

グリーンビルディングの火災安全に関する研究
防火研究グループ 主任研究員 鍵屋浩司

グリーンビルディングの火災安全に関する研究

防火研究グループ 主任研究員 鍵屋 浩司

目次

- I はじめに
- II 研究の背景と目的
 - 1) グリーンビルディングと火災安全
 - 2) 研究の目的
- III ダブルスキンの火災安全性の評価に関する実験的検討
 - 1) ダブルスキンの火災安全性に関する課題
 - 2) ダブルスキンを通じた煙の侵入
 - 3) ダブルスキンによる上階への延焼促進
- IV 木質内装の火災安全性の評価に関する実験的検討
 - 1) 木質内装のニーズとその火災安全性に関する課題
 - 2) 木質内装の貼り方によるフラッシュオーバーの遅延効果
- V おわりに
 - 参考文献

I はじめに

近年、地球温暖化をはじめとする環境問題を背景に、持続可能な社会に向けた建築の考え方として「グリーンビルディング」が世界的に普及している。これは省エネや省資源、低炭素等による環境負荷低減や健康に配慮した建築物といわれており、その要素として従来の建築とは異なる空間や設備、構法、材料等が積極的に使われている。その一方で、これらの火災時の挙動に関する想定が十分になされていない可能性も考えられる。

そこで建築研究所では、平成26年度から2年間にわたり重点課題「グリーンビルディングに用いられる内外装の火災安全性評価技術の開発」において、グリーンビルディングについてどのような火災安全上の懸念があるのかを示し、その中でも影響が大きいと考えられる問題を抽出した。本研究では、ダブルスキンによる煙の侵入や上階への延焼促進、木質内装の貼り方によるフラッシュオーバーの遅延効果について取り上げた。

そして、火災時に想定されるこれらの問題を模型・実大スケールで実験して、その火災安全性に対する影響や対策を設計段階で検討できるようにするための評価手法を開発している¹⁾。

II 研究の背景と目的

1) グリーンビルディングと火災安全

グリーンビルディングの定義は現在のところ国際的にも統一されておらず、国によってその解釈は異なっているものの、概ね「環境や人に優しい建築」という解釈となっている。

例えば、米国環境保護庁(EPA)によると²⁾、エネルギー、水、その他資源を効果的に使い、廃棄物や汚染・環境劣化を削減し、居住者やビル内で働く人の健康と生産性を高めることにより、環境や人体への負荷を削減するように設計された建築とされている。

「グリーンビルディング」という言葉は1990年頃から欧米で使われるようになったもので、もとは1980年代後半の原油価格高騰により、省エネ化を指向した建築物を指していたものが、その後、地球環境問題やQOL(生活の質)への意識の高まりといった社会動向を背景に、それが意味するものが多様化したものと考えられる。

グリーンビルディングの要素として、自然エネルギー等の再生可能エネルギーの活用や新素材による断熱性能の向上、設備

機器の技術革新などによる省エネルギー、木材等の自然素材の利用、リサイクル材の活用などがある。

具体例として、建築空間の高断熱化のための様々な断熱材の開発、煙突効果による自然換気を活用したダブルスキンや高層建築のアトリウムのようなボイド空間、ヒートアイランド対策のための屋上・壁面緑化、建築物の内外装における木材などの自然素材の活用、屋根や外壁一体型のPV（太陽電池）や燃料電池のための水素利用や、バイオマス発電のための木質ペレット等の燃料の使用があげられる。

しかしながら、グリーンビルディングに用いられるこれらの要素は、建築物に導入されたときに建築物全体での火災安全性について明確になっていないものもある。火災安全の観点から出火源や収納可燃物、煙の拡大経路、延焼拡大の経路となる可能性も指摘され、環境性と火災安全性の双方を損なわずに両立させることが国際的な課題となっている³⁾。

