

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12041

研究課題名（和文）次世代の会話支援に向けた発話音声の3次元空間制御

研究課題名（英文）Three-dimensional spatial control of speech for next-generation conversation support

研究代表者

羽田 陽一（Haneda, Yoichi）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：80647496

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：従来、会話支援は補聴器のように聞く側の観点からの検討が主であり、発声側に着眼した研究は行われていない。本研究では、ヒトの声の放射指向特性を動的に把握し、その特性に基づいて音声を空間的に強調、あるいは抑圧する方法を明らかにすることを目的に研究を進めた。まず、無響室内にて発話の空間放射特性の測定を行い、「あ」や「い」といった音韻によって放射特性が異なる可能性があることを明らかにした。さらに、スピーカアレイを用いて発話指向性の模擬を行い、コミュニケーションにおいて指向性再現が重要であるという示唆を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、ヒトの発話放射指向特性においては個人による違いよりも音韻による違いの方が大きい可能性があることが示唆された。ただし、音韻により評価した周波数が異なるため、今後詳細な検討が必要である。一方、スピーカアレイを用いて発話放射特性を模擬した音声と模擬していない音声の比較を行い、発話放射特性の付与により話しかけられた感じが増すなどの結果を得ており、今後のコミュニケーション支援や通信・放送における臨場感の向上に資する知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：During the last few decades, the conversation support techniques have been developed from the viewpoint of the listening side like a hearing aid. Therefore, this research topic was conducted focusing on the radiation pattern of human speakers. The purpose of this study is to clarify the characteristics of radiation of speech and to establish the spatial control method of voice. First, we measured the spatial radiation pattern of utterances in an anechoic chamber. Then, we clarified that the radiation pattern may differ depending on the phonemes such as /a/ and /i/. Furthermore, we simulated speech directivity using a loudspeaker array, and confirmed that directivity reproduction is important in communication.

研究分野：音響信号処理

キーワード：空間発話特性 指向特性 音響信号処理 スピーカアレイ マイクロホンアレイ 球面調和関数

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

音は人と人、あるいは人とモノのコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている。高齢化社会では補聴支援技術はますます重要性を増しており、特に病院・薬局あるいは銀行窓口における大きな声での会話は、プライバシーの漏えいにつながることから対策が望まれている。これまで会話の漏えい防止対策として、空間に放射された発話音声のを他の音でマスキングする検討が行われてきているが、プライバシーを保護するためには大きなマスキング音が必要となり、周囲の人の快適さが失われる可能性が指摘されていた。

本研究課題においては、発声者の持つ放射指向特性を把握し、これを強調あるいは抑圧することによって周囲への音漏れは少ないが、聞き取りやすい会話の提供を目指す。発声音を空間的に制御するためには、放射された音声の時空間特性の把握が重要となるが、従来は平均的な振幅特性の測定にとどまり、位相特性や時間変動については明らかになっていない。また、音の指向性制御では逆位相の音をスピーカなどの付加的な制御音源(2次音源)から放射する必要があるが、発話音声の制御の可能性も含め、配置、必要数、周波数帯域などの条件は明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究課題では、ヒトの声の放射指向特性を動的に把握し、その特性に基づいて音声を空間的に強調、あるいは抑圧する方法を明らかにし、周囲への音漏れは少ないが、聞き取りやすい会話の提供を目的とする。具体的には、以下の内容を明らかにすることを目的とする。

- (1) 人の発話音声の空間放射特性の測定および特徴抽出
- (2) 空間に放射された発話音声の強調および抑圧制御の条件の明確化
- (3) 会話における発話音声の指向性がコミュニケーションに与える影響の調査

3. 研究の方法

本研究課題では、ヒトの声の放射指向特性を把握し、その特性に基づいて音声を空間的に強調、あるいは抑圧する方法を検討する。ヒトの声の放射指向特性は、ヒトの周囲にマイクロホンを複数設置し、測定を行う。一方、当社は強調、抑圧を直接的に行う方法を検討する予定であったが、コロナ禍において実際に発話と抑制を行うシステム構築が行えなかったため、スピーカアレイを用いた発話放射特性の模擬を行うこととした。合わせて模擬した発話指向特性が聞き手に与える影響についても簡易的な調査を行った。具体的には、期間中において以下の項目について研究を進めた。

- (1) 発話音声の空間放射特性の測定・解析
- (2) スピーカアレイを用いた発話指向性再現の検討
- (3) 発話指向特性の模擬による会話コミュニケーションへの影響調査

