

令和元年6月14日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00266

研究課題名(和文) 拡張現実感における固有感覚と前庭感覚のクロスモダリティを用いた運動知覚制御方式

研究課題名(英文) Motion perception control methods by using proprioception and vestibular sensation based on the cross-modality effect

研究代表者

小川 剛史(Ogawa, Takefumi)

東京大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号：60324860

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、物体を持ち上げる時や坂道を上る時に人が感じる感覚的負荷を制御するため、拡張現実感環境において重量知覚と歩行知覚を制御する感覚提示方法を考案することである。固有感覚や前庭感覚との相互作用だけでなく、電気的筋肉刺激や触錯覚などを積極的に取り入れ、物理的な刺激デバイスのみでは提示できない感覚を知覚させる方式を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の感覚クロスモダリティに関する研究は心理学分野における脳機能の解明を目的としたものや、AR技術に応用した研究でも人の五感に関する提示に留まっていたのに対し、本研究では日常生活の支援という視点から、買い物などの荷物を運ぶ作業に注目し、重量知覚と歩行知覚を制御するために、五感の枠を超え固有感覚や前庭感覚のクロスモダリティの解明と応用に取り組んだ点で、学術的意義が高い。

研究成果の概要(英文)：In our research, we aimed to realize sensory presentation methods to control weight perception and gait perception in augmented reality environment in order to reduce stress when a person lifts an object or climbs a slope. We proposed methods that allows us to present sense that can not be presented using only physical stimulation devices, by using not only cross-modality of proprioception and vestibular sensation but also methods such as electrical muscle stimulation and tactile illusion.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：HCI 拡張現実感 クロスモーダル 運動知覚

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

視覚と触覚など複数の感覚の相互作用（クロスモダリティ）を利用して新たな感覚を提示するインタフェースが注目されている。クロスモーダルインタフェースでは提示した感覚刺激とは異なる知覚をユーザに与えることができるため、デジタルコンテンツを創出するメディア技術として豊かな生活を支援するだけでなく、身体性メディア技術としてヘルスケアやスポーツなど幅広い分野を支援する技術としても期待できる。従来研究では、五感の中でも特に視覚、聴覚、触覚に関しては盛んに研究が行われてきたが、その他の感覚について詳細に検討した研究は少なく、人々の日常生活を支援するためには、さまざまな感覚について効果的な刺激方法を確立することが必要であると考えられる。

### 2. 研究の目的

物体を持ち上げる時や坂道を上る時に人が感じる感覚的負荷の低減するために、拡張現実感環境において重量知覚と歩行知覚を制御する新しい感覚提示方式を確立することが目的である。本研究では、視覚と固有感覚や前庭感覚との相互作用を用いて、運動知覚を制御することを目指す。また、電氣的筋肉刺激や錯覚も積極的に取り入れ、物理的な刺激デバイスのみでは提示できない感覚を知覚させる方式について提案する。

### 3. 研究の方法

本研究は、日常生活に拡張現実感技術を応用するため、固有感覚と前庭感覚のクロスモダリティによる運動知覚制御方式を確立することを目的として（1）視覚と固有感覚のクロスモダリティを用いた重量知覚制御方式（2）視覚と前庭感覚のクロスモダリティを用いた歩行知覚制御方式（3）固有感覚と前庭感覚のクロスモダリティを用いた運動知覚制御方式の3つのテーマからなる。それぞれのテーマについて、意図する感覚を知覚させる条件を明らかにし、効果的な感覚刺激提示方法を確立するとともに、感覚刺激提示システムの設計論について議論する。

