

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
鍵屋 浩司

はじめに

地球温暖化などの環境問題を背景に注目されている「グリーンビルディング」について、火災安全上、影響の大きなものとしてダブルスキンと木質内装をとりあげ、これら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。

本研究は、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**（H26-27年度）」として実施

本講演の内容

テキスト 101-108ページ

- 研究の背景と目的
 - グリーンビルディングと火災安全
- ダブルスキンの火災安全性の評価に関する実験的検討
 - ダブルスキンを通じた煙の侵入
 - ダブルスキンによる上階への延焼促進
- 木質内装の火災安全性の評価に関する実験的検討
 - 木質内装のニーズとその火災安全性に関する課題
 - 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

研究の背景と目的(1)

- グリーンビルディングとは
 - 環境や人に「優しい」建築
 - 省エネ・省資源・低炭素等の環境負荷低減、利用者の健康に配慮した建築物といわれる
 - 現在のところ、世界共通の確立された定義はない
 - 1990年頃から欧米で使われるようになった考え方
 - 1980年代後半の原油価格高騰により、建築物の省エネ化が注目され、さらに地球環境問題やQOL(生活の質)への意識の高まりなど社会情勢の変化を背景に、その考え方が多目的となったものと考えられる。

グリーンビルディングの要素の一例



太陽電池



ダブルスキン



木質内装



建築緑化



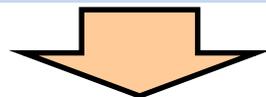
木質外装

研究の背景と目的(2)

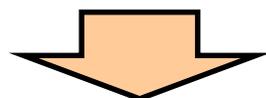
- グリーンビルディングと火災安全
 - グリーンビルディングの火災安全上の懸念
 - グリーンビルディングの火災時の挙動が明確でない
 - グリーンビルディングの要素が、出火源、収納可燃物、煙の拡大経路、延焼拡大の経路等となりうる
- 研究の目的
 - 期待される効果や需要が高い一方、火災による影響が大きいと考えられる以下の問題を実験して、火災安全性に対する影響や対策を示す。
 - ダブルスキン: 省エネ効果 vs **煙や延焼拡大の経路**
 - 木質内装: 内装木質化の需要 vs **急激な延焼拡大**

ダブルスキンの火災安全性の評価に関する 実験的検討

ダブルスキンはグリーンビルディングの一要素として、空調負荷の軽減(省エネ)に有効



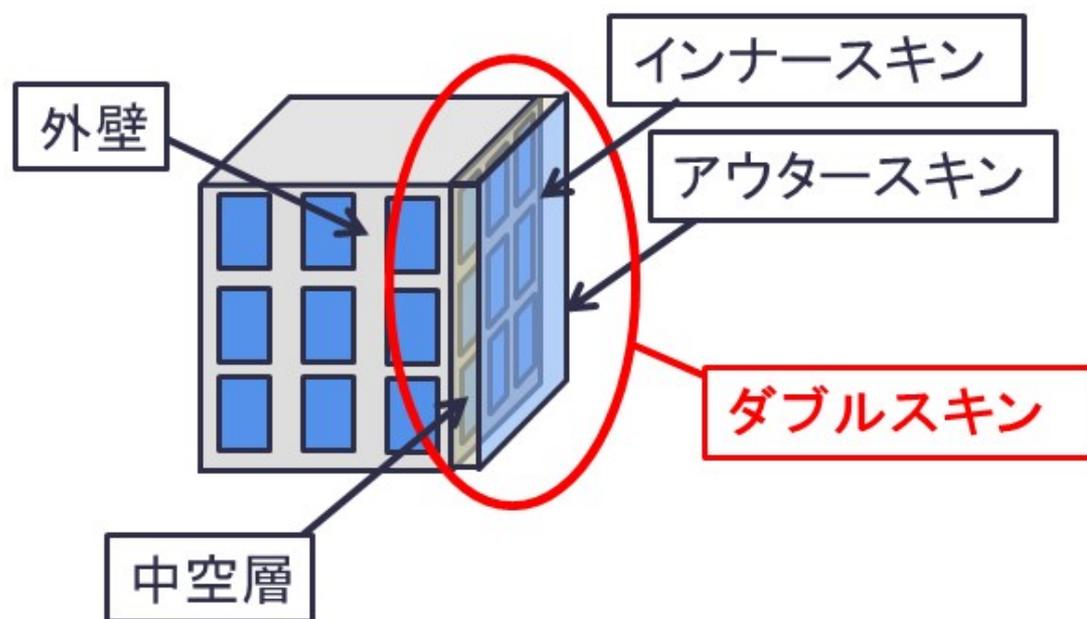
ダブルスキンの中空層内に火災室から煙や火炎が流入すると、**煙突効果に伴う上昇気流により火炎や煙が上方に広がるため**、一般的なビルと比べて、**上階での煙の侵入や上階への延焼を促進する可能性**



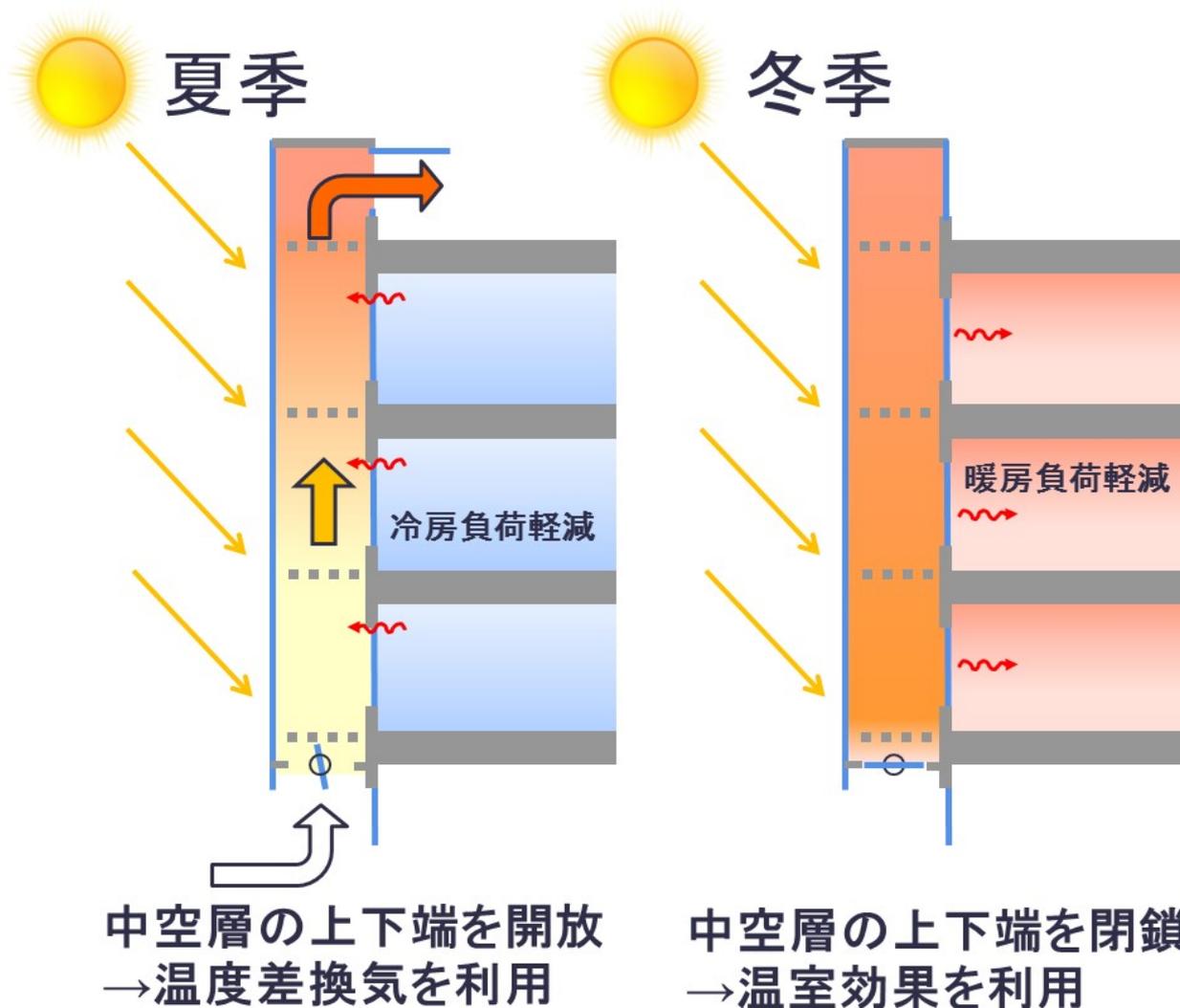
ダブルスキンが**上階での煙の侵入や上階への延焼を促進する条件**を判断するための評価手法が必要

