

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12881

研究課題名(和文) 触らないアフォーダンス知覚：モダリティ変換を伴う歩行時環境知覚の検証と応用

研究課題名(英文) Haptic Affordance Without Touching: Verification and Application of Environment Understanding During Walking via Modality Conversion from Visual to Haptic Information

研究代表者

中村 明生 (Nakamura, Akio)

東京電機大学・未来科学部・教授

研究者番号：00334152

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：生態光学の知見では、視覚的な変化・差分情報である光学的流動(オプティカルフロー)が人間の環境理解・空間知覚に重要であるとされている。

本研究では、視覚・距離情報から触覚・振動刺激へモダリティ変換を行っても、変化・差分情報によって空間情報が伝達され、歩行時環境知覚に有効であることを確認する。2次元距離センサ、及び頭部周囲に配置した5つの振動モータを搭載した頭部装着型デバイスを開発した。被験者実験を通して、障害物への距離定位や接触、面配置把握、開口部定位や通過の可能性を確認した。各種センサデータの統合的分析についても知見を得、人間の環境理解・空間知覚過程に関して発展的な検証への準備が整いつつある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、視覚・距離情報から触覚・振動刺激へのモダリティの変換を伴いつつ、人間の環境理解・空間知覚の成立過程の検証と解明を目指す点にある。光学的流動を模擬し、モダリティを変換しても変化・差分情報が有効であることを示す。工学的には、環境情報を機械に解釈させずに直接人間が取得し解釈することで、人間の認知特性に合致する知覚支援が可能となる点である。これにより、視覚障がい者、特に中途失明者の支援システムの開発に貢献できる可能性がある点が社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：According to studies on ecological optics, optical flow, which represents dynamical visual variation, is important for human environmental understanding and spatial perception.

In this study, we confirm that even if the modality is converted from visual and distance information to haptic and vibration stimuli, spatial information is transmitted by dynamical visual variation, and is effective for environmental understanding during walking. We have developed a head-mounted wearable device equipped with a 2-dimensional distance sensor and five vibro-motors arranged around the head. Through the subject experiments, we have confirmed the possibility of distance localization to a wall, contact with a wall, understanding of wall arrangement, and aperture localization and passage.

We have also obtained knowledge on the integrated analysis of various sensor data, and we are getting ready for more advanced verification of the process of human environmental understanding and spatial perception.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：空間知覚 光学的流動 モダリティ変換

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省によると、現在日本には約31万人の視覚障がい者がいる。視覚障がい者は、視覚以外のモダリティを高度に利用して、場所やイベントに付随する音、地面の勾配、臭いといった情報や刺激の関係性から自身の歩行行動に役立つ意味や価値、すなわちアフォーダンスを知覚する。しかし、その知覚を日常生活に支障ないレベルにするのは容易ではなく、特に中途失明者にとっては困難であるとされている。そのため、視覚障がい者を支援する機器の研究開発がなされている。

アフォーダンスの提唱者、J. J. Gibson の生態光学(Ecological Optics)の理論では、「視覚において決定的な役割を果たすのは環境に充満した包囲光であり、その変化・差分である光学的流動(オプティカルフロー)である」としている[1]。光学的流動は観察者の移動により変化し、それを人間が知覚して空間が把握できる。Lee は「環境中の壁との接触までの時間や距離の情報は光学的流動から推定できる」ことを明らかにし[2]、「接触までの時間は光学的変数 τ により特定され、視覚的には対象物の拡大率、音響的には音圧の増大率等といった変化・差分情報によって伝達され、モダリティによらない」と主張している[3]。

本研究は、以上のアフォーダンスの知見に基づき、下記の仮説を検証する。すなわち、モダリティによらずに変化・差分情報が重要であるとするならば、仮説「視覚から触覚にモダリティを変換させても、変化・差分情報によって空間情報が伝達され、空間知覚が成立する」。歩行時、視覚・距離情報から触覚・振動刺激へモダリティ変換を行ったとしても、光学的流動を模擬した変化・差分情報が歩行の支援につながることを明らかにすることが学問的問いである。その過程で距離情報から振動刺激への変換方法、および振動刺激情報の提示方法を確立する。

