

# 日常と非日常の境界

教授 原田 和典

助教 仁井 大策

## はじめに

日本の都市人口率は、日本では92%、全世界平均で58%とされており<sup>1</sup>、今後さらに増加することが予測されます。都市空間の環境と安全のデザインは今後の全地球的課題です。都市に様々な活動が集積され、多くの人々が集住した空間では、人の移動や物の輸送に伴う効率が向上します。それゆえ、地球環境問題の最重要課題であるCO2排出量に着目すると都市化はある一定の限度内では合理的な選択肢となります。

その一方で、都市にはアスファルトやコンクリートに代表されるような人工的な材料でつくられた建造物が集積することになります。これらの人工的な材料は、日射吸収率が高く、熱容量が大きく、さらには保水性が無いものが多く、夏季に日射熱を吸収すると高温化します。これと、都市内の交通や居住および各種産業に伴って排出される人工排熱により都市は暑熱化します<sup>2</sup>。いわゆるヒートアイランドと呼ばれている現象です。現在の都市は、地球温暖化とヒートアイランドの二重の暑熱化が進行しており、これを抑制することは喫緊の課題となってきました。

地球温暖化に関与するとされている炭酸ガスの排出量は、その約3分の1が建築関連に由来し<sup>3</sup>、その多くは都市空間から排出されます。低炭素な循環型資源を使い、省エネルギーな都市空間の実現が強く求められています。建築に関わる分野では、伝統的には空調・照明などに関わる省エネルギーの努力がされてきましたし、今後引き続き様々な技術開発が進められると考えられます<sup>4</sup>。我々の研究室でも、エコボイドを利用した自然換気ビルや、自然採光建物の光・熱環境を調査し、建物の使用実況を踏まえた空調・換気エネルギーの削減方法を考えています。今後は、地球環境と都市環境の双方に優しい建築が求められます。例えば、従来は鉄やコンクリートでつくられてきたビルを木造でつくる試みは最近盛んに行われており<sup>5,6</sup>、木造が環境にやさしい建物の決定版と考える向きもあるようです。

都市空間の巨大化・複合化が進んだ今日では、災害も大規模・複合化する傾向があります。特に、これまであまり経験のない空間として、超々高層ビルや大規模地下空間などが多数建設される時代となりました。地震や台風などの自然災害への備えも大切ですが、火災時に安全を確保する方法も明示的に考えておく必要があります。特に、日常の使用において良かれと思ってやっていることでも、火災時の危険を増長することもあり、慎重な検討が必要です。省エネルギー等の日常のことは、その良否が毎日の電気代等に跳ね返ってくるので、結果がすぐに解りますが、火災時の安全性については実際に事故が起こってからでないとその良し悪しが判りません。

火災は日常生活の延長線上で起こるものです。日常と非日常に明確な境界線があるわけではなく、日常時の環境を考える時に非日常時のことも考えて建物を作っておく必要があります。また、非日常は普通に生活しているだけでは体験できない事柄な

1 世界・都市人口割合ランキング (IBRD 版) : <http://top10.sakura.ne.jp/IBRD-SP-URB-TOTL-IN-ZS.html> (2022/8 閲覧)

2 尾島俊雄, ヒートアイランド, 東洋経済新聞社, 2002

3 環境省, 2020 年度 (令和 2 年度) の温室効果ガス排出量 (確報値) について : <https://www.env.go.jp/content/900518858.pdf> (2022/8 閲覧)

4 空気調和・衛生工学会編, ヒートアイランド対策 都市平熱化計画の考え方・進め方, 2009 :

5 住友林業 (株), 筑波研究所 新研究棟完成「W350 計画」・「木と緑を科学する」研究拠点, ニュースリリース, 2019 年 10 月 21 日 : <https://sfc.jp/information/news/2019/2019-10-21.html> (2022/8 閲覧)

6 (株)大林組, 日本初の高層純木造耐火建築物をつくる : <https://www.obayashi.co.jp/thinking/detail/project69.html> (2022/8 閲覧)

ので、非日常の姿を予測することが学問的にも設計実務的にも大切なこととなります。本稿では、日常の環境設計と非日常の火災安全の境界にある研究課題を紹介し、日常と非日常をつなぐ環境制御方法を考えてみます。具体的には、下記の研究事例を紹介します。

- 空調等で使われる汎用温度センサーを利用した火災の早期感知とそれにかかわるエアコン吹き出し気流の影響を調べ、その利用可能性を検討したもの
- 廊下に噴出した煙が拡散しながら増大する様子を定量化したもの
- エコ建築として採用されるダブルスキン建築における火災時の煙拡散性状を調べ、日常の自然換気促進と火災時の煙拡散危険の関係を考察したもの
- エコマテリアルの代表として木材で建築をつくると、内装材料の燃え拡がりでのフラッシュオーバー危険が増えてしまうことへの警鐘
- 耐久性もあり地震にも強い高強度コンクリートが火災に弱いこと

