

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2017～2019

課題番号：17KT0137

研究課題名(和文)テレワーク環境における共在性を考慮した音情報伝達システムに関する研究

研究課題名(英文)Acoustic information transmission system for tele-work environment considering "copresence"

研究代表者

大谷 真(Otani, Makoto)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40433198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：現状のテレワーク環境では他者と空間を共有しているという感覚を得ることが難しく、実環境と同様に人々が共在性を獲得するためには、他者が音源としての発話者の位置情報を含めて知覚することを可能とする音情報の収録・伝達・再生システムの構築が必要である。本研究では、発話者の位置センシングとバイノーラル再生方式による音響再生を用いることで、テレワーク環境における共在性を考慮した音情報伝達システムの構築を目指した。本研究で開発した音情報伝達システムを用いた実験により、他者が発する音の空間情報の知覚が他者との共在性の獲得において重要な役割を果たしていることを定量的に示唆する結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

他者の存在を認識する上で聴覚情報は重要な役割を果たしているが、本研究の成果は、他者が発する音の空間情報の知覚が他者との共在性の獲得において重要な役割を果たしていることを定量的に示唆するものであり、国内外で初めて得られた知見である。人々のコミュニケーションにおける技術基盤としてテレワーク環境を含めたテレコミュニケーション技術の必要性・重要性の認識が劇的に高る一方で、やり取りされる聴覚情報の質の低さが他者との共在性の獲得の困難さに繋がっている。本研究の成果は、より高度な人々の知的共同作業を可能とする次世代のテレコミュニケーション技術の実現に繋がる重要な知見を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：In current telework environment, it is difficult for users to obtain a sense of sharing space with others, i.e. a sense of co-presence. In order to achieve the sense of co-presence in telework environment, it is necessary to realize an integrated system of recording, transmission, and reproduction of audio information by which enables a perception of speaker's location. In this study, we attempted to develop an audio information communication system for co-presence enriched telework environment by using speaker's location tracking and binaural reproduction. We have developed its prototype and conducted an experiment with the developed prototype. The experimental results quantitatively implies that a perception of spatial information involved in the sounds generated by others, i.e. speaker's location, plays an important role in developing a sense of co-presence with others.

研究分野：建築音響学

キーワード：テレワーク 共在性 聴覚空間情報

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

テレワーク環境において、2つの実空間の間で映像・音情報を適切に収録・伝達・再生し、あたかも1つの空間として人々に知覚させることで、人々がその空間内に共在し、互いに共感・共鳴する能力を最大限活かした高度な知的共同作業を行うことが可能となる。

しかし、現状のテレワーク環境(右図)では音情報の収録・再生に単一/少数のマイクロホン及びスピーカが用いられているため、テレワーク環境によって仮想的に拡張された空間における発話者の位置情報が失われる。人の聴覚が有する音源定位能力によって得られる空間情報は空間内での他者との共在性を獲得する上で重要な役割を果たしているが、現状のテレワーク環境では他者と空間を共有しているという感覚を得ることが難しく、共在性の獲得という面で課題を有している。テレワーク環境においても実環境と同様に人々が共在性を獲得するためには、他者が音源としての発話者の位置情報を含めて知覚することを可能とする音情報の収録・伝達・再生システムの構築が必要である。

テレワーク環境において発話者の位置情報を含めた音情報伝達のための直接的な方法として、実空間の音場を収録し(音場収録)、別の空間で再現する(音場再現)手法が挙げられる。しかし、テレワーク環境に音場再現システムを適用する場合、2つの空間を音響的に接続するために音場収録と音場再現を同時に行う必要があるが、ハウリングの発生が不可避であるため、テレワーク環境に従来の音場収録・再現の概念を適用することは難しい。

2. 研究の目的

発話者の位置情報をセンシングし、数値シミュレーションによって発話者の音声の伝搬をシミュレートすることで、仮想的なマイクロホンアレイが実現できれば、ハウリングの問題を回避しつつ発話者の位置情報も含めた音情報を他者に与えることが可能となる。

申請者は、多チャンネルの音場収録・再現システムの検討を行ってきたが、上述のようにテレワーク環境においては従来の音場収録・再現方式は適用できず異なる方法論が必要となる。そこで、本申請では、発話者の位置センシングと数値シミュレーションを利用した仮想マイクロホンアレイシステムを実現することで、テレワーク環境における共在性を考慮した音情報伝達システムの構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、テレワーク環境における共在性を考慮した音情報伝達システムを構築するために、研究期間内に下記項目について研究を実施する。

