

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11387

研究課題名(和文) アクティブマルチスポット音空間再生システムの開発

研究課題名(英文) Development of active multiple sound spot synthesis systems

研究代表者

岡本 拓磨 (Okamoto, Takuma)

国立研究開発法人情報通信研究機構・ユニバーサルコミュニケーション研究所先進的音声翻訳研究開発推進センター・主任研究員

研究者番号：10551567

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)：アクティブマルチスポット音空間再生システムを実現するために、本研究では外部放射のない音場再現方式、平面マイクロホン・スピーカアレイを用いた水平面3次元音場の収録と再現、平面マイクロホンアレイ・スピーカアレイを用いた近傍エリア収録・再生方式、内部外部御場分離に基づくマルチ御場再現および複数バッフルアレイを用いたマルチ音場再現方式を提案した。

平面マイクロホンアレイを用いた水平面3次元音場収録によって目的音場を推定し、推定した音場を平面スピーカアレイを用いた水平面3次元音場再現にて相殺し、そこに別の音空間を提示することにより、実用に即したアクティブマルチスポット音空間再生システムを実現できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元音空間のうち水平面成分のみを平面配置のマイクロホンアレイを用いて収録・推定する技術および平面スピーカアレイを用いて推定した水平面3次元音場を再現する技術を提案した。従来は3次元音場の収録・制御には3次元配置が必要であった課題に対して、人間の耳は水平面についていることにも起因し、2次元平面に配置したマイクロホンおよびスピーカアレイで音場収録・再現可能なことは音場収録・制御システムを実装・社会展開する上でも重要な成果である。さらに、本研究において提案したアクティブマルチスポット再生技術も、多言語同時通訳やその他エンターテインメント等での応用も期待でき、社会的意義は大いにあると言える。

研究成果の概要(英文)：To realize active multiple sound spot synthesis system, this study proposed (1) undesired propagation free sound field synthesis method, (2) recording and synthesis horizontal 3D sound field method with planar microphone and loudspeaker arrays, (3) localized sound recording and synthesis methods with planar microphone and loudspeaker arrays, (4) multizone sound field synthesis method based on sound field separation, and (5) multizone sound field synthesis method with multiple baffled circular loudspeaker arrays.

Active multiple sound spot synthesis systems for actual implementations can be realized by (1) estimating a target horizontal 3D sound field with a planar microphone array, (2) cancelling the target sound field by horizontal 3D sound field synthesis with a planar loudspeaker array, and (3) synthesizing another horizontal 3D sound field with the loudspeaker array.

研究分野：音場制御，音声合成

キーワード：局所再生 マルチスポット再生 音場収録 音場制御 マイクロホンアレイ スピーカアレイ

1. 研究開始当初の背景

多数のスピーカを用いて音の聞こえる領域と聞こえない領域を作り出す局所再生技術や異なる場所で異なる音を提示可能なマルチスポット再生技術は、多言語同時再生やエンタテインメント等においても重要な技術である。従来技術では、再生環境は無音であるという仮定であったが、現実には再生環境においても様々な音が存在する。本研究では、既存の音空間を有効活用可能なアクティブマルチスポット再生技術へと発展させる。

2. 研究の目的

本研究では、再生環境の既存音源も考慮した方式へと拡張し、その場にいる英語話者の音声はある場所にだけそのまま届き、別の場所ではその音がキャンセルされ、翻訳された日本語や中国語が聞こえるようなアクティブマルチスポット音空間再生システム実現のための基礎検討を行う。具体的には、(1)円形や直線のようにできるだけ2次元に配置した多数のマイクロホンで収録した音情報から、マイクロホンを設置していない場所の既存音源の伝搬を推定する方式を開発する。(2)円形等に配置したスピーカアレイを用いて、アレイの内部にはマルチスポット再生を実現しつつ、アレイの外側にはできるだけ音が放射しない再生方式を開発する。

3. 研究の方法

(1)を実現するために、平面に配置したマイクロホンアレイから3次元音空間の水平面成分の音場を予測する技術および推定した3次元音空間の水平面成分を平面に配置したスピーカアレイで音場再現する技術について研究を行う。

(2)を実現するために、外部放射のない音場制御および複数の音場を同時に制御可能なマルチ音場制御方式の検討およびスピーカの近くでは音が聞こえ離れると聞こえなくなる近傍エリア再生技術について研究を行う。

4. 研究成果

<二重円形マイクロホンアレイを用いた音場収録および二重円形スピーカアレイを用いた外部放射のない音場制御方式の提案>

音場の2次元円筒調展開に基づくモード制御方式を提案し、従来の多点制御方式(LS, GSVD)に基づく方式よりも再現誤差誤差および外部放射抑圧量の両点において高精度な収録および制御方式を実現した(図1および図2)。(Appl. Acoust. 2018.)