2. 研究の目的

本研究の目的に関して、学問的には「上記の問いを検証して変化・差分情報からのアフォーダンス知覚成立を確認する」こと、工学的には「光学的流動を模擬した振動刺激への変換方法および提示方法を明確化・評価実証する」と設定する。なお、対象に触れずに空間構造を把握し、触覚を通じてアフォーダンスの知覚をなさせるという意味で、「『触らない』触覚アフォーダンス(Haptic Affordance Without Touching)」と呼称する(Fig. 1)。

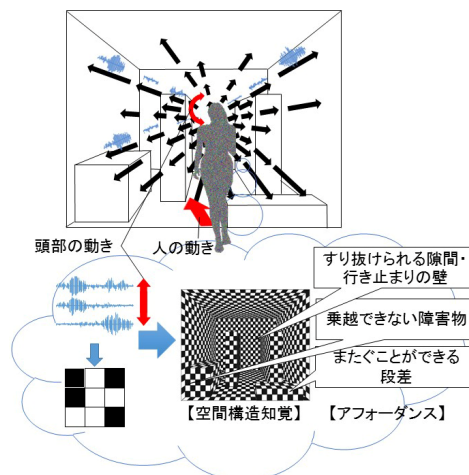


Fig. 1 触らない触覚アフォーダンスの概念

3. 研究の方法

検証にあたり Fig. 2 (a), Fig. 4 に示す振動デバイスのプロトタイプを準備した。ヘルメットを使用し、頭頂部に距離情報取得のための2次元距離センサを搭載、振動刺激用に前額部から側頭部にかけて内部に5個の振動モータを配置する。センサは被験者前方水平断面を走査し、被験者が上下に首振りすることで3次元距離情報が得られる。

振動刺激に関しては、光学的流動の拡大における性質を模擬し、A)面への接近速度が大きいほど振動を大きく提示、B)接近速度が同じであっても面に近いほど振動を大きく提示、で実装する。A)に関してはユーザの歩幅を基準として距離の時間差分を算出して速度を表現、B)に関しては指数関数的な減衰で距離を表現し、両者の積を振動強度とする。

歩行環境の例と、振動刺激の理想的波形を Fig. 2 (b)(c)にそれぞれ示す。Fig. 2 (b) の実線は移動経路、図中の点及び t_i はそれぞれ通過点と時刻を表す。なお、この例では被験者は移動方向にかかわらず正面向きと仮定する。Fig. 2 (c)の横軸は時刻、縦軸は振動の強度を示す。左図は理論上の振動刺激波形、右図は実際の振動刺激波形である。理論と実際の波形が外形的に一致していることが見て取れる。また、距離情報に変化・差分がない場合は振動刺激が発生しないことが大きな特徴である。

評価方法に関しては、歩行の様子をカメラ及びモーションキャプチャシステムで全周囲から撮影して、行為・行動情報の取得を行う。振動刺激の変換方法や提示方法が適切であるかを評価する際に、物体に対する人物の能動的アプローチ解析を参考とする。具体的には、Fig. 2 (c)のような刺激情報が提示されつつ歩行する被験者(目隠しあり)に、自らの知覚に基づいて壁に接触行為をしてもらい、その際の歩行速度に対する、体幹や頭部の動き、腕や手の振り上げの速度・時間等を観察・計測する。

以上に加え、歩行パターン・行動(戸惑・躊躇)等を分析する。また、被験者本人及び観察者による行動書き起こし(トランスクリプト)も行う。客観的及び主観的評価を通して、「知覚の過程と実際に表象する歩行行動を根拠としてアフォーダンス知覚の成立」を確認する。

