

令和元年6月18日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00374

研究課題名(和文)筋感覚シナジーのメカニズム解明と随意運動アシスト制御技術への応用

研究課題名(英文) Study on synergy of muscle kinesthetic sense with applications to assistive control technology for voluntary motor training

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、手先で操作するハンドルの操縦負荷を自在に設定できる運動解析装置(以下、マニピュランダム)を用いて、課題タスクの遂行における筋感覚特性の測定時に上肢姿勢と筋活動を同時計測するためのシステムを構築した。まず、二つの操縦ハンドルを持つマニピュランダムを、一人が両腕で操縦する拘束円運動タスクを実施した。そして、拘束力の有無による筋感覚特性への影響について明らかにした。次に、二人が片腕で行う協働作業としてバランス・シーソータスクを実施し、作業時における協働戦略を解析評価して明らかにした。そして、その結果を踏まえて、タイミングを考慮したアシスト制御法を考案し、その有用性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

まず、ヒトがロボット装置を手動操縦する際の負担感と運動量を同時測定し、その関係を解析評価して明らかにした。得られた結果は、より安全なロボット操縦制御系の設計に寄与するものである。また、二人で協働して運動訓練を行うことを想定したロボット機器の開発を想定して、バランス・シーソー作業における協働戦略を明らかにして、タイミング合わせを考慮したアシスト制御手法を考案した。得られた結果は、現時点では実現されていないロボット機器を用いた複数人による運動訓練を実現するために寄与するものである。

研究成果の概要(英文)：Human force perception properties was analyzed during a target motor task in considerations with arm movement properties, such as arm posture and muscle activity. A measurement system for analyzing the arm movement properties was constructed using an optical motion capture system and an EMG measurement instrument. A set of operation experiments for a circular motion by both arms was carried out using the manipulandum, and demonstrated that human force perception properties was influenced by the constrained force when the virtual circular orbit was set in the handles' motion. Furthermore, a cooperative motor training for a pair of trainees was proposed toward the application into motor learning/rehabilitation. A set of preliminary tests in the balance seesaw task was conducted, and an assistive methodology for the cooperative motion was developed in considerations with movement timing and operational feeling.

研究分野：ロボティクス, 生体工学

キーワード：筋感覚 生体運動制御メカニズム 人間機械系

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 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アシスト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操作特性ならびに制御系の設計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、人間の身体機構に加えて、巧みな動作を実現する運動制御メカニズムと感覚心理までを考慮した、新しい技術を研究開発する必要がある。

(2) 筋感覚には抵抗覚に加えて、手足位置や関節角度（姿勢）を知覚する位置覚（姿勢覚）も含まれる。この位置覚の精度は、手足の位置と方向に応じて変化し、空間的歪が存在することが知られている。一方で、これまでに実施した抵抗覚の精度測定に関する結果から、抵抗覚には位置覚と類似した空間的歪が存在することを報告してきた。そこで、操縦インタフェースの安心感と安全性を向上するため、それらを考慮した新しい制御手法も必要となる。

2. 研究の目的

(1) 随意的に姿勢変化を伴う動的な操縦タスクにおいて、筋感覚特性を時々刻々と変化する筋群の運動情報と合わせて測定・計測し、それらの結果を多角的に解析評価する。

(2) 筋感覚特性を考慮して、より高い安心感を提供する操縦デバイスを実現するための運動アシスト制御技術の開発を行い、運動訓練支援システムへの展開を目指す。

3. 研究の方法

(1) 手先で操作するハンドルの操縦負荷を自在に設定できる運動解析装置（以下、マニピュランダム）を用いて、課題タスクの遂行における筋感覚特性の測定時に上肢姿勢と筋活動を同時計測するためのシステムを開発する。

(2) マニピュランダムで実施する課題タスクとして、単独で行う双腕による拘束運動と、二人が片腕で行う協働作業を設定する。そして、健常な被験者による操縦実験を行い、筋感覚特性の測定評価と運動戦略を分析する。それらの結果を考慮して、運動訓練支援システムを想定したアシスト制御手法を考案する。

4. 研究成果

(1) 随意的な動作を伴う操縦タスクにおいて、筋感覚特性を測定するとともに、運動中に姿勢と筋活動レベルの生体運動情報の同時計測を可能とする計測・解析システムを構築した。システムは、3台のカメラから成る光学式モーションキャプチャ装置と、筋電位計、筋電位信号を高サンプリングで記録するデータロガーで構成した。そしてまた、得られた計測データに対する筋群の筋長と筋張力を、筋骨格系モデルから推定する手段を確立した（図1参照）。

