

審査の結果の要旨

氏 名 岩 本 貴 之

皮膚感覚に基づくインタフェースに関する研究は、近年一段と活発化してきており、多様なシーンにおいて実用化への期待が高まりつつある。人間の触覚に対する科学的な理解も進展し、触覚のセンサやディスプレイの技術も確実な進歩を遂げてきている。しかしそのような現状においても、皮膚と対象物との機械的刺激に関する計測・提示には依然困難な問題が数多く存在し、人間の触覚の機能の大部分はヒューマンインタフェースの中で有効活用されていないのが現状である。本論文は触覚提示のために超音波放射圧を用いるという斬新な提案に基づき、従来にない特性をもつ触覚提示装置を試作・評価したものである。超音波放射圧を用いることで、デバイスと皮膚との接触に伴う従来の問題を回避し、応力の時空間パターンを忠実に再現する装置を実現することを目的としている。本論文は6章から構成されている。

第1章の序論においては従来得られている触覚に関する知見をまとめ、標準的な触覚提示装置に求められる要件を整理している。また従来の触覚提示手法を分類・整理し、特に機械的接触に伴って生じる現象と、それが触覚提示に引き起こす問題点を指摘している。また触覚を解明する上で必要とされる分解能、時間特性、精度等が考察されている。

第2章では、新規な触覚提示法として超音波放射圧の利用を提案し、その特性と実現可能性について理論的な考察をおこなっている。超音波振動子としてPZTを用いた場合の出力限界について、電界および熱による分極消失の観点から解析し、放熱構造を工夫することによって触覚を生じるのに十分な強度の超音波が発生可能であることを述べている。また使用する超音波の周波数および波長から、触覚提示装置として実現される空間解像度と時間的特性について考察が行われている。また所望の特性を得るために必要な駆動位相の精度が論じられている。

第3章では、超音波放射圧を用いる触覚提示装置が実際に試作され、基礎的な実験データを得ている。まず1次元のフェーズドアレイを用い、アレイと直交する方向の波面の収束に関しては、物理的な音響レンズを用いた装置が試作されている。周波数3MHzの超音波を用いた場合に1mm程度の範囲に超音波を収束させることができ、それと同径の放射圧スポットを生成可能であることが示されている。その放射圧強度と、それを人間の指先に適用した場合の閾値との関係が定量的に論じられ、触覚の再現のために十分な応力を発生できることが確認されている。時間応答も良好であることが確認される一方で、

一部に超音波伝播媒質の動特性が反映されてしまう現象も見出された。

第4章では、前章で試作された1次元アレイを、2次元走査可能なデバイスに拡張する方法が議論されている。リニアアレイを複数集積することで2次元面内に放射圧のスポットを形成し、走査可能であることが理論的に示されている。各素子の駆動方式が提案され、実際に2次元走査アレイを試作することによって収束超音波を生成可能であることを確認している。

第5章では、試作された提示装置を用いて人間の触覚の特性を検証する実験とその結果が示されている。人間の触覚の閾値は、従来振動する物体の振幅値によって定量化されていたが、本装置によって応力をパラメータとした閾値の評価が可能であることが示されている。また触覚の仮現運動に関して、刺激条件を厳密に制御しながら行った実験が報告されている。特定の条件において仮現運動が安定して生じること、仮現運動の発生には個人差が大きいことなどの知見が得られている。

第6章は結論であり、成果の総括がおこなわれている。

以上、要するに、本論文は触覚提示方法として超音波放射圧を利用することを提案し、その特性を理論的・実験的に評価することで、触覚提示手法における新規な一手法を確立したものである。触覚を解明する科学的研究、工学的な触覚提示装置の開発におけるツールを提供し、VR工学、ヒューマンインタフェース工学、心理物理学に貢献する成果である判断される。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。