

火災軽減被害に向けた取り組みの現状と課題

防火研究グループ長 萩原 一郎

目 次

I	はじめに
II	研究の背景
	1) 防火研究の流れ
	2) 仕様規定から性能規定へ
	3) 最近の研究課題
III	中層大規模木造建築物の火災安全
	1) 木造建築物の防火基準
	2) 木質部材の防耐火性能
	3) 木質内装空間の火災性状
	4) 木造3階建て学校の実大火災実験
IV	既存建築物の火災安全
	1) 研究計画の概要
	2) 主な研究内容
V	今後取り組むべき課題
VI	おわりに
	参考文献

I はじめに

東日本大震災では津波火災による広範囲の被害が目撃されたが、日常的にも火災による被害は少なくない。最近では老人ホームや小規模の有床診療所で発生した火災により多くの死傷者が発生し、社会の注目を集めている。技術の発展により建築物や都市の環境も大きく変化してきているが、火災による被害は一定の大きさを維持し続けている。

このような火災による被害を軽減するために、建築研究所では建築物が備えるべき火災安全を明らかにし、火災に関する現象の解明や被害軽減に有効な防火対策について研究を進めてきた。本稿では、最近の研究内容について紹介するとともに、今後、取り組むべき防火の課題を示す。

II 研究の背景

1) 防火研究の流れ

建築物の防火対策の始まりは、人が集まって住む都市において、都市大火を防ぐ目的でつくられた。1666年ロンドン大火、1871年シカゴ大火、1906年サンフランシスコ地震火災などを受け、米国の保険会社の協会が、建築物の火災安全性を確保するための技術基準を作成した。当初は、燃えない材料で建物をつくれば火災に対して強くすることができると単純に考えられていた。しかし、建物自体が燃えなくても、内部には家具などの燃えやすいものがあふれているので、火災をなくすことはできない。火災が発生すれば、建物全体に燃え広がり、最後には火災で建物が倒壊することが明らかになった。そこで火災による熱を一定の時間受けた場合でも建物が壊れないように、柱や

梁、壁や床などの部材が火災で壊れない耐火性能を確保するための研究が行われた。

19世紀から20世紀の始めには、今度は大規模建築物の火災による人命被害が注目されるようになった。中でも劇場火災は頻発しており、数百人規模の犠牲者が発生した。特に、米国ニューヨークの古着再生工場火災（1911年）では147人もの犠牲者が発生したことを受け、全米防火協会NFPAは人命安全委員会を設置し、火災の影響を受けずに避難できる階段の構造や、短時間で避難を完了するための階段の数や幅などを避難施設基準（Building Exit Code）としてまとめた。

日本でも、江戸時代には市街地大火を防ぐ対策が定められていた。明治中期には、不特定多数の人が集まる劇場や寄席、勸工場（百貨店のはじまり）には、避難安全を目的として、階段の数や幅などが定められていた。

関東大震災後には、都市の不燃化、耐火建築物の促進が行われ、鉄筋コンクリート造の建築物が次々と出現してきた。これに伴い、ビル火災が社会的な注目を集め、白木屋火災（1932年）を契機として、避難施設の対策が検討された。当時の検討資料によれば、1つの階を複数の防火区画に分割し、それぞれに避難階段を設けるといった避難計画や、目標とする避難時間を達成するために必要な階段幅の計算方法などが示されている。

建築基準法の制定後は、被害の大きな火災が発生する度に、対策の強化が繰り返行われてきたが、それは昭和30年代から始まった火災性状の理論化と、関連する研究の成果といえる。昭和40年代には、高層ビルの出現により、火災による煙の影響が問題となった。煙による被害を防ぐために、建物内の煙流動性状の研究が行われ、煙制御の技術が進展した。また、有害な煙の発生を抑える観点から、防火材料の研究、試験方法の開発も進められた。このようにその時々火災被害の特徴に対応した研究が行われ、その成果として建築物の防火対策が徐々に整備されてきたのである。

2) 仕様規定から性能規定へ

これまでの防火対策は、防火基準の中に仕様書的に定められてきたが、近年は様々な不都合が見られるようになってきた。一つには、防火基準が詳細になりすぎている一方、新しい技術や材料に対応できず、建築物の大きな制約となっている場合が少なくない。また、多様な新しい空間を有する建築物に対して、仕様書的な防火対策が必ずしも適切な解を提供できず、過剰な設備を要求したり、十分な安全を確保できない場合が目立つようになった。

そのため、仕様書規定に代わり性能規定を導入することが世界的に広がり、日本でも2000年に施行された建築基準法において防火基準に性能規定が導入された。耐火性能検証法、避難安全検証法により必要な性能を有することが確かめられた場合には、仕様書規定によらず、様々な防火対策を選択することを可能とした。

建築研究所が1982～86年にかけて実施した総合技術開発プロジェクト「建築物の防火設計法の開発」（通称「防火総プロ」）では設計手法のみならず、防火設計の目的、目的を達成させるための機能要求を整理し、「建築物の火災安全上の要件」として整理した。これは、従来の法令等において要求されてきた仕様書的な防火対策を、それを必要とする目的から体系的に整理したものである。この結果、旧法第38条に基づく大臣認定を適用して、例えば、アトリウムのような大空間、加圧防排煙システム、耐火被覆を施さない鉄骨構造、木造ドームなどが実現されてきたのである。

3) 最近の研究課題

独立行政法人に移行後に実施された主な防火関係の研究課題を表1に示す。これらの研究課題から、以下の研究領域の問題に取り組んできたことが読み取れる。

防火材料に関しては、材料の燃焼時の特性を把握するための試験技術、試験方法に関する課題に取り組んでいる。特に、内装や外装に利用される新しい材料については、従来の試験方法では適切な評価が難しい問題があるため、新しい評価手法の検討を進めている。

構造耐火に関しては、2000年の建築基準法の改正において耐火性能検証のルートが導入されたことから、より実際に近い火災性状の予測、部材への入射熱の推定、防火区画の性能確保などの課題に取り組んできた。特に、木造建築物に対しては社会ニーズを踏まえ、火災安全上の支障が生じないように、伝統的な建築物や、大規模木造建築を実現する技術開発を進めてきた。

また、地震後の火災被害を軽減する防災対策や、その効果を評価する市街地延焼シミュレーションの改良を進め、特に火の粉による延焼危険の解明に取り組んできた。

火災安全設計について、建築基準法の更なる性能規定化を進めることを目的として、火災リスクの評価手法の開発に取り組んできた。この流れの中で、既存建築物の火災安全を確保する課題にも取り組んでいる。

