

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K00234

研究課題名（和文）MRを用いた遠隔空間音描手法の構築による新たな視聴触覚体験の開拓

研究課題名（英文）Development of new haptic-audio-visual experiences by constructing remote sound drawing methods using mixed reality

研究代表者

中川 隆（Nakagawa, Ryu）

名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・准教授

研究者番号：60631124

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、研究代表者らによる2018-2020年度実施の基盤研究(C)「複合現実における空間音描手法の開拓」に直接接続し、この手法を拡張・展開させるものである。具体的には、前研究成果を基盤に、1)遠隔通信に特化した新手法の構成的検討、2)半導体熱電素子や筋電気刺激などを用いた空間音描に触れることを可能にするデバイスの開発、3)1および2の作業の統合による複数人参加型遠隔空間音描手法の構築、4)行動認識アルゴリズムを用いた体験者の動作の定量的抽出を実施し、表現手法の実装と分析データ面の双方から新規空間音描手法の特質を明らかにすることを目的とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、近年の芸術分野における重要なコンテキストの一つである“ポスト・インターネット”以降の芸術表現やコロナ禍以降のコミュニケーションのあり方について、その可能性を示すことを意図している。仮想と現実が多面的かつ複雑に融合する社会におけるあらゆる表現行為や他者との関係性について思索する場として、また、MR社会実装に向けて具体的かつ実践的な事例を提供することができたと考える。

研究成果の概要（英文）：This research directly connects to and expands on the Grant-in-Aid for Scientific Research (C) "Development of new haptic-audio-visual experiences by constructing remote sound drawing methods using mixed reality" conducted by the research representatives during the fiscal years 2018-2020. Specifically, based on the previous research results, it aims to: 1) structurally examine new methods specialized in remote communication, 2) develop devices that allow for the haptic experience of spatial sound drawing method using semiconductor thermoelectric elements and electric muscle stimulation, 3) construct a multi-participant remote spatial sound drawing method by integrating tasks 1 and 2, and 4) quantitatively extract the movements of participants using behavior recognition algorithms, with the goal of elucidating the characteristics of new spatial sound drawing methods from both the implementation of expressive techniques and the analysis of data.

研究分野：芸術実践論

キーワード：複合現実 視聴触覚体験 遠隔コミュニケーション XR 体験デザイン メタバース Mixed Reality  
メディアアート

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

音を奏でるだけでなく、絵を描くだけでもない、身体と複合現実(MR)との関係によって初めて生まれ得る「空間に音を描く(空間音描)手法」は、我々の表現方法、身体感覚、そして場との関わり方をどのように拡張・変化させるのか。この問いに対する探求として、前研究「複合現実における空間音描手法の開拓(2018-2020年度実施・基盤研究(C))」において、いくつかの空間音描手法の開発とその手法による表現を複数人で同時に体験可能なインスタレーション作品として展開してきた。この取り組みは、美術館やギャラリーなど、安定的な場所での発表を前提としている。しかし、コロナ禍はそのような芸術体験の場の再考を促すきっかけとなった。

2. 研究の目的

前述の芸術体験の場の再考の答えの一つとして、また、空間音描手法の実質的な進展を目指し、本研究では遠隔通信技術と触覚インターフェースの開発により、空間的かつ身体的に拡張された新しい空間音描手法・体験の構成に取り組み、この手法による体験の特質を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、以下のことを遂行した。

(1) ペルチェ素子(半導体熱電素子)・LRA(linear resonant actuator)を用いた空間音描のための触覚デバイスの開発

研究当初、筋電気刺激(EMS)の使用を予定していたが、体験者によっては痛みを伴うため使用を控え、LRAおよびペルチェ素子を用いてデバイスを試作し、体験での使用について構成的に検討を行った。

(2) 遠隔通信による新規空間音描手法の検討

MR遠隔体験の特性を抽出し、抽出された特性を活用した新たな空間音描手法を開発した。新たな手法においては「インターネットに接続された複数の体験者のヴィジュアルイズ手法およびMR遠隔体験における実空間情報の活用方法」についても併せて検討した。