### 4. 研究成果

#### （1）重量知覚に関する感覚制御方式

物体を持ち上げる際、皮膚に加わる圧力がその物体の重量を人に知覚させる重要な要素となっている。そこで、視覚刺激と圧覚刺激に意図的な不整合を発生させ、クロスモーダル知覚によって、圧力知覚がどのように変化するかを検証した。具体的には、一定の力を受けているにも関わらず力が弱まる様子を視覚的に提示したり、力が弱まる様子を視覚的に強調して提示したりすることで、視覚刺激と圧覚刺激を乖離させ、圧力知覚の低減や消滅を実現する。被験者実験により、視覚刺激によって圧力知覚が減少すること、また、視覚刺激と圧力知覚との間の乖離が小さいほど、圧力知覚が大きく減少することなど、圧力知覚を制御するための条件を明らかにした。また、見ている対象を自己またはその延長として捉える感覚は自己帰属感と呼ばれ、既存研究において自己帰属感の強度が視触覚間クロスモーダルによる錯覚の強度に影響することが報告されている。本研究においても自己帰属感の影響について調査した。自己帰属感に関してはスマートフォンを用いた提示システムと HMD を用いた提示システムを構築して比較した。実験では、自由に周りを見渡すことができ、自身の腕や手の視認性が高い HMD を用いたシステムが、スマートフォンを用いたシステムよりも自己帰属感が高く圧力知覚を大きく減衰させるとの予想に反した結果となった。HMD を用いたシステムは高いリアリティを実現している一方で刺激されている部位以外にも視線が移動しやすいのに対し、スマートフォンを用いたシステムは、スクリーン上に刺激部位とその周囲のみが提示されているため、圧覚刺激を受ける様子に集中できたことが原因であることが示唆された。従来研究などでは、別のことに集中させることで、痛みやその他の感覚を低減するのが一般的であるのに対し、本研究では、刺激されていることに集中することで圧力知覚が低減できることが明らかとなり、興味深い結果を得た。

筋肉に加わる力が物体の重量を知覚する要素のひとつであると考え、物体を持ち上げる際の筋運動に着目し、外部から電気刺激を与えることで重量知覚を制御する方式を確立した。肘を曲げて物体を把持する時、物体の重量に応じて上腕三頭筋が受動的に収縮し、腕の姿勢を維持するために上

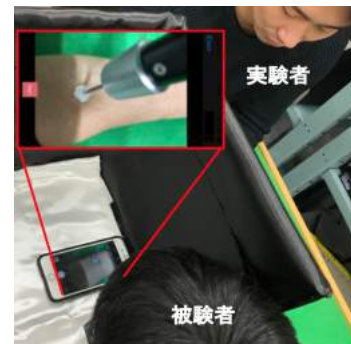


図1 スマートフォンによる提示システム



図2 HMDによる提示システム

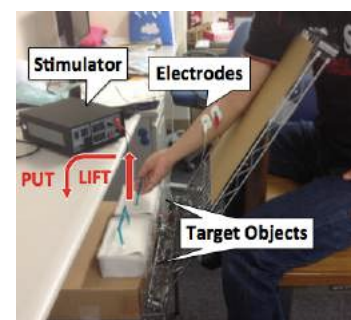


図3 電氣的筋肉刺激を用いた重量知覚変化の検証

腕二頭筋が収縮する。この時、上腕三頭筋に電気刺激を与えると、上腕三頭筋の収縮が強まり、姿勢を維持するための上腕二頭筋の活動量が増加し、対象物を実際よりも重く感じると考えられる。一方、上腕二頭筋に電気刺激を与えると、脳からの指示がなくても物体を把持できる、もしくは脳からの指示による上腕二頭筋の運動量が小さくなるため、実際よりも軽く感じると考えた。そこでこれらの現象を利用して、対象物の重量知覚を制御する方式を確立するために検証実験を行った。電気刺激を与えない場合および上腕三頭筋に電気刺激を与えた場合よりも上腕二頭筋に電気刺激を与える重量知覚が変化し、物体を軽く感じるようになった。また、肘と同様に、手首の動きについても検証を行い、物体を軽く感じさせるために与えるべき電気刺激の条件を明らかにした。