以下、最近の研究課題として、大規模木造建築物の火災安全と既存建築物の火災安全の2つを取り上げて紹介する。

表1 主な研究課題

<p>(材料・試験方法)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建築材料の燃焼性試験法に関する研究 (H14-16) ・ 防火材料の性能評価試験データの信頼性向上のための試験技術の開発 (H20) ・ 外断熱工法外壁の防火性能に関する新しい試験技術の開発 (H21-22) ・ 発熱性に発煙性を加えた防火材料試験方法の開発 (H21-23) ・ 有機系材料を使用した内外装システムの火災安全性能に係る評価手法の開発 (H23-24) <p>(構造)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建築構造物の耐火性能評価ツールの開発 (H14-15) ・ 特殊な火災外力が想定される空間における火災性状の解明と安全性評価手法の開発 (H14-16) ・ 可燃物の実況配置に基づく火災室温度上昇予測 (H14-16) ・ SS400H 部材の室温から 800℃までの弾・塑性・クリープ崩壊耐力測定 (H16-18) ・ 鋼部材の火災による崩壊の臨界点の解明 (H19-21) ・ 熱応力・強制変形を受ける区画部材の耐火性能推定技術の開発 (H22-24) <p>(木造)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 伝統的木造建築物の保全に資する構造・防火関連の技術開発 (H18-20) ・ 木材の利用促進に資する中層・大規模木造建築物の設計・評価法の開発 (H23-25) <p>(避難)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 火災時における移動困難者の避難計画 (H16-17) <p>(市街地火災)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 火災風洞実験と CFD 解析を用いた市街地火災時の火の粉による延焼機構の解明 (H14-15) ・ 樹木の火炎遮蔽性解明とその応用 (H14-16) ・ 火災風洞と CFD を用いた市街地火災の延焼シミュレーションモデル (H16-17) ・ 防災都市づくりを促進するための防災対策支援技術の開発 (H18-20) ・ 火の粉の影響を反映した延焼シミュレーションプログラムの開発 (H21-22) ・ 市街地防火を目指した火の粉の火持ち性状に関する研究 (H24-25) <p>(火災安全設計)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建築物の火災安全性能の設計・評価技術の高度化 (H17) ・ 火災リスク評価に基づく性能的火災安全設計法の開発 (H18-20) ・ 機能要求に対応したリスク評価に基づく建築物の火災安全検証法の開発 (H21-22) ・ 緊急性が高い既存不適格建築物の火災安全性向上技術の開発 (H23-25)

III 中層大規模木造建築物の火災安全

近年、木造利用および木造建築への関心が高くなっている。大規模な木造建築物に対しては、過去の市街地火災における被害などを踏まえて、建築基準法が厳しく防火規制を行ってきた。建築分野における木材の利用を増やすためには、これまでに木材利用が困難であった集合住宅や学校、事務所ビルなどの中層・大規模建築物を木造で建築することが効果的である。

海外でも従来、大規模な木造建築は制限されてきたが、1990年代から規制緩和が進められ、現在では中層の木造建築物が可能となっている。ヨーロッパを中心に中層の木造建築物が建てられており、例えば、イギリスでは9階建ての木造集合住宅までが建築されている。日本においても、2000年の建築基準法の改正により、防火基準の性能規定化が行われ、耐火建築物を木造で建てることのできるようになった。

このような状況の中で、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(2010年10月施行)が施行され、国土交通省は木造3階建て学校について、必要な研究を進めた上で規制見直しを行う方針を示した。現在、建築基準法では、3階建ての学校を鉄筋コンクリート造のような耐火建築物とすることを義務付けているが、木造で建てても火災に対して必要な安全を確保できるように研究開発を進めている。

1) 木造建築物の防火基準

市街地火災による火災被害を低減するため、海外においても日本と同様に大規模な木造建築は制限されてきたが、防火基準の性能規定化とともに規制緩和が進められ、現在では中層の木造建築物が可能となっている。海外における木造に関する防火基準を調査した結果を表2に示す。

各国で違いはあるものの、概ね4階程度までは木造建築物とすることが認められている。ただし、建築物の用途による制限もあり、病院や学校は低層とすることが求められている。また、スプリンクラー設備の評価や、消防力を考慮して、木造建築物の規模制限を行っている国もある。

木造といっても、木材を現しに使うことを認めているとは限らない。いわゆる大断面木造以外では、耐火性能を求める部材には耐火被覆が要求される場合もある。

外壁に関しても、敷地境界からの距離が近い範囲には可燃性外装が認められていない。これは隣の敷地の建物との間で相互に延焼を防止するためと考えられる。外装材料だけでなく、開口部の面積や防火設備の設置に関する規制がされている。

