

柱・梁を木あらわしとした木造建築物の避難安全性評価

岸上昌史 山口純一

Evacuation Safety Assessment of Wooden Buildings with Bare Beams and Columns

Masashi Kishiue Jun-ichi Yamaguchi

Abstract

The building code were revised in 2019 to allow buildings that could previously only be designed as fireproof buildings to be designed as quasi-fireproof buildings. Therefore, further proliferation of wooden buildings is expected. Wooden buildings have the design need to show the wood of columns and beams in living rooms. One concern is that the spread of wood in columns and beams during a fire may affect the evacuation safety of occupants; however, little is known about this. Therefore, we proposed a new evaluation method for combustion by conducting full-scale combustion experiments using wood for columns and beams. Finally, a case study confirmed that the proposed method improved the degree of freedom in planning.

概要

2019年の法改正により、従来は耐火構造でしか設計できなかった建物が、準耐火構造としての設計が可能となった。そのため、さらなる木造化の普及が想定される。こうした木造建築物では、居室において柱や梁の木材をあらわしで見せたい、という設計ニーズがある。この場合、柱や梁の木材の燃え広がりや在館者の避難安全に影響を与えることが懸念されるが、その知見は少ない。そこで、火災初期を対象として柱や梁を難燃処理していない木あらわしとした場合の実大燃焼実験を実施した。また、実験結果をもとに新たな燃焼性状評価手法を提案した。最後に、提案手法を用いたケーススタディーにより計画自由度が向上することを確認した。

1. はじめに

近年、脱炭素社会の実現に向けて建築物の木造化が国の施策として促進されている(例えば¹⁾)。なかでも、2019年の法改正により、従来は耐火構造でしか設計できなかった建物が、準耐火構造で計画できるケースが増えた(詳細は2章に後述)。これにより、さらなる木造化の普及が想定される。

一方で、こうした木造建築物の居室では、Fig. 1に示すとおり柱や梁の木材をそのまま見せる「あらわし」としたい(以下、木あらわしという)、という設計ニーズがある。木あらわしとする場合、「木」独特のあたたかみや匂い、調湿等が在館者へ生理的・身体的な効果を与える可能性も示唆されており²⁾、ウェルビーイングへの貢献が期待できる。その反面、木はコンクリートや鉄といった不燃材料と異なり燃えるため、火災時への配慮が必要となる。

火災時に配慮すべき点として、a)構造部材の耐火性能、b)在館者が煙に曝されず安全に避難できる避難安全性の2つを確保することが挙げられる。a)構造部材の耐火性能は、既往研究が多数あり、大林組でも様々な研究開発を行っている^{3),4)}。一方で、木あらわしの建築物では

火災初期に柱や梁表面の木の燃え広がりや在館者の避難安全に影響を与えることが懸念されるが、その知見は少ない。そこで、火災初期を対象として柱や梁に難燃処理を施さない(以下、無処理という)木あらわしとした実大燃焼実験を実施した。なお、本論文の成果は準耐火構造の建物だけでなく、耐火構造や鉄骨造の建物で柱や梁の表面に無処理の木材を貼りたいというニーズにも対応可能である。

本報では、まず、木造に係る近年の法改正の概要をまとめる。次に、柱や梁を無処理の木あらわしとした場合

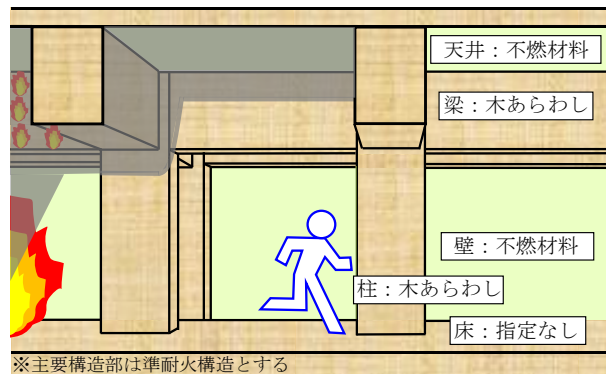


Fig. 1 本研究の対象
Subject of This Research

の避難安全に係る課題を整理し、実大燃焼実験の概要を述べる。最後に、燃焼実験結果を用いて避難安全性能を評価したケーススタディー結果を示す。

2. 木造に係る近年の法改正の概要

本章では、近年の木造に係る建築基準法の防火規定の改正概要について述べる。なお、法改正の内容は前述のとおり知見が多く得られている構造関連が主である。

建築基準法では、建築物の火災に対する要求水準として、耐火建築物、準耐火建築物、その他の建築物の3つに分類されている。耐火建築物は、主要構造部（柱・梁等）について火災後も消防活動によらずとも崩壊しない構造（耐火構造）である建物を指す。耐火構造の仕様としては、木製の構造躯体を不燃材で囲って着火させない方法や、Fig. 2(a)に示すとおり一度は着火するが燃え止まり層を内部に設けて自然に燃え止まる方法が技術開発されている^{例え3)}。一方、準耐火建築物は、主要構造部について火災時間中は崩壊しない構造（準耐火構造）である建物を指し、最終的に倒壊や延焼を防止するまでの性能は求められていない。そのため、Fig. 2(b)に示すとおり柱・梁を太く、面材を厚くつかって、燃え抜けや崩壊を遅らせる方法（燃えしろ設計）が主流である。このように、準耐火建築物は耐火建築物に比べて要求水準が低いため、耐火建築物と比較して建築コストの削減に寄与できる。

