

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04378

研究課題名（和文）精密高把持を実現するハプティックインターフェイスと力覚的知覚に関する研究

研究課題名（英文）Haptic interface and force perception for precision high grasping

研究代表者

毛利 哲也（Mouri, Tetsuya）

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：40418728

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：提示する指先力の等方性を考慮したハプティックインターフェイスの設計方法、提示力10N以上のハプティックインターフェイスの試作と特性評価、伝達効率を考慮した制御系の提案、マスター・スレーブシステムによる力提示を確認した。これを評価するための手法として、認知過程の客観的・主観的記録を収集できるような実験デザインの構築とアンケート設計を行った。収集したデータを元に、客観・主観的データを関連づけて解釈する方法や補足すべき計測データをさらに検討する必要があるなど、質的研究の精度を高めるための課題を抽出することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の指先力が提示可能なハプティックインターフェイスと比較すると、本研究では2倍以上の指作力の提示を確認できた。また、客観的・主観的記録による操作者のフィードバックに対する印象及び評価手法により、力覚提示の度合いと操作者の感性評価の関連性を検討できるようになった。このような成果は、力覚提示を伴うVR関係の研究分野だけでなく、様々な分野での応用が期待される。例えば、特殊環境や生産現場での遠隔操作において、作業者の感じ方を考慮した提示力を提案できるようになり、作業者はより精密かつ強力な操作を行うことが可能になる。多くの産業やサービス分野において大きな革新をもたらす可能性を有する。

研究成果の概要（英文）：We confirmed a method for designing a haptic interface that takes into account the isotropic nature of the presented fingertip force, a prototype haptic interface with a presentation force of 10 N or more and its characteristics evaluation, a proposed control system that takes into account transmission efficiency, and force presentation by a master-slave system. As a method for evaluating this, we developed an experimental design and designed a questionnaire to collect objective and subjective records of the cognitive process. Based on the collected data, we were able to extract issues to improve the accuracy of qualitative research, such as the need to further examine the method of interpreting objective and subjective data in relation to each other and the measurement data that should be supplemented.

研究分野：ロボット

キーワード：ハプティクス ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

従来のハプティックインターフェイスの出力は、人の指先力と比較すると小さく、十分な力提示ができていないとは言えない。現状はコンピュータ内部に構築された VR 環境ではハプティックインターフェイスの提示力の上限を設定したり、実物体の位置や力をスケールダウンしたりすることで操作者へ擬似的な力提示している。このため、提示したい実物体とは異なる物質に触れたかの錯覚を引き起こす。また、人の指先力の弁別域や分解能があり、力をスケールダウンしてハプティックインターフェイスを用いて操作者へ力提示を行うと認識できない硬さが存在する。このため、現状より力強い人の指先力と同程度のハプティックインターフェイスは、仮想空間での物体形状や硬さの再現性を高くするだけでなく、同時に人の指や感覚が有する特性を計る上でも非常に有用なデバイスになる。

## 2. 研究の目的

本研究では、人の手指と同等な運動性と力提示可能なハプティックインターフェイスを研究開発し、より自然な形で仮想物体やロボットハンドを遠隔操作して物体を掴むための力提示することを目的とする。また、VR 環境において操作者が自然な形で物体の把持・操作をするため、認知過程に着目した認知科学的分析手法や心理指標を用いて視覚と力覚の差異を明確にし、シンクロさせるための評価方法も確立する。

## 3. 研究の方法

### ①高出力ハプティックインターフェイス

人の指先位置・姿勢と指先力の関係を調査して 10N 以上の力提示可能な 1 自由度ハプティックインターフェイス (屈曲・伸展) を試作する。機構的特性を評価して、1 自由度 HI①を 3 自由度 (内転・外転×1 関節、屈曲・伸展×2 関節) の単指ハプティックインターフェイスユニットへ拡張して拇指および示指の 2 ユニットで力提示する。さらに、2 指ハプティックインターフェイスと仮想環境での VR ハンド、2 指ハプティックインターフェイスとロボットハンドの 2 種類の遠隔操作システムを構築する。これらのシステムでは仮想物体と実物体を示指および拇指で精密把持し、触れたときの知覚の差異が生じるかを主観的および定量的に評価する。

### ②人の視覚・力覚の同期

人の VR 環境における力覚の認知過程を調べるため、線形バネにより受動的に力提示可能な 1 自由度ハプティックインターフェイスを試作した。視覚情報のバイアスを避けるため、コンピュータ上に提示された文字情報に応じた仮想物体を 1 自由度 HI 用いて操作する実験から実施した。異なるバネを用意して、仮想物体の挙動 (視覚) と指先力 (力覚) との組み合わせによるシンクロ感に普遍性があるかどうかを調べる実験手法を提案した。

### ③没入感と人の意思決定

人の意思決定への影響を測るためハプティックインターフェイス①だけでは臨場感に乏しいので、没入型 VR シミュレーションシステムを構築して、臨場感の異なるディスプレイとハプティックインターフェイスを比較して、人の意思決定とそれを感じる感性評価、そして力覚との相互関係を検討できるようにした。現段階では VR 内で楽器演奏のような他者や道具とのインタラクション可能な実験シミュレータを用いた事前調査が完了しており、②の実験手法を同時に行う本調査を進めていく。

