

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26280065

研究課題名(和文)フレキシブルパラメトリックスピーカを用いた3D音像ホログラムの総合開発

研究課題名(英文)Acoustic Hologram with Flexible Parametric Loudspeaker

研究代表者

西浦 敬信(Nishiura, Takanobu)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：70343275

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：ある特定の領域にのみ音波を放射できるパラメトリックスピーカを用いて、音空間の任意の場所における立体的な音像(3D音像ホログラム)を実現した。特に放射板を自由に形状変形可能なフレキシブルパラメトリックスピーカを開発した上で、複数のフレキシブルパラメトリックスピーカを用いて「キャリア波」と「側帯波」を分離放射することで音空間に3D音像ホログラムを構築した。さらに社会実装実験を通じて活用シーンも調査・検討し、音空間上の任意の場所に構築可能な3D音像ホログラムの総合開発を試みた。

研究成果の概要(英文)：A 3D acoustic hologram was constructed with a parametric loudspeaker that focuses an emitted sound wave to construct a sound image in a targeted area. The flexible parametric loudspeaker was first developed by enabling the surface of the loudspeaker to be freely transformed. The 3D acoustic hologram was then realized by separating the carrier and sideband waves of a sound wave with multiple flexible parametric loudspeakers. The application of the hologram was also investigated through social implementation experiments, and we researched the integrated development of a hologram that could construct a sound image in a targeted area.

研究分野：音響情報処理

キーワード：パラメトリックスピーカ 音像ホログラム オーディオスポット フレキシブルパラメトリックスピーカ 社会実装実験

1. 研究開始当初の背景

ここ数年、3D テレビや 3D 映画の普及に伴い、映像分野では様々な 3D コンテンツが開発され民生機器においても容易に 3D 映像を再生できる時代となった。しかしながら、音響分野ではユーザの周囲にスピーカを配置して臨場感を高めるサラウンド技術が未だに主流であり、3D 時代にふさわしい 3D 音響の開発が急務となっている。3D 音響を実現する上で重要となるのが、あたかも音源がそこにあるかのような臨場感・没入感が重要となるが、現在のサラウンドを始めとするスピーカシステムはスピーカ位置もしくは各スピーカ間に音響を構築できる程度であり、任意の音空間に音響を構築できる技術水準にないのが現状である。この問題に対して研究代表者は「音響プラネタリウム」方式（特許願 2010-075788）というパラメトリックスピーカを利用した全く新しい音響再生方式を提案し、任意の壁面上に 3D 音響を構築することに成功した。音響プラネタリウム方式によって壁面上の 3D 音響構築に成功した最大の要因は、パラメトリックスピーカによる超指向性音源と壁面反射となるが、任意の音空間における 3D 音響構築に向けて更なる技術革新が必要不可欠な状況である。

パラメトリックスピーカの基本原理は、キャリア波を信号波で変調（変調によりキャリア波と側帯波が生成）し音空間に放射することで、空気中にて復調が行われ高い直進性を持つ信号波（超指向性音源）が出現する仕組みである。そこで複数のスピーカにてキャリア波と側帯波を独立して恣意的に分離放射し、各音響パスにて焦点を形成すれば、任意の音空間上に 3D 音響ホログラムを構築できるのではという着想（図1）に基づき、本研究を申請するに至った。本研究を推進する上で重要となる学術的な研究要素は、

【技術研究（ハードウェア）】 指向性を自由に制御可能な新しいスピーカシステム開発

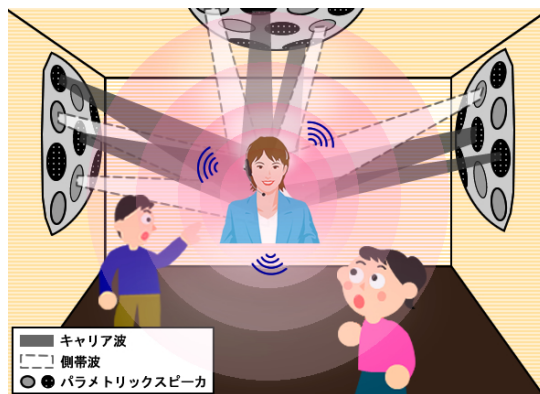


図1： 3D 音響ホログラムのイメージ

【技術研究（ソフトウェア）】 キャリア波と側帯波の分離放射による 3D 音響ホログラムの構築

【社会実装研究】 3D 音響ホログラムの活用シーンの調査・検討

の3本柱となる。パラメトリックスピーカを用いた世界初の 3D 音響ホログラムの技術開発に留まらず社会における様々な活用シーンを検討し、大きな社会基盤革命を巻き起こすような 3D 音響ホログラムの総合開発を展開する。

