

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22879

研究課題名（和文）熱放射を利用した非装着空間型触質感インタフェース

研究課題名（英文）Heat-radiation-based airborne type haptic interface

研究代表者

嵯峨 智（Saga, Satoshi）

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・准教授

研究者番号：10451535

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、熱放射を利用し、空間中で仮想物体を提示する錯触覚提示装置を実現することである。我々はこれまでに熱放射をレーザスキャナで投影するシステムを実装した。さらに、熱画像と光学画像を組み合わせた掌の空間位置取得手法を提案し、提示システムを完成させた。加えて、熱提示における時空間パターン変容による感覚変化を検証するため、ペルチェ素子を利用した熱提示装置を開発した。熱の空間分布を変容させることで痛みを生成するサーマルグリル錯覚を発展させ、時空間制御を行い、熱の時空間分布制御による痛み生成の応答性の高速化について検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、熱放射を利用し、空間中で仮想物体を提示する錯触覚提示装置を実現することである。我々はこれまでに熱放射をレーザスキャナで投影するシステムを実装した。さらに、熱画像と光学画像を組み合わせた掌の空間位置取得手法を提案し、提示システムを完成させた。加えて、熱提示における時空間パターン制御により、痛み生起時間を高速化する手法についても提案、検証した。このように空間中で仮想物体情報を錯覚として提示可能なシステムにより、非接触ながら触覚情報を提供可能なインタフェースデバイスを実現し、熱による痛み提示の特性について明らかにすることで、今後の熱による触覚インタフェース開発の可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to realize a tactile illusion presentation system that uses thermal radiation to present virtual objects in space. We have implemented a system that projects thermal radiation using a laser scanner. Furthermore, we proposed a method of acquiring the spatial position of the palm by combining thermal and optical images, and completed the presentation system. In addition, we developed a heat presentation system using a Peltier device to verify the sensory changes caused by spatio-temporal pattern changes in heat presentation. We developed the thermal grille illusion, which generates pain by altering the spatial distribution of heat, and verified that the control of the spatio-temporal distribution of heat speeds up the response of pain generation.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：触覚ディスプレイ 熱放射 錯触覚

## 1. 研究開始当初の背景

現在、スマートフォンの普及とともに触覚技術への期待が増大している。しかし、触覚を介した変形を伴う対象とのインタラクションは力覚ディスプレイなど限定された点での情報提示しか実現できていない。我々は対象との変形を伴うインタラクションのための新たな多自由度非拘束力覚ディスプレイとして、熱放射を利用した力覚ディスプレイを提案する。現在 Kinect などジェスチャ入力を可能とするインタフェースの開発により、空間的な入力を支援する枠組みが利用されるようになってきた。しかし、Kinect をバーチャルな粘土造形に利用しようという例もあるが、空間的な入力に対するフィードバックは視覚のみで力覚的なフィードバックがないため、直感性に欠ける部分も存在する。何もない空間に力を感じさせる手法としては、空気砲や超音波フェイズドアレイによる手法があげられるが、これらは応答性に欠ける、提示可能な力が小さいなどの問題がある。我々はこれらの背景のもと、これまでの触覚ディスプレイでは実現できなかった多自由度かつ指などへの装置の拘束がなく、高速な応答性をもち、触覚フィードバックを伴うインタラクティブな操作を実現する錯触覚ディスプレイを提案する。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、熱放射を利用し、空間中で仮想物体を提示する錯触覚提示装置を実現することである。触覚を介した変形を伴う対象とのインタラクションは、粘土細工を筆頭に、無から有を作り出すことができる人間の最も根源的な創造の形とも言える。多自由度かつ拘束なし、高速な応答性をもつ仮想物体とのインタラクションシステムを実現することで、情報化された仮想物体への直感的インタラクションを容易なものとし、人の創造性を促進するデバイスのための触覚提示手法の確立を目指す。

## 3. 研究の方法

我々は空間中で仮想物体との触覚フィードバックを伴う直感的かつインタラクティブな操作を実現し、人の創造性を促進するデバイスのための触覚提示手法の確立を目指す。そのため、本研究の鍵となる技術である、インタラクティブな操作を実現するため装置への拘束なしに多自由度で触覚を提示する手法として、熱放射を利用した錯触覚提示手法を確立する。熱放射を掌などに照射し、侵害性の刺激を忌避するヒトの特性とあわせて利用することで、多自由度力覚提示を目指す。技術的課題である、光学系設計およびミラーの制御手法などについて以下の研究計画に従い進めるものとする。その後、これら提案する技術と視覚情報との齟齬をなくし、視触覚一致型の相互インタラクションを実現する手法の研究を行う。