# 小さな火災を見つけるために

助教 仁井 大策

## はじめに

火災から身を守るためには、火元が小さなうちに消火するか早くその場を離れるかしかない。いずれにしても、火災が成長する前に気づき行動を起こさないと、その脅威から逃れるのは困難となる。そのため、建築物には火災感知器の設置が義務づけられており、在館者の早期火災覚知が図られているが、それでも現在の建築火災における死者発生約半数は逃げ遅れである<sup>1</sup>。

より小さな火災を見つけるためには、天井に感知器を密に配置すると共に、火災を判別する基準を下げればよい。さらに、利用者の負担低減のためには、より低コストでこれらのシステムを構築することが望ましい。しかし、これらは簡単に実現できるものではなく、センサーの応答特性や非火災報の防止、さらにはエアコン等による日常的に生じている気流と火災熱気流との干渉、といった課題があり、これらを解決すべく検討した結果を紹介する。

## 汎用温度センサーを用いた火災感知

近年では、日常の温度範囲で使用する汎用の温度センサーが安価で普及してきている。これを火災感知に応用できれば、低コストで火災感知システムが構築できる。しかし、安価なセンサーは応答が遅い場合も多く、火災感知に適するかどうか不明である。そこで、実大規模の実験(図1)を実施し、小規模の火源から生じる熱気流を温度センサー並びに応答性の良い熱電対で測定して比較した。また、煙層内の火災気流温度<sup>2</sup>、流速<sup>3</sup>の予測式とセンサーの応答遅れを考慮したRTI-C'モデル<sup>4</sup>を組み合わせてセンサー温度の推定を試みた。図2に示すように、推定結果は実験結果と良好な一致を示し、この手法を用いれば汎用温度センサーでも火災感知が可能であることを示した。



図1 天井近傍に配置したセンサーでの火災気流の測定  
(平成28年度東京理科大学共同利用・共同研究による実験<sup>5</sup>)

1 消防庁：令和3年版消防白書, <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/r3/63931.html>

2 渡邊純一, 下村茂樹, 青山洋一, 田中孝義, 二層ゾーンモデルとAlpertの式の併用による天井流温度予測～ISO試験火災による比較検証～, 平成12年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.60-63, 2000.

3 Alpert, R. L., Calculation of Response Time of Ceiling-Mounted Fire Detectors, Fire Technology, Vol.8, pp.181-195, 1972.

4 Heskestad, G., and Smith, H. F., Investigation of a New Sprinkler Sensitivity Approval Test: The Plunge Test, Factory Mutual Research, FMRC Serial No.22485 RC 76-T-50, 1976.

5 Daisaku Nii, Mai Namba, Kazunori Harada, Ken Matsuyama and Takeyoshi Tanaka, Application of Common-use Temperature Sensors to Early Fire Detection, Proceedings of 11th Asia Oceania Symposium on Fire Safety Science, 2018

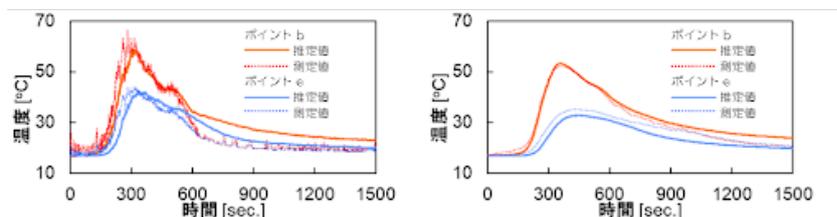


図2 天井近傍の火災気流温度（左）とセンサー温度（右）の推定結果  
（ポイント b は火源近く、ポイント e は火源から遠い測定点を示す）

また、これらのセンサーを用いて、居室内の温度を常時モニタリングすることで日常の使用実態によって生じる温度変動のパターンを把握しておき、日常からの逸脱を異常として検知できれば、非火災報が少なく迅速な火災感知が可能になると考えられる。

### エアコン気流の干渉

火災が小さいうちは生じる熱気流も弱く、日常的に生じている気流に影響を受ける。特に、冷房空調時には天井面に沿って冷風を吹き出すことが多く、火災気流が分散されるとセンサーで感知できなくなる。そこで、数値流体解析や実大実験を実施して、その影響を調べた。

図3は数値流体解析の一例である。室中央に設けられたパッケージ型エアコンからの冷風が火災気流を押し返しており、この範囲にセンサーを設置しても日常的な温度変化しか示さないことが分かる。これらの結果を用いて、火源の規模とエアコンの吹き出し風速及びそれらの離隔距離から火災気流が到達できる範囲を推定することが可能である<sup>6</sup>。

6 藤本航輔, 仁井大策, 原田和典, 火災初期の天井流に及ぼす空調吹き出し気流の影響に関する研究, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.70-71, 2019

