

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13716 号
------	---------------

氏 名 COLAN ZAITA Jacinto Enrique

論文題目

Developing a cooperative robotic-assisted surgical system for
endoscopic endonasal surgery

(経鼻内視鏡手術のための協調ロボットによる手術支援システムの
開発)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	長谷川 泰久
委員	名古屋大学	教授	秦 誠一
委員	名古屋大学	教授	東 俊一
委員	名古屋大学	准教授	青山 忠義

論文審査の結果の要旨

COLAN ZAITA Jacinto Enrique氏提出の論文「Developing a cooperative robotic-assisted surgical system for endoscopic endonasal surgery（経鼻内視鏡手術のための協調ロボットによる手術支援システムの開発）」は、内視鏡的鼻腔内手術におけるロボットとの協調的フレームワークを提案しており、設計製作した人間-ロボット協調的インターフェースを用いて、多自由度鉗子を備えた双腕マニピュレーターシステムを操作した際の有効性を検証したものである。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、内視鏡下鼻腔内手術（Endoscopic Endonasal Surgery, EES）の現状、制約、および現在の技術課題について述べられている。外科手術に使用されているロボットシステム、特にEES、協調制御、空間運動制約、および縫合用のロボット支援手術システムの関連研究についてまとめられており、その概要が紹介されている。外科手術におけるロボット支援による期待される効果が説明されており、本博士論文の背景が説明されている。

第2章では、本研究において提案したEESのための協調型ロボット支援手術システムのアーキテクチャについて紹介されている。ソフトウェアとハードウェアの実装と制御手法について説明されている。また、各6自由度を有する双腕DENSOロボットアーム、多自由度能動鉗子、およびユーザーインターフェイスから構成されるロボット手術支援システムの統合についての詳細が記述されている。また、外科手術工程のサブタスク化に基づいてロボットの操作インターフェースおよび制御系は実装されており、実行するサブタスクに応じて異なるレベルの支援を提供することが可能である。

第3章では、人間とロボットのインターフェース設計について述べられている。鉗子の位置決め、挿入、抽出タスク用の力情報に基づいた操作インターフェース、また、鉗子操作タスク用のシリアルリンクインターフェースを統合したハイブリッドインターフェースを提案している。インターフェース設計上の検討事項、独自の機構、および運動学解析について説明している。

第4章では、人とロボットの協調的操作フレームワークにおいて安全なロボットの動作を保証するために実装された動作制御手法と仮想拘束手法について述べられている。実装した手法は、外科手術計画によって細分化された各サブタスクにおけるアドミタンス制御とマスター・フォロワー操作手法から構成されている。実験による効果検証により、ロボット動作の滑らかさ（躍度）が30%以上向上し、力の相互作用力が50%減少することが示された。

第5章では、円形の縫合針を使用したステッチングタスクのオンライン軌道生成について述べられている。縫合タスクの拘束条件に従い軌道生成する非線形最適化フレームワークが提案されている。また、人体の硬膜を模擬した人工膜での縫合実験を通じて、提案した方法の効果を検証した。実験の結果、ロボット支援を用いた協調的フレームワークによる縫合の成功率は、65%と支援なしの場合（25%）から大幅に向上させ、最大相互作用力を70%減少させることが確認される。

第6章では、本論文において提案されたロボット支援手術のための協調的フレームワークの貢献についてまとめ、現時点での技術課題について説明し、研究の展望を述べている。

以上のように、本論文では、EES用のロボット支援手術のための操作インターフェースを設計製作し、ロボットと人の協調的フレームワークを提案し、仮想環境での硬膜縫合実験を通して提案フレームワークの効果検証を行っている。また、拘束付き動作計画の最適化アルゴリズムを提案・実装することにより、外科医の縫合を軽減するための半自律化機能を実現している。これら提案された手法並びに得られた結果は、脳神経外科などの幾何学拘束の多い手術環境での外科用ロボット支援システムの開発に貢献しており、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるCOLAN ZAITA Jacinto Enrique氏は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。