

## 論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	松 永 卓 也
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 大西 公平
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 村上 俊之
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 矢向 高弘
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 西 宏章
(論文審査の要旨)			
<p>学士(工学), 修士(工学) 松永 卓也 君提出の学位請求論文は「Development of Haptic End-effector for Medicine and Manufacturing」(医療および産業応用を目的としたハプティックエンドエフェクタの開発)と題され, 7章から構成されている。</p> <p>狭隘な空間で多くの自由度を確保し, 精密な遠隔作業を行うロボットの要求が高まっている。特に外科手術支援では臓器の把持や手術糸の結紮などに見られるように, 安全でかつ精密な動作が要求される。産業においても, 組み立てや治具装着などで同様な要求がある。このような遠隔作業では作業員への力触覚フィードバックが不可欠であり, 多自由度のハプティックエンドエフェクタの開発が望まれていた。そのような背景の下, 本論文では人間の手首動作を模した力触覚フィードバックのある多自由度エンドエフェクタの開発, 医療および産業応用への応用, および人間の作業情報の取得とそのプレイバックによる自動作業に関し, それぞれの開発結果が示されている。</p> <p>第1章では, 研究の背景と目的を述べ, 従来の研究を概説している。</p> <p>第2章では, ロバストなモーションコントロール下にあるロボットが加速度制御系になっていることをふまえ, 運動学に基づく作業座標系の導入を行っている。</p> <p>第3章では, 多自由度機構による力触覚フィードバックの実現に大きな役割を果たす斜交座標系と動作データによる自動プレイバックシステムの制御構造と実現方法を示している。</p> <p>第4章では, 多自由度における基本要素であるシリアルリンクとスライダクランク機構について運動学解析を行い, 設計方法を提案している。これらの基本要素は高いバックドライバビリティを有しており, これらを組み合わせることで力触覚フィードバックのある多自由度エンドエフェクタが簡易に設計できることを明らかにしている。</p> <p>第5章では, バックドライバビリティを損なう高減速機構においても, 予め測定した伝達効率を制御系に組み込むことで鮮明な力触覚フィードバックが可能になることを明らかにし, 軟性内視鏡ロボットに搭載する外科手術支援小型エンドエフェクタに適用しその有効性を確認している。</p> <p>第6章では, スライダクランクを用いたシリアルリンク機構と並進動作と回転動作を同時に駆動できる新しいパラレル機構とを備えた HEM<sup>2</sup> (Haptic End-effector for Medicine and Manufacturing) と名付けられたエンドエフェクタを設計製作し, 実証実験を行っている。HEM<sup>2</sup>は人間の上腕を模しており, 把持, 直動, ロール, ピッチ, ヨーの5軸を有する。HEM<sup>2</sup>を6軸の垂直多関節ロボットに搭載し, 左右合わせて22軸を持つ双腕ロボットを構成する。これを用いた外科医による大動物 <i>in-vivo</i> 実験において, 脆弱な臓器を損傷せず把持できること, 力触覚フィードバックにより過大な力が生体組織に加わらないことを実証している。また, 同じHEM<sup>2</sup>をはめあい作業やねじ締め作業などにも適用し, 産業応用にも展開可能であることを実証している。さらにこれらの動作データを取得することでHEM<sup>2</sup>による自動プレイバック作業が可能であることを実験的に証明している。</p> <p>第7章は本研究の成果を要約し, 今後の展望を述べている。</p> <p>以上要するに, 本論文では力触覚のある多自由度エンドエフェクタを開発し医療および産業応用における精密な遠隔動作や自動プレイバック作業が可能であることを示したもので, ロボット工学分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第2(システム統合工学専修)科目担当で試問を行い, 当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また, 語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。</p>		