

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	スーパーマイクロサージャリ用ロボットシステムの開発
Title(English)	Development of a Robot System for Supermicrosurgery
著者(和文)	鄭ソルモン
Author(English)	Solmon Jeong
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11818号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:只野 耕太郎,小俣 透,初澤 毅,八木 透,吉村 奈津江
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11818号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	鄭 ソルモン	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	只野 耕太郎	准教授	吉村 奈津江	准教授
	審査員	小俣 透	教授		
		初澤 毅	教授		
		八木 透	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Development of a Robot System for Supermicrosurgery」と題し、英文全 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、顕微鏡下において直径 0.3~0.8 mm の血管やリンパ管などを吻合するスーパーマイクロサージャリーが組織再建やリンパ浮腫治療に有効である一方、本手技においては人間の手の能力を超える 30 μm の位置精度が必要とされ、一般の外科医には手技の完遂が困難である問題について述べている。これまで、術者が操作入力するリーダーロボットとその動きに従って患者側で処置を行うフォロワロボットから構成される様々な手術支援ロボットシステムが開発されているものの、スーパーマイクロサージャリーに必要とされる精度を達成しているものではなく、解決には至っていないことを指摘している。したがって、本研究では、スーパーマイクロサージャリーに適用可能な動作精度と微細な操作入力を可能とするリーダーフォロワ型の手術支援ロボットシステムを実現することを目的とすると述べている。

第 2 章「Combined Grip Scheme for Leader Manipulator」では、術者の操作入力となるリーダーマニピュレータにおいて、親指と人差し指でつまむピンチグリップ方式と、掌全体で握るパワーグリップ方式を組み合わせたコンバインドグリップと呼ぶ新たな把持方式を提案している。本方式によって、それぞれの利点である精密な操作入力と疲労しにくい安定な把持の両立が可能であるとしている。攝子を用いた結紮動作において有用となる指の動きを実験的に調査し、その結果を基に、パワーグリップ部をピンチグリップ部に対して角度と距離を可動に接続したコンバインドグリップ機構を設計、製作している。操作性の評価実験において、コンバインドグリップを使用した条件では、従来の把持方式より少ない失敗回数および短い動作軌跡と時間で、タスクを行えることを確認している。

第 3 章「Leader Robot System with Hand Rest Function」では、広い可動域を保ちながら安定で精密な操作入力を実現するために、第 2 章で提案したコンバインドグリップと、手の重量を支えるハンドレスト機能を統合したリーダーロボットを提案している。並進部、姿勢部、把持部から構成される計 10 自由度のリーダーロボットを設計、製作しており、全自由度を可動とした状態では手全体での大きな動作を可能とする一方で、並進部を固定することでハンドレスト機能として手の重量が支持され、掌下部をピボットとした指先の精密な動作を入力できる構成としている。位置決めタスクによる評価実験において、本機能の有効性を示すとともに、重力が作用しない水平方向においては高い粘性による運動拘束とすることで、より良い成績が得られることを示している。また、接触を伴うタスクにおいては、本ハンドレスト機能によって接触対象への荷重をより小さく抑えられることを確認している。

第 4 章「Follower Robot System for Supermicrosurgery」では、フォロワ側のロボットについて、スーパーマイクロサージャリーに求められる動作精度と可動域等の要件を同時に満足させるための検討を行っている。はじめに、並進 3 自由度、姿勢 3 自由度を運動学的に分離独立させた機構構成は、それぞれの誤差が互いに干渉せず精密な動作に有利である一方で、十分な可動域を同時に確保することが困難であることを指摘している。そこで、セミデカップルド機構と呼ぶ自由度配置を提案しており、姿勢変位による先端並進量変化を許容することにより広い姿勢可動域を確保しながらも、姿勢を固定した状態における並進動作を 3 軸のみに依存させることで高い精度を実現できるとしている。本機構構成によるフォロワロボットを、スーパーマイクロサージャリーに求められる仕様を基に試作し、姿勢固定時の並進の位置決め動作において、5 μm の分解能、25 μm の繰り返し精度を達成している。

第 5 章「Evaluation of the Robot System for Supermicrosurgery」では、第 3 章および第 4 章でそれぞれ開発したリーダーおよびフォロワロボットを用いてリーダーフォロワシステムを構築し、実際のスーパーマイクロサージャリーで想定されるタスクにおいて有効性の評価を行っている。直径 0.2 mm の模擬血管に 12-0 の縫合針を通す実験において、熟練した外科医だけでなく一般の実験参加者全員

が血管を破損せずタスクを完遂できたことを示している。また、模擬血管移動実験では、力覚フィードバック機能によって、血管に与える負荷をさらに低減できたことを確認している。以上より、開発したロボットシステムは、術者の技能に依存しないスーパーマイクロサージャリーの実現に貢献できるとしている。

第6章「Conclusion」では、本論文により得られた結果および知見を総括するとともに、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、スーパーマイクロサージャリーに求められる精密な手技を可能とするリーダーフォロシステムを、リーダー、フォロ双方における新たな提案により実現し、実験によりその有効性を示したものであり、工学ならびに医療の発展へ貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分に価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。