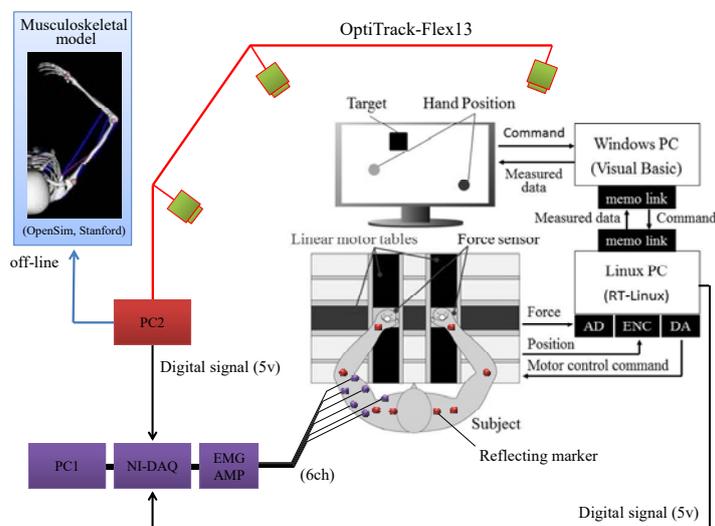


図1

(2) 両腕で操縦するマニピュランダムに仮想的な拘束円軌道を配置し、被験者6名で測定実

験を実施した。操縦者に一定速度で左右のハンドルを操作させて、ランダムに設定した粘性値に対応する反力負荷の差異を知覚させるタスクを課した (図 2 (a))。同時に、操縦中の手先力データとモーションキャプチャ・システムで計測した上肢姿勢データを用いて、筋骨格筋モデルによる力学的解析を実施した。まず、拘束円軌道を設置した方が、知覚精度が高いことを確認した (図 2 (b))。そして、拘束条件に起因する手先力の増分に対応して、上肢筋群 (特に肩関節運動に寄与する筋群) の筋活動レベルが大きくなることで、反力負荷に対する知覚精度が向上することがわかった (図 2 (c))。

