

## 学位論文題名

人工現実感技術で呈示された  
感覚刺激による生体反応に関する研究

## 学位論文内容の要旨

コンピュータで合成した仮想の環境で現実の環境を表現する人工現実感（Virtual Reality）技術は、これまで実現できなかった多様な感覚情報を呈示できる人間と機械のインタフェース技術の一つである。その適用範囲は極めて多岐にわたり、近年、コンピュータ外科、航空機、自動車、建造物、分子化合物の設計、あるいは都市計画などさまざまな分野に応用されている。このVR技術においては合成された感覚情報により、呈示された環境の中にあたかも自分が存在しているような臨場感が惹起される。しかし、合成されたものは擬似的環境であるために今までになかった感覚刺激が呈示され、それがヒトに対して悪影響をおよぼす可能性もある。したがって、人工現実感技術がヒトに与える影響を評価し、装置の設計指針などを設定することは必須であり、技術レベルが実用化に近づきつつある現在では、早急な対応が必要とされている。そのため、様々な観点からVR刺激による生体反応を客観的に把握しておくことが必要となる。過去の研究例としては、視機能、自律神経機能、平衡機能の変化に関する研究が断片的に行われている。しかし、各種の生体反応を統合的に扱った研究は現在までにほとんど行われておらず、人体影響を評価するには不十分であった。そこで、VR刺激の人体におよぼす影響評価に関して、視機能、自律神経機能、平衡機能の各分野を融合させた総合評価システムを構築し、それを利用した客観的指標による評価を行うことが必要であると考えた。

本研究の目的は、VR刺激をヒトに呈示した場合に、視機能、自律神経機能、平衡感覚におよぼす生体影響を他覚的かつ定量的に調べ、ヒトの感覚特性などに合わせて、使用目的に応じた仮想環境空間を適切に構築するための設計指針を得ることである。本論文では、人工現実感技術での映像呈示装置としてよく用いられる、HMD、大型スクリーン、立体音響システム、モーションベースで呈示されたVR刺激により、視機能、自律神経系、平衡感覚がどのように変化するかを調べ、「酔い」のような悪影響を防ぐ方法を提案するとともに、VR刺激による生体反応をリハビリテーションなどへ積極的に応用する道を探る。

本論文は全7章から構成されている。

第1章では、本研究の背景として、人工現実感技術についてとその問題点について述べ、研究の目的について述べた。

第2章では、VR技術に関する先行研究について述べ、そのVR技術の各種応用例について概観した。また、ヒューマンインタフェース設計の立場から、その生体におよぼす影響に対する従来の研究について述べた。

第3章では、VR技術を用いた感覚刺激が生体に対する影響を調べるために、構築した実験システムについて述べた。構築した生体反応計測システムは、視機能、自律神経機能、平衡機能の3点について独立して調べることができるとともに、生体影響を統合的に評価することも可能である。このような統合的な計測システムは他に類のないものであり、VR刺激による生体反応をバランスよく調べる上で極めて適したシステムとして構築することができた。

第4章では、VR刺激による視機能に対する生体影響について述べた。映像呈示装置に

は、HMD と大型スクリーンを使用し、映画による長時間の映像負荷を与えた前後において、視力、屈折力、眼圧、調節力などを計測し、その変化から視機能に与える影響について述べた。実験には、自由曲面プリズム光学系と凹面鏡光学系をそれぞれ用いた異なる光学系の HMD を 2 種類と大型スクリーン投影型プロジェクタを用いて、2 時間の映像負荷が眼の調節力の動特性などに与える影響を調べることにより、視機能に対する影響についての他覚的評価を行った。結果として、3 種類の映像装置での映像負荷後に一過性ではあるが調節の動特性に関して有意な差が認められた。しかし、負荷前後の比較では有意な差は認められなかった。したがって、VR 技術で用いられている映像呈示装置による 2 時間程度の映像負荷が、ヒトの視機能に関して負荷終了後にまでわたって影響をおよぼすことはないことがわかった。