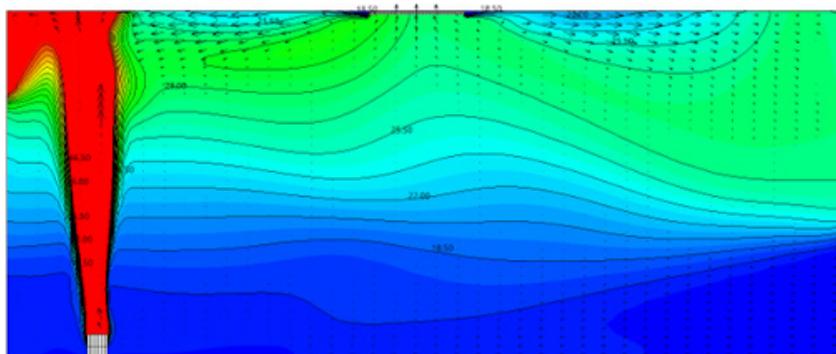


図3 エアコン気流による火災気流への干渉の数値流体解析  
（図上端の中央にパッケージ型エアコンを設置し、天井面に沿って冷風が吹いている状態）

# 廊下を流れる煙と空気の境界

助教 仁井 大策

## はじめに

火災時の煙は周りの空気よりも高温なので、温度成層を成し、天井に沿って流動していく。一般的な空間では、火災初期の煙と空気との境界面が目視できる程度に強く成層化する。しかし、周壁や天井に熱を奪われると、温度成層が弱まり、下部の空気と混合しやすくなる<sup>1</sup>。特に、地下街や廊下のように煙の流動距離が長くなる空間では、この傾向が顕著になると考えられ、避難に重大な影響を及ぼす恐れがある。そこで、模型実験を実施し、煙の流動・降下性状を明らかにするための検討を行った。

1 新田勝通：建築火災における煙流動予測に関する研究，京都大学博士論文，1994

## 模型実験による煙の測定・可視化

図1の実験模型を作成し、電気ヒーターで温めた空気を煙とみなして、その温度・流速を測定すると共に、白色のトレーサー粒子（霧化した工業用オイル）で熱気流を着色し、様子を見たい断面にシート状レーザーを照射して、煙の流れを可視化した。

図2は廊下中央部の流れ方向の断面（図1中の黄色の断面）を可視化した画像である。写真左から流れる煙が渦を巻きながら空気と混合している様子が見て取れる。一方、廊下中央部で模型を輪切りにした断面（図1中の青色の断面）では、図3に示すように、煙が壁面に沿って下降している。これは、周壁により冷却された煙が下向きの浮力を受けたためであり、下部の空気が煙で汚染される一因になり得る。下降する煙に挟まれた廊下中心軸付近では、渦の様子が時々刻々と変化しており、天井面近傍で激しい混合が起こっていることが確認できた<sup>2</sup>。

2 森口友寿，島山侑己，仁井大策，原田和典，廊下状空間における煙流動性状に関する実験的研究その1実験の概要と目視観察結果，日本火災学会研究発表会概要集，pp.55-56，2020

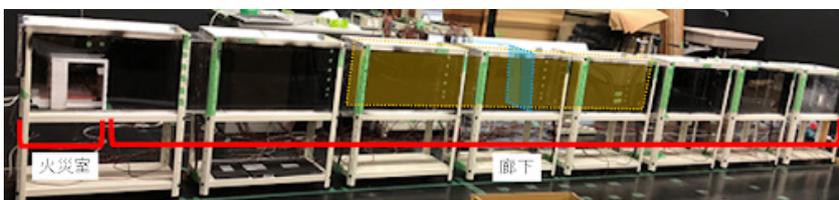


図1 廊下の実験模型

（長さ 5.6m の 1/10 スケール模型。電気ヒーターで熱気流を再現し、写真右端の開口から可視化用レーザー光を照射して可視化）

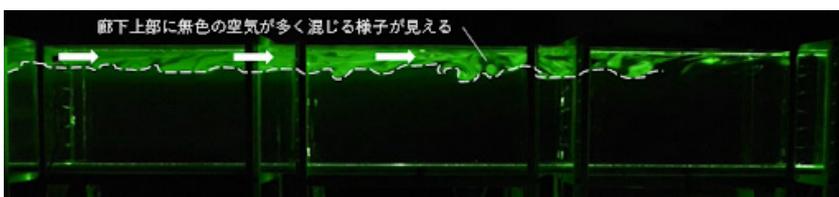


図2 廊下の天井下で空気を巻き込みながら流れる煙

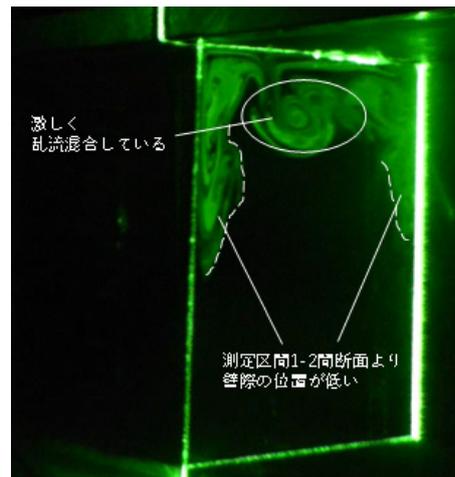


図3 壁面に沿って下降する煙

### 境界面降下のモデル化

一般に成層化した流体の境界安定性は勾配リチャードソン数  $Ri = g \beta (\partial \Delta T / \partial z) / (\partial v / \partial z)^2$  に依存することが知られている<sup>例えば3</sup>が、これは局所的な量であり、流れ全体を対象とするため、高さ  $h$  の煙流入口での温度上昇値  $\Delta T$  と流速  $V$  の勾配の比を表す  $Ar$  数（アルキメデス数）

