

博士論文の要旨及び審査結果の要旨		
氏名	田部田 晋	
学位	博士 (工学)	
学位記番号	新大院博 (工) 第 528 号	
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 23 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
博士論文名	現実空間におけるヒトの空間的行動を再現可能な VR シミュレーションシステムの構築	
論文審査委員	主査	教授・飯島 淳彦
	副査	教授・堀 潤一
	副査	教授・前田 義信
	副査	准教授・今村 孝
	副査	助教・棚橋 重仁
<p>博士論文の要旨</p> <p>バーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) 技術の飛躍的な発達は、ヒトが実際には存在しないが機能や効果として現実空間と同等な新たな空間の獲得を可能にする点で、われわれ人類がこれまで縛られてきた現実空間における時間や場所などの制約からの解放を実現する第一歩となる。これにより、われわれの働き方が大きく変わり、本国の抱える地域の疲弊・衰退や人口急減・超高齢化などさまざまな問題を解決する可能性がある。しかしながら、VR 技術やデバイスが社会的に一般化、普及したとは言えない。本研究の目的は、さまざまな分野の社会的ニーズに対応できる VR 技術やデバイスを社会実装するために、コンテンツの利用者が VR 空間内で直感的かつ身体的に行動し体験でき、VR 酔いを抑制できる VR シミュレータを開発することである。</p> <p>第一に、VR シミュレータの利用者が能動的な身体動作から歩行感覚を得られるよう、足踏み動作で歩行動作を再現するシステムを開発する。そのために、視覚刺激の速度とそれと一致する足踏みのステップ頻度の関係を明らかにする実験をおこなった。その結果、足踏み動作から歩行感覚を得るための視覚刺激の速度とそれと一致する足踏みのステップ頻度の関係を明らかにすることができた。</p> <p>第二に、本研究で開発した VR シミュレータの利用者が VR 空間内でおこなう空間的行動が現実空間のそれと同質であるか明らかにする。そのために、ヒトが現実空間と VR 空間で空間を探索した際に形成される認知地図を計測・比較する実験をおこなった。その結果、それぞれの空間でおこなった実験によって形成される認知地図の歪みの間に、幾何学的、統計学的性質どちらも統計的な違いはなかった。これらの結果は、本研究で開発した VR シミュレータを用いれば、実験としての再現性を担保しつつ、現実空間でおこなうヒトの空間的行動を明らかにする実験を代替できることを示した。</p> <p>第三に、VR シミュレータを用いて、日本の社会課題の一つである地下空間における防災計画の問題の解決を試みる。そのために、本研究で開発した VR シミュレータを基礎とし、地下空間で発生する現実の火災を再現することで、ヒトが単独で地下空間の火災に遭遇したときの行動特性を明らかにする実験をおこなった。その結果、避難開始位置に最も近い出口から必ずしも避難するわけではないことが明らかになった。また、避難開始位置から</p>		

遠い出口から避難したヒトは、避難開始位置に最も近い出口から避難したヒトに比べて避難口誘導灯を見る回数が多いにも関わらず、避難口誘導灯に対する視線の停留時間に違いがなかった。これらの結果は、避難口誘導灯に視線を向けることができたにも関わらず避難口誘導灯を正しく使えないヒトがいることを示唆しており、この原因が脳内に形成される認知地図の違いであると推測できるなど、火災時のヒトの行動特性に対する新たな知見が得られる可能性を示した。

最後に、VR酔いを抑制できるVRシミュレータを開発するために、VR酔いの重症度を評価できる自律神経指標を導出する実験をおこなった。その結果、心拍変動に表れる呼吸の影響を示す副交感神経系指標であるRMSSDの平均値と分散が映像酔いの重症度を反映することが示唆された。これらの結果は、VRシミュレータの利用者のVR酔いの重症度が利用者のRMSSDの平均値と分散を同時に用いれば評価できることを示唆するものである。

以上から、本研究では、(1)VR空間内で直感的かつ身体的に行動し体験できる(2)現実空間における空間的行動と同質の空間的行動をおこなえる(3)VR酔いを軽減できるVRシミュレータを開発することができた。今後の課題は、本研究で導出した自律神経指標を用いて、VR酔いを機械学習などから予測し、VRシミュレータの利用者が酔い症状を発生する前にシミュレータの利用を中止することができるシステムを開発することである。

#### 審査結果の要旨

本論文は、VR空間内で直感的かつ身体的に行動し体験でき、VR酔いを抑制できるVRシミュレータを開発するためにおこなった複数の実験とその結果について述べたものである。実験は、(1)直感的かつ身体的に行動し体験できるVRシミュレータの開発(2)VR空間の空間的行動が現実空間と同質であることの確認(3)VR酔いを反映する自律神経指標を導出するをおこなった。本論文でおこなわれた全ての実験のデザインや測定法および分析法は、心理物理学的手法に則っておこなわれており、科学的に問題ない。

(1)の実験では、観察者5名に対して、HMDに提示された視覚運動刺激視聴時の研究対象者の足踏み動作を計測することで、足踏みのステップ頻度からヒトの歩行速度を再現することに成功した。これは、従来の研究が解き明かせなかったものであり、すべてのVRシミュレータの開発に貢献する実用的な研究成果である。(2)の実験は、異なる2つの実験から構成される。実験1では、観察者18名に対して、現実空間とHMD上のVR空間の区画を探索させた際に形成される認知地図を計測・比較し、量空間で形成される認知地図の歪みの間に、幾何学的、統計学的性質どちらも統計的な違いがないことを明らかにした。実験2では、観察者16名に対して、実在する地下街の一部を模したHMD上のVR空間で発生した火災に遭遇したときの避難経路や視線を計測し、最寄りの出口から避難できなかったヒトは避難口誘導灯を正しく使えないことや、避難できたヒトと比べて認知地図の形成が異なる可能性があることを明らかにした。VR空間で形成される認知地図を量的に評価した研究はなく、その点で非常に新規性が高い。(3)の実験では、観察者20名に対して、映像酔いを誘発する映像を提示した際の心拍変動と主観的な酔いの重症度の計測から、酔いを反映する副交感神経指標を導出することができた。同時に複数の自律神経指標を用い、判別分析をおこなう本研究の手法は、従来の研究と異なるアプローチであり、独創性が高い。

(1)と(2)の実験の一部は土木学会論文集F2に掲載され、特に新規性・独創性を高く評価された。また、(3)の研究は査読のある国際会議でも二度の口頭発表がされており、海外の研究者から研究の内容について関心を持たれ、研究の次の展開が待たれている。

以上により、本論文は博士(工学)の博士論文として十分であると認定した。