第 5 章では、VR 刺激による自律神経機能に対する生体影響について述べた。HMD と大型スクリーンにて映画を鑑賞中の被験者の心電波形を計測し、心電波形の RR 間隔の変動を周波数解析することで自律神経機能に対する影響について調べた。ここでは、自由曲面プリズム光学系と凹面鏡光学系をそれぞれ用いた異なる光学系の HMD を 2 種類と大型スクリーンを用いて 2 時間の映像負荷がヒトの自律神経機能におよぼす影響についての実験を行った。結果として、2 種類の HMD と大型直視型ディスプレイによる 2 時間の映像負荷時における心電図 RR 間隔揺らぎ成分の周波数解析によって、映像負荷の時間経過にともなう有意な副交感神経系活動の減少と交感神経系活動の増加が 3 種類に映像呈示装置のいずれにおいても認められた。しかしながら、3 種類の映像呈示装置の違いによる自律神経機能への影響は認められず、2 時間程度の映像負荷がヒトの自律神経機能に関して大きな影響をおよぼすことはないことがわかった。

第 6 章では、映像と音像およびモーションベースを利用した VR 刺激による「平衡機能」に対する生体影響について述べた。HMD と大型スクリーンを用いて、運動する視覚刺激(視運動刺激)を呈示したときに重心位置および頭頂部位置の動揺を計測し、ヒトの平衡機能に与える影響について述べた。また、立体音響制御システムを利用して、3 次元的に移動する音像刺激による影響も調べた。まず、平衡機能に大きく関係している周辺視野にも映像呈示が可能な広視野 HMD と広視野スクリーンを用いて、運動する視覚刺激がヒトの平衡機能に与える影響について調べた。その結果、視運動刺激を呈示した場合に、静止した視覚刺激を呈示した場合に比べて、重心位置や頭頂部位置の動揺が増大する傾向が見られた。さらに、視覚刺激を周辺視野にも呈示した場合、奥行き情報として運動視差や線遠近法を用いた場合、そして、視覚刺激に頭部運動のフィードバックを与えた場合、より身体動揺が増加する傾向が見られた。次に、聴覚刺激に関する同様な実験を行った。立体音響制御システムにより移動する音像刺激を被験者に呈示した時の身体動揺を計測した。その結果、移動音像を呈示した場合に、静止音像を呈示した場合より身体動揺が増加する傾向が見られた。さらに、モーションベースを用いた自己運動感覚の計測と制御に関する実験を行った。その結果、被験者が制御したモーションベースの制御量から、計測した自己運動感覚と同様な角速度を持つ前庭刺激を被験者に呈示することで、被験者が感じる自己運動感覚を抑制できることがわかった。以上のことから、呈示する視覚刺激、聴覚刺激、前庭刺激を適切にコントロールし、呈示することで、ヒトの平衡機能に与える影響を軽減できる可能性のあることがわかった。

第 7 章では、本研究の結論と今後の課題と展望について述べた。特に、VR 刺激による生体反応をリハビリテーションなどへ積極的に利用する方法について触れた。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 福 部 達  
副 査 教 授 山 本 克 之  
副 査 教 授 栗 城 眞 也  
副 査 講 師 井 野 秀 一

学 位 論 文 題 名

## 人工現実感技術で呈示された 感覚刺激による生体反応に関する研究

コンピュータで合成した感覚刺激で仮想の環境を知覚させる人工現実感（VR: Virtual Reality）技術は、これまで実現できなかった多様な感覚情報を呈示できる人間と機械のインタフェース技術の一つである。その応用範囲は極めて多岐にわたりつつあるが、今までに経験していなかったような不自然な感覚刺激が呈示され、それがヒトに対して悪影響を及ぼす可能性もある。しかし、国内外ともに人体影響に関する研究は断片的に行われているにすぎない。人工現実感技術によって呈示された感覚刺激による生体反応を調べ、悪影響を与えないような機器やコンテンツの設計指針を設定することは必須であり、技術レベルが実用化に近づきつつある現在では早急な対応が要請されている。