$$Ar = g\beta \frac{h\Delta T}{V^2}$$

を用いて煙降下高さを分析した。 $g, \beta$  はそれぞれ重力加速度、熱膨張係数である。煙層の質量収支式に対して煙と空気の混合量を  $Ar$  数の関数として表し、次元解析により煙降下高さ  $\Delta d$  を煙流動距離  $y$  と  $Ar$  数の関数として

$$\frac{\Delta d}{H} = 0.136 \left[ \frac{(y/H)}{Ar^{1/2}} \right]^{2/3}$$

と求めた。ここで、 $H$  は廊下の天井高さ [m] である。その結果を図4に示す。煙降下高さをおおむね予測することができてはいるが、実験データのばらつきも大きい。煙層と空気層との混合量や壁面での下降流をより詳細にモデル化すると共に、廊下両端の開放性や空気の流入条件も考慮した予測モデルの構築を目指している。

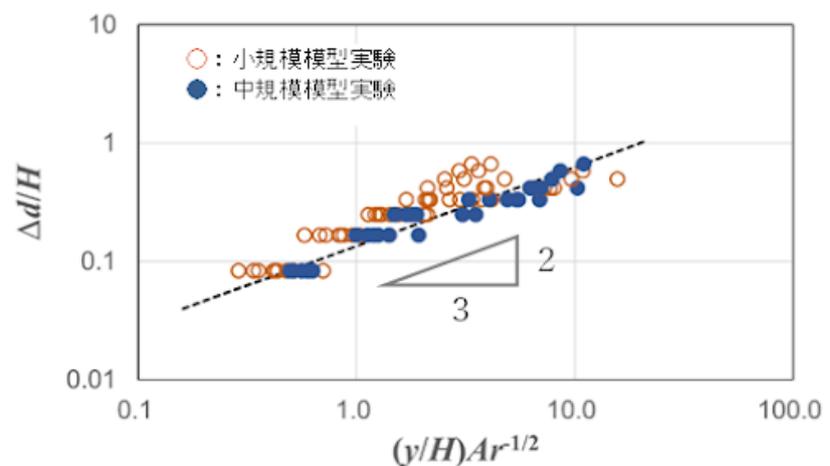


図4 煙の流動距離に対する降下高さ

3 J.S. Turner, Turbulent entrainment: the development of the entrainment assumption, and its application to geophysical flows, J. Fluid Mech. 173, 431-471, 1986

# ダブルスキン建築における煙拡散性状

助教 仁井 大策

## はじめに

近年、SDGsをはじめとして世界的に地球環境への意識が高まっている。そのような潮流は建築の分野においてもみられており、建物の環境負荷低減や室内空気質の向上を図ると共に、省エネルギーを実現するために、自然換気をはじめとしたパッシブ技術を積極的に取り入れたエコ建物が増加している（図1）。

自然換気は、風力や温度差を駆動力として、外気を取り込み、室内の汚れた空気を排出するものであるが、空気の通り道は火災時には当然ながら煙の通り道となる。特に、温度差換気では、複数階を接続するダブルスキンやエコボイド等の縦長の空間を空気の通り道として利用するため<sup>1</sup>、ここに煙が入ると上層階への煙拡散を助長する恐れもある。その一方で、うまく制御すれば排煙塔として効率よく煙を排出できる可能性もある。そのため、自然換気システムの一つであるダブルスキンファサードを対象として、火災時にどのような煙流動性状になるのかを予め検討しておくことが重要である。

1 (一社)日本建築学会, 実務者のための自然換気設計ハンドブック, 技報堂出版, 2013

## 模型実験

実験室内にて、5層のダブルスキン建築を模擬した実験模型を作成し、熱気流性状を測定した。図2は実験模型の写真であり、最下層に電気ヒーターを設置して煙の流れを再現した。煙の温度や開口部寸法、ダブルスキン頂部の形状等を実験条件として、ダブルスキン内の温度や流速分布、上層階への煙流入性状を測定した。

図2では模型写真の他に、PIV (Particle Image Velocimetry) システムにより測定した流速分布を載せている。このシステムは、連続的に撮影した映像を処理することで断面全体の流速分布を計測するものであり、従来の風速計による測定よりも詳細な流速分布が得られ、これをもとにダブルスキン部の煙の流れ、特に居室部とダブルスキン部の間での煙の流入性状の分析を進めた。