表2 各国における木造建築物の主な防火基準

項目	日本	ドイツ	ニュージーランド	カナダ	イギリス	米国
		MBO2002		NBC2010	BuldingRegulations2000	IBC2000
木質系の耐火等級	耐火構造: 30分(非耐力外壁、階段、屋根)、1時間(最上階から数えて1~4階)、2時間(最上階から数えて5~14階)、3時間(最上階から数えて15階~) 準耐火構造: 30分(非耐力外壁、軒裏、階段、屋根)、45分、1時間	耐力部材 F60-BA、F30-B、B2(可燃) 区画壁 F60-BA+M	S-rating 崩壊防止: 隣地までの距離、外壁の開口面積、屋根の開口面積、火災区画の制限値 SP有りは1/2 F-rating 延焼防止: 避難高さ・階数、各階の火災区画の数、火災区画の面積、用途、在館者数、火災危険カテゴリー 最大90分	45分 または 1時間	樹種により炭化深さに違いあり 30分耐火: 20、25、15mm 60分耐火: 40、50、30mm	壁 最大2時間 床 最大1時間
木現し部材の有無	耐火構造: 火災後鉛直力を支える構造躯体無し、準耐火構造: 柱、はり、外壁、間仕切壁、軒裏、床、屋根、階段すべて有	無 壁・柱・梁: 全面を耐火被覆天井(床下): 下面を耐火被覆	木造の柱、梁は内装制限の対象外	Heavy Timberに規定される断面以上であれば45分耐火となる。(Table3.1.4.7)		あり。タイプIVは大断面木造
燃えしろ設計の適用	準耐火構造、一般木造(大規模木造)	無	柱、梁、床に対応	炭化深さの記述はない。	あり	最小寸法の制限あり
外壁(可燃外装の制限)	所定の燃え抜け防止性能(非損傷性、遮熱性、遮炎性)が確認されていれば制限なし	工場: SP設置の場合、可燃性外装が可 店舗: SPなしの場合、外装は不燃性、SP設置の場合、外装に難燃性も可	境界からの距離と用途により、外装の被覆材の発熱量に制限がある。 境界から1m以内には可燃性の材料は使用できない。	外壁面積に対する、防火戸以外の開口面積の許容率が50%以上の場合、可燃性材料による仕上げが可能。ただし建物用途により、外壁の構造は45分もしくは1時間の耐火性を有するものとする。	あり 敷地からの距離1m以内または高さ18m以上の部分は可燃材の使用不可	
外壁開口部の扱い(面積制限など)	基本的になし(準防火三戸(準防火地域、木造3階建て戸建て、延べ面積500m2以下)のみあり)		0.1m ² 以下の開口は、相互に1.5m以上離せば設置可能。 境界からの距離とSPの有無により、最大の開口面積が制限される。 防火設備を設けない開口部は、防火区画ごとに高さや幅、強化までの距離により、面積の制限がある	建物用途、敷地境界からの距離と敷地境界に面する外壁面積により防火戸以外の開口面積の許容率が規定されている。 敷地境界線から25m離れた場合、建物の用途、外壁面積によらず100%となる。	あり。用途(住宅とそれ以外)、敷地境界からの距離により開口部の面積を制限。 開口部の離隔をとることににより緩和可 スプリンクラーにより緩和可。 外壁の放射熱流速12.6kW/m ² で緩和可	あり。敷地境界からの距離により開口部の面積が制限される。

2) 木質部材の防耐火性能

建築物に要求される防火上の性能は、一般に規模が大きくなるほど、柱や梁などの部材に高い耐火性能が求められる。木材は火災に弱いとされていたので、従来、木造建築物は規模の小さなものしか建築できなかった。木材を利用した場合にも構造的に火災に強くするための対策としては、木材をせっこうボード等で被覆するメンブレン防火被覆という方法と、燃えしろ設計という方法が一般的に用いられている。(図1)

メンブレン防火被覆は、木材を燃えない材料で覆うことで、木材の温度上昇を緩やかに、燃え難くすることができる。一方、燃えしろ設計では、木が燃えて表面が炭化することにより内部へ燃え進む速度が遅くなる特性を利用している。燃えてしまう厚さ(燃えしろ)の分だけ、構造上必要な断面より大きな部材断面が必要となる。

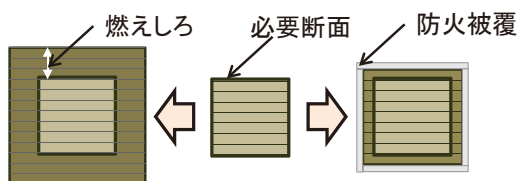


図1 燃えしろ設計とメンブレン防火被覆の概念

1990年頃までは欧米でも、2階建て程度の規模までに木造建築物は制限されていたが、現在では5階建てを超える建築物も建てられている。このような木造建築物には、新しい木質部材 CLT パネル (Cross-Laminated Timber Panel、比較的厚い断面の板を繊維の直交方向に貼り合わせたもの。図2) が多く利用されている。そこで、現行の耐火試験により CLT パネルの耐火性能を把握した。大断面集成材を用いた建築物では、燃えしろ設計を採用して木造であることが見目で分かるようにすることが多いが、現状では燃えしろ設計は、主要構造部である柱やはりだけを対象としているため、壁や床には適用することができない。そこで、CLT パネルの壁や床に対しても、燃えしろ設計を適用することができるように、炭化速度や目地部の燃焼性状などの基礎的なデータを収集した。¹⁾

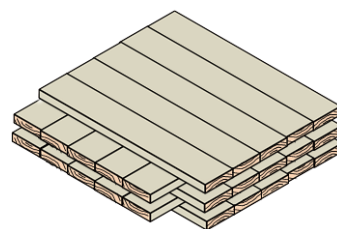


図2 CLT パネルの構成概要



写真1 加熱試験直後のCLTパネル

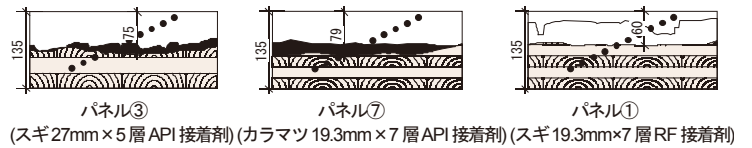


図3 CLT一般部炭化図(90分加熱)

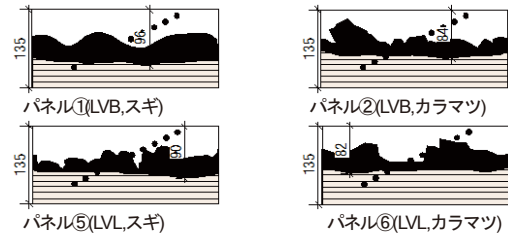


図4 LVL・LVB一般部炭化図(120分加熱)

①炭化性状

壁の厚さ、ラミナの厚さ、接着剤の種類、樹種、防火被覆の有無などの条件を変えたCLTパネルとLVB・LVLパネルを作成し、それらを組み合わせた壁の試験体を利用して加熱試験を行った。(写真1)

各試験体の加熱後の炭化状況を図3、4に示す。図中、黒く示した部分は実験中に脱落せず加熱後に残存した炭化層を示している。スギを用いた方が炭化速度は幾分か大きいですが、炭化層の形成には大きな差は無いことが分かる。

実験の結果、スギ・防火被覆なしCLT壁パネルでは、炭化速度は約0.7mm/分となり、構造用集成材と同程度の炭化速度となった。強化せっこうボード15mmで被覆したスギCLT壁パネルでは、炭化開始時間が20~30分抑制できるだけでなく、防火被覆が脱落しなければ、炭化速度も約0.4mm/分に低下することが示された。(図5)

また、LVB壁パネルの炭化速度は、CLT壁パネルより幾分か小さく、約0.6mm/分となった。(図6) 実験中の炉内を観察すると、CLTの方がLVB・LVLと比べて炭化層の脱落が目立つ。脱炉後の様子からは、CLTでは接着界面で炭化層がラミナごと剥離しているが、LVB・LVLパネルでは亀裂は発生するものの残存する炭化層が未炭化部分に比較的強く固着している。これは強度低下が小さい接着剤のためと考えられる。