2) 研究の目的

以上の背景をふまえて、省エネ効果のあるダブルスキンについては、その構造上、煙の拡大経路や延焼拡大の経路となる可能性があり、木質内装については、目に見えるかたちで内装を木質化する需要に対して、それが室内の火災の延焼拡大を促進する可能性が見込まれるが、これらが発生しうる条件は明確でない。そこで、火災時に想定されるこれらの問題を模型・実大スケールで実験して、その火災安全性に対する影響や対策を設計段階で検討できるようにするための評価手法を開発する。

III ダブルスキンの火災安全性の評価に関する実験的検討

1) ダブルスキンの火災安全性に関する課題

ダブルスキンとは、ビルの外壁の外側に隙間（中空層）を空けてガラスのカーテンウォールを設けたもので、外壁部分をインナースキン、その外側のカーテンウォールの部分をアウトースキン、これらを合わせてダブルスキンと呼ばれている（図1）。

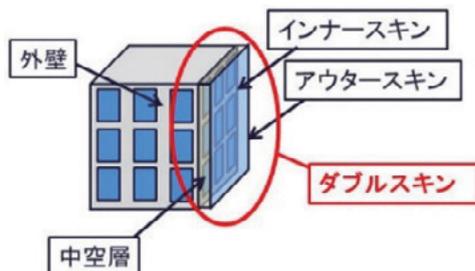


図1 ダブルスキンの構成

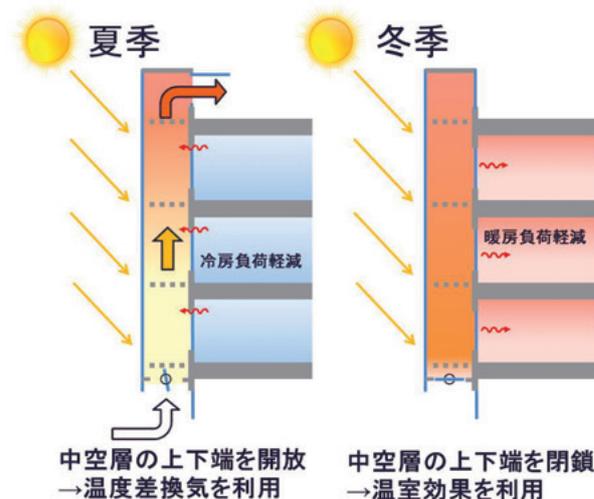


図2 季節によるダブルスキンの中空層の働き

夏季を中心に日射により中空層内で温められた空気の上昇気流（煙突効果）による自然換気を行い、冬季は中空層内の空気の流れを止めて日射による温室効果（図2）を利用してビルの空調負荷の軽減を図るもので、例えば年間15%前後の省エネにつながると言われている。

ダブルスキンの中空層は、煙突効果や温室効果によって空調負荷の軽減に効果があるが、中空層が複数層にわたって連続した堅穴を形成している場合、火災時には煙突効果によって火災室からビル全体への煙の拡大経路となるほか、火災室から噴出した火炎が上方に伸びやすくなり、一般的なビルと比べて上階への延焼を促進する可能性が考えられる。

そこで、本研究の実験条件設定の根拠にするために、実際に施工されたダブルスキンの中空層の厚さや中空層の高さ（中空層が何層にわたって連続した堅穴が形成されているか）、ダブルスキンに用いられるガラスの種類等について調査した。

調査方法は、（一社）日本建設業連合会の耐火構造研究会委員を対象に、委員各社が設計・施工したダブルスキンのガラスの種類や中空層の厚さ等の仕様についてアンケート調査を行った。回答が得られた19物件について以下に結果を示す。

中空層の厚さと高さ

中空層の厚さは600mm以上900mm未満が最も多く、次いで300mm以上600mm未満だった。中空層は主に単層で区切られており、次いで2層で区切られているものが多かった。ダブルスキンの上端から下端まで一体の堅穴を形成しているものは5件（全体の1/3）見られた（表1）。

表1 ダブルスキンの中空層の厚さと高さ

中空層の高さ		中空層の厚さ (mm)					
		0-300未満	300-600未満	600-900未満	900-1200未満	1200-1500未満	1500-1800未満
単層		3*	4	2*			1
複数層	2層	1		3**			
	3層			1			
	4~6層						
	7層以上(全層一体)		1	3		1**	

