

## 審査の結果の要旨

氏 名 佐藤 克成

五感情報伝達は、特殊環境下での遠隔作業や遠隔手術をはじめとして、コミュニケーション、エンタテインメントなど幅広い分野での応用が期待されている技術領域である。五感のうち視覚や聴覚情報については高い水準の伝達技術がすでに実用化されているが、これにさらに触力覚情報を付加することは、現時点での最重要課題の一つと位置づけられている。これまでの触力覚情報伝達の研究の中で、能動的な触動作によって物体に接触した際の反力を伝達するシステムについては多くの検討がなされてきた。本論文ではその次の段階として、人工指が物体と接触した直後の分布触覚情報を、温度を含めて計測・伝達することで、よりリアリティの高い触力覚情報伝達システムを実現することを目的としている。

第1章は緒言として、触力覚情報伝達に関する従来研究をまとめた上で、本論文の目的と位置付けを述べている。従来のシステムにおいて伝送される触感は、能動的な触動作の中で指先の受ける反力の時系列データによって生成されるものに限定されていた。それに対し本論文では、分布触覚と温度覚情報によって物体に触れた瞬間に知覚される触感の重要性を指摘し、それらを伝達・提示することによって触力覚のリアリティを向上し、遠隔での操作性を高めることが可能であることを論じている。具体的には、ヒトは物体と接触した瞬間に物体のエッジや硬さ、材質、テクスチャを知覚し、指が触れている間これらの知覚を継続している。本論文は、主要な分布特徴の知覚と提示を行うセンサとディスプレイを提案し、接触瞬間での物体知覚が可能な触力覚情報伝達システムを実現しようとするものである。

第2章では、システムの全体設計を論じている。物体の触感の中でも特に形状と温度の知覚に着目し、これらの知覚が可能な伝達システムの要件をまとめている。力分布計測・提示の空間分解能、温度変化の応答速度に関する要求仕様を明らかにし、それらをコンパクトなデバイスによって計測・提示するために、光学式計測技術を用いたセンサと経皮電気刺激を用いたディスプレイを提案している。光学式の力分布計測技術と示温塗料を用いた温度計測技術を組み合わせることで、力分布と温度の同時計測可能なヒト指型のセンサを実現する。また、経皮電気刺激手法に基づく電気触覚ディスプレイとペルチェ素子を組み合わせることで、力分布と温度の同時提示が可能なコンパクトなディ

スプレイを実現する。

第3章では、光学式計測技術を用いたセンサの詳細を述べている。物体の形状を力分布として計測するためのセンサ素材や構成を検討し、指型の光学式力分布センサの実装に取り組んでいる。さらに実装した力分布センサの性能を評価し、計測点間隔の分解能でエッジを特定可能であることを示している。また、示温塗料を用いた光学式温度センサの実装に取り組み、金属と木材の差を温度変化の違いによって識別可能であることを示している。

第4章では、経皮電気刺激を用いたディスプレイに関して述べている。はじめに、経皮電気刺激を用いた力分布提示手法の空間分解能を評価し、エッジを電極ピン間隔の分解能で提示可能であることを示している。物体形状の判別実験によって、平面と曲面、エッジの判別が可能であることを示し、さらに面の接線方向の力を体感させる電気刺激信号を設計している。

第5章では、触力覚情報伝達システムの構築に関して述べている。まず、提案する触力覚情報伝達システムにおける力分布の空間分解能を検証し、力分布の伝達によりエッジの特徴を知覚可能であることを確認している。次に、力分布と温度を同時に伝達可能なシステムを実装し、接触直後に平面とエッジ、金属と木材の差を判別可能であることを確認している。さらにこれらの分布触覚情報伝達システムを多指ロボットハンドを用いたマスタ・スレーブシステムに実装している。

第6章は結論であり、本論文全体をまとめたうえで今後の展望を述べている。

以上本論文は、分布触覚情報伝達システムの要求仕様を明らかにした上で光学式計測技術を用いた触覚センサと経皮電気刺激を用いた触覚ディスプレイをそれぞれ提案・試作し、指先表面の変形分布と温度を同時伝達するシステムを実現したものであり、要素デバイスとしての触覚センサの構造、触覚提示の信号生成法、触力覚情報の伝送システム構成法、の各フェーズにおいて新規性の高い提案とその実証が行われている。本論文の成果は、触覚伝達システムにおけるリアリティを向上し、テレイグジスタンス、五感情報伝達、バーチャルリアリティをはじめ計測、ヒューマンインタフェース分野の発展に大きく貢献する。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。