2. 研究の目的

ある特定の領域にのみ音波を放射できるパラメトリックスピーカを改良し、音空間の任意の場所における立体的な音響を実現する。特に放射面を凸面から凹面まで自由に形状変形可能なフレキシブルパラメトリックスピーカを開発した上で、複数のフレキシブルパラメトリックスピーカを用いて「キャリア波」と「側帯波」を分離放射することで音空間に 3D 音響ホログラムを構築する計画である。我々はこれまでパラメトリックスピーカを用いた「音響プラネタリウム」方式を世界に先駆けて提案し、反射壁面上における音響の構築に世界で初めて成功した実績を有する。これらの技術を発展的に拡張・融合し、さらに社会における活用シーンも調査・検討（社会実装）することで、音空間上の任意の場所に構築可能な 3D 音響ホログラムの総合開発を試みる。

3. 研究の方法

空間上の3D音像構築という課題に対して、キャリア波と側帯波を複数のスピーカにより分離して放射することで、任意の音空間上に3D音像ホログラムを構築する。ハードウェアおよびソフトウェアによる技術研究だけでなく、3D音像の活用シーンの調査・検討等の社会実装研究も実施することで次世代3D音響再生方式の総合開発を展開する。具体的には以下の項目に対して研究を実施した。

(1) 【技術研究（ハードウェア）】指向性を自由に制御可能な新しいスピーカシステムの開発

パラメトリックスピーカは超音波素子を複数個並べて配置した構造になっているが、素子配置としては電気から音響信号に変換する際の変換効率と超指向性の観点から平面状に配置されていた。しかしながら、もし素子配置に柔軟性を持たせることができれば、指向特性の広狭を自由に制御できるのではという着想を基に、超音波素子を凹・凸状に配置し曲率を制御することで指向特性の広狭の制御を試みる。本アイデアは、すでに本応募研究申請直前に特許出願（特許願2013-197599）も行っており、独創的かつユニークな研究を展開する。特に凹状は焦点を3D音像体験者の手前に形成することで、広指向特性を形成できる可能性を秘めており、広/狭指向特性の制御に関して有力なアプローチである。

(2) 【技術研究（ソフトウェア）】キャリア波と側帯波の分離放射による3D音像ホログラムの構築

パラメトリックスピーカの基本原理は、キャリア波を信号波で変調し音空間に放射することで、空気中にて復調が行われ高い直進性を持つ信号波が出現する仕組みである。そこで2台以上のパラメトリックスピーカにてキャリア波と側帯波を独立して恣意的に

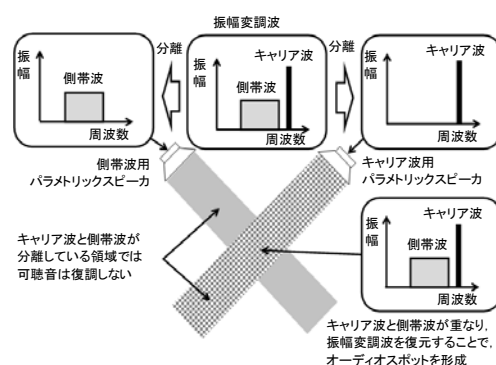


図2：オーディオスポットの構築原理

分離放射し、各音響パスにて焦点を形成すれば、任意の音空間上に3D音像ホログラムを構築できるのではないかという着想に基づき、2台のパラメトリックスピーカを用いてキャリア波と側帯波を恣意的に分離放射し、焦点を形成することでオーディオスポットの構築（図2）を試みる。さらに、キャリア波と側帯波を複数のパラメトリックスピーカから放射し、テーマ（1）の広/狭指向特性を実現可能な新デバイスの知見も活用して、焦点だけでなく焦点以外の干渉エリアも制御することで、3D音像ホログラムを実現する。

(3) 【社会実装研究】3D音像ホログラムの社会における活用シーンの調査・検討

本研究では3D音像ホログラムの総合開発を目標としており、単なる技術開発に留まらず社会における様々な活用シーンを産官学民で共創する環境作りが必要不可欠である。そこで、多世代交流、地域活性化、コミュニティ再生を念頭に、3D音像ホログラムの利点を積極的に活用できるシーンや場所を調査・検討するワークショップやフィールドワークなどの社会実装を定期的実施し、技術研究者が「豊かな地域社会」の実現、つまり「社会技術化」を常に意識できる体制を構築する。

