

氏 名	中 野 拓 哉
国 籍 ・ 本 籍	愛知県
学 位 の 種 別	博士（工学）
学 位 の 番 号	甲第253号
学位授与の日付	平成28年 3 月18日
学位授与の要件	名城大学学位規程第 3 条第 3 項該当
学 位 論 文 題 目	頭部全周囲における風向知覚特性に関する 研究
論文審査委員	主 査 柳 田 康 幸 副 査 高 橋 友 一 副 査 中 野 倫 明

論 文 内 容 の 要 旨

人は視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚の五感を介して外界からの情報を取得している。現代人はその中でも視覚や聴覚を通じて情報を得ることが多い。これはテレビやスマートフォンといった現代メディアが映像や音を伝達することに長けているからである。残りの感覚である、嗅覚・味覚・触覚を伝達することは前者と比べると未だ発展途上である。バーチャルリアリティ(VR)の分野ではそのような五感に作用する研究が行われている。従来的には、やはり視覚や聴覚を利用した研究が多く行われてきたが、近年では味覚や嗅覚、触覚といった他の感覚に作用する研究も盛んに行われている。五感全てを刺激することで、あたかもそこにいるかのような感覚、現実感が高まると考えられている。

なかでも触覚提示技術の発展は著しく、物に触れている感覚を提示することで、VR 環境とのインタラクションがより現実感あふれるものとなっている。しかしながら、力・触覚提示に関する研究の多くは、物体(個体)との相互作用を対象としているため、グローブをはめる、ペン型デバイスを持つといった道具を体に身に付けることが主流であり、その行為による煩わしさが現実感を薄めてしまう場合もある。

そこで、非接触で触覚を提示する手段として空気流、風を利用した研究が注目されている。風を用いる場合、ユーザに装置を身に付けさせたり、持たせたりする必要はない。風が当たった時の感覚を「風覚」といい、触覚と温冷覚の複合感覚であると定義されている。風覚を利用したシステム

は既に開発されており、映像や音と合わせて風や匂いを提示するアミューズメントパークのアトラクションや映画館が存在する。実際に、映像や音声に風を同期することで、より臨場感や現実感が高まることを示した研究も多くなされている。いくつかの例では、風を付加することで、映像のみよりも高い臨場感・現実感を与えることを実現している。臨場感は、視覚のみでなく、触覚や嗅覚といった感覚器官で感知される外界の物理情報に基づいている。よって、映像のみを提示するよりも五感を十分に活用した方が臨場感は高まる。つまり、風の提示は VR における臨場感や現実感の向上に寄与できる。

しかし従来、風覚提示における空間性に着目した研究は少なく、風向提示に関して系統的かつ詳細に調査した研究は見当たらない。風を利用して環境を再現する研究では多くの場合、風源を主に 45 度間隔と疎に配置している。自然に吹く風は 360° どこからでも吹いてくるため、このような疎な配置で十分に風向を再現できているのか疑問が残る。人の風向を判断する感度がもっと鋭敏ならば、システム設計者が意図した風向と実際に被験者が感じている風向との間にずれが生じ、違和感が生じると考えられる。逆に、鈍感ならば風源の数をもっと少なくしても問題はないことになる。つまり、現在の風覚ディスプレイは人の感覚知覚特性を考慮しておらず、VR 環境を再現するのに適した設計になっていないといえる。風向に関する知覚特性が解明されれば、適切な風源配置が可能になり、より現実に近い VR 環境が構築可能になる。

そこで、本研究では人の風向知覚特性を調査することで、これまでの風向知覚特性を考慮していない風覚ディスプレイを、風向を適切に再現可能な風覚ディスプレイにするための設計指針となることを目標とする。また、人の風向知覚特性が解明されれば、それ自体が人の感覚知覚特性における新たな側面を開拓するものであると同時に風提示技術における基礎的な設計指針を提供し、空気流を利用した様々な研究の発展に寄与できると考えられる。

風向知覚特性の調査は、被験者の顔に向けて風を提示することによって行う。被験者の頭を取り囲むように風源を配置し、被験者がどのように風を感じるか実験する。はじめに、予備実験として、局所的な風を用いて人の頭部前面における風向知覚の JND を心理物理学的測定法を用いて測定した。結果として、刺激部位(風が当たる場所)、風速、風の局所性を変化させ、JND がどのように変化するか確認することが必要となった。風の局所性は風源を組み合わせ、均一な風を提示する場合と単発の風源を用いた局所的な風と比較を行った。確認の結果、刺激部位、局所性は風向判断に大きく影響し、風速はあまり影響しないことがわかった。

