

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12185

研究課題名(和文) 操縦速度を考慮した筋感覚メカニズムの解明と拡張現実空間における反力提示技術の開発

研究課題名(英文) Study on muscle kinesthetic sense mechanism in fast hand motion and force feedback technique for augmented reality

研究代表者

田中 良幸 (TANAKA, YOSHIYUKI)

長崎大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40336920

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)：本研究課題では、素早いボール・ヒッティングなどの高速動作を想定して、手先速度を高めた操縦動作に対応できるパッシブ型の操縦デバイスをメカトロニクスと仮想現実感技術を組合わせて開発した。次に、仮想現実空間と連動して動作するインパクト感提示システムを構築し、ボール・ヒッティング作業における反力負荷パターンに対するインパクト感を測定評価した。そして、速度を高めた操縦動作によるボール・インパクト感の知覚作業では、反力負荷を与えるタイミングが特に重要であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

速度を高めた操縦動作によるボール・インパクト感の知覚作業では、反力負荷の継続時間の変化よりもタイミングの変化に対して、敏感に反応することを明らかにすることができた。このことを踏まえて、反力負荷に対する知覚能力の測定・検査や、VRを活用した上肢運動リハビリテーションにおける反力負荷のアレンジに役立つと考える。そしてまた、自動車ステアリングによる運転ドライバー支援システムの設計・評価にも展開できるものとする。

研究成果の概要(英文)：A passive-type control device is developed using Mechatronic technology with a VR system to investigate muscle kinesthetic sense properties in manual operations by fast hand motion, such as a virtual hitting-ball task. A human operator wears a VR-HMD and maneuvers the shifting lever of the passive-type control device, so that he can hit a ball with the racket in the VR space. He/she receives an impact force at the time of ball-hitting. Operational experiments were then carried out to investigate the relationship between the reaction force patterns designed for ball-impact and the subjective evaluations according to the ball-impact forces. A set of experimental results demonstrated that the onset time of reaction force is more important for providing a natural ball-impact force in the hitting-ball task by fast hand motion.

研究分野：ロボティクス, 生体工学

キーワード：筋運動感覚 仮想現実空間 反力負荷パターン インパクト感

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ロボット技術の発展に伴い、アクチュエータとセンサを活用した運動訓練支援装置や次世代自動車ステアリングなど、知的操縦デバイスの研究開発が活発にされている。それらのハードウェア的な完成度は高い域にあるが、安心感（操作感）や安全性に大きな影響を与える操縦インタフェースの機械的な操作特性と制御系に関しては十分とは言えない。真に人間と一体となって可動する操縦デバイスを実現するには、巧みなヒトの動作を実現する運動制御メカニズムに加えて感覚心理までを考慮する必要がある。

一方で、これまでに報告されている感覚心理に関する研究では、姿勢維持時（静止時）もしくは、比較的ゆっくりとした速度による操縦動作を対象としている。これは、実験装置の仕様もさることながら、再現性の高い筋感覚（抵抗覚と位置覚）の測定・解析を重視したことによる。そのため、ステアリングの緊急回避動作など、速度を高めたダイナミックな操縦動作における筋感覚については明らかではない。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、これまで研究代表者が行ってきた姿勢維持時および低速動作時に得られた筋感覚特性に関する研究成果を踏まえて、素早い自動車シフト操作やボール・ヒッティングなどの高速動作を想定して、操縦速度を考慮した筋感覚特性の解明を大きな目的とする。上肢運動リハビリテーションへの展開も考慮して、手先速度を高めた操縦動作に対応できる操縦デバイスを開発し、仮想現実空間と連動して動作するインパクト感提示装置を開発する。そして、反力負荷パターンに対するインパクト感を筋感覚として測定評価する。