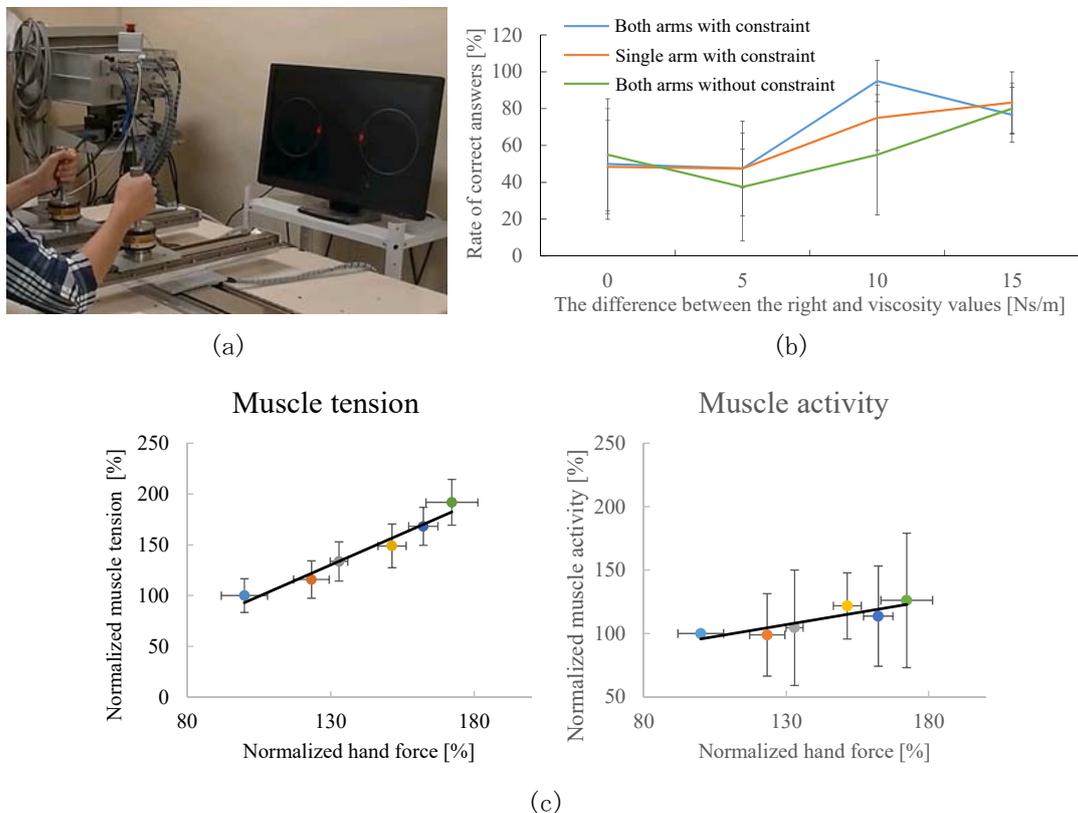


図 2

(3) 複数人で一つのタスクを実施する協働型運動支援システムへの展開を行った。二人でディスプレイ中のバーを操作して、左右に往復するボールをボックスに入れるという、バランス・シーツを、協働型タスクとして設計した (図 3 (a))。次に、バーの回転軸周りの減衰比等の違いによる操作性を比較し、協働戦略の解析を行った。その結果、成功率は BOX の動きに左右されていることがわかり、BOX 位置を予測してタイミングを合わせてバーを操作していることがわかった (図 3 (b))。そして、そのタイミングを考慮した視覚的アシスト (VA) と動作アシスト (MA) の二通りのアシスト制御手法を考案した。視覚的アシストは、バーの回転運動に寄与する剛性のみを変化させる手法、動作アシストはモータ推力を加える手法とした。被験者 8 名による操縦実験を操作感評価と合わせて実施したところ、視覚的アシストだけでも成功率は向上できたが、動作アシストと組み合わせることで運動訓練により効果的であることを確認した (図 3 (c))。

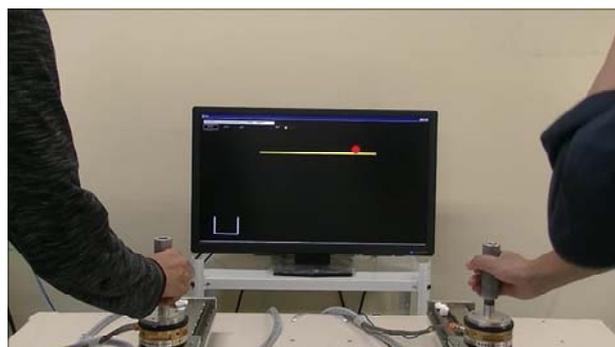


図 3 (a)

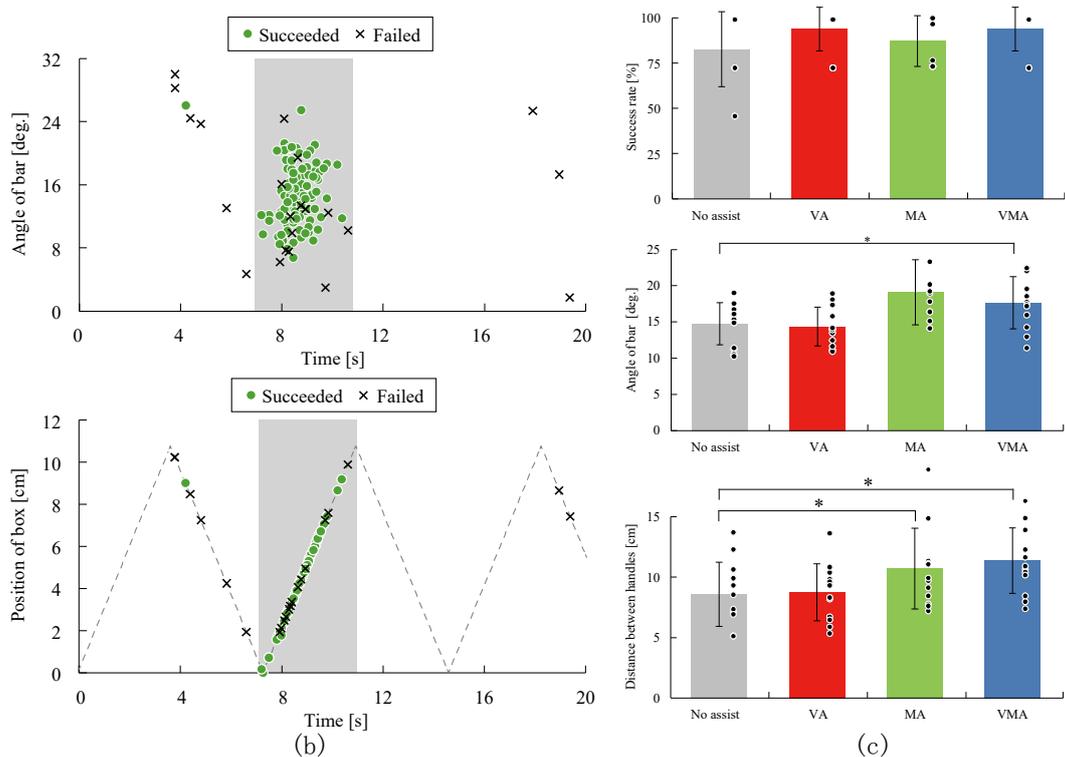


図 3

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Yoshiyuki TANAKA, Velocity-based robotic assistance for refining motor skill training in a complex target-hitting task using a bio-mimetic trajectory generation model: A pilot study, *Robotics and Autonomous Systems*, 査読有, Vol. 92, pp. 152-161, 2017. 6.
DOI:10.1016/j.robot.2017.03.010