*他と重複あり(1件) **グレーティングによる仕切りを含む

ガラスの種類

アウトースキンに使われるガラスは、ほとんどが単板ガラスだった。インナースキンについては、Low-E 複層ガラスが最も多く、次いで単板ガラスだった (表2)。

表2 ダブルスキンを構成するガラスの種類

アウトースキン	インナースキン		合わせガラス	Low-E複層ガラス	その他
	単板ガラス	合わせガラス			
	10mm未満	10mm以上			
単板ガラス	10mm未満	1*		2	
	10mm以上	3	1*	10*	
合わせガラス				2	
Low-E複層ガラス				1	
その他					1

*他と重複あり(2件)

Low-E 複層ガラスは、ガラスを複層にすることで断熱性を高め、さらにガラス表面に付けた金属膜により熱(赤外線)を反射して夏には日射熱の侵入を防ぐほか、冬には室内からの熱の放出を防ぐことで、省エネ効果を高めたものである (図3)。

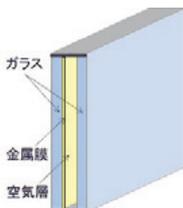


図3 Low-E 複層ガラス

ダブルスキンの換気方式

多くは中空層が外気に対して常時開放されていた。中空層と室内との換気方法は自然換気が主流だった。中空層が外気に対して常時閉鎖されているものは2件あり、いずれも室内との換気方式は機械換気だった (表3)。

表3 ダブルスキンの外気・中空層・室内それぞれの換気方法

室内・中空層間換気	外気・中空層間換気		その他・無回答
	常時開放	常時閉鎖	
自然換気	11		1*
機械換気	2	2	2**
その他・無回答	1		

*数ヶ月毎に開閉 **外気・中空層間換気を制御しているもの1件を含む

2) ダブルスキンを通じた煙の侵入

火災の煙が中空層内に流入すると、煙突効果によって火災階より上階の居室に換気口等の開口部を通じて急速に煙が侵入して避難上支障を来す可能性がある。

そこで、ダブルスキンが設けられた建物における火災時の煙流動性状を把握し、避難安全上配慮すべきダブルスキンの設計仕様を明らかにすることを目的として、ダブルスキンが上階への煙伝播に及ぼす影響を把握するための模型実験を行った。

縮率 1/10 でダブルスキンを有する事務所ビルの実験により、火災室からダブルスキンの中空層を通じた煙流動を予測するための計算法を構築している (図4)。

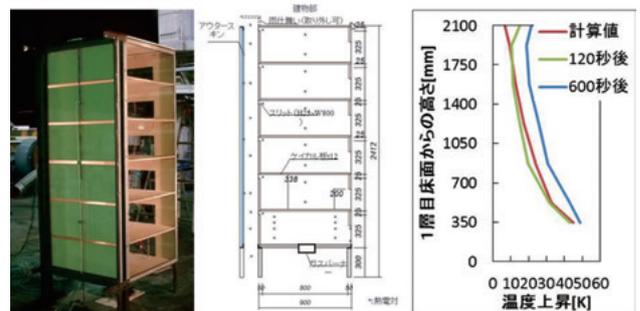


図4 実験模型とダブルスキン内温度の実験値と計算値の比較

模型実験の結果、中空層内における煙突効果に伴う圧力の影響によって、火災室から上階になるほど中空層から換気口を通じて煙が室内に侵入する可能性があることがわかった。

特に、ダブルスキンの中空層頂部に庇状の雨仕舞いがある場合、中空層を上昇した煙が最上階付近の階に滞留し、さらに煙突効果に伴う圧力の影響で換気口を通じて室内に煙が侵入する可能性があるため、火災時には火災報知器と連動して空調を停止するなどして、不用意に換気口等の開口部から室内に煙が流入しないようにすることが考えられる。

