

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：34407

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11365

研究課題名（和文）パラメトリックスピーカを用いた音響測距に基づくピンスポット音提示システムの開発

研究課題名（英文）Development of acoustic pin-spot system based on acoustic distance measurement using parametric loudspeaker

研究代表者

中山 雅人（Nakayama, Masato）

大阪産業大学・デザイン工学部・准教授

研究者番号：90511056

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、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と位相干渉を利用した音響測距法を組み合わせ、自動的に人を検知し、その人に対してピンスポットで音を提示するシステムを実現することを目指した。本研究課題を実現するための要素技術として、パラメトリックスピーカの基盤研究、音響測距法の基盤研究、音提示システムの開発に関する研究を推進し、多くの研究成果が得られた。また、研究課題であるパラメトリックスピーカを用いた音響測距に基づくピンスポット音提示システムの開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パラメトリックスピーカは、超音波を利用して非常に鋭い指向性を実現できるスピーカであるが、一般的に普及するためには、多くの課題が残されている。本研究で得られた多くの研究成果は、これらの課題を解決するための一助となることが期待できる。また、音響測距法は、音波を利用したレーダであり、映像情報の死角を補う上で非常に有望な技術である。音提示システム（音場再現技術）の開発で得られた多くの研究成果は、今後発展が期待されているバーチャルリアリティの分野で核心となる技術であり、極めて大きな波及効果が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we study the method to present the sound to a person with a pin spot by combining a parametric loudspeaker that can radiate sound waves only in a specific area and an acoustic distance measurement method that uses phase interference to automatically detect that person. As elemental technologies for realizing this research subject, we promoted basic research on the parametric loudspeaker, basic research on the acoustic distant measurement method, and research on the development of sound presentation systems, and many research results were obtained. Finally, we succeeded in developing an acoustic pin-spot system based on acoustic distance measurement using parametric loudspeaker, which is a research subject.

研究分野：音響学

キーワード：立体音響 パラメトリックスピーカ 音レーダ

1. 研究開始当初の背景

ある特定の場所に光のスポットライトのように、音のスポットライトを提示する技術をオーディオスポットと呼ぶ。このオーディオスポットは、周囲に騒音を与えることなく、必要な音を必要な場所にのみ提示できる。このような、音の指向性制御を実現する技術の一つとして、コンサートホールなどの大空間では複数のスピーカを利用したスピーカアレイシステムが導入されているが、システムの規模が非常に大きくなる問題がある。近年、小型の超指向性スピーカとして、超音波を利用したパラメトリックスピーカが注目されている。パラメトリックスピーカは、小規模なシステムでオーディオスポットを実現できる。これまでに、研究代表者は、**H24-26** 科研費若手研究(B)「パラメトリックスピーカと音響トラッキングによる立体音響システムに関する研究」で、このパラメトリックスピーカを利用した立体音響システムを開発し、**H27-H29** 科研費若手研究(B)「キャリア波と側帯波の独立位相制御に基づく音空間分離システムの開発」で、パラメトリックスピーカを利用した音空間分離システムを開発した。これまでの研究では、移動しない受聴者、もしくは固定された空間に対して音を提示する技術の開発してきた。これまでの研究により、静止した対象者に対してピンスポットで音提示するシステムは実現でき、**JST** 科学技術振興機構の **COI** プログラム「運動の生活カルチャー化により活力ある未来をつくるアクティブ・フォー・オール拠点」において、運動誘導をキーワードとして実用化を想定し、事業化までも検討できるステージにまで至っている。これらの実用化の検討において、オーディオスポット技術を、移動体に適用できれば、さらなる応用を検討できるのでは、という発見があった。特に、自動車などの移動体から歩行者に音を提示する場合、対象とする人の位置は移動するため、その人をリアルタイムで検出、追跡し、さらにその人だけにオーディオスポットを構築する技術が必要不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究の短期的な目的は、パラメトリックスピーカと音響測距測距法の基盤研究を推進し、最終的なピンスポット音提示システムを開発することである。まず、従来のビームフォーミング技術をパラメトリックスピーカに適用した手法[1]は既に提案されている。しかしながら、キャリア波と側帯波を独立に制御することで空間的な可聴領域の制御を行う点、図 1 に示すフレキシブルパラメトリックスピーカ(特願 2015-215898)により放射特性を制御する着想の研究は国際的に見ても極めて独創的であり、学術的な貢献度も非常に高い。また、音響測距法は近畿大学中迫教授らによる独自性の高い研究であり、研究代表者はその研究グループの一員として研究を推進している。本研究課題を実現することにより、これまでにない新しい価値を創出し、様々な応用用途に波及することで研究成果の社会還元が達成できれば、本研究の最終的な目的は達成される。