### 3. 研究の方法

高速による操縦動作でも反力負荷の提示精度と再現性を保つことが可能な、パッシブ型の操縦デバイスを新たに開発する。次に、仮想現実感技術と組み合わせ、違和感のない物理的インタラクションを表現できるサイバー・フィジカル空間を構築する。そして、インパクト感を表現するための反力負荷パターンを変化させ、筋感覚特性の解析評価を行う。

### 4. 研究成果

電動モータを活用した一般的なアクティブ型反力提示デバイスでは、操縦速度が高まると反力負荷の提示精度が低下してしまう。そしてさらに、操縦者が発揮する推力に比例して握力が大きくなるとともに変動周波数が高まるため、操縦部が発振して安全性が損なわれてしまう。そこで本研究課題では、高速による操縦動作においても反力負荷の提示精度と再現性を十分に保つことを可能とするため、図1に示す電磁ブレーキ機構を備えたパッシブ型反力提示デバイスを新たに開発した。軽量化した操縦部にはリニアエンコーダ・ヘッドと6軸力覚センサを取り付け、操縦時の手先位置と手先力を高サンプリングで計測・記録することができる。

上肢運動タスクの一例として、反力提示デバイスの操作部位置と仮想現実空間内のラケットを連動させ、自由落下するボールを打ち返すという、ボール・ヒッティングを選定した。仮想現実空間のシーンは、操作者が装着したVRヘッドマウント・ディスプレイを介して提示できるようにした。そして、手先速度が最大となるボール・ヒッティング時にブレーキ機構のON-OFFを自動制御するシステムを開発し、ボールのインパクト感を提示する機能を実装した。