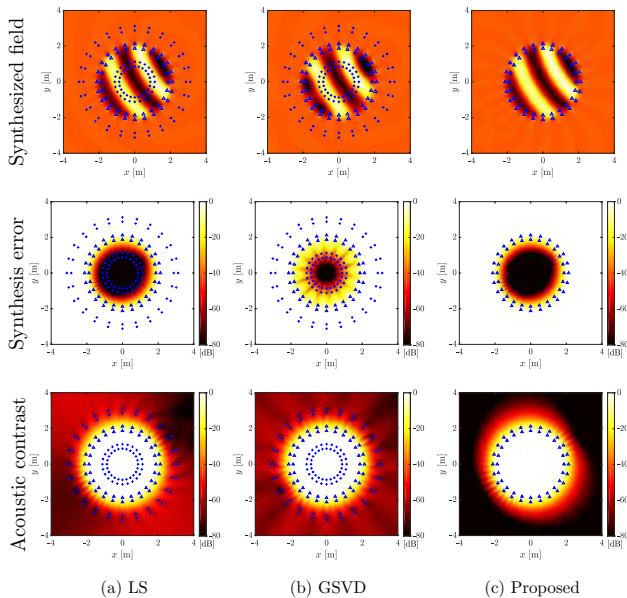


図1：再現音場，再現誤差，音圧コントラスト

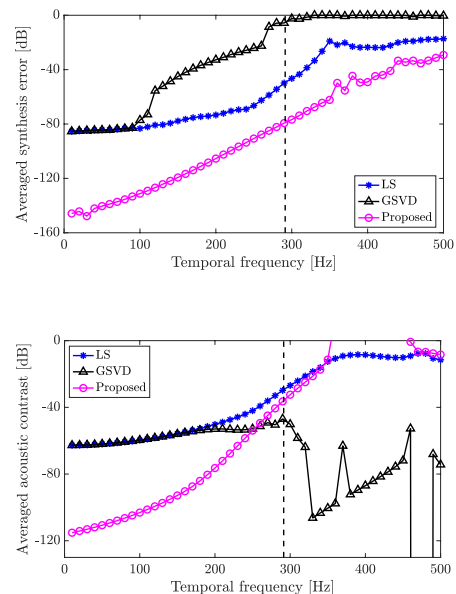


図2：再現誤差，音圧コントラスト

<平面マイクロホン・スピーカアレイを用いた水平面3次元収録・再現方式の提案>

マイクロホンやスピーカを3次的に配置することは現実的ではないため、平面上に配置したマイクロホンおよびスピーカを用いて3次元音空間の水平面成分の音場を予測する方式および推定した3次元音空間の水平面成分を音場再現するモード制御に基づく方式を提案した(図3)。従来の多点制御方式よりも高精度な音場予測精度および再現制度を実現した(図4および図5)。(ICASSP 2019.)