4. 研究成果

- (1) 発話音声の空間放射特性の測定・解析

ヒトの発話の様子を空間的にとらえるために、本研究課題では、図1に示すような頭部を囲む包囲型球面マイクロホンアレイを用いた収音を無響室内で行った。ヒトを放射体としてとらえる場合、本来体全体を囲む必要があるが、主に放射音圧が高く、制御対象として重要な口元を中心に放射特性を測ることで、制御系の検討をやすくすることを目的に、t-design method に従い球面上に配置した56個の位置から、首から肩にかけての点を取り除いた48点にマイクロホンを配置したマイクロホンアレイを作成し、頭部周辺の発話音声を一度に収録するシステムを構築した。図2に作成したマイクロホンアレイによる無響室内での測定の様子を示す。



図1 頭部包囲型マイクロホンアレイ



図2 測定の様子

ここで、本研究においては、発話放射特性を口元正面のマイクからの相対的な伝達関数として表現することとし、具体的にはクロススペクトル法によりこれを求めた。図3に例として、500Hz付近の2話者の/a/と/i/の発話放射特性を正面方向と後方から図示した結果を示す。この図から、発話放射特性は個人性より、音韻に依存している様子が見て取れる。ただし、周波数が異なるため、今後は周波数を合わせて検討することが必要である。

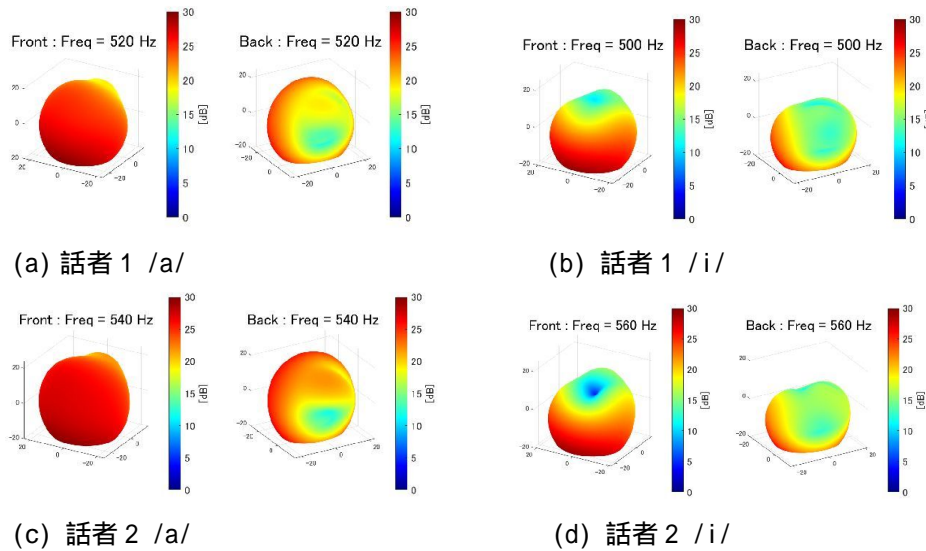


図3 2話者の/a/と/i/の発話放射特性

さて、本結果に基づいて空間制御やスピーカアレイによって再現する場合、音が球面状に広がることを考慮すると、球面調和関数展開によって放射特性に図4に示すような成分がどの程度含まれているかを解析することが重要となる。図5に球面調和関数展開係数を各成分について求めた話者1の放射指向特性の分析結果を示す。この図から音韻によって放射特性の傾向が異なることが分かり、例えば、/a/は前方の音が出やすく、/i/はz成分が強いいため、上下方向に音が依存している様子分かる。ただし、この結果についても周波数依存性や個人性についてはデータを増やして解析する必要がある。