### ④操作者の認知過程に着目した評価実験

ハプティックインターフェイスとしての評価項目と操作者の認知過程に着目して視覚と力覚の同一性を近づけるための評価方法を②および③の試作を通じて構築する。評価方法では、心理的指標を用いたアンケートの他に、動画データから操作前の予測、意思決定、操作実行、操作後の評価をユーザがどのように解釈しているかを解析する行動や発話のプロセス分析などの認知過程の追跡ができる手法とする。

## 4. 研究成果

### ①高出力ハプティックインターフェイス

ハプティックインターフェイスの設計において、指先力の等方性を考慮した新たな設計指標を提案した。この設計指標に基づき、ボールネジ機構を利用したハプティックインターフェイスを試作した (図 1 参照)。このハプティックインターフェイスは、1 指あたり 3 関節 3 自由度を持つ構造にな

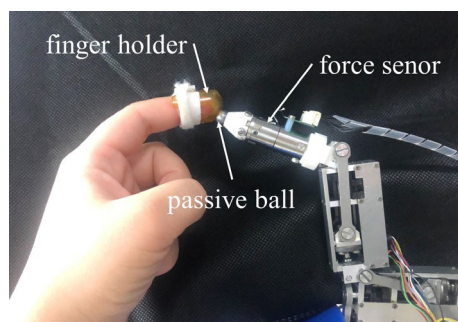
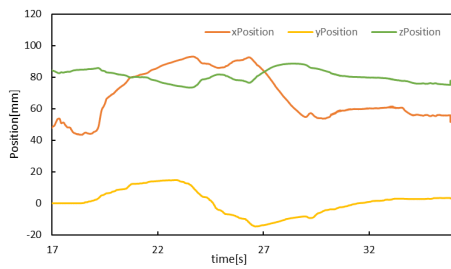
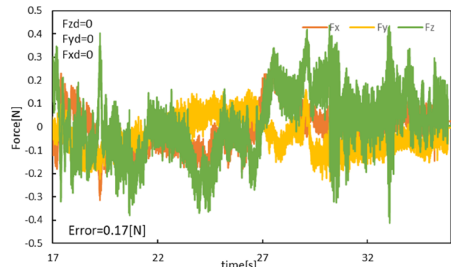


Fig.1 Haptic finger

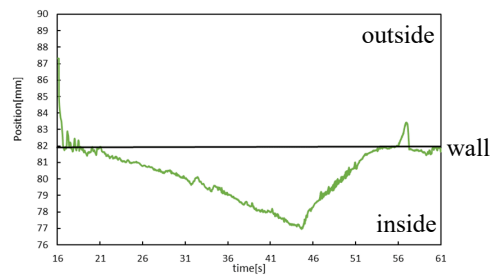


(a) Position

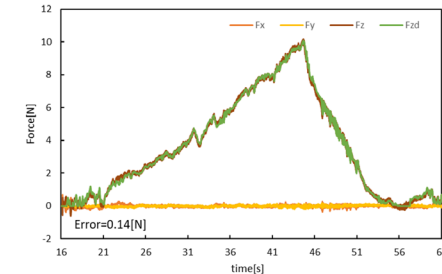


(b) Force

Fig.2 Free space



(a) Position



(b) Force

Fig.3 Constraints space

っており、先端リンクには6軸力覚センサを装着している。この力覚センサにより、ハプティックインターフェイスの先端における力覚の計測および制御を可能にした。操作者の指先には指フォルダを装着し、受動球を介してハプティックインターフェイスと対向して接続される。この設計により、指先の動きを自然に反映させることができ、操作性を向上させることができる。

試作したハプティックインターフェイスの特性評価を行うために、2つの異なる環境で実験を行った。まず、自由空間における実験では、操作者の指先にハプティックインターフェイスがどの程度追従するかを確認した(図2参照)。この実験の結果、操作者の指先に対して平均0.17[N]の誤差で追従することが確認された。次に、拘束空間における実験では、操作者の指先に力覚提示を行う際の性能を評価した(図3参照)。この環境では、操作者の指先に押し込み量に応じた反力を提示し、最大10[N]の指先力提示を実現した。この10[N]という値は、従来の装置に比べて2倍以上の性能向上を示している。

これらの実験結果から、試作したハプティックインターフェイスは、操作者の指先への高精度な追従性と大きな指先力提示の両方を実現することができるとわかった。これにより、ハプティックインターフェイスの操作性が大幅に向上し、実用化に向けた重要な一歩を踏み出すことができた。今後は、さらなる改良を進めて応用範囲の拡大を図る予定である。

