

京都大学	博士 (工学)	氏名	新谷 祐介
論文題目	建築空間における初期火災拡大性状予測に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究では、室内の可燃物間の延焼拡大過程を考慮した初期火災性状予測モデルを提案し、模型実験によりその精度を検討している。予測モデルは、室内を上部層の煙と下部層の空気に分けて温度等を計算する二層ゾーンモデルをベースとし、火炎および煙層と室内表面間の対流および放射熱伝達、可燃物表面の燃え広がりを考慮した燃焼速度予測モデルを連成し、それらの相互作用を理論的考察に基づいて定式化した上で、実験によりその妥当性を検討したものである。</p> <p>論文は全部で7章から構成される。以下では、章ごとの成果を示す。</p> <p>第1章では、研究の背景とこの分野でのこれまでの知見を概説している。特に、可燃物の燃焼と室空間との相互作用の重要性を述べている。室内での可燃物の燃焼により生じた火炎や、室の上部に形成される高温の煙層は、放射の発生源となり室内の可燃物を加熱する。加熱を受けると可燃物の燃焼が助長され、煙層温度がさらに高くなる。その結果、燃焼速度が増加するようにフィードバックがかかる。その結果、ついにはフラッシュオーバーに至る。このプロセスを物理的に記述するモデルは、これまでのところ実用的に十分なものが提案されていなかった。そこで、外部放射（火炎や煙層から可燃物表面に到達する放射熱）により個々の可燃物の発熱速度が増加する効果と未着火の可燃物を予熱する効果を考慮した延焼拡大予測モデルを提案することを本研究の目的としたことが述べられている。</p> <p>第2章では、液体燃料火皿のように燃焼面積が時間的に変化しない可燃物を想定して、延焼拡大モデルの定式化を行っている。空間内の煙層高さや温度は、既存の二層ゾーンモデルをもとに定式化を行ったが、火炎、煙層および壁等の固体表面の間の放射熱伝達については、可燃物とほぼ同じスケールで表面を要素に分割し、要素間の相互放射熱伝達を考慮している。可燃物の燃焼速度に関しては、放射熱伝達計算により得られる可燃物への入射熱流（外部放射）により燃焼速度（燃料の蒸発速度）が増加することを考慮している。</p> <p>モデルの精度を調べるため、灯油を入れた火皿を模型室内に直列に並べて延焼実験を行っている。室の四周には、種々の深さの垂れ壁を設けて煙層下端高さや温度を変化させて、延焼時間の変化を調べている。その結果、煙層下端高さが低くなるに従って煙層温度が上昇し、各火皿の燃焼速度が増加し、火皿間の延焼時間が短くなった。</p> <p>提案した物理モデルに実験と同じ条件を入力して解析を行ったところ、煙層から可燃物表面への外部放射を考慮することで、実験結果と同じ傾向を再現することができた。</p> <p>第3章では、火炎から射出され可燃物に入射する放射熱の計算精度を実験的に検討している。実験では、一辺 250mm の正方形バーナーからメタンガスを燃焼させて、自由空間（天井や壁のない空間）および天井下空間（天井のみがある空間）において、床面に入射する熱流を測定した。このとき、火源の発熱速度と天井高さを変化させて、天井下に展炎する条件での測定を行っている。</p> <p>放射熱の計算においては、連続火炎域と間欠火炎域の形状を火炎基部は円筒で、天井下の展炎部は円盤で近似し、その大きさを発熱速度と天井高さにより表した。2つの領域からの放射発散度については火炎の巨視的燃焼性状から決まる放射発散割合か</p>			

ら求める方法を示した。この方法で計算した値は、実験値と3割以内の誤差であり、従来の方法に比べて大幅に精度が改善された。

第4章では、上部に煙層が形成される空間での固体可燃物の燃焼実験を行うとともに、既往の燃焼予測モデルに外部放射を考慮する改良を加えて、実験結果と比較した。可燃物としては、350mm および 600mm 角のウレタンブロックを用い、天井高さは 560～1200mm および天井無しの条件とした。実験結果より、天井高さが低くなるに従って、ウレタンブロックの鉛直面の下方燃え拡がり速度と単位面積あたりの燃焼速度が大きくなることを見だし、両者について煙層および床面から入射する外部放射との関係を定量的に示した。