(1) 仮想マイクロホンアレイシステムの開発

ヒトの位置センシングと数値シミュレーションを用いて、仮想的に配置されたマイクロホンアレイによって収録される音響信号を予測する仮想マイクロホンアレイシステムを開発する

(2) 音場再現システムの開発

上記(1)により予測された仮想マイクロホンアレイでの収録信号をスピーカアレイから出力し、発話者の位置情報を含めた形で音場を再現するシステムを開発する

(3) 音情報伝達システムの構築と性能評価

上記(1),(2)のシステムを統合することでテレワーク環境における音情報伝達システムを構築し、性能評価を行う。

(4) テレワーク環境のプロトタイプ構築とその性能評価

音情報伝達システムにより実際に2つの空間を接続したテレワーク環境のプロトタイプを

構築し、その性能評価を行う。

4. 研究成果

前項で述べた研究の方法の各項目(1)～(4)について得られた成果は下記の通りである。

(1) 仮想マイクロホンアレイシステムの構築

マーカーレスで発話者の頭部位置を検出する発話者位置センシングサブシステムを開発した。当初計画では、マイクロホンアレイを利用した音源分離により話者の音声信号を個別に収録するシステムの構築を計画していたが、これを高精度に実現するために必要なマイクロホン素子数が膨大な数となるため、話者口元にマイクロホンを設置することで発話信号を収録するシステムに変更し、これを開発した。また、再生系としてスピーカアレイ方式を採用する計画であったが、(2)で後述する理由からバイノーラル再生系を採用することとし、受聴者両耳までの音響伝達関数を予測するサブシステムを開発した。また、発話者位置センシングサブシステムと発話音声信号収録サブシステムを統合し仮想収録システムを構築した。

(2) 音場再現システムの構築

予備的検討の結果、本研究で実装を予定していた数十個の素子によるラインスピーカアレイでは共在性の実験的検討に必要な性能を満たせない可能性が高いことがわかったため、受聴者の両耳位置での音響信号を制御するバイノーラル再生方式を用いた音場再現システムについて検討を行い、これを構築した。また、これに付随して必要となる受聴者の頭部位置・向きの情報を取得するためのセンシングシステムを開発した。

(3) 音情報伝達システムの構築と性能評価

(1),(2)で開発した仮想収録システムとバイノーラル再生方式による音場再現システムを統合することで、音情報伝達システムを構築し、発話者の位置情報を含めて音響情報を伝達するシステムを構築した。また、構築したシステムの基本的性能を検証し、発話者の発話の収録から音場再現システムのヘッドホン出力までの時間遅延が通常の会話において十分に小さいこと、システムを用いて再現された発話者の音声が発話者の位置に定位して知覚されること、システムによって再現された発話者の音声が発話者の位置に定位して知覚されること、を確認した。

(4) テレワーク環境のプロトタイプ構築とその性能評価

当初計画では、構築した音情報伝達システムを2つ用いて、遠隔地にある2つの空間を接続可能なテレワーク環境のプロトタイプを構築することとしていたが、モーショントラッカの不足により実施が困難であったため、代替手段として、2つの空間のうち1つを仮想的なシミュレーション空間としてプロトタイプを構築した。

構築したプロトタイプの仕様変更に伴い、本項目で検討する評価項目を「テレワーク環境における発話者の位置情報の再現の有無による共在性の獲得の程度の定量的比較」とし実験を行った。実験においては、共在性の評価を行うために、発話者の位置情報の聴覚的再現の有無により、社会的サイモン効果が生じるかどうかを検討した。例えば、ディスプレイに赤色あるいは緑色の正方形がディスプレイの右寄りあるいは左寄りの位置に表示され、被験者には赤色の正方形が表示された場合のみキーボードの右側に位置する「M」キーを右手で押させた。ディスプレイの右寄りに赤色の正方形が提示された場合が一致条件(Compatible)、左寄りに赤色の正方形が提示された場合が不一致条件(Incompatible)であり、隣に共行為者が存在する場合において一致条件よりも不一致条件において反応時間が大きくなる。これを社会的サイモン効果と呼び、本研究では、ある空間において他者とともに共に存在している感覚が生じているか否かを測定するための指標として用いた。