また、ダブルスキンを排煙として活用するには、ダブルスキンの上端部を居室より十分高くして、中空層の中性帯(煙が滞留する境目)を最上階の居室の換気口よりも上に位置させる、もしくは中空層の厚さを厚くして中空層の容積を増やし、火災室からの煙を十分希釈できるようにすることが考えられる。

3) ダブルスキンによる上階への延焼促進

ダブルスキンの中空層内に火災室から火災が噴出すると、中空層内の煙突効果に伴う上昇気流によって、火災が上方に伸びやすくなり、一般的なビルと比べて上階への延焼を促進する可

能性がある(図5)。これは、ダブルスキンを構成するガラスの脱落時間が関係している。すなわち、インナースキンのガラスが脱落して中空層に火炎が噴出したときにアウトースキンのガラスが脱落せず、中空層が維持されると噴出した火炎は中空層内を上方に伸びるが、アウトースキンのガラスが脱落すれば、火炎はアウトースキンの外側に噴出するなどして中空層内を上方には伸びにくくなると考えられる。ガラスの脱落に関して想定されるケースは次の①②のようになる。

- ①延焼を促進する→アウトースキンのガラスが火炎噴出後、長時間脱落しない。
- ②延焼を促進しない→アウトースキンのガラスが短時間で脱落するか、インナースキンのガラスが長時間脱落しない。

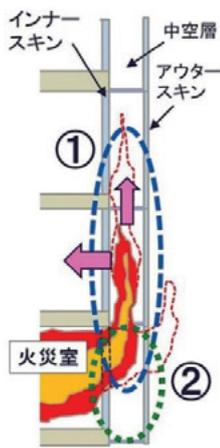


図5 ガラスの脱落と上階への延焼促進との関係

しかしダブルスキンに標準的に使われているガラスが、火災の加熱に伴って、どの時点でどのような順に脱落するといった定量的な知見はない。そこで、ダブルスキンの実大規模の試験体を建築研究所の耐火炉に設置(図6,7)して、火災室の火熱によりガラスが脱落して火炎が噴出する時間を計測した。

火災室温度を標準火災加熱曲線に基づいて上昇させた結果、火災室の開口部にあたるインナースキンのLow-E 複層ガラスは60分間破れず、その間火災室から中空層に火炎が噴出しなかった(図8)。このことからダブルスキンに標準的に使われているLow-E 複層ガラスには、ある程度の耐火性を有していることがわかった。

この理由としては、Low-E 複層ガラスの金属膜が日射と同様に火災からの赤外線を反射することによって、ガラス面の急激な温度上昇を抑え、ガラス面に発生するひずみを抑制したためと考えられる。