ダブルスキン

- ガラスカーテンウォールと中空層によって構成
- ビルの空調負荷の軽減に有効（年間15%前後）
 - 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）による自然換気や、中空層による温室効果を活用



季節によるダブルスキンの中空層の働き



ダブルスキンの事例(1)

- 中空層の厚さと高さ
 - 中空層の厚さは大半が600-900mm
 - 中空層の高さは単層が半数、全層一体は1/4

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) **グレーチングによる仕切りを含む

※(一社)日本建設業連合会耐火構造研究会委員各社による設計・施工事例19物件について整理 10

ダブルスキンの事例(2)

- ガラスの種類
 - アウタースキンはほとんどが**単板ガラス**
 - インナースキンは**Low-E複層ガラス**が大部分

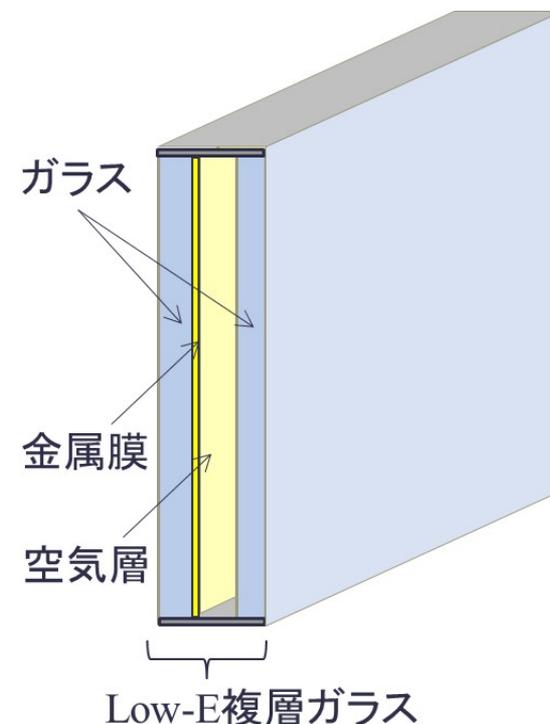
インナースキン		単板ガラス		合わせガラス	Low-E複層ガラス	その他
		10mm未満	10mm以上			
アウタースキン						
単板ガラス	10mm未満	1*			2	
	10mm以上	3	1*		10*	
合わせガラス					2	
Low-E複層ガラス				1		
その他						1

*他と重複あり(2件)

※(一社)日本建設業連合会耐火構造研究会委員各社による設計・施工事例19物件について整理 11

Low-E複層ガラス

- ガラスを複層にすることで断熱性を高めるとともに、ガラス表面に付けた金属膜により熱(赤外線)を反射する
- これにより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、省エネ効果を高める



ダブルスキンの事例(3)

● 換気方式

- 多くは中空層が常時外気に対して開放
- 中空層と室内との換気方式は自然換気が主流

	外気・中空層間換気	常時開放	常時閉鎖	その他・無回答
室内・中空層間換気				
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

※(一社)日本建設業連合会耐火構造研究会委員各社による設計・施工事例19物件について整理

13

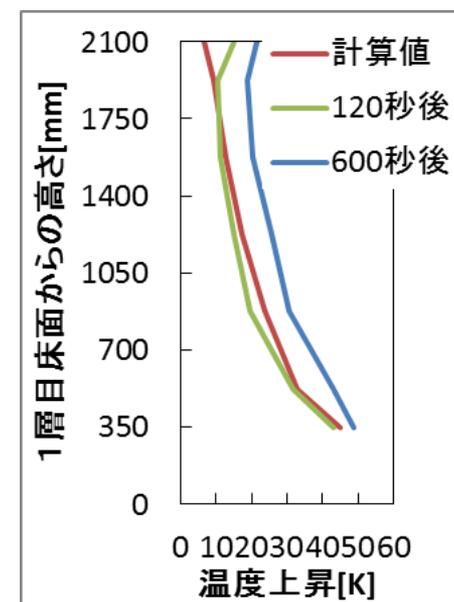
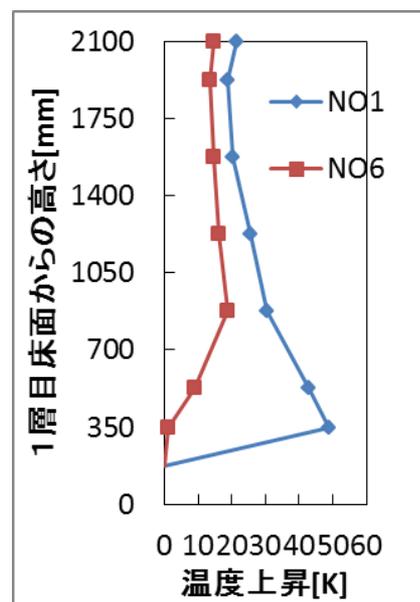
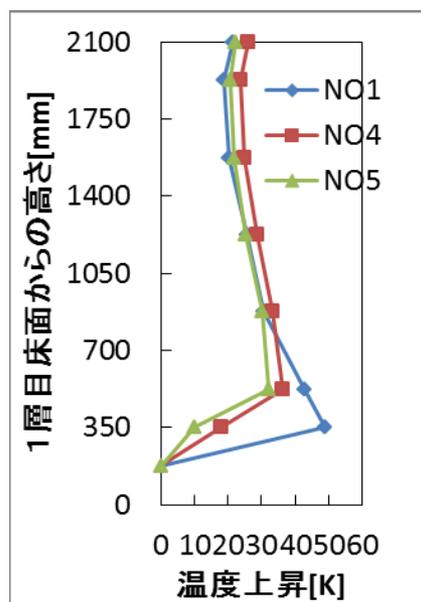
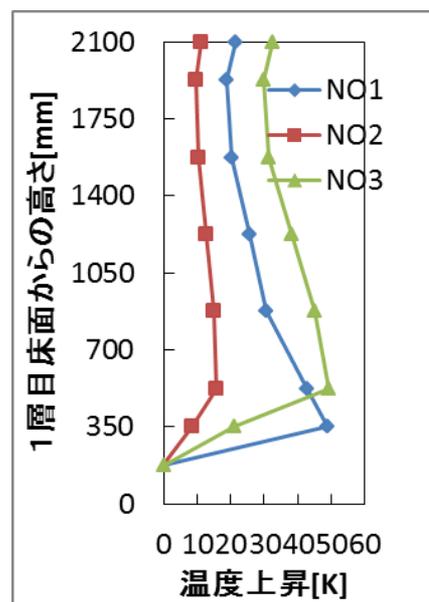
ダブルスキンを通じた煙の侵入

