

論文審査の結果の要旨および担当者

| | | |
|------|-------|---|
| 報告番号 | ※ 甲 第 | 号 |
|------|-------|---|

氏 名 RAJAEI Nader

論 文 題 目 A Study of Velvet Hand Illusion's Relevance
for Next Generation of Tactile Displays
(次世代触覚ディスプレイのためのベル
ベットハンドイリュージョン研究)

論文審査担当者

| | | |
|-----|---------|-------|
| 主 査 | 名古屋大学教授 | 大岡 昌博 |
| | 名古屋大学教授 | 畔上 幸秀 |
| | 名古屋大学教授 | 渡邊 崇 |

論文審査の結果の要旨

RAJAEI Nader 氏提出の論文では、触覚の錯覚現象の適用によって仮想現実感 (Virtual Reality; VR) の仮想環境から提供される触覚を現実のものとして感じられるようにすることを目指している。本論文は、ベルベットハンドイリュージョン (Velvet Hand Illusion; VHI) に着目して、心理物理学・神経生理学の手法を用いて VHI の発生機構を調査した一連の研究をまとめたものであり、以下の 6 章から構成されている。

第 1 章では、研究の背景と目的など研究のあらましが述べられている。まず、本研究では革新的触覚ディスプレイを開発するために、脳を欺く錯覚を利用することを述べ、これまでに内外で研究されてきた触覚の錯覚現象について調査した結果がまとめられている。その中で、活用する錯覚現象として VHI が有利であることを議論して、その発生メカニズムを解明することを目的とすることを述べ、実現手段として心理物理学と生理心理学を用いることが述べられている。

2 章では、本研究に関する知識の整理を行っている。まず、先行研究によりヒトの触覚について得られた知見についてまとめている。ヒトの触覚の受容器 (機械受容器とよぶ) には、4 つのタイプがあることを述べ、ヒトの手に分布している 4 種類の機械受容器の分布密度や反応特性などが示されている。また、機械受容器で獲得された信号がどのように脳まで伝達され、どのように処理されるのかについての説明もなされている。

3 章では、VHI 発生に最も関連の深いパラメータ、すなわち鋼線間距離 D 、鋼線の移動ストローク r および移動速度 V について VHI 発生とそれらのパラメータ間の関係について調査した結果がまとめられている。この調査は、心理物理実験法に基づいて行われ、心理物理実験法として Thurstone の一対比較法を用いた。実験の結果、 r/D をパラメータとして整理すると、鋼線間距離よりストロークが十分小さい $r/D \ll 1$ でも、あるいは十分大きい $r/D \gg 1$ といった条件でも VHI の強さは低下することがわかった。最も VHI が強くなる条件は、 $r/D \approx 1$ であった。

4 章では、これまでの研究で得られた知見、および各機械受容器の周波数特性が異なることを利用して、VHI の発生について特定の機械受容器が関与しているのか、あるいは複数の機械受容器の組み合わせが関係しているのかなどを調査した結果についてまとめられている。 $r/D \approx 1$ の条件で、移動速度 V を種々変化させ、最も VHI を強く感じる移動速度 V を求めると、 $V = 80 \text{ mm/s}$ で VHI が最も強くなることがわかった。そのとき、鋼線が皮膚表面を通過することによって生じる皮膚の垂直方向振動は 50Hz であると見積られた。この周波数は、速順応機械受容単位 II 型 (FA II) に刺激を与えるのに十分でないことから、FA II は VHI 生成に大きな寄与をしていないことが示された。さらに、圧覚が作用している状態で鋼線が手の上で移動するときに VHI が発生していることから、遅順応機械受容単位 I 型 (SA I) と速順応機械受容単位 I 型 (FA I) がともに活動して、遅順応機械受容単位 II 型 (SA II) が活動していないときに VHI が発生することを示している。以上の検討から、VHI は複数の機械受容器の反応の組み合わせで生じていると結論付けられている。

5 章では、4 章の結論から VHI が機械受容器レベルで生じる現象ではなく、脳の中で生じていることが明らかにされたので、機能的核磁気共鳴イメージング (fMRI) を用いて、VHI 発生時の脳の賦活状態を観察した結果がまとめられている。5 人の被験者によるパイロット試験の結果、VHI 発生時では中心後回の第 1 次感覚野と運動野下頭頂小葉に賦活が観察されたが、大脳辺縁系には賦活領域が認められなかった。したがって、VHI ではベルベット生地を触ったときのような快適さを感じていないと推察したことが述べられている。

最後に6章では、本研究で得られた成果が要約されている。その結果、VHIを自在に制御する触覚ディスプレイの基本設計に言及している。すなわち、4章で述べたようにVHIを生じさせるには皮膚を引張りSA IIを反応させるようにする必要はない。したがって、特殊なアクチュエータを必要とせず、そのため piezoアクチュエータのアレイなど従来のアクチュエータで十分対応できることなどが述べられている。パターンが皮膚表面を運動する様子をどのように表現するかなど今後の課題についても述べている。

以上のように、RAJAEI Nader氏の学位申請論文では、錯覚を利用して触覚ディスプレイの高度化を目指すための方策を示した点で今後の情報科学の進展に大きく寄与するものである。よって、審査委員会は、本論文提出者のRAJAEI Nader氏が、博士（学術）の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。