## 4. 研究成果

我々はこれまでに熱放射をレーザスキャナで投影するシステムを実装した。熱放射のため 980 nm の波長を持つ最大出力 15 W の赤外レーザ光源を利用する。レーザ光源の出力は電圧制御が可能である。また、ガルバノミラーについても電圧制御によりパンチルト角を決定できる。そこで我々は Arduino Uno と MCP4922 を併用した DA 変換によるコントローラを構成した。すなわち、投光量、スキャンの大きさ、投光の中心位置は Arduino および PC から制御可能である。また、源の出力は電圧制御が可能である。また、ガルバノミラーについても電圧制御によりパンチルト角を決定できる。そこで我々は Arduino Uno と MCP4922 を併用した DA 変換によるコントローラを構成した。すなわち、投光量、スキャンの大きさ、投光の中心位置は Arduino および PC から制御可能である。

また、熱画像と光学画像を組み合わせた掌の空間位置取得手法を提案し実装をしている。深度画像のトラッキングでは一部、掌位置をロストしている部分があることがわかった。このときの掌位置抽出に用いた深度画像および RGB 画像から、掌のレーザ照射部分の深度情報が抜けていることがわかった。これはレーザ光源が掌に照射され拡散された光が深度カメラに入射し、強い光によりアクティブセンシング用の赤外光が打ち消されたため深度そのものの計測に失敗していると考えられる。さらにいうと、深度画像については、掌の温度上昇とともに、トラッキングに用いる掌形状の欠損が拡大するが、可視光カメラでは欠損はレーザ照射点に限定されていることがわかった。そのため、RGB 画像を用いた掌位置トラッキングと、深度情報を用いた掌深度トラッキングをあわせた手法が最も安定して取得できる手段であると確認できた。これにより掌位置を取得することで安定したレーザスキャンの投影システムを実現した。

また、熱提示における時空間パターン変容による感覚変化を検証するため、ペルチェ素子を利用した熱提示装置を開発した。熱の空間分布を変容させることで痛みを生成するサーマルグリル錯覚を発展させ、時空間制御を行い、熱の時空間分布制御による痛み生成の応答性の高速化について検証した。結果から、提案する熱の時空間制御により、痛みが生成するまでの時間を高速化できることを確認した。これらの知見をもとに、熱放射における提示刺激において、より高速に刺激を伝達する手法を確立する予定である。

また、これまでの空間的な提示刺激制御に加え、振動子など他の触覚ディスプレイで利用する

高周波刺激の熱放射への応用を検討してきた。信号の分類，生成，提示に関して機械学習を用いた手法を適用し Conditional GAN と WaveGAN を組み合わせた手法により，記録された振動から記録されていない振動信号の生成を実施した。さらに生成された信号を用い，機械提示刺激による触覚ディスプレイにおいて，実験協力者を募り生成信号の弁別実験を実施し，生成された信号が弁別可能であることを検証した。今後はこの手法を熱放射刺激へも適用した実験を進めたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 1件）

1. 著者名 Satoshi Saga, Shotaro Agatsuma, Simona Vasilache, and Shin Takahashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Machine Learning-based Classification and Generation of Vibrotactile Information	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal on Advances in Networks and Services	6. 最初と最後の頁 115-124
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計38件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Takaya Ishimaru, and Satoshi Saga
2. 発表標題 Virtual bumps display based on electrical muscle stimulation
3. 学会等名 IEEE Haptics Symposium 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Ikeda, and Satoshi Saga
2. 発表標題 The relationship between the presentation area and its sensation in impulsive force display
3. 学会等名 IEEE Haptics Symposium 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 際田 直樹, 嵯峨 智
2. 発表標題 真空ブレーキの動的制御による力覚提示手法の提案
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木本 涼太郎, 嵯峨 智
2. 発表標題 温冷刺激の空間分割提示によるThermal-Grill illusion発生時間高速化手法の検証
3. 学会等名 第25回ハプティクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石丸 高也, 嵯峨 智
2. 発表標題 筋電気刺激に適した刺激波形の検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第25回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田 尚登, 嵯峨 智
2. 発表標題 撃力提示装置の身体搭載化手法とこれに伴う提示力の評価
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第25回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴尾 亮成, 嵯峨 智
2. 発表標題 揺動空気噴流による触覚提示手法の基礎検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第25回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富田 洋文, 嵯峨 智, 高橋 伸, 梶本 裕之
2. 発表標題 静電気力触覚ディスプレイを用いた複数指による触図の識別率調査
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石丸 高也, 嵯峨 智
2. 発表標題 筋電気刺激による提示力の弁別閾の調査
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴尾 亮成, 嵯峨 智
2. 発表標題 揺動空気噴流を用いた臨場感再現手法の評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 際田 直樹, 嵯峨 智
2. 発表標題 全方向自律移動車と真空機構による力覚提示手法の評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嵯峨 智
2. 発表標題 レーザー光による熱放射を利用した触覚ディスプレイにおける掌位置トラッキング,
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤崎 将人, 嵯峨 智
2. 発表標題 音楽体験の向上を目指した視覚刺激提示手法の提案
3. 学会等名 第26回ハプティクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松島 周平, 嵯峨 智
2. 発表標題 多指のPseudo-Haptics表現による硬軟感覚に対する影響
3. 学会等名 第26回ハプティクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笠井 淳矢, 石丸 嵩也, 嵯峨 智
2. 発表標題 Generative Adversarial Network におけるラベル操作による触覚振動情報の生成手法の提案
3. 学会等名 第26回ハプティクス研究会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Agatsuma, Shotaro; Takahashi, Shin; Saga, Satoshi
2 . 発表標題 Vibrotactile Signal Generation with GAN
3 . 学会等名 Proceedings of International Display Workshop 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ikeda, Naoto; Saga, Satoshi
2 . 発表標題 Impulsive Force Display by a String and a Brake System
3 . 学会等名 Proceedings of World Haptics 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Koga, Masahiro; Saga, Satoshi; Agatsuma, Shotaro; Kurogi, Junya; Usagawa, Tsuyoshi
2 . 発表標題 Evaluation of Time Domain and Frequency Domain Classification Ability in Acceleration Tactile Signals
3 . 学会等名 Proceedings of World Haptics 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Saga, Satoshi
2 . 発表標題 Thermal-Radiation-Based Haptic Display - Laser-Emission-Based Radiation Control -
3 . 学会等名 Proceedings of World Haptics 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年