(4) 【総合研究】上記を統合した社会基盤の総合開発

テーマ（１）－（３）の３本柱を統合して研究を推進する。特に技術研究成果と社会実装成果を互いに共有することで社会にて役立つ技術を醸成し、大きな社会基盤革命を巻き起こすような 3D 音像ホログラムの総合開発を展開する。

4. 研究成果

(1) 【技術研究（ハードウェア）】指向性を自由に制御可能な新しいスピーカシステムの開発

超音波素子を凹・凸状に配置し曲率を制御することで指向特性の広狭の制御を試みた。その結果、図 3 に示す通り凹面形状を工夫することで、指向特性の広狭の制御が可能であることを確認した。

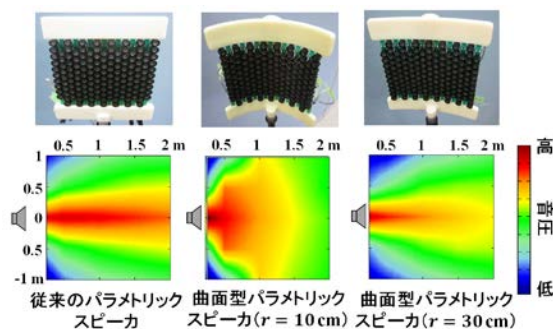


図 3： 曲面型フレキシブルスピーカ

さらに、図 4 に示す通り凹面の曲率を自動制御可能なフレキシブルデバイスを開発し、これまでのパラメトリックスピーカ概念を超えた新しいフレキシブルパラメトリックスピーカシステムの開発に成功した。

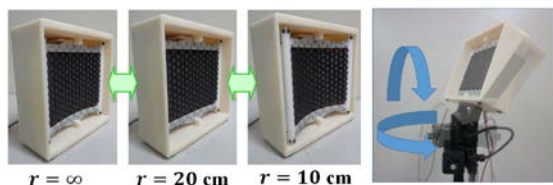


図 4： フレキシブルパラメトリックスピーカ

(2) 【技術研究（ソフトウェア）】キャリア波と側帯波の分離放射による 3D 音像ホログラムの構築

6 台のパラメトリックスピーカを用いてキャリア波と側帯波を恣意的に分離放射し、焦点を形成することでオーディオスポットの構築を試みた。その結果、図 5 に示すとおり空間のある領域でのみ音を再生できることを確認した。

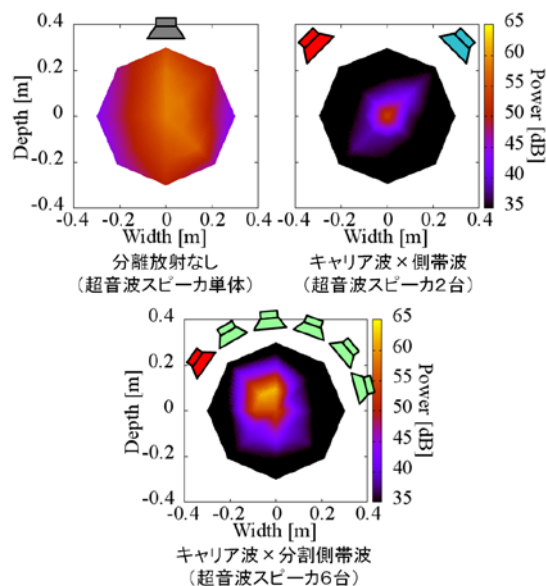


図 5： オーディオスポットの構築

さらに、キャリア波と側帯波を複数のパラメトリックスピーカから放射し、さらに間接導電型スピーカおよびテーマ（１）のフレキシブルパラメトリックスピーカデバイスも活用して、焦点だけでなく焦点以外の干渉エリアも制御することで、図 6 に示す 3D 音像ホログラムを実現した。