- ◆ 火災室から煙が中空層に流入すると、煙突効果により上階の室に煙が早期に侵入しやすくなり避難上支障を来す可能性
 - ❖ 火災時の煙流動特性を模型実験によって把握して、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
 - ❖ 模型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
- ◆ 模型実験
 - ❖ ダブルスキンを有する6層の事務所ビルにおける煙流動を1/10スケールで模擬
 - ❖ 火源の発熱速度や中空層の厚さ、開口条件を変化
 - ❖ 各階への煙流入の有無とその時間を温度変化により計測

ダブルスキンの煙流動実験

No.	中空層		火源[kW] (7.5cm角バーナー)	
	厚さ[mm]	頂部開口	発熱速度	(実大換算)
1	50	水平	3.30	(1043)
2	50	水平	1.67	(521)
3	50	水平	4.96	(1564)
4	50	鉛直(25mm)	3.30	(1043)
5	50	鉛直(50mm)	3.30	(1043)
6	100	水平	3.30	(1043)

実験条件



火災室の発熱速度
の影響

中空層頂部の開口
の影響

中空層の厚さの
影響

計算値と実験値との
比較

煙の侵入に関するまとめ

- 中空層内における煙突効果に伴う圧力の影響により、火災室より上階になるほど、中空層から換気口を通じて煙が室内に侵入する可能性
 - 特に中空層頂部に庇状の雨仕舞いがある場合、中空層上部に滞留した煙が流入する
 - 火災報知器と連動して空調を停止するなど、不用意に換気口等の開口部から室内に煙が流入することを防ぐ
- ダブルスキンを排煙として活用するためには
 - 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)が最上階の居室の換気口より上になるようにする
 - 中空層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

ダブルスキンによる上階への延焼促進

① 上階への延焼を促進

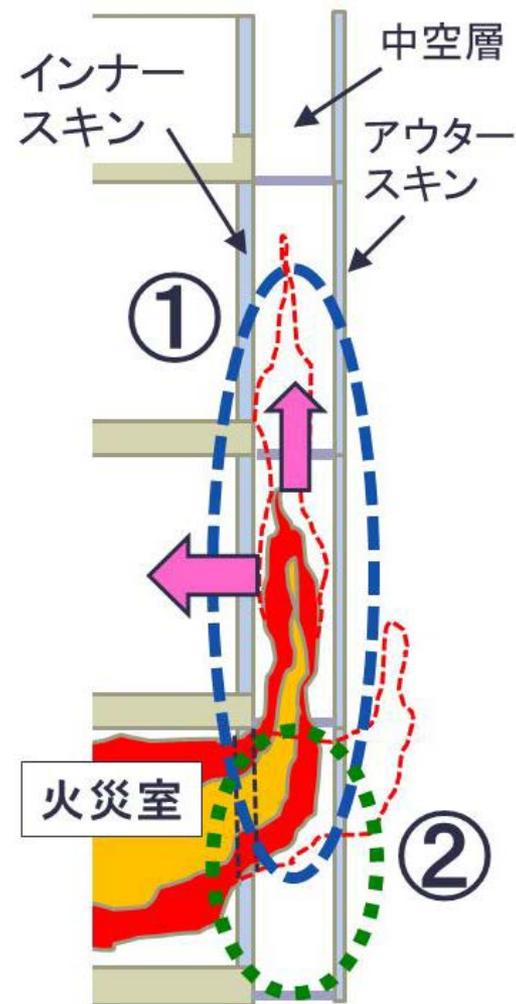
□ アウトースキンのガラスが火炎噴出後、長時間脱落しない

- 噴出した火炎が、中空層内の上昇気流によって伸びることで**上階への延焼を促進**
- ✓ 噴出した火炎が上階に伸びないように、中空層を防火上有効に仕切る等の対策が必要

② 上階への延焼を促進しない

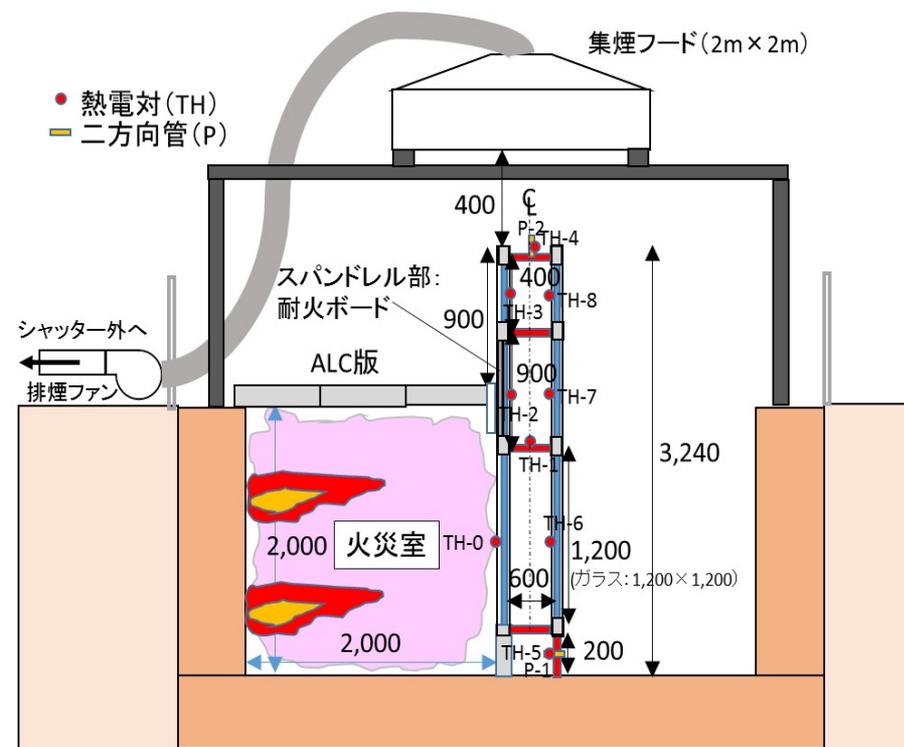
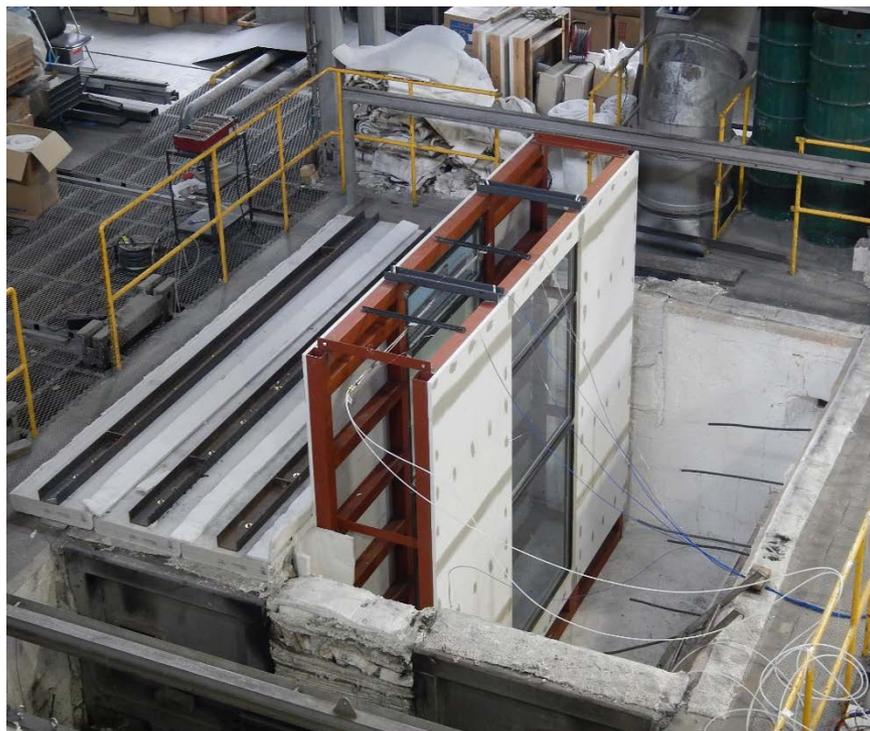
□ アウトースキンのガラスが火炎噴出後、短時間で脱落もしくは、インナースキンのガラスが出火後に長時間脱落しない