(3) 複数人参加型遠隔空間音描手法の構築、その手法を用いた作品制作・展示公開

(1)と(2)の成果を統合し、複数の実空間と体験者を結びつける複数人参加型遠隔空間音描手法を構築し、その手法による作品制作と公開を実施した。


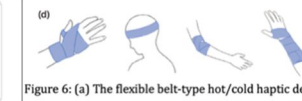

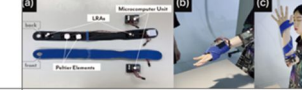
(4) 空間音描体験の検証

研究当初は、行動認識アルゴリズム(機械学習)を開発し、体験者の動きを定量的に抽出する予定であったが、制作した空間音描体験に見合ったアルゴリズムを構築できなかったため、ビデオカメラと体験参加における行動観察、および、インタビューから本手法の検証を行った。

4. 研究成果

(1) 研究全体を通して[表1]の触覚デバイスを開発、および、遠隔空間音描手法を構成的に検討した。それらを用いていくつかの体験の試作を通して、下記、(2),(3)の二つの作品を完成させ発表した。

表1: 開発した触覚デバイス一覧

	A	B	C
形状	グローブ型(蓄電池独立型)	グローブ型(蓄電池一体型)	伸縮ベルト型(蓄電池一体型)
触覚刺激	振動アクチュエータ(LRA; linear resonant actuator) x 2個	振動アクチュエータ(LRA; linear resonant actuator) x 1個, ペルチェ素子 x 3個	振動アクチュエータ(LRA; linear resonant actuator) x 2個, ペルチェ素子 x 2個
接続方法	Wi-Fi接続(ワイヤレス)		
開発コンセプト・イメージ			
実際の画像			
公開の有無	国際会議採択作品(Meta Flowers)に使用	学内にデモ展示に使用	国際会議採択作品(Meta Musicking)に使用

(2) 作品《Meta Flowers: An Analogy of Life in the XR Era》

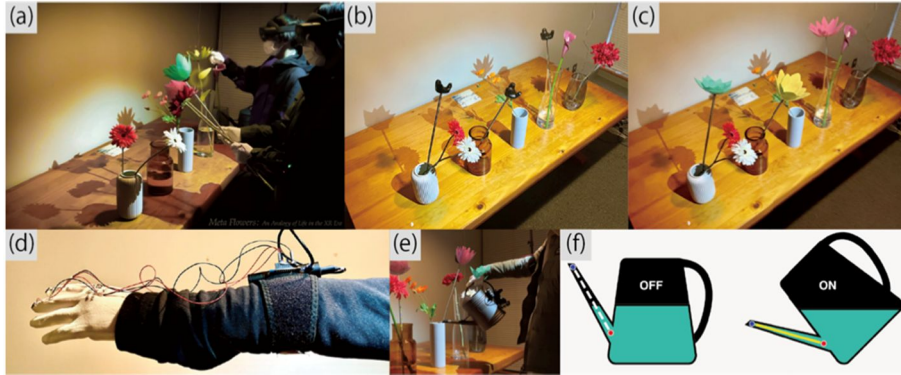


図 1 : (a) 《Meta Flowers: An Analogy of Life in the XR Era》の体験風景, (b)肉眼で見たインストール状況, (c)HoloLens2 を通して見たインストール状況, (d) グローブ型触覚デバイス, (e)センサー付きの水差しを使用して花びらのない金属棒のある花瓶に水を注ぐと Virtual Flower (VF) が開花する, (f)水差しを傾けて水を注ぐと、水によって電極が通電し、この状態を検出する

影 (shadow) と剛性 (rigidbody) を有した音を奏する Virtual Flower (VF) を現実空間で生ける行為を通して、Cross Reality (XR) を体験する複数人同時体験型インストール作品である[1][図 1]。HoloLens 2 と LRA および Wi-Fi 接続マイコンで構成された触覚グローブを装着して体験する。テーブルの上の花瓶に挿された金属棒の先端には VIVE トラックャーが設置されており、そこに VF が咲く。天井に設置されたプロジェクターから投射される映像によって花瓶・棒・造花のリアルな影と、VF のバーチャルな影が、テーブル上に映し出され違和感なく融合する。VF は咲いている間は音を奏でており、その音高は VF の位置によって変化する。体験者は金属棒を自由に動かしたり、他の花瓶に挿して構成したりすることで VF によるオーディオビジュアルを楽しむことができる。体験者が VF に触れると触覚フィードバックが生ずるとともに花卉が散り、センサーを搭載した水差しで実際の水を花瓶に注ぐと再び蕾から VF を咲かせる。

