

## 審査の結果の要旨

氏 名 櫻 井 達 馬

本論文は、相対変位する隣接面の境界で鮮明な線像が知覚されるという人間の知覚特性に基づいて「境界刺激法」という触覚提示手法を提案し、そのような知覚が生じる条件や知覚を生じさせるメカニズム、またその活用方法について論じたものである。タッチパネルなどの表面に振動を発生させて触覚を提示する技術は、近年実用段階に入ってきているが、そこで提示される刺激は接触する指腹全体に均一な振動を与えるものである。操作性をさらに高めるためには、操作ボタンの境界の正確な位置など、指腹径よりも細かい空間パターン情報が提示されることが望まれる。しかし境界線の段差の位置を特定するなどの知覚は、皮膚表層にある受容器で行われており、従来の発想、すなわち触覚を刺激するピンを配列する、という考え方では、比較的大きな振動変位が必要とされる。そのためデバイスの構造が大掛かりなものになりやすく、また明確な線を提示するためには刺激子の高密度配置が必要されるという問題があった。本論文は、隣接する2つの面の相対的な高さを変動させた場合に、低い周波数であっても微小振幅振動を精細な線として明確に感じることができるといふ、論文提出者自身による発見を出発点としている。このような知覚が生じる条件を心理物理実験により明確にするとともに、振動面をアレイ化し、各素子の駆動位相を適切に設定することで様々なパターンを提示する方法が明らかにされている。本論文は以下の6章で構成されている。

第1章は序論であり、本論文の研究背景と着眼点について述べられている。本論文が対象とする境界刺激法の位置づけが明確にされている。

第2章は境界刺激法の概念が定義され、境界刺激法における知覚閾値の低下が実験により検証されている。また境界刺激時の指内部の変形分布が有限要素法によって解析され、閾値の低下するメカニズムについて考察が行われている。

第3章では、隣接する2つの振動面の運動のパラメータと知覚される触覚像との関係が心理物理実験によって調査されている。知覚の閾値と振動周波数との関係を調査した実験では、50Hz程度までの低周波領域で、顕著な閾値の低下が見られることが明らかにされている。また、知覚される線は、細い線状突起物を触ったときよりもさらに局在して感じられること、平行な2つの線を提示した際にそれらが2本の線として感じられる2線弁別閾は、線状突起物を押し当てた場合よりも大きくなるなど、知覚の基本的な性質

質が明らかにされている。また、第5章で活用される基礎データとして、隣接する2つの振動体の振動位相と閾値との定量的関係が実験的に明らかにされている。本章においても、実験によって得られた知覚の傾向が生じる理由を、有限要素法による解析と人間の受容器特性に基づいて考察している。

第4章では、エッジ刺激による特有な知覚が、指と振動面を含む非線形性と受容期の知覚の周波数特性によって説明できるとする仮説を提案し、センサ指を試作して検証を行っている。その結果、仮説と矛盾しない結果を得たことが報告されている。

第5章では、第3章で確認された面間位相と知覚閾値の関係をを用いて様々な線形状を提示する方法を示している。密に配置された振動子アレイの振動位相を適切に設定することにより、孤立した線分をはじめ、アルファベットのパターンなどが提示できることが示されている。また線パターンの識別実験が行われ、パターン提示法として有効であることが検証されている。システム試作を通し、境界刺激法を用いれば、硬い平面上に精細な触覚パターンを提示できること、映像との融合も容易であり、デバイスの構造もシンプルであることが示されている。

第6章では、本論文の結論および今後の展望について述べられている。

以上要するに、本論文は境界刺激法という新しい触覚提示法を提案し、刺激の物理パラメータと人間の知覚の関係を明確にすることでその工学的設計指針を与えるとともに、試作システムでその有効性を実証したものである。本論文の成果は、ハプティクス、ヒューマンインタフェース、バーチャルリアリティなどの分野に貢献する。

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。