- 噴出した火炎が中空層内を伸びず、**上階への延焼を促進することは見込まれない**
- ✓ 一般的なビルと防火上同様な扱い



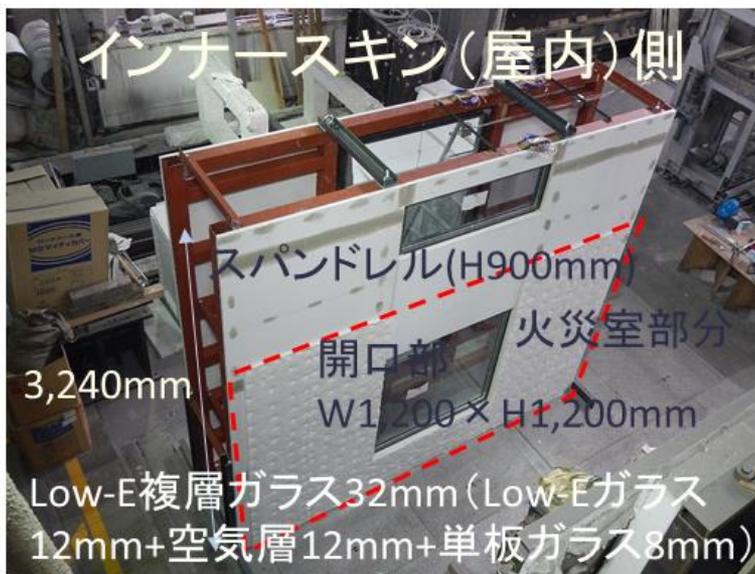
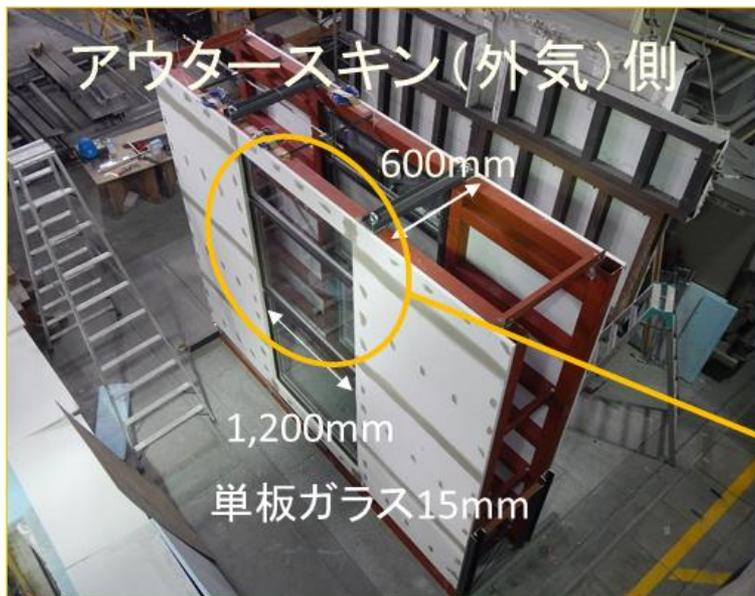
ダブルスキンを構成するガラスの脱落時間の計測

- ダブルスキンに標準的に使用されているガラスで構成した実大規模の試験体を、火災室の温度上昇を想定した火熱によって、ダブルスキンを構成するガラスが脱落して火炎が噴出する時間を計測