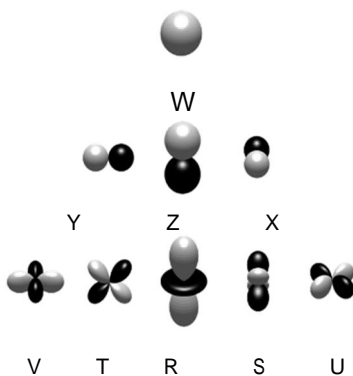


図4 球面調和関数の各放射特性

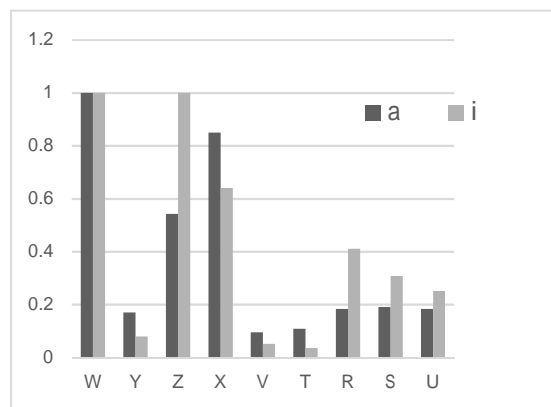


図5 話者1の放射指向特性の分析結果

(2) スピーカアレイを用いた発話指向性再現の検討

本研究課題では、人の発話放射特性を解析したのちに空間的な制御の可否について検討する予定であったが、実際の発話制御の実験がコロナ禍で困難であったため、スピーカアレイを用いた発話放射特性が模擬可能なかを検討することとした。さて、図5に示した球面調和関数展開の結果から、発話放射特性は、WXYZ成分が支配的であり、高次の成分の寄与は少ないことが分かる。そこで、本研究においては、2次までの成分を再現可能な12面体スピーカアレイを用いて発話放射特性を模擬することとした。具体的には、収音に用いた48chマイクロホンアレイで観測した音圧をスピーカアレイで再現するための逆フィルタを設計し、マイクロホン収音信号に畳み込むことでスピーカアレイ再生信号を計算した。図6に500Hz、1300Hz、2600Hzの各周波数において再現した放射指向特性を示す。各図において青色は観測データであり、オレンジ色または黄色はスピーカアレイで再現した放射指向特性を示す。低域では概ね再現できていることが分かるが、2600Hzでは、後方の指向特性の再現ができていないことが分かる。これは、48個のデータ解像度を12個のスピーカで再現しようとしているためであると考えられ、今後は、聴感上

の試験による確認や、スピーカ数を増やしたスピーカレイによる実験による検証が必要と考える。

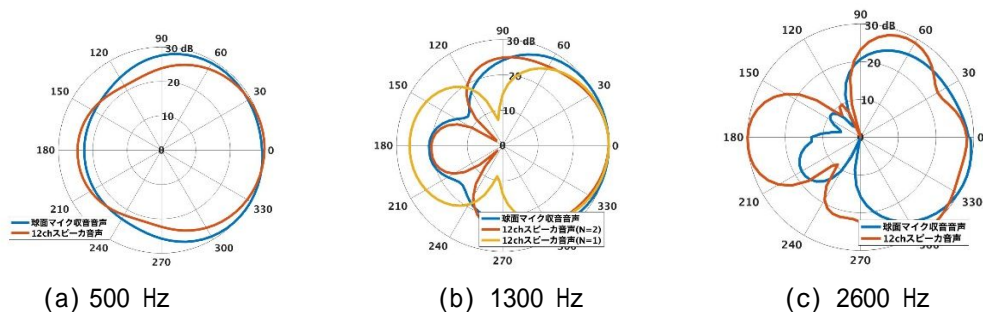


図6 スピーカレイを用いた発話放射特性の模擬結果

(3) 発話指向特性の模擬による会話コミュニケーションへの影響調査

続けて、音声発話に指向性があることが会話コミュニケーションにおいて重要であることを調査するための実験を行った。実験は、発話者が受聴者に向かって横方から正面方向に向かって話しかけるシチュエーションを再現した際に、受聴者が話しかけられたと感じる割合を調査した。実験の模式図を図7に示す。この図において正面は話者の正面を示しており、話者が正面方向から右方向に向きを変えながら発話する様子を受聴者はスピーカレイを通して受聴した。その結果を図8に示す。図8の(a)は指向性を再現しない場合、(b)は緩やかに指向性を再現した場合、(c)は12面体スピーカレイで最大限指向性を再現した場合に対応しており、それぞれ受聴者が話しかけられた感じを「おおいにあった」から「全くなかった」までの5段階で評価した結果の累積数を示している。これらの結果から、(c)のように指向性を最大限に再現した手法がもっとも話しかけられたと感じる場合が多く、対面での会話コミュニケーションにおいては発話指向性が重要であることが示唆された。

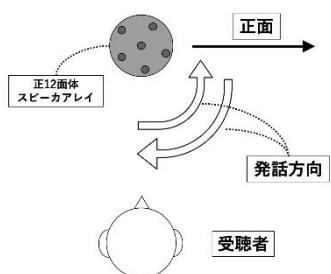


図7 発話指向特性の受聴実験

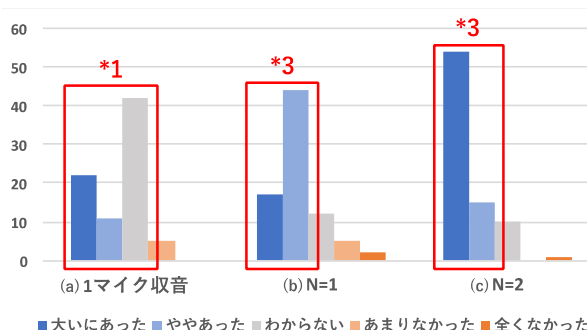


図8 指向性再現による話しかけられ感

(4) まとめ

以上述べたように、本研究課題では発話指向特性を制御するための検討まではできなかったが、発話指向特性の音韻性・個人性についての調査の方向性について知見を得ることができた。また、通常の会話コミュニケーションにおいて発話指向特性の再現が話しかけられた感じにつながることも示唆することができた。今後も、ヒトの発話指向特性の再現や制御によってより豊かなコミュニケーションの提供に寄与する研究を継続する予定である。

