

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 21 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12086

研究課題名(和文) ロボットを手先・指先のように操る～多感覚錯覚現象のロボットシステムへの新展開

研究課題名(英文) Manipulating the robot as though it became a part of body -a new aspect in the robotic system involving multi-sensory illusion-

研究代表者

荒田 純平 (Arata, Jumpei)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40377586

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、新たなロボットシステムとして、双腕からなる合計14自由度を有する顕微鏡下で用いるマイクロサージェリーロボットと、動作角度を光学式エンコーダからリアルタイムに取得可能なマスタデバイスを開発した。これらの手術ロボットと操作インターフェイスを統合し、双方で14自由度、合計28自由度を有するマスタ・スレーブシステムとして構築した。

評価実験の結果、(1)開発したシステムにおいて身体イメージに関する多感覚錯覚が有意に生じ、(2)多自由度である方がより錯覚強度が増すことが明らかになった。これらの結果により、暗示的に行われてきた多自由度ロボット設計において、有益な指標をもたらすことが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a master slave system that consists of 28 DOF in total, including a microsurgical robotic system and a user interface.

The experimental results revealed (1) The developed system significantly elicited the multi-sensory illusion, and (2) Multi-DOF movement significantly increased the magnitude of the illusion.

These findings are expected to improve the multi-DOF robotic design involving master-slave system, that have been implicitly concerned in past.

研究分野：ヒューマンインターフェース

キーワード：ヒューマンインターフェース インタラクション マスタ・スレーブシステム 手術ロボット 多感覚錯覚

1. 研究開始当初の背景

現在、マスタ・スレーブ技術に代表される遠隔操作ロボット技術は実用化されるに至り、様々な分野での応用がなされている。このようなシステムでは、操作者はマスタと呼ばれる操作器を操り、スレーブと呼ばれるロボットを動作させる。遠隔操作ロボットの代表的な利点は、遠隔で作業を行うことができる、従来では困難な巧緻な作業を行うことができる、など人間の能力を拡張する点にある。具体的には、手術ロボットとして遠隔操作ロボットは実用化されており、我が国でも保険適用されるなど、広く波及している。これらのシステムでは、直感的にシステム操作を可能とすることで、より巧緻な作業が可能となり、システムの効果を向上することができると考えられる。操作性向上に関する研究開発は古くからなされているものの、実システムの自由度、応答時間、タスク遂行時間等の機械的アプローチに限定されており、ヒトの認知に基づく体系的な理解と、それによる操作性向上に関する試みは十分にされていない。一方で、脳科学、認知科学の分野では、最近になり先駆的な研究がなされている。Irikiらは、サルが道具を用いて遠くの餌を引き寄せる際に、手の周囲に限局していた視覚受容野が道具に沿って延長することを、体性感覚受容野と視覚受容野におけるニューロン活動の観察により明らかにした (Iriki 1996)。Sengulらは、ヒトにおいても身体近傍空間 (Peripersonal space) が仮想現実空間へ拡張しうることを明らかにする (Sengul 2014) など、先進的な試みがなされている。

2. 研究の目的

本課題では、このような身体イメージの拡張を、遠隔操作ロボット・システムにおける操作者の身体と、ロボットの間で生起することができれば、ロボットをあたかも自身の手指のように操ることができる、という仮説の証明に挑む。この過程を通じ、①遠隔操作ロボットに関する、ヒトの認知に基づく体系的な理解と、②それによる操作性向上に関する新たな知見を得ること、またそれによる③従来にない高い操作性を有するロボット・システム構築への方法論を提供することが本課題の目的である。

3. 研究の方法

本課題では、具体的な方法として、ロボットの開発とその評価、の2つの手法によって研究開発を進展した。

まず、ロボットの開発としては開発者らの過去の基礎的研究 (Arata 2014, Trans. On Haptics) から得られた指標に基づく多自由度ロボットシステムを開発した。次に構築したロボットにおいて評価実験を行い、構築したシステムにおいて錯覚が生起しているかどうか、またその条件について検証した。詳細を次節に述べる。