図1 ダブルスキン建築の事例

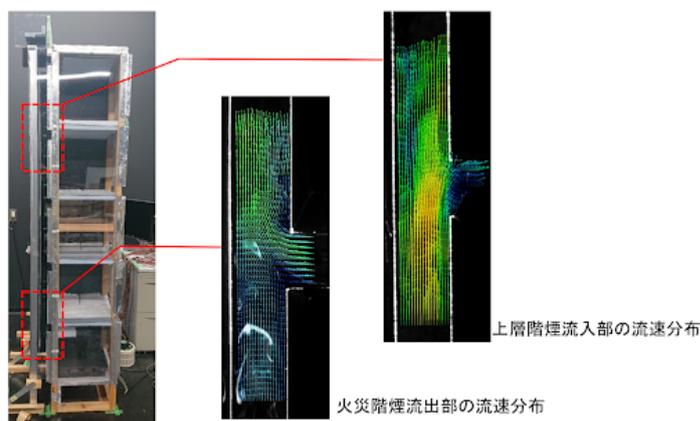


図2 ダブルスキン実験模型とPIVによる流速分布の測定  
(流速分布は色が赤くなるほど流速が大きいことを示す。カラーの図をWeb版に掲載。)

## ダブルスキン部の温度予測

ダブルスキン部における煙の流れの駆動力も温度差なので、ダブルスキン部の温度予測手法を自然換気と同様に考えて提案している。

まず、ダブルスキン部を排煙塔として利用する場合、温度分布は流出した煙が対面するスキンに衝突する前後で異なることが実験から分かったので、それぞれの性状を熱収支及び質量収支からモデル化し、実験式を作成した(図3)<sup>2</sup>。

次に、ダブルスキン部と上層階居室が開口部で接続されている場合は、居室部への気体の流入を考慮するため、換気回路網計算を行い温度分布と圧力分布を求めた。この際、ダブルスキン部の壁面での摩擦による圧力損失だけでなく、気流の合流/分岐部での圧力損失も考慮している。その結果は図4に示すとおりであり、単純な開口部条件ではあるが、実験値と非常に良い一致を示す結果を得た<sup>3</sup>。

2 宮本康平, 南雄太, 仁井大策, 原田和典, ダブルスキン内煙流動性状の測定と簡易予測 - その3 中空層内温度分布簡易予測式の構築 -, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.158-159, 2021

3 仁井大策, 原田和典, ダブルスキン内煙流動性状の測定と簡易予測 - その4 上層階への煙流入量の予測 -, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第62号, pp.165-168, 2022

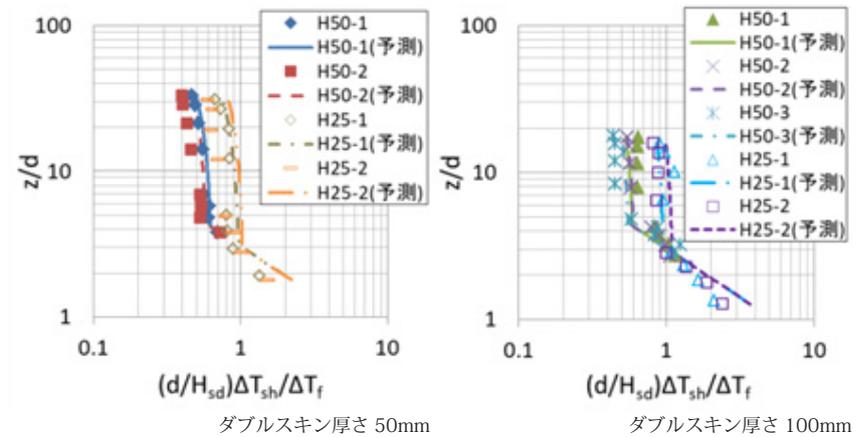


図3 頂部開口のみから煙を排出する場合の温度分布  
(図の縦軸は高さ、横軸は温度を無次元化したパラメータである)

