

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高いユーザビリティと携帯性を実現するロボット遠隔操縦桿の研究
Title(English)	Study of the robot remote controller with high usability and portability
著者(和文)	石田悠朗
Author(English)	Hiroaki Ishida
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10142号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:遠藤 玄,鈴森 康一,小田 光茂,葭田 貴子,菅原 雄介,福島 E 文彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10142号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：機械宇宙システム 専攻
Department of
学生氏名：石田 悠朗
Student's Name

申請学位 (専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)：遠藤玄
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)：福島 E. 文彦
Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)
Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「高いユーザビリティと携帯性を実現するロボット遠隔操縦桿の研究」と題し、以下の 5 章よりなる。

第 1 章「緒論」では、近年開発されている災害対策用ロボットの制御技術を取り巻く課題と、それらの課題を解決するための遠隔制御技術に関する従来の研究開発について概観し、次世代の災害対策用ロボット遠隔操縦桿に要求される技術課題と本論文の目的を明らかにしている。すなわち、多種多様な災害現場環境でタスクを遂行するためには完全自律型制御よりも、人による遠隔操作を基本とし、その操作の一部を自動化することが有望であるが、そのためには高いユーザビリティと現場で迅速に展開可能な携帯性を有する遠隔操縦桿が必要であり、これらを実現する新たなバイラテラル制御マスタ・スレーブ遠隔操縦桿の機構・制御系を提案し、試作機を開発して、実験によりその有効性を示すことが本論文の目的であると述べている。

第 2 章「ロボット遠隔操縦桿 Armrest Joystick の提案」では、折り畳み携帯椅子に装着し、ロボットの位置と姿勢ならびにグリップ開閉の 7 自由度を操作可能な肘掛け付きバイラテラル制御マスタ・スレーブ遠隔操縦桿 Armrest Joystick を提案している。すなわち、下腕部を支える肘掛を有し、手首位置を入力とする 3 自由度位置操作部、手首周りの回転角度を入力とする 3 自由度姿勢操作部、人差し指-親指間の把持間隔を入力とする 1 自由度グリップ開閉操作部の 3 部で構成され、7 自由度すべてでフォース・フィードバックが可能で、可搬性に優れる折り畳み携帯椅子に装着可能な操縦桿を提案している。本操縦桿は操縦者の疲労低減、広範な可動範囲と小さな操作力による高いユーザビリティ、軽量化による高い携帯性が特長であると述べている。

第 3 章「Armrest Joystick の詳細設計と開発」では、提案する Armrest Joystick の設計開発について詳述している。3 自由度位置操作部は鉛直軸周りに回転可能な 4 節平行リンク機構で構成され、操作力を低減するために非円形プーリーバネ系による自重補償機構を導入している。3 自由度姿勢操作部は 4 節球面パラレルリンク機構ならびにこれに保持される回転軸により構成され、シリアルリンク系との比較、特異点解析により採用した機構の優位性を明らかにしている。1 自由度グリップ開閉操作部は、人のピンチング動作の画像解析に基づき指先に滑りを生じない外骨格型 5 節リンク機構を新たに提案し、指の角度に関わらず指先目標力を力提示可能なようにリンク長を最適化している。

第 4 章「性能検証実験」では、開発した Armrest Joystick の性能を検証するため各機能の単体評価実験および遠隔操作ロボットを用いて総合的なユーザビリティ評価実験を行い、

提案する操縦桿の有効性を明らかにしている．まず，Armrest Joystick の携帯性能を検証するため，操縦桿の質量，持ち運び，組立にかかる時間を計測して，操縦桿は操縦者が軽快に扱える質量 9.1kg，設置に要する時間は 30 秒程度であり，高い携帯性を有することを明らかにしている．次にバイラテラル制御による位置提示精度を検証するため，力対称型制御を実装し，位置・姿勢の指令値への追従精度の計測結果から，操縦桿が十分な位置提示精度を有することを明らかにしている．3 自由度位置操作部に導入した自重補償機構について，可動範囲内で手先位置を静止させる際に要するアクチュエータ電流から手先の操作力を算出した結果，全操縦桿重量の約 95% が補償されていることを明らかにしている．また，操縦者の筋負担が軽減することを評価するため，腕の筋電位を計測した結果，自重補償機構により腕橈骨筋と上腕二頭筋の筋電位が優位に低下することを明らかにしている．次にバイラテラル制御による力提示精度を検証するため，力逆送型制御を実装し，力・トルクの指令値への追従精度の計測結果から，操縦者が接触を判別するために十分な力提示精度を有することを明らかにしている．さらにロボット操作の総合的なユーザビリティ評価を行うため，災害対策用ロボット Helios IX を用いて遠隔操縦による物体の置き換え作業実験を行い，作業時間とロボットハンド把持力の計測結果から，既存のゲームコントローラに比して高いユーザビリティを有し，バイラテラル制御の導入が有効であることを明らかにしている．さらにレスキューロボット Helios X を用いてロボットアームの手先位置を制御し，指示された場所をマーキングする作業実験を行い，作業時間・マーキング誤差・操作者の筋電位を計測し，自重補償機構の導入が有効であることを明らかにしている．

第 5 章「結論と今後の課題」では，本研究で得られた結果を統括し，今後の課題について述べている．

以上を要するに，本論文は高いユーザビリティと携帯性を有するバイラテラル制御マスター・スレーブ遠隔操縦桿の機構・制御系を提案し，試作機を開発して，実験によりその有効性を明らかにしたものである．

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 機械宇宙システム 専攻
Department of
学生氏名： 石田 悠朗
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 遠藤玄
Academic Advisor(main)
指導教員(副)： 福島 E. 文彦
Academic Advisor(sub)

要旨(英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

Remotely controlled robots are demanded in many disaster fields, such as nuclear accidents, terrorist attacks, earthquake and tsunami, and even in minefields, to assure safety for the human workers. It is important for the operators to introduce a controller: (i) which the operators can bring easily and set up in a short time, in other words portability; (ii) which the operators can use easily for the robot operation and perform many unknown tasks certainly, quickly and comfortably, in other words usability. In this research, I propose a new bilateral robot remote Master-Slave controller called “Armrest Joystick” which has both usability and portability. It has the Master-Slave function controller on a foldable portable chair, for the 3DOF positions, 3DOF postures and 1DOF gripper, and also presents high usability characteristics by having wide work range, support for the operator’s body, small operating force and bilateral control. It consists of: (i) a 3DOF position arm controller which is attached to the foldable portable chair, the foremost link has an armrest function with a weight compensation mechanism to support the operator’s arm; (ii) a 3DOF wrist posture controller whose rotation centers and rotation axes were carefully designed to match the human hand and the wrist movement; (iii) a 1DOF gripper controller which has good follow-up performance for the pinching movement. Furthermore, all 7 electrical motors at joints implement the force feedback. I report the basic concept and the mechanism design of the Armrest Joystick, and then show the experiments to check basic performance for portability, the force feedback, the armrest with the weight compensation mechanism, and usability for which we operate an actual rescue robot as “slave”. The results verify the validity of the mechanical design, and show that the Armrest Joystick has good portability and usability.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).