本研究では上述の実験を、音声ヘッドホンからモノラルで再生した場合 (Experiment 1) とバイノーラル再生により聴取者の左から聴こえるように再生した場合 (Experiment 2) の2つの条件、及び、Experiment 1 と 2 の各条件において聴取者に実験手順を指示する音声のみを与える単独条件 (Single) と実験手順の指示と実験中の物音 (キーを押す音、イスの音) を提示する共同条件 (Joint) を設定し、合計4つの条件で行った。4条件のうち、Experiment 1 と 2 の Joint 条件では、聴取者が共行為者が存在することを聴覚情報によって提示するが、Experiment 1 ではモノラル再生によって共行為者の位置情報が失われており、Experiment 2 ではバイノーラル再生によって共行為者が聴取者の左隣に存在するかのように聴覚情報を提示したことになる。

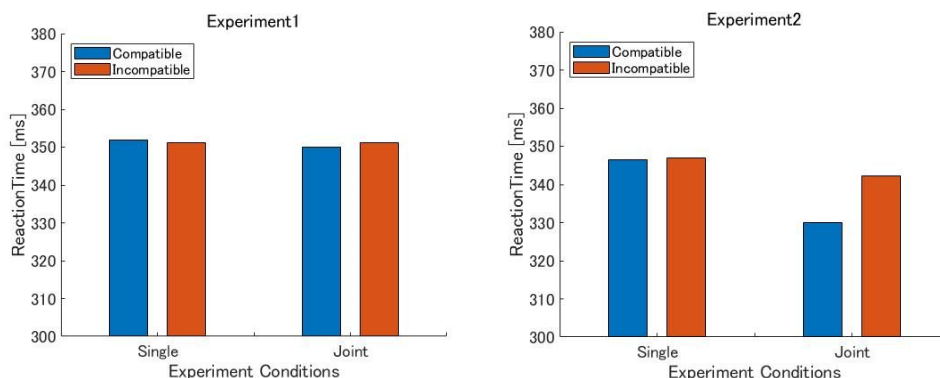


図1：条件間の反応時間の違い

実験結果の一例を図1に示す。図1左がExperiment 1、右がExperiment 2、各図の横軸が単独/共同条件の違い、縦軸が反応時間 [ms]、を表しており、青と赤が一致/不一致条件の結果を示している。図より、Experiment 2の共同条件のみ、一致条件よりも不一致条件における反応時間が大きくなっている。このことから、4条件のうち、共行為者の位置情報を聴覚的に正確に再現した条件においてのみ社会的サイモン効果が生じたことがわかる。一方で、モノラル再生により共行為者の位置情報が失われた場合には社会的サイモン効果が生じなかった。図1に示す結果は予備的に行われた実験における被験者1名のものであり、被験者数を増やした本実験は今後行う予定であるが、これまで得られた結果は、テレワーク環境において、他者が発する音の空間情報が失われる現状のシステムでは他者との共在性が損なわれる一方で、他者が発する音の空間情報を物理的により正確に提示することで人が他者の存在を認識し共在性の獲得に繋がることを示唆している。

他者の存在を認識する上で聴覚情報は重要な役割を果たしているが、本研究の成果は、他者が発する音の空間情報の知覚が他者との共在性の獲得において重要な役割を果たしていることを定量的に示唆するものであり、国内外で初めて得られた知見である。また、2020年初頭に始まった新型コロナウイルス (COVID-19) のパンデミックへの対処として Social Distancing が声高に叫ばれる中で、人々のコミュニケーションにおける技術基盤としてテレワーク環境を含めたテレコミュニケーション技術の必要性・重要性の認識が劇的に高まる一方で、現状のテレコミュニケーション技術が抱える課題も浮き彫りとなりつつある。本研究で得られた知見は、現状のテレコミュニケーションにおける貧弱な音の収録・通信・再生技術が人々の間の共在性の獲得を損なわせる要因の1つとなっていることを示すとともに、その解決には空間情報を含めて聴覚情報を伝達することが必要なことを示している。本研究をさらに発展させることで、テレワーク環境を含むテレコミュニケーション技術を、遠隔にいる人々が互いに共感・共鳴する能力を最大限活かして知的生産性を高めるものと発展させることが可能となると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Makoto Otani, Haruki Shigetani, Masataka Mitsuishi, Ryo Matsuda	4. 巻 41
2. 論文標題 Binaural Ambisonics: Its optimization and applications for auralization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 142-150
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1250/ast.41.142	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 -