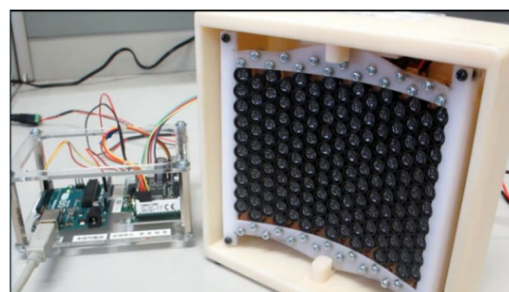


図 1 フレキシブルパラメトリックスピーカ

文献[1]: C.H. Wong, Z.W. Siew, I. Saad, C.F. Liau and K.T.K. Teo, "Performance Analysis on Beam-steering Algorithm for Parametric Array Loudspeaker Application," Proc. of the 3rd (2011) CUTSE Interantional Conference, pp. 283-288, 2011.

3. 研究の方法

本研究の概略を図 2 に示す。図 2 に示す通り、本研究課題の解決を実現するためには、2 つの要素技術が必要となる。一つは、特定の位置にのみオーディオスポットを形成する極小領域オーディオスポット技術であり、もう一つは、歩行者の位置を感知する音レーダの役割を果たす音響測距法である。レーダのセンシング部は、超音波だけではなく、画像処理技術も併用することを検討したい。本研究で明らかにすべき事項は、移動体から音波を放射し、リアルタイムで人を追従し、特定の歩行者にだけにピンスポット

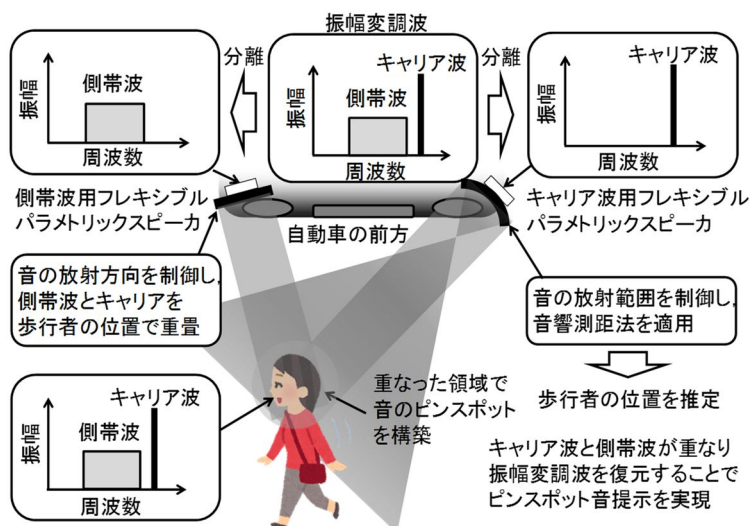


図 2 ピンスポット音提示システムの概略図

トで音を提示する一連の流れにおける問題点をすべて明らかにし、その問題点に対する解決策を提示する。本研究では、以下の3つの研究課題において、それぞれの課題を明らかにする。

(1) パラメトリックスピーカによるピンスポット音提示(パラメトリックスピーカの基盤研究)

遠方位置にいる歩行者にオーディオスポットを構築する。そのためのフレキシブルパラメトリックスピーカの改良、極小領域オーディオスポット用の最適パラメトリックスピーカ配置の検討、遠方の歩行者にまで音を届けるための変調方式の検討を行う。特に、移動する歩行者に対して、複数のフレキシブルパラメトリックスピーカにより「キャリア波」と「側帯波」を分離放射することで、特定の領域にピンスポットで音を提示する手法を検討する。