また、建築基準法上の主要構造部への規制は、規模（法21条）、用途（法27条）、立地（法61条）の3つの観点からなされている。Fig. 3に示すとおり以前は一律で耐火建築物がこの3つ全てに対応できるものとされていたが、2019年の法改正により、3つ各々に求められる性能が規定化され、それぞれ火災時倒壊防止建築物、避難時倒壊防止建築物、市街地延焼防止建築物と定義された。この性能規定化により、要求性能を満足することが確認できれば準耐火構造での計画が可能となった。

以上のことから、今後も木造建築物、ひいては準耐火木造建築物の普及促進が想定される。なお、2024年4月にも木造の普及促進を目的とした法改正が行われた。Table 1に概要をまとめるが、延べ面積3000m²を超える大規模建築物や部分的な木造の実現等、木造建築物のさらなる普及を目的としたものといえる。

3. 柱・梁を木あらわしとした場合の燃焼評価に係る避難安全上の課題の整理

本章では、柱・梁を木あらわしとした場合に避難安全上の課題を整理する。火災室の壁や天井の内装材料は、火災初期の燃え広がり及び影響が大きい。Photo 1は、幅2.2m×奥行3.6m×高さ2mの空間の壁2面と天井に厚さ12mmの不燃処理していない合板を設置した木質内装の燃焼性状を測定した結果⁹⁾である。Photo 1より、時間の進展に従い、床においた出火源からの熱的影響で壁に

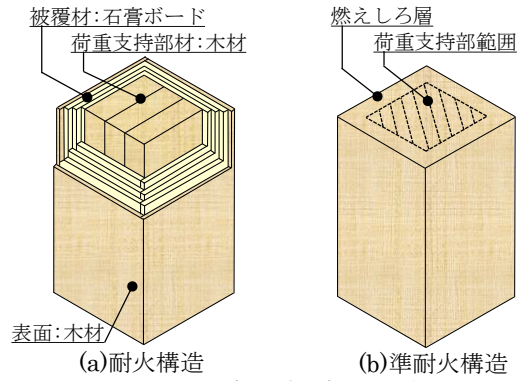


Fig. 2 各構造の柱の仕様

Column Specifications for Each Structure

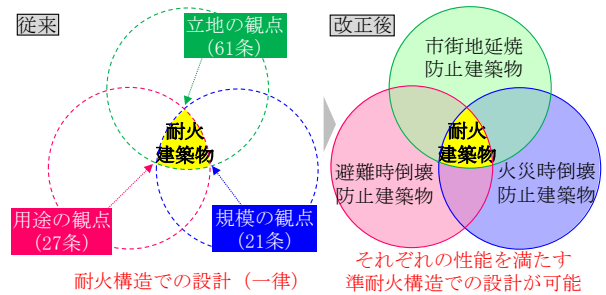


Fig. 3 2019年の法改正のイメージ⁵⁾を参考

Concept of Legal Amendment (2019)

着火した後、天井が着火し、天井で火炎が水平方向に伝播し、最終的には火炎が一気に天井全体に広がる⁷⁾（フラッシュオーバー）。このように、内装材料が燃えやすいと、火災室内の延焼を助長し、望ましくない。そのため、建築基準法では居室の壁（1.2mより上）と天井の仕上げを難燃材料とするよう規定されている（内装制限）。

柱や梁を木あらわしとした場合には、火災初期から当該部表面の燃焼が想定される。そのため、燃焼性状を踏まえて対策を講じることが望ましい。なお、現時点の法的扱いとしては内装制限の対象とある壁・天井に柱・梁等の木が露出する場合は内装制限の対象とされる⁸⁾。当該柱・梁が壁・天井に該当するかは建築主事との協議が必要であるが、以下では内装制限が適用されると判断された場合を想定する。

この場合の対応方法は、大きく2つに大別される。1つ目は、建築基準法の規定に合致するよう（ルートAという）、何らかの方法により難燃性能を確保する手法である。主な方法の1つに木材に難燃剤を含浸させる方法があるが、コスト増加や含浸させた難燃剤が表面に出る（白華現象）等の意匠性の低下が懸念点である。

2つ目は、内装制限の適用除外を図る方法である。これは避難安全検証法の適用により可能となる。避難安全検証法とは、工学的手法により火災時に避難に支障のある煙に曝されずに避難できる性能（避難安全性能）を有することを精緻に確認する方法である。避難安全検証を適用すれば、内装制限の他にも排煙設備の設置や歩行距離等の避難関連規定の一部の適用を除外でき、自由度の高い設計が可能になる。なお、避難安全検証は廊下や階

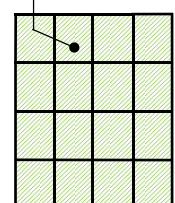

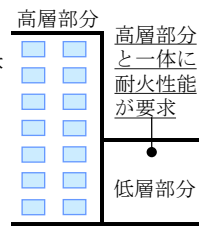
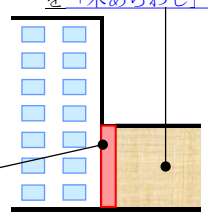
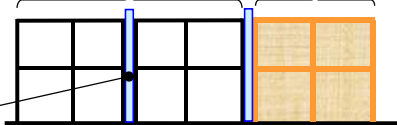
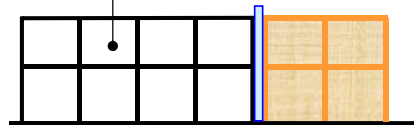
段の内装制限の適用除外はできない点には注意が必要である。また、前提条件として主要構造部が準耐火構造又は不燃材料で造られたものであることが必要となる。

