

氏名(本籍)	鈴木 雄太		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 9802 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	火災情報の不完全性を考慮した地震火災時のリアルタイム避難誘導に関する基礎的研究		
主査	筑波大学 教授	工学博士	糸井川 栄一
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	鈴木 勉
副査	筑波大学 教授	博士(社会工学)	川島 宏一
副査	筑波大学 准教授	博士(社会工学)	梅本 通孝
副査	東京大学 准教授	博士(工学)	廣井 悠

## 論文の要旨

審査対象論文は、巨大地震後に発生が懸念される木造密集市街地における同時多発的な市街地火災(以下、地震火災)において、消防機関等によって時々刻々と収集される出火、延焼拡大等の火災情報に基づき、将来の火災拡大状況を予測しつつ、リアルタイムに住民を安全な場所に避難誘導を行う、というリアルタイム避難誘導に関する研究である。行政機関がリアルタイム避難誘導を実施するにあたり、収集される火災情報が不完全であるという現実の状況(以下、不完全情報下)に着目した避難リスク評価を行い、不完全情報下において避難リスクを可能な限り低減させるために有効な避難誘導経路と避難開始時刻に関する基礎的な提案を行ったものである。論文は8章から構成されている。

第1章では、上述の研究の背景、目的などについて記述している。

第2章では、誘導時の経路における火災遭遇リスクを低減するために、リアルタイム動的誘導経路モデルを構築している。不完全情報下の不確実性について未覚知火災の存在と覚知火災の延焼予測のばらつきに着目して、予期せぬ火災に遭遇するリスクについて定性的に考察している。この考察結果に基づき、2つの避難誘導方針を立てモデル構築を行っている。

第3章では、第2章で構築したリアルタイム動的誘導経路モデルによる火災遭遇リスクの低減効果を検証することを目的として、シミュレーションによる評価システムを構築するとともに、このシステムを用いて、火災リスクが一様で避難経路が格子状に広がる仮想市街地を対象としたモンテカルロシミュレーションを実施し、火災遭遇リスクの特徴と動的更新による火災遭遇リスクの低減効果について基礎的な知見を得ている。

第4章では、建物密度の地域的な違いに起因する出火可能性の偏在と、道路、耐火建築物の存在等による延焼阻止効果に起因する延焼拡大の不均一性が存在し、かつ避難経路となる道路ネットワークが不均質な実市街地として、広範に広がる木造密集地域を抱える東京都区部の一つの避難圏域を対象に第2章で開発したモデルを適用し、ケーススタディを行っている。その結果、避難経路の視覚的特徴と動的誘導経路による火災遭遇リスクの低減効果を検証し、避難可能確率最大化経路を用いた避難の優位性を明らかにしている。

第5章では、地震火災時に、それ以上居住地に留まると広域避難場所への避難経路が喪失される時刻を意味する最遅避難時刻の見逃しを防ぐための避難開始時刻決定モデルを構築している。避難開始のタイミングとして、火災の接近による切迫避難、事前リスク評価に基づく事前計画避難、覚知火災情報に基づいて逐次的に勧告判断を行う勧告避難の3つを想定し、避難者の安全を確保しつつなるべく遅い避難開始時刻を決定する方法を検討している。

第6章では、第5章のモデルを適用して、仮想市街地を対象とした避難開始時刻決定モデルによる見逃しリスクの低減効果を検証している。結果、事前計画避難と勧告避難を組み合わせることで、事前にシミュレーションにより得た避難リスクの許容限界（許容リスク）を担保する避難開始時刻である安全避難開始時刻と同程度の時刻まで、許容リスクを満たすリアルタイム上の避難開始時刻を遅延化できることを明らかにしている。

第7章では、実市街地である東京都区部の一避難圏域を対象として、避難開始時刻決定モデルについて見逃しリスクの低減効果の検証を行い、第6章と同様な結果を得ている。また、避難開始時刻決定モデルと動的誘導経路を組み合わせることで、理論的限界である最遅避難時刻に対して、9割程度まで遅延化させることが可能であることを明らかにし、本研究のリアルタイム避難誘導モデルの優位性を示している。

最後に第8章において、本研究の結論及びリアルタイム避難誘導の体制づくりに向けた提言を述べている。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

地震火災時の避難誘導に関する先行研究では十分に検討されていない不完全情報下のリアルタイム避難誘導に関して果敢に挑戦した研究である。確率論、最適化、ネットワーク信頼性等の専門的知識を駆使して、不完全情報下における避難経路の導出とそのリスク評価について優れた成果を得ている。特に、上記の成果にとどまらず、これら一連の評価手法の与条件である避難開始時刻について、初期消火活動、避難支援や救助活動等に従事するリスクを負う人々の活動の限界時刻を示す命綱として、一定のリスクを許容した上での避難開始時刻を算出する手法を構築したことの意義は大きい。これらの成果は独創的で新規性があると評価でき、十分、博士論文の水準に達していると判断する。

### 【最終試験の結果】

令和3年1月25日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とリスク工学専攻における達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。