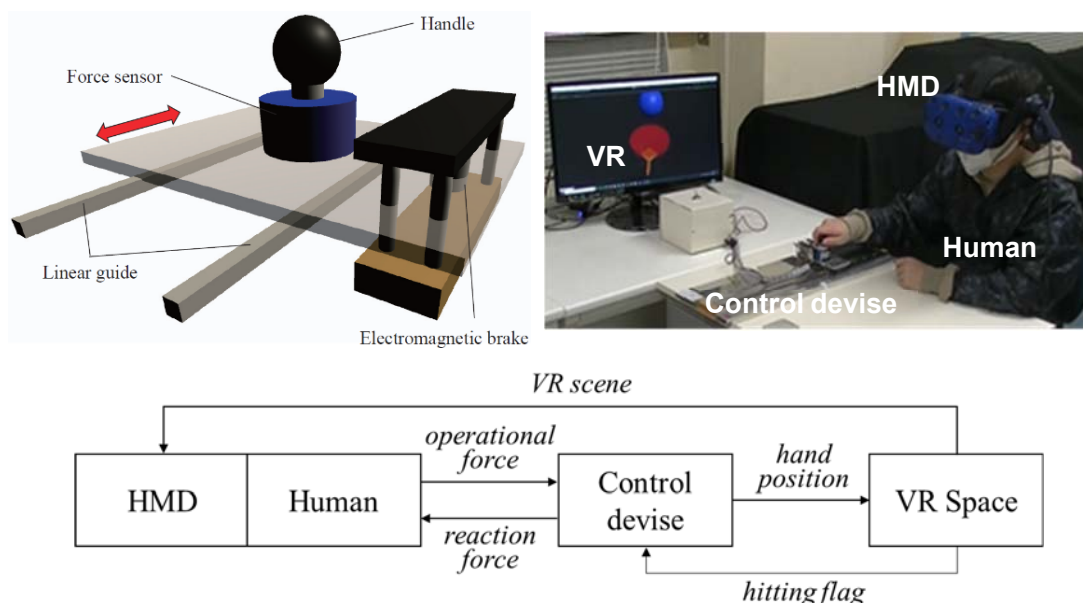


図1 パッシブ型反力提示デバイスの概説図

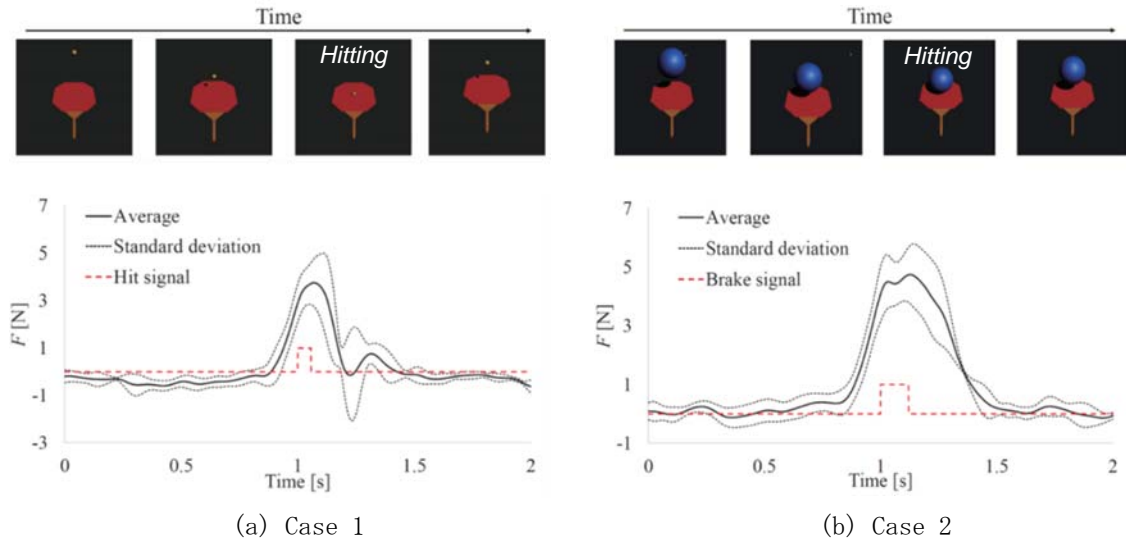


図2 ボール・ヒッティング時の手先力波形

表1 反力負荷パターンのパラメータ設定

	Duration[s]	Delay[s]
Case 1	0.015, <b>0.02</b> , 0.025	0, 0.1, <b>0.3</b>
Case 2	0.1, 0.2, 0.3	0, 0.2, <b>0.3</b>

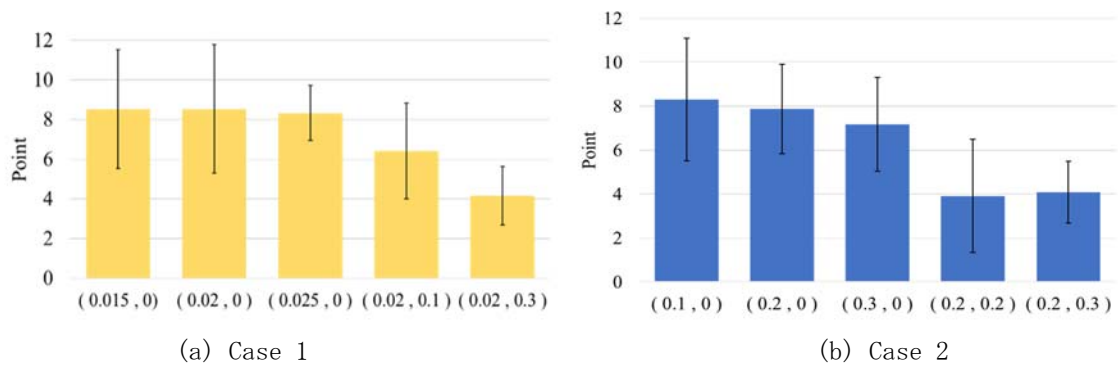


図3 インパクト感の測定評価

図2は、ボールのサイズと硬さを変えて行った際の計測結果であり、ブレーキが作動した前後1秒間の手先力波形の一例である。ここで、図中の赤色の破線はブレーキ信号、実線は手先力波形の平均、点線は標準偏差である。ブレーキの作動区間の周辺では手先力が増大し、それ以外の区間では手先力の大きさと標準偏差が小さくなった。これらのことから、開発した操縦デバイスが提示できる反力負荷パターンは、ブレーキの作動時間が0.01秒程度までは再現性が高いことを確認した。