(2) 音響測距法による歩行者の探知(音響測距法の基盤研究)

フレキシブルスピーカを用いた音響測距法で歩行者の位置を探知する。まず、フレキシブルパラメトリックスピーカにより音の放射特性を制御し、超音波の探知範囲と音響測距法の距離スペクトルの関係を明らかにする。さらに、リアルタイムで歩行者の位置を追従するための問題点を明らかにし、その解決策を模索する。

(3) 統合的なシステムの開発

フレキシブルパラメトリックスピーカを用いた音響測距法によって得られた歩行者の位置情報をもとに、複数のフレキシブルパラメトリックスピーカにより「キャリア波」と「側帯波」を分離放射することで、特定の領域にピンスポットで音を提示する最終的なシステムの構築を実現する。特に、リアルタイムで移動する歩行者に自走する自動車から音波を放射し、その歩行者に追従しながら、ピンスポット音提示を行うための検討を行う。

4. 研究成果

本研究課題の実現に向けて、様々な検討を行った。本研究課題を実現するために、必要となる要素技術として、パラメトリックスピーカの基盤研究、音響測距法の基盤研究、音提示システムの開発に関する以下の項目に対して研究を推進し、多くの研究成果が得られた。

(1) パラメトリックスピーカ(出力系)の基盤研究

特に顕著な研究成果として、パラメトリックスピーカを長期運用する際に問題となるスペクトルピーク雑音を抑圧する手法を提案した。本研究成果は、2021年に査読付き学術論文として採録された。また、パラメトリックスピーカの最大復調距離を制御する手法を提案した。本研究成果は2019年に査読付き学術論文として採録された。上記以外にも多くのパラメトリックスピーカに関する研究成果が得られ、毎年、国際会議、国内学会にてその成果を発表した。さらに、一部の研究成果に関しては、特許出願も行った。これらの基盤研究で得られた多くの要素技術をピンスポット音提示システムの開発に活用した。

(2) 音響測距法(入力系・音環境分析系)の基盤研究

特に顕著な研究成果として、本システムで音声による相互通信を行うことを想定し、音声の位相を考慮した音声強調手法を提案した。本研究成果は、2018年に査読付き学術論文として採録された。また、音場情報を分析する基盤研究として、マイクロホンアレーによる空力音の推定手法を検討した。本研究成果は2018年に学術論文として採録された。上記以外にも多くの研究成果が得られ、毎年、国際会議、国内学会にてその成果を発表した。音響測距法に関する検討として、立体配置マイクロホンを利用した全方位対象物検知、深層学習を利用した物体の形状推定を実施した。これらの研究に関しては、さらなる検討を実施中であり、その研究成果は今後発表予定である。これらの基盤研究で得られた要素技術を歩行者検知システムの開発に活用した。