図6 建築研究所耐火炉に設置したダブルスキン実験装置

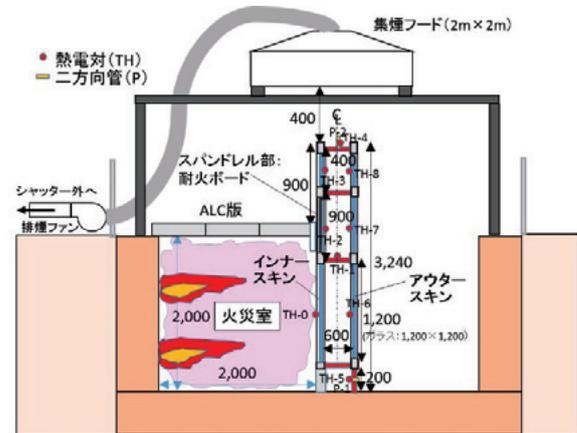


図7 ダブルスキン実験装置断面図

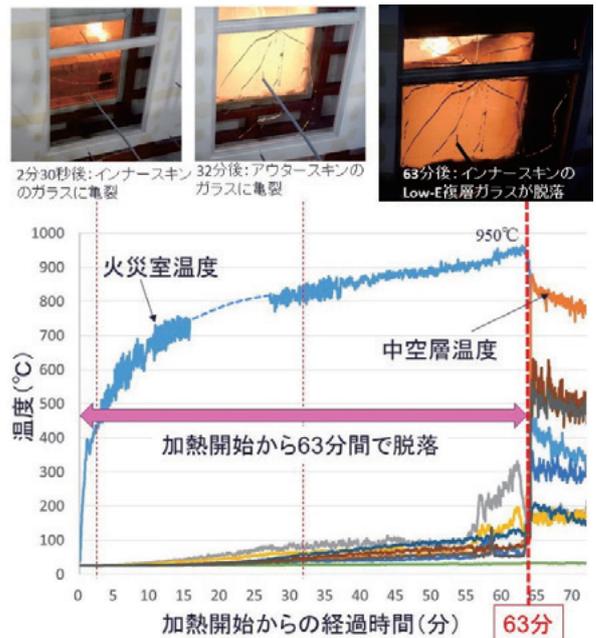


図8 火災室の温度上昇とガラスの脱落時間

火災室に取り付けられているインナースキンのガラスが火熱によって脱落した後、アウトースキンのガラスが脱落しない場合は、中空層の中を火災室から噴出した火炎が上方に伸びることが想定される。特に中空層の厚さによって煙突効果が促進され、噴出した火炎が上方に伸びるようになる厚さが存在すると考えられる。

そこでまず、ダブルスキン部分を縮率 1/10 で再現した模型実験によって火災室から火炎が噴出した状況を再現して、開口条件や発熱速度をパラメータに中空層の厚さと中空層内に噴出した火炎の伸びとの関係を、中空層内の上下方向の温度分布などを計測して把握した (図 9)。その結果、中空層の厚さが実大スケールで 1m 未満になると、例えば図 10 のように火災室から噴出した火炎が上階へ伸びる可能性が高くなることがわかった。



図9 模型実験による中空層の厚さによる火炎高さの変化 (上段: アウトースキン無し、中段: 実大スケールで 0.4m 相当、下段: 実大スケールで 1.8m 相当)

さらに、中空層内を火炎が伸びたときに壁面が火炎から受ける加熱の状況を予測するために、実大スケールでの火災を再現した数値計算を行った (図 11)。中空層の厚さが 1m 未満になる

と、この火炎からの加熱により、ダブルスキンの無い状態と比べて、中空層及び壁面の高温域が上方に拡大し、上階への延焼が促進されることが予測された。

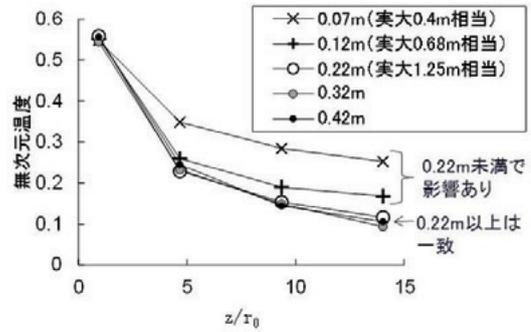
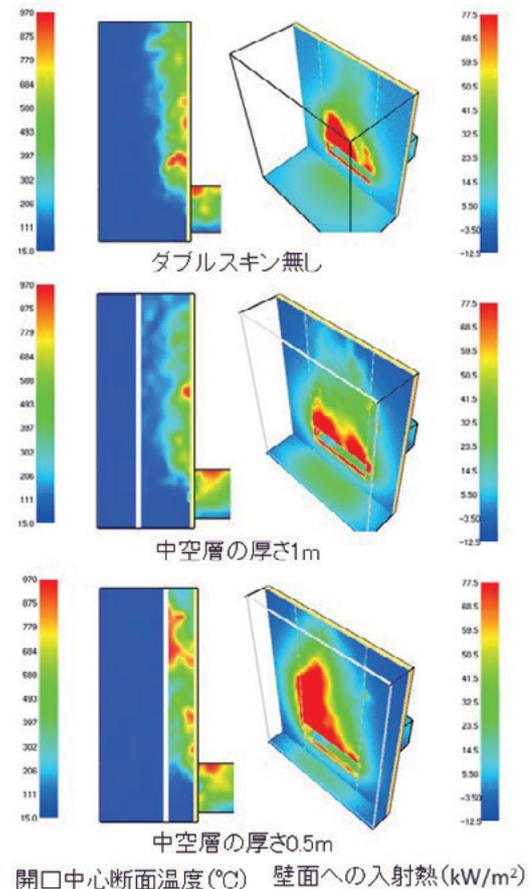


