

スギウラ ケイタ

氏 名 杉浦 啓太

学 位 の 種 類 博士（工学）

学 位 記 番 号 博第1151号

学位授与の日付 平成31年3月27日

学位授与の条件 学位規則第4条第1項該当 課程博士

学 位 論 文 題 目 避難者の特性を含む避難シミュレーションによる避難誘導に関する研究  
(A Study of Guide of Evacuee Using Emergency Simulation Including Characteristics of Evacuees)

論文審査委員	主 査	教授	荒川 雅裕
		教授	徳丸 宜穂
		教授	横山 淳一
		教授	仁科 健
			(愛知工業大学)

## 論文内容の要旨

本論文では、日本国内で多発する災害の被害を削減するため、誘導灯を利用して避難者を効率的に誘導する方法を検討した。具体的には、マルチエージェントシミュレーションを用いた避難シミュレータと仮想現実ゲームの構築、避難誘導灯の最適配置の定式化と有効性の検証、および、避難シミュレータや仮想現実ゲームを用いた避難者行動の分析を行った。そして、分析結果に基づき、現実の避難者の特性を含めた避難シミュレータを利用し、新たな避難誘導法の提案を行うとともに有効性を検証した。本論文の構成は下記の通りである。

第1章では、日本における自然災害による被害を調査し、本研究の背景と既往研究、目的、論文の構成について記述した。

第2章では、既往研究からの分析結果を踏まえて、本研究で構築した避難シミュレータの特徴、仕組みについて記述した。とくに本シミュレータの2大構成要素となる避難者(エージェント)と避難対象領域(フィールド)の特徴を記述した。

第3章では、誘導灯の設置場所について、避難誘導灯の最適配置という言葉の定義をした上で、災害時の被害軽減に繋がる誘導灯の配置場所を求める数理モデルについて記述した。また、避難者の初期配置が避難に与える影響についても記述した。

第 4 章では、本研究で開発した Unity によって開発した仮想現実ゲームと仮想現実ゲームを利用した実験について記述した。また、仮想現実ゲームを用いた実験結果に基づいた特性を持つ避難者を第 2 章で構築した避難シミュレータに導入して、シミュレーション結果から、それらの特性が避難行動に与える影響や集団内で相互に与える影響に関する調査結果についても記述した。

第 5 章では、第 3 章で検証した初期配置の影響を調査したシミュレーション結果から、混雑を解消するための避難誘導法として提案した補助誘導灯について記述した。

第 6 章では、災害発生時に起こりうる建物内での障害物の発生を踏まえた避難誘導法について、2 つの内容を記述した。1 つ目は、第 3 章で構築した避難誘導灯の最適配置問題の数理モデルを障害物の発生を踏まえたモデルに拡張した内容について記述した。2 つ目は、第 4 章で提案した補助誘導灯を拡張し、フロア全体の避難者の混雑状況を考慮して誘導先を動的に変更する避難者誘導制御法について記述した。

最後に、第 7 章では、本研究の総括として、各章で得られた知見とともに本論文全体を通して得られた知見と結論を記述し、さらに、今後の研究課題について記述した。

## 論文審査結果の要旨

従来から、エージェントシミュレーションを利用した避難シミュレーションに関する研究は数多く行われているが、主に避難者の群衆行動に着目し、得られた結果から構造物内のレイアウトを議論する研究が多い。これはシミュレーションによって避難者の行動分析を行うことで、建物や都市地域の構造やレイアウトを評価や設計に利用する場合が多いことによる。

本研究では、損害を減少させるために避難者を効率的に誘導する方法を、避難シミュレーションから得られる避難者行動の特徴を分析し、効果的な誘導法を提案するとともにシミュレーションにより提案法の効果を検証している。このため、シミュレーションにおいて現実の避難者の行動を模擬する精度を高めることや既存の施設において効率的な誘導を行う方法やしくみの開発に取り組んでいる。そして、誘導灯を利用した効率的な誘導法として、誘導灯の最適配置問題や領域内の避難者の分布に従って誘導灯の方向を制御して誘導する方法を開発している。

本論文の研究では下記の新規性が挙げられる。

- (1) 避難者の効率的な避難の方法として誘導灯を利用した方法に着目し、誘導灯の配置と方向を決定するための数理モデルを構築した。
- (2) 仮想現実ゲームを利用して避難者の特徴を調査し、ルール化することで、シミュレータに組み込み、現実に対して高精度のシミュレーションを行うしくみを構築した。
- (3) 避難環境の複雑な条件として避難経路が動的に変化する問題を扱い、シミュレーションを利用して、多様な条件での避難者行動の特徴を分析した。
- (4) レイアウトや避難者の分布が変化する条件において、避難者を効率的に誘導するための方法と誘導灯の制御システムを提案した。

シミュレーションは多様な現象を計算機上で模擬することが目的であり、現実の特徴を理論やルールとして構築し、さらに、制約条件としてモデルに組み込むことで現実に対して高精度で模擬できることが重要となる。避難シミュレーションでは避難時の人間の意思決定の特徴をシミュレータに組み込むことが必要となる。この問題に対して、本研究ではシミュレーションと仮想現実ゲームによる模擬実験を組み合わせることで、避難者の特徴を分析し、その特徴をシミュレータに組み入れることで高精度のシミュレーションを実現するしくみを構築している。

避難誘導のための誘導灯の配置について、最適配置問題として数理モデルを構築することで普遍的な問題解決の方法を提案した。数理モデルから得られた誘導灯の配置に関して、シミュレーションによって有効性を検証するとともに、効率的な避難誘導の特徴を明らかにした。また、避難経路が動的に変化する環境の問題について、確率を利用したモデルを構築することで動的に変化する環境での誘導灯の有効な配置とともに避難者行動の特徴を明らかにした。さらに、時間推移の過程で避難者の分布を評価することで誘導灯の方向を切り替えることで誘導の効果を促進させるしくみを提案し、シミュレーションによって有効性を示している。この方法は誘導灯にカメラの搭載や方向の切り替え機能の開発を必要とするが、汎用的で効果が得られる方法である。

本論文は避難誘導の問題に対して、シミュレーションと実験による避難者の意思決定の分析の組み合わせにより、シミュレーションの技術を高めるとともに、シミュレーションによる分析結果を利用して有効な誘導方法を提案しており、学術上、応用上大きく貢献するものである。よって審査員一同は本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。