従って、上記の結果から、CLTパネルについては、現行と同じような炭化速度を想定し、燃えしろ設計を適用することが可能と考えられる。また、防火被覆が脱落しないことを条件とすれば、燃えしろ寸法を低減させることも可能となる。これは従来の柱やはりに対しても同様に考えることができる。

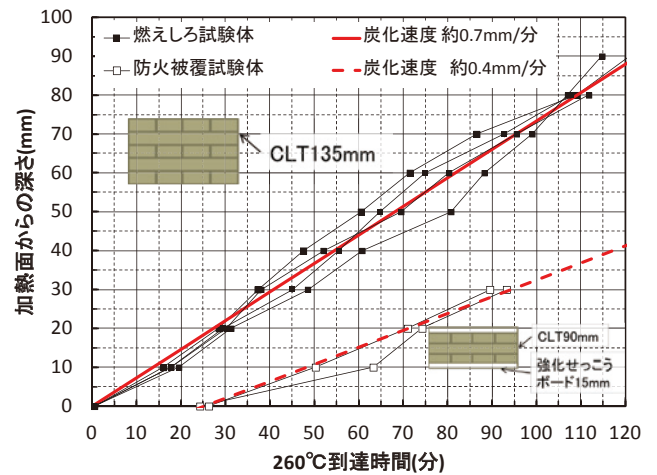


図5 スギCLT壁パネルの炭化速度

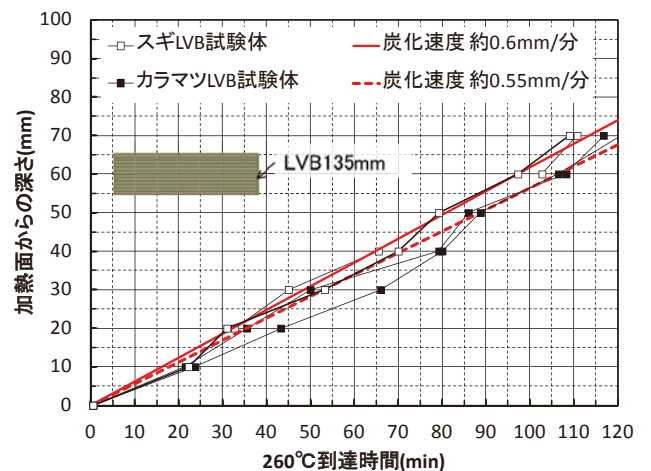


図6 スギLVB壁パネルの炭化速度

表3 荷重加熱試験体の仕様及び実験結果

試験体名	部材寸法(mm) (縦×横×高さ)	材種 接着剤 幅はぎ接着	平均含水率 (%)	ヤング係数 (kN/mm ²)	座屈長さ (mm) ・ 細長比 ^{※2}	荷重 (kN)	座屈時間 (分)	炭化速度 (mm/分)	応力度 (残存断面) (N/mm ²)	崩壊時の有効断面積 ^{※1} (mm ²)
W-A		スギ ・ API ・ 無し	10.8	4.58	2300 ・ 46.2	P μ =934	-	-	20.8	-
W-1			10.3	4.53		(1/3)P μ =312	24.5	0.42 ^{※2}	7.8	39855
W-2			8.9	4.50		(1/4)P μ =234	63	0.67	7.8	30000
W-3			10.3	4.67		(1/6)P μ =156	55	0.63	5.2	30000
W-4			10.3	4.64			67	0.63	5.2	30000

※1 有効断面のみを考慮 ※2 座屈時間が短い小さい値となった

②荷重加熱試験

CLT パネルを構成する厚い断面の板(ラミナ)は、交互の直交しているため、直交方向は構造上荷重を支持しないと考えられる。そこで、荷重加熱試験により加熱時の性状を把握した。CLT パネルの崩壊荷重を実験で求め、その 1/3、1/4、1/6 の各水準における耐火性能を実験で求めた。(表 3)

試験体はスギ CLT パネルを用い、幅 0.5m×高さ 4.3m×厚さ 150mm(ラミナ厚 30mm×5 層、API 接着剤、幅はぎ接着なし)で作成した。平行層および直交層のラミナの強度等級は、それぞれ、L60、L40-50 を用いた。なお、壁の荷重加熱試験方法に準じて片面加熱とするため、加熱面以外の 3 面を不燃材(強化せっこうボード及びセラミックファイバー)により断熱した。

CLT の荷重加熱時の軸方向変位は、一定に増加するのではなく増加しなくなる時間がある。耐力を担保しない直交層が防火被覆の役割を果たしていると考えられ、スギ厚さ 30mm の直交層は約 20 分間試験体の耐力減少を遅らせる効果がある。(図 7)

崩壊した時間と荷重との関係を考えて、W1 では加熱面の 1 層目が炭化しただけで崩壊し、W-2 では加熱面から 3 層目が炭化して崩壊に至った。

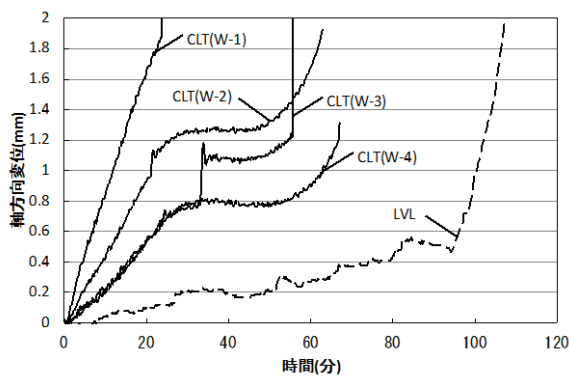


図7 軸方向変位の推移

従って、このような特性を踏まえて燃えしろ設計を定めることが重要である。例えば、表面のラミナ層の荷重負担が大きい場合は、燃えしろに防火被覆を付加することなどが必要となる。

③合わせ部材の炭化性状

大断面の部材で燃えしろ設計を行うことが基本であるが、部材の確保が困難な場合も少なくない。中断面の部材を組合せて、同じように燃えしろ設計を適用できれば都合が良い。そこで中断面の部材による合わせ部材について、炭化性状を把握した。

合わせ部材では、部材間の隙間に熱が侵入し、炭化が進む。試験体として 2 本のスギ集成材柱(120mm×240mm)を組み合わせ、部材間の隙間を 0~20mm に変化させて耐火実験を行った。