(3) 音提示システム(音場再現系)の研究・開発

特に顕著な研究成果として、受聴者に音像を提示するシステムとして、頭部近傍配置型スピーカーアレーを提案した。本研究成果は、2018年に査読付き学術論文として採録された。また、複数のパラメトリックスピーカを利用し、波面合成を行うことで仮想音源を構築する手法を提案した。本研究成果は、2019年に査読付き学術論文として採録された。さらに、パラメトリックスピーカと導電型スピーカを組み合わせることでシャープな音像を提示できるサラウンドシステムを開発した。本研究成果は、2020年に査読付き学術論文として採録された。上記以外にも多くの研究成果が得られ、毎年、国際会議、国内学会にてその成果を発表した。一部の研究成果に関しては、特許出願も行った。これらの研究成果と(1)、(2)の研究成果を統合することで、研究課題であるパラメトリックスピーカを用いた音響測距に基づくピンスポット音提示システムの開発に成功した。今後は、研究成果として得られた音像ホログラフィをさらに発展させ、音響レイグジスタンス技術の基盤開発を挑戦したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 藤井敏弘, 有吉輝, 中山雅人, 西浦敬信	4. 巻 Vol. J102-A/ No.12
2. 論文標題 可変型気体層レンズを用いたパラメトリックスピーカの最大復調距離制御	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 299 ~ 309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ogami Yoshinori, Nakayama Masato, Nishiura Takanobu	4. 巻 146
2. 論文標題 Virtual sound source construction based on radiation direction control using multiple parametric array loudspeakers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 1314 ~ 1325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/1.5123139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Misaki Otsuka, Yukoh Wakabayashi, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura	4. 巻 Vol. 22, No. 4
2. 論文標題 Sound Image Reproduction based on Weighted Room Impulse Responses with Head-enclosed Back-surround Loudspeaker-array	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Signal Processing	6. 最初と最後の頁 193-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yukoh Wakabayashi, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura and Yoichi Yamashita	4. 巻 Vol. 26, No. 9
2. 論文標題 Single-Channel Speech Enhancement with Phase Reconstruction Based on Phase Distortion Averaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing	6. 最初と最後の頁 1559-1569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山崎 展博, 中山 雅人, 西浦 敬信	4. 巻 Vol. 85, No. 869
2. 論文標題 音場情報を用いたマイクロホンアレイによる新幹線台車部空力音の推定手法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.18-00316	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Naoto Shimada, Masato Nakayama, and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Acoustic Space-Sharing Based on Bass Tempo Synchronization with Parametric Loudspeakers and Subwoofer
3. 学会等名 GCCE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Shimokata, Masato Nakayama, and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 High Attenuated Audio-Beam Based on Near-Focused Sideband Wave with Parametric Array Loudspeakers
3. 学会等名 GCCE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoto Shimada, Kenta Iwai, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Sharp Sound Image Construction with High Sound Quality based on Sound Blending using Parametric and Dynamic Loudspeakers
3. 学会等名 NCSP 2019 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuting Geng, Yusei Nakano, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Development of Multi-way Parametric Array Loudspeaker Using Multiplexed Double Sideband Modulation
3. 学会等名 ICA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shiori Sayama, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Three-dimensional Resonance Control Based on Spatial Wave Synthesis with Parametric Array Loudspeaker
3. 学会等名 ICA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshihiro Fujii, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Demodulation Distance Control Based on Analytic Model between Film Gas-lens Depth and Demodulation Distance for Parametric Array Loudspeaker
3. 学会等名 ICA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kairi Mori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Evaluation of Thermal Runaway Control Based on Frequency Modulated Carrier Wave in Parametric Array Loudspeaker
3. 学会等名 ICA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuting Geng, Masato Nakayama, and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Virtual Bass Enhancement Based on Harmonics Control Using Missing Fundamental in Parametric Array Loudspeaker
3. 学会等名 INTER-NOISE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kairi Mori, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Spectral Peak Noise Reduction with Frequency Modulated Carrier Wave for Parametric Loudspeaker
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihiro Fujii, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Wearable Personal Audio-spot Design Based on the Collaboration of Bone Conduction Headphone and Parametric Loudspeakers
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshinori Ogami, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Multiple Sound Images Reproduction with Parametric Array Loudspeakers and Indirect Electrodynamic Loudspeakers
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusei Nakano, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 A Study on Audible Low-frequency Sound Emphasis Based on Multiplexed Double Sideband Modulation in Parametric Loudspeaker
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Shindo, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Impulsive Noise Reduction in Speech Acquisition Based on Throat Vibration Measurement with Laser Microphone
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitaka Ohshio, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura and Yoichi Yamashita
2. 発表標題 Comfortable Sound Design with Chord-forming of Musical Instrument Sound for Dental Treatment Sound
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhuan Zuo, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 HRTF Personalization Based on Pinna Shape Estimation by Standardized Scanning with Handy 3D Scanner
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Misaki Otsuka, Takahiro Fukumori, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Discomfort Reduction Based on Time-frequency Auditory-masking for Railway Brake Sounds
3. 学会等名 INTER-NOISE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Nakayama and Takanobu Nishiura
2. 発表標題 Distance Control of Virtual Sound Source using Parametric and Dynamic Loudspeakers
3. 学会等名 APSIPA ASC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 音響システム	発明者 中山 雅人, 江川 琢 真	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-9098	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 パラメトリックスピーカ及び信号処理装置	発明者 西浦敬信, 中山雅 人, 森海里	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-188872	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 音響システム	発明者 中山雅人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-134077	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------