

氏 名	すず き けい いち 鈴 木 圭 一
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2632 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 都 市 環 境 工 学 専 攻
学位論文題目	多層ゾーンの概念に基づく煙流動予測モデルの開発と避難安全に関する 確率論的評価手法の研究

(主 査)  
論文調査委員 教授 吉田 治典 教授 田中 哮義 助教授 原田 和典

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、火災避難に関する防災設計で有益なツールの構築を目指し、多層ゾーン法に基づく煙性状予測モデルの開発と、確率論的な危険性評価手法の提案に関する研究成果をとりまとめたものである。

序章では本研究の背景および目的、既往の研究について述べ、さらに本論文の構成について論じられている。具体的には、現状の火災避難に関する防災設計の問題点として、2層ゾーンモデルなどの煙流動予測モデル、画一的な設計火源、確定論的な評価方法について論じ、さらにその解決策として、筆者が考案した多層ゾーン法による煙流動予測モデルの開発、より現実に近い設計火源の設定方法、確率論的な危険性評価手法について説明されている。

第1章では、おもに初期火災を対象とし、2層ゾーンモデルの簡易性と軽快性を持ち、多層ゾーン法により多数室に及ぶ鉛直方向の温度分布やガス濃度分布の非定常予測が可能な煙流動予測モデル (MLZ モデル) を提案している。まず基礎式から導いた本モデルの根幹となる各層の気体温度の鉛直温度分布を求めるゾーン方程式を導入し、さらに、気流や熱量の流動に関する理論式や、実験により導かれた式の組み合わせなどにより、火災現象を特定するための様々なモデル式が導かれている。とくに、火災プルーム、天井下気流、開口ジェットプルームおよび放射熱伝達などの計算の定式化では、多層ゾーンの特徴である高温層内の温度勾配による影響を取り込むなど、様々な工夫をすることで従来モデルに比べ高い予測精度や広い適用範囲を実現した。

第2章では、単室および複数室、長空間を対象とした非定常の実大火災実験との比較により温度分布などの予測精度の検証と評価がなされている。単室では区画内火災の定常状態の気体温度を6ケースについて比較し、気体温度および壁面温度はおおむね一致するが、開口幅の狭い場合に標準の開口流量の値では高温域の気流温度がやや高めに計算されることが分かった。複数室の実験では、室数および火源強度を変化させた5ケースについて、計測した気体温度、壁面温度、放射熱流束、気流速度の時間変化を予測値と比較した結果、時間遅れの影響があるものの、定性的には一致した。ただし壁面放射受熱量が大きめに予測されており、火炎からの放射計算に改善の余地があることが分かった。最後に長空間火災実験について4ケースの定常状態の気体温度を比較している。結果はおおむね10°C以内の差となり、よい一致を示した。

第3章では、従来の性能設計では画一的なものとなる設計火源を、「可燃物の燃焼実験データから設定する、より現実に合ったものとする方法が提案されている。また出火物から離れた可燃物が火炎や煙からの放射によって延焼するか否かを判定する計算法を示し、延焼を考慮した複数の火源からの発熱速度を設計火源することで煙流動予測をより実際に発生するであろう火災に近づける手法が提案されている。

第4章では、実務的な確率論的な避難設計のための危険性評価手法を提案されている。これは防火設備の奏功に基づき火災進展シナリオによる図式的なイベントツリーを作成し、分岐確率の積からパターンの発生確率を算出し、それに対応する被累積確率をもつ設計火源で煙流動シミュレーションを実施して、得られた避難許容時間が許容範囲内にあるかどうかを確認するという手法である。すべてのパターンで煙流動シミュレーションの結果、煙中避難が生じなければ、この避難計画に

おける危険性は許容水準以下となる。この手法は従来のモンテカルロ法に比べ、計算コストがはるかに小さく、あらゆる防火設備の奏功の組み合わせについて、明示的に危険性が許容水準以下であることが確認でき、総合的な計算結果のみが明示され個々の組み合わせが不明瞭になりやすいモンテカルロ法よりも明快である。またどのパターンで危険性が高いのかが明瞭で、どの部分に関わる計画を修正すればよいか容易に判断できる。ケーススタディとして、一般的な火災安全対策を実施した事務用途の建物の居室避難および階避難を対象として危険性評価を適用し、机ユニットを可燃物と想定した場合の延焼拡大計算も含めたMLZモデルによる煙流動シミュレーションと、避難検証計算法による結果とを比較し、危険性が許容確率を下回ることが確認されている。

最後に5章では、全体のまとめと、防災設計の実務に本研究内容を用いることを視野に入れたツールとして完成させるための今後の課題について述べられている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、火災避難に関する防災設計で有益なツールの構築を目指し、多層ゾーン法に基づく煙性状予測モデルの開発と、確率論的な危険性評価手法の提案に関する研究成果についてとりまとめたものであり、得られた成果は次の通りである。

1. 火災性状の解析手法の開発では、信頼性が高くかつ計算速度も速い、多層ゾーン法による煙流動予測モデルを開発した。これは、現在、一般的に多用されている2層ゾーン煙流動モデルに比べ、鉛直方向の温度分布やガス濃度分布が予測でき、精度や対象空間の適用範囲がより広いという利点がある。
2. 単室、複数室、通路状空間の火災実験データとの比較により、上記の予測モデルの精度と適用性を検証した。その結果、良い精度で鉛直方向の温度分布や流速分布、放射熱流束など、火災安全設計に必要な予測値が得られることを示した。
3. 火災安全性評価における火災強度に関して、従来から採用されている画一的なものではなく、実際の使用時を想定した可燃物から発熱速度を推定する手法を提示した。また、可燃物間の放射延焼モデルを構築して火災室全体の発熱速度を求めるといふ、より現実に近い予測手法も提示した。
4. イベントツリーと被累積確率による火災強度を用いて、従来のモンテカルロ法によるものに比べて計算負荷が小さく、実用的な危険性評価手法を確率論的に構築し、そのケーススタディの結果を示した。また火災統計をもとに、許容危険性の実用的評価手法を提案した。

以上、本論文は、火災時の避難に関する防災設計に利用する予測モデルの精度の向上を図り、より現実的な火源設定と評価の枠組みに基づいた安全性評価の手法を構築しており、建物の火災安全性の向上に大きく寄与する知見を得たものである。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。