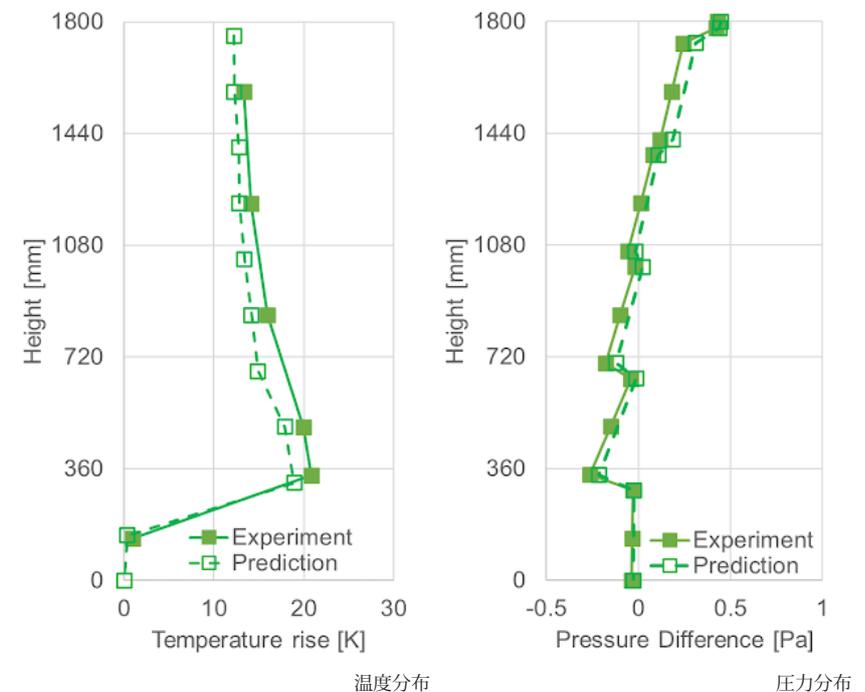


図4 換気回路網計算による温度/圧力分布の予測

# 可燃内装材の燃え拡がり

教授 原田 和典

## はじめに

近年は木造建築がブームとなっており、従来のような住宅に加え、オフィス、物販店舗、学校などを木造でつくる事例が増加している<sup>1</sup>。木構造としての技術開発が進み、大スパンのものが建てられるようになったことに対応し、火災安全の分野でも準耐火構造の技術開発が進みバリエーションが増え、さらには燃え止まり型や被覆型の耐火構造の開発も行われている。そのため、木造建築の大型化がさらに進むことが予想される。

構造躯体の耐火性の基準がクリアされ、構造体を木造でつくるのであるから、内装にも木材を現して使いたいという要望が出てくるのは自然なことである。また、鋼構造やRC構造の建物であっても、せめて内装を木質仕上げとしたいと考える場合も多い。しかしながら、建築物の避難安全のことを考えると、可燃性の内装材は危険である。そのため、建築基準法では内装制限の規定があり、一定規模以上の建物の内装には、不燃材料、準不燃材料もしくは難燃材料の使用が義務付けられ、大規模な建物の内装には木材が使えない<sup>2</sup>。実務的には、内装制限の規定がかからない範囲でなんとか設計しているのが実状である。エコマテリアルの利用促進という観点では、木材利用を促進したいところだが、火災時の避難安全のことを考えると慎重にならざるを得ない。日常と非日常で要求事項が背反する典型的な問題である。

## 木質内装の燃焼実験

図1は、合板を内装材として約1.8×1.8×1.8mの部屋の模型をつくり、燃焼実験を行った結果である<sup>3</sup>。合板は厚さ9mmのものを室の壁2面に施工してある。天井と残り2面の垂れ壁は不燃材で仕上げている。可燃物量としてはそれほど多くないのであるが、実際に火をつけてみると大変激しく燃える。(a)隅角部に点火した後、最初のうちは(b)のように比較的ゆっくりと上方に燃え拡がる。天井面に達した炎は壁との取り合い部に沿って展炎して壁の上部を燃焼させる。この実験では天井面が不燃材なのでそれほど酷いことにはならない。しかし、暫くして合板の裏側（非加熱側）まで熱が伝わり温度が上昇すると、合板の全厚から高温の可燃ガスが発生して室上部に蓄積する。これが(c)のように空気との界面に引火すると、ごく短時間で(d)のようなフラッシュオーバーに至る。(c)から(d)への変化は非常に早いので、(c)の状態を見て危ないと思ってから逃げ始めてもフラッシュオーバーに巻き込まれてしまう危険性が高い。

木質内装を使うときには、内装制限にかからない範囲に限定するのは法律上は当然のことであるが、そうであっても可燃内装には急速なフラッシュオーバーの引き金になる危険が潜在している。このことを踏まえ、内装制限がかからないから安全であると勘違いしないようにしてほしいものである。

- 1 (一社)木を活かす建築推進協議会, 木造建築のすすめ, (財)日本住宅・木材技術センター, 2009
- 2 (公財)PHOENIX (木材・合板博物館) 内装木質化ハンドブック～内装制限を読みとく～, 2014
- 3 小宮祐人, 大上尊子, 原田和典, 初期火災における内装の燃焼拡大性状に関する研究, GBRC ((一財)日本建築総合試験所機関誌), 47(3), 2022/7



(a) 0分：室の隅角部に点火



(b) 4分：上方への燃え拡がり



(c) 15分：高温の未燃ガス層の下端に引火



(d) 18分30秒：フラッシュオーバーの発生

図1 合板内装の中規模燃焼実験  
((一財)日本建築総合試験所 自主共同研究  
による実験)

## 内装の燃え拡がり予測

それでは、木質内装を安全に使うためにはどうすればよいのだろうか。一つの鍵は、内装の燃え拡がり予測である。フラッシュオーバーの引き金にならない範囲で内装を木質化すれば安心である。そのような目的のため、多くの研究者により燃え拡がり予測モデルが提案されてきた。筆者らの研究室では、建築の火災安全設計の実務でも使えるように、図2に示すような簡略化したモデルを検討している<sup>4</sup>。実験との定量的な比較検討は今後の課題であるが、このモデルを利用して6畳間ほどの室の壁と天井を合板にした場合の予測を行うと図3の結果となり、3分半ほどでフラッシュオーバーに至ることが示される。天井を不燃材にする、壁の一部を不燃材にするなど、適切な抑制策が望まれる。

4 池松由良, 原田和典, 仁井大策, 鍵屋浩司, Quintiere モデルによる内装材料の燃え拡がり予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 環境工学, pp. 759-760, 2021年9月

