

学 位 論 文 題 名

低給気状態の区画火災で発生するバックドラフト

学位論文内容の要旨

日本では、毎年37,000件前後の建物火災が発生し、約1,400人の死者を出している。火災の7割は住宅などの建物火災であり、うち多くは中高層建物以外の一般建物火災である。火災拡大防止の観点から、建築物の耐火性能の向上は重要である。

一方、北海道を代表とする積雪寒冷地では、寒さから身を守り、冬季間のエネルギー消費を抑ええる目的で、戸建住宅の耐火性能の向上と同時に気密・断熱性能が向上がみられた。

気密・断熱性の高い建築物で火災が発生した場合、火災性状は開口部からの空気流入に支配される。壁の断熱性が高いため、区画内は高温に保たれ、内在可燃物からは多量の熱分解ガスが発生する。また、気密性が高いため、発生した熱分解ガスは外部に散逸せず、区画内に蓄積する。この結果、区画内は高温で燃料過剰状態となる。

消防活動によってドアや窓が開けられるなどが原因で、燃料過剰状態の火災区画に開口部が生じた場合には、区画内に外気が流入し、バックドラフトと呼ばれる爆発的な燃焼が発生することがある。バックドラフトが発生した場合、区画から可燃性ガスが噴き出し、区画外部にファイアボール（球状火災）を形成する。この火災と爆風によって、消火活動中の消防隊員が死傷する場合もある。近年の住宅の高気密・高断熱化に伴い、バックドラフトの発生件数は増加するものと考えられ、消防活動に対する脅威となることが予想される。

本研究では、開口部が開放されているが、その寸法が小さいために低給気状態となり、区画内が燃料過剰状態となって発生するバックドラフトを取り上げた。一般的にはバックドラフトは開口部閉鎖状態の火災において、開口部を開放した結果生じるものを指す場合が多く、現在行われているバックドラフトに関する研究は、開口部閉鎖状態から発生するものを取り上げているのがほとんどである。しかし、低給気状態の区画火災において発生するバックドラフトは複数回連続して発生する場合があります、消火活動中の消防隊員に対してより重大なダメージを与えかねない。しかし、消防現場においては他の火災現象との混同も見られ、発生例が報告されないこともあり、研究はなされていない。

本研究は、低給気状態で発生するバックドラフトについて、その発生メカニズムを明らかにし発生防止に寄与するために行ったものである。

第1章「研究の背景と目的」では、本研究を行うに至った背景と目的を述べた。建物構造が高気密へと変化し、内在可燃物は樹脂のような多量の煙を放出する性質のものへ変化した。この結果、火災性状は激しく炎上する火災から多量の煙を放出する火災へと変化し、特に北海道のように高気密・高断熱住宅の普及した積雪寒冷地においては、バックドラフト発生の可能性が高まっている。バックドラフトの発生によって消防隊員が死傷した例もあり、消防活動中にバ

ックドラフトが発生することは大きな脅威である。よって、バックドラフトの発生メカニズムを解明し、発生防止策を確立することが求められている。本論文の目的は、バックドラフトの発生メカニズムの解明と、予測モデルの構築により、バックドラフト発生防止に寄与することである。

第2章「区画火災と燃焼現象」では、本論文で取り扱う区画火災と、区画火災の際に見られる燃焼現象について述べた。本研究で取り扱うバックドラフトは、低給気状態の区画火災で発生するバックドラフトである。バックドラフトは一般的に開口部閉鎖状態の火災区画において、開口部が生じた場合に発生するものと認識されている。しかし、低給気の開口条件でもバックドラフトは発生する場合がある。低給気状態で発生するバックドラフトは複数回の爆燃が連続して発生することから、極めて危険である。

第3章「木材の燃焼特性の把握」では、バックドラフト実験を行うにあたり、最も一般的な内在可燃物であり、バックドラフト実験を行う際に燃料として用いる木材について、燃焼特性の把握を目的として行った燃焼実験の結果について述べた。木材は外部からの熱供給により熱分解し、発生した熱分解ガスが燃焼する。熱分解の結果、残留炭素分が炭化層を形成し断熱効果を持つこと、成分が主にセルロース・ヘミセルロース・リグニンから成る混合物であることなどから、複雑な燃焼特性を持つ。大気開放下での燃焼実験と、バックドラフトの発生条件を想定した低酸素濃度下での燃焼実験を行い、重量減少、発熱速度、着火遅れ時間、酸素濃度変化を測定した。この結果をもとに、第5章ではシミュレーションモデルの構築を行っている。

第4章「バックドラフト実験」では、小型区画を用いたバックドラフトのモデル実験について述べた。初めに6畳間の1/3程度の大きさの小型区画を作成し、燃焼実験を行った。計17回実験を実施した結果、実験に使用した区画でのバックドラフトが発生する可燃物条件と開口条件を決定できた。次に観察窓付きの小型区画で実験を行い、バックドラフト発生時の燃焼状況について詳しく観察した。また、区画内の燃焼状態の定量化のため、区画内ガス温度の多点測定と区画内ガス濃度の測定、区画内に配置した可燃物の重量減少測定を行った。小型区画を用いた実験結果をもとに、開口部が開放された低給気状態で発生するバックドラフトについて、発生に至るシナリオを作成した。

第5章「バックドラフトのシミュレーション」では、バックドラフトに関するモデルの構築とシミュレーションについて述べた。区画火災のシミュレーションに際し、広く用いられているゾーン法による区画火災モデルに、可燃物が熱分解する場合の重量減少速度のモデルと自己消炎後の発熱速度に関するモデルを加え、バックドラフトのシミュレーションモデルを構築した。