避難安全検証には、告示で定められた計算式を用いるルートBと、建物毎に検証方法を含めた大臣認定を取得するルートCがある。ルートBには2000年に制定され

たB1と2021年に制定されたB2という2つの手法があるが、ここでは、最新のB2について取り上げる。

B2は、B1に比べて煙発生・避難行動に関するモデルが精緻化されている。特に煙発生モデルでは、内装仕上げが火源規模に与える影響について最新の知見が反映されている。Table 2に示すとおり内装仕上げによる燃焼性

Table 1 2024年の法改正の概要⁹⁾
Summary of Legal Amendment (2024)

項目	法改正前と課題	法改正後
① 延べ面積3000㎡超の大規模建築物	以下のいずれかの設計法とする。 a)主要構造部を耐火構造とする。 b)3000㎡毎に耐火構造体で区画する。 →「木あらわし」にできず、建築物の利用者が木の良さを実感しづらい。耐火構造体で区画する場合には建築物を二分化する必要があるなど、設計上の制約が多い。	主要構造部の「木あらわし」(準耐火構造)による設計を可能とする。 (ただし、防火区画の強化等の火災時に周囲に大規模な危害が及ばぬ対策が必要)
② 部分的な木造化	大規模建築物等では全ての主要構造部材を耐火構造とすることを要求 →最上階の飲食店やメゾネットの住居、客室といった建築物の見せ場となる特定の居室や空間について、部分的に「木あらわし」にしたい等の設計ニーズに対応できない。  建物断面図	防火上・避難上支障がない範囲内(最上階やメゾネット住戸、客室等)で、部分的に「木あらわし」(準耐火構造)を可能とする。 (ただし、上記範囲と他の部分は高い耐火性能の壁・床等で区画が必要)  部分的木造化の一例
③ 防火規定上の別棟扱い	耐火性能が要求される大規模建築物においては、低層部(例:階数3)についても高層部(例:階数4以上)と一体的に防火規制を適用し、建築物全体に耐火性能が要求される。 →低層部分の木造化がしづらい  建物断面図	延焼を遮断できる高い耐火性能の壁等(火熱遮断壁等)や防火壁で区画すれば、高層部・低層部をそれぞれ防火規定上の別棟として扱うことで、低層部分の「木あらわし」を可能とする。  別棟扱いの一例
④ 防火壁の設置範囲の合理化	木造部分(耐火建築物・準耐火建築物でない)と一体で耐火構造又は準耐火構造の部分計画する場合、耐火・準耐火構造部分にも防火壁の設置が必要。 →耐火構造部分にも1000㎡毎に防火壁の設置が求められる。 耐火構造等の部分(2000㎡) 木造部分(1000㎡) 1000㎡毎に防火壁の設置が必要  建物断面図	他の部分と防火壁で区画された1000㎡超の耐火・準耐火構造部分には、防火壁の設置は要さない。 耐火構造等の部分には防火壁設置は不要  防火壁の設置範囲の合理化

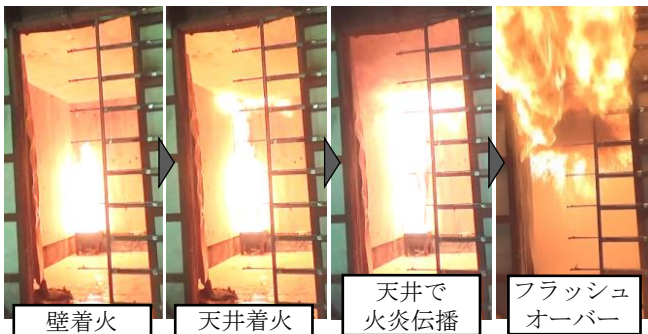


Photo1 内装仕上げを木とした場合の時系列の燃焼状況⁹⁾
Burning Time Series with Wood as Interior Finish

Table 2 内装仕上げによる燃焼特性の違い
Difference in Combustion Properties
Depending on Interior Finish

内装仕上げ		内装燃焼係数 $k_m[-]$	燃焼抑制時間 $t_m[分]$
天井	壁		
特定不燃	特定不燃	1.0	20
不燃材料	不燃材料	1.1	20
準不燃材料	準不燃材料	1.2	10
難燃材料	難燃材料	1.5	5
準不燃材料	木材	2.0	5
木材	木材	2.2	2

状の違いは、内装燃焼係数 k_m と燃焼抑制時間 t_m によって表現されており、壁および天井の内装仕上げのグレードによりそれぞれの数値が異なる。内装燃焼係数 k_m は数値が大きいくほど激しく燃焼することを意味し、内装仕上げを天井・壁ともに木材とした場合($k_m = 2.2$)、天井・壁ともに不燃材料($k_m = 1.1$)の2倍激しい火源を想定する。燃焼抑制時間 t_m は出火後フラッシュオーバーに至るまでの時間を意味し、フラッシュオーバー前に避難が完了する計画へ誘導するために、避難完了時間が燃焼抑制時間を超えた場合は検証がNGとなるよう設定されている。

一方で、柱・梁が木あらわしの場合は天井・壁ともに木材に該当すると考えられる。この場合の t_m は2分であるため、2分以内に避難完了しなければならず、計画への制約が大きい。一方で、燃焼する部材の表面積(以下、可燃表面積という)で考えれば、柱・梁が木あらわしの場合は天井・壁ともに木材の場合に比べて小さいため、燃焼が緩慢になることが予想される。しかし、柱・梁が木あらわしの場合の燃焼に関する知見はない。そこで、本報では柱・梁が木あらわしの場合の燃焼性状を把握するべく、実大燃焼実験を実施した。