本作は、研究方法(1)で開発したグローブ型触覚デバイス[表 1, A]による遠隔空間音描手法について検討する中で制作されたものである。構成的にコンセプトを練り上げる中で遠隔性は排除し、実空間での複数人同時体験型作品として構成した。

国際会議 SIGGRAPH 2022 の Immersive Pavilion 枠に採択されたものの新型コロナの影響のため、渡航および現地での発表は叶わなかったものの、レビュアーらからのフィードバックでは、“全会一致の採択” との高評価が得られた。

(3) 作品《Meta Musicking: A Playground for Exploring Alternative Realities with Others in the XR Age》



図 2 : (a) 《Meta Musicking》のコンセプト・ドローイング, (b) 《Meta Musicking》体験型インストール版の体験風景



インターネットに接続された HoloLens 2 と LRA、ペルチェ素子、Wi-Fi 接続マイコンで構成された触覚デバイスを装着して体験する複数人同時体験型作品[2][図 2]。各体験者は自身が存在する実空間「いま・ここ」で遠隔の他の体験者のハンド・アバター（体験者の手と声のみのアバター）と共に次のような体験が可能である。1) 自身の人差し指同士を触れ合わせるか、または他の体験者の人差し指と自身の人差し指を触れ合わせることでノートオブジェクトを生成可能。2) ノートオブジェクトに触れるとオーディオビジュアルと触覚フィードバックが発生[図 3]。3) シーケンサー・ユニットを自由に生成できノートオブジェクトと組み合わせることで音楽的断片を実空間に自由に構成可能[図 4(左)]。4) 他の体験者と手のひら同士を合わせると暖かい触覚と持続音やアルペジオサウンド及びビジュアル効果が生成され、手を離さずに動かすとそれらの音色に変化を与えることが可能。5) 作品にインストールされたリアルライトとバーチャル空間内のバーチャルライトをリアルタイム連動可能なシステムによりノートオブジェクトの影と自身の影を融合させることが可能（XLS システム）[図 4(右)]。

本作は国際会議 SIGGRAPH Asia 2023 の Posters 枠に採択され、発表時は開催地シドニーと名古屋とを遠隔で繋ぎ、発表者 1（シドニー）、発表者 2（名古屋）、体験者（シドニー）の 3 者での体験可能な状態にして展示を行った。

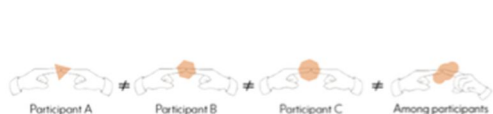


Figure 3: Note object generation: The shape and timbre of note objects generated by each participant will vary, as will the note objects that can be generated among participants.

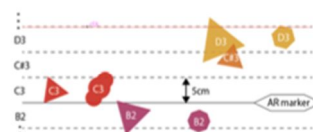


Figure 4: Pitch and color of note objects: The pitch of the note objects increases or decreases by a semitone for every 5 cm they are based the AR marker, and their color also changes.

図 3（左）空間音描のためのノートオブジェクトの生成ルール、（右）基課題手法・空間音描オブジェクトの音高・音色に関するルール



Figure 8: Function of the sequencer unit.