### (2) 歩行知覚に関する感覚制御方式

颯爽と軽快に歩くことができれば普段のウォーキングがより楽しくなり、適度な運動の継続が健康的維持に寄与すると考えられる。また、スピード感をもって坂道を登ることができれば、その際の感覚的な負荷を低減できると考えられる。そこで、本研究では、視覚と速度感覚のクロスモダル知覚により、歩行知覚を制御する手法を確立した。具体的には、人が速度を知覚する要因のひとつである周辺視野領域におけるオプティカルフローを、AR技術を用いて強調することで、速度知覚を変更させる。従来研究においても、同様のアプローチで速度知覚を変更する研究が行われていたが、本研究では、スピード感覚の慣れと日常生活で利用する際の危険性を低減する、刺激提示方法を提案した。スピード感覚の慣れは、例えば、車で高速道路を走行した後、一般道を走行すると車が遅く感じる現象として、広く知られている。一定時間高速道路で走行することで、走行中に視界に発生するオプティカルフローの変化が乏しいために人の知覚が順応することが原因のひとつだと言え、提案方式でも常に同強度のオプティカルフローを提示し続けると、速度感覚が麻痺する可能性がある。また、慣れなども考慮してスピード感を高めるために、強い強度のオプティカルフローを生成すると、AR環境において周囲の視認性が低下し、他の歩行者との接触といった危険が予想される。そこで、実際の歩行時に使用するために、ユーザが視覚刺激に慣れないようオプティカルフローの強度を時間的に変化させるとともに、安全面を考慮して可能な限り視界を奪わないよう刺激提示時間を短くするため、歩行動作に合った視覚刺激提示方式を考案し、被験者実験によりその有効性を明らかにした。



図4 スピード感増強のためのオプティカルフロー強調の例

### (3) 運動知覚に関する感覚制御方式

VR空間内において移動する物体を把持する際のリアリティを向上するために、視覚と固有感覚のクロスモダリティを用いて、力触覚フィードバックを提示する方式を確立した。現実空間内に、VR空間内にある物体と同じ形状、同じサイズの物体を配置することで、非常にシンプルな機構リアリティの高い力触覚フィードバックを実現できるが、VR世界と同等の現実世界を用意する必要があるため、空間が広大になるほど構築が困難となる。また、VR空間内を移動する物体を把持する場合には、現実空間内では移動機能を備えた物体を用意したり、あるいは把持する可能性のある場所すべてに物体を配置したりするなどの問題が生じる。そこで、本研究では、現実空間に配置する物体は一つにし、VR空間内での手の位置と現実空間内での手の位置を意図的にずらすことで、現実空間に多くの物体を配置することなく、様々な場所で物体を把持できるようにするとともに、現実空間の物体を円盤上に配置し、円盤を回転させることで接線方向への力覚を提示するシステムを構築した。接線方向での力覚提示では、ある方向の力を提示できる場所が2箇所存在し、どちらを選択するかを決定する必要がある。バーチャル物体の把持位置と現実物体の把持位置との距離に注目した戦略とバーチャル物体を把持するために手をのばす方向と現実物体を把持するために手をのばす方向のなす角に注目した戦略を提案し、適切な戦略を選択するための条件を明らかにした。なお、力覚の提示方向と物体の実際の運動方向が45度程度までずれていてもヒトはその違いを知覚することができないことが明らかとなり、力覚提示デバイスをよりシンプルに構成できる可能性を見出した。

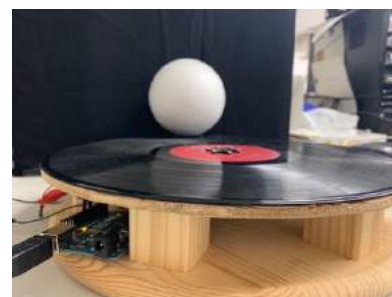


図5 円盤上のオブジェクトによる力触覚提示システム

視覚的に認識した体の移動量と、体性感覚的に知覚した体の移動量が一致している状態から、一致しない状態に変化したときに生じる力触覚は擬似触覚と呼ばれ、不一致の状態に応じて、例えば腕が重くなったり、軽くなったりする錯覚現象である。従来よりバーチャル空間における力覚提示に擬似触覚を用いる研究は盛んに行われている。VR空間でバーチャル物体を持つ際に物