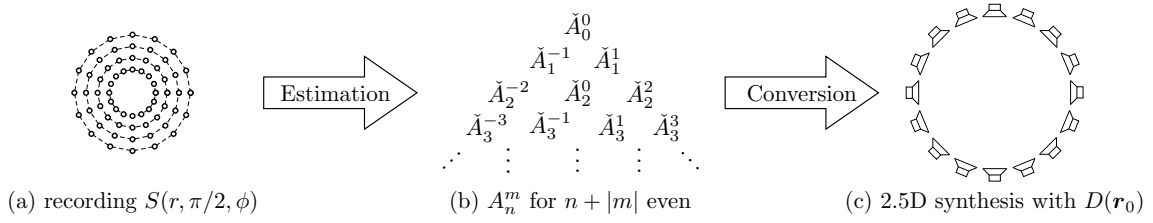


図 3 : 提案法のフローチャート

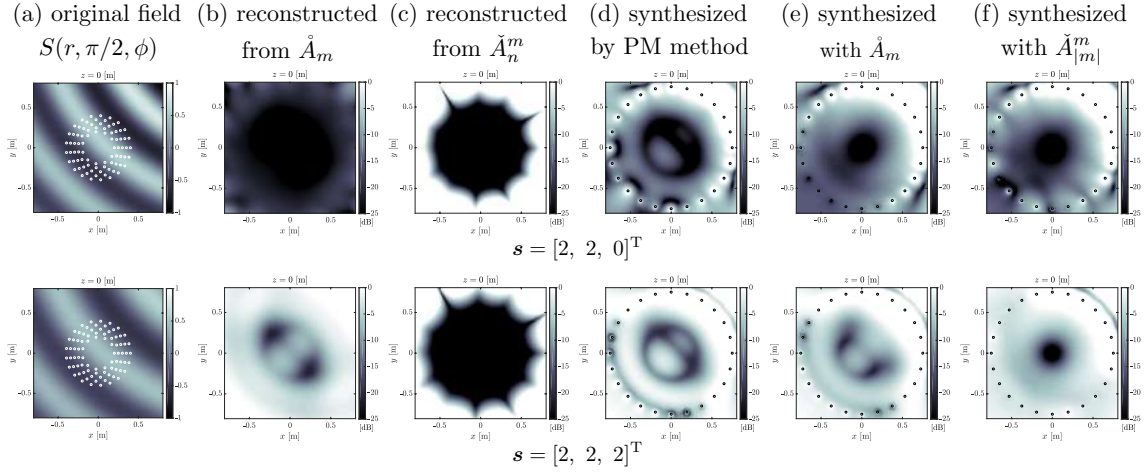


図 4 : 音場再構成誤差および再現誤差の比較

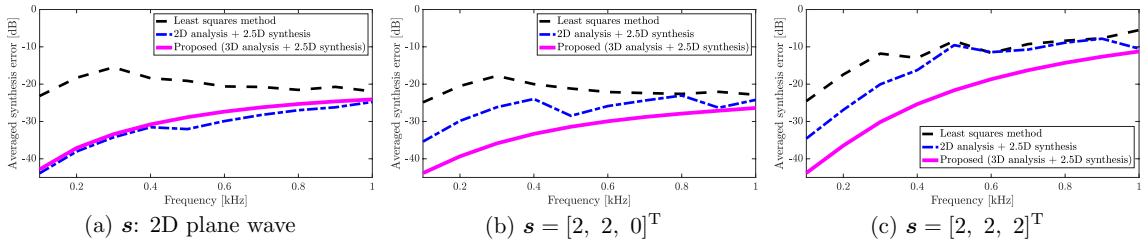


図 5 : 平均音場再現誤差の比較

<多重円形スピーカレイを用いた 3 次元近傍エリア再生方式の提案>

上述の複数円形マイクロホンアレイを用いた 3 次元音場収録の相反則により複数円形スピーカアレイを用いた 3 次元放射音場制御が可能であるが、従来法は鉛直スピーカ対が必要という課題があった。そこで、提案法では円の中心に配置したスピーカの放射音場を周りの複数円形アレイで相殺する 3 次元近傍エリア再生方式を提案し、放射音場は 0 次の球面調和展開係数のみで記述されるために鉛直スピーカ対が不要であることを示した(図 6)。計算機シミュレーションにより有効性を確認した(図 7)。(WASPAA 2019)