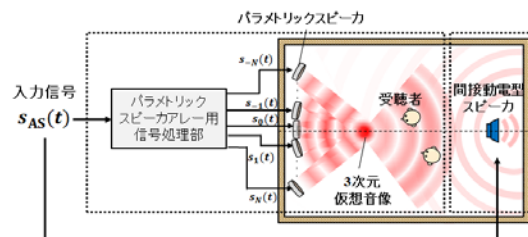


図 6： 音像ホログラムの実現

(3) 【社会実装研究】3D 音像ホログラムの社会における活用シーンの調査・検討

多世代交流、地域活性化、コミュニティ再生を念頭に、3D 音像ホログラムの利点を積極的に活用できるシーンや場所を調査・検討するワークショップやフィールドワークなど

の社会実装を定期的実施した。特に屋内環境に留まらず、積極的に屋外空間での社会実装を行い、研究を推進した。



図7: 社会実装実験の様子

(4) 【総合研究】上記を統合した社会基盤の総合開発

テーマ(1) - (3)の3本柱を統合して研究を推進し、技術研究成果と社会実装成果を互いに共有することで社会にて役立つ技術を醸成し、大きな社会基盤革命を巻き起こすような3D音像ホログラムの総合開発を展開した。最後に構築したシステムの評価を行い、有効性を確認した。今後は実用化を念頭にプロトタイプ機を開発し、社会で役立つシステム開発を実施する計画である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 12 件)

- ① Yukoh Wakabayashi, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Yoichi Yamashita, Single-Channel Speech Enhancement with Phase Reconstruction Based on Phase Distortion Averaging, IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 査読有, 2018, 10.1109/TASLP.2018.2831632
- ② 小森 慎也, 大上 佳範, 中山 雅人, 西浦 敬信, マルチパラメトリックアレースピーカを用いた音像ホログラムの構築, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J101-D, No. 3, 2018, pp. 578-587, 10.14923/transinfj.2017PDP0007
- ③ 西浦 敬信, 高臨場音場再現:パラメトリックスピーカを用いた最新の研究動向, 電子情報通信学会 Fundamentals Review 誌, 査読無, Vol.10, No. 1, 2016, pp. 57-64, <https://doi.org/10.1587/essfr.10.1.57>

- ④ 小森 慎也, 生藤 大典, 福森 隆寛, 中山 雅人, 西浦 敬信, 曲面型パラメトリックスピーカを用いた壁面移動音像の構築, 電子情報通信学会論文誌(A), 査読有, Vol.J99-A, No.11, 2016, pp.426-429.
- ⑤ 小辺 亮介, 生藤 大典, 福森 隆寛, 中山 雅人, 西浦 敬信, パラメトリックアレースピーカを用いたキャリア波と複数側帯波の独立遅延制御による近距離音響再生, 電子情報通信学会論文誌(A), 査読有, Vol.J99-A, No.6, 2016, pp.201-210.
- ⑥ 西浦 敬信, 極小領域のみで再現可能な超音波スピーカ, 応用物理, 査読無, Vol.84, No.9, 2015, pp.824- 827.
- ⑦ 小森 慎也, 益永 翔平, 生藤 大典, 中山 雅人, 西浦 敬信, フレキシブルパラメトリックスピーカを用いたオーディオスポットの制御, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.20, No.3, 2015, pp.189- 198, <https://doi.org/10.18974/tvrsj.20.3.189>
- ⑧ 西浦 敬信, パラメトリックスピーカを用いた音場再生技術, 日本音響学会誌, 査読無, Vol. 71, No. 2, 2015, pp. 89-94, <https://doi.org/10.20697/jasj.71.2.89>
- ⑨ 松井 唯, 生藤 大典, 中山 雅人, 西浦 敬信, キャリア波と側帯波の分離放射によるオーディオスポット形成, 電子情報通信学会論文誌(A), 査読有, Vol.J97-A, No.4, 2014, pp.304- 312.

〔学会発表〕(計 74 件)

- ① Yukoh Wakabayashi, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Yoichi Yamashita, Phase Reconstruction Method Based on Time-frequency Domain Harmonic Structure for Speech Enhancement, Proc. IEEE ICASSP 2017, 2017.
- ② Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Synchronized Amplitude-and-Frequency Modulation for a Parametric Loudspeaker, Proc. APSIPA-ASC 2017, 2017.
- ③ Shinya Komori, Ryosuke Uemura, Daisuke Ikefuji, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, AUDIO-SPOT with Flexible Parametric Loudspeaker, Proc. IEEE ICASSP 2016, 2016.
- ④ Masato Nakayama, Ryosuke Konabe, Takahiro Fukumori, Takanobu Nishiura, Near-sound-field Propagation Based on Individual Beam-steering for Carrier and Sideband Waves with Parametric Array Loudspeaker, Proc. APSIPA-ASC 2016, 2016.
- ⑤ Daisuke Ikefuji, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Yoichi Yamashita, Robust sound image localization for moving listener with curved-type parametric loudspeaker, Proc. APSIPA-ASC 2015, 2015.
- ⑥ Masato Nakayama, Takanobu Nishiura,

Ryota Okuno, Noboru Nakasako, A Study on Acoustic Beam Steering with Parametric Loudspeaker Based on Individual Delay-Filtering for Carrier and Sideband Waves, Proc. IEEE APCCAS 2014, 2014.

