

令和 3 年 4 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18405

研究課題名（和文）脳活動のバラツキを考慮した手術支援ロボットの信頼性設計

研究課題名（英文）Reliability design of surgical robot considering variation in brain activity

研究代表者

三浦 智（MIURA, SATOSHI）

東京工業大学・工学院・講師

研究者番号：70724566

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）：手術支援ロボットを操作している人の脳活動を解析することで、直感的な操作性を客観的・定量的に評価する手法を申請者は構築してきたが、試行毎・人毎に応じて脳活動にバラツキが生じるため、ロボットの設計案（最適解）が合理的に定まりにくいという問題がある。本研究では、仮想環境下でロボット手術を行う人の脳活動を近赤外光で計測し、信頼性設計理論を用いて、操作者の脳活動が確率的に最も活性化しやすいロボットの構造を導出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のロボット設計では、人毎・試行毎のバラツキに必ずしも対応できていない。また、従来の信頼性設計は構造物の耐久設計などに用いられることが多い。本研究の創造性は、操作者の脳活動に信頼性設計理論を用いることで、確率的に最も直感的に操作しやすいロボットの設計手法を構築する点にある。本研究の適用範囲は筋活動や視線、モーションなど、バラツキの生じる生体情報を用いたロボット設計に活用可能である。

研究成果の概要（英文）：We analyzed the brain activity of surgeon manipulating surgical robot to evaluate the intuitive operability. However, the variation in brain activity generates in trial and individual difference. Thus, it is difficult to decide the one solution reasonably. In this study, we measured the brain activity using functional near-infrared spectroscopy and clarified the structure of the surgical robot which surgeons manipulated intuitively using the probability of brain activity.

研究分野：医用システム

キーワード：手術支援ロボット 医療ロボティクス 医用システム

## 1. 研究開始当初の背景

マスタ・スレーブ型手術支援ロボットは、低侵襲性に優れ患者の早期回復が可能であるため、国内外で 300 万件以上の症例に用いられている。ロボット手術は、患者体内に挿入したロボット(スレーブ)を医師が内視鏡の映像を見ながら手元のコントローラ(マスタ)で操作して手術するマスタ・スレーブ方式で主に行われる。医師は手の体性感覚によるマスタの動きと視覚で確認したスレーブの動きを整合させて直感的に操作する必要がある。この視覚と体性感覚の整合性は hand-eye coordination と呼ばれ、眼と手の代わりである内視鏡と鉗子の位置決定や構造設計などに重要視される。狭小な術空間で人間の身体とは異なる構造のロボットを直感的に操作するには、医師の知覚する hand-eye coordination を客観的・定量的に評価した設計手法が必要である。

これまで申請者は、手術支援ロボット操作者の脳活動を計測し、医師の知覚する hand-eye coordination を評価してきた(研究活動スタート支援, 2016-2017)(特別研究員奨励費, 2014-2015)。これまでの研究成果から、ロボットが直感的に操作可能であるほど特定の脳活動が強く活性化することがわかった。よって、脳活動が最も活性化するロボットの構造の導出が望ましいが、脳活動に限らず、人間の生体情報には試行毎・人毎に応じてバラツキが生じるため、ロボットの設計案(最適解)が定まりにくい。従来研究でも医師のモーションや視線などを計測しモデル化されているが(Guang-Zhong Yang, 2012)、人間のバラツキに対応した実用的なロボットを必ずしも開発できていない。人間の生体情報における試行毎・人毎のバラツキに応じた設計手法が必要であるという核心的な問題がある。

## 2. 研究の目的

バラツキに対応する設計手法として、信頼性設計がある。信頼性設計とは構造物設計などによく用いられ、例えば耐久年数などのバラツキに対し、確率的に最も故障しにくい最適解を導出する手法である。本研究の目的は、信頼性設計理論を用いて、操作者の脳活動が確率的に最も活性化しやすいロボットの構造の導出である。最適化する因子(設計変数)はマニピュレータの長さや各関節の剛性・減衰である。

## 3. 研究の方法

(A) 脳活動の確率分布モデルの取得、で因子毎のバラツキをモデル化し、(B) 脳活動とロボットの構造の相関・応答曲面構築、で各因子の確率分布モデルを統合することで、(C) 脳活動によるロボットの構造の多目的最適化、を実施した。

## 4. 研究成果

手術支援ロボットを操作している人の脳活動を解析することで、直感的な操作性を客観的・定量的に評価する手法を申請者は構築できた。試行毎・人毎に応じて脳活動にバラツキが生じるため、ロボットの設計案(最適解)が合理的に定まりにくいという問題に対して、仮想環境下でロボット手術を行う人の脳活動を近赤外光で計測し、信頼性設計理論を用いて、操作者の脳活動が確率的に最も活性化しやすいロボットの構造を導出した。本研究は(A)脳活動の確率分布モデルの取得、(B)脳活動とロボットの構造の相関・応答曲面構築、(C)脳活動によるロボットの構造の多目的最適化、の3つを実施した。本研究のオリジナ