4. 柱・梁を木あらわしとした実大燃焼実験

4.1 実験区画

Fig. 4 に実験区画の(a)平面図、(b)断面図を示す。内寸で幅 6500mm、奥行き 6500mm (床面積 42.25 m^2)、高さ 2700mm の区画内に柱・梁を模擬した試験体を設置した。なお区画の天井および壁は厚さ 100mm の ALC 版と厚さ 1mm の鉄板 (区画内部側のみ設置) で構成し、壁の一面に幅 3000mm、高さ 2100mm の開口を設けた。火源は 0.3m 角のガスバーナーを用い、火源の 2 側面が開口と正対する壁の隅に接するように設置した。なお、区画開口上部には排煙ダクトを介して排煙ファンへ接続された 5m \times 5m の集煙フードを設置した。

4.2 試験体の仕様

Table 3 に示すとおり柱・梁の設置範囲、断面寸法を実験変数とした。また、柱・梁を設置しない条件 (No. 4。以下、ブランク実験という) も実施した。柱・梁を模擬した部材は、垂木骨組の外周にケイ酸カルシウム板 25mm を貼り、その表層に実験終了までに燃え抜けないよう厚さ 12mm の合板 (スギ) を貼った。なお、火源設置部は上方へ燃焼拡大しやすいよう柱は再現せず、幅 700mm の合板 (スギ) 12mm を入隅状に設置した。

Table 3 には火源が設置されている 1 スパンを対象として、天井部 (水平方向) と壁部 (鉛直方向) のそれぞれについて合板を貼った可燃表面積を全表面積で除した可燃表面積率を併せて示す。

4.3 測定項目

(1) 火源発熱速度 Q_f Fig. 5 に示すとおり 0.01 t^2 を近似した Step 火源とした。これは、柱・梁が徐々に燃焼す

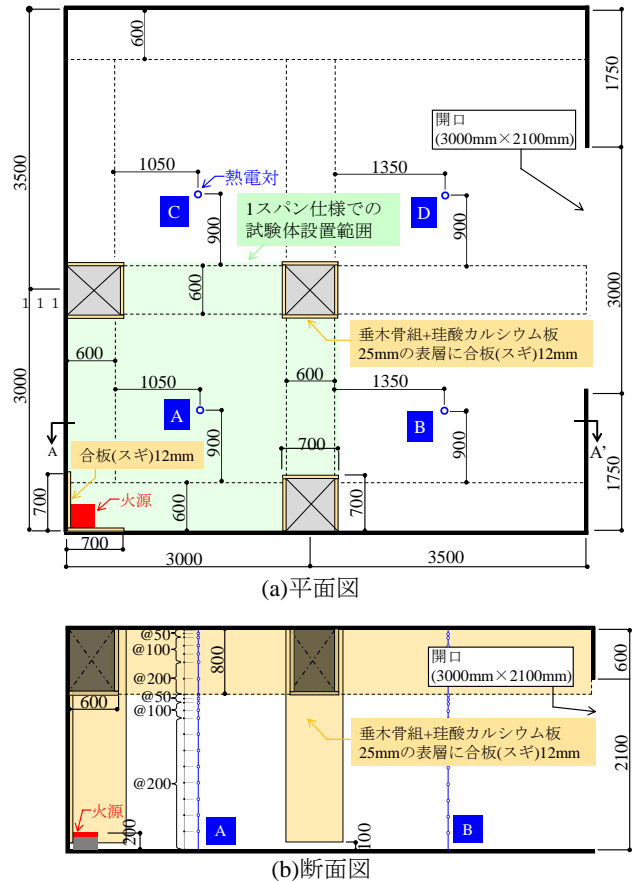


Fig. 4 実験区画概要
Outline of Experimental Model

Table 3 試験体の仕様
Specifications of Test Specimen

No.	柱・梁設置範囲	梁せい [mm]	梁幅 [mm]	柱幅 (各辺) [mm]	可燃表面積率*	
					天井部 (水平)	壁部 (鉛直)
1	全体	800	600	700	48%	42%
2	1スパン	同上	同上	同上	同上	同上
3	1スパン	500	500	500	43%	32%
4	なし	—	—	—	0%	0%

※：火源設置1スパンを対象として可燃部の表面積÷表面積で算出。梁の鉛直方向の面は壁部に含む。

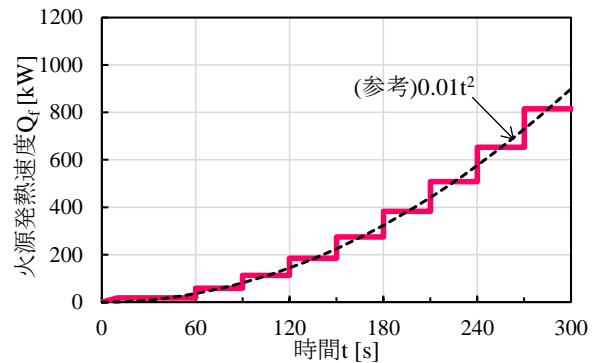


Fig. 5 火源条件
Fire Conditions

る過程を捉えること、避難安全検証法で想定する火源との整合を図ることを意図した。マスフローコントローラにてガス流量を測定・制御した。なお、燃料は都市ガスを使用した。

(2) 総発熱速度 Q_{all} 排煙ダクト内の流量計、ガス分析装置、熱電対により測定した。

(3) 燃焼状況 区画の内外部でビデオで撮影した。

(4) 鉛直温度 Fig. 4(a)のA~Dの4地点でK型熱電対により測定した。測定点の間隔は Fig. 4(b)に示すとおり天井から100mmまで50mmピッチ、400mmまでは100mmピッチ、600mmまでは200mmピッチ、700mmまでは50mmピッチ、900mmまでは100mmピッチ、以降

は200mmピッチで、1地点につき計18点である。

4.4 実験方法

火源の発熱速度を前述のとおり徐々に大きくしてゆき、その過程で着火した試験体は自由に燃焼させた。なお、実験時間は難燃材料に求められる防火性能を参考として300秒と設定した。

4.5 実験結果

Fig. 6に試験体No. 1, No. 2, No. 3の代表時間の燃焼状況、鉛直温度を示す。また、Fig. 7に各条件での総発熱速度 Q_{all} を示す。

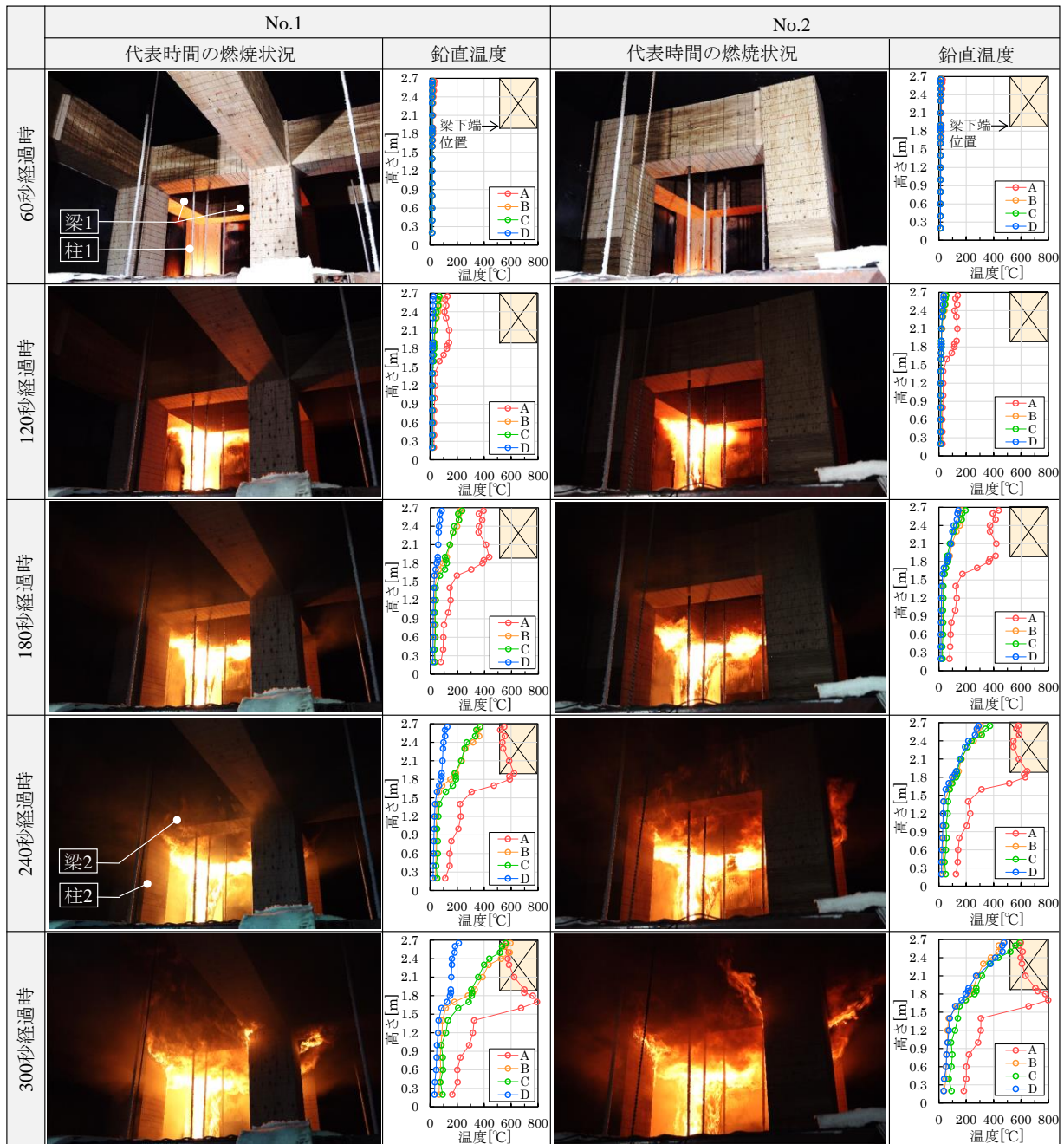


Fig. 6 代表時間の燃焼状況
Burning Conditions at Representative Times

Fig. 6 に示すとおり、180 秒時点まではいずれの条件とも火源に面する柱（柱 1：Fig.6 参照）および当該柱に接続する梁（梁 1：Fig.6 参照）の燃焼に留まった。その後、燃焼範囲は拡大してゆき、試験体 No. 1, No.2 は 240 秒時点で火炎が火源に面する柱の隣の柱（柱 2:Fig.6 参照）および当該柱に接続する他方の梁（梁 2：Fig.6 参照）の側面（火源設置スパン側のみ）に達した。その後、梁 2 の底面も燃焼し、その炎が隣接スパン内に間歇的に達する様子が確認されたが、実験終了の 300 秒まで梁 2 の隣接スパン側の側面は着火せず、1 スパン内の燃焼に留まった。一方、可燃表面積率の小さい試験体 No. 3 は、No.1 よりも緩やかな燃え拡がり方を示し、300 秒時点で

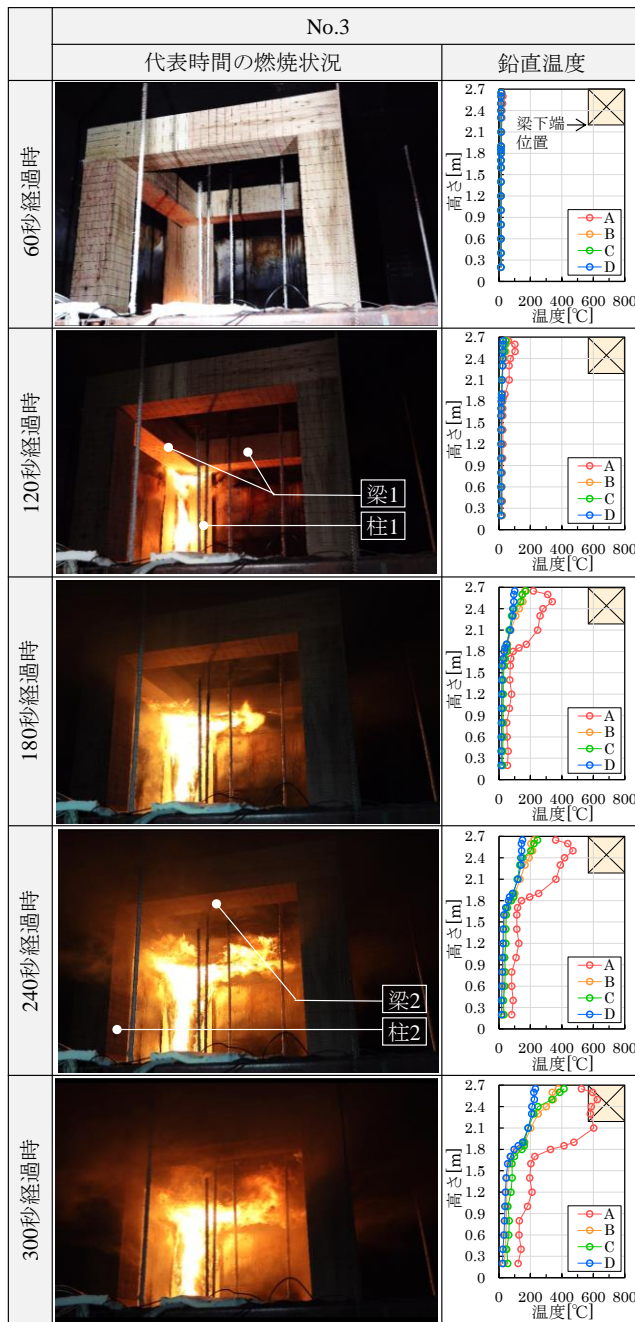


Fig.6 代表時間の燃焼状況（つづき）
Burning Conditions at Representative Times

梁 2 の底面は着火しなかった。なお、いずれの条件でも 300 秒間フラッシュオーバーは発生しなかった。また、合板の燃え抜けも見られなかった。

また、各地点の鉛直温度は 40m² 程度の区画内でも差異があり、火源に近いスパンほど高く、火源から離れるにつれ低くなった。この傾向は特に梁せいの大きい試験体 No. 1 および No. 2 で顕著にみられ、No. 1 では 300 秒時点での鉛直温度は A 地点で最大 800℃程度に対し、火源より最も遠い D 地点では最大 200℃程度であった。また、梁せいの小さい試験体 No. 3 は 300 秒時点での A 地点の鉛直温度が最大 600℃程度と試験体 No. 1 および No. 2 に比べて低いが、これは梁によって高温の煙の流出がせき止められたためと考えられる。

Fig. 7 より、Q_{all} は火源が設置された 1 スパンの可燃表面積率が同一である試験体 No. 1 と No. 2 は概ね同じ傾向を示した。これは前述のとおり 300 秒間は火源が設置された 1 スパン内の燃焼に留まり、隣接するスパンの梁が燃焼しなかったためと考えられる。一方、No.3 の総発熱速度 Q_{all} は、No.1 および No.2 より小さく緩やかな燃焼であった。これは、可燃表面積率が小さいこと、梁せいが小さく煙が他のスパンに漏れやすく火源設置スパン内に溜まる煙の温度が低いためと考えられる。

4.6 燃焼性状評価法の提案

以下では、柱・梁を木あらわしとした場合の燃焼性状評価法を提案する。なお、実験結果に基づく適用範囲として、可燃表面積率が天井部 48%以下、壁部 42%以下、かつ梁せいは 800mm 以下とする。

本報では、実務上の利便性を考えて、避難安全検証法ルート B2 の考えに従うこととし、内装燃焼係数 k_m と燃焼抑制時間 t_m について、柱・梁を木あらわしとした場合の数値を新設する。まず、内装燃焼係数 k_m について述べる。内装燃焼係数 k_m は(1)式で算定できる。

$$k_m = Q_{all} / Q_f \quad (1)$$

Q_{all} ：総発熱速度[kW]

Q_f ：火源の発熱速度（=ブランク試験（実験条件 No. 4）で得られた発熱速度）[kW]

本実験で得られた最大の Q_{all} に対して k_m を算定すると、

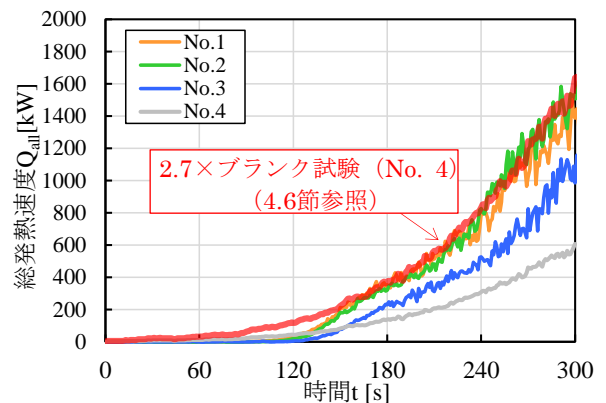


Fig. 7 総発熱速度 Q_{all}
Total Heat Release Rate Q_{all}

Fig. 7 に示すとおり k_m は 2.7 であった。

次に、燃焼抑制時間 t_m について述べる。本実験の範囲内においては、300 秒までフラッシュオーバーは発生しなかった。そのため、燃焼抑制時間 t_m は 5 分とした。以上を踏まえて、柱・梁を木あらわしとした場合の k_m と t_m を追記したものを Table 4 に示す。

なお、検証時における火源設定は以下の式で与える。

$$Q = \begin{cases} 0.01t^2 & [t \leq 100] \\ \alpha_{room}(t - t_0)^2 & [t > 100] \end{cases} \quad (2)$$

$$\alpha_{room} = \max(1.51 \times 10^{-4} \times q_l, 0.0125) \times k_m \quad (3)$$

$$t_0 = 100 - \left(\frac{100}{\alpha_{room}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

- Q : 検証に用いる火源[kW]
- q_l : 積載可燃物の発熱量[MJ/m²]
- α_{room} : 当該居室の火災成長率[kW/s²]
- t : 時間[s]
- t_0 : 燃焼拡大補正時間[s]

なお、(3)式に示すとおり検証に用いる火源の火災成長率 α_{room} として k_m に乗ずる係数は 100 秒までは 0.01、100 秒以降は最小 0.0125 であり、100 秒以降においては本実験で用いた火源の設定係数(=0.01)の方が小さい。しかし、当該係数が小さい条件で燃焼実験を実施し、得られた k_m を(3)式の k_m として採用することは安全側の取り扱いとされている¹⁰⁾。

5. ケーススタディー

本章では、4.6 節で示した評価手法を用いてケーススタディーを行う。Fig. 8 に、ケーススタディーを行う建物の平面図を示す。準耐火木造建築物で、店舗（家具・書籍売場でない）部分の柱・梁のみ木あらわしとし、それ以外の内装仕上げは準不燃材料以上である。店舗部分の可燃表面積率は天井部 30%、壁部 30%、梁せいは 700mm で 4 章の実験で示した数値以下である。

店舗部分の木あらわしを実現するための内装制限緩和および排煙設備の緩和を目的として、階避難安全検証法を適用する。なお、検証に必要な数値は Fig. 8 に併せて示す。

階避難安全検証法では、対象とする階の火災室全てに対してそれぞれ出火を想定し、①火災室の在室者が避難上支障のある煙に曝されずに避難できるか（居室避難検証）、②当該階の全ての在館者が避難上支障のある煙に曝されずに避難できるか（階避難検証）を確認する必要がある。いずれの場合においても、対象空間からの避難が完了する時間（避難完了時間）における対象空間の煙層下端高さが床から 1.8m 以上であることを確認する。なお、避難完了時間は避難を開始するまでに要する時間（避難開始時間）と避難開始から避難出口を通過するまでの時間（出口通過時間）の和で与えられる。

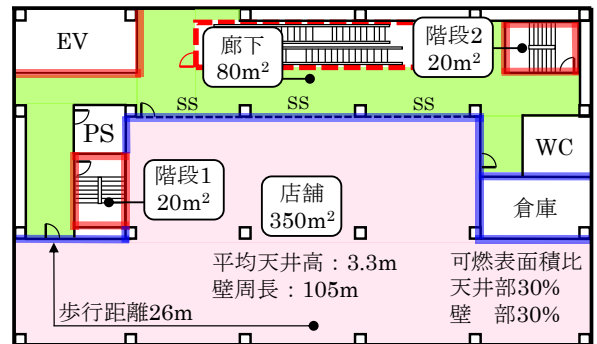
ここでは、階避難安全検証法のうち、一例として店舗

部分の居室避難検証（店舗部分で火災が発生した場合に店舗部分の在館者が煙に曝されずに避難できるか）の結果を Table 5 に示す。なお、Table 5 には比較として現状のルート B2 での試算結果も併せて示す。

Table 4 柱・梁のみ木あらわしとした場合の k_m と t_m
 k_m and t_m in a Wooden Building
with Bare Beams and Columns

内装仕上げ		内装燃焼係数 k_m [-]	燃焼抑制時間 t_m [分]
天井	壁		
特定不燃	特定不燃	1.0	20
不燃材料	不燃材料	1.1	20
準不燃材料	準不燃材料	1.2	10
難燃材料	難燃材料	1.5	5
準不燃材料	木材	2.0	5
木材	木材	2.2	2
柱・梁のみ 木材※	柱・梁のみ 木材※	2.7	5

■ : 本研究で新設した項目
※ : 可燃表面積は天井48%以下、壁42%以下とし、梁せいは800mm以下とする。



- (blue): 不燃材料で造られた壁+防火設備 (2号)
- (red): 準耐火構造で作られた壁+防火設備 (常閉・2号)
- - (red): 準耐火構造で作られた壁+防火設備 (常開・2号)
- ∩ (black): 避難に使用する扉 (有効0.8m)
- (pink): 居室 (排煙なし) ■ (green): 廊下 (排煙なし)