図 10 中空層の厚さと上方への温度上昇との関係



開口中心断面温度(°C) 壁面への入射熱(kW/m²)

図 11 数値計算による実大スケールでの加熱予測

以上の実験的検討から、①アウトースキンのガラスが短時間で脱落する、②インナースキンのガラスが長時間脱落しない、③中空層が金属板等で防火上有効に仕切られている、のいずれ

かの条件を満たせば、ダブルスキンが上階への延焼を促進することはなく、一般的なビルと同等の火災安全性と評価できる。

IV 木質内装の火災安全性の評価に関する実験的検討

1) 木質内装のニーズとその火災安全性に関する課題

建築基準法では、火災安全上、壁や天井の内装仕上げに使うことができる防火材料として、不燃・準不燃・難燃材料を定めている。これは、出火の防止や、出火しても建物の中にいる人が居室や階、建物から避難する前に炎や煙に巻かれないようにするためである。

その一方、視覚的にも暖かみを感じる木材を目に見えかちで室内の壁や天井などの仕上げ材料に使いたい、という需要がある(図12)。しかし、現在の防火基準では内装の貼り方に関わらず木材のような防火性能の低い材料の使用を制限している。

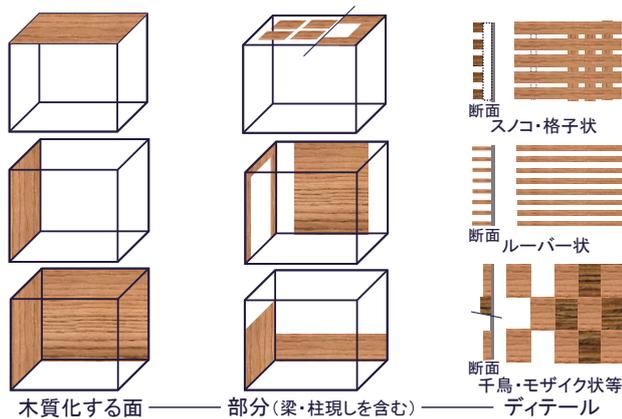


図12 内装木質化のニーズの例

この理由の一つは、室内に置かれた家具などの可燃物が火災時に燃焼して天井付近に高温の煙が溜まり、その熱によって生成した可燃性のガスが室内で爆発的に延焼するフラッシュオーバー(以下、FO)が発生するが、これらの可燃物と一緒に壁や天井の内装が燃焼した場合には、この煙層の温度がさらに上昇して、FOを早めてしまい、避難に支障を来す可能性があるからである。

このため木質内装に求められる火災安全性として、火災時に急速に燃え広がるとともに、室内に置かれた家具等の可燃物の着火・燃焼を促進する延焼経路となってFOの発生を早めることのないようにすることが求められる。

しかし、上記のFOのメカニズムでは居室の規模や内装の貼り方によってはFOが発生する時間が異なると考えられることか

ら、建築研究所で同じ仕様の内装の仕上げで、規模が異なる居室の木質内装の燃え広がり方に関する比較実験が行われた。

この実験では大小2つの規模の居室に置いたバーナーによって同じ強さの炎で火災を起こした場合、6畳間程度の面積の小さな居室では、木材で仕上げた壁が天井付近の煙層を通じて室内全体に急速に燃え広がり、極めて短時間でFOした(図13)。

しかし、教室程度の大きな居室で天井を不燃化した場合には、壁全面に木材を使用している場合、火元のバーナーの付近は一旦燃えるものの、天井付近に溜まる煙の温度が、規模の小さな居室のように急激に上昇しないため、壁の炎が火元の周辺で燃え止まり(図14)、FOしない、またはFOが遅延され、結果的には居室の内装全体に防火材料を使用した場合と同等な性能を有している可能性があることがわかってきた。