4. 研究成果

7 DOF X 2 Microsurgical robot

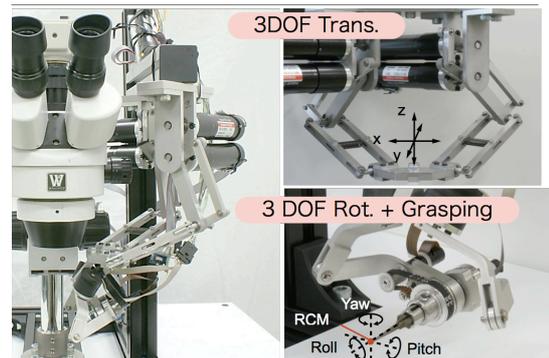


図1 手術ロボット

7 DOF Master

- ✓ 1 DOF grasping
- ✓ 2 DOF wrist joint rotation
- ✓ 3 DOF elbow joint rotation
- ✓ 1 DOF elbow slider
- ✓ 129.3 g in weight and 0.0225 deg in accuracy

*Only encoders are implemented



図2 マスタデバイス

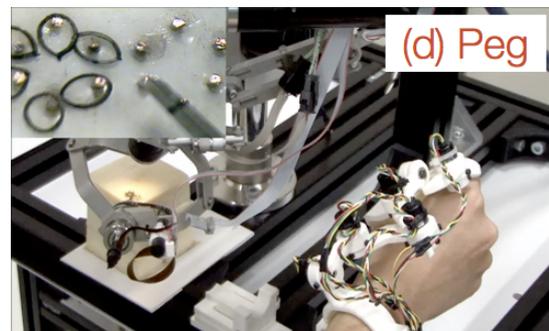


図3 構築したシステム

ロボットの開発として、双腕からなるそれぞれ7自由度、合計14自由度を有する顕微鏡下で用いるマイクロサージェリーロボットを開発した (図1)。本システムは、時間遅れ、ハンドアイコーディネーションなどの点に技術的工夫があり、過去に当該課題に関する研究者らがラバーハンドイリュージョン (RHI) へロボット技術により能動的な動作を導入した、錯覚生起における実験で得られた実験値などを参照して設計が行われていた。

開発したロボットは、実体顕微鏡近傍に設置可能であり、光学的に画像を提示するため、画像処理などによる時間遅れが生じない。また、高出力のモータを動力源とすることで、マスタ・スレーブ制御によって、リアルタイムに更新される目標位置への追従速度を減少させた。その結果として、マスタ・スレー

ブ間での位置追従に関する時間遅れは並進機構で 17ms、回転機構で 18ms であった。よって、過去の実験で明らかになっている錯覚を有効に生起するために必要な 50ms 未満を満たす結果を得た。

また、操作インターフェイスとして、操作者の肘より遠位の手首、手指の一部に取り付け可能であり、各関節の動作角度を光学式エンコーダからリアルタイムに取得可能なマスタデバイスを開発した。本マスタデバイスは片腕で 7DOF の動作角度を取得可能であり、片腕 129.3g と非常に軽量である (図 2)。さらに、操作者の動作を阻害せず、自在に動作入力を行わせるため、特に手首部分に冗長の光学式エンコーダを設定することによって、人体の回転中心の動揺が起こった場合でも、機械的な拘束を与えることなく、かつ正確に動作入力を検知する仕組みとした。

これらの手術ロボットと操作インターフェイスを統合し、双方で 14 自由度、合計 28 自由度を有するマスタ・スレーブシステムとして構築した (図 3)。制御系の構築にあたっては、MATLAB によってリアルタイム制御環境のもと動作を行い、制御周期は 1kHz とした。

システム評価のための心理物理学実験を実施した。評価方法として、過去の RHI に関して Botvinick らが用いた手法に倣い、アンケート評価を導入した。

実験 1 として、異なるタスク (a) 操作対象を見るのみ、(b) 把持動作、(c) 多自由度動作、(d) 実際のタスク動作、の 4 つの異なるタスクを 1 分間被験者へランダムに与えた。各試行後、合計で 7 問からなる錯覚生起、操作性に関するアンケートについて被験者に 1 ~ 5 の点数で答えるよう指示した。7 問のうち 3 問は、Control Statement として、当該実験との関連性の無い質問を含み、これらの回答を基準として錯覚生起、操作性評価の基準とした。実験結果として、(c) と (d) の多自由度動作を行った場合につき最も錯覚が生起されることがわかった (図 4)。