熱分解に関するモデルは一次元熱伝導方程式により求めた可燃物の厚さ方向温度分布より、一次のアレニウス式により分解速度を算出するものであり、発熱速度モデルは酸素濃度と燃料濃度の項を含む一次のアレニウス式により反応速度を算出し、バックドラフトの発生を表現するものである。

第6章「シミュレーションの有効性の検討」では、第5章で構築したバックドラフトのシミュレーションモデルの有効性について述べた。第4章でおこなった小型区画でのバックドラフトと、実火災において発生したバックドラフトについて、実験と計算の比較を行い、本論文で構築したシミュレーションモデルについて、有効性を確認した。また、開口部形状・寸法がバックドラフトの発生性状に及ぼす影響について検討をおこなった。横長、縦長、ドア型の開口部を持つ区画のシミュレーションを行い、横長形状が最も小さい開口因子でバックドラフトが発生す

ること、バックドラフトの発生回数では、ドア型のものが最も多いことが予測された。

第7章「結論」では、本研究によって得られた結論と、今後の研究課題について述べた。バックドラフト発生前後には酸素濃度の急激な変化が見られ、バックドラフトの察知に重要である。また、バックドラフト発生前に見られる自己消炎と10分程度のくん焼期間は、燃焼反応の開始に十分な可燃性ガス・酸素濃度条件、温度条件を整えるための準備期間である。ゾーンモデルをもとにした簡易なシミュレーションによって、実用上十分なバックドラフト発生予測ができ、消防活動における開口設定および防御上の指針となる計算結果を得られた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	伊藤 献一
副査	教授	工藤 一彦
副査	教授	鏡 味 洋 史
副査	教授	繪 内 正 道
副査	助教授	早 坂 洋 史

学 位 論 文 題 名

低給気状態の区画火災で発生するバックドラフト

わが国において一般火災の多くは建物火災であり、住宅等の気密性、断熱性および耐火性能の向上は、建物内で火災が発生した場合、火災形態に新たな問題を引き起こしている。すなわち、気密性が高く、断熱性も高いと火災発生区画内は高温に保たれ、内在する可燃物からの多量の熱分解ガスの発生を招き、区画内に可燃性ガスが蓄積充満し高温でかつ燃料過多の状態となる。このとき消火活動によりドアや窓などが開けられ火災区画に開口部ができると、外部から区画内に外気が流入しバックドラフトの発生する危険性が高まる。バックドラフトは瞬間的に開口部から外部へ可燃性ガスが燃焼しながら噴出するので、消火活動にとり極めて危険な現象である。

従来バックドラフトに関しては区画開口部が閉鎖された状況から火災発生後に開口部が開いた状況での観察や解析は行われているが、はじめから区画開放部があり、ある程度の空気の流入を許しているような、低給気状態におけるバックドラフトに関してはほとんどそのメカニズムも解明されていない。しかも、間欠的にバックドラフトを数回繰り返すような現象は全く解析例が無く、消火活動の指針につながるような発生メカニズムの解明が急がれている。

本研究は、低給気状態で発生するバックドラフトについて、その発生メカニズムを明らかにするため、バックドラフトを伴う区画火災を小型区画によるモデル実験により再現し、多くの実験パラメータの中から繰り返しバックドラフトの生じる影響因子を絞り込み、その結果を統合しバックドラフト発生シナリオを作成している。一方、バックドラフトを想定した低酸素雰囲気において主たる可燃物である木材の燃焼特性を実験により明らかにし、これらの成果を基に低給気条件における区画火災のバックドラフトのシミュレーションモデルを構築している。このシミュレーションモデルにより小型区画火災実験および実火災例についてモデルの有効性を確認している。

本研究の主な成果は以下のように要約される。

はじめに、バックドラフト発生メカニズム解明の重要性と予測モデルの構築によりバックドラフト発生防止に寄与できることを述べ、本研究の目的と位置付けを行っている。つぎに、区画火災において従来は開口部閉鎖状態から開口部が生じた場合にバックドラフトが発生するものとの一般認識以外に、建物開口部を通し給気が行われている低給気状態においても、バックドラフトの生じる可能性のあることについて事例をあげ推測し、複数回のバックドラフトが間欠的に生じる危険性を指摘している。さらに建物火災の主たる可燃物である木材についてバックドラフトの条件下を想定した低酸素雰囲気における燃焼実験により燃焼特性を把握し、その結果をシミュレーションモデルに組み入れている。

実際に、低給気状態においてバックドラフトが生じるか否かに関して、1/3 規模の小型区画を用いて注意深い実験を行っている。可燃物の量、配置、および開口条件を変え発生条件を探り、区画内が燃料過剰の低酸素状態に近くなり自己消炎が生じ、その後も可燃性ガスの発生が続き、同時に開口部からの空気流入しその結果区画天井部分に燃焼可能な可燃性混合気が形成され、それが着火、火炎伝播するという一連のシナリオを明らかにしている。このシナリオを基に、シミュレーションモデルを構築している。ゾーン法による区画火災モデルに可燃物の熱分解と自己消炎に関するモデルを加えバックドラフトの間欠的発生状況を予測できるモデルをはじめて完成させたものである。

さらに、このシミュレーションコードを用いて、実験した区画火災や実火災に適応し、モデルの有効性を確認すると共に、開口部の形状、寸法とバックドラフトの発生予測例を提示し消防活動の指針策定等に十分このモデルが有効であることを示している。

これを要するに、著者は低給気状態における区画火災実験を通し、低給気バックドラフトの発生シナリオをはじめて明らかにし、そのシミュレーションモデルを提案したものであって、建築火災安全性、消火活動指針策定に有用な新たな知見を加えるもので、火災安全学、燃焼学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。