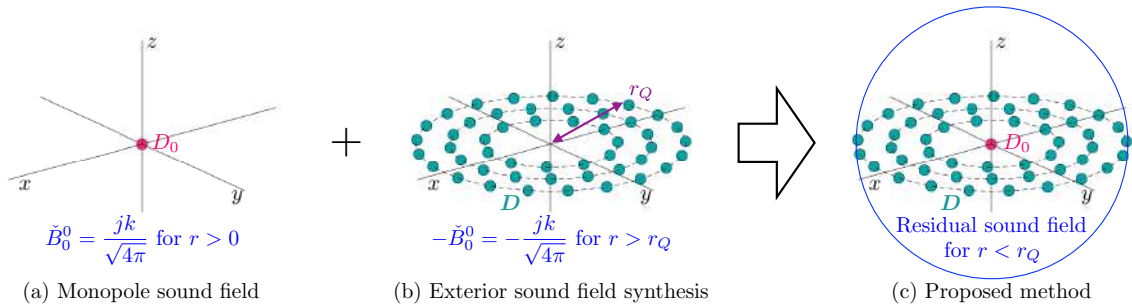


図 6 : 提案法のフローチャート

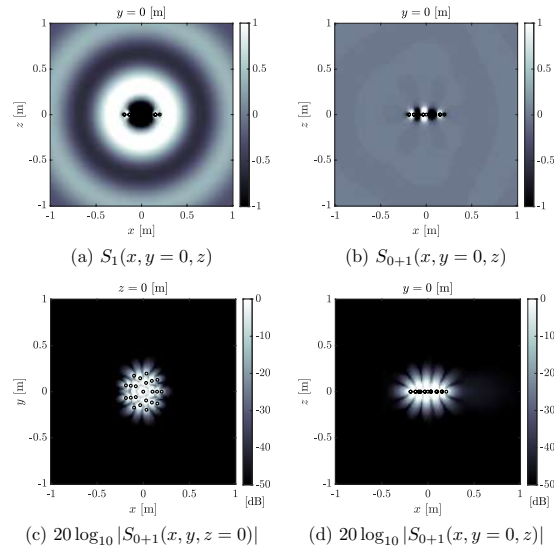


図 7：再生音場および再生音圧

＜多重円形マイクロホンアレイを用いた 3 次元近傍エリア収録方式の提案＞

上記の近傍エリア再生方式に相反則を適応することにより、マイクロホンアレイの近くにある音源の音のみを収録し、離れた音源の音は収録しない近傍エリア収録方式へと拡張させた(図 8)． 計算機シミュレーションにより有効性を確認した(図 9)． (ICASSP 2021)

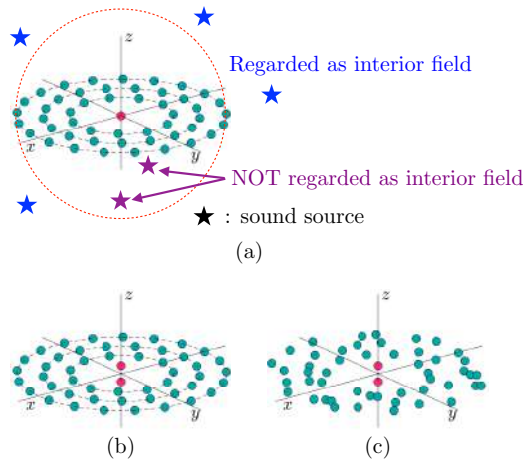


図 8：提案法のフローチャート

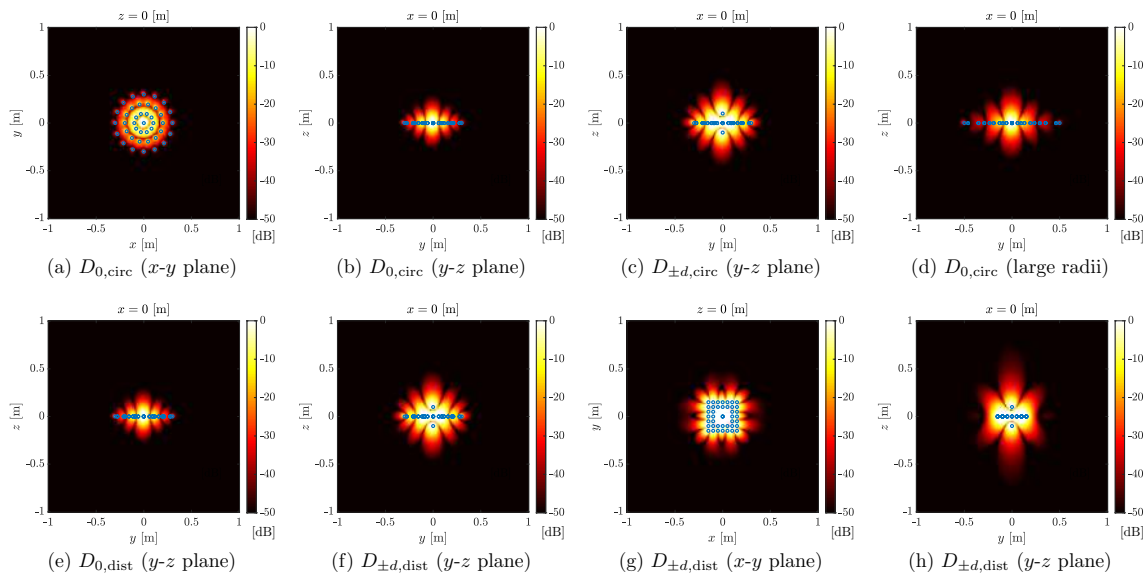


図 9：各音源位置での収録音圧レベル

<内部外部音場分離に基づくマルチ御場制御方式の提案>

複数の領域に異なる音場を同時に制御可能なマルチ音場再現では、それぞれの再生エリアの位置関係と再現波面方向により再現不可能な波面方向がある課題があった。この問題を解決するために、円形スピーカレイの内側にも放射音場用のバッフル型円形スピーカレイを導入し、再生するグローバル音場を内部外部音場分離により分解することにより内部音場用の駆動信号および外部音場用の駆動信号をそれぞれモード制御方式により導出する方式を提案した(図10)。計算機シミュレーションにより、従来方式よりも制御精度および音圧コントラストにおいて高品質な再現を達成した(図11, 図12および図13)。(WASPAA 2021)