#### ②人の視覚・力覚の同期・④操作者の認知過程に着目した評価実験

硬さは、身体の動きで得られる自己受容感覚と外部からの刺激で得られる皮膚感覚によって統合的に知覚される[1]。これまでロボット工学や感性工学分野では、対象物に指で触れ皮膚と対象物の変形に基づいて硬軟を判断する知覚プロセスについてセンサなどを用いた定量的な測定が行われてきた。

一方、行動経済学や実験心理学では、どのように行動が変化するか等の客観指標やアンケートによる主観的データを元に、硬さの感じ方やその影響を検討してきた。特にマーケティング分野では、商品の触り心地と購買意欲との関連性を捉えようと試みる実験が進められ、その結果、硬さは知覚価値に影響を与える要素であることが明らかになってきている[2]。

このように硬さに関する研究は、定量的な測定方法や主観データで検討する心理実験が行われているが、両者を同時に収集し検討する研究はまだ少ない。そこで本研究では、定量的に指先に提示される剛性を測定しながら、対象物に対する主観的な印象評価を同時に収集し、両者に関連性や傾向が現れるかを調査することを目的とした。これまでに、測定方法及び印象評価を含む



Fig. 4 Experiment image

実験デザインと実施状況を報告した (図 4)。今後はこの提案手法を用いて、操作の種類による状況ごとのデータ収集を行い、共通要因もしくは特化要因について検討していく。

### ③没入感と人の意思決定・④操作者の認知過程に着目した評価実験

硬さは人間の感情や印象に影響を与え、意思決定や態度を変えることがある。知覚を測定する定量的な方法や、心理的影響を評価する実験は、多くの研究で開発されてきた。しかし、その両方を収集し検証した研究は少ない。本研究の目的は、剛性の定量的測定と主観的印象との関係や傾向を調べるための測定方法と印象評価を含む実験デザインと実施方法を報告している。硬さが人の意思決定にどのような影響を与えるのかが分かれば、コントローラーやレバーの最適な硬さの具体的な提案やガイドラインの確立が可能になると考えられる。

事前調査では、指先に硬さを提示しながら押し込み力を測定し、同時に被験者にアンケートに答えてもらう実験方法を提案した。硬さの異なる円柱状の物体を作成し、圧力センサを用いて押し込み力を計測することで、実験の状況に応じた硬さを指先に提示できた。被験者には、片方の手で硬さを感じながら、もう片方の手でアンケートに答えるよう指示した。事前実験で測定されたデータからも、被験者が実験のタスクを遅延や困難なく実行できることを確認した (図 5、6)。

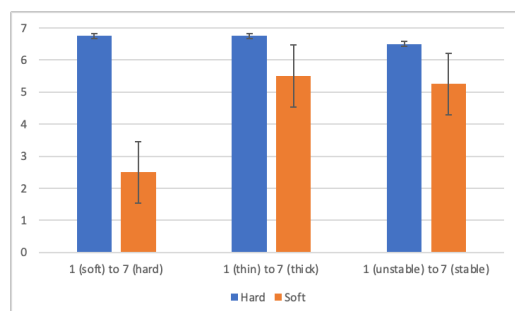


Fig.5 Averages of the stiffness evaluation.

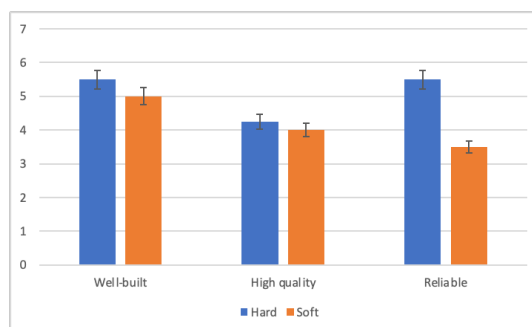


Fig.6 Averages of the perceived value evaluation

### 参考文献

- [1] 岡本正吾. 触力覚による柔らかさ・硬さ知覚. システム/制御/情報, 64. 4: pp121-125, 2020.
- [2] 外川拓; 石井裕明; 朴宰佑. 「硬さ」「重さ」の感覚と消費者の意思決定— 身体化認知理論に基づく考察—. マーケティングジャーナル, 35. 4: pp72-89, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 毛利哲也, 天藤翔保, 尾関 智恵
2. 発表標題 重量物の把持操作のためのハプティックインターフェイス
3. 学会等名 第24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 2023年

1. 発表者名 尾関智恵, 毛利哲也
2. 発表標題 指先に提示される剛性の違いが知覚価値へ与える影響
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 毛利哲也, 尾関智恵
2. 発表標題 ボールネジ機構を考慮したロボット指の制御
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoe Ozeki, Tetsuya Mouri
2. 発表標題 Explore the relationship between the measurement of stiffness presented at the fingertips and the evaluation of perceived value
3. 学会等名 The Twenty-Eighth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2023 (AROB 28th 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 毛利哲也, 尾関智恵, 杉村駿太
2. 発表標題 操作者の指先位置に基づく物体把持のハンドロボットの遠隔操作
3. 学会等名 計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020)
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	尾関 智恵  (Ozeki Tomoe)  (60590312)	愛知工科大学・工学部・教授    (33934)	

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