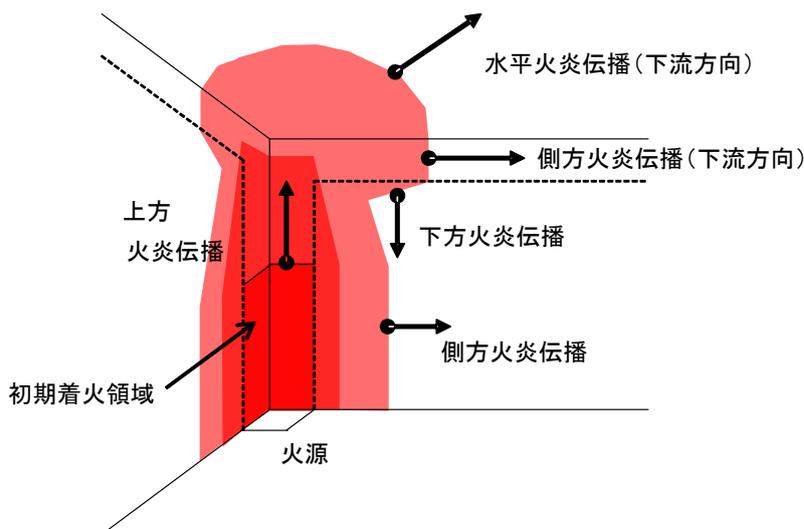


図2 内装燃え拡がりのモデル (文献5に基づき一部改)<sup>5</sup>

5 Quintiere J. G., A Simulation Model for Fire Growth on Materials Subjected to a Room-corner Test, Fire Safety Journal, 20, pp. 313-339, 1993

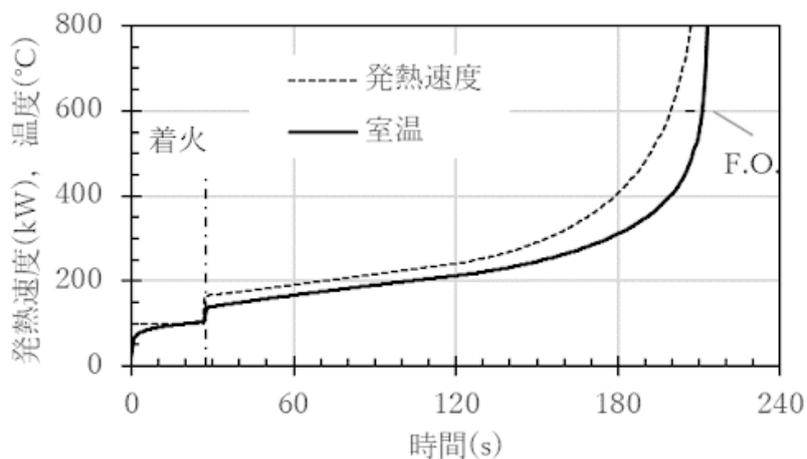


図3 可燃内装の燃え拡がり予測結果の例 (文献6に基づき一部改)<sup>6</sup>

6 (一社)日本建築学会, 建築物の火災荷重および設計火災性状指針, 2022年3月

# 高強度コンクリートは火災に弱い

教授 原田 和典

## はじめに

コンクリートを調合する際に、AE 減水剤などを使って練混ぜ水を減らすと組織が密実になり、高強度のものがつくれることはよく知られている<sup>1</sup>。強度が高いと、柱や梁といった構造体の寸法が小さくなりスレンダーな建物を建てることができる。しかも、組織が密実なので、中性化に対する抵抗力が大きく、耐久性も高い。良いことばかりのように聞こえる。

しかし、困ったことに、高強度コンクリートは火災に弱いのである。常温で強いものが高温に弱いということはよくある。コンクリートに限らず、鉄筋や鋼材も常温での強度を高めた高強度鉄筋や高強度鋼材では、高温になると強度が大きく低下して、通常の鋼材と変わらなくなるものが多々ある。常温強度を上昇させるための熱処理や機械的鍛造処理の効果が、火災の熱で抜けてしまうからである。構造材料の選定や開発においては、まずは日常での使用性、地震時の耐震性などが考慮されるが、火災時の耐火性については、忘れられがちである。そのため、折角開発してきた構造材料であっても、耐火性に問題があって実用が制限されるものも少なくない。材料開発においても、日常と非日常を連続して考える事が求められる。

1 日本建築学会編、高強度コンクリート施工指針・同解説、2013

## 高強度コンクリートの爆裂

コンクリート強度が高くなるほど爆裂が起こり易くなることは、多くの研究者により調べられている。例えば、図1に示す実験結果は、強度の異なるコンクリートシリンダーを作成し、これをISO834の標準加熱曲線により30分間加熱して爆裂の程度を調べたものである<sup>2</sup>。水セメント比が小さく圧縮強度が高いほど爆裂が顕著に発生している。柱、梁等の実寸法の部材においても、コンクリート強度が高くなるほど爆裂が激しくなる事が知られており<sup>3</sup>、建築の実務においては、ポリプロピレン短繊維等を混入して、爆裂を抑制している<sup>4</sup>。