< 引用文献 >

R. H. Hardin, N. J. A. Sloane, McLaren's Improved Snub Cube and Other New Spherical Designs in Three Dimensions, *Discrete and Computational Geometry*, 15, 1996, 429-441.

森勢将雅, 入野敏夫, 河原英紀, 測定信号として音声を用いたクロススペクトル法によるインパルス応答推定の誤差評価, *電子情報通信学会論文誌 A*, vol. J90-A, 2007, 559-566.

本地 瑛, 羽田 陽一, 頭部包囲型球面マイクロホンアレイを用いた発話放射特性の分析について, *日本音響学会 2021 年春季研究発表会予稿集*, 2021, 387-388.

羽田陽一, 音の波数領域信号処理, *IEICE Fundamentals Review*, vol. Vol.11 No.4, 2018, 243-255.

本地 瑛, 任 逸, 羽田 陽一, 正 12 面体スピーカレイによる 3 次元発話放射特性の模擬について, *日本音響学会 2022 年春季研究発表会予稿集*, 2022, 375-376.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1. 著者名 Ren Yi, Haneda Yoichi | 4. 巻 148 |
| 2. 論文標題 Two-dimensional exterior sound field reproduction using two rigid circular loudspeaker arrays | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America | 6. 最初と最後の頁 2236 ~ 2247 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1121/10.0002280 | 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 Y Ren, Y Haneda | 4. 巻 23 |
| 2. 論文標題 Directivity Control Using Two Circular Loudspeaker Arrays | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Signal Processing | 6. 最初と最後の頁 159-162 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2299/jsp.23.159 | 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 - |

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

| |
|--------------------------------------------|
| 1. 発表者名 本地 瑛, 任 逸, 羽田 陽一 |
| 2. 発表標題 正12面体スピーカアレイによる3次元発話放射特性の模擬について |
| 3. 学会等名 日本音響学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|------------------------------------------|
| 1. 発表者名 任 逸, 羽田 陽一 |
| 2. 発表標題 楕円アレイを用いた内側音場再現における受聴領域の伸縮と回転 |
| 3. 学会等名 日本音響学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 任 逸, 羽田 陽一 |
| 2. 発表標題 円筒関数の加法定理を用いた2次元外側局所音場再現法 |
| 3. 学会等名 日本音響学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 信夫 直樹, 村田 伸, 伊藤 弘章, 鎌土 記良, 日和崎 祐介, 羽田 陽一 |
| 2. 発表標題 剛球を仮定した頭部近傍複数マイクによる耳元音圧予測型ANCの検討 |
| 3. 学会等名 日本音響学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yi Ren, Yoichi Haneda |
| 2. 発表標題 2D Local Exterior Sound Field Reproduction Using an Addition Theorem Based on Circular Harmonic Expansion |
| 3. 学会等名 2021 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Tianle Zhong, Israel Mendoza Velazquez, Yoichi Haneda |
| 2. 発表標題 Involution Based Speech Autoencoder: Investigating the Advanced Vision Operator Performance on Speech Feature Extraction |
| 3. 学会等名 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Ren, Yi; Imaizumi, Kenta; Tsutsumi, Kimitaka; Haneda, Yoichi |
| 2. 発表標題 2D Sound Field Reproduction with Elliptical Loudspeaker Array based on Circular Microphone Array Signals |
| 3. 学会等名 AES Convention: 148 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|----------------------------------------------|
| 1. 発表者名 本地 瑛, 羽田 陽一 |
| 2. 発表標題 頭部包囲型球面マイクロホンアレイを用いた発話放射特性の分析について |
| 3. 学会等名 日本音響学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 任 逸, 羽田 陽一 |
| 2. 発表標題 3次元直方体音場の自動測定および可視化 |
| 3. 学会等名 日本音響学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------|
| 1. 発表者名 秋元 亜門, 羽田 陽一 |
| 2. 発表標題 エンドファイア型スピーカアレイを用いた能動騒音制御の検討 |
| 3. 学会等名 2019年日本音響学会秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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 |
|---------|---------|
|---------|---------|