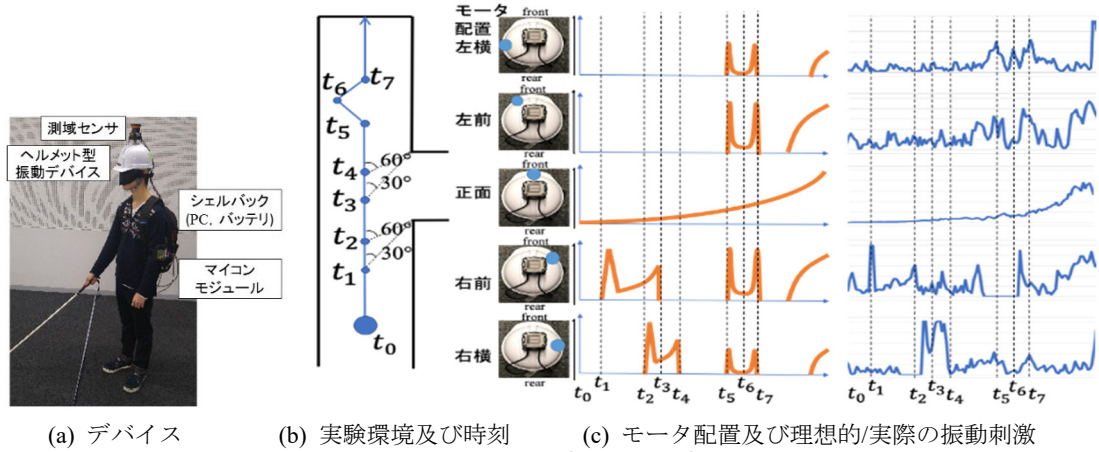


Fig. 2 ハードウェア: プロトタイプシステム

研究期間を通じ、(A)理論提案(モデル化)、(B)振動刺激への変換・提示方法の検証、(C)システム開発に関して、理論提案、知見獲得、手法検証、実機開発の局面で情報をサイクル的に相互フィードバックして研究を進める。

生態心理学では、移動をアフォードする2つの一般的な場合を区別して、障がい物と開口部と呼ぶ。障がい物は衝突を、開口部は通過をアフォードする。最初の2年でこの2つの場合について検証する。各年度の実施項目は以下の通りである。

- 2019年: 障がい物を対象として、「距離定位: 垂直面に対する一定距離の把握」「接触: 障がい物に対する能動的アプローチ」「接近・回避: 位置・姿勢把握およびその情報の利用」の実験を行う。歩行のための基本的なアフォードダンス知覚の確認が可能となる。
- 2020年: 開口部を対象として、「エッジ検知: 面配置の変化稜線の特定」「通過: 面配置把握およびその情報の利用」の実験を行う。環境内の面配置の把握に関して確認する。
- 2021年: 3次元メンタルマップの認知評価・ユーザ表象のモデル化にあたり、面配置の把握のために、面間隔や分岐の把握、通過可否の判断に関する実験を行う。メンタルマップ形成・ユーザ表象のモデル化過程で必要となる情報の種類や量に関して確認する。

4. 研究成果

サブゴールとして以下の2つを設定し、研究を遂行した。

- 1) 光学的流動を仮想環境内に描画可能な形式で表現し、その提示による周辺環境の認識可能性の検証
- 2) 光学的流動を解釈可能範囲内で要約・削減し、非視覚モダリティである振動刺激に変換・伝達するシステムの開発

研究初年度である2019年度の成果は以下の通りである。

1)に関して、複数の被験者実験を通して、Fig. 3(a)に示す環境において、Fig. 3(b)に示す光学的流動の簡易的な図示のみであっても、Fig. 3(c)に示す通り直進通路、曲がり角、分岐路といった基本的な屋内空間構造の構成要素の認識は可能であることを確認した[鬼頭/MVE2020]。

2)に関して、Fig. 4に示す距離センサ、振動モータからなる振動デバイスを開発した。そのデバイスを用いて、Fig. 5に示す障がい物を対象とした「距離定位: 垂直面に対する一定距離の把握」「接触: 障がい物に対する能動的アプローチ」に関する実験を行った。距離に比例した強度の振動を提示することが多い先行手法に対し、距離の変化・差分を考慮した強度の振動を提示することの優位性に関して、基礎的な実験ながらも後者が有効であることの可能性を示唆できた。障害物への距離定位において、先行手法と比較して、一定距離を保持して安全に停止可能であることが確認できた[金原/パターン計測部会研究会 2019] [Morita/IWAIT2020]。