体と手を実際よりも低い位置に描画することで物体の重量を表現し、ボウリングゲームに適用した例や、手でバーチャルな壁を押す際に、手を実際より手前に描画することで抵抗感を表現した例などがある。一方で、AR環境において擬似触覚による力覚提示を行う際には、実際の腕の位置を視覚的に認識できる腕の位置に意図的な齟齬を発生させる必要があるため、ブルーバックを用いるなどしなければならなかったが、日常的にブルーバックがあるような環境で生活してはいないため、実利用は困難である。そこで本研究では、ビデオシースルーのAR環境において手の表示位置を変更するのではなく、視点を移動させることで視界における手の移動量と身体動作としての移動量に不整合を生じさせ、擬似触覚を生起させる手法を提案した。視点の変位を打ち消す向きに視線方向を回転させ、視野における背景の変化を最小限にすることで、力覚提示部位のみが変位しているように感じ、効果的に擬似触覚を生起させることが可能であることを見出した。

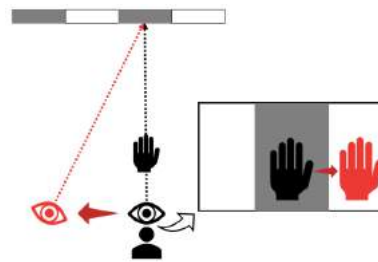


図6 視点移動による擬似触覚提示手法の概要

バーチャル物体からの触覚フィードバックを実現するために視触覚のクロスモダリティを用いた感覚提示技術についてこれまで研究を進めてきたが、その技術を発展させてバーチャル物体がどのように運動しているのかを知覚させるための視触覚刺激提示方式を確立した。以前に構築した視触覚提示装置を活用して実験を行ったところ、ある瞬間の触覚は、その瞬間よりも前にバーチャル物体がどのように運動していたかという、これまでのシナリオに大きく依存していることを明らかにし、そのシナリオを意図的に変更することで触覚を制御できることを見出した。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計7件)

- (1) 吉田 圭佑, 小川 剛史, サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示手法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 189-196, 2018, 査読あり.
- (2) Minori Inoue and Takefumi Ogawa, TapOnce: A Novel Authentication Method on Smartphones, International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 14, Issue: 1, pp. 33-48, 2018, 査読あり.
- (3) 小川 剛史, 中張 遼太郎, 新島 有信, 電氣的筋肉刺激が重量知覚に及ぼす影響の分析, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 1, pp. 3-10, 2017, 査読あり.
- (4) 小川 剛史, 朴 燦鎬, ユーザの姿勢を考慮した端末把持姿勢認識, 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ), Vol. 5, No. 1, pp. 31-37, 2017, 査読あり.
- (5) 新島 有信, 小川 剛史, 電氣的筋肉刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 575-583, 2016, 査読あり.
- (6) 新島 有信, 小川 剛史, 視触覚融合コンテンツにおける複数の視覚刺激と振動刺激によるクロスモーダル知覚に関する検討, 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 2, pp. 19-26, 2016, 査読あり.
- (7) 向井 寛人, 小川 剛史, 個人認証を目的とした視線の軌跡情報からの特徴抽出, 情報処理学会論文誌(デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 2, pp. 27-35, 2016, 査読あり.

### 〔学会発表〕(計24件)

- (1) 多田祥起, 小川 剛史, ユーザ視点位置の動的変更による擬似触覚生起に関する一検討, 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOM2019 シンポジウム, 2019, 発表予定.
- (2) 多田祥起, 小川 剛史, ユーザ視点の移動による擬似的な抵抗力・吸引力提示に関する一検討, VR学研報, Vol. 24, No. CS-2, 2019, 発表予定.
- (3) 小沢健吾, 小川 剛史, MR空間における歩行の安全性を考慮した空間切り替え制御手法に関する一検討, VR学研報, Vol. 24, No. CS-1, CSVC2019-3, pp. 13-18, 2019.
- (4) 小俣慎太郎, 小川 剛史, 触覚フィードバックを与える不可視ARマーカの検討, 情処研報, Vol. 2019-DCC-021, No. 55, 2019.
- (5) 高橋 直人, 小川 剛史, Haptic Turntable: リターゲティングと回転運動を用いた力触覚提示システム, 情処研報, Vol. 2019-DCC-021, No. 56, 2019.
- (6) 大山 晃平, 小川 剛史, 圧覚の隠消現実感を引き起こす視覚刺激の提示手法に関する一検討, 情処研報, Vol. 2019-DCC-021, No. 57, 2019.
- (7) 桑原 大樹, 小川 剛史, 空間描画のための投擲型残像ディスプレイの設計と実装, 情処研報, Vol. 2019-DCC-021, No. 58, 2019.
- (8) 大山 晃平, 小川 剛史, 圧覚の隠消現実感を誘起する視覚刺激の提示方式に関する基礎検討, VR学研報, Vol. 23, No. CS-4, CSVC2018-24, pp. 7-10, 2018.
- (9) 吉田 圭佑, 小川 剛史, サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示システムの評価, VR学研報, Vol. 23, No. CS-3, CSVC2018-16, pp. 19-24, 2018.
- (10) 高橋 直人, 小川 剛史, 視触覚VRのためのリターゲティング可能領域に関する一検討