- ⑦ Kohei Hayashida, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Yoichi Yamashita, Toshiharu Horiuchi, Tsuneo Kato, Close/distant talker discrimination based on kurtosis of linear prediction residual signals, Proc. IEEE ICASSP 2014, 2014.
- ⑧ Daisuke Ikefujii, Hideya Tsujii, Shohei Masunaga, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Yoichi Yamashita, Reverberation Steering and Listening Area Expansion on 3-D Sound Field Reproduction with Parametric Array Loudspeaker, Proc. APSIPA ASC 2014, 2014.

〔図書〕(計 1 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2 件)

名称: パラメトリックスピーカ, 信号処理装置, 及び信号処理プログラム

発明者: 西浦 敬信, 中山 雅人, 小辺 亮介

権利者: 学校法人立命館

種類: 特許

番号: 特願 2015-215898

出願年月日: 2015 年 11 月 02 日

国内外の別: 国内

名称: 音響システム, 及びこれに用いる媒質収容具, 並びに, 音響信号の再生方法

発明者: 西浦 敬信, 中山 雅人, 有吉 輝

権利者: 学校法人立命館

種類: 特許

番号: 特願 2016-31263

出願年月日: 2016 年 02 月 22 日

国内外の別: 国内

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

○報道関連

西浦 敬信, 極小領域オーディオスポット記者発表, 立命館大学朱雀キャンパス, 2014 年 6 月 2 日 (2014 年 6 月 3 日 朝日新聞, 読売新聞, 日本経済新聞, 産経新聞, 京都新聞, 中日新聞, 日刊工業新聞の各紙に掲載).

○技術展示

西浦 敬信, イノベーションジャパン 2015, 東京ビッグサイト, 2015 年 8 月 27 日~2015 年 8 月 28 日

<http://www.jst.go.jp/tt/fair/ij2015/index.html>

伊坂忠夫, 塩澤成弘, 西浦 敬信, 善本 哲夫, メディアラボ第 18 期展示「アクティブでい

こう! ものぐさ→アスリート化計画」, 日本科学未来館, 2017 年 6 月 22 日~2017 年 11 月 22 日

<http://www.miraikan.jst.go.jp/sp/medialab/>

西浦 敬信, パラメトリックスピーカの特別展示, 成田国際空港第 2 ターミナル, 2017 年 12 月 1 日~2017 年 12 月 25 日

<http://www.ritsumeai.ac.jp/news/detail/?id=935>

○アウトリーチ活動

善本 哲夫, 指向性スピーカを用いた社会実装実験, 兵庫県丹波市上久下地域づくりセンター, 2014 年 5 月 16 日~2014 年 5 月 17 日, (2014 年 5 月 14 日 丹波新聞に掲載).

武田 史朗, 西浦 敬信, 大人のラジオ体操(住宅密集地での指向性スピーカを活用した社会実装実験), 京都市下京区壬生オアシスガーデン, 2014 年 8 月 25 日~2014 年 8 月 30 日, (2014 年 10 月 7 日 朝日新聞に掲載).

西浦 敬信, 第 33 回東郷町文化産業まつりにて指向性スピーカを用いた社会実装実験, 東郷町 TIS トレーニングジム, 2015 年 11 月 8 日, (2015 年 11 月 10 日 中日新聞に掲載).

善本 哲夫, 西浦 敬信, 指向性スピーカを用いた多世代交流社会実装実験, 高齢者福祉施設本能, 2016 年 11 月 3 日, (2016 年 11 月 2 日 京都新聞に掲載).

善本 哲夫, 指向性スピーカを用いた異文化運動交流のための社会実装実験, University of London, 2017 年 11 月 10 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西浦 敬信 (NISHIURA TAKANOBU)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号: 70343275

(2) 研究分担者

善本 哲夫 (YOSHIMOTO TETSUO)

立命館大学・経営学部・教授

研究者番号: 40396825

中山 雅人 (NAKYAMA MASATO)

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・准教授

研究者番号: 90511056