図 8 に示すように、部材間の隙間が 5mm を超えると隙間部分の炭化が進行することが明らかとなった。木材の乾燥や施工誤差等により生じる隙間が 5mm 程度以下であれば防火上は大きな問題が生じにくいと考えられる。

従って、大断面集成材を用いなくても、中断面の部材を組み合わせることで、同様の燃えしろ設計を適用できる可能性が示された。

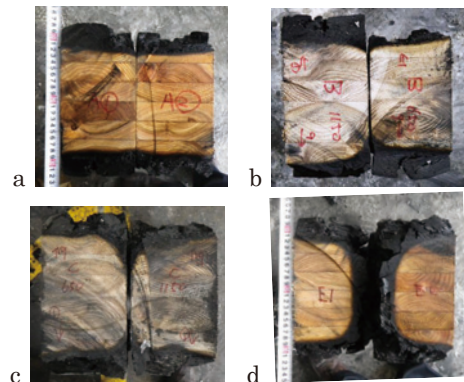


図8 合わせ部材の炭化性状
(隙間 a 0mm、 b 3mm、 c 5mm、 d 20mm)

3) 木質内装の空間の火災性状

内装に木材を利用した場合、収納可燃物と内装の木材が一緒に燃えて火災時の危険性が高くなるため、建築基準法では内装制限が行われている。避難安全検証法においては、内装による火災成長率の増加分を考慮しているが、使用部位やその量に関係なく、木材であれば同じ評価となる。これは、安全側の評価となるが、性能的な評価を行うためには、木材の使用範囲や部位などを適切に評価することが必要である。

そこで、大きさの異なる2つの室（ルームコーナー試験の空間と教室規模の空間）を用いて、内装条件の違いが火災性状に及ぼす影響を把握する実験を行った。（表4）内装条件が同じでも、室面積が大きいほど火災成長が遅くなることが示された。特に教室規模の実験では、天井を不燃化した場合、内装の燃焼が局所に留まり、室全体には延焼しなかった。2) (図9)

また、教室規模の木質内装（壁、天井が木材）の実験でも、火災成長率は難燃材料に相当することが示された。今後、研究を進め、木質内装を適切に評価行うことでできれば、安全に木材を利用できる範囲を広げることが期待される。

表4 木質内装の実験空間

ルームコーナー試験装置	教室規模の空間
<p>ケイ酸カルシウム板(既存) 内装木材(厚さ15, 幅巾150, 長さ3000)</p> <p>バーナー</p> <p>ツリー1(中央) ガス分析計</p> <p>ツリー2(穴)</p> <p>ツリー3(開口)</p> <p>天井高さ 2.3m 面積 約7.2㎡</p>	<p>バーナー</p> <p>熱電対ツリー-4 (4点)</p> <p>熱電対ツリー-1 (4点)</p> <p>熱電対ツリー-2 (4点) ガス分析計 H=1500 [下から]</p> <p>熱電対ツリー-5 (4点)</p> <p>熱電対ツリー-3 (4点)</p> <p>天井高さ 2.79m 面積 約58.4㎡</p>

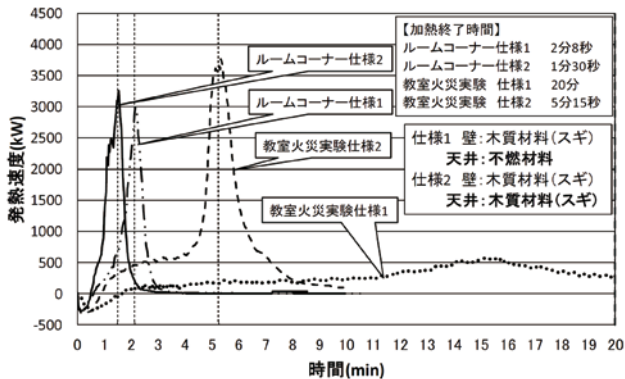


図9 木質内装の実験結果

4) 木造3階建て学校の実大火災実験

①実験の全体計画

現行の建築基準法では耐火建築物とすることが要求されている3階建て学校を、既に共同住宅などで導入されている1時間準耐火構造の部材を用いて建設し、火災安全上の課題を明らかにするための合計3回の実大火災実験を実施した。（表5）

この一連の実験は、木造3階建て学校に対する防火規制を見直すため、平成23年度から開始された国土交通省の補助事業として実施された。

表5 実大火災実験の目的と試験体の特徴

実験の目的	試験体の特徴
<p>予備実験</p> <p>大規模木造の火災性状に関する基礎的な知見を得る</p>	<p>平成24年2月22日 つくば市</p> <p>屋根: カラー鋼板 外壁: 炭素系サイディング 防火壁</p> <p>軸組壁工法部分(A) 床・天井: 石膏ボード 軸組工法部分(B)</p> <p>2-3階内部(B) 床・天井: 木質仕上げ 壁: 石膏ボード</p> <p>1階内部(AB共通) 床・天井: 木質仕上げ 外壁: 木質仕上げ</p> <p>バルコニー・ひさし: なし 内装: 壁、床、天井は木 工法: 軸組工法、枠組壁工法</p>
<p>準備実験</p> <p>予備実験で問題となった現象への対策の効果を確認</p>	<p>平成24年11月25日 下呂市</p> <p>バルコニー・ひさし: あり 内装: 壁、天井は不燃材料 工法: 軸組工法</p>
<p>本実験</p> <p>基準化に向けた知見を実大火災実験で検証</p>	<p>平成25年10月20日 下呂市</p> <p>バルコニー・ひさし: なし 内装: 壁及び床は木、天井は準不燃材料 工法: 軸組工法</p>

②予備実験の目的と結果

目的: 予備実験では、火災が内部でどのように燃え広がるのか、また、周辺に対してどのような延焼危険が生じるのか、さらに、長時間火災が継続した場合に建物が倒壊するのかなどを把握す

ることを目的としている。³⁾

結果：実験は午前9時、1階職員室に点火してスタートし、比較的短時間に上階へ延焼し、建物全体に延焼拡大した。以下に、主に目視観察による延焼状況を示す。

i) 出火室の延焼

1階中央の職員室に置かれた什器に見立てた木材クリブに点火すると、直ぐに火炎が天井に達し、木質仕上げの天井と壁にも着火して、短時間で室内が火炎に包まれるフラッシュオーバーが発生した。(写真2)

ii) 出火室からの噴出火炎による上階への延焼

出火室の窓から噴出した火炎は3階に達する高さとなり、窓を通じて上階に延焼した。そのため、1階から2階、2階から3階への順番に延焼するのではなく、点火の約30分後には3層が同時に延焼する状況になった。(写真3)