1 . 発表者名 Tomita, Hirobumi; Agatsuma, Shotaro; Wang, Ruiyun; Takahashi, Shin; Saga, Satoshi; Kajimoto, Hiroyuki
2 . 発表標題 An Investigation of Figure Recognition with Electrostatic Tactile Display
3 . 学会等名 Proceedings of International Conference, HCI International 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tomita, Hirobumi; Saga, Satoshi; Kajimoto, Hiroyuki; Takahashi, Simona Vasilacheand Shin
2 . 発表標題 An Attempt of Displaying Method by Passive Touch with Electrostatic Tactile Display
3 . 学会等名 Proceedings of World Haptics 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Agatsuma, Shotaro; Kurogi, Junya; Saga, Satoshi; Vasilache, Simona; Takahashi, Shin
2 . 発表標題 Simple Generative Adversarial Network to Generate Three-axis Time-series Data for Vibrotactile Displays
3 . 学会等名 Proceedings of International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Ikeda, Naoto; Saga, Satoshi
2 . 発表標題 The relationship between the presentation area and its sensation in impulsive force display
3 . 学会等名 Proceedings of IEEE Haptics Symposium 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Ishimaru, Takaya; Saga, Satoshi
2. 発表標題 Virtual bumps display based on electrical muscle stimulation
3. 学会等名 Proceedings of IEEE Haptics Symposium 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kurogi, Junya; Saga, Satoshi
2. 発表標題 Rendering Method of 2-Dimensional Vibration Presentation for Improving Fidelity of Haptic Texture
3. 学会等名 Proceedings of International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尚登, 池田; 智, 嵯峨
2. 発表標題 撃力提示装置の提示力向上手法の検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第24回大会論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 詢也, 黒木; 智, 嵯峨
2. 発表標題 画像特徴量を利用した触覚振動表現における 重み付け変化の影響に関する検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第24回大会論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高也, 石丸; 智, 嵯峨
2. 発表標題 筋電気刺激におけるモーターポイント推定による触覚提示の有効性
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第24回大会論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 正太郎, 我妻; 詢也, 黒木; 智, 嵯峨; 伸, 高橋
2. 発表標題 振動触覚ディスプレイのためのDCGANを用いた振動生成
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 智, 嵯峨
2. 発表標題 レーザー光による熱放射を利用した触覚ディスプレイの提示制御の改善
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第24回大会論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 智, 嵯峨
2. 発表標題 レーザー光による熱放射を利用した触覚ディスプレイの提示制御
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 直樹, 際田; 智, 嵯峨
2. 発表標題 全方向自律移動車と真空機構による力覚提示手法の検討
3. 学会等名 第23回ハプティクス研究会予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 洋文, 富田; 智, 嵯峨; 裕之, 梶本; 伸, 高橋
2. 発表標題 静電気力を用いた触図ディスプレイにおける図形認識度の向上
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 詢也, 黒木; 智, 嵯峨
2. 発表標題 画像情報と振動情報の対応付けを用いた触覚提示手法の検討 - AKAZE 特徴量による情報重畳 -
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 将大, 古閑; 智, 嵯峨; 毅, 宇佐川
2. 発表標題 温冷刺激の空間分割提示によるThermal-grill錯覚の知覚時間変化
3. 学会等名 電気学会研究会資料
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 楓, 加口; 智, 嵯峨
2. 発表標題 テクスチャ振動計測条件の違いが分類精度に与える影響
3. 学会等名 電気学会研究会資料
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 亮成, 柴尾; 智, 嵯峨
2. 発表標題 揺動空気噴流を用いた臨場感提示手法の提案
3. 学会等名 電気学会研究会資料
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 颯斗, 早田; 智, 嵯峨
2. 発表標題 Pseudo-Haptics環境下での実重量変化による重量知覚への影響
3. 学会等名 電気学会研究会資料
4. 発表年 2020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
---------	---------