- 討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS-2, CSVC2018-8, pp. 1-6, 2018.
- (11) Minori Inoue and Takefumi Ogawa, One Tap Owner Authentication on Smartphones,
  - (12) Proc. of The 15th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2017), Salzburg, Austria, pp. 22-28, 2017, 査読あり.
  - (13) 大山 晃平, 小川 剛史, 視覚刺激を用いた圧覚の隠消現実感に関する基礎検討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS-1, CSVC2018-1, pp. 1-6, 2018.
  - (14) 三上 紀一, 小川 剛史, 音楽体験向上のための電氣的筋肉刺激を用いた感情増幅手法の検討, 情処研報, Vol. 2018-DCC-18, No. 42, 2018.
  - (15) 吉田 圭佑, 小川 剛史, サーマルグリル錯覚による辛味提示システム, VR 学研報, Vol. 22, No. CS-4, CSVC2017-28, pp. 7-10, 2017.
  - (16) 吉田 圭佑, 小川 剛史, サーマルグリル錯覚を利用した辛味提示手法の基礎検討, VR 学研報, Vol. 22, No. CS-2, CSVC2017-11, pp. 21-26, 2017.
  - (17) Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Study on Control Method of Virtual Food Texture by Electrical Muscle Stimulation, Proc. of 29th ACM User Interface Software and Technology Symposium (UIST2016), Tokyo, Japan, pp. 199-200, 2016, 査読あり.
  - (18) Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Virtual Food Texture by Electrical Muscle Stimulation, Proc. of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC2016), Heidelberg, Germany, pp. 48-49, 2016, 査読あり.
  - (19) Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, A Proposal of Virtual Food Texture by Electric Muscle Stimulation, Proc. of 8th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities (CEA 2016, in conjunction with The 2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo), Seattle, USA, pp. 1-6, 2016, 査読あり.
  - (20) Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, A Study on Control of a Phantom Sensation by Visual Stimuli, Proc. of EuroHaptics 2016, London, United Kingdom, pp. 305-315, 2016, 査読あり.
  - (21) 新島 有信, 小川 剛史, バーチャル食感のための電氣的筋肉刺激における時間知覚に関する一検討, VR 学研報, Vol. 22, No. CS-1, CSVC2017-3, pp. 13-18, 2017.
  - (22) 浅井 一輝, 小川 剛史, 移動速度感覚の制御のための歩行動作を考慮した視覚刺激提示, 信学技報, Vol. 116, No. 494, MVE2016-73, pp. 177-182, 2017.
  - (23) 浅井 一輝, 小川 剛史, オプティカルフロー強調が移動速度感覚に与える影響の評価, VR 学研報, Vol. 21, No. CS-4, CSVC2016-31, pp. 1-4, 2016.
  - (24) 浅井 一輝, 小川 剛史, オプティカルフロー強調による移動速度感覚の変化に関する一検討, VR 学研報, Vol. 21, No. CS-3, CSVC2016-25, pp. 19-24, 2016.

[その他]

ホームページ等

<https://www.ogawa-lab.org/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名 :

ローマ字氏名 :

所属研究機関名 :

部局名 :

職名 :

研究者番号 (8 桁) :

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名 :

ローマ字氏名 :

※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、研究者個人に帰属されます。