その後、屋根が燃抜けて、屋根上に大きな火炎を形成し、屋根に空いた開口から火の粉が大量に噴出した。

iii) 防火壁を越えた延焼

点火後すぐに1階昇降口の防火戸が少し開き、隙間から大量の煙が防火壁の反対側に流入した。約19分後には、1階の開放された防火戸周辺から延焼したと考えられ、吹抜けを通じて2階へ延焼した。



写真2 噴出火炎による上階延焼 (6分後)



写真3 3層が同時に燃焼 (33分後)

iv) 倒壊

軸組工法部分は76分後にフレームの形状をほぼ保持したまま、北側へ倒れこむように倒壊した。枠組工法部分は60分頃から床が燃抜けて落下し、95分後には倒壊した。96分後には、防火壁が倒れ、122分後には残りの部分が全て倒壊した。

③準備実験の結果

目的：予備実験では、1階の職員室から出火させた火災が、早期に上階延焼して建物全体が延焼したため、通常予想される建物内部の延焼性状などを十分に把握することが出来なかった。そこで、予備実験で明らかとなった課題に対して、対策を施した試験体を建設し、延焼防止など、様々な防火対策の効果を明らかにするとともに、建物内部の延焼性状、煙の流動性状、周囲への火災による影響、長時間火災が継続した場合の構造体への影響などを把握することを目的として準備実験を実施した。⁴⁾
結果：出火室の燃焼は内装不燃化により局所に留まったため、再着火をした。再着火から37分後に出火室がフラッシュオーバーとなり、火炎が噴出したが、直ぐには上階へ延焼せず、2階床の燃え抜けにより延焼した。下階からの噴出火炎により開口部から3階に延焼した。階段室及び防火壁を越えた延焼は生じなかった。以下に、主に目視観察による延焼状況を示す。

i) 初期の火災性状

クリブに点火後、約5分後に火炎は天井に到達するが、不燃化された内装には着火せず、局所的な燃焼が継続し、フラッシュオーバーには至らなかった。そこで50分後には松明を投げ込み、窓近くのクリブに再着火させた。55分後には再び火炎は天井に到達し、天井下を火炎が水平方向に延び、87分後には大きく火炎が噴出し、出火室全体に延焼した。(写真4)



写真4 フラッシュオーバー (89分後)

ii) 2階への延焼

出火室の南側窓からの噴出火炎は継続して3階バルコニー付近まで達した。97分後には2階の窓ガラスが割れ、室内に煙が流入したが、室内への延焼はしていない。その後、129分後に窓から離れた位置の2階クリブから突然火炎があがり、急速に天井面に沿って火炎が広がると、132分後には2階の室内全体に延焼した。開口部付近には着火がないことから、床の燃え抜けにより2階へ延焼したと推定される。(写真5)

iii) 3階への延焼

2階の床が燃え抜けたことで、2階の南側と北側の両方の窓から大きく火炎が噴出し、屋根を超える高さまで達した。139分後には開口部から3階の室内へ延焼した。

実験シナリオ通り、3階に設けられた散水設備により散水を開始したが、同じ頃に火の粉飛散防止の金属メッシュが一部脱落したため、実験終了として外部からの放水により消火を行った。

iv) 階段室と防火壁

階段室内のビデオカメラには68分後から薄い煙の流入が認められ、3階の煙感知器は92分後に作動した。しかし、階段室内の温度はほとんど上昇していないことから、避難上は支障が無いものと考えられる。また、防火壁の反対側には延焼が生じなかった。



写真5 2階開口部からも噴出火炎 (131分後)

④本実験の概要

目的：予備実験、準備実験などの結果を踏まえ、防火基準の見直しを検討するために最終的な検証を行うために本実験を行った。準備実験では、バルコニー・庇の設置が上階延焼防止上有効であることが確認されたが、今回は天井を不燃化した仕様として上階延焼の効果を検証することを目的とする。また、準備実験では安全管理上の理由で消火したため、構造体の影響につ

いて十分に把握することができなかった。そこで、火災盛期後の構造体への影響や、防火壁の効果についても、改めて明らかにすることを目的とした。

結果：最初の点火は自然鎮火したため、20分後に再着火した。出火室の燃焼は天井の不燃化により、当初は出火点近くの木仕上げの壁と収納可燃物に留まっていたが、66分後に出火室がフラッシュオーバーとなり、火炎が噴出した。外部開口を通じた延焼は、2階は82分後、3階へは87分後に生じた。階段室及び防火壁を越えた延焼は生じなかった。以下に、主に目視観察による延焼状況を示す。

i) 初期の火災性状

クリブに点火後、木質内装の壁に着火し、約3分後には火炎は天井まで到達するが、不燃化された天井や近くの収納可燃物には着火せず、約10分後には自然鎮火した。そのため、最初の点火から20分後に再着火した。約24分後には再び火炎が天井まで到達し、火炎が継続的に天井に達する状態が継続した。点火から約66分後に天井下を火炎が急速に水平方向に延びはじめ、出火室の窓から火炎が噴出し、出火室全体に延焼した。(写真6)



写真6 出火室フラッシュオーバー (68分後)

ii) 2階への延焼

出火室の南側窓からの噴出火炎により68分後には2階南側の窓ガラスが割れ、室内に流入した煙が床近くまで降下し、全く見通しが利かない状態になった。その後82分頃には北側窓から室内に火炎が侵入し、壁が燃焼し始めると火炎が天井に沿って急速に広がり、87分後には室内全体が火炎に包まれた。(写真7)

iii) 3階への延焼

1階及び2階からの噴出火炎は軒近くまで達し、79分頃には南側の窓ガラスが割れ、室内に火炎が漸続的に侵入した。ほぼ同じ頃に北側の窓ガラスも破損し、87分頃には開口部から3階

の室内へ延焼した。

実験シナリオ通り、3階に設けられた散水設備から散水を開始し、室内の燃焼を制御した。その後も断続的な散水を繰り返し、155分後の実験終了時には外部からの放水により消火を行った。