建築研究所耐火炉(水平炉)と試験体

実験装置断面図



火災室のLow-E複層ガラスの脱落



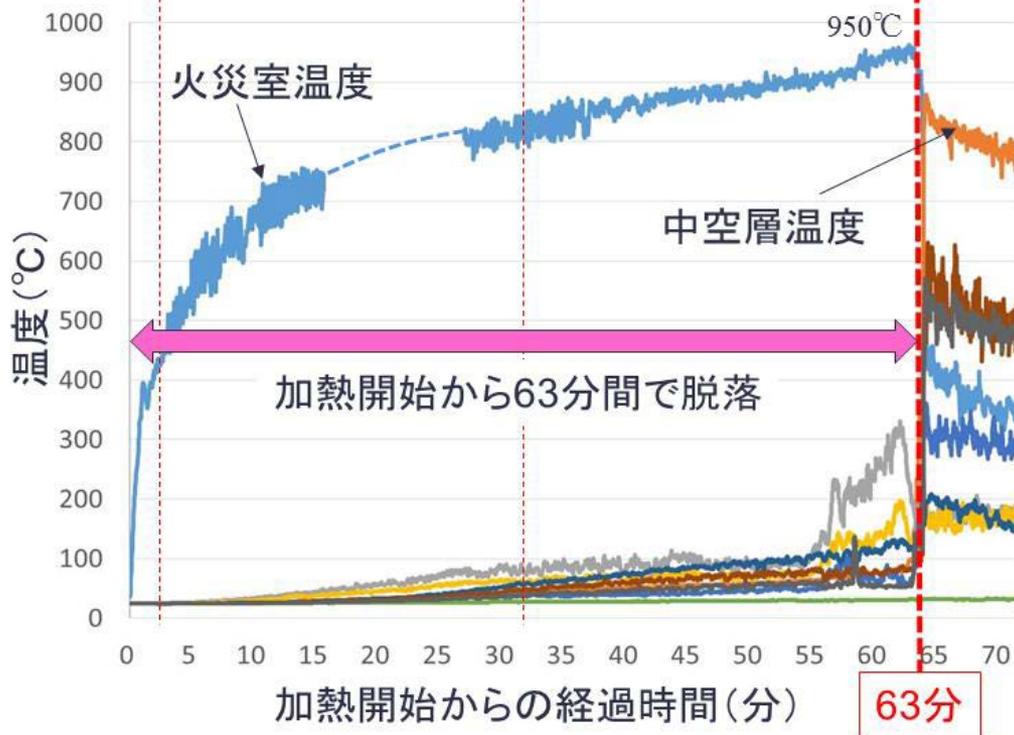
2分30秒後: インナースキンのガラスに亀裂



32分後: アウタースキンのガラスに亀裂



63分後: インナースキンのLow-E複層ガラスが脱落



火災室のLow-E複層ガラスが加熱開始から**60分間破れず**、その間、火災室の開口部から火炎の噴出が生じないという結果が得られた。

60分間も破れなかったのは、Low-Eガラス表面の金属膜（銀）が日射と同様に、火炎からの赤外線を反射して、ガラスの急激な温度上昇を抑えて熱によるガラス面のひずみを抑制したためと考えられる。

ガラスの大きさが加熱による脱落に及ぼす影響

- 60分間脱落しなかったLow-Eガラスは、ガラスが大きくなると加熱によるひずみが大きくなるため、脱落しやすくなる？
- 大小2つのガラス（Low-E複層ガラス、単板ガラス）試験体を同じ火源で加熱して、ガラスの大きさの違いによる脱落時間を比較



左：小試験体（1200mm × 1200mm）
右：大試験体（1200mm × 2650mm）



火源：プロパンガスバーナー
（幅1000mm × 奥行500mm、300kW）

ガラスの大きさによる脱落時間の相違

- Low-E複層ガラスは、ガラスが大きい方が脱落時間が短い
- 単板ガラスは厚さによっては、亀裂が入ってもガラスが脱落しない可能性がある

	Low-E複層ガラス (フロート8mm、空気層12mm、 Low-E12mm)		単板ガラス (フロート15mm)	
	大試験体	小試験体	大試験体	小試験体
ガラスに亀裂が入った時間 (Low-E複層ガラスは火源側のフロートガラス に亀裂が入った時間)	45秒	35秒	1分26秒	1分15秒
ガラスが脱落した時間 (最大63分間加熱)	22分30秒	41分40秒	脱落せず	脱落せず



ガラス脱落時のLow-E複層ガラス(大試験体)



加熱終了前の単板ガラス(大試験体)

上階への延焼促進の可能性に関する検討

中空層内に火炎が噴出して、アウトースキンのガラスが脱落しない場合、火炎が伸びて延焼を促進する条件とは？

◆ 模型実験

- ❖ 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、実大の1/10スケールでダブルスキン部分を再現した模型実験により系統的に把握
 - ◆ 中空層の厚さが実大スケールで1m未満になると、噴出火炎が上階へ伸びる可能性が高くなることがわかった。

◆ 数値計算

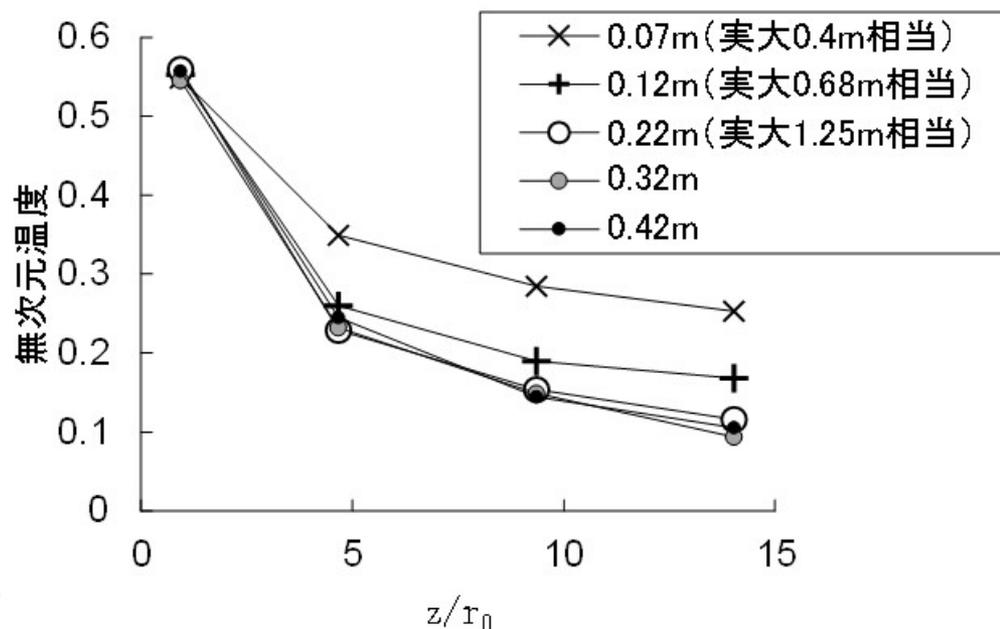
- ❖ 模型実験と同様な条件における、実大スケールでのビル壁面への入射熱や中空層内の温度分布を予測
 - ◆ 噴出火炎が上階に伸びると、伸びた火炎からの加熱によって、上階への延焼が発生しやすくなることがわかった。
 - ❖ 数値計算は米国NISTが開発した火災シミュレーションソフトFDSを利用

中空層の厚さと火炎の伸びに関する模型実験

- ◆ 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等を計測して把握
- ◆ 中空層の厚さが実大スケールで1m相当未満になると、火災室から噴出した火炎が上階に伸びる可能性