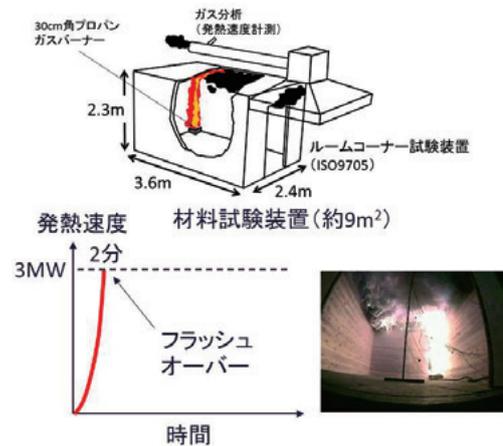


図13 規模の小さな居室における木質内装の燃え広がり

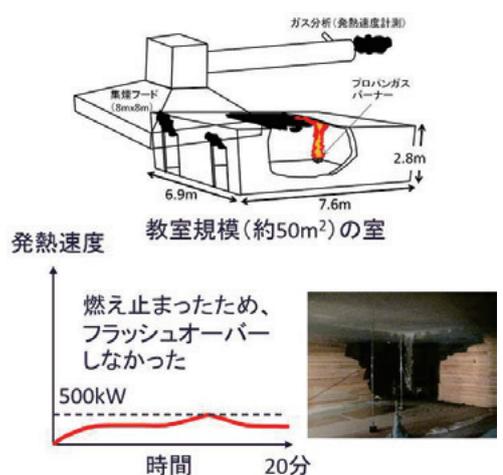


図14 規模の大きな居室における木質内装の燃え広がり

2) 木質内装の貼り方によるフラッシュオーバーの遅延効果

そこで、天井の仕上げを不燃化した室について、FOの遅延効果が期待できる条件を把握するために、室の床面積や開口の大きさ、木質仕上げの部分の表面積が燃え広がり（発熱速度）に及ぼす影響を実大火災実験（図15）や、壁等の部材燃焼実験によって系統的に把握した。

その結果、天井を不燃化することで図16のように、火元のバーナー付近の壁の仕上げ材が一旦燃焼して発熱するが、加熱を継続していてもそのまま燃え広がらず、天井付近に溜まる煙層が室内を予熱するまではFOしないことが確認された。

一連の実験結果から、FOの遅延効果が期待できる室の最小面積は30m²前後と見込まれ、さらに開口条件として垂れ壁が無い場合や開口が大きい場合は、室内を予熱する煙層が形成されにくくなり、さらにFOを遅延する傾向があることがわかった。

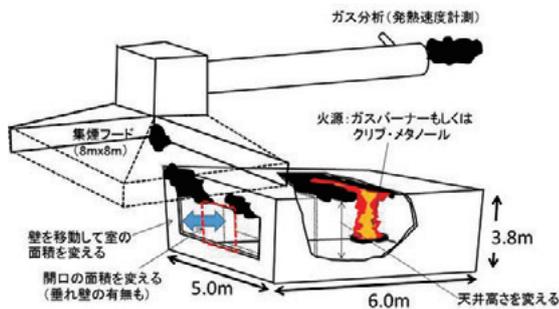


図15 開口条件や床面積等をパラメータとした区画火災実験

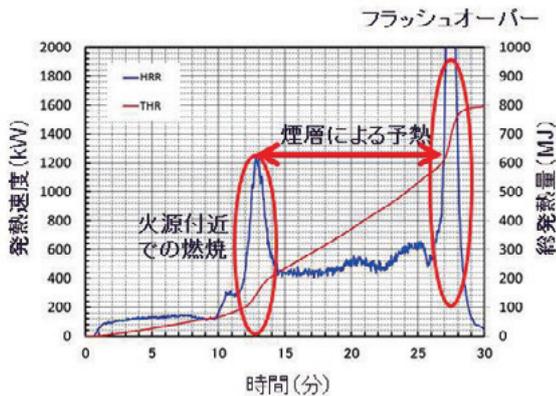


図16 区画火災実験における発熱の履歴の例

さらに、居室の内装の燃焼拡大が進む要因として、①居室内に形成される煙層による内装材の予熱、②火災初期に内装材が燃焼する火源周辺や、煙層が形成される居室の天井付近における木質内装材の表面積が影響していること等を明らかにした。