さらに実験 2 としては、人工的な時間遅れを制御器上で生成した場合の操作に現れる影響について調査した。上記の実験 1 におけるタスク (c) について、時間遅れを 0, 50, 100, 150, 300ms とそれぞれランダムに与えた。本実験結果として、操作系に時間遅れが挿入された場合、50ms の微小な時間遅れでも有意に錯覚強度が減少することが確認された (図 5)。

Experiment 1 : Task based experiment

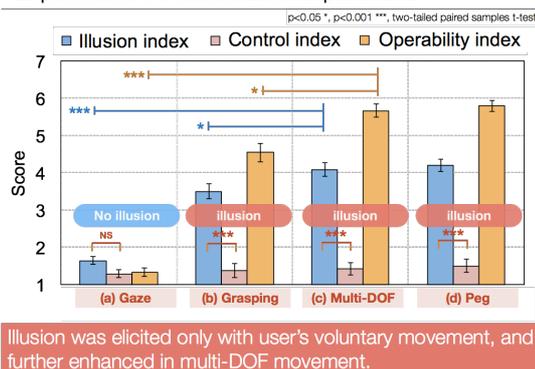


図 4 タスクの違いに関する錯覚評価

Experiment 2: Time-delay

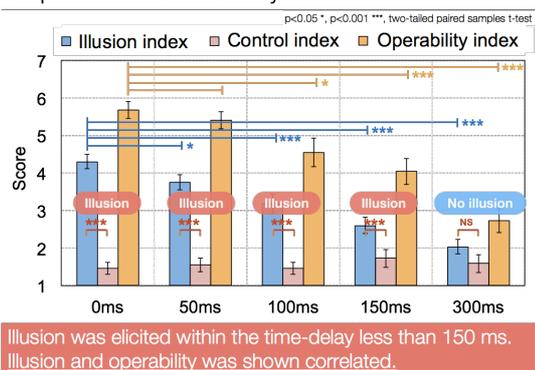


図 5 時間遅れに関する評価

【総括】

ロボット動作によって、身体イメージの転移現象を生起し、かつ増強する当該研究者らの過去実験の知見をもとに、多自由度に動作するロボット・システムを開発した。さらに、心理物理学的な基礎実験によってその効果を検証した。

その結果として、(1) 開発したシステムにおいて身体イメージに関する多感覚錯覚が有意に生じ、(2) 多自由度である方がより錯覚強度が増すことが明らかになった。さらには、操作系の時間遅れ評価では、従来で議論されてきた 200~300ms の比較的大きな時間遅れよりも小さな時間遅れで錯覚は劣化することが確認された。

本課題によって得られた結果はこれまで暗示的に行われてきた操作型多自由度ロボット設計およびその評価において、有益な指標をもたらすと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Jumpei Arata、Masashi Hattori、Masamichi Sakaguchi、Ryu Nakadate、Susumu Oguri、Kazuo Kiguchi Makoto Hashizume、Mechanism study for Microsurgical Robotic System that can induce Multisensory Illusion、Int J Humanoid Robotics、Vol.13(4)、1650018、2016.

[学会発表] (計2件)

- ① Jumpei Arata、Masashi Hattori、Masamichi Sakaguchi、Ryu Nakadate、Susumu Oguri、Kazuo Kiguchi、Makoto Hashizume、`Operability Study on the Multisensory Illusion Inducible in Microsurgical Robotic Systems、` Proc. of Int. Conference on Intelligent Robots And Systems (IROS)、pp. 579-584、Hamburg、Germany、Sept. 2015.
- ② 荒田純平、服部将士、坂口正道、中楯龍、小栗晋、木口量夫、橋爪誠、Multi-sensory Illusion 導入による微細手術用マスタ・スレーブシステムの開発および操作性評価に関する報告、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集、2A1-C01、2015.

[図書] (計1件)

- ① Jumpei Arata、"Human Inspired Dexterity in Robotic Manipulation" (One chapter、9 pages)、Springer、2017.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

[その他]

ホームページにて成果を紹介

<http://system.mech.kyushu-u.ac.jp/member-arata.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒田純平 (ARATA、Jumpei)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40377586

(2) 研究分担者

木口量夫 (KIGUCHI、Kazuo)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：90269548