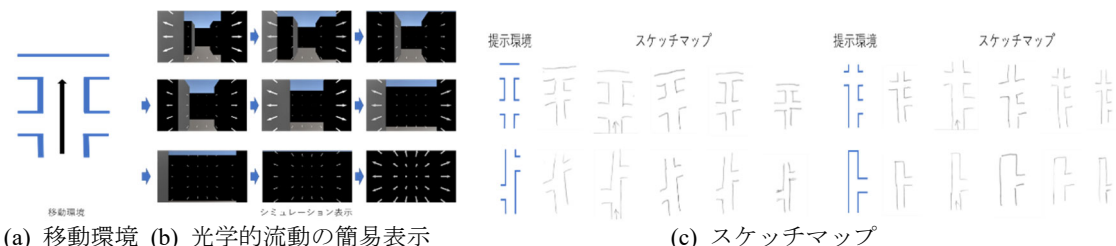
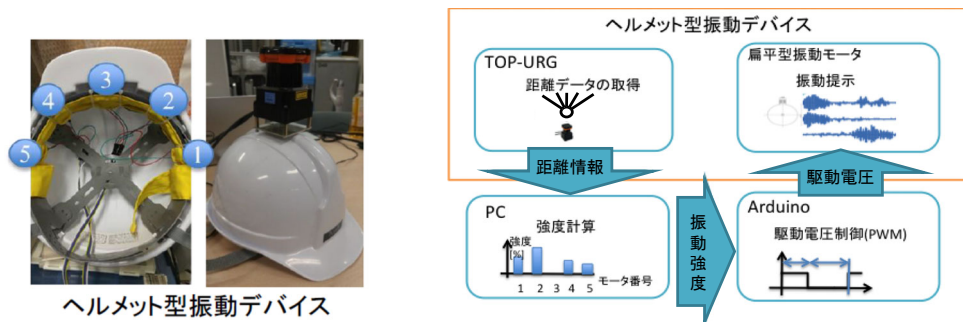


Fig. 3 光学的流動の簡易的な図示と屋内空間構成要素の認識



ヘルメット型振動デバイス

(a) 外観

(b) ハードウェア構成およびシステムの処理の流れ

Fig. 4 振動デバイス



(a) 距離定位: 垂直面に対する一定距離の把握
(遠過ぎ・近過ぎ・適切距離)

(b) 接触: 障がい物に対する能動的アプローチ
(成功例・失敗例)

Fig. 5 距離定位実験及び接触実験

距離に比例した強度の振動刺激を常時受ける先行手法に対して、提案手法は変化・差分を考慮した強度の振動刺激であるため、変化・差分がない場合は振動刺激が発生しない点が大きな特長である。被験者からの実験後情報聴取結果から、ユーザのストレスの低減にも寄与する可能性も示唆された。