[学会発表] (計 20 件)

- ① 和田 将太, 田中 良幸, ボール転がしタスクによる協働型上肢運動訓練支援システムの開発, 日本機械学会九州支部第 50 回学生員卒業研究発表講演会, 2019.
- ② Yoshiyuki TANAKA, Ryuma GOTO, A Robotic Rehabilitation System for Cooperative Motor Training: A Preliminary Study in a Balance Seesaw Task, *Proc. of the 2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems*, 2018.
- ③ Yoshiyuki TANAKA, Tadayoshi AOYAMA and Mitsuhsisa SHIOKAWA, Scope of Manipulability Sharing: A Case Study for Sports Training, *Proc. of the 2018 IEEE International Conference on Virtual Reality*, 2018.
- ④ 秀島 悠記, 田中 良幸, 双腕による回転運動における反力知覚特性の力学的解析, 第 27 回 MAGDA コンファレンス, 2018.
- ⑤ 田中 良幸, 上田 康博, 下山 英晃, 自動車運転における手足の運動特性と知覚特性の簡易解析評価システム, *JSME ロボメカ部門 Robomech2018*, 2018.
- ⑥ 下山 英晃, 上田 康博, 田中 良幸, 自動車操縦反力に対する上下肢の反力知覚特性の解析評価, *JSME 九州支部第 71 回総会・講演会*, 2018.
- ⑦ Yoshiyuki TANAKA, Hideki OKANO and Shunei TANABE, Analysis of Haptic Interaction between Limbs in Operations of Vehicular Driving Interfaces, *Proc. of the 2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 2017.
- ⑧ 岡山 航, 下山 英晃, 上田 康博, 田中 良幸, ヒトのステアリング操舵における機械インピーダンス特性の簡易評価システムの開発, 第 36 回 SICE 九州支部学術講演会, 2017.
- ⑨ 上田 康博, 下山 英晃, ステアリング操舵における人間特性の簡易推定システムの開発, 第 36 回 SICE 九州支部学術講演会・学生交流発表会, 2017.
- ⑩ 明石 浩輝, ウェアラブル可操作性スコープの開発, 第 36 回 SICE 九州支部学術講演会・学生交流発表会, 2017.

- ⑪ 田中 良幸, 青山 忠義, 塩川 満久, “スポーツ動作時の身体可変構造を考慮した可操作性スコープ”, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会, 2017.
- ⑫ Yoshiyuki TANAKA, Shuhei TANABE, A Multiple-Input Single-Output Model for Human Force Perception in Pedaling, Proc. of the 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2016.
- ⑬ 岡山 航, 山本 将悟, 生体運動制御モデルを用いた自動車操縦インタフェースに関する研究, 第 35 回 SICE 九州支部学術講演会・学生交流発表会, 2016.
- ⑭ 秀島 悠記, 藤田 漱一郎, 上肢運動制御メカニズムに関する基礎研究と応用, 第 35 回 SICE 九州支部学術講演会・学生交流発表会, 2016.
- ⑮ 相川 雄希, 濱畑 聡, 可操作性楕円体を活用した共有型スポーツ動作解析支援システム, 第 35 回 SICE 九州支部学術講演会・学生交流発表会, 2016.
- ⑯ 田中 良幸, 田邊 周平, 筋感覚特性を考慮したペダル制御系の操作性評価, 自動車技術会 2016 年秋季大会, 2016.
- ⑰ 古賀 勇雅, 岡野 任記, 田邊 周平, 田中 良幸, ステアリング操舵における反力知覚特性と左右手先力の解析評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2016.
- ⑱ 稲尾 祐紀, 野田 啓太, 田中 良幸, ZMP 理論に基づくハンドフリー・ステッキのプロトタイプ開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2016.
- ⑲ 後藤 隆磨, 川口 智大, 田中 良幸, 協働型タスクによる上肢運動訓練支援システムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2016.
- ⑳ 佐藤 彰剛, 川口 智大, 田中 良幸, 操縦姿勢による筋感覚特性の定量化と力学的解析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 2016.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

長崎大学大学院工学研究科 田中良幸研究室 HP

<http://hms.mech.eng.nagasaki-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 : SANGUINETI, Vittorio

※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。