例えば、木質仕上げ部分の表面積と発熱量との関係を把握するために、木質仕上げの壁に角材で凹凸を付けて表面積を平板の2倍にして加熱実験を行ったところ（図17）、燃焼に伴う発熱は平板の3倍に増加した（図18）。これは凹凸の溝に沿って火炎が横方向に広がり、平板で燃焼した表面積の3倍の面積が燃焼したためである。木質内装の貼り方によってこの程度のばらつきを火災安全設計上想定しておく必要がある。

このように木質内装のニーズをふまえながら、室内に露出する木材の面積が大きくなる使い方（壁面に木材で柵状の凹凸を付ける、室の天井の梁を現しにする等）について、FO遅延効果を損なわない（火災成長を著しく助長しない）条件を、このような実験的検討に基づいて整理している。

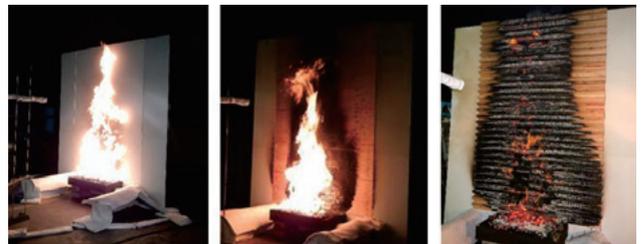


図17 木質壁の仕上げによる燃焼性状の実験
(左：不燃仕上げ、中：平板、右：凹凸（木材の表面積2倍）)

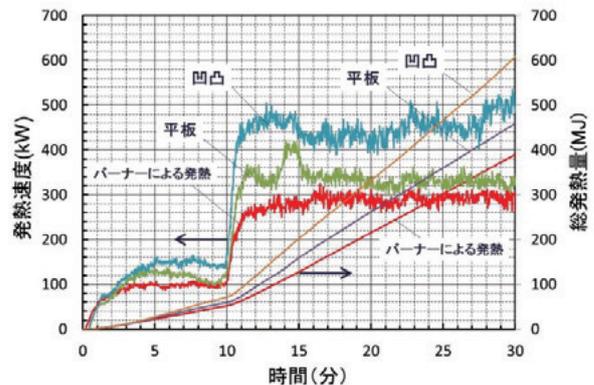


図18 木質壁の仕上げによる燃焼発熱の相違

V おわりに

グリーンビルディングのように、様々な目的から新たな要素が付加された結果、これまでの建築物には無かった火災危険が生じる可能性がある。そこで、安全を担保する工夫をしながら、目的を効果的に達成するための技術開発・技術基準の整備等が必要である。そして、これが達成されれば、持続可能でより質の高い建築空間の実現に資することができると思われる。

参考文献

- 1) 鍵屋浩司、仁井大策、水上点晴、鈴木淳一、樋本圭佑、西野智研、成瀬友宏、桑沢保夫、萩原一郎、吉岡英樹、中村正寿、長谷見雄二、ダブルスキンの火災安全上の課題に関する実験的検討(その1) 研究の概要とダブルスキンの実態、(その2) 通気層に噴出した熱気流に関する模型実験と実大実験の比較、(その3) 煙流動に関する基礎的検討、日本建築学会大会梗概集 (防火)、pp.363-368、2015
- 2) <http://archive.epa.gov/greenbuilding/web/html/about.html> (2016年1月22日閲覧)
- 3) Brian Meacham, Brandon Poole, Juan Echeverria and Raymond Cheng, Fire Safety Challenges of Green Buildings, Springer Briefs in Fire, Springer, 2012