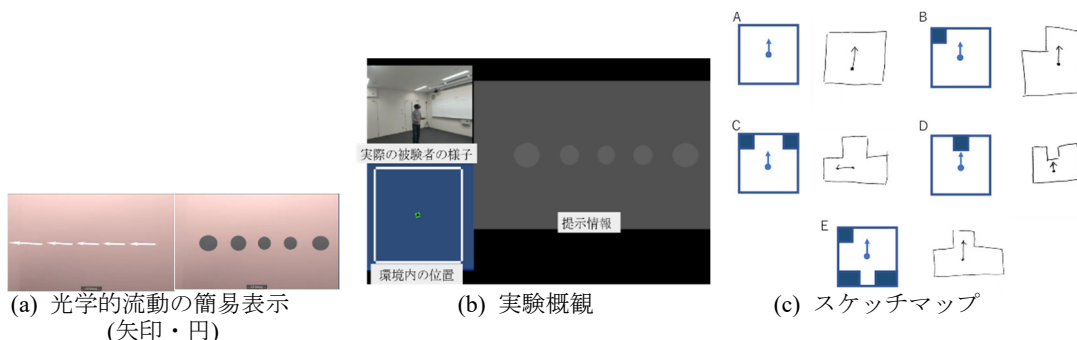
研究中間年度である 2020 年度の成果は以下の通りである。

当初の計画である「通過:面配置把握およびその情報の利用」「エッジ検知:面配置の変化稜線の特定」の実験等を通して、2019 年度に設定した 2 つのサブゴールに対して引き続き検討を加えた。

1)に関して、Fig. 6 (a) に示す光学的流動の拡大を円直径拡張で表現する図示のみで、Fig. 6 (b) に外観を示す実験において、被験者が面配置を把握し、Fig. 6 (c) に示す通り凸型や凹型といった閉空間の形状を認識して描画可能であることを確認した。また移動障害物の接近に対しても、同様の情報提示による回避可能性が示唆された。さらに、円直径拡張を実際の振動にモダリティ変換してユーザに伝達するプロトタイプシステムを開発し[谷部/インタラクション 2020][鬼頭/インタラクション 2021]、振動刺激のみで壁に対する正対方向、隙間の中心、角の頂点といった環境構成要素の把握可能性を確認した。

2)に関して、Fig. 7 (a) に示す「開口部定位:正面方向に設置した開口部の方向定位」に関する実験を行い、深度方向のエッジ検知に対して有効性を確認した[Endo/QCAV2021]。Fig. 7 (b) に示す通り、被験者が頭部を非左から右へ移動させたところ、正面配置モータの振動刺激時系列データにおいて、開口部のエッジ部にインパルスの応答を観察でき、ユーザにとって分かりやすいことが分かった。「偏軌傾向修正:盲状態における無意識な偏軌の知覚と修正」に関して基礎的な有効性を確認した。

さらに、距離に比例した強度の振動刺激を常時受ける先行手法に対して、変化・差分を考慮した強度の振動刺激を受ける提案手法は、ユーザのストレスの低減に寄与する可能性が被験者からの実験後聴取結果からも示唆されていたが、定量的な検証を加えた。意味差別法(SD)法を用いた不快印象調査の結果、障害物接近時振動刺激に対し、従来手法に対して不快印象が 15 種中 10 種類の指標において小さいことを確認した[Morita/QCAV2021]。

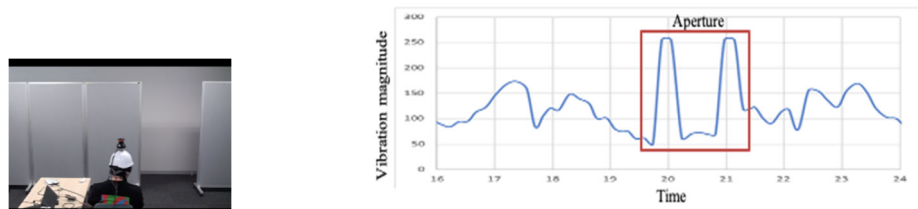


(a) 光学的流動の簡易表示
(矢印・円)

(b) 実験概観

(c) スケッチマップ

Fig. 6 光学的流動の簡易的な図示と面配置把握



(a) 開口部定位:正面方向に設置した開口部の方向定位 (b) 正面配置モータの振動刺激時系列データ
左から右へ頭部移動・開口部のエッジ部にインパルシ的応答

Fig. 7 開口部定位実験

研究最終年度である 2021 年度の成果は以下の通りである。

当初の計画に従い、3次元メンタルマップの認知評価・ユーザ表象のモデル化にあたり、面配置の把握のために、「面間隔や分岐の把握」「通過可否の判断」に関する実験を行った。2019 年度に設定した 2つのサブゴールに対して引き続き検討を加えた。

