

## 審査の結果の要旨

氏名 安藤 慶昭

本論文は「ハプティックインターフェースを用いた微細作業支援システム」と題し全6章から構成され、微細作業を、力覚をフィードバックさせることにより、オペレータが自然な感覚で効率的に行なうことのできるシステム、これをハプティック・ループとして提案し、微細作業用マニピュレータ、ハプティック・インターフェースにより構成される微細作業支援システムの実現に関する研究をまとめたものである。

第1章は「序論」として、研究の背景と目的を述べている。様々な分野における微細作業についての現状をまとめ、その作業手法確立の重要性について議論している。特に、マニピュレーションという観点から、手作業における触覚存在の重要性について指摘し、この観点から、本研究の目的である微細な手作業を自然な感覚で行なうことができる微細作業支援システム(ハプティック・ループ)を提案している。

第2章は「微細作業とハプティック」と題し、システム実現において問題となる点について言及している。提案したハプティック・ループを実現するには、幾つかの要素技術を統合する必要がある、この要素技術として、「ハプティック・インターフェース技術」、「マイクロマニピュレーション技術」、「テレオペレーション技術」を挙げ、これらの分野に関する先行研究例を紹介している。また、これらの技術について、ハプティック・ループ実現の際に問題となる点を研究課題として抽出している。

第3章は「微細作業用マニピュレータ」と題し、要素技術の一つとして挙げたマイクロマニピュレーションに関して議論している。マイクロマニピュレータの必要条件である高精度、高剛性、広動作範囲を実現するために、機械式の多自由度マニピュレータとして実現させる必要がある、位置決め精度に優れたパラレル機構を微細作業用マニピュレータとして採用している。このマニピュレータに関する逆運動学解析、可操作度解析、精度解析、動作範囲解析等を行い微細作業に適した位置決め精度を有することを明らかにしている。また、試作したマニピュレータの制御性能、位置決め精度について実験により性能評価を行い、良好な性能を実現している。本章で開発されたマニピュレータは、ハプティック・ループが必要とする、多自由度、コンパクト、広動作範囲、高精度といった特徴を有し、全体として微細作業に適したシステムであるという結果を得ている。

第4章は「ハプティック・インターフェース」と題し、もう一つの要素技術であるハプティック・インターフェースについて、主にその力制御の性能向上に関する議論を行っている。ハプティック・インターフェースに必要とされる、機械的な頑強さ、広い動作範囲を備えた構造としてリニア・アクチュエータを主体としたシステムを採用し、設計・製作を行なっている。アクチュエータとして採用したリニア・アクチュエータのレールに発生する非線形摩擦がシステムの性能に悪影響を与えることが明らかとなり、フリーモーション性能および応答の等方性を向上させるために、制御器の改良を行っている。モデル規範型適応制御、さらにスライディングモードをベースとしたオブザーバを導入し、各自由度を適切なモデルに追従させることで応答の等方性の向上を試み、特にスライディングモード・オブザーバの導入により性能の著しい改善を実現した。

第5章では「微細作業支援システム」と題し、第3章および第4章で議論してきた微細作業用マニピュレータおよびハプティック・インターフェースを、ネットワークにより接続することで異構造・バイラテラル・テレオペレーションシステムを構成し、力覚フィードバックを有する微細作業システムを実現している。基礎的な実験によりシステム全体としてのパフォーマンスを評価し、微細作業支援システムに必要な性能が得られている。また、基本タスクを設定し、2種類のハプティック・インターフェースを用いてこれらのタスクを行いこれらのタスクの実現可能性を示している。

第6章では、「結論」として、本研究で得られた成果をまとめ、残された問題と今後の研究方向を述べている。

以上これを要するに、本論文は力を拡大フィードバックすることにより微細作業を自然な感覚で行なうことのできる「ハプティック・ループ」を提案し、これを実現するシステムとしてパラレル機構を用いた微細作業用マニピュレータとハプティック・インターフェースを考案し、ネットワークで接続することで微細作業を自然に行える微細作業支援システムを実現したものであって、電子情報工学・ロボット工学に貢献すること大である。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。