解析においては、ウレタンブロックの燃焼予測モデルとして提案されている既往のモデルをベースとし、外部放射による燃え拡がり速度と単位面積あたりの燃焼速度の増加を考慮する方法を考察している。計算結果を実験結果と比較し、外部放射がウレタンブロックの発熱速度や煙層温度を増加させる影響をうまく説明できることを明らかにした。

第5章では、模型室内において、複数のウレタンブロック間の延焼拡大実験を行い、天井と周壁が延焼拡大速度に及ぼす影響を調べている。実験条件としては、ウレタンブロック間の離隔距離、ウレタンの密度、天井高さ、周壁の面数である。実験の結果、以下の性状が明らかになった。

延焼メカニズムとしては、火炎が未着火の可燃物表面に接炎して延焼する場合と、可燃物表面から発生した可燃性ガスが充満した部分に火炎片から引火して延焼する場合とがある。ウレタンブロックの離隔距離が小さいときに接炎、大きい時には引火により延焼する。接炎で延焼する場合には、天井高さの影響が小さく、引火で延焼する場合には、天井高さが低いほど延焼時間が短くなった。これは煙層から入射する熱流束により未着火の可燃物表面が予熱されるためである。

延焼したウレタンブロックは、煙層からの予熱の効果により着火後の燃焼面が急速に拡大した。その結果、燃焼速度の増加が極めて急激になった。また、延焼後は複数のウレタンブロックが近接して燃焼するため、単独で燃焼する場合よりも発熱速度が大きく増加した。

第6章では、第2章のモデルに、第4章の外部放射の効果と、第5章の実験から得られた予熱効果を加えた物理モデルを提案し、第5章の実験と比較して考察を行っている。延焼条件に関しては、接炎と引火のメカニズムの違いを考慮して、着火位置を設定する方法を示した。予熱による燃え拡がり速度の増加に関しては、延焼側ウレタンブロックの表面温度を各毎時で計算し、着火直前の表面温度によって燃え拡がり速度を設定した。

計算の結果、延焼直後にウレタンブロックの発熱速度が急増する現象を再現することができた。これにより、延焼前の予熱による燃え拡がり速度の増加を考慮すれば複数可燃物の延焼拡大過程を予測可能であることを示した。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、建築空間における初期火災拡大過程の物理モデルを提案し、実証研究を行ったものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) 室内における複数可燃物の延焼拡大過程を記述する物理モデルを提案し、複数の火炎、室上部に形成される煙層、天井および周壁から可燃物表面に入射する外部放射の影響を考慮して燃焼速度の増加を説明した。従来の研究では、燃焼速度の増加を定量的に説明することが難しかったが、本研究はこの問題に対して一つの解決方法を示したものである。

(2) 天井下に展炎する場合の放射熱の計算式を示し、実験によりその精度を確認した。火炎形状と放射発散度の計算を改善することにより、誤差は実験値の3割以内となり、従来の方法に比べて大幅に精度が改善された。

(3) 模型室内でウレタンブロックの燃焼実験を行い、煙層および加熱された床面から可燃物表面に入射する放射熱(外部放射)の影響を定量化した。その結果、燃え拡がり速度と単位面積あたりの燃焼速度の増加を考慮すれば、自由空間よりも発熱速度が増加する現象を説明できることを明らかにした。

(4) 複数のウレタンブロック間の延焼拡大実験を行い、延焼拡大のメカニズムを整理した。離隔距離に応じて接炎または引火のいずれかにより延焼時間を求め、延焼後の燃焼速度については、延焼時までの予熱による燃え拡がり速度の増加を考慮すれば良いことを示した。

このように、本論文は従来、予測が困難であるとされてきた室内における初期火災拡大過程の物理モデルを提案し、その精度を実験により実証したものである。この結果は、現実の建築空間における火災拡大シミュレーションの実用化を大きく前進させるものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。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。また、平成22年1月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。