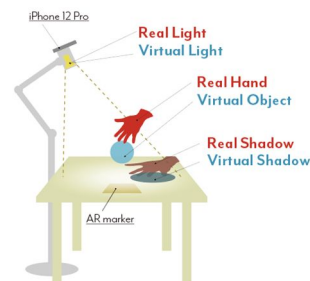


図 4（左）シーケンサー・ユニットの機能、（右）XLS システムの構造

#### <参考文献>

- [1] Ken Sonobe, Masaya Furukawa, Ayano Yamanaka, Hidefumi Ohmura, Takuro Shibayama, and Ryu Nakagawa. 2022. Meta Flowers: An Analogy of Life in the XR Era. In ACM SIGGRAPH 2022 Immersive Pavilion (SIGGRAPH '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 12, 1-2. <https://doi.org/10.1145/3532834.3536199>.
- [2] Ryu Nakagawa, Masaya Furukawa, Ayano Yamanaka, and Maika Yamamoto. 2023. Meta Musicking: A Playground for Exploring Alternative Realities with Others in the XR Age. In SIGGRAPH Asia 2023 Posters (SA '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 26, 1-2. <https://doi.org/10.1145/3610542.3626138>.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9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 Nakagawa Ryu, Furukawa Masaya, Yamanaka Ayano, Yamamoto Maika	4. 巻 Article No.: 26
2. 論文標題 Meta Musicking: A Playground for Exploring Alternative Realities with Others in the XR Age	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SA '23: SIGGRAPH Asia 2023 Posters	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3610542.3626138	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 田村彩夏、古川雅也、ソナム・ツェワング、中川隆	4. 巻 48
2. 論文標題 SVR-4 ver.2 ~ ブータンにおける版築家屋施工者教育用VR ~	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 97-100
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 無
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 Sonobe Ken, Furukawa Masaya, Yamanaka Ayaka, Ohmura Hidefumi, Shibayama Takuro, Nakagawa Ryu	4. 巻 Article No.: 12
2. 論文標題 Meta Flowers: An Analogy of Life in the XR Era	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SIGGRAPH '22: ACM SIGGRAPH 2022 Immersive Pavilion	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3532834.3536199	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 蘭部 健, 中川 隆	4. 巻 46
2. 論文標題 Meta Flowers ~ XR時代における生命のアナロジー ~	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 5-8
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 無
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 寺田有希, 中川 隆	4. 巻 46
2. 論文標題 ハプティクスとハンドトラッキングを用いたVR憑依体験	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 267-270
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 無
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 山中文乃, 中川 隆	4. 巻 46
2. 論文標題 温感触覚装置を用いてキャラの体温を感じ取ることができるVR乙女ゲーム	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 291-294
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 無
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 片岡愛富, 中川 隆	4. 巻 46
2. 論文標題 メタパースにおける引退した鉄道車両の動態保存および体験の可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 253-256
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 無
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 古川雅也, 中川 隆	4. 巻 46
2. 論文標題 ミラーワールド時代におけるデータベースを素材としたVR九龍城砦の表象	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 301-304
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 無
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 伊藤夏希, 中川 隆	4. 巻 46
2. 論文標題 仮想(ジツ)人間が紛れ込んだVRChatワールド	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 261-264
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 無
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8件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Nakagawa Ryu, Furukawa Masaya, Yamanaka Ayano, Yamamoto Maika
2. 発表標題 Meta Musicking: A Playground for Exploring Alternative Realities with Others in the XR Age
3. 学会等名 SIGGRAPH ASIA 2023(国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sonobe Ken, Furukawa Masaya, Yamanaka Ayaka, Ohmura Hidefumi, Shibayama Takuro, Nakagawa Ryu
2. 発表標題 Meta Flowers: An Analogy of Life in the XR Era
3. 学会等名 SIGGRAPH 2022(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蘭部 健, 中川 隆
2. 発表標題 Meta Flowers ~ XR時代における生命のアナロジー ~
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺田有希, 中川 隆
2. 発表標題 ハプティクスとハンドトラッキングを用いたVR憑依体験
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山中文乃, 中川 隆
2. 発表標題 温感触覚装置を用いてキャラの体温を感じ取ることができるVR乙女ゲーム
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡愛富, 中川 隆
2. 発表標題 メタバースにおける引退した鉄道車両の動態保存および体験の可能性
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古川雅也, 中川 隆
2. 発表標題 ミラーワールド時代におけるデータベースを素材としたVR九龍城砦の表象
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2022
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 伊藤夏希, 中川 隆
2. 発表標題 仮想(ジツ)人間が紛れ込んだVRChatワールド
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2022
4. 発表年 2022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
研究分担者	古川 聖 (Furukawa Kiyoshi)  (40323761)	東京藝術大学・美術学部・教授  (12606)	
研究分担者	大村 英史 (Ohmura Hidefumi)  (90645277)	東京理科大学・創域理工学部情報計算科学科・講師  (32660)	

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