1)に関して、2020 年度までに構築していた VR シミュレーションシステムを使用し、Fig. 8 に示す通り、振動刺激、被験者位置・姿勢、外観映像など、各種センサ情報を同時記録し、提示される振動刺激とユーザ判断の関係性に関して定量的かつ定性的に調査した。正面壁への接近、隘路通過、段差検出など、様々な環境を再現して試行した結果、被験者が知覚した内容・その判断理由の明確化の可能性を確認した[森田/インタラクション 2022]。Fig. 8 は正面壁への接近の例である。2次元距離センサによる壁検出範囲外から、被験者が行動「一歩進む」を開始すると、振動強度が被験者前頭部から側頭部にかけて増加していることが波形から読み取れる。その際、被験者は「振動(が)だんだん強くなってきて」と発言しつつ、障害物の存在を認知し、衝突回避のために行動「停止」を選択していることが分かる。

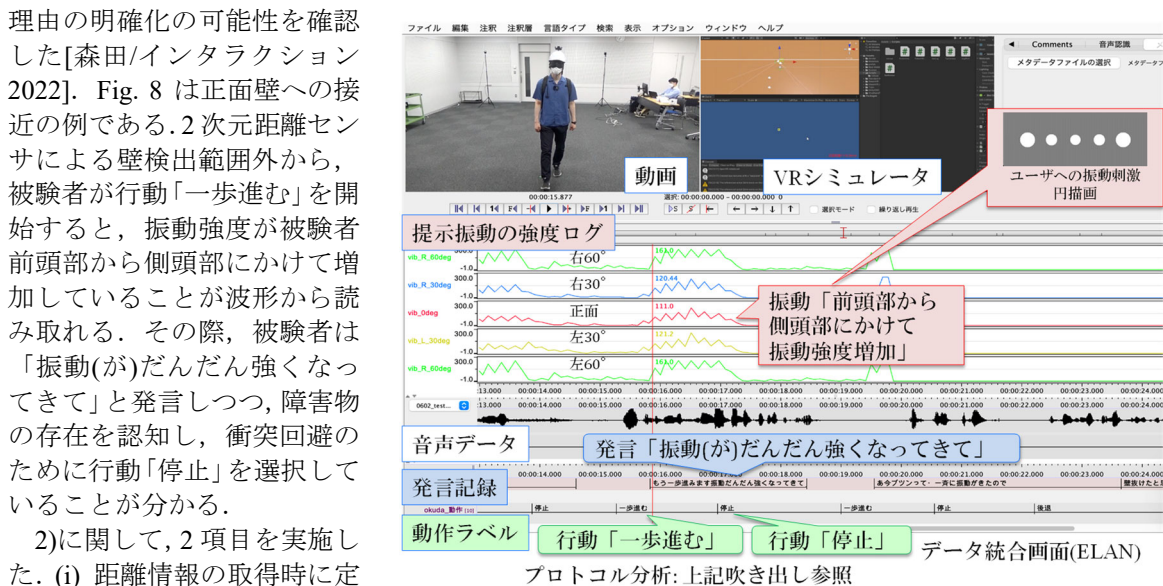


Fig. 8 各種センサ情報の同時記録及びプロトコル解析

2)に関して、2項目を実施した。(i) 距離情報の取得時に定常的に発生するノイズの影響により、提示される振動刺激

に高周波の微振動が含まれ、ユーザが得られる情報が不明瞭となる可能性が示唆されていた。それに対し、定常ノイズを低減するとともに大局的な変動に対する応答性も考慮したデジタルフィルタを採用し、適用した。その結果、ノイズ低減、及び応答性の維持を確認した[遠藤/HCG2021]。