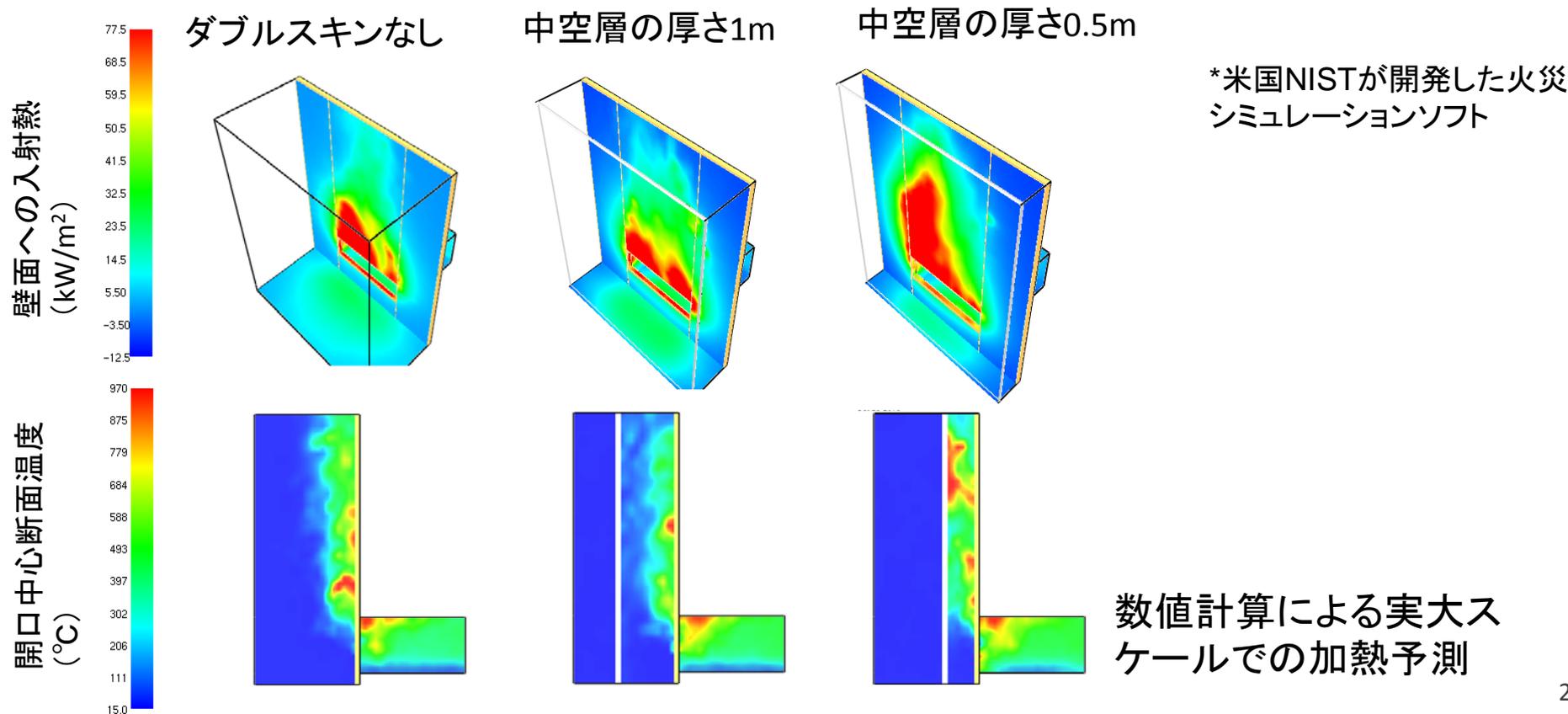
模型実験による
中空層の厚さによる火炎高さの変化



中空層の厚さと上方への温度上昇との関係

数値計算による実大スケールでの延焼可能性予測

- ◆ 模型実験と同様な条件における、実大スケールでのビル壁面への入射熱や、中空層内の温度分布をFDS*によって予測
- ◆ 中空層内を上階に伸びた火炎からの加熱により、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。

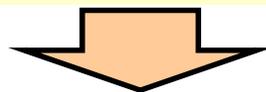


上階延焼促進に関するまとめ

- ダブルスキンに標準的に用いられているLow-E複層ガラスには、ある程度の耐火性が見られた
- 火災時にガラスが脱落する時間は、その種類や大きさ等によって異なる
- ダブルスキンは以下のような条件を満たしていれば、一般的なビルと比較して上階延焼を促進することは見込まれない
 - アウタースキンのガラスが火災室からの噴出火炎により短時間で脱落する
 - インナースキンのガラスが火災時に長時間脱落しない
 - 中空層が金属板等で防火上有効に仕切られている

木質内装の火災安全性評価に関する 実験的検討

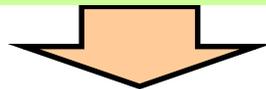
グリーンビルディングの普及、木材利用促進を背景に公共建築物など様々な建築物において内装木質化の動き



現行の防火基準では、木材等の防火材料以外の内装については貼り方に関わらず安全側に設定

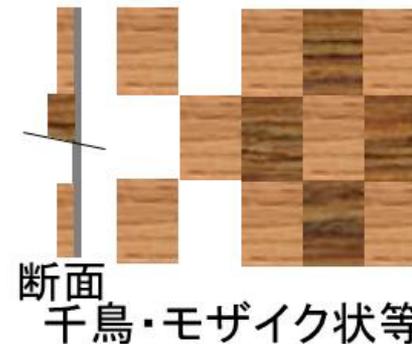
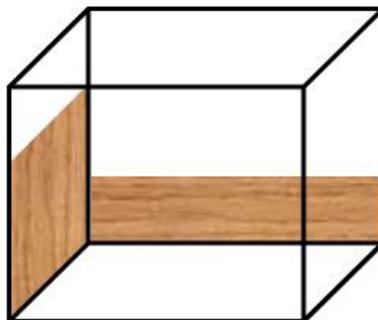
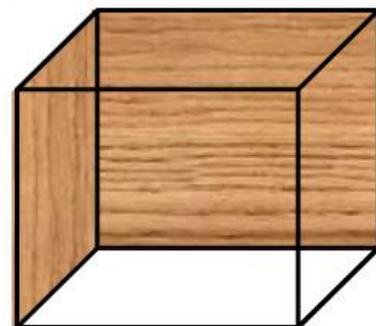
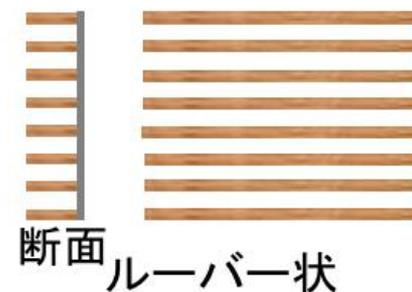
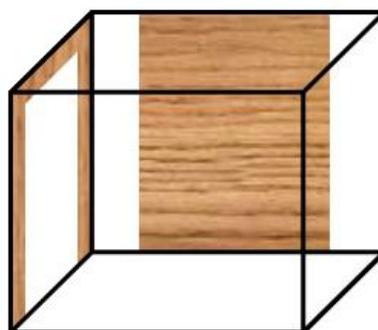
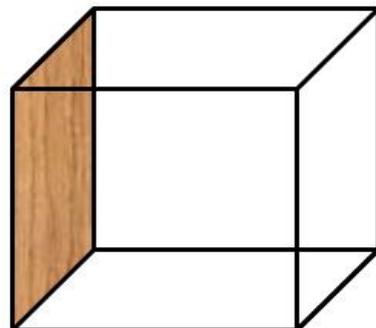
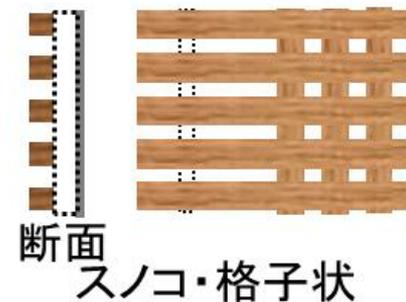
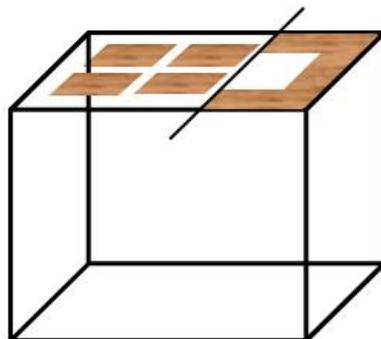
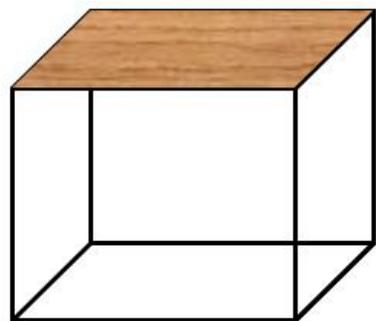