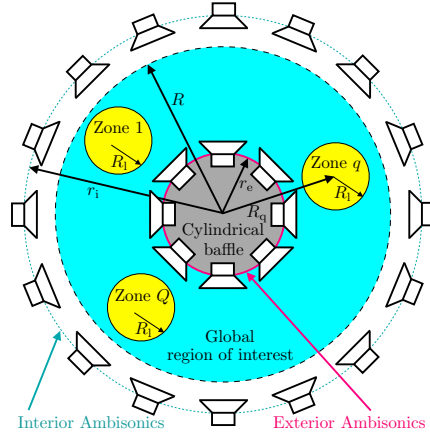


図10：提案法のスピーカ配置

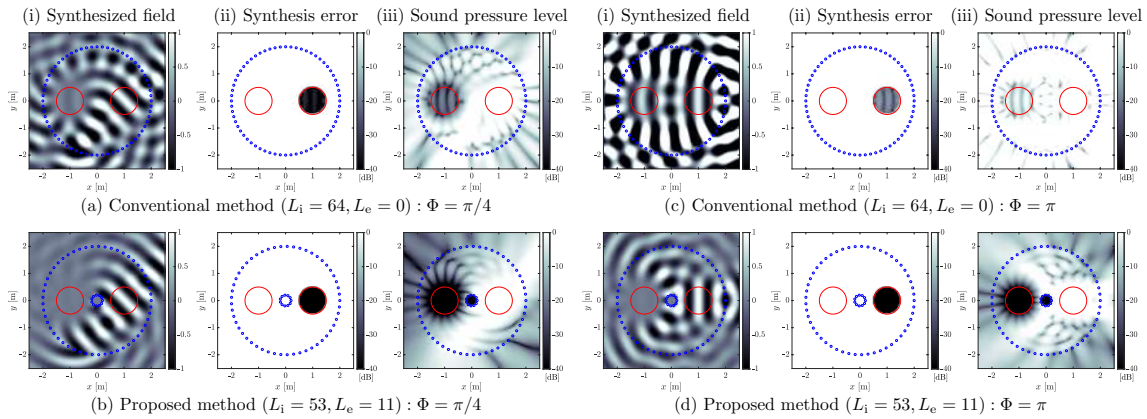


図11：再現音場，再現誤差，音圧コントラスト

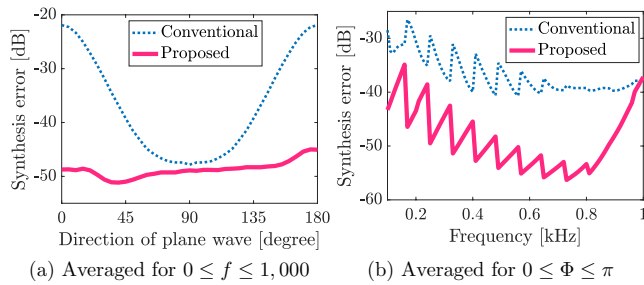


図12：再現誤差の比較

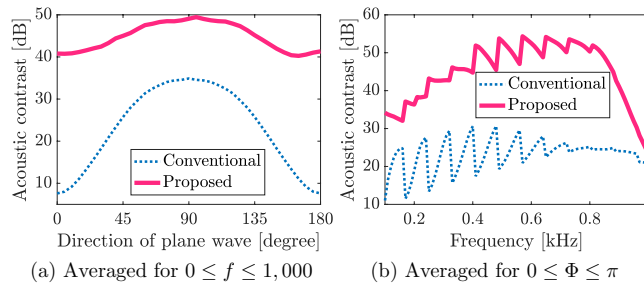


図13：音圧コントラストの比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 岡本 拓磨	4. 巻 25
2. 論文標題 アンビソニクスとVR	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会誌	6. 最初と最後の頁 25～28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/jvrsj.25.2_25	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Takuma Okamoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Mode-matching-based sound field recording and synthesis with circular double-layer arrays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app8071084	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21件（うち招待講演 3件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Takuma Okamoto
2. 発表標題 Close-talking recording with planarly distributed microphones
3. 学会等名 46th International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Okamoto
2. 発表標題 2D multizone sound field synthesis with interior-exterior Ambisonics
3. 学会等名 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 音場分離と内部外部同時制御に基づくマルチ音場制御
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 複数バツフル型円形アレイを用いた多重拡散を考慮した音場制御
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 平面アレイと鉛直スピーカ対を用いた3次元近傍エリア再生
3. 学会等名 日本音響学会2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 平面マイクロホンアレイを用いた接話収録
3. 学会等名 日本音響学会2021年春季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Okamoto
2. 発表標題 3D localized sound zone generation with a planar omni-directional loudspeaker array
3. 学会等名 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuma Okamoto
2. 発表標題 Spatial Fourier transform-based localized sound zone generation methods with loudspeaker arrays
3. 学会等名 178th meeting of the Acousical Society of America (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 平面複数円形アレイを用いた3次元近傍エリア再生
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 平面分散マイクロホンを用いた水平面3次元音場収録
3. 学会等名 日本音響学会2020年春季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuma Okamoto
2. 発表標題 Horizontal 3D sound field recording and 2.5D synthesis with omni-directional circular arrays
3. 学会等名 44th International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuma okamoto
2. 発表標題 2.5D localized sound zone generation with a circular array of fixed-directivity loudspeakers