写真7 2階教室に延焼 (83分後)

iv) 階段室と防火壁

階段室内のビデオカメラには68分後から1階の防火扉の隙間から薄い煙の流入が認められ、3階の煙感知器は72分後に作動した。その後、徐々に煙が濃くなり、終了時には見通しが難しい状況になったが、階段室内への延焼は生じなかった。

また、防火壁の反対側についても防火戸の隙間を通じて薄い煙の流入が認められるものの、延焼はしていない。なお、87分後、1階からの噴出火炎が防火壁を越えて2階北側の窓付近に達し、94分後にガラスが破損したが、室内への延焼は認められなかった。



写真8 実験終了後 (翌日)

以上3回の実大火災実験の結果に加え、関連する部材実験や内装実験の結果を踏まえ、防火基準の見直し案のとりまとめを進めている。近い将来、木造3階建て学校のような大規模木造建築物が実現できる見通しである。

IV 既存建築物の火災安全

防火規定は新たな火災危険が明らかになるたびに、規制強化を繰り返してきた結果、現行規定には適合しない既存不適格の建築物を生み出してきた。例えば、堅穴区画関連の既存不適格建築物である可能性がある建築物としては、現在約10万棟

(1969年以前に建築され、現存する非住宅ストックのうち3階建て以上の建築物数を推計) がストックとして残っていると推定される。これら既存不適格の建築物を用途変更したり、増改築・大規模修繕したりする場合には、現行の防火規定に全て適合させなければならないため、そのための費用負担が高く、防火改修が進まない原因の一つと考えられている。

防火規定の既存不適格の建築物は、法令に適合させる改修が技術的に困難な場合もあり、建て直すか、そのまま使い続けるかの選択になっている。そこで、適切な防火改修を実施し既存不適格建築物の火災安全性を向上させるため、総合的な火災安全性能評価手法を開発するための研究を進めている。

1) 研究計画の概要

①防火規定に関する既存不適格の実態把握

防火規定に関するどのような既存不適格の建築物が多く存在し、防火改修が行われていないのか、実態を調査する。

②特徴的な火災危険の類型化

堅穴区画、排煙設備等に関する不適格項目がもたらす火災危険を分析し、類型化する。人命安全など、火災危険の大きさに優先順位をつけて、効果的な対策パターンを整理する。

③火災安全性能評価手法の開発

初期拡大、煙拡大などの火災進展の各段階において、既存建築物の特性を考慮した火災安全性能の評価手法を開発する。

2) 主な研究内容

①防火規定に関する既存不適格の実態

当初、不動産管理会社等に対するアンケート調査により、防火規定に関する既存不適格建築物の状況を調査した。回答では、排煙設備や堅穴区画、防火設備に関する不適格事例が多いことが示されたが、回答数が少ないため、全体の傾向を把握するには至らなかった。

そこで、ホームページなどで公開されている貸事務所の情報を幅広く収集し、1972年以前に竣工した計画を収集し分析することにした。堅穴区画や排煙設備、重複歩行距離の規定は1969～1973年にかけて大規模の改正がなされていることから、改正前の建築物を対象にすることで、概ね既存不適格であると推定される。

② 堅穴区画が不備である場合

収集した事例の中には、階段の堅穴区画が不備と推定されるものが多く、人命安全上の点から最も大きな問題を抱えていると考えられる。例えば、下図の例では階段室の踊り場が廊下の一部となり、階段を防火区画することが困難となっている。

そこで、居室と廊下の間にある扉の遮煙性能を確保したり、居室の排煙設備を設けたりすることで、どの程度避難安全性を向上させることができるのか、以下の評価手法等を利用しながら解決策の検討を進めている。

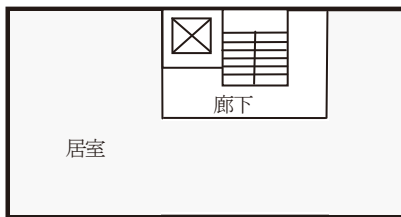


図 10 階段が堅穴区画されていない既存不適格の例

③ 火災安全性能評価手法の開発

i) 可燃物配置が異なる火災性状の予測

既存建築物では、実際にある可燃物の量や配置を把握することが可能である。防火対策として可燃物を管理した場合、その効果を評価する道具が必要となる。

そこで可燃物配置の違いが火災の初期拡大に与える影響等を把握するため、メタノール火源について配置をパラメータとした区画火災実験(区画内寸幅 2.65m、奥行 2.65m×高さ 2.65m)を実施した。同じ大きさの火源を図 11 のように異なる配置とし、区画内温度分布等を測定した。実験の結果、同じ可燃物でも配置の違いにより、区画内温度分布が異なることが示された。(図 12) また、初期火災の高温層の高さや降下時間も火源位置によって異なり、室中央では煙層は低くなり、降下時間も早い。

今後、さらに研究を進め、可燃物の実態に講じた火災性状の予測が可能となることが期待される。

ii) 堅穴空間における煙拡大性状の予測

堅穴を含む建物空間の煙流動性状の推定のため、堅穴空間の火災実験を実施した。2層ゾーンモデル BRI2002 の計算と実験結果は、堅シャフト内での周壁への失熱、空気の巻き込みに差があるが、モデルを改良することで、予測できる見通しが立てられた(図 13、14)。

既存建築物を対象とした火災安全性能の評価手法はその第一歩を踏み出したが、実用面での課題が多く残されている。今後も、個別の技術開発を進めていることが必要である。

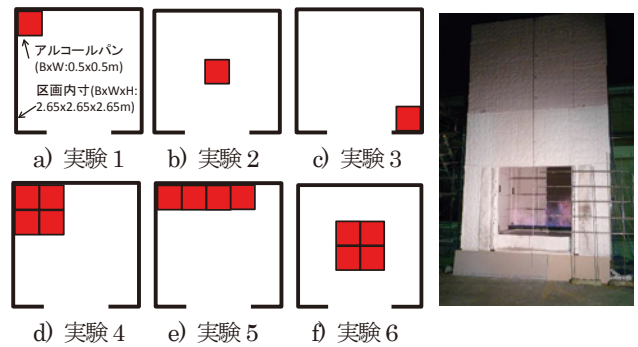
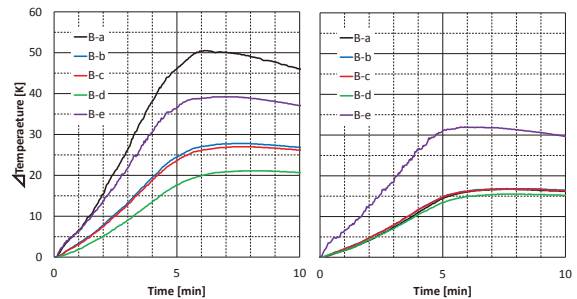