天井を不燃化した規模の大きな木質内装の室はフラッシュオーバー（FO）しないで燃え止まる（工学的知見）



内装木質化が可能な室の床面積を明らかにするために、本研究では内装の火災安全をFO遅延に限定して検討

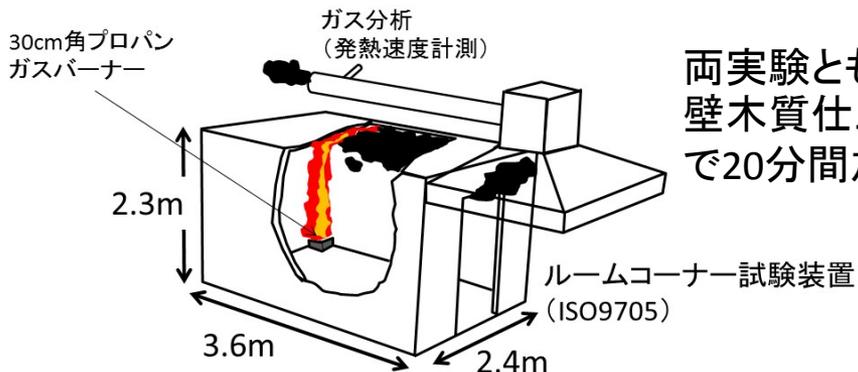
内装木質化のニーズの例



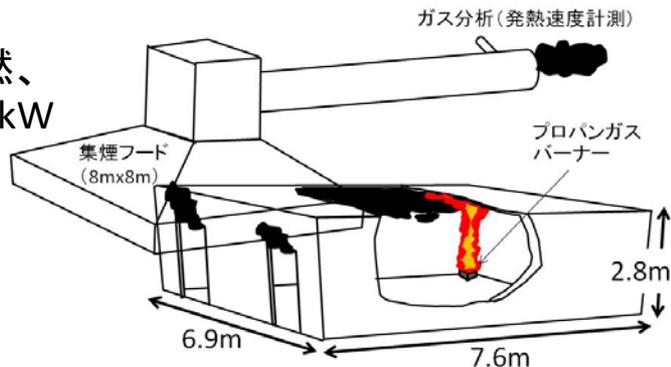
木質化する面 ————— 部分(梁・柱現しを含む) ————— デイテール

木質内装の貼り方によるFOの遅延効果

規模が大きな空間で天井を不燃化すると木質内装は局所的に燃え止まり、防火材料を使用した場合と同様な火災性状になる可能性(既往の知見*)

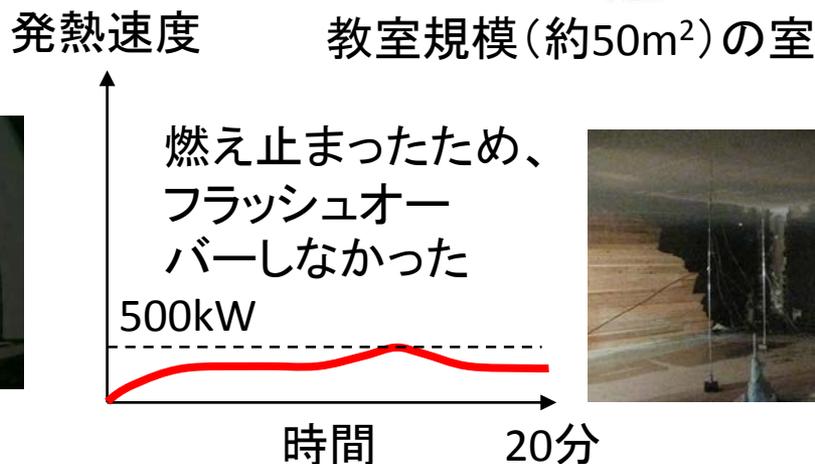
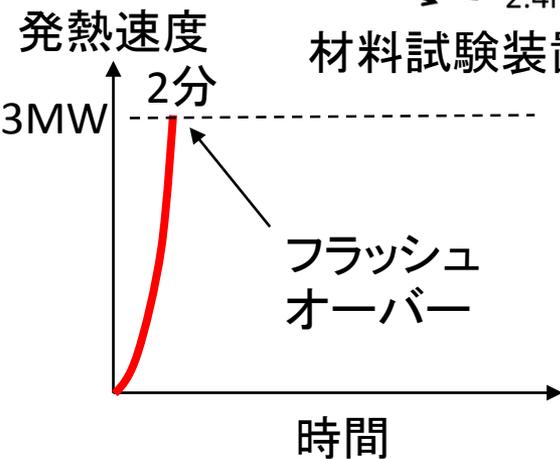


両実験とも天井不燃、壁木質仕上げ、300kWで20分間加熱



材料試験装置(約9m²)

教室規模(約50m²)の室



*国土交通省「木造建築基準の高度化推進事業(H23～H25)」(早稲田大学、秋田県立大学、三井ホーム、住友林業、現代計画研究所)により、事業者及び国土交通省国土技術政策総合研究所と建築研究所の共同研究の一環として行われた。

天井を不燃化した室の火災性状の違い

(12倍速で再生)