1. 著者名 Shigetani Haruki, Otani Makoto	4. 巻 40
2. 論文標題 Accuracy of binaural signal in Higher-Order Ambisonics reproduction with different decoding approaches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 144 ~ 147
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1250/ast.40.144	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 -

1. 著者名 Otani Makoto, Shigetani Haruki	4. 巻 40
2. 論文標題 Reproduction accuracy of Higher-Order Ambisonics with Max-rE and/or least norm solution in decoding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 23 ~ 28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1250/ast.40.23	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 5件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 松岡良憲, 大谷 真
2. 発表標題 ミスナー法を用いた格子点音圧からの球面調和展開に関する研究
3. 学会等名 日本音響学会建築音響研究会資料
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡良憲, 大谷 真
2. 発表標題 ミスナー法を用いた球面調和係数の推定に関する検討
3. 学会等名 日本音響学会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 泉 悠斗, 大谷 真
2. 発表標題 後期残響音における反射音到来方向と室の条件との関連性について
3. 学会等名 日本音響学会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松岡良憲, 大谷 真
2. 発表標題 ミスナー法を用いた格子点音圧データからの球面調和係数の推定
3. 学会等名 日本音響学会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田有紀, 大谷 真
2. 発表標題 有響環境での音像の上下方向の拡がり感に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Matsuda, Makoto Otani, and Hiraku Okumura
2. 発表標題 Optimum loudspeaker arrangement of dynamic crosstalk cancellation system for two listeners
3. 学会等名 Proc. International Congress on Sound and Vibration (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Matsuda, Makoto Otani, and Hiraku Okumura
2. 発表標題 Evaluation of robustness of dynamic crosstalk cancellation for binaural reproduction
3. 学会等名 Proc. Audio Engineering Society International Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷 真
2. 発表標題 高臨場感音響再生システムの開発と超臨場感システムへの応用
3. 学会等名 第23回関西大学先端科学技術シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Otani
2. 発表標題 Higher-Order-Ambisonics-based binaural synthesis for reproduction and auralization of sound field
3. 学会等名 Seminar on the spatial aspects of hearing and their applications, Tohoku Universal Acoustical Communication Month 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 泉 悠斗, 大谷 真
2. 発表標題 球状マイクロホンアレイを用いた後期残響音の到来方向分布の分析
3. 学会等名 日本音響学会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田 遼, 大谷 真
2. 発表標題 両耳を中心としたマルチゾーンH0Aによる音場再現の検討
3. 学会等名 日本音響学会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井勇樹, 大谷 真
2. 発表標題 音場再現における制御領域内の頭部及び胴体の存在が音場の再現精度に与える影響
3. 学会等名 日本音響学会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光石将隆, 大谷 真
2. 発表標題 球状マイクロホンアレイを用いた自発音可聴化システムの開発
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 泉 悠斗, 大谷 真
2. 発表標題 低次球面調和関数展開を用いた仮想聴空間における背景音の表現手法
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷 真
2. 発表標題 高次アンビソニックスとパイノーラル合成による音場の再現及び可聴化
3. 学会等名 日本音響学会講演論文集 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田 遼, 大谷 真, 奥村 啓
2. 発表標題 スピーカ配置がクロストークキャンセレーションに与える影響の検討
3. 学会等名 日本音響学会建築音響研究会資料
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村 啓, 大谷 真
2. 発表標題 逆フィルタを用いた音場再現手法におけるスイートスポットの検討
3. 学会等名 日本音響学会建築音響研究会資料
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 重谷治樹, 大谷 真
2. 発表標題 耳介を再生点とした高次アンビソニックス再生系における両耳信号の再現精度の数値的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 重谷治樹, 大谷 真
2. 発表標題 頭部の存在を考慮した高次アンビソニックス再生系の主観的性能評価
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷 真, 奥村 啓, 末永 司, 土屋隆生
2. 発表標題 動的Virtual Ambisonicsによる音場再現及び可聴化システムの開発
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Matsuda, Makoto Otani, Hiraku Okumura
2. 発表標題 Optimum loudspeaker arrangement of dynamic crosstalk cancellation system for two listeners
3. 学会等名 International Congress on Sound and Vibration (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----