次に、仮想現実空間内でボールとラケットが接触してブレーキが作動する継続時間 (Duration) と、ブレーキが作動するまでの遅れ時間 (Delay) を、ボールのサイズと硬さを考慮して表1のように設定してインパクト感の測定評価を行った。表中の太文字は、事前実験で定めた基準値であり、Duration はボールとラケットの接触時間の平均値、Delay はインパクト感に違和感を明確に与える遅れ時間とした。本実験では、各 Duration に対して Delay をランダムに変更して実施した。各設定での試行回数は3回とし、各試行後には「ブレーキの強さ」、「ブレーキのタイミング」、「インパクト感の違和感」について5段階評価を口頭で回答させて得点化した。そして、各シーンの終了後に評価結果を集計し、評価の高い3条件をランダムに3回ずつ提示する追加実験を実施し、改めて5段階評価をさせた。

図3は、被験者4名による評価結果である。個人差は観られたが、各シーンにおける全体の傾向としては、ブレーキの継続時間よりも、ブレーキの遅れ時間が小さいほどインパクト感の評価が高くなることを確認した。したがって、速度を高めた操縦動作によるボール・インパクト感の知覚作業では、反力負荷を与えるタイミングの方が感度は高くなり、自然な反力負荷をフィードバックする上で重要であることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 山本 健登, 田中 良幸
2. 発表標題 仮想空間におけるボール・ヒッティング時のインパクト感提示システム
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 成清 舜也, 田中 良幸, 青山 忠義, 塩川 満久
2. 発表標題 拡張現実感を組み込んだ身体可操作生スコープ
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 時見 一声, 田中 良幸
2. 発表標題 車両間通信によるリアルタイム道路情報モニターを用いた運転支援システム
3. 学会等名 第22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 2021年

1. 発表者名 沈 明秀, 成清 舜也, 田中 良幸, 青山 忠義, 塩川 満久
2. 発表標題 IMU 式Mocap デバイスを用いた身体可操作性スコープの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Narukiyo, Y. Tanaka, T. Aoyama, and M. Shiokawa
2. 発表標題 Scope of Human Manipulability Sharing with VR Device and EMG Sensor for Online Motion Analysis
3. 学会等名 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Tanaka, and H. Shimoyama
2. 発表標題 Analysis and Modeling of Human Force Perception Properties during the Operation of a Driving Interface System Using Limbs
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 成清 舜也, 前田 真太郎, 田中 良幸, 青山 忠義, 塩川 満久
2. 発表標題 VR システムを用いた身体可操作性スコープによる動作解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiyuki Tanaka, Shota Wada
2. 発表標題 Analysis of Cooperative Motions in a Ball-Manipulation Task toward Robot-Aided Rehabilitation for the Upper Extremity
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 良幸, 青山 忠義, 塩川 満久
2. 発表標題 VRシステムを用いた身体可操作性スコープの開発
3. 学会等名 日本機械学会・ロボメカ部門学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 良幸, 下山英晃
2. 発表標題 自動車運転における手足の反力知覚特性の測定解析と数理モデル化
3. 学会等名 計測自動制御学会・システム情報部門学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 良幸, 成清 舜也, 前田 真太郎, 青山 忠義, 塩川 満久
2. 発表標題 身体可操作性スコープの開発と応用
3. 学会等名 計測自動制御学会・システム情報部門学術講演会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>長崎大学大学院工学研究科 田中研究室  <a href="http://hms.mech.nagasaki-u.ac.jp">http://hms.mech.nagasaki-u.ac.jp</a></p>
--

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