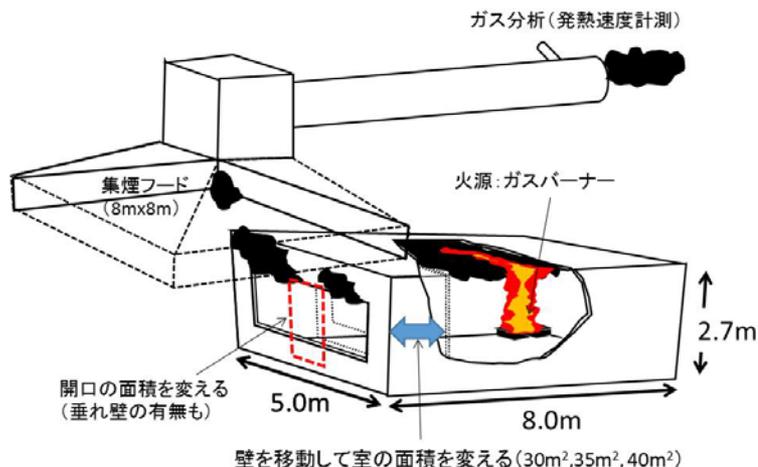
小規模な室(約9m²)
2分8秒でFO



大規模な室(約50m²)
20分間FOせず

内装木質化が可能な床面積は？

- ◆ 天井不燃化によるFO遅延効果が損なわれない室の面積を把握するために、開口条件等をパラメータに、実大火災実験を実施



垂れ壁有り



木質梁現し



建築研究所実大火災実験棟に設置した試験体



垂れ壁無し



開口の大きさ

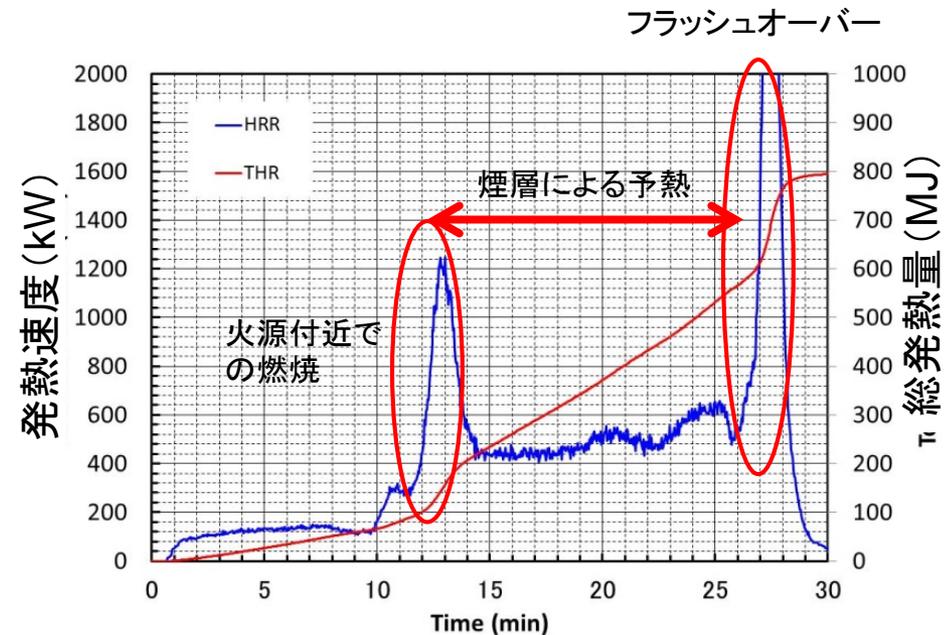
開口条件や床面積等をパラメータとした火災実験

- ◆ 天井不燃化によってFO遅延効果が期待できる室の面積は最小で30m²前後と見込まれる
- ◆ 火源付近の木質内装の燃焼が進まなければ、その後、**煙層による内装表面の予熱がある条件に達した時点でFOが発生する。**

実験条件とFO時間

実験	開口条件	床面積	その他	FO時間
1	W=3.1、H=1.85 垂れ壁0.85	30m ²		26分
2	W=3.1、H=1.85 垂れ壁無、腰壁有	30m ²		27分
3	W=3.1、H=1.85 垂れ壁無、腰壁有	30m ²	梁現し	18分50秒
4	W=0.75、H=1.85 垂れ壁0.85	30m ²		22分30秒
5		35m ²		21分54秒
6		40m ²		25分40秒

火源はいずれも100kWで10分間、300kWで20分間燃焼



発熱速度・総発熱量の履歴の例

内装の貼り方が火災性状に及ぼす影響

- ◆ 天井不燃化によるFO遅延効果を損なわない内装の貼り方を検討するために、壁の木質部分の表面積が燃焼発熱に及ぼす影響を定量化するための実験を実施



不燃仕上げ



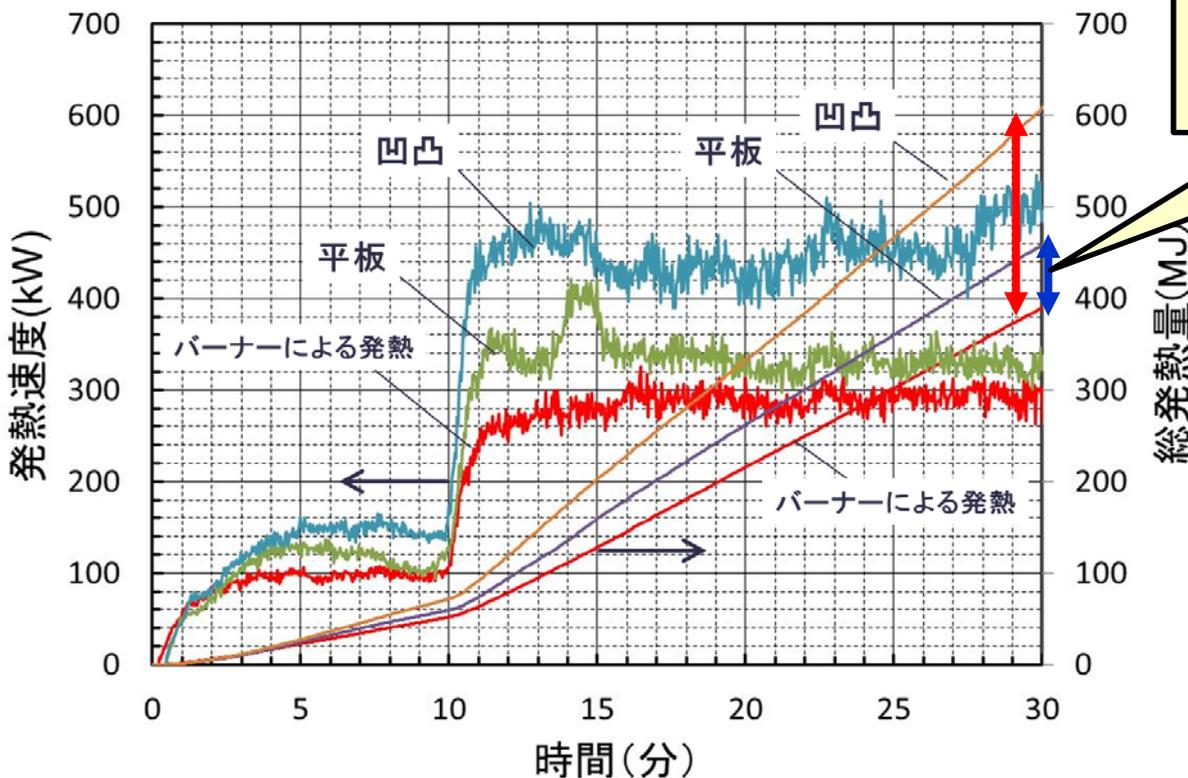
平板



角材で凹凸を付けたもの
(木材の表面積は2倍)

木質仕上げ部分の表面積と燃焼発熱量

- ◆ 室内に露出する木材の面積が大きくなる使い方について、FO遅延効果を損なわない条件を整理



平板の3倍の表面積が
燃焼→発熱量は3倍



燃焼実験後の試験体表面
(左:平板、右:凹凸)

木質壁の仕上げによる燃焼発熱の相違

木質内装の貼り方によるFOの遅延効果 まとめ

- 内装の火災安全についてFO遅延に限定して検討した。
- 天井不燃化によってFO遅延効果が期待できる室の面積は最小で30m²前後と見込まれる。
- 室の開口条件として、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、FOが遅延する傾向がある。
- 内装の急激な延焼拡大には以下が影響する。
 - ① 室内に形成される煙層による予熱
 - ② 火災初期に内装材が燃焼する火源周辺や、煙層が形成される天井付近における木質内装の表面積

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技術が建築物に導入されている。
- 導入された結果、これまでの建築物では想定されていない火災危険が生じる可能性がある。
- 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道筋（研究開発・技術基準等）をつけて、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必要である。

ご静聴ありがとうございました