3. 学会等名 16th International Workshop on Acoustic Signal Enhancement (IWAENC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 スピーカアレイを用いた空間フーリエ変換に基づく局所再生
3. 学会等名 音響・超音波サブソサイエティ合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 円形アレイを用いた水平面3次元音場の収録と再現
3. 学会等名 日本音響学会2019年春季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 内部外部混合音場の収録と再現
3. 学会等名 日本音響学会2018年秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 たくさんのマイクやスピーカでできること：基礎・応用とこれから
3. 学会等名 けいはんな情報通信フェア2018サイエンストーク
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuma Okamoto, Katsushi Ueno, Tsukasa Okabe, Kentaro Tani, Yasuhiko Yoshikata, Miyuki Sudo, Manae Kuwahara, and Keita Hikita
2. 発表標題 Portable multilingual sound spot synthesis system with a compact circular array of 16 loudspeakers
3. 学会等名 48th International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 マルチスポット再生 meets 多言語ニューラル音声合成 ~実装 is ホンマに all we need~
3. 学会等名 SPEASIP 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 高品質ニューラル音声合成 x ト x 音声マルチスポット再生 -やはり実装 is all we need-
3. 学会等名 日本音響学会第23回サマーセミナー「音響学の基礎と最近のトピックス」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本拓磨
2. 発表標題 時変空間フィルタリングに基づく再生信号適応型マルチスポット再生
3. 学会等名 日本音響学会2023年春季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡本拓磨, 大山慎二, 上野克司, 岡部司, 谷 健太郎
2. 発表標題 16チャンネル小型円形スピーカアレイを用いたマルチスポット再生システムの実装
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 音場制御装置, 音場制御システム, 音場制御方法およびプログラム	発明者 岡本拓磨	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-121174	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 音場制御装置, 音場制御システム, 音場制御方法およびプログラム	発明者 岡本拓磨	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-007150	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

・NICTとのオープンイノベーションで新ビジネスをNICT x YOU
<https://ast-astrec.nict.go.jp/MultipleSoundSpotSynthesis/>
・Multiple sound spot synthesis technology developed by NICT (long version)
<https://www.youtube.com/watch?v=ln8AfVcoTC4>
・Multiple sound spot synthesis technology developed by NICT (Short version)
<https://www.youtube.com/watch?v=EHZ0UzFwBi8>
・音声マルチスポット再生技術（ロングバージョン）[NICT]
<https://www.youtube.com/watch?v=lLrm8KRxK30>
・音声マルチスポット再生技術（ショートバージョン）[NICT]
<https://www.youtube.com/watch?v=4W5PCltZJxc>
・NICT研究職採用ページインタビュー記事
<https://www2.nict.go.jp/employment/researcher/okamoto-takuma.html>
・Takuma OKAMOTO, Ph.D.
<https://www.okamotocamera.com/index.html>
・岡本 拓磨
https://www.okamotocamera.com/index_j.html

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
---------	---------