(ii) 開口部の通過課題に対し複数実験を実施した。90%超の試行において開口部を通過した瞬間を被験者が知覚でき、開口部知覚の可能性を確認した。

3年の研究期間内に、ほぼ当初の計画通りに研究を実施できた。障害物への距離定位や接触、面配置把握、開口部定位や通過の実験を通して、視覚・距離情報から触覚・振動刺激へモダリティ変換を行ったとしても、光学的流動を模擬した変化・差分情報の提示が歩行時環境知覚に有効であることを確認できた。「変化・差分情報からのアフォーダンス知覚成立の確認」、「光学的流動を模擬した振動刺激への変換方法および提示方法を明確化・評価実証」に関して、基礎的な検証を行うとともに、各種センサデータの統合的分析についても知見を得、人間の環境理解・空間知覚過程に関してより発展的な検証への準備が整いつつある。

[参考文献]

[1] J. J. ギブソン[著], 古崎 敬 他[訳], 「生態学的視覚論」, サイエンス社, 1985.
 [2] D. N. Lee, “Visuo-Motor Coordination in Space-Time,” *Advances in Psychology*, pp.281-295, 1980.
 [3] D. N. Lee, “The Optic Flow Field: The Foundation of Vision,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 290, pp.169-179, 1980.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Itta Endo, Shinichiro Morita, Kazuho Kito, Harumi Kobayashi, Naoki Mukawa, and Akio Nakamura
2. 発表標題 Aperture Localization based on Vibro-stimuli Generated from Distance Variation
3. 学会等名 Quality Control by Artificial Vision (QCAV) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinichiro Morita, Itta Endo, Harumi Kobayashi, Naoki Mukawa and, Akio Nakamura
2. 発表標題 Environment Understanding During Walking via Modality Conversion from Visual to Haptic Information Evaluate Impression of the Vibro-stimuli Simulating Optical Flow
3. 学会等名 Quality Control by Artificial Vision (QCAV) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠藤 一太, 森田 慎一郎, 奥田 昂太, 吉田 裕輝, 小林 春美, 武川 直樹, 中村 明生
2. 発表標題 距離変化から変換した振動刺激に基づく歩行時環境知覚の基礎検証
3. 学会等名 HCGシンポジウム(HCG2021)(電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーショングループ)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森田 慎一郎, 吉田 裕輝, 遠藤 一太, 小林 春美, 武川 直樹, 中村 明生
2. 発表標題 距離の変化・差分に基づく振動提示による環境知覚支援システム - 振動刺激提示 シミュレーション環境の構築 -
3. 学会等名 情報処理学会シンポジウム (インタラクシオン 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鬼頭 一帆, 森田 慎一郎, 小林 春美, 武川 直樹, 中村 明生
2. 発表標題 視覚情報の変化・差分提示による環境把握の検証: 振動刺激提示シミュレーション環境の構築
3. 学会等名 第25回一般社団法人情報処理学会シンポジウム (インタラクシオン 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金原 慶拓, 鬼頭 一帆, 森田 慎一郎, 小林 春美, 武川 直樹, 中村 明生
2. 発表標題 視覚障がい者支援のための光学的流動を模擬した振動提示システムの基礎検討
3. 学会等名 SICE/第103回パターン計測部会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinichiro Morita, Yoshihiro Kanehara, Kazuho Kito, Harumi Kobayashi, Naoki Mukawa, and Akio Nakamura
2. 発表標題 Environment Understanding During Walking via Modality Conversion from Visual to Haptic Information
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology 2020 (IWAIT 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鬼頭 一帆, 森田 慎一郎, 金原 慶拓, 小林 春美, 武川 直樹, 中村 明生
2. 発表標題 視覚情報の変化・差分提示による通路環境把握の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE) / 信学技報
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷部 航太郎, 森田 慎一郎, 鬼頭 一帆, 小林 春美, 武川 直樹, 中村 明生
2. 発表標題 視覚情報の変化・差分提示による環境把握の検証: HMDを用いたシミュレーションシステムの構築
3. 学会等名 第24回一般社団法人情報処理学会シンポジウム (インタラクション 2020)
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
研究分担者	武川 直樹 (Mukawa Naoki) (20366397)	東京電機大学・システムデザイン工学部・教授 (32657)	
研究分担者	小林 春美 (Kobayashi Harumi) (60333530)	東京電機大学・理工学部・教授 (32657)	

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