図 11 火源配置パターンと実験状況 (実験 4)



a) 実験 1(区画内奥) b) 実験 2(区画内中央)

図 12 可燃物配置による鋼板温度の違い

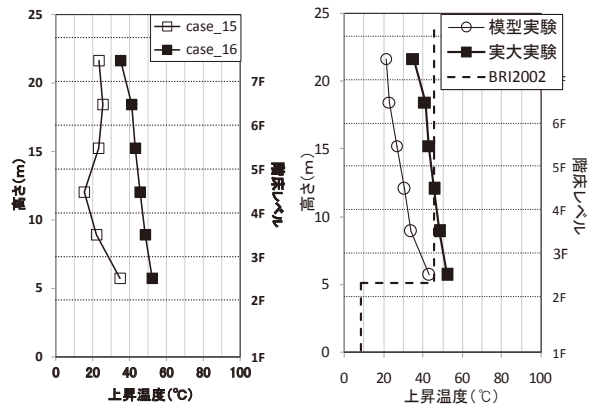


図 13 堅穴温度 図 14 実験-解析結果(BRI2002)

V 今後取り組むべき課題

以上のような研究の背景、現在及び将来の社会状況を考慮すると、今後、以下に掲げる課題に取り組むべきと考えている。

① 中小規模建築物における火災被害の軽減

従来の火災安全対策は、比較的規模の大きな建築物を対象と

して技術開発を進めてきたといえる。火災が発生して広範囲に延焼が及んだ場合には、大規模建築物や高層建築物であるほど受ける被害は深刻なものとなる。従って、火災のリスクを低くする対策が重要となり、出火そのものを低減させたり、出火した場合でも火災の影響を局所に抑える防火区画や初期消火設備を設けたりするなど、何重にも防火対策を行っている。その結果として、現状では大規模や高層の建築物について、一定の火災安全が確保されている。

一方、近年は小規模建築物の火災で多数の人命を失う事例が目立つようになってきている。防火基準は大規模に対して厳しいが、小規模に対しては緩い。また、大きな火災被害が起こるたびに防火基準は強化されてきたので、古い建築物ほど適用されている防火基準が緩いという傾向もある。建築物の火災被害を小さくしていくためには、このような小規模または古い建築物を対象にした防火対策の技術開発を充実させていくことが必要である。

②持続可能な社会に対応した防火対策

木材は燃えるので、従来の防火対策といえば木造の禁止または木造建築物の規模制限、木材の利用制限という側面が強いが、持続可能な社会や省CO₂の実現を目的として木材利用が望まれている。そこで、火災安全を低下させずに木材を上手に利用するかが求められている。大規模木造建築物を実現するための技術開発は、その第一歩を示したものである。今後も内装や外装に木材を安全に利用するための研究が必要である。

また、いわゆるグリーンビルディングについても社会の関心が高まっている。その中には外装を2重化し環境負荷を低減する手法(ダブルスキン)があるが、火災時に堅穴として機能し、上階への煙拡大経路となる危険性が心配されている。同様に、太陽光発電パネルや木製ルーバーなどについても、火災時にどのような影響があるのか明らかになっていない問題が少なくない。このような新しい技術や材料について、火災安全の観点から適切な評価をすることが必要である。

③避難困難者への対応

火災時における在館者の避難は、基本的に自ら危険を認識し移動できる能力を有する人を対象にしている。しかし、障害や病気などのために、自ら避難することが困難な在館者は少なく、また、超高層建築物の高層階から階段で避難することは多くの在館者にとって容易ではない。このような在館者の避難安全をどのように確保するのが今後大きな問題となる。

自力での移動に問題がある避難困難者を対象に、火災時の避

難計画、避難施設や避難手段などを整理しなければならない。例えば、火災時の避難にエレベータを利用することができるような計画手法や技術開発が必要である。

④防火基準の更なる性能規定化

研究の背景でも述べたように、防火基準が仕様書的に定められてきたため、新しい技術や材料に対応できないという問題があり、2000年に改正された建築基準法では耐火性能検証法、避難安全検証法が導入された。しかし、その他の出火防止や市街地火災の抑制に関する性能規定化が進んでおらず、今後も研究を進めていくことが必要である。

特に、地震後の火災安全に関しては、地震により損傷を受けた構造部材の耐火性能の低下や、防火区画の損傷、防災機器や設備の損傷とその防止対策などに課題がある。また、地震後の市街地火災の予測に関しても、個々の建築物の防火対策の効果を反映したり、広域避難への影響を評価するためには、まだ多くの課題が残されている。

VI おわりに

火災安全に関する研究の成果は、この四半世紀の間に広く普及し、建築物の火災安全性を向上させ、また、新しい空間の実現に貢献してきた。その一方で、その恩恵を受けられず、今後、被害が顕在化すると思われる問題も少なくない。常に災害は、最も弱いところに発生するものであるから、小さくても新しい火災被害を見つけ出し、先回りして対策を検討することが重要である。そのような課題に今後も取り組んで行く予定である。

参考文献

1. 中野裕品、鈴木淳一、長谷見雄二、安井昇、萩原一郎、中川貴文、山口修由、中島史郎：木質壁式構造の燃えしろ設計・評価法の開発 CLT・LVL・LVBパネルの加熱実験、日本建築学会大会、2013.8
2. 市原卓磨、安井昇、鍵屋浩司、長谷見雄二、鈴木淳一、吉田正志：木質内装材料の燃焼発熱性状に関する研究—大規模空間における火災成長率の実験的把握—、日本建築学会大会、2012.9
3. 長谷見雄二、安井昇、加来照彦、成瀬友宏、萩原一郎、加藤詞史、蛇石貴宏、泉潤一、板垣直行、鈴木淳一、鍵屋浩司、仁井大策、吉岡英樹、林吉彦ほか：木造3階建て学校の実大火災実験(予備実験) その1~14、日本建築学会大会、2012.9
4. 長谷見雄二、安井昇、加来照彦、成瀬友宏、萩原一郎、加藤詞史、蛇石貴宏、泉潤一、板垣直行、鈴木淳一、鍵屋浩司、仁井大策、吉岡英樹、林吉彦ほか：木造3階建て学校の実大火災実験(準備実験) その1~23、日本建築学会大会、2013.8