リティは、人間の身体とロボットの構造上の違い(身体性の違い)に関して脳内の認知機能 (hand-eye coordination) に着目し、脳活動に信頼性設計理論を用いることで、確率的に最も直感的に操作しやすいロボットの設計手法を構築した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miura Satoshi, Yokoo Yuki, Nakashima Yasutaka, Ogaya Yoshikazu, Nihei Misato, Ando Takeshi, Kobayashi Yo, Fujie Masakatsu G.	4. 巻 50
2. 論文標題 Determination of the Gain for a Walking Speed Amplifying Belt Using Brain Activity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Human-Machine Systems	6. 最初と最後の頁 154 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THMS.2019.2961974	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Miura Satoshi, Saito Rikako, Parque Victor, Miyashita Tomoyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Design factors for determining the radula shape of Euhadra Peliomphala	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-36397-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Miura Satoshi, Ishiuchi Hidekazu, Shintaku Yuta, Parque Victor, Torisaka Ayako, Miyashita Tomoyuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Enhanced frequency analysis on a vibrated tumor with a compression cylinder	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-019-0138-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 MIURA Satoshi, FUKUMOTO Ryota, KOBAYASHI Yo, FUJIE Masakatsu	4. 巻 14
2. 論文標題 Modeling optimizes the effect of the vertical stripe illusion for foot clearance on upstairs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jbse.18-00216	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakano Sojuro, Miura Satoshi, Victor Parque, Torisaka Ayako, Miyashita Tomoyuki	4. 巻 2019
2. 論文標題 Data assimilation using particle filter for real-time identification of organ properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Engineering	6. 最初と最後の頁 517 ~ 521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/joe.2018.9410	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Satoshi, Kawamura Kazuya, Kobayashi Yo, Fujie Masakatsu G.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Using Brain Activation to Evaluate Arrangements Aiding Hand-Eye Coordination in Surgical Robot Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TBME.2018.2889316	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Ayako Torisaka, Yuta Shintaku, Satoshi Miura, Victor Parque, Tomoyuki Miyashita,
2. 発表標題 Study on detection of material difference deeply buried in a soft tissue using impact oscillation under forced displacement
3. 学会等名 International Conference on Mechanics of Biomaterials and Tissues (ICMOBT) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayako Torisaka, Kohei Eguchi, Satoshi Miura, Victor Parque, Tomoyuki Miyashita
2. 発表標題 Runnability Improvement of the moon rover with leg-circle transformable wheel
3. 学会等名 International Conference on Adaptive Structures and Technologies (ICAST) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Satoshi Miura, Kazuya Kawamura, Masakatsu Fujie, Shigeki Sugano, Tomoyuki Miyashita
2 . 発表標題 Development of Virtual Pipe Simulation System for Inspection Robot Design
3 . 学会等名 International Conference on Engineering Design (ICED) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Victor Parque, Kazuhiro Honobe, Satoshi Miura, Tomoyuki Miyashita
2 . 発表標題 On Vehicle Evaluation and Design using Data Envelopment Analysis with Hierarchical Concepts
3 . 学会等名 International Conference on Engineering Design (ICED) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kazuki Saito, Ayako Torisaka, Victor Parque, Satoshi Miura, Tomoyuki Miyashita
2 . 発表標題 A Study of Angular Momentum Unloading Strategy of Reaction Wheel by Solar Radiation Pressure Using Membrane Structure
3 . 学会等名 International Symposium on Solar Sailing, Aachen (ISSS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tsuyoshi Sakuma, Satoshi Miura, Tomoyuki Miyashita, Masakatsu G. Fujie, Shigeki Sugano,
2 . 発表標題 Development of Human-Like Driving Decision Making Model based on Human Brain Mechanism
3 . 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名	Ayako Torisaka, Kohei Ogawa, Satoshi Miura, Victor Parque, Tomoyuki Miyashita, Hiroshi Yamakawa
2. 発表標題	Study on in-plane and out-of-plane deformation considering elastic plasticity of membrane
3. 学会等名	The American Institute of Aeronautics and Astronautics Science and Technology Forum and Exposition (AIAA SciTech Forum) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Parque Victor, Kumai Masato, Miura Satoshi, Miyashita Tomoyuki
2. 発表標題	On Parametric Excitation for Exploration of Lava Tubes and Caves
3. 学会等名	Proceedings of International Conference Computational Science (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Miura Satoshi, Tsuda Naoya, Parque Victor, Miyashita Tomoyuki
2. 発表標題	Spiral Folded Adhesive Plaster Optimization for Laparoscopic Surgery
3. 学会等名	Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Miura Satoshi, Shintaku Yuta, Ishiuchi Hidekazu, Parque Victor, Miyashita Tomoyuki
2. 発表標題	Enhanced Frequency Difference of Tumor inside Vibrated Tissue by a Compression Cylinder
3. 学会等名	Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 Sakuma Tsuyoshi、Miura Satoshi、Miyashita Tomoyuki、Fujie Masakatsu G.、Sugano Shigeki
2. 発表標題 Development of Driving Intention Prediction System Based on Human Cognitive Mechanism
3. 学会等名 Proceedings of IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Parque Victor、Ogawa Kohei、Miura Satoshi、Miyashita Tomoyuki
2. 発表標題 Spiral Folding of Thin Films with Curved Surface
3. 学会等名 Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京工業大学三浦研究室ホームページ  <a href="https://sites.google.com/view/satoshi-miura">https://sites.google.com/view/satoshi-miura</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
---------	---------