

京都大学	博士（工学）	氏名	Sajid Nisar
論文題目	Toward Novel Remote-Center-of-Motion Manipulators and Wearable Hand-Grounded Kinesthetic Haptics for Robot-Assisted Surgery		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>外科手術ロボットは、実用化されたダビンチを始め、世界各国で精力的に研究開発がなされている。開腹手術を回避するために RCM (Remote-Center-of-Motion)機構が提案され、手術後の早期回復に大きく貢献している。しかし、機構の最適性に関しての議論はほとんどなされていない。また、外科手術ロボットを操作するためには多くのトレーニングを実施する必要がある、操作インタフェースを改善し、訓練時間の短縮や操作性の向上を実現することが必要である。本論文は、低侵襲外科手術ロボットマニピュレータの新たな RCM 機構とユーザの手に装着できるハプティクス装置を提案し、製作したプロトタイプを用いた実験を通して、その有効性を検討した結果をまとめたものであって、8章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、開腹手術と比較して低侵襲外科手術の優れている点を説明するとともに解決すべき課題を挙げ、それらの課題を解決するために、外科手術ロボットの新しい機構とハプティクスの重要性を指摘している。そして、本論文の構成を述べている。</p> <p>第2章では、低侵襲外科手術を実現するために重要な RCM 機構と外科手術において必要とされるツールの作業空間について説明している。また、外科手術ロボットによく用いられている一般的な機構である2重平行リンク機構について説明している。</p> <p>第3章では、外科手術用ツール駆動機構として従来の2重平行リンク機構を汎用のロボットアームの先端に搭載した場合に、ツール機構が患者の身体と干渉してしまい、ツールを必要とされる位置・姿勢に移動させることが困難となることを指摘している。その問題を解決するために、新たな外科手術用ツール駆動機構を提案し、そのプロトタイプを製作している。開発した外科手術用ツール駆動機構を用いて、外科手術における基本的な動作について被験者による評価実験を実施し、提案機構の有効性を検証している。</p> <p>第4章では、前章で提案した外科手術用ツール機構をロボットの先端に配置することによりロボット全体のサイズが大きくなる問題点および安全性を考慮してバックドライバビリティを確保することの重要性を指摘し、その課題を解決するためにロボット全体の設計を見直し、新たな多自由度 RCM 機構を提案している。必要とされるツールの作業空間を確保しつつ、ツールの可操作性を最大化する最適設計問題を定式化し、理論的解析を行うとともに計算機による最適化計算を実施して、最適な機構設計を行った。</p> <p>第5章では、前章で提案した外科手術ロボットマニピュレータの安全性と省スペースを確保するために、患者の身体とロボットベースとの距離を保ちつつロボットの全体のサイズを小さくするロボットの設計問題を考えている。前章と同様に、ツールの可動範囲および可操作性を最大化する最適設計問題を定式化し、数値的に最適な機構パラメータを導出した。</p> <p>第6章では、外科手術ロボットマニピュレータの遠隔操作におけるハプティクス・フィードバックの重要性を指摘し、操作者の手に搭載可能なハプティクス装置を開発し、被験者による評価実験を行っている。まず、環境に固定されたハプティクス装置は操作者の運動に空間的制約を課すことになり望ましくなく、操作者の身につけるウェアラブルなハプティクス装置は操作者の自由な運動を実現するために有用であると述べている。そのコンセプトの基に、操作者の手に装着するウェアラブルなハプティクス装置を開発し、操作者の人差し指の先端に力を提示するシステムを実現している。ハプティクス装置を固定する位置によって操作性が異なることを被験者実験により示し、操作者の使い易</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	Sajid Nisar
<p>さの観点で最適な固定位置に関する知見を得た.</p> <p>第7章では, 第3章から第5章において考察した多自由 RCM 機構を搭載した外科手術ロボットマニピュレータと第6章で提案したウェアラブルなハプティクス装置を統合化し, 遠隔操作を実現することを想定したシステム設計について論じている. 外科手術ロボットマニピュレータのマスター・スレーブシステムの制御系とハプティクス・フィードバック系を分離することで, システムを簡素化し安全性を向上させることが可能であることを述べている.</p> <p>第8章は結論であり, 本論文で得られた成果をまとめるとともに今後の課題と展望を述べている.</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、低侵襲外科手術ロボットマニピュレータの新しい RCM 機構とユーザの手に装着できるハプティクス装置を提案し、製作したプロトタイプを用いた実験を通して、その有効性を検討した結果をまとめたものであり、主な成果は以下のとおりである。

1. 安全性を考慮してバックドライバビリティを確保し、外科手術に必要なツールの可動範囲を達成するとともに可操作性を最大化する RCM 機構の最適設計問題を定式化している。また、最適化アルゴリズムを提案し、数値計算により最適設計問題を解くことにより、新しい機構を提案した。
2. 患者の身体とロボットとの干渉を回避するために十分な距離を保ちつつ小型化を実現するための外科手術用ツール駆動機構を提案し、そのプロトタイプを製作した。開発した機構を搭載したロボットを用いて、外科手術における基本的な動作について被験者による評価実験を実施し、提案機構の有効性を検証した。
3. 縫合のような複雑な動作を想定し、ユーザの人差し指において、指に沿った方向と屈曲伸展方向に力を提示する装着型のハプティクス装置を提案・製作した。
4. 提案する装着型ハプティクス装置の手への固定位置と力提示に関して、ユーザの使い易さの評価を被験者実験により実施し、最適な装置の固定位置に関する知見を得た。
5. 提案した外科手術ロボットマニピュレータと提案した装着型ハプティクス装置を統合化したマスター・スレーブ遠隔操作システムを提案した。手に装着するハプティクス装置を適用することにより、マスター・スレーブシステムの制御系とハプティクス・フィードバック系の分離を可能とし、遠隔操作における安全性の向上が可能であることを指摘した。

以上要するに本論文は低侵襲外科手術ロボットマニピュレータの新しい RCM 機構とウェアラブルなハプティクス装置を提案・製作し、そのプロトタイプを用いた実験を通して、その有効性の検討結果をまとめたものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 31 年 2 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、(平成 32 年 2 月 29 日までの間) 当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。