2 李在永、高強度コンクリートの火災時の爆裂現象における空隙圧力と熱応力に関する実験的研究、京都大学工学研究科博士論文、2016/3

<https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/215525>

3 森田武、耐火性に優れた超高強度コンクリート「AFRコンクリート」、建築コスト研究、42、pp.48-52、(財)建築コスト管理システム研究所、2003

4 森田武、西田朗、刑部章、河内二郎、耐火性に優れた超高強度コンクリートの仕様と施工、コンクリート工学 Vol.39, No.11、日本コンクリート工学協会、2001年11月

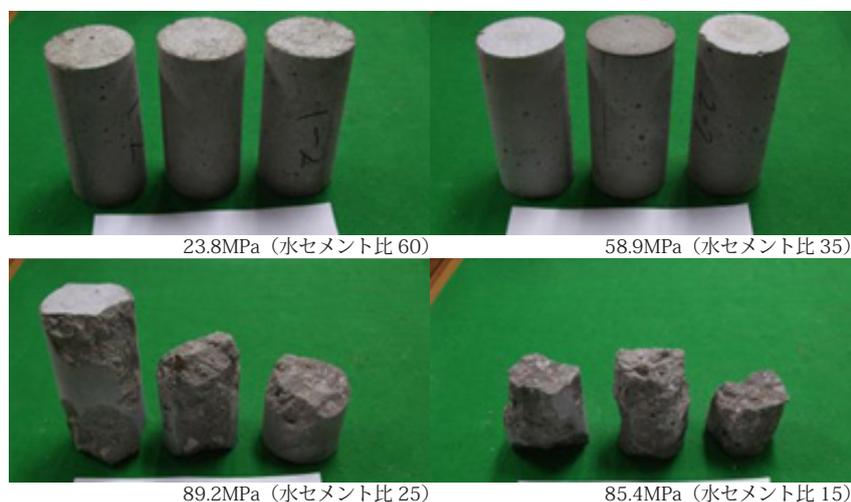


図1 コンクリート強度による爆裂性状の違い

## 爆裂のメカニズム

では何故、高強度コンクリートは爆裂するのであろうか。そのメカニズムは、コンクリートの高強度化の歴史と合わせて古くから考察されてきたが、定説は定まっていない。コンクリート中の粗骨材の種類によっては、骨材そのものが加熱により爆裂し、これがコンクリートの爆裂を引き起こすとする骨材説や、コンクリート中の水分が加熱により蒸発し、そのときの蒸気圧がコンクリートの表層部を吹き飛ばすとする水蒸気圧説、表層部と中央部の温度差により表層部が膨張し、内部が膨張を拘束するために生じる熱応力説などが並立している。

筆者らは、このうち水蒸気圧と熱応力の合力により爆裂が生じるものとして図2のようなモデルを考え、数値解析による解明を試みているが、明確な結論にはまだ至っていない<sup>5</sup>。

5 Keisuke Terada, Jaeyoung Lee, Masahiro Yamazaki and Kazunori Harada, Numerical Analyses of Pore Pressure Rise and Thermal Stress in Concrete Cylinders of Various Strengths during Fire exposure, Fire Safety 2017, pp. 21-37, Santander, Oct., 2017

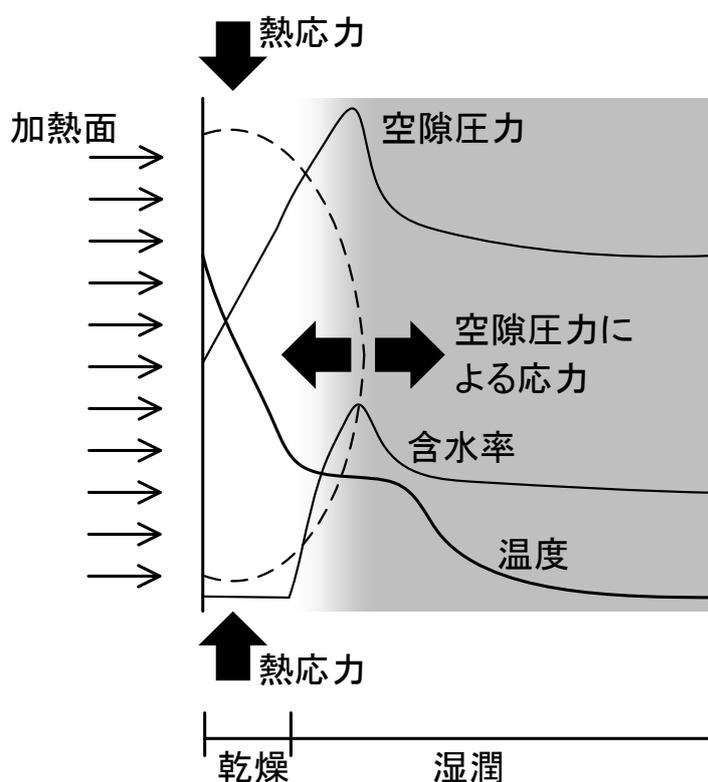


図2 高強度コンクリートの爆裂メカニズムに関する仮説