本研究の目的は、VR 刺激により人体がどのように反応するのかを他覚的かつ定量的に調べ、その結果に基づき適切な VR 環境を構築するための設計指針を得ることである。本論文では、新たに構築した VR 刺激呈示システムにより、呈示された感覚刺激による生体反応について述べ、「VR 酔い」のような悪影響を軽減する方法を提案している。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景として、人工現実感技術についてとその問題点について触れ、研究の目的について述べている。

第 2 章では、VR 技術に関する先行研究について述べ、その VR 技術の各種応用例について概観している。また、ヒューマン・インタフェース設計の立場から、その生体におよぼす影響に関する従来の研究について述べている。

第 3 章では、VR 刺激による生体反応を調べるために構築した実験システムについて述べている。構築した生体反応計測システムは、視機能、自律神経機能、平衡機能の 3 点について独立して調べることができるとともに、同時計測により生体反応を統合的に評価することも可能であるとしている。

第 4 章では、VR 刺激による視機能に対する生体影響について述べている。映

像呈示装置には、2種類のHMD(Head Mounted Display)および大型スクリーンを使用し、映画(アクションもの)による2時間の映像負荷を同じ視野角で与えた場合の前後において、視力、屈折力、眼圧、調節力などを計測し、その変化から視機能に与える影響を他覚的に調べている。被験者は正常な視機能を有するのべ35人の大学生である。その結果、3種類の映像装置のいずれにおいても映像負荷後に一過性ではあるが調節の動特性に関してのみ有意な差が認められた。しかし、負荷後の約30分で負荷前の状態に戻ったことから、VR技術で用いられている映像呈示装置による2時間程度の映像負荷が視機能へ及ぼす影響は一過性であると推察している。

第5章では、VR刺激が自律神経機能に及ぼす生体影響について述べている。2種類のHMDおよび大型スクリーンで映画(アクションもの)を2時間にわたり同じ視野角で呈示し、鑑賞中の被験者の心電波形から得られるRR間隔の変動を周波数解析することで自律神経機能に対する影響について調べている。被験者は正常な自律神経系を有するのべ18人の大学生である。その結果、2種類のHMDと大型直視型ディスプレイによる2時間の映像負荷中の時間経過にともなう有意な副交感神経系活動の減少と交感神経系活動の増加が用いた映像呈示装置のいずれにおいても認められた。しかし、呈示終了後それらの活動は正常値に戻ったことから、HMDによっても2時間程度の映像負荷が及ぼす自律神経機能への影響は一過性であると推察している。

第6章では、VR刺激が平衡機能に及ぼす影響について述べている。まず、HMDと大型スクリーンを用いて、運動する視覚刺激(視運動刺激)を呈示したときに重心および頭部の動揺を計測した。その結果、静止した視覚刺激を呈示した場合に比べて、重心位置や頭頂部位置の動揺が増大し、奥行き情報を付加したときに動揺がさらに大きくなった。

次に、映像の動きが止まったときに自己が動いているような錯覚(自己運動感覚)を打ち消すようにモーションベースで自分自身を動かした。その結果、被験者が制御したモーションベースの制御量から自己運動感覚量を測定できるとともに、自己運動感覚そのものを軽減できることを見出している。

以上のことを踏まえて、VR酔いに関連するといわれている身体動揺と自己運動感覚を軽減する方法として音刺激が有効でないかと仮定し、立体音響制御システムにより音を呈示した実験結果からその仮定の妥当性を検証している。

以上のように、本研究は人工現実感技術で呈示された感覚刺激が、視機能、自律神経機能、平衡機能などの生体機能へどのような影響を及ぼすのかを客観的に評価し、人工現実感におけるヒューマンインタフェースの設計指針を提言したことから、生体工学や人間工学に寄与するところが大きい。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。

以上