その結果を基に、人の顔全周囲(頭部正面・側面・背面)での風向知覚特性の測定を行った。これは人の顔は正面・側面・背面で凹凸など形が大きく違うため、風向知覚特性が顔全体で一定でない可能性があるためである。実験の結果から単発のファンによる局所的な風では正面や背面では風向判断のしやすさに違いはなく、側面では風向を判断しにくいことが示された。均一な風では風向判断のしやすさに違いはなかった。

この研究では刺激位置(風源位置)、風速、風速分布という風覚ディスプレイを構築する際に考慮すべき点について調査した。結果として、刺激位置によって人は風向判断していること、風速は大きく影響しないこと、局所的な風と均一な風では風向判断のしやすさに違いがあることが示された。以上より、風覚ディスプレイの設計指針として以下 4 点が考えられる。

まず、風が頭部中心に集まるように風源を配置することが挙げられる。人は刺激部位で風向を判断しているため、鼻先のような風が顔の両側に当たる位置を中心とすると風向判断が非常に難しくなるためである。

次に風速の大小は風向判断にあまり影響しないことが挙げられる。ただし、風速は風向判断に影響しないだけであり、乗り物のスピード感を表現することなどには効果があると考えられる。

3 つ目に、単発のファンを用いた居所的な風を用いる場合は風源を等間隔に配置しないことが挙げられる。これは局所的な風の場合、側面では正面や背面と比べて風向を判断しにくいためである。等間隔に配置すると、側面から来る風にのみ、ユーザが違和感を覚える可能性がある。

最後に均一な風を提示する場合、局所的な風よりも風向が判断しにくくなることを考慮する必要がある。つまり、局所的な風を提示する場合よりも風源間隔を広げる必要がある。このように、風覚ディスプレイを構築する際は風向知覚特性を考慮に入れて設計する必要がある。

本研究では装置側の条件を変化させて実験を行った。これは既存の風覚ディスプレイの風源が風向知覚特性を考慮した配置になっておらず、本研究が風覚ディスプレイ設計の指針になることを目標に置いたためである。

これらの結果は今後新たに風を提示する装置を作成する際、大きな指針となる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、人間の頭部における風向知覚特性を解明する基礎的な研究に関するものである。バーチャルリアリティでは視聴覚のみならず力触覚に対する感覚提示が盛んに行われるようになってきているが、固体への接触を対象とした事例が圧倒的多数であり、空気を媒体とする触覚提示は未開拓の要素が多い。そのような中、映像や音声に風を同期させ臨場感を高めることを狙った研究もいくつか行われているが、既存のシステムは人間の風向知覚特性に基づいた設計が行われていない。本研究は、人間の頭部における風向知覚特性に焦点を当て、心理物理的手法により風向知覚の弁別閾（丁度可知差異：JND）を測定し、その知見をまとめたものである。

人間の風向知覚弁別閾を精密に計測した従来研究は存在しないため、申請者は風向知覚特性まず予備実験として頭部正面を中心とした風向知覚弁別閾の計測から開始した。この実験を通して弁別閾の大まかな値を得るとともに、いくつかの刺激条件が弁別閾の値に影響する可能性が示唆された。

そこで次に、各刺激条件について弁別閾への影響を調査した。刺激部位（各方向からの風が交わる中心位置）に関しては、鼻先を狙うよりも、頭部中心を狙った方が風向を弁別しやすいこと、風速に関しては、明確に風が存在を知覚できる風速の範囲では大きく影響しないこと、また、風速分布に関しては、局所的な風の方が頭部全体を包む均一な風よりも弁別しやすいことが明らかになった。頭部中心を狙い局所的な風を用いるケースでは JND の値が極めて小さくなったため、それまでの実験における刺激間隔が大きすぎ実験精度に影響する可能性が見いだされたため検証を行ったところ、より小さな刺激間隔でも測定された JND の値に有意な差は見られず、それまでの実験の正当性が確認された。

これらの実験条件に関する検証を経て、頭部正面のみならず頭部側面、背面における風向知覚弁別閾計測実験を行い、局所的な風と均一な風のそれぞれに対する JND の値を得た。その結果、正面や背面と比較して側面では風向を判断しにくいという知見が得られた。本研究で得られた知見は、風を用いた環境提示を行うシステムにおける設計指針として有用である。

以上の成果により、本論文は学位論文としての条件を備えていると評価できる。従って、学位を授与することを妥当なものと判断する。