Fig. 8 ケーススタディーに用いた建物の平面図
Building Plans Used for Case Studies

Table 5 ケーススタディーの結果
Case Study Results

	本手法	現状 (ルートB2)
居室避難開始時間 $t_{start(room)}$ [分]	1.33	同左
居室出口通過時間 $t_{pass(room)}$ [分]	1.14	同左
居室避難完了時間 $t_{escape(room)}$ [分] (= $t_{start(room)} + t_{pass(room)}$)	2.47	同左
居室避難完了時の 煙層下端高さ Z_{room} [m]	1.81	0
判定 $Z_{room} \geq 1.8$	OK	NG ($t_{escape(room)} > t_m$ のため)

Table 5に示すとおり避難完了時間に係る計算部分は、本提案手法と現状のルート B2 の計算手法と同一なので、いずれも避難完了時間 $t_{escape(room)}$ は 2.47 分であった。

一方、避難完了時間当における煙層下端高さ Z_{room} は、本提案手法では 1.81m で避難上支障ある高さとしてされる 1.8m より高かった。そのため、当該計画でも安全に避難できることが確認できた。しかし、ルート B2 の計算手法を用いた場合は 0m と評価され、NG となった。これは、避難完了時間が燃焼抑制時間である 2 分を超えているため、フラッシュオーバーに達して避難不能と評価されるためである。

以上のとおり、今回提案した燃焼評価法を用いれば、柱・梁を木あらわしとした床面積 350m² の店舗を計画可能となり、従来に比べて自由度の高い計画が可能となる。

なお、検証の成立・不成立には対象居室の壁周長や天井高さ、出口までの歩行距離等の様々なパラメーターが影響を与えるので一概には言えないが、今回検討した条件で試算を行った結果、避難出口幅の合計を 4m (=0.8m ×5 か所) とすれば、床面積の上限は 500m² まで計画可能であった。

6. まとめ

柱や梁を無処理の木あらわしとした場合の燃焼性状を評価すべく、実大燃焼実験を実施した。また、燃焼実験結果を用いて避難安全性能を評価したケーススタディーを実施した。

本実験で得られた実験の範囲内（可燃表面積率が天井部48%以下、壁部42%以下で、かつ梁せいは800mm以下）で得られた知見を以下に示す。

- 1) 火源着火後120秒程で梁に着火し、徐々に燃焼が拡大した。
- 2) 火源着火後180秒時点まではいずれの条件とも火源に面する柱および当該柱に接続する梁の燃焼に留まった。その後、燃焼範囲は拡大してゆき、可燃表面積率の大きい仕様は240秒時点で火炎が火源に面する柱の隣の柱および当該柱に接続する他方の梁の側面（火源側）まで達した。その後、当該梁の底面も燃焼し、その炎が隣接スパン内に間歇的に達する様子が確認されたが、実験終了の300秒まで当該梁の側面（隣接スパン側）は着火せず、1スパン内の燃焼に留まった。
- 3) 本実験で実施した仕様では、いずれの条件とも300秒の間、フラッシュオーバーは発生しなかった。

- 4) 煙層温度は各スパンによって大きく異なり、火源に近いスパンは高く、遠いスパンでは低くなった。
- 5) 実験結果を踏まえて、柱・梁を木あらわしとした場合の燃焼性状評価法を提案した。本報では、避難安全検証法ルートB2の考え方に準拠し、内装燃焼係数 k_m を2.7、燃焼抑制時間 t_m を5分とした。
- 6) 上記の燃焼性状評価手法を用いてケーススタディーを行った結果、従来は検証NGとなり計画できなかった床面積300m²を超える居室が計画できることを確認した。

なお、今後はさらなる実験データの拡充および評価手法についてのさらなる高度化を行う予定である。

参考文献

- 1) 林野庁林政部企画課，“森林・林業基本計画”，林野庁，2021
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/>，（参照 2024-06-05）
- 2) 林野庁林政部木材産業課，“木材・木造建築物関係のハンドブック”，林野庁，2017
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/attach/pdf/handbook-24.pdf>，（参照 2024-06-05）
- 3) 山口，他：耐火集成材（シグマウッド™）の開発，大林組技術研究所所報，No. 70，2006
- 4) 榎本，他：都市木造の実現に向けた構造技術の開発，大林組技術研究所所報，No. 85，2021
- 5) 一般財団法人日本建築センター：火災時・避難時倒壊防止性能検証法の解説及び計算例とその解説，pp. 8-15，2024.3
- 6) 一般財団法人日本建築防災協会：令和2年度建築基準整備促進事業 F19 内装制限及び排煙設備の設置基準の合理化に係る検討 報告書，pp. 52-53，2021.3
- 7) 田中哮義：第3版建築火災安全工学入門，一般財団法人日本建築センター，pp. 282-283，2020.3
- 8) 日本建築行政会議：建築物の防火避難規定の解説 2023，株式会社ぎょうせい，pp. 112，2024.06
- 9) 国土交通省，“令和4年改正 建築物省エネ法・建築基準法 木造建築物に関する改正項目”，国土交通省，2023
<https://www.mlit.go.jp/common/001500390.pdf>，（参照 2024-06-05）
- 10) 岸上，他：高層木造建築物Port Plus®での避難安全設計，大林組技術研究所所報，No. 86，2022