あると思う．指の動きが速すぎるとスピーカがついていけない場合がある．
- あった．

音を配置する行為によって演奏感がどれほど変わるか

- 片手で演奏，片手で方向指示になるものの，そこまで難しくなかった．
- 演奏に集中しすぎると忘れてしまう．音の配置がある方ができることが増えて楽しかった．
- 配置がそんなに難しく無かったので，なしの場合と比べて演奏する感覚があまり変わっていない．配置できる分，配置行為ありの方が良い．

その他自由記述

- 指が常に映るように気を使わねばならなかった．
- モーターの反応速度を上げてほしい．
- 音の変更や，別の楽器を重ねられるとよりよくなると思う．音量調節もできると良い．スピーカが増えると

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

どうなるのか気になる．テンポとあまり同期できていない場合があった

5. 考察

調査結果から，検証１の「音の配置」については達成できていた．音の配置によって，演奏行為に新たな音の位置という要素を足すことができたと考える．検証２「演奏感の変化」については検証１の内容を概ね補強するものであった．直感的操作によってスピーカの方向指示を行えるようにしたため，演奏行為を阻害することなく音の配置を行わせることができたと考える．

6. 課題

調査から得られた今後の課題として以下の３点を挙げる．

- 画像取得方法の変更
  ウェブカメラでは方向指示に追いつかない場合があることが確認された．また，指先だけだと細かな指示ができるものの大きな動きで指示ができないため，演奏に不満が出る恐れもある．そのため，Kinect を使用した腕全体を使った方向指示を取り入れるよう改善する．
- スピーカの反応改善
  実験中にも確認されたが，あまりにテンポが速くなるとサーボモータ自体がついていけずに中途半端な方向を向くだけで終わってしまうことがあった．サーボモータの変更やテンポの制限を行うなどの方法で対処する．
- 複数スピーカでの演奏
  スピーカ１基状態では出力源が１種となってしまうので，複数楽器での演奏は難しい．そのため，スピーカを増やすことで楽器の種類を増やしたり，より複雑なスピーカシーケンスを組んだりすることを目指す．

7. おわりに

本稿では音の配置を含む音楽構成生成手法を提案した．操作者の指の方向を検知してスピーカの向きを変化させることで，音の配置を行う手法である．演奏に合わせて指示方向に音を飛ばすことで，音楽に音の位置移動という要素の付加を行った．　今後は得られて課題を解決しつつ，実験を行い本システムを利用した音楽構成生成手法の提案を行う．

謝辞

本研究は，科研費 25700021 および科研費 24300047 の助成の一部を受け実施したものである．

参考文献

[1] 有限会社トライステート” パラメトリックスピーカ実験キット” http://www.tristate.ne.jp/parame.htm
[2] 鎌倉 友男 , 青木 健一 , 酒井 新一 [他] , 銭 盛友 , ”パラメトリックスピーカに関する最新の研究，”電子情報通信学会技術研究報告. US, 超音波 104(613), 17-20, 2005-01-21
[3] 鎌倉 友男 , 酒井 新一, ”パラメトリックスピーカの原理と応用，”電子情報通信学会技術研究報告. US, 超音波 105(554), 19-24, 2006-01-20
[4] 矢田 淳也, 北川 和則, 米沢 義道, 伊東 一典, 橋本 昌巳,” パラメトリックアレイビームによる空中音源,”電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 94(202), 25-30, 1994-08-26
[5] 長尾 俊, 苗村 健,”超指向性スピーカー群を用いた鑑賞支援システムの基礎検討,”電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎 112(25), 29-34, 2012-05-07
[6] 風間 亮介, 穂刈 治英, 島田 正治,”マルチチャネルスピーカによる仰角・俯角における仮想音源再生の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 110(239), 49-54, 2010-10-14
[7] 久木元 伸如,Ewe Chin Huat, 竹田 仰,”プロジェクション型没入ディスプレイにおける 3 次元音場生成のための実用的検討,”電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 99(259), 29-36, 1999-08-26
[8] 時岡 綾, 安藤 彰男,”仮想スピーカアレイによる窓枠型スピーカアレイの制御,”電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 111(306), 1-6, 2011-11-11
[9] 伊藤 仁一 , 中山 雅人 , 西浦 敬信 [他] , 木村 朝子 , 柴田 史久 , 田村 秀行 ,”X-Media Galaxy における移動音像実現のための音像補間 ”日本バーチャルリアリティ学会論文誌 18(3), 405-414, 2013-09-30
[10] 森勢将雅，杉林裕太郎，栗元総太，西浦敬信，”音像プラネタリウム：超音波スピーカを利用した 3 次元音場再生方式,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 16, No. 4, pp.687-693, 2011.
[11] 牧 勝弘, 木村 敏幸, 勝本 道哲,”26 チャンネル球形スピーカによる楽器の実演奏音の再生,”日本音響学会誌 67(10), 447-458, 2011-10-01
[12] 林 貴哉, 宮部 滋樹, 山田 武志 [他], 牧野 昭二,”球状スピーカアレーを用いた放射特性制御のシミュレーション,”電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 112(76), 19-24, 2012-06-01

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan