

令和 5 年度 林野庁補助事業「建築用木材供給・利用強化対策」

CLT・LVL 等の建築物への利用環境整備事業のうち  
「CLT・LVL 等を活用した建築物の低コスト化・検証等」  
～耐火性能が要求される木造屋根の普及に向けての調査・研究～

令和 6 年 3 月



**R5年度 林野庁補助事業「建築用木材供給・利用強化対策」**  
CLT・LVL等の建築物への利用環境整備事業のうち  
「CLT・LVL等を活用した建築物の低コスト化・検証等」  
～耐火性能が要求される木造屋根の普及に向けての調査・研究～

<目次>

第1章	事業概要	
1.1	耐火性能検証法とは	・・・ 1
1.2	耐火性能検証法による木造化促進に向けての課題	・・・ 1
1.3	本事業の実施内容	・・・ 3
第2章	耐火性能検証法による木造化の現況	
2.1	耐火建築物を原則とする建築物の一部を木造とする 設計手法の分類	・・・ 5
2.2	耐火性能検証法により木造化された事例リスト	・・・ 7
2.2.1	Bルート検証法	・・・ 7
2.2.2	Cルート検証法	・・・ 17
第3章	法令・出版物を参考とした耐火性能検証法の手順の整理	
3.1	Bルート検証法	・・・ 45
3.1.1	手順	・・・ 45
3.1.2	屋内火災の火炎継続時間	・・・ 46
3.1.3	屋内火災保有耐火時間	・・・ 49
3.1.4	火災温度上昇係数	・・・ 50
3.1.5	部分近傍火災温度上昇係数	・・・ 50
3.2	Cルート検証法	・・・ 52
3.2.1	木質系主要構造部材の耐火性能	・・・ 52
3.2.2	局所火災の判定	・・・ 53
3.2.3	火源設定	・・・ 60
3.2.4	火源の火炎性状	・・・ 66
3.2.5	煙層温度	・・・ 68
3.2.6	補足説明等	・・・ 69
第4章	木質床の燃焼実験	・・・ 75
4.1	実験の目的	・・・ 75
4.2	実験	・・・ 75
4.2.1	プロパンガスバーナー火源による木質床の燃焼実験	・・・ 76
4.2.2	クリブ火源による木質床の燃焼実験	・・・ 86
4.3	考察	・・・ 98

4.4	まとめ	・・・102
第5章	床材の CCM 試験	
5.1	実験の目的	・・・103
5.2	試験概要	・・・103
5.3	実験結果	・・・107
5.3.1	E フローリング (無塗装)	・・・107
5.3.2	E フローリング (ウレタン塗装)	・・・114
5.3.3	バリューフローリング	・・・116
5.3.4	スギ厚板合板	・・・123
5.4	まとめ	・・・130
第6章	収納可燃物の燃焼試験	
6.1	実験の目的	・・・131
6.2	実験の内容	・・・131
6.2.1	単体試験	・・・131
6.2.2	3脚の燃焼試験 その1	・・・135
6.2.3	3脚の燃焼試験 その2	・・・137
6.3	床の燃焼状況	・・・139
6.4	まとめ	・・・140
第7章	耐火性能検証法チェックリスト (案)	
7.1	目的	・・・141
7.2	チェックリスト案	・・・141
7.3	今後の課題	・・・143

委員 宮林正幸 有限会社ティーイーコンサルティング  
安井昇 桜設計集団一級建築士事務所  
油野健志 株式会社 関西建築防災研究所  
土屋伸一 株式会社 明野設備研究所

事務局 原田浩司 木構造振興株式会社



## 第1章 事業概要

### 1.1 耐火性能検証法とは

一般的な建築空間では、ある程度の規模まで火災が成長すると、充満する可燃性ガスが一瞬で引火し、火災範囲が室内全域におよぶ。この現象をフラッシュオーバーと呼ぶ。このような火災では被害は火災室にとどまらず、開口部から火炎が噴出し、屋外や隣室にも被害が及ぶとともに、建物利用者の避難をも困難にする。

一方でスポーツ施設や学校体育館等のアリーナでは、収納可燃物量が他の居室に比べ少なく、大空間であるため火災の影響は近傍に限られ、ある範囲以上への可燃物の着火が起こらず、着火した可燃物が燃え尽きれば火災は終了する。このシナリオを局所火災と呼ぶ。この局所火災では、屋根が可燃物で構成されていても、着火に至らない、あるいは局所の延焼だけでやがて自消する可能性がある。これは耐火建築物の定義である「想定される火災が終了した後、消火活動によらずとも崩壊せず、自立し続けられることが要求される建築物」の要件を満たしている。こうした事象を定量的に検証する設計手法を耐火性能検証法といい、間伐材で屋根をくみ上げた小国ドームを皮切りに、大型木造化の草分けである出雲ドームや長野オリンピックのメインホールになったエム・ウェーブなど、木造化の象徴となったスポーツ施設に本検証法が採用され、基準法第 38 条に従って建設大臣の認定を取得することで、屋根の木造化が実現した。

2000 年の基準法改正により導入された‘性能規定化’は、耐火建築物の木造化を可能にし、かつて基準法第 38 条で取り扱われてきた耐火性能検証法も、基準法施行令第 108 条の 3 第 1 項第一号の技術基準として盛り込まれた。

### 1.2 耐火性能検証法による木造化促進に向けての課題

耐火性能検証法には平 12 建告 1433 号によって実施する検証法（以下、B ルート検証法）と、工学的手法による検証法（以下、C ルート検証法）があり、前者は、検討項目が例示化されているため、検証作業等は比較的容易で、確認申請時も特別な手続きを必要としない。しかし着火に至らせないためには、次のような条件が課せられ、著しく設計の自由度を下げってしまうため、この検証法を活用して木造化された事例極めて少数にとどまっている。

- ① 主要構造部に使用する木質系構造用材料の断面の小径は 20cm 以上
- ② 部材近傍火災温度上昇係数を  $145 (^{\circ}\text{C}/\text{min}^{1/6})$  以下にするため、木質梁最下端の床面からの高さを 5.55m 以上確保
- ③ 火災継続時間時の煙層内の温度を下げるため、外気の流入と煙の排出を促進させるために、屋外に面するかなり広い開口面積が必要

一方、C ルート検証法により木造化された建築物は、東京オリンピックの関連施設で採用例が見られたが、2000 年の基準法改正以降、次のような理由で採用事例は、1~2 件/年程度に留まっている。

- ① 本検証法を活用するためには高度な工学的知識が必要であり、この手法を活用できる技術者は希少で、首都圏に集中している。
- ② 検証に時間と手間がかかるため、検証にかかる費用が高額になる可能性が高く、設計事務所が経営面を理由に耐火性能検証法の採用による木造案が回避される。
- ③ 第三者審査機関による性能評価を経て、大臣認定に至るまでのプロセスを、与えられた実施設計の期間では消化するのが困難である。
- ④ 検証の判断に必要な木材の燃焼に関するデータが十分ではない。
- ⑤ 耐火性能検証法に触れている参考図書が少ない。

①に関しては、特に火災工学の専門家が少なく、勤務先は首都圏の組織事務所、大手総合建設会社、コンサルタント企業に集中している状況にあり、地方の設計事務所では耐火性能検証法の概念すら知られていないのが現状である。

②のCルート検証法にかかる費用の相場は、700～1000万円/件とも言われており、この検証法を採用した場合も、建築主から設計費が上積みされることはほぼなく、構造設計費等にしわ寄せがいく事例もみられている。

③は、事前協議から大臣認定の取得まで6ヶ月から8ヶ月必要になり、公共事業の場合、実施設計の業務期間は通常、1年間であるため、スケジュール面で厳しく、設計の早い段階で木造化の芽が摘まれる大きな理由になっている。

④は、盛期火災を想定した実験は多くされているが、耐火性能検証法で対象とする局所火源火災を前提とした着火条件や自消する条件等を整理するための、低輻射での燃焼に関する実験は極めて少ない。また耐火性能検証を進めるにあたり、壁や屋根の木質化を図った場合、燃焼した時の発熱量等に関する定量的データが必要になるが、天井高さが高い自由空間を想定した床や壁の木材の燃焼データは少ない。

⑤は、2000年の基準法改正後、2001年に日本建築センターから「耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」（図1.1）が出版されているが、これはBルート検証法を対象にしたもので、Cルート検証法に関するテキストは出版されていない。また耐火性能検証法で主となる、局所火源火災について記載されている設計図書としては、日本建築学会が出版している「鋼構造耐火設計指針」（図1.2）が該当する程度の状況にある。



図1 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説



図2 鋼構造耐火設計指針

### 1.3 本事業の実施内容

大空間を有する建築物の設計の計画段階で、前項の理由により耐火性能検証法による木造化の計画が回避されてしまう状況を打開するためには、耐火性能検証法を初めて活用する設計者に参考になるような、過去の事例をまとめた資料や、基本設計の段階で、検証の流れがある程度理解できる資料、あるいは最低限守るべきポイントが把握できる資料があることが望まれる。そこで本事業では、下記の資料の作成を実施する。

- ① 耐火性能検証法を活用して木造化された事例の整理
- ② 耐火性能検証法の手順書（案）の着手
- ③ チェックリストの着手

また耐火性能検証法の実務にあたっている技術者にヒアリングを実施し、これまでの経験から検証作業を進めていくうえで課題となっている必要項目を洗い出し、技術検討委員会にて協議し、建材試験センター中央試験所に新たに設置された試験装置（図 1.3 参照）を活用して実験等を実施し、課題の解消を図っていくことにした。

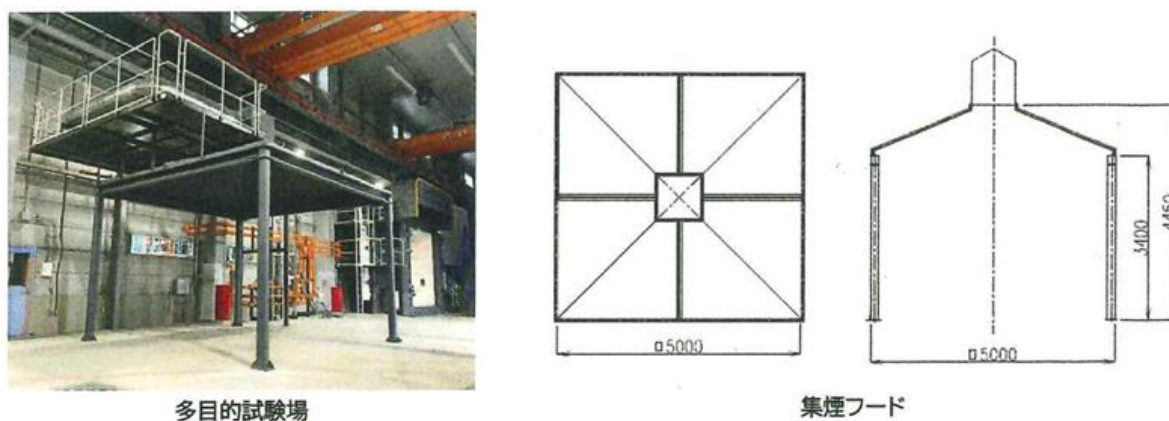


図 1.3 実施した実験施設の概要  
(一般財団法人建材試験センター中央試験所多目的試験場)

**謝辞：**

本事業の実施にあたり、CCM 試験実施に向け材料の供給をいただきました、越井木材工業(株)、空知単板工業(株)、北海道パーケット工業(株)、矢島木材乾燥(株)には、心より感謝申し上げます。

また CCM 試験と床等の燃焼試験を行っていただきました建材試験センター中央試験所、および建材試験センター西日本試験所の皆様には、実験結果のまとめ、および写真等のご提供をいただき、誠にありがとうございました。

## 第2章 耐火性能検証法による木造化の現況

### 2.1 耐火建築物を原則とする建築物の一部を木造とする設計手法の分類

建築基準法（以下、基準法）制定以降、木材は「燃える建材」であるという点で、都市不燃化政策の下、不特定多数の利用者が集まる公共建築物や、市街地の建築物に利用することは避けられていた。しかし 1980 年代に入ると木材の燃え方<sup>1</sup>の研究が始まり 1986 年、燃えしろ設計という概念が導入されたことで、中大規模建築物への木造化推進に向け、門戸が開かれ、1992 年から 1994 年にかけての基準法改正により簡易耐火建築物改め、準耐火建築物を木造で建てるのが可能となり、軒の高さ 9m、最高高さ 13m を超える建築物や 3 階建て共同住宅も木造で建てるできるようになった。そして 2000 年の基準法改正で性能規定という概念が導入され、木造によって耐火建築物を建設することが可能になった。

2000 年以降、さらに「木造の燃え方」の研究が進み、性能規定の動きは加速し、2019 年には一定以上の高さを有する木造建築物が対象となっている基準法第 21 条第 1 項、特殊建築物が対象となっている基準法第 27 条、防火地域内の建築物が対象となっている基準法第 61 条が改正され、各々が要求する性能を満たせば、耐火建築物ではなくても、基準法第 21 条第 1 項では、火災時倒壊防止建築物（通常火災終了時間（建築物の構造、建設設備および用途に応じて通常の火災が消火の措置により終了するまでの間に通常要する時間）が経過するまでの間、当該火災による建築物の倒壊および延焼を防止するために主要構造部に必要とされる性能に関して政令で定める技術的基準に適合する建築物）、基準法第 27 条では、避難時倒壊防止建築物（当該建築物に存するものの全てが当該建築物から地上までの避難を終了するまでの間（特定避難時間）、通常の火災による建築物の倒壊および延焼を防止するために、主要構造部に必要とされる性能に関して政令で定める技術的基準に適合するもの）、基準法第 61 条では、延焼防止建築物（耐火建築物と同等以上の耐火性能を有する建築物）で建設可能になった。さらに 2024 年には、防火上・避難上支障ない範囲内の、最上階の屋根・柱・はり等の木造化が可能になる。

上記の変遷を踏まえ、図 2.1 に耐火建築物を原則とする建築物の一部を木造とする設計手法の分類をまとめた。本事業では耐火性能検証法の内、C ルート検証法の中で、過去の事例から検証の手順を整理できそうな建物を対象とする。

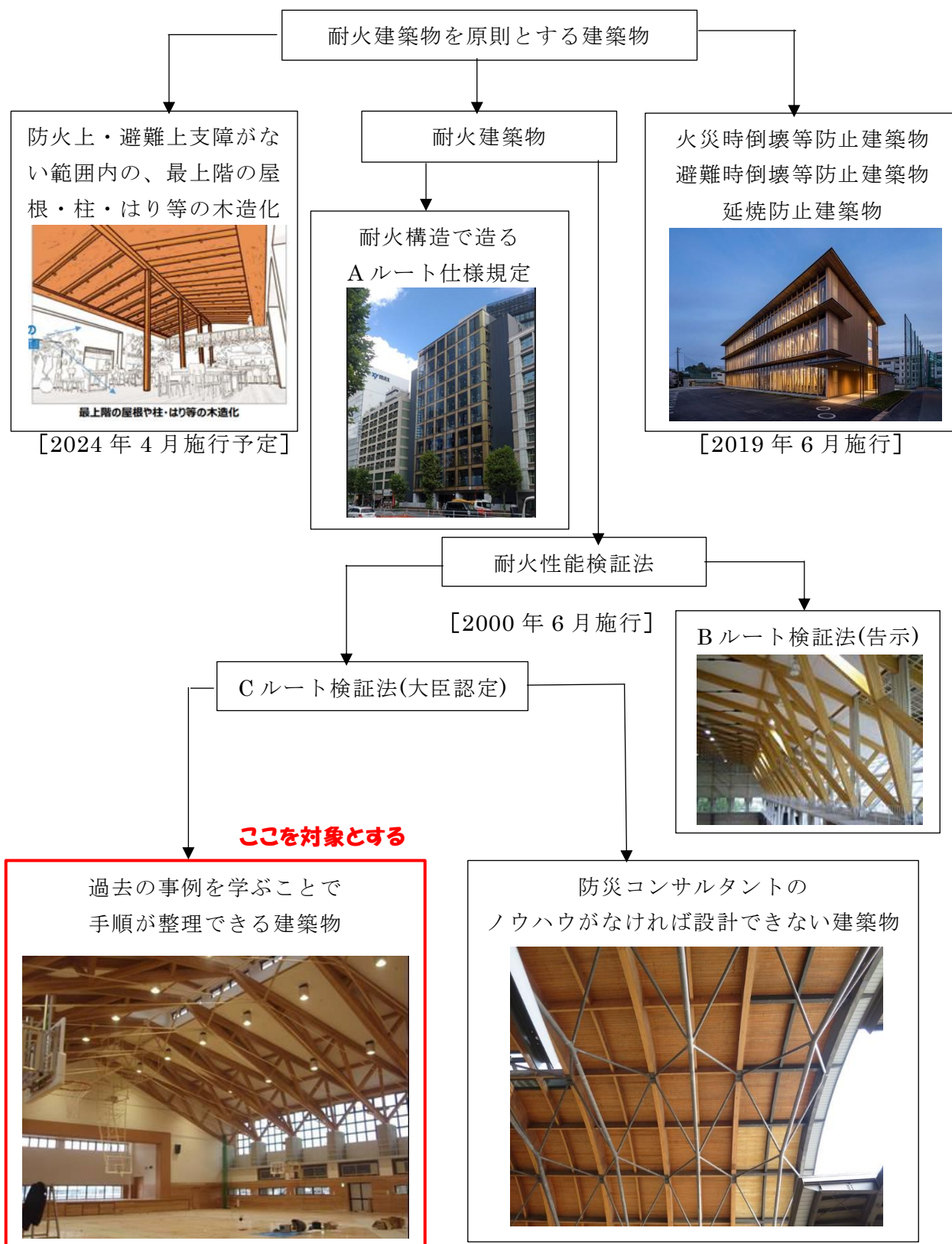


図 2.1 耐火建築物を原則とする建築物の一部  
または全部を木造とする設計手法の分類

## 2.2 耐火性能検証法により木造化された事例リスト

本項では、2000年の基準法の改正以降、耐火性能検証法により木造化された建築物の事例を紹介する。

### 2.2.1 Bルート検証法

表 2.1 に、B ルート検証法によって木造化された建築物一覧表を示す。ただしジャーテック本社ビルは、本来であれば 2 時間耐火構造とすべきところを、この検証法により 1 時間耐火構造の柱、および梁の仕様で建設可能となった事例である。

表 2.1 B ルート検証法によって木造化された建築物一覧表

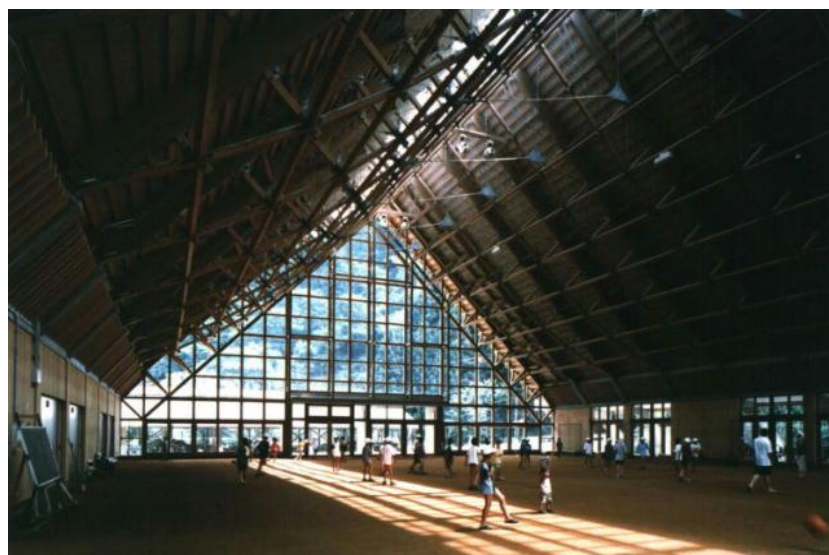
あけのベドーム「森の館」	兵庫県大屋町	全天候型運動場
一戸町コミュニティセンター	岩手県二戸郡一戸町	集会施設等
サンドーム日向	宮崎県日向市	屋内運動場
南郷くろしおドーム	宮崎県南那珂郡南郷町	屋内運動場
ウッドエナジー（協）集成材工場	宮崎県南那珂郡南郷町	工場・倉庫
天福球場スタンド	宮崎県日向市	観覧場
綾てるはドーム	宮崎県東諸県郡綾町	屋内スポーツ練習場
二本松市城山市民プール	福島県二本松市	水泳場・集会施設
ジャーテック本社ビル	東京都港区	事務所

表 2.2～表 2.10 にて、上記建物の建物概要等、紹介する。



表 2.2 あけのベドーム「森の館」

所在地	兵庫県大屋町	発注者	兵庫県大屋町
用途	全天候型運動場	設計事務所	三竿修一建築研究所
階数	地上1階		
最高高さ	19.95 m	防災担当	
軒高さ	4, 2 m	内装仕上材(床)	土間
建築面積	1,440.00 m <sup>2</sup>	仕上材(屋根内部)	木毛板
延べ床面積	1,296.00 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式	張弦トラス	竣工年月日	2001年 4月
使用構造材	構造用製材 (スギ)		



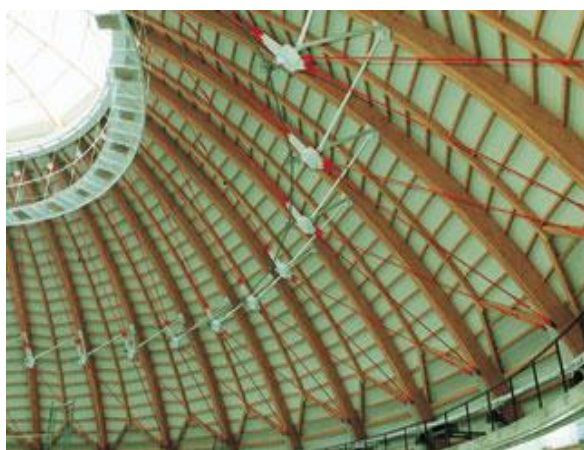
ルートBによる木造耐火建築物の第1号物件。床面より5.7mまではRC造とし、屋根トラス上弦材は20cm角製材の組合わせ材、下弦材は棒鋼、ラチス材、つなぎ材等15cm角材で構成した張弦梁構造である。妻側は全て開口部とし、内装材料の発熱量を下げるために床は土間としている。

参考資料：日経アーキテクチャー 2001年8月20日号



表 2.3 一戸コミュニティーセンター

建物名称	一戸コミュニティーセンター		
所在地	岩手県二戸郡一戸町	発注者	岩手県一戸町
用途	集会施設・図書館・事務所	設計事務所	BAO設計室
階数	地上2階 地下1階		
最高高さ	22.50 m	防災担当	
軒の高さ	6.50 m	内装仕上材(床)	タイル・ペット(木毛セメント板下地)
建築面積	2,842.19 m <sup>2</sup>	仕上材(屋根内部)	グラスウール(1F)、ケイ酸カルシウム板(2F)
延床面積	2,689.78 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式	ドーム	竣工年月日	2002年 3月
使用構造材	構造用集成材		



屋根架構は構造用集成材によるアーチ構造。トップライトは当初案の直径7.5mから直径15mに変更し、トップライト面積を大きく修正することにより、開口因子を割増し耐火性能を検証している。発熱量を下げるため内装不燃化や発熱量の少ない床仕上げ材を採用している。

参考資料：日経アーキテクチャー 2003年9月29日号

Structure No.81 2002年1月号

表 2.4 お倉ヶ浜総合公園屋内運動場「サンドーム日向」

所在地	宮崎県日向市	発注者	宮崎県日向市
用途	屋内運動場	設計事務所	(株) 近藤設計
階数	地上2階		
最高高さ	27.0 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒高さ	m	内装仕上材(床)	人工芝
建築面積	5,075.41 m <sup>2</sup>	内装仕上材(壁)	コンクリート打ち放ち
延床面積	4,809.60 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式	アーチ	竣工年月日	2002年 1月
使用構造材	構造用集成材 (スギ)		

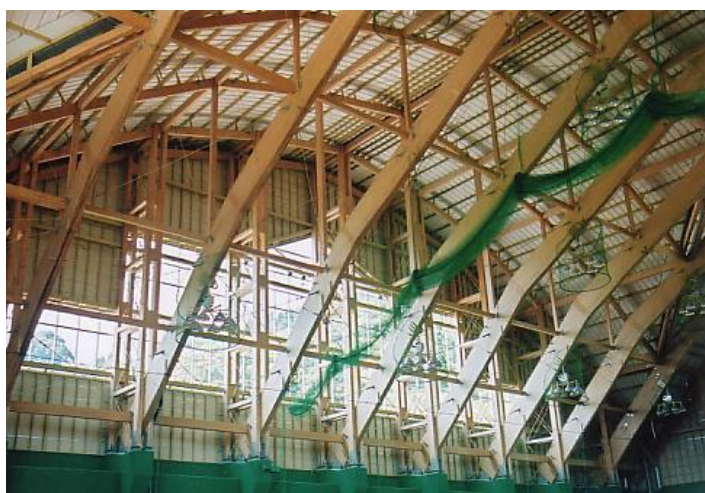


宮崎県産のスギ構造用集成材による屋根架構。床は人工芝を使用し、野球など屋外競技の練習のほか、イベントなどに使用している。

参考資料：体育施設 2003 年 11 月号

表 2.5 南郷くろしおアリーナ

所在地	宮崎県南那珂郡南郷町	発注者	宮崎県南郷町
用途	屋内運動場	設計事務所	(株) 別当設計
階数	地上1階		
最高高さ	29.77 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒高さ	m	アリーナ床仕上げ	セミアンツーカー塗装
建築面積	4,457.30 m <sup>2</sup>	内装仕上材(壁)	
延床面積	3,903.60 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式	アーチ	竣工年月日	2002年 5月
使用構造材	構造用集成材 (スギ)		



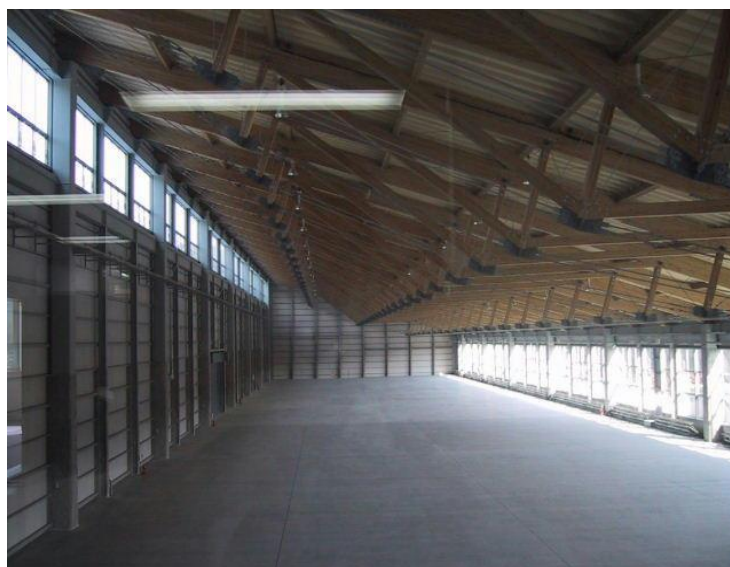
屋根架構が、宮崎県産スギ構造用集成材のアーチ構造。床仕上げはセミアンツーカ舗装、野球など屋内練習施設として利用している。

参考資料：体育施設 2003 年 11 月号



表 2.6 ウッドエネルギー協同組合集成材工場

所在地	宮崎県南那珂郡南郷町	発注者	ウッドエネルギー協同組合
用途	工場・倉庫	設計事務所	北川一級建築設計事務所
階数	地上2階		
最高高さ	22.3 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒の高さ	m	工場床仕上げ	コンクリート打ち放ち
建築面積	4,777.4 m <sup>2</sup>	内装仕上材(壁)	木毛セメント板
延床面積	8,643.1 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式	トラス	竣工年月日	2004年 6月
使用構造材	構造用集成材 (スギ)		



屋根架構はスギ構造用集成材を使用したトラス構造を採用。告示では工場用途の可燃物量が規定されていない為、特定行政庁と事前折衝を行い、持ち込まれる原材料と仕掛品含めた原材料の木材や製品である集成材の数量を考慮して火災室の総発熱量を求め、耐火性能を検証している。

表 2.7 天福球場スタンド

所在地	宮崎県日向市	発注者	宮崎県日向市
用途	観覧場	設計事務所	(株) 別当設計 北川一級建築設計事務所
階数	地上3階		
最高高さ	17.6 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒高さ	13.0 m	スタンド床仕上げ	コンクリート打ち放ち
建築面積	1,717.45 m <sup>2</sup>	内装仕上材(壁)	コンクリート打ち放ち
延床面積	3,595.25 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式	トラス	竣工年月日	2005年 1月
使用構造材	構造用製材 (スギ)		



スタンドの屋根架構は宮崎県産スギ構造用製材を使用したトラス構造。スタンドの床版はPCパネルを使用し、収納可燃物の発熱量は、集会場客席（固定席）の400MJ/m<sup>2</sup>を採用している。

表 2.8 綾てるはドーム

所在地	宮崎県東諸県郡綾町	発注者	宮崎県綾町
用途	屋内スポーツ練習場	設計事務所	大建・別当設計業務共同企業体
階数	地上1階		
最高高さ	25.6 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒高さ	16.32 m	アリーナ床仕上げ	圧密フローリング（スギ）
建築面積	7,209.0 m <sup>2</sup>	内装仕上材(壁)	コンクリート打ち放し仕上げ
延床面積	6,636.06 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式	張弦梁	竣工年月日	2004年 月
使用構造材	構造用集成材（スギ）		

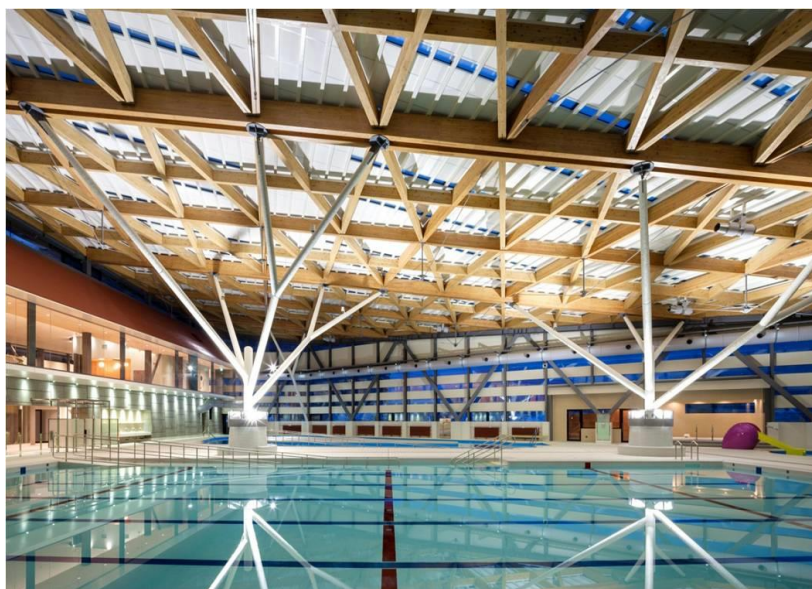


アリーナ屋根架構は、スギ大断面集成材を使用した集成材トラス構造である。ギャラリー下部の内壁はコンクリート打ち放し仕上げとし、上部は全て開口部（サッシ）としている。アリーナ部分の可燃性仕上げ材としては、床に使用している厚20mmのスギ圧密フローリングだけである。



表 2.9 二本松市城山市民プール

所在地	福島県二本松市	発注者	福島県二本松市
用途	水泳場・集会施設	設計事務所	(株)関・空間建設計
階数	地上2階	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
最高高さ	11.82 m	プール室床仕上げ	タイル
軒高さ	9.06 m	内装仕上材(壁)	押出セメント板(EP塗装) 他
建築面積	3,109.97 m <sup>2</sup>	天井仕上材	不燃発泡シート
延床面積	3,460.33 m <sup>2</sup>	設計期間	
屋根の構造形式		竣工年月日	2017年 3月
木質構造材	構造用集成材		



プール室の屋根架構を構造用集成材架構とし、柱・壁は鉄骨造、付属棟の1階はRC造、2階は鉄骨造の市民プール・集会施設である。プール室の収納可燃物発熱量は、体育館アリーナの80MJ/m<sup>2</sup>とその他の通路32MJ/m<sup>2</sup>を面積当たりの加重平均して算出している。

参考資料：近代建築 2017年 6月号

表 2.10 ジューテック本社ビル

所在地	東京都港区	発注者	(株)ジューテック
用途	事務所	設計事務所	鹿島建設(株)
階数	地下1階、地上8階、PH1階		
最高高さ	38.08 m	防災担当	鹿島建設(株)
軒高さ	m	床仕上げ	フローリング
建築面積	575.09 m <sup>2</sup>	内装仕上材(壁)	
延床面積	4,877.87 m <sup>2</sup>	設計期間	
構造	鉄骨造+木造	竣工年月日	2023年 2月
木質構造材	構造用集成材 (使用量 207.3 m <sup>3</sup> 、CO <sub>2</sub> 固定量 126.8t - CO <sub>2</sub> )		



地上8階建でルートA耐火設計では、木造部分の1階～4階までの柱とはりには2時間の耐火性能が要求されるが、ルートBの耐火性能検証法により耐火設計を行うことにより、地上階全ての柱・はりを1時間認定耐火構造のFRウッド（燃え止まり型耐火集成材）を採用している。



## 2.2.2 Cルート検証法

表 2.11 に、Cルート検証法によって木造化された建築物の一覧表を示す。

表 2.11 Cルート検証法によって木造化された建築物一覧表

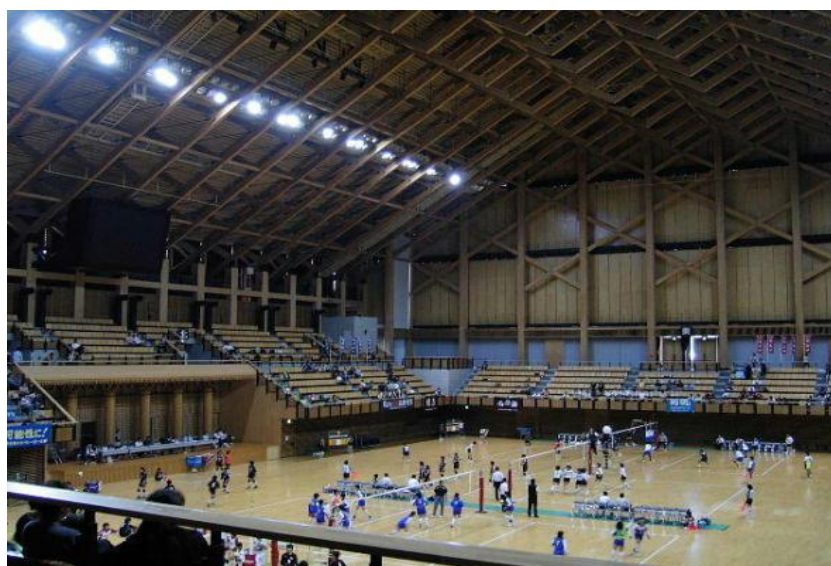
建物名	建設地	用途
愛媛県立武道館	愛媛県松山市	競技施設（武道場）
所沢市民体育館	埼玉県所沢市	体育館
秋田県立武道館	秋田県秋田市	体育館
タクミアリーナ	秋田県大館市	スポーツ施設
ひなた木の花ドーム	宮崎県宮崎市	ドーム球場
秋田拠点センター「AL☆VE」	秋田県秋田市	事務所等
西条市総合福祉センター	愛媛県西条市	福祉施設
ビーラインスポーツパーク始良（市総合運動公園）	鹿児島県始良市	体育館・観覧場
二ツ井総合体育館	秋田県能代市	体育館・集会場
日本放送協会新秋田放送会館	秋田県秋田市	放送局
JR高知駅	高知県高知市	鉄道/駅舎
高知学芸高等学校体育館	高知県高知市	学校体育館
能代市立二ツ井小学校体育館	秋田県能代市	学校体育館
東京新木場「木材会館」	東京都江東区	事務所・集会場
秋葉山公園県民水泳場 あきばさんプール	和歌山県和歌山市	屋内水泳場
このはなアリーナ（草薙総合運動場体育館）	静岡県静岡市	体育館
みんなの森 ぎふメディアコスモス	岐阜県岐阜市	図書館等
五條市上野公園総合体育館シダーアリーナ	奈良県五條市	体育館・集会場
栃木県総合スポーツゾーン新武道館	栃木県宇都宮市	武道場
室戸広域公園屋内運動場	高知県室戸市	屋内運動場
レゾナック武道スポーツセンター	大分県大分市	体育館
エコピコアリーナふくやま	広島県福山市	体育館
長野県立武道館	長野県佐久市	多目的施設
みなとテラス境港市民交流センター	鳥取県境港市	公会堂等
有明GYM・EX（有明展示場）	東京都江東区	体育館、展示場
秋田ノーザンゲートスクエア	秋田県秋田市	体育館
アスリートタウン延岡アリーナ	宮崎県延岡市	体育館

表 2.12～表 2.38 にて、上記建物の建物概要等、紹介する。

尚、表中の名称は国土交通大臣の認定を取得するにあたり、申請時の名で表記している。

表 2.12 愛媛県立武道館

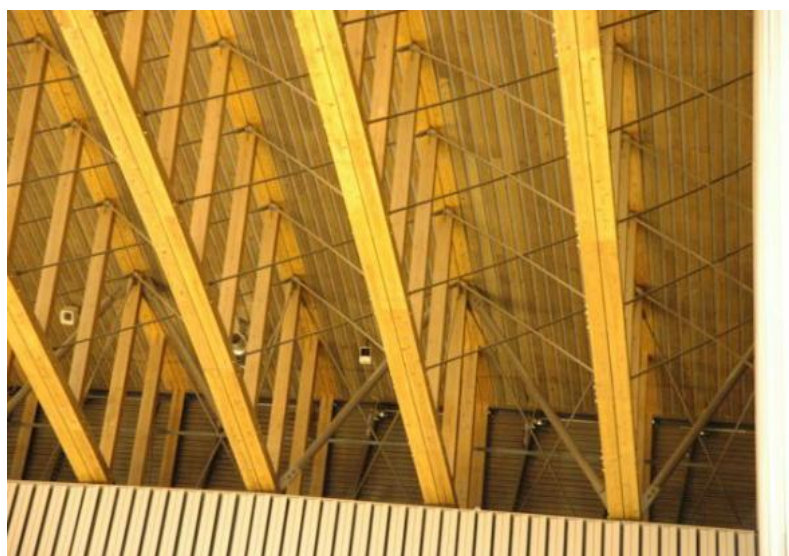
名称	愛媛県武道館（仮称）	発注者	愛媛県
所在地	愛媛県松山市		
用途	競技施設（武道場）	設計事務所	(株)石本建築事務所
階数	地上2階、地下一階		
最高高さ	39.89 m	防災担当	安宅防災設計(株)
軒高さ	16.21 m	認定年月日	2001年6月8日
建築面積	12,040.45 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	17473.75 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2003年7月
屋根の構造形式	トラス	設計期間	2000年4月～2001年3月
主な構造材料	構造用集成材（スギ）、構造用製材（スギ）		



\* 参考資料：新建築 2003年12月号

表 2.13 所沢市民体育館

名称	所沢市民体育館	発注者	埼玉県所沢市
所在地	埼玉県所沢市		
用途	体育館	設計事務所	榎坂倉建築研究所
階数	地上3階、地下1階		
最高高さ	21.599 m	防災担当	安宅防災設計(株)
軒高さ	14.649 m	認定年月日	2001年10月23日
建築面積	10,947.61 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	14,692.13 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2004年3月
屋根の構造形式	トラス	設計期間	2000年11月～2001年9月
主な構造材料	構造用製材 (スギ)		



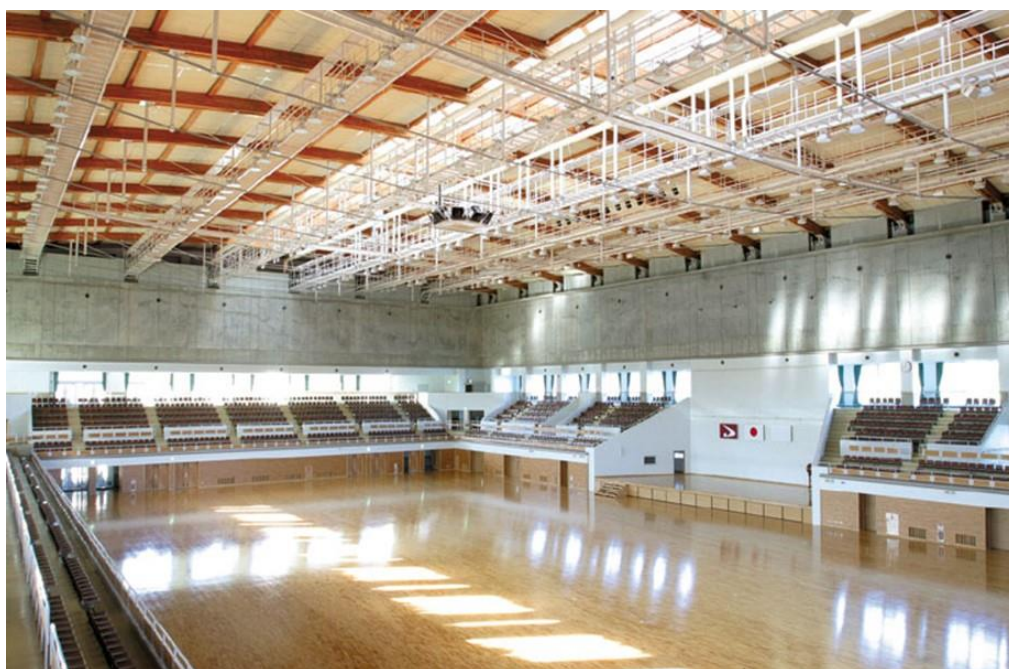
\* 参考資料：新建築 2004 年 9 月

\* 写真提供：斎藤木材工業(株)



表 2,14 秋田県立武道館

名称	秋田県立総合武道館 (仮称)	発注者	秋田県
所在地	秋田県秋田市		
用途	体育館	設計事務所	山下設計・田口正建築設計事務所 共同企業体
階数	地上3階		
最高高さ	21.599 m	防災担当	
軒高さ	14.649 m	認定年月日	2002年7月5日
建築面積	12,236.56 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	18,675.00 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2004年3月
屋根の構造形式	張弦梁	設計期間	
主な構造材料	構造用集成材(バイマツ)		



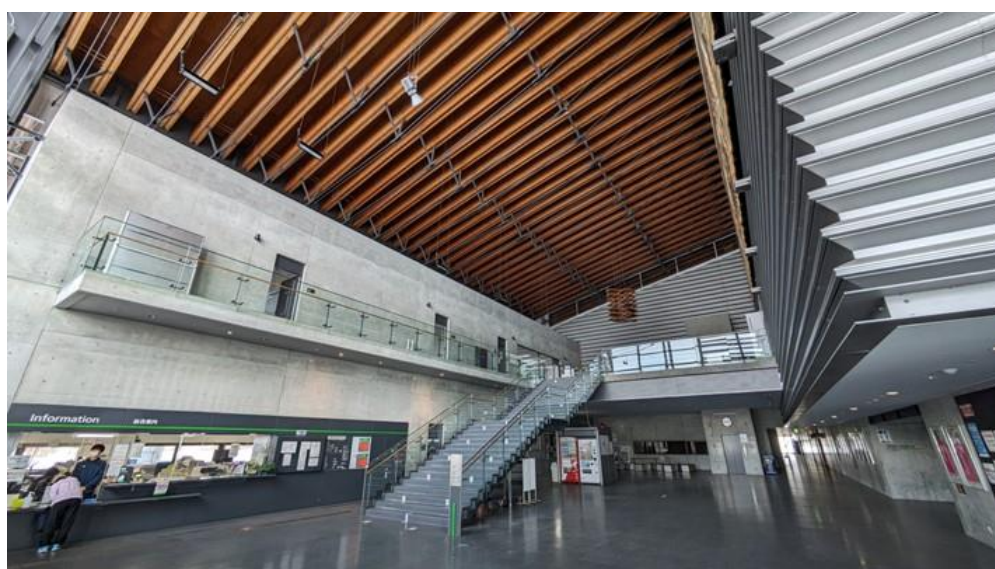
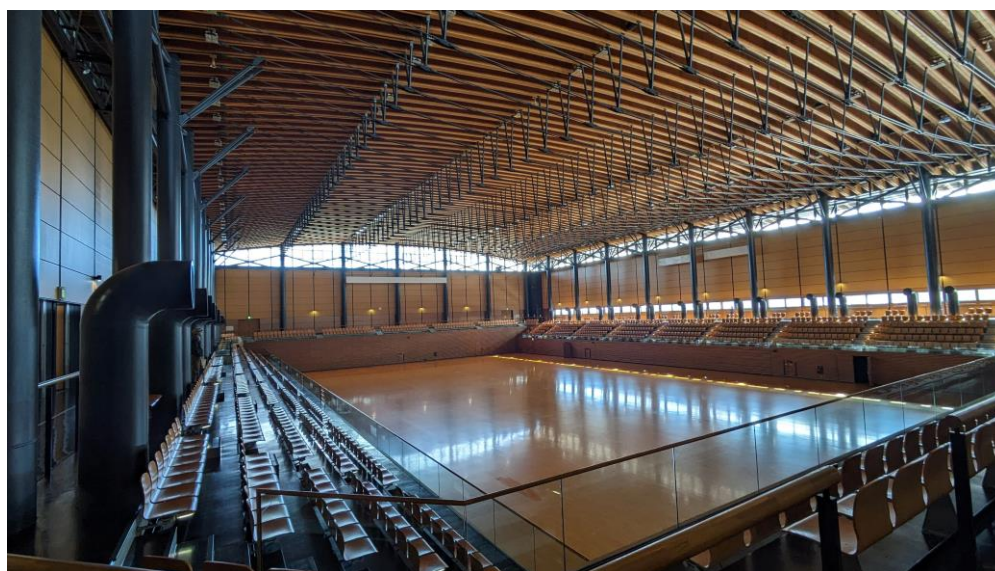
\* 参考資料：防・耐火性技術調査・開発事業報告書

／(財)日本住宅・木材技術センター

\* 写真提供：秋田グルーラム (株)

表 2.15 タクミアリーナ

名称	樹海公園体育館	発注者	秋田県大館市
所在地	秋田県大館市		
用途	スポーツ施設	設計事務所	(株)石本建築事務所
階数	地上2階		
最高高さ	19.91 m	防災担当	安宅防災設計(株)
軒高さ	16.11 m	認定年月日	2002年7月29日
建築面積	7,811.56 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	8,367.04 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2007年6月
屋根の構造形式	張弦梁	設計期間	2000年12月～2003年4月
主な構造材料	構造用集成材 (ベイマツ、一部 スギ)		

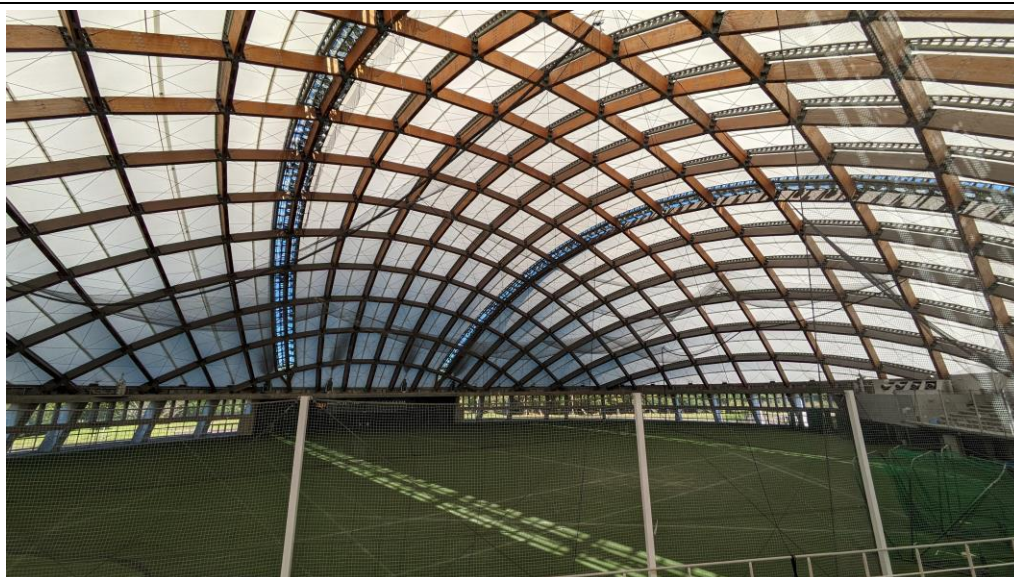


\* 参考資料：新建築 2006年3月



表 2.16 ひなた木の花ドーム

名称	宮崎県全天候型運動施設（仮称）	発注者	宮崎県
所在地	宮崎県宮崎市	設計事務所	(株)大建設計
用途	ドーム球場	防災担当	
階数	地上2階	認定年月日	2002年11月29日
最高高さ	38 m	指定性能機関	日本建築センター
軒高さ	7.1 m	竣工年月日	2004年3月
建築面積	10,996.32 m <sup>2</sup>	設計期間	
延べ床面積	11,463 m <sup>2</sup>		
屋根の構造形式	アーチ		
主な構造材料	スギ構造用集成材		



\* 参考資料：国交省 <https://www.milt.go.jp/common/000207940.pdf>、

【資料 3】「耐火性能検証法を採用して設計を行った事例」

表 2.17 秋田拠点センター「AL☆VE」

名称	(仮称) 秋田拠点センター	発注者	秋田県秋田市等
所在地	秋田県秋田市		
用途	事務所、商業施設、福祉施設、駐車場	設計事務所	(株)日建設計・大成建設(株)
階数	地上14階、PH1階		
最高高さ	61.6 m	防災担当	(株)日建設計
軒高さ	58.5 m	認定年月日	2002年12月20日
建築面積	8,934.77 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	35,599.54 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2004年5月
屋根の構造形式	格子梁	設計期間	実施期間11ヶ月
主な構造材料	構造用集成材 (スギ)		



\* 参考資料 : 国交省 <https://www.milt.go.jp/common/000207940.pdf> 、

【資料 3】「耐火性能検証法を採用して設計を行った事例」  
ウィキペディア



表 2.18 西条市総合福祉センター

名称	(仮称) 西条市総合福祉会館	発注者	愛媛県西条市
所在地	愛媛県西条市		
用途	福祉施設	設計事務所	(株)石本建築事務所
階数	地上3階		
最高高さ	m	防災担当	
軒高さ	m	認定年月日	2003年6月16日
建築面積	3,556.07 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	8,108.42 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2004年9月
屋根の構造形式	トラス	設計期間	
主な構造材料	構造用集成材 (スギ)		
			
			

\* 参考資料 :

中国電力 <https://enec-n.energia.co.jp/enec.date/chikunttsu/heatpump/hp74/>

「西条市総合福祉センター建設工事の空調設備導入事例」



表 2.19 ビーラインスポーツパーク始良（市総合運動公園）

名称	始良総合運動公園体育館	発注者	都市再生機構
所在地	鹿児島県始良市		
用途	体育館・観覧場	設計事務所	古市徹雄都市建築研究所 ・山下設計 共同企業体
階数	地上2階		
最高高さ	17.7 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒高さ	12.51 m	認定年月日	2003年9月9日
建築面積	5275.47 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	5822.9 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2005年10月
屋根の構造形式	張弦梁	設計期間	2002年11月～2003年9月
主な構造材料	構造用集成材（ベイマツ）＊下側にスギ板（厚さ20mm）張り		



\* 参考資料：新建築 2005 年 11 月

\* 写真提供：山佐木材㈱

表 2.20 ニツ井総合体育館

名称	ニツ井総合体育館	発注者	秋田県ニツ井町
所在地	秋田県能代市		
用途	体育館・集会場	設計事務所	(株)小野建築研究所
階数	地上2階		
最高高さ	25.725 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒高さ	16.21 m	認定年月日	2003年11月17日
建築面積	4,247.00 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	7,176.78 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2005年7月
屋根の構造形式	張弦梁	設計期間	
主な構造材料	構造用集成材 (スギ)		



\* 参考資料：防・耐火性技術調査・開発事業報告書

／(財)日本住宅・木材技術センター

表 2.21 日本放送協会秋田放送会館

名称	日本放送協会新秋田放送会館	発注者	日本放送協会
所在地	秋田県秋田市		
用途	放送局	設計事務所	(株)日建設計
階数	地上3階		
最高高さ	m	防災担当	(株)日建設計
軒高さ	m	認定年月日	2005年4月8日
建築面積	m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	5,599 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2007年7月
屋根の構造形式	単純梁(柱:鉄骨造)	設計期間	
主な構造材料			



\* 参考資料：秋田経済新聞 2008年3月3日記事



表 2.22 JR 高知駅

名称	JR四国高知駅舎	発注者	四国旅客鉄道
所在地	高知県高知市	設計事務所	内藤廣建築設計事務所
用途	鉄道/駅舎	防災担当	早稲田大学長谷見研究室 (株)明野設備研究所
階数	地上2階	認定年月日	2005年6月15日
最高高さ	23.3 m	指定性能機関	日本建築センター
軒高さ	8.35 m	竣工年月日	2009年1月
建築面積	3,077.54 m <sup>2</sup>	設計期間	2005年1月～2006年9月
延べ床面積	3,231.21 m <sup>2</sup>		
屋根の構造形式	トラス		
主な構造材料	構造用集成材 (スギ)		



参考資料：新建築 2009年9月

表 2.23 高知学芸高等学校体育館

名称	高知学芸高等学校創立50周年記念体育館	発注者	高知学芸高校
所在地	高知県高知市		
用途	学校体育館	設計事務所	(株)上田建築事務所
階数	地上3階		
最高高さ	23.032 m	防災担当	ティー・イー・コンサルティング
軒高さ	m	認定年月日	2006年11月22日
建築面積	m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	3,295 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2007年
屋根の構造形式	ラメラアーチ	設計期間	
主な構造材料	構造用集成材 (スギ)		

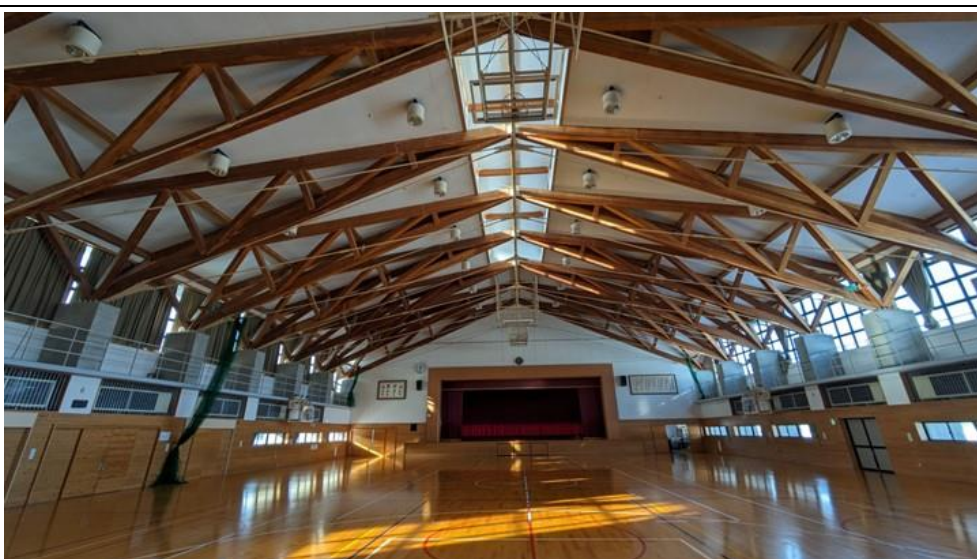


\* 参考資料：上田建築事務所 HP



表 2.24 能代市立二ツ井小学校体育館

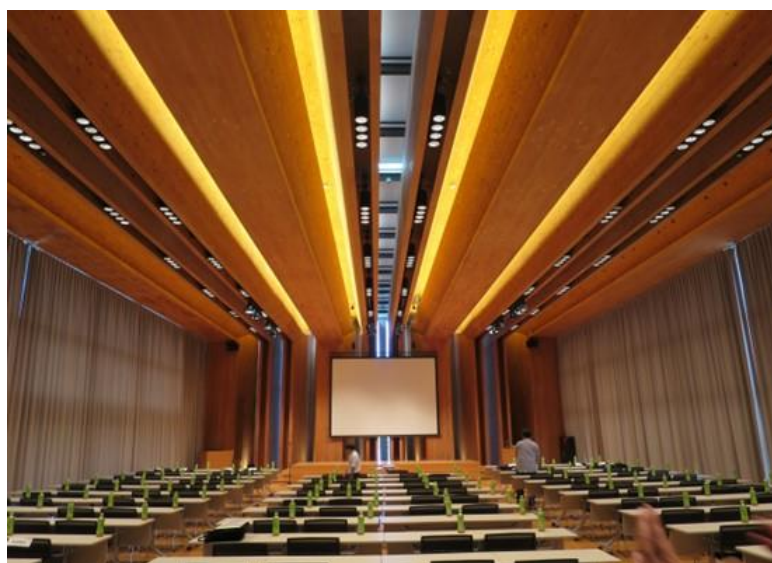
建物名称	能代市立二ツ井小学校体育館	発注者	能代市
名称	能代市立二ツ井小学校体育館		
所在地	秋田県能代市	設計事務所	設計集団環
用途	学校体育館		
階数	地上1階	防災担当	早稲田大学長谷見研究室 (公財) 秋田県木材加工推進機構等
最高高さ	15.3 m		
軒高さ	9.7 m	認定年月日	2008年7月25日
建築面積	1,627.18 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	1,460.55 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2010年3月
屋根の構造形式	トラス	設計期間	2007年8月～2008年7月
主な構造材料	構造用集成材 (ベイマツ、スギ)		



\* 資料提供：設計集団環

表 2.25 東京新木場「木材会館」

名称	(仮称) 木材会館	発注者	東京木材問屋協同組合
所在地	東京都江東区		
用途	事務所・集会場	設計事務所	(株)日建設計
階数	地上7階、地下1階		
最高高さ	35.73 m	防災コンサルタント	(株)日建設計
軒高さ	35.015 m	認定年月日	2009年2月26日
建築面積	1,101.26 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	7,582.09 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2009年6月
屋根の構造形式	重ね梁	設計期間	2005年3月～2006年12月
主な構造材料	構造用製材 (ヒノキ)		

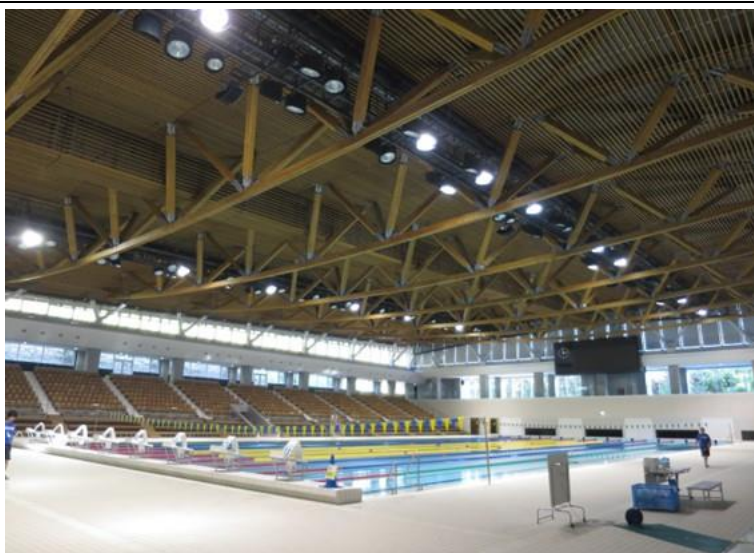


\* 参考資料 ; 新建築 2009 年 9 月



表 2.26 秋葉山公園県民水泳場 あきばさんプール

名称	秋葉山公園県民水泳場	発注者	和歌山県
所在地	和歌山県和歌山市		
用途	屋内水泳場	設計事務所	梓設計・バウ建築企画設計事務所 共同企業体
階数	地上2階、地下3階		
最高高さ	m	防災担当	
軒高さ	m	認定年月日	2011年11月4日
建築面積	m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築総合試験所
延べ床面積	25,206 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2014年3月
屋根の構造形式	トラス	設計期間	
主な構造材料	構造用集成材（スギ）		



参考資料：梓設計 HP



表 2.27 このはなアリーナ（草薙総合運動場体育館）

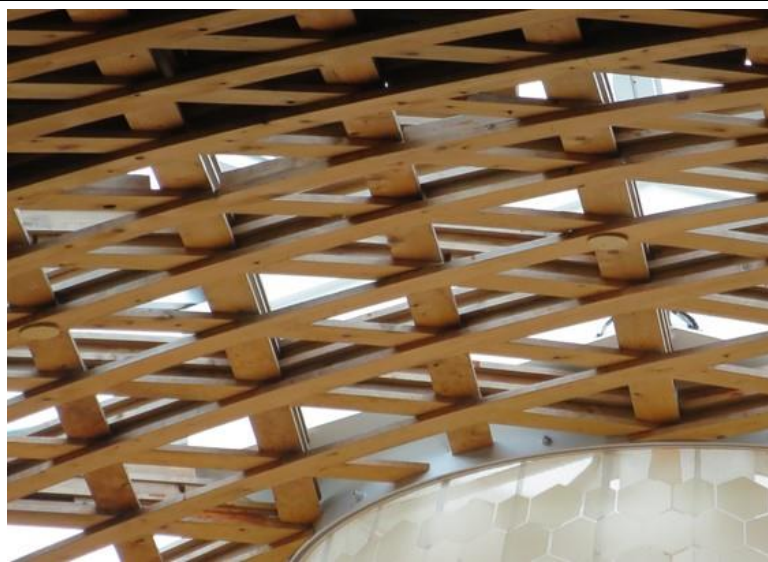
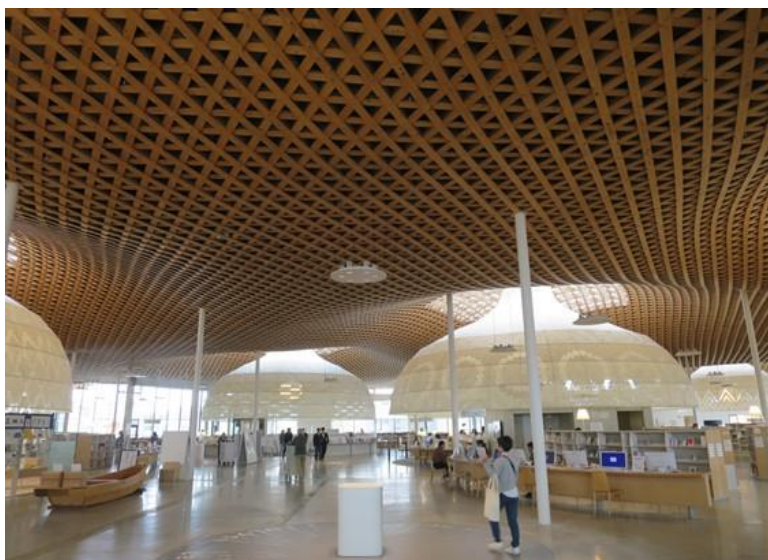
名称	(仮称) 静岡県草薙総合運動競技場	発注者	静岡県
所在地	静岡県静岡市		
用途	体育館	設計事務所	内藤廣建築設計事務所
階数	地上2階、地下1階		
最高高さ	28 m	防災担当	(株)明野設備研究所
軒高さ	7.9 m	認定年月日	2014年12月9日
建築面積	9,701.44 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	13,509.33 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2015年3月
屋根の構造形式		設計期間	2011年3月～2012年7月
主な構造材料	構造用集成材（スギ）		



\* 参考資料：新建築 2015年5月

表 2.28 みんなの森 ぎふメディアコスモス

名称	みんなの森 ぎふメディアコスモス	発注者	岐阜市
所在地	岐阜県岐阜市		
用途	図書館・市民活動交流センター	設計事務所	伊東豊雄建築設計事務所
階数	地上2階、地下1階		
最高高さ	16.09 m	防災担当 (防火)	ARUP
軒高さ	12.210~15.190 m	認定年月日	2015年2月5日
建築面積	7530.56 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本ERI
延べ床面積	15,444.23 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2015年2月
屋根の構造形式	シェル	設計期間	2011年2月~2012年3月
主な構造材料	製材 (ヒノキ t=20mm)		



\* 参考資料：新建築 2015年9月

表 2.29 五條市上野公園総合運動場体育館シダーアリーナ

名称	(仮称) 五條総合体育館	発注者	五條市
所在地	奈良県五條市	設計事務所	たかの建築事務所 計画・環境建築
用途	体育館・集会場	防災担当	(株)日本防災研究所
階数	地上2階	認定年月日	2016年6月20日
最高高さ	23.2 m	指定性能機関	日本建築センター
軒高さ	11.1 m	竣工年月日	2016年10月
建築面積	4,445.19 m <sup>2</sup>	設計期間	2013年7月～2013年12月
延べ床面積	5,031.15 m <sup>2</sup>		
屋根の構造形式	トラス		
主な構造材料	構造用集成材 (スギ)		



\* 参考資料：中大規模木造建築データベース



表 2.30 栃木県総合スポーツゾーン新武道館

名称	総合スポーツゾーン新武道館	発注者	栃木県
所在地	栃木県宇都宮市		
用途	武道場	設計事務所	AIS・フケタ・田村 特定建築設計業務共同企業体
階数	地上2階		
最高高さ	m	防災担当	(株)明野設備研究所
軒高さ	m	認定年月日	2016年7月22日
建築面積	8346.08 m <sup>2</sup>	指定性能機関	都市居住評価センター
延べ床面積	9,761.06 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2019年3月
屋根の構造形式		設計期間	
主な構造材料	構造用集成材（スギ）		



\* 参考資料：日刊建設工業新聞 2019年11月1日記事

\* 写真提供：藤寿産業(株)

表 2.31 室戸広域公園屋内運動場

名称	高知県立室戸広域公園屋内運動施設	発注者	高知県
所在地	高知県室戸市		
用途	体育館又はスポーツの練習場	設計事務所	石本建築事務所
階数	地上2階		
最高高さ	23.134 m	防災担当	アイエヌジー(株)
軒高さ	6.864 m	認定年月日	2016年9月26日
建築面積	3,418.53 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	3,310.43 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2016年11月
屋根の構造形式	トラス	設計期間	2013年8月～2014年3月
主な構造材料	製材丸太 (ヒノキ)		



\* 参考資料：中大規模木造建築データベース



表 2.32 レゾナック武道スポーツセンター

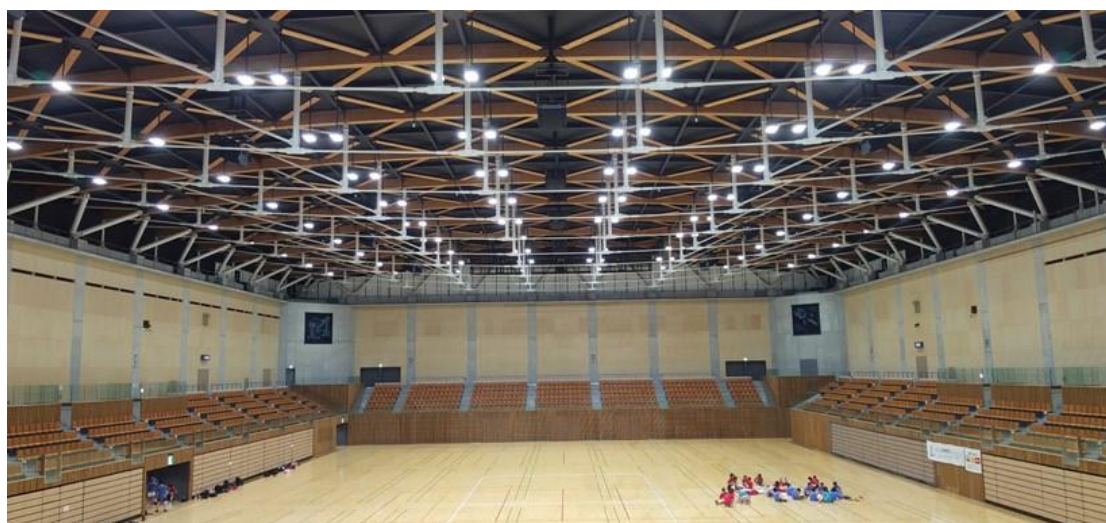
名称	(仮称) 大分県立屋内スポーツ施設	発注者	大分県
所在地	大分県大分市		
用途	体育館		
階数	地上3階、地下1階	設計事務所	(株) 石本建築事務所
最高高さ	25.331 m	防災担当	アイエヌジー(株)
軒高さ	22.479 m	認定年月日	2017年1月20日
建築面積	14,551.68 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	16,125.56 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2019年4月
屋根の構造形式	アーチトラス	設計実施期間	2015年12月～2017年3月
主な構造材料	構造用製材 (スギ)		



\* 参考資料：新建築 2019年10月

表 2.33 エコピコアリーナふくやま

名称	福山市新総合体育館	発注者	福山市
所在地	広島県福山市		
用途	体育館	設計事務所	梓設計
階数	地上2階		
最高高さ	m	防災担当	
軒高さ	m	認定年月日	2017年3月13日
建築面積	m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	16,179 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2019年12月
屋根の構造形式	張弦梁	設計期間	
主な構造材料			

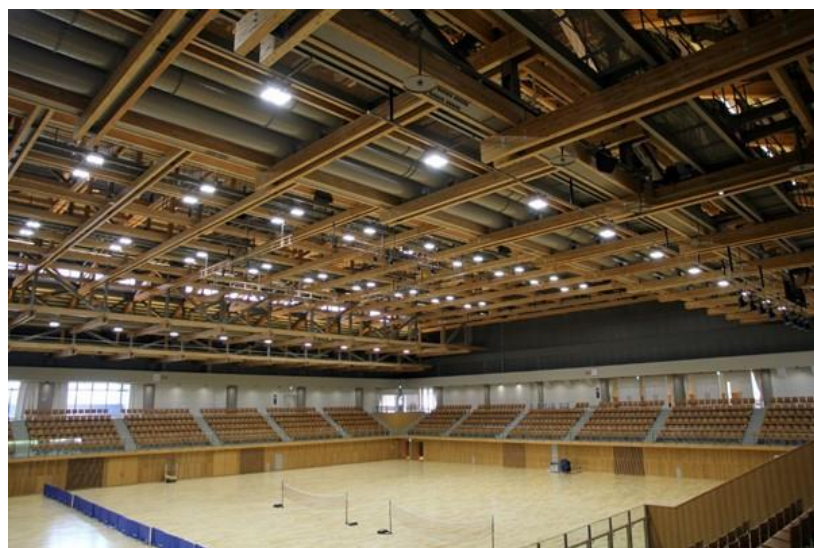


\* 参考資料：梓設計 HP



表 2.34 長野県立武道館

名称	長野県立武道館	発注者	長野県
所在地	長野県佐久市		
用途	多目的施設	設計事務所	環境デザイン研究所 宮本忠長建築設計事務所
階数	地上3階		
最高高さ	24.5 m	防災担当	(株)明野設備研究所
軒高さ	11.7 m	認定年月日	2018年4月6日
建築面積	10720.36 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	12,379.96 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2020年3月
木組みの方法	鉄骨部材に木造部材を添える	設計期間	2016年12月～2017年11月
主な構造材料	構造用集成材(カラマツ)		



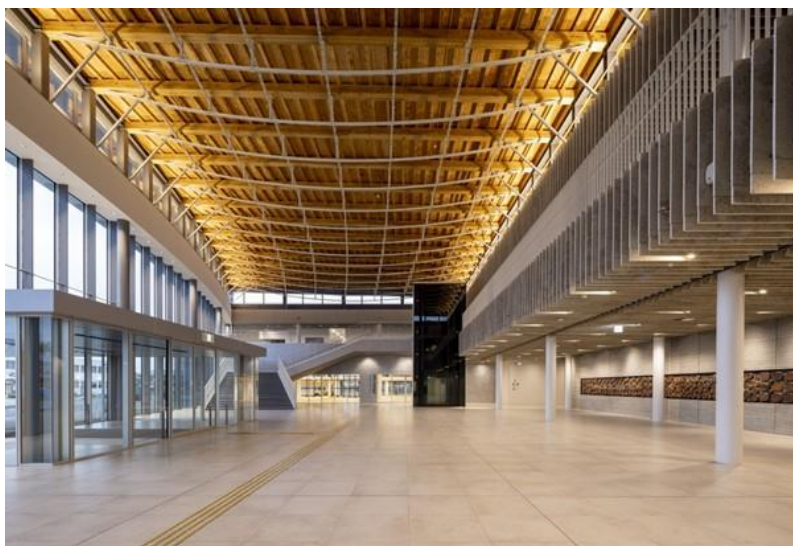
\* 参考資料：近代建築 2022 年 1 月

\* 写真提供：斎藤木材工業(株)



表 2.35 みなとテラス境港市民交流センター

名称	境港市民交流センター(仮称)	発注者	境港市
所在地	鳥取県境港市		
用途	公会堂、図書館、会議室等	設計事務所	石本建築事務所 ・あおい総合設計共同企業体
階数	地上3階		
最高高さ	25.8 m	防災担当	(株)明野設備研究所
軒の高さ	m	認定年月日	2019年3月1日
建築面積	4,646.29 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	7,130.97 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2022年4月
屋根の構造形式	張弦梁	設計期間	2016年11月～2019年9月
主な構造材料	構造用製材 (スギ)		

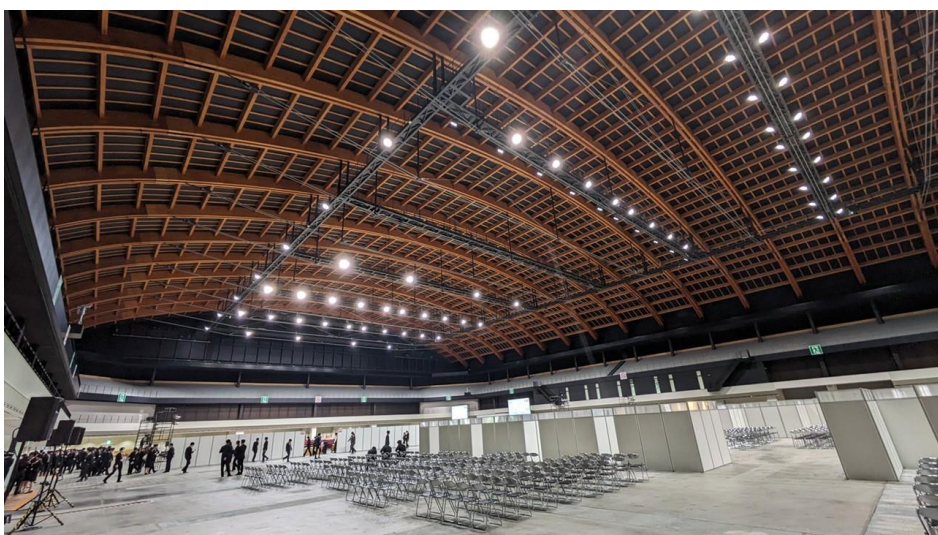


\* 参考資料：近代建築 2023 年 5 月

\* 写真提供：境港市教育委員会事務局

表 2.36 有明 GYM-EX

名称	有明体操競技場兼展示場（仮称）	発注者 （大会開催時）	東京オリンピック ・パラリンピック競技大会組織委員会
所在地	東京都江東区	発注者（後利用時）	東京都
用途	体育館、展示場	設計事務所	㈱日建設計、清水建設㈱
階数	地上3階	防災担当	㈱明野設備研究所
最高高さ	約30 m	認定年月日	2018年6月10日
軒高さ	約18.2 m	指定性能機関	都市居住評価センター
大会開催時→後利用時		竣工年月日	2019年10月（大会後 2023年5月OPEN）
建築面積	約21,200→約17,300 m <sup>2</sup>	設計期間	2015年6月～2017年11月
延べ床面積	約35,200→約27,400 m <sup>2</sup>	主な構造材料	構造用集成材（カラマツ）
屋根の構造形式	張弦梁		

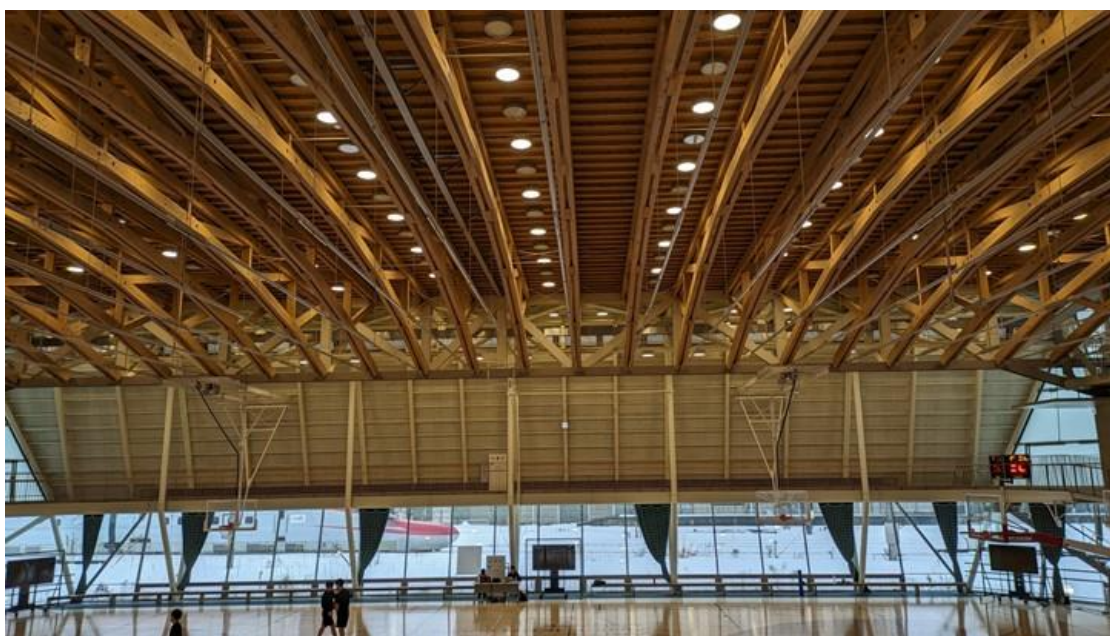
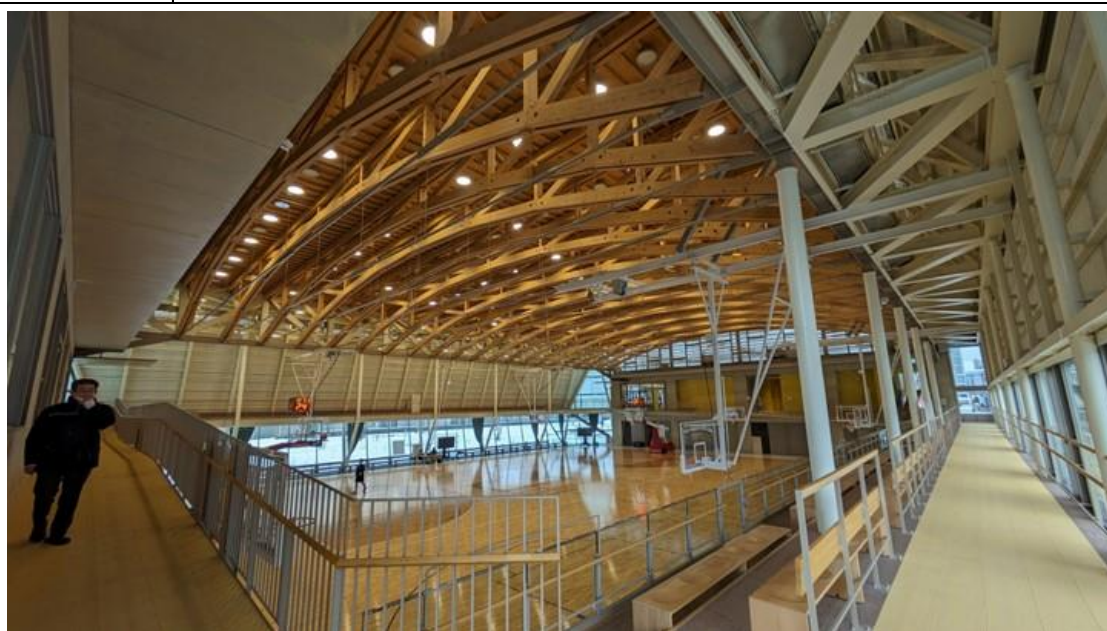


\* 参考資料：建築画報 384



表 2.37 秋田ノーザンゲートスクエア

名称	JR秋田ゲートアリーナ (仮称)	発注者	東日本旅客鉄道(株)
所在地	秋田県秋田市		
用途	体育館	設計事務所	(株)環境デザイン研究所
階数	地上3階		
最高高さ	13.1 m	防災担当	(株)明野設備研究所
軒高さ	11.6 m	認定年月日	2018年10月18日
建築面積	2425.88 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	3545.01 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2019年
屋根の構造形式	トラス	設計期間	2016年10月～2018年3月
主な構造材料	構造用製材 (スギ)		

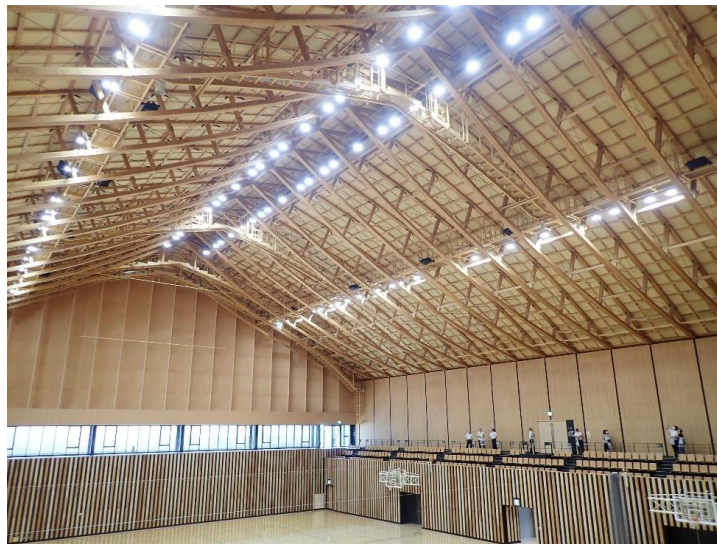


\* 参考資料：中大規模木造建築データベース



表 2.38 アスリートタウン延岡アリーナ

名称	新宮崎県体育館	発注者	宮崎県
所在地	宮崎県延岡市		
用途	体育館	設計事務所	石本建築事務所
階数	地上2階		
最高高さ	30.2 m	防災担当	アイエヌジー(株)
軒高さ	m	認定年月日	2021年5月14日
建築面積	10,760 m <sup>2</sup>	指定性能機関	日本建築センター
延べ床面積	12,980 m <sup>2</sup>	竣工年月日	2024年3月現在、建築中
屋根の構造形式	張弦梁	設計期間	
主な構造材料	構造用製材 (スギ)		



\* 参考資料：宮崎県 HP > 「県体育館基本設計（概要版）」

\* 写真提供：宮崎県木材利用技術センター

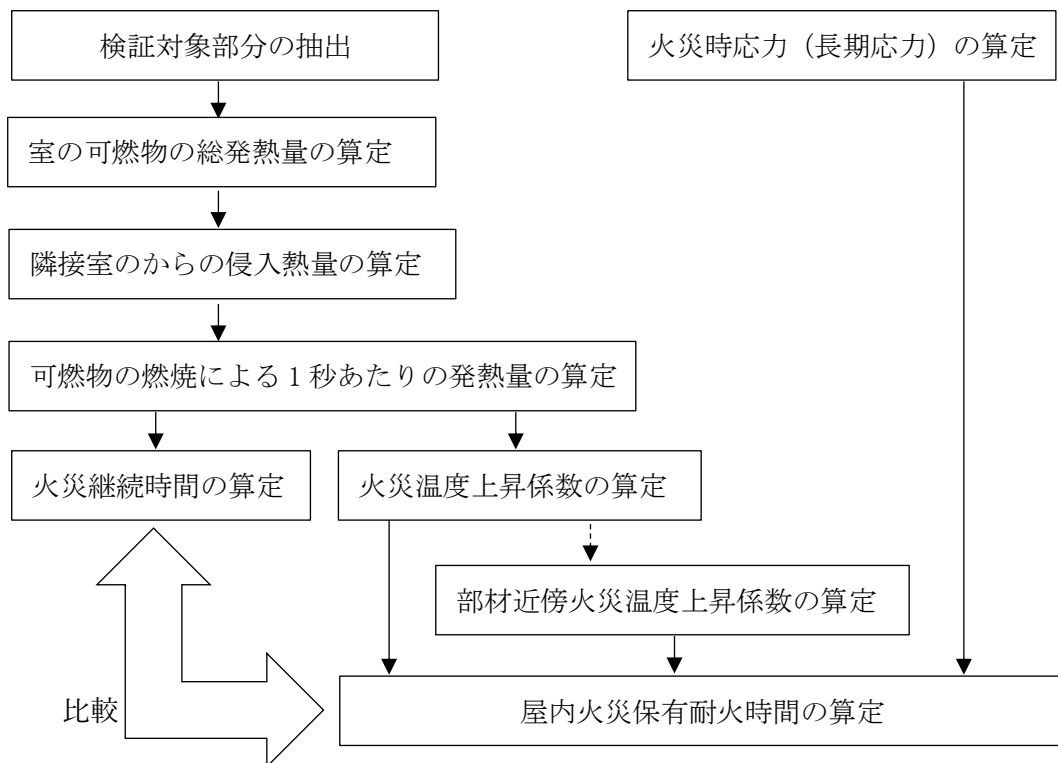
### 第3章 法令・出版物を参考とした耐火性能検証法の手順の整理

#### 3.1 Bルート検証法

耐火性能検証法の内、平成12年建設省告示第1433号による検証法<sup>3.1.1</sup>は、Bルート検証法と呼ばれている。本項では、Bルート検証法による、木造の主要構造部を対象として、その手順を整理した。

##### 3.1.1 手順

主要構造部となる木造梁の検証は、図3.1.1の手順で行われる<sup>3.1.2</sup>。



屋内火災保有耐火時間 $\geq$ 火災継続時間 となることを確認

図 3.1.1 木造の主要構造部を対象とした耐火性能検証法の手順

### 3.1.2 屋内火災の火災継続時間

#### (1) 火災室内の可燃物の総発熱量

火災室内の可燃物の総発熱量は、当該室の収納可燃物と内装用建築材料の発熱量の合計に、隣室からの熱侵入量を加えたものとして、次の式によって算出される。

$$Q_Y = q_1 A_Y + \sum (q_f A_r d_f) + \sum f_a \{ q_{1a} A_{Ya} + \sum (q_{fa} A_{fa} d_{fa}) \} \quad \dots \text{式 3.1.1}$$

このとき

$Q_Y$  : 当該室内の可燃物の発熱量 (MJ)

$q_1$  : 当該室内の収納可燃物の床面積  $1\text{m}^2$  あたりの発熱量 (MJ/ $\text{m}^2$ )

$A_Y$  : 当該室の床面積 ( $\text{m}^2$ )

$q_f$  : 当該室の壁、床および天井 (天井がない場合には、屋根。以下同じ。) の室内に面する部分の仕上げに用いる建築材料 (以下、内装用建築材料という。以下、同じ。) の表面積  $1\text{m}^2$ 、厚さ  $1\text{mm}$  あたりの発熱量 (MJ/ ( $\text{m}^2\text{mm}$ ))

$A_r$  : 当該室の内装用建築材料の種類ごとの各部分の表面積 ( $\text{m}^2$ )

$d_r$  : 当該室の内装用建築材料の厚さ (mm)

$f_a$  : 当該室と隣接室の間の壁または床の種類および壁または床の開口部の種類に応じて表 3.1.1 の熱侵入係数の欄に掲げる数値

$q_{1a}$  : 当該室の隣接室の収納可燃物の  $1\text{m}^2$  あたりの発熱量 (MJ/ $\text{m}^2$ )

$A_{Ya}$  : 当該室の隣接室の床面積 ( $\text{m}^2$ )

$q_{fa}$  : 当該室の隣接室の内装用建築材料の表面積  $1\text{m}^2$  厚さ  $1\text{mm}$  あたりの発熱量 (MJ/ ( $\text{m}^2\text{mm}$ ))  $A_{fa}$  : 当該室の隣接室の内装用建築材料の種類ごとの各部分の表面積 ( $\text{m}^2$ )

$d_{fa}$  : 当該室の隣接室の内装用建築材料の厚さ (mm)

表 3.1.1 2 室間の壁または床の種類および壁または床の開口部の種類に応じた熱侵入係数

壁または床	壁又は床の開口部	熱侵入係数
耐火構造	特定防火設備 (施行令第 108 条の 3 第四項の規定により特定防火設備とみなされるものを含む。以下、この表において同じ。) が設けられたもの	0.0
	法第 2 条第九号二ロに規定する防火設備が設けられたもの	0.07
1 時間準耐火基準に適合する準耐火構造 (耐火構造を除く。以下、この表において同じ。) であるもの	特定防火設備が設けられたもの	0.01
	法第 2 条第九号二ロに規定する防火設備が設けられたもの	0.08
準耐火構造 (耐火構造および 1 時間準耐火基準に適合する準耐火構造を除く) であるもの	特定防火設備が設けられたもの	0.05
	法第 2 条第九号二ロに規定する防火設備が設けられたもの	0.09
その他のもの		0.15



室内の収納可燃物の床面積  $1\text{m}^2$  あたりの発熱量は、当該室の種類に応じて表 3.1.2 に定める数値とする。

表 3.1.2 室の種類に応じた収納可燃物の発熱量

室の種類		発熱量(MJ/m <sup>2</sup> )	
(二)	事務室その他これに類するもの	560	
	会議室その他これに類するもの	160	
(三)	体育館のアリーナその他これに類するもの	80	
	博物館または美術館の展示室その他これに類するもの	240	
(四)	百貨店の売り場または物品販売業を営む店舗その他これに類するもの	家具または書籍の売り場その他これに類するもの	960
		その他の部分	480
	飲食店その他の飲食室	簡易な食道	240
		その他の飲食室	480
(五)	劇場、映画館、演技場、観覧席、公会堂、集会室その他これに類する用途に供する室	客席部分	固定席の場合 400
			その他の部分 480
		舞台部分	240
(六)	自動車車庫または自動車修理工場	車室その他これに類する部分	240
		車路その他これに類する部分	32
(七)	廊下、階段その他の通路		32
	玄関ホール、ロビーその他これらに類するもの	劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂もしくは集会場を野他これらに類する用途または百貨店もしくは物品販売業を営む店舗その他これに類する用途に供する建築物におけるもの	160
		その他のもの	80
(九)	屋上広場またはバルコニー		80

式 3.1.1 の第 2 項の内装用建築材料の表面積  $1\text{m}^2$ 、厚さ  $1\text{mm}$  あたりの発熱量は、内装用建築材料の種類に応じて表 3.1.3 に定める値とする。

表 3.1.3 内装用建築材料の発熱量

内装用建築材料	発熱量 (MJ/ (m <sup>2</sup> mm))
不燃材料	0.8
準不燃材料 (不燃材を除く)	1.6
難燃材料 (準不燃材料を除く)	3.2
木材その他これに類するもの (難燃材料を除く)	8.0

(2) 可燃物の 1 秒間あたりの発熱量

施行令第 108 条の 3 第二項第一号に規定する当該室内の可燃物の 1 秒間あたりの発熱量は、当該室の燃焼型支配因子に応じて表 3.1.4 の 1 秒間あたりの発熱量の欄に掲げる式によって算出するものとする。

表 3.1.4 当該室の燃焼型支配因子に応じた可燃物の 1 秒間あたりの発熱量

燃焼型支配因子	可燃物の 1 秒間あたりの発熱量 (MW)
$\chi \leq 0.081$ の場合	$q_b = 1.6 \times \chi \times A_{fuel}$
$0.081 < \chi \leq 0.1$ の場合	$q_b = 0.13 \times A_{fuel}$
$\chi > 0.1$ の場合	$q_b = (2.5 \times \chi \times \exp(-11 \times \chi) + 0.048) \times A_{fuel}$

表 3.1.4 において  $\chi$ 、 $q_b$  および  $A_{fuel}$  は、それぞれ次の数値を表すものとする。

$\chi$  : 式 3.1.2 によって計算した燃焼型支配因子

$$\chi = \max \left( \left( \sum A_{op} \sqrt{H_{op}} \right) / A_{fuel} , \left( A_{\gamma} \sqrt{H_{\gamma}} \right) / 70 A_{fuel} \right) \dots \text{式 3.1.2}$$

ここで

$A_{op}$  : 各開口部の面積 (m<sup>2</sup>)

$H_{op}$  : 各開口部の上端から下端までの垂直距離 (m)

$A_{\gamma}$  : 当該室の床面積 (m<sup>2</sup>)

$H_{\gamma}$  : 当該室の床面から天井までの平均高さ (m)

$A_{fuel}$  : 次の式によって計算した可燃物表面積(m<sup>2</sup>)

$$A_{fuel} = 0.26 q_1^{1/3} \times A_{\gamma} + \sum \phi \times A_f$$

$q_1$  : 当該室内の収納可燃物の床面積 1m<sup>2</sup>あたりの発熱量 (MJ/m<sup>2</sup>)

$A_{\gamma}$  : 当該室の床面積 (m<sup>2</sup>)

$A_f$  : 当該室の壁・床および天井の室内に面する部分の仕上げに用いる内装用建築材料の種類ごとの各部分の表面積(m<sup>2</sup>)

$\phi$  : 内装用建築材料の種類に応じて表 3.1.5 の酸素消費係数の欄に掲げる数値

表 3.1.5 内装用建築材料の種類に応じた酸素消費係数

内装用建築材料の種類	酸素消費係数
不燃材料	0.1
準不燃材料 (不燃材料であるものを除く)	0.2
難燃材料 (準不燃材料であるものを除く)	0.4
木材その他これに類するもの (難燃材料を除く)	1.0

$q_b$ : 当該室内の可燃物の 1 秒間あたりの発熱量 (MW)

$A_{fuel}$  : 可燃物の表面積(m<sup>2</sup>)

(3) 火災継続時間

火災継続時間  $t_f$  (分) は、次式で算出できる。

$$t_f = Q_{\gamma} / (60 q_b) \dots \text{式 3.1.3}$$

### 3.1.3 屋内火災保有耐火時間

#### (1) 柱

##### ① 小径が 20cm 以上の木造

屋内火災保有耐火時間は、式 3.1.4 によって計算する。

$$t_{f_y} = (240 / \max(\alpha, \alpha_1))^6 \cdots \text{式 3.1.4}$$

ここで

$t_{f_y}$  : 屋内火災保有耐火時間 (分)

$\alpha$  : 火災温度上昇係数

$\alpha_1$  : 部材近傍火災温度上昇係数

##### ② 耐火構造 (仕様規定、大臣認定仕様)

屋内火災保有耐火時間は、式 3.1.5 によって計算する。

$$t_{f_y} = t_A (460 / \alpha)^{3/2} \cdots \text{式 3.1.5}$$

ここで

$t_{f_y}$  : 屋内火災保有耐火時間 (分)

$t_A$  : 耐火時間 (分)

$\alpha$  : 火災温度上昇係数

#### (2) はり

##### ① 小径が 20cm 以上の木造

屋内火災保有耐火時間は、式 3.1.6 によって計算する。

$$t_{f_y} = (240 / \max(\alpha, \alpha_1))^6 \cdots \text{式 3.1.6}$$

ここで

$t_{f_y}$  : 屋内火災保有耐火時間 (分)

$\alpha$  : 火災温度上昇係数

$\alpha_1$  : 部材近傍火災温度上昇係数

##### ② 耐火構造 (仕様規定、大臣認定仕様)

屋内火災保有耐火時間は、式 3.1.7 によって計算する。

$$t_{f_y} = t_A (460 / \alpha)^{3/2} \cdots \text{式 3.1.7}$$

ここで

$t_{f_y}$  : 屋内火災保有耐火時間 (分)

$t_A$  : 耐火時間 (分)

$\alpha$  : 火災温度上昇係数



### 3.1.4 火災温度上昇係数

火災温度上昇係数は、式 3.1.8 によって計算する。

$$\alpha = 1280 \left[ q_b / \left\{ \sqrt{(\sum (A_c I_h))} \sqrt{f_{op}} \right\} \right]^{2/3} \dots \text{式 3.1.8}$$

ここで

$\alpha$  : 火災温度上昇係数 ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}^{1/6}$ )

$q_b$  : 施行令第 108 条の 3 第二項第一号に規定する当該室内の可燃物の 1 秒間あたりの発熱量 (MW)

$A_c$  : 当該室の壁、床及び天井の部分ごとの表面積 ( $\text{m}^2$ )

$I_h$  : 表 3.1.6 に掲げる式によって計算した熱慣性 ( $\text{kW} \cdot \text{sec}^{1/2} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )

表 3.1.6 構造種別ごとの熱慣性

構造	熱慣性
鉄筋コンクリート、コンクリートブロックその他これらに類する材料で造られたもの	1.75
軽微な間仕切り壁その他これに類するもの	0.3
金属板屋根、膜構造その他これらに類するもの	2.8
その他のもの	$I_h = \sqrt{k\rho c}$

ここで

$f_{op}$  : 次の式で計算した有効開口因子 ( $\text{m}^{5/2}$ )

$$f_{op} = \max \{ \sum (A_{op} \sqrt{H_{op}}), (A_r \sqrt{H_r} / 70) \}$$

$A_{op}$  : 当該室の壁、床及び天井に設けられた各開口部の面積 ( $\text{m}^2$ )

$H_{op}$  : 当該室の壁、床及び天井に設けられた各開口部の上端から下端までの垂直距離(m)

$A_r$  : 当該室の床面積 ( $\text{m}^2$ )

$H_r$  : 当該室の床スラブ上面から上階の床スラブ下面までの高さ (m)

$k$  : 当該室の壁、床及び天井の部分ごとの熱伝導率 ( $\text{kW} / (\text{m} \cdot \text{K})$ )

$\rho$  : 当該室の壁、床及び天井の部分ごとの密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$c$  : 当該室の壁、床及び天井の部分ごとの比熱 ( $\text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ )

### 3.1.5 部分近傍火災温度上昇係数

部分近傍火災温度上昇係数は、床面からの高さに応じて表 3.1.7 に掲げる式によって計算する (図 3.1.2 参照)。

表 3.1.7 床面からの高さに応じた部分近傍火災温度上昇係数

床面からの高さ	$\alpha_1$
$z \leq 2$ の場合	500
$2 < z \leq 7$ の場合	$500 - 100(z - 2)$
$Z > 7$ の場合	0

$z$  : 当該部材の床面からの高さ(m)

$\alpha_1$  : 部材近傍火災温度上昇係数 ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}^{1/6}$ )

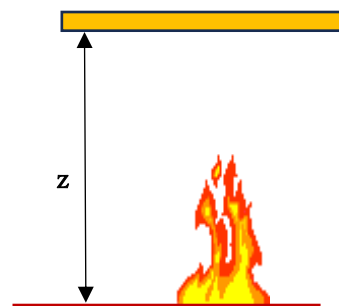


図 3.1.2 局所火災の状況

ここで部材近傍の温度 ( $T_n$ ) は、式 3.1.9 によって計算する。

$$T_n = \alpha_1 \cdot t^{1/6} + 20 \quad \dots \text{式 3.1.9}$$

ここで

$T_n$  : 部材の近傍温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t$  : 火災発生からの経過時間 (分)

これを時間の式に置き換えると式 3.1.10 が得られる。

$$t = \left( \frac{T_{fl} - 20}{\alpha_1} \right)^6 \quad \dots \text{式 3.1.10}$$

ここで木材の限界温度を、着火時間とされる  $260^{\circ}\text{C}$  と仮定すると木材が着火するまでの時間は、加熱面からの高さに応じ、表 3.1.8 のように整理される。

表 3.1.8 局所火源に対して木材が着火に至る時間

$z(\text{m})$	近傍火災温度上昇係数 ( $\alpha_1$ )	木材着火時間 (分)
5	200	2.99
5.55	145	20.56
6	100	191.10
6.5	50	12230.59

木材が着火しないということを条件とするならば、局所火源に対する屋内火災保有耐火時間は表 3.1.8 の数値を採用することになる。局所火源が 20 分継続とするならば、床からの高さは最低高さ 5.55m 必要になる<sup>3.1.3</sup>。

#### 参考資料

3.1.1 : 平成 12 年建設省告示第 1433 号「耐火性能検証法に関する算出方法等を定める件」

3.1.2 : 国土交通省住宅局建築指導部・国土交通省建築研究所・日本建築主事会議・財団法人日本建築センター：2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説，pp36，2001

3.1.3 : 国土交通省住宅局建築指導部・国土交通省建築研究所・日本建築主事会議・財団法人日本建築センター：2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説，pp133，134，2001

## 3.2 C ルート検証法

### 3.2.1 木質系主要構造部材の耐火性能

木質系主要構造部材の耐火性能は、想定火災により当該部材が「着火しない」ことであり、木材の着火温度 260℃とされている。

したがって、「着火しない」条件、すなわち耐火性能の評価基準は以下となる。

- ① 想定火災が局所火災となる。
- ② 想定火災における火炎が当該部材に到達しない。
- ③ 想定火災における火源軸上の熱気流温度（プルーム軸上温度）が 260℃以下となる。  
⇒ 当該部材が煙層に曝される場合、煙層厚さと煙層温度を考慮する。
- ④ 想定火災における煙層温度が 260℃以下となる。

そこで、これら評価基準①～④の各々の代表的な検討方法を、次項以降にまとめる。

- ・①について : 3.3.2 項および 3.3.3 項
- ・②および③について : 3.3.4 項
- ・④について : 3.3.5 項

なお、木質系主要構造部材の耐火性能を検証する部分（空間）は、その他の部分と「防火区画」する。



### 3.2.2 局所火災の判定

可燃物の一つ（火源）の放射熱により周辺可燃物（火源以外）への燃え広がりが起こらない、すなわち局所火災にとどまるか否かを検証する。

#### (1) 収納可燃物の分布に基づく放射熱

室内の収納可燃物は、図 3.2.1 に示すように、1 辺の長さを  $L_{unit}$  [m] とする単位集積面積の中央に、ポアソン分布に従った立方体が配置されている状態にあると考えられる。参考資料 3.2.1 を参考に、単位可燃物を図 3.2.2 のように均等な大きさに変換して、単位集積面積の中央に配置し、均等に配置された可燃物の一つが着火すると燃焼領域は放射状に拡大していくものと仮定する。

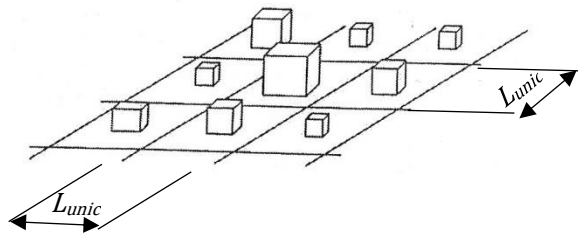


図 3.2.1 可燃物の配置

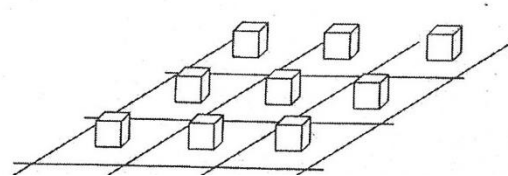


図 3.2.2 表面積変換後の可燃物の再配置

#### (1-1) 算定方法 1

可燃物の表面積は、次式で算出される。（参考資料 3.2.1）

$$A_{fuel} = 0.54 \cdot w^{-2/3} W_{unit} \quad (\text{式 3.2.1})$$

$A_{fuel}$  : 可燃物の表面積 [m<sup>2</sup>]

$w$  : 積載可燃物密度（床面積 1 m<sup>2</sup> 当たりの収納可燃物の重さ）[kg/m<sup>2</sup>]

$W_{unit}$  : 単位可燃物の重量（単位可燃物 1 個の重さ）[kg]

また、可燃物間の距離を  $X_{sep}$  [m] とすると、単位可燃物の重量は

$$W_{unit} = w \cdot X_{sep}^2 \quad (\text{式 3.2.2})$$

で表せる。このとき可燃物の 1 m<sup>2</sup> 当たりの発熱量を  $q''$  [kW/m<sup>2</sup>] とすると、可燃物塊 1 つ当たりの発熱速度  $Q_{block}$  [kW] は次式となる。

$$Q_{block} = q'' \cdot A_{fuel} \quad (\text{式 3.2.3})$$

よって、周辺可燃物の表面への入射熱流  $q$  [kW/m<sup>2</sup>]（図 3.2.3 参照）は、次式で求められる。（参考資料 3.2.2）

$$q = \frac{1}{4\pi X_{sep}^2} \beta Q_{block} \quad (\text{式 3.2.4})$$

$\beta$ : 火炎で発生する熱量のうち周辺に放射される割合（=1/3 程度）

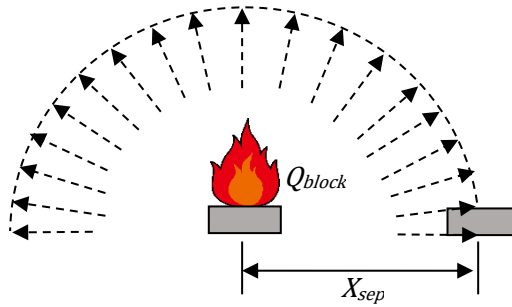


図 3.2.3 周辺可燃物への放射熱流

【算定例】

用途が体育館の場合、積載可燃物密度  $w=5\text{kg}/\text{m}^2$  であり、 $X_{sep}=L_{unit}$  とおくと、式 3.2.1～式 3.2.4 より、周辺可燃物の表面（受熱面）への入射熱流  $q_{inc}$  は次のように算定される。

$$q = 3.19 \text{ kW}/\text{m}^2$$

なお、可燃物の  $1 \text{ m}^2$  当たりの発熱速度  $q'$  は、木材の単位表面積当たりの発熱速度とプラスチックの単位表面積当たりの発熱速度の半々の  $130\text{kW}/\text{m}^2$  とする。（参考資料 3.2.3）

(1-2) 算定方法 2

単位集積面積の収納可燃物の露出表面積は、次式で算出される。（参考資料 3.2.4）

$$A_{fuel} = 0.26 \cdot q_l^{1/3} \cdot L_{unit}^2 \quad (\text{式 3.2.5})$$

$A_{fuel}$  : 可燃物の表面積 [ $\text{m}^2$ ]

$q_l$  : 床面積  $1 \text{ m}^2$  当たりの収納可燃物の発熱量 [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]

このとき、収納可燃物の  $1 \text{ m}^2$  当たりの発熱量を  $q'$  [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ] とすると、可燃物塊 1 つ当たりの発熱速度  $Q_{block}$  [ $\text{kW}$ ] は次式となる。

$$Q_{block} = q'' \cdot A_{fuel} \quad (\text{式 3.2.6})$$

また、収納可燃物の隣接距離を  $X_{sep}$  とすると、周辺可燃物の表面への入射熱流  $q_{inc}$  [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ] は、前掲の式 3.2.4 で求められる。（参考資料 3.2.2）

$$q = \frac{1}{4\pi X_{sep}^2} \beta Q_{block} \quad (\text{式 3.2.4})$$

【算定例】

用途が体育館の場合、床面積  $1 \text{ m}^2$  当たりの収納可燃物の発熱量  $q_l=80\text{MJ}/\text{m}^2$  であり、 $X_{sep}=L_{unit}$  とおくと、式 3.2.4～式 3.2.6 より、周辺可燃物の表面（受熱面）に入射する放射熱流束  $q$  は次のように算定される。

$$q = 3.87 \text{ kW}/\text{m}^2$$

なお、可燃物の  $1 \text{ m}^2$  当たりの発熱速度は、前述同様、 $130\text{kW}/\text{m}^2$  とした。

《参考資料》

- 3.2.1 : 2001 年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説, pp274, 日本建築センター等, 2001
- 3.2.2 : 原田 和典, 建築火災のメカニズムと火災安全設計, pp58, 日本建築センター, 2007
- 3.2.3 : 2001 年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説, pp276, 日本建築センター等, 2001
- 3.2.4 : 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説, pp60~61, 日本建築センター等, 2001

(2) 火炎からの放射熱

(2-1) 火炎プルーム

可燃物(火源)の上部には火炎および熱気流(火炎プルーム)が生じる。この火炎プルームの構造を模式的に示すと次図のように、3つの領域に分割される。(参考資料 3.2.5)

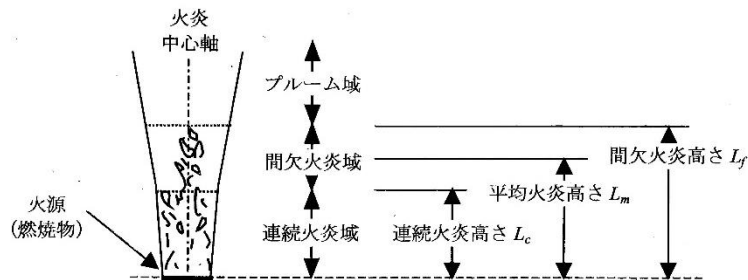


図 3.2.4 火炎プルームの構造

これらの領域のうち、放射源とする部分は「連続火炎域」および「間欠火炎域」とする。

(2-2) 火炎の温度

3.2.4 項に示す火炎の軸上温度の計算式において、最大値を維持する高さまでを連続火炎域とする。また、高さ方向に温度分布が生じる間欠火炎域においては、連続火炎域の温度と平均火炎高さに相当する  $520^{\circ}\text{C}$  ( $=793\text{K}$ ) について絶対温度で4乗平均した温度とし、次式で求める。(資料 3.2.6)

$$T_{f(f)} = \sqrt{\frac{T_{f(c)}^4 + (520 + 273)^4}{2}} \quad (\text{式 3.2.7})$$

$T_{f(f)}$  : 間歇火炎域の平均温度 [K]

$T_{f(c)}$  : 連続火炎域の温度 [K]

例えば、自由空間においては  $T_{f(c)} = 1093\text{K}$  ( $=820^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{C}$ ) となり、 $T_{f(f)} = 977\text{K}$  ( $=704^{\circ}\text{C}$ ) が得られる。

(2-3) 周辺可燃物への入射熱流

火炎から周辺可燃物への入射熱流  $q_{incf}$  [kW] は、次式で算定する。(資料 3.2.7)



$$q_{inc,f} = \varepsilon_f \sigma \{ F_{f(c)} (T_{f(c)}^4 - T_0^4) + F_{f(f)} (T_{f(f)}^4 - T_0^4) \} \quad (\text{式 3.2.8})$$

$\varepsilon_f$  : 火炎の放射率 [-]

$\sigma$  : ステファン・ボルツマン係数 ( $=5.67 \times 10^{-11}$ ) [kW/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)]

$F_{f(c)}$  : 受熱面から連続火炎域を見た時の形態係数 [-]

$T_{f(c)}$  : 連続火炎域の温度 [K]

$F_{f(f)}$  : 受熱面から連続火炎域を見た時の形態係数 [-]

$T_{f(f)}$  : 間歇火炎域の平均温度 [K]

$T_0$  : 周辺空気温度 [K]

なお、放射面と受熱面との関係に基づく形態係数の計算式は参考資料 3.2.8 に示されている。また、これら計算式を含む形態係数全般については参考資料 3.2.9 にまとめられている。

ここで、放射面である火炎と受熱面が平行な場合、受熱面から連続火炎域および間欠火炎域を見た時の形態係数は、以下の「微小面  $dA_1 \rightarrow dA_1$  に平行な長方形  $A_2$ 」の計算式に基づき算定する。

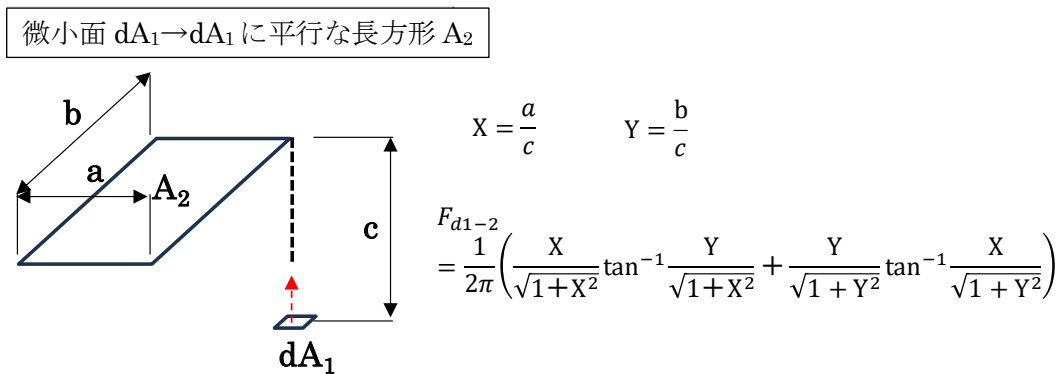


図 3.2.5 形態係数

よって、図 3.2.6 に示す放射面の火炎と受熱面の関係であれば（参考資料 3.2.10）、連続火炎域の形態係数  $F_{f(c)}$  および間歇火炎域の形態係数  $F_{f(f)}$  は各々のように求める。

[連続火炎域]

$$F_{d1-1} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y_1}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y_1}{\sqrt{1+Y_1^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y_1^2}} \right)$$

$$X = a/2c, \quad Y_1 = b_1/a$$

より

$$F_{f(c)} = 4 \times F_{d1-1}$$

[間欠火炎域]

$$F_{d1-(1+2)} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y_2}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y_2}{\sqrt{1+Y_2^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y_2^2}} \right)$$

$$X = a/2c, \quad Y_2 = (b_2 - b_1/2)/c$$

より

$$F_{f(c)} = 2 \times (F_{d1-(1+2)} - F_{d1-1})$$

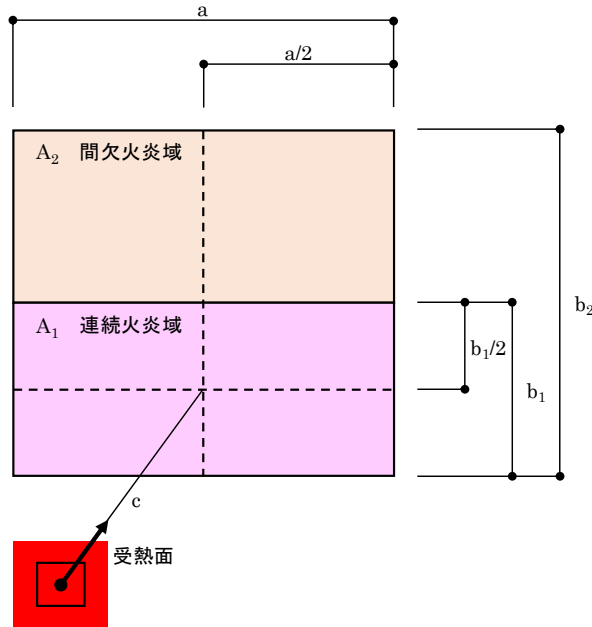


図 3.2.6 放射面（火炎）と受熱面の関係

《参考資料》

- 3.2.5 : 鋼構造耐火設計指針, 日本建築学会, pp.49 および 51, 2017
- 3.2.6 : 鋼構造耐火設計指針, 日本建築学会, pp.51~56 および pp.64~65, 2017
- 3.2.7 : 鋼構造耐火設計指針, 日本建築学会, pp.65~66, 2017
- 3.2.8 : 鋼構造耐火設計指針, 日本建築学会, pp.66~68, 2017
- 3.2.9 : 田中 哮義, 第 3 版 建築火災安全工学入門, 日本建築センター, pp.112~132, 2020
- 3.2.10 : 延焼拡大防止性能検証法の解説及び計算例とその解説, pp29, 日本建築センター等, 2023

### (3) 受熱面への入射熱流

局所火災にとどまる、すなわち周辺可燃物の着火限界は以下とする。(参考資料 3.2.11, 3.2.12)

#### (3-1) 入射熱流の最大値

可燃物の着火限界となる入射熱流は  $10\text{kW/m}^2$  であるが、ただし、火炎からの入射熱流の最大値(許容値)は煙層から入射熱流を差し引いて考える必要がある。

煙層からの入射熱流は、次式で求める。

$$q_{inc,s} = \varepsilon_s \sigma F_s (T_s^4 - T_0^4) \quad (\text{式 3.2.9})$$

$\varepsilon_f$  : 煙層の放射率 [-]

$\sigma$  : ステファン・ボルツマン係数 ( $=5.67 \times 10^{-11}$ ) [ $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ]

$F_s$  : 受熱面から煙層温度を見た時の形態係数 [K]

$T_s$  : 煙層温度 [K]

$T_0$  : 周辺空気温度 [K]

ここで、放射率  $\varepsilon_s$  および形態係数を 1.0、煙層温度を可燃物の着火限界  $160^\circ\text{C}$  (平成 12 年建設省告示 1432 号) とすれば

$$q_{inc,s} = \varepsilon_s \sigma F_s (T_s^4 - T_0^4) = 1.0 \times 5.67 \times 10^{-11} \times 1.0 \times \{(160 + 273)^4 - (20 + 273)^4\} \\ \approx 1.6\text{kW/m}^2$$

よって、着火限界の入射熱流  $10\text{kW/m}^2$  から煙層からの入射熱流  $1.6\text{kW/m}^2$  を差し引いた  $8.4\text{kW/m}^2$  が火源からの入射熱流の最大値となる。

#### (3-2) 入射熱流の二乗積算値

火源の発熱速度が時間変化すれば周辺可燃物への入射熱流も時間変化するため、入射熱流の時刻歴を計算する場合は、その二乗積算値の上限値すなわち周辺可燃物の着火限界は次式となる。

$$\int_0^{t_f} \{q_{inc}(t)\}^2 dt \leq 120,000 \quad (\text{式 3.2.10})$$

$q_{inc}$  : 受熱面への入射熱流 [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]

$t_f$  : 火災継続時間(想定した可燃物が燃え尽きるまでの時間) [秒]

ただし、実務上は火源の最大発熱速度  $Q_{peak}$  [ $\text{kW}$ ] を与えた時の熱流で評価するとして、式 3.2.10 における入射熱流を最大値  $q_{inc,max}$  [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ] で近似すれば、判定基準は次式とできる。

$$(q_{inc,max})^2 t_f \leq 120,000 \quad (\text{式 3.2.11})$$

よって、入射熱流により周辺可燃物が着火する時間(着火限界時間)  $t_{ig}$  [秒] は次式で表せる。

$$t_{ig} = \frac{120,000}{(q_{inc,max})^2} \quad (\text{式 3.2.12})$$

したがって、想定した可燃物(火源)の火災継続時間  $t_f$  が明らかであり、かつ周辺可燃物の着火限界時間  $t_{ig}$  が長ければ、周辺可燃物は着火しない、すなわち局所火災にとどまることになる。

《参考資料》

3.2.11 : 鋼構造耐火設計指針, 日本建築学会, pp66 および 69, 2017

3.2.12 : 延焼拡大防止性能検証法の解説及び計算例とその解説, pp27, 日本建築センター等, 2023



### 3.2.3 火源設定

#### (1) 局所火災を想定できる用途

局所火災を想定する部分においては、原則として、積載可燃物の発熱量が  $160\text{MJ}/\text{m}^2$  以下となる用途（参考資料 3.2.13）に限定する。

表 3.2.1  $160\text{MJ}/\text{m}^2$ 以下となる用途と積載可燃物の発熱量

建築物の部分の種類	積載可燃物の発熱量 $q_i$ [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]	その他これに類する用途の例
会議室	160	会議室に類する用途の特徴は、使用時のみ可燃物が持ち込まれ、常時は少数の家具等が設置される室である。事務所の役員室などが該当する。
体育館のアリーナ	80	通常は収納可燃物が極めて少ない空間で、屋内球技場のフィールドや屋内プールなどが該当する。
廊下、階段その他の通路	32	廊下、階段その他の通行の用のみに供する通路が該当し、トイレやダクトスペースなども含まれる
玄関ホール、ロビーその他これらに類するもの	劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂若しくは集会場その他これらに類する用途又は物品販売業を営む店舗その他これらに類する用途に供する建築物におけるもの	玄関ホール、ロビーその他これらに類するものは、商業施設の待ち合わせ場所や簡易なイベントを行うためにソファ、机などの若干の可燃物が置かれる可能性のある空間 ( $160\text{MJ}/\text{m}^2$ ) と、その他の空間 ( $80\text{MJ}/\text{m}^2$ ) とに区別する。
	その他のもの	
屋上広場又はバルコニー	80	

#### (2) 想定する火源規模

局所火災の主な火源としては、以下を設定する。

- i) Bルート検証で想定している火源（参考資料 3.2.14）
  - ii) 前述した用途に基づく火源
  - iii) 設置される可燃物に基づく火源（例えば、可燃物の燃焼実験等のデータを利用）
- ここで、可燃物が可燃性の床材に設置される場合には、
- iv) 床材の燃え広がりを考慮した火源

を設定する。

ただし、床が体育館のようなフローリング材（木質系部材）かつ浮き床構造となる場合、床材が燃え抜けないよう当該部材の下層に「石膏ボード」「鋼板」等の敷設を原則とするが、

敷設しない場合には、燃え抜けの有無を検討する。

また、局所火災を想定する部分の壁を木質系とする場合、可燃物からの放射熱等により当該壁が着火しないことを原則とし、可燃物は当該壁が着火しない距離を確保して設置する。

しかしながら、当該壁が着火する場合には

v) 木質系壁への延焼を考慮した火源を設定する。

ここでは、体育館用途における局所火災として、火源 i) B ルート検証で想定している火源（発熱速度：3,000kW，代表寸法：1.50m，火災継続時間：20分）に基づき、火源 iv) および v) の検討方法を整理する。なお、火源 iv) においては床の燃え広がり の検討方法についても整理する。

#### (2-1) 床の燃え広がりを考慮した火源

##### (a) 火源

想定する局所火源の総発熱量は、

$$3,000\text{kW} \times 1,200 \text{ 秒} = 3\text{MJ/秒} \times 12,000 \text{ 秒} = 36,000\text{MJ}$$

となる。

一方、体育館用途における積載可燃物の発熱量は 80MJ/m<sup>2</sup>であることから、次式の通り、想定した局所火災の総発熱量は体育館用途 45 m<sup>2</sup>分の収納可能物に相当する。

$$3,600\text{MJ} \div 80\text{MJ/m}^2 = 45 \text{ m}^2$$

したがって、体育館用途で想定する局所火災の火源は 6.71m×6.71m（面積 45 m<sup>2</sup>）の収納可燃物が 1ヶ所に集積したものと同等とする。

##### (b) 床材の発熱速度

局所火災が発生した場合には火源直下の床材が同時燃焼すると考え、その部材の発熱速度を火源の発熱速度に加える。

##### (c) 燃え広がり検討用の火源

火源直下の床材は燃焼するものとし、局所火源は次の通り設定する。

- ・床板の発熱速度： $\pi(\text{火源の代表寸法 } 1.50\text{m} \div 2)^2 \times 200 \text{ kW/m}^2 = 354 \text{ kW}$  (※)
- ・火源の発熱速度： $3,000\text{kW} + 354\text{kW} = 3,354 \text{ kW}$
- ・火源の代表寸法：1.50m
- ・火災継続時間：20分

※体育館用途の床材はフローリング材であるが、樹種によらない発熱速度 200kW/m<sup>2</sup>（参考資料 3.2.15 で示される最大値 199kW/m<sup>2</sup>以上）とする。

(d) 水平方向の燃え広がり

(d-1) 火源の火炎形状

火源直下の床材の燃焼分を含めた局所火災としての連続火炎域の高さを求め（火炎高さの算定式は後述の 3.2.4 項を参照）、火源の代表寸法が直径の円柱とすると、火炎からの放射熱流  $E_f$  [kW/m<sup>2</sup>] は次式で求まる。

$$E_f = \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot T_f \quad (\text{式 3.2.13})$$

$\varepsilon_f$  : 火炎の放射率 (=1.0) [-]

$\sigma$  : ステファン・ボルツマン係数 (=5.67×10<sup>-11</sup>) [kW/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)]

$T_f$  : 火炎温度 [°C]

(d-2) 受熱面への入射熱流

前述の火炎からの放射熱流の受熱面、すなわち床面から見た火炎の形態係数を次式で求める。(参考資料 3.2.8)

微小面  $dA_1$  → 一つの底面が  $dA_1$  に平行な面上にある円柱  $A_2$

$$F_{d1 \rightarrow 2} = \frac{1}{2\pi} \cos^{-1} R + \frac{1}{\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{R}{\sqrt{1-R^2}} - \frac{1+H^2-R^2}{Z} \tan^{-1} \left\{ \frac{Z \tan(0.5 \cos^{-1} R)}{1+H^2+R^2-2R} \right\} \right]$$

$$H = \frac{h}{l}, \quad R = \frac{r}{l}, \quad Z = \sqrt{(1+H^2+R^2)^2 - 4R^2}$$

(式 3.2.14)

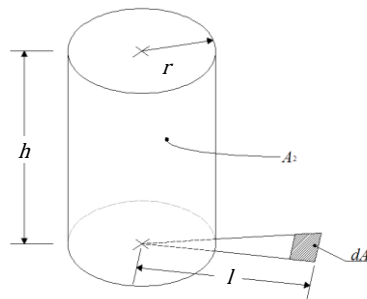


図 3.2.7 形態係数

よって、床面への入射熱流  $q_{2 \rightarrow 1}$  [kW/m<sup>2</sup>] は次式で求められる。(参考資料 3.2.16)

$$q_{2 \rightarrow 1} = E_f \cdot A_2 \cdot F_{2 \rightarrow 1d} = E_f \cdot dA_1 \cdot F_{1d \rightarrow 2} \quad (\text{式 3.2.15})$$

(d-3) 床材の着火時間

床材を半無限固体とし、放射加熱と対流熱伝達による熱損失を伴うものと仮定すれば、火源中心からの距離に応じた床材の着火時間  $t_{ig}$  [秒] は次式で求められる。(参考資料 3.2.16)

$$t_{ig} = \frac{k\rho c}{\pi \cdot h^2} \left\{ 1 + \frac{h \cdot (T_{ig} - T_0)}{\varepsilon \cdot q_e'' - h(T_{ig} - T_0)} \right\} \quad (\text{式 3.2.16})$$

$k$  : 熱伝導率 [kW/mK]

$\rho$  : 比重 [-]

- $c$  : 比熱 [kJ/kgK]
- $h$  : 表面からの熱伝達率 (=0.01) [kW/m<sup>2</sup>·K]
- $T_{ig}$  : 着火温度 [K]
- $T_0$  : 初期温度 (=雰囲気温度) [K]
- $\varepsilon$  : 放射吸収率 [-]
- $q'$  : 放射熱量 [kW/m<sup>2</sup>]

(d-4) 床材の着火範囲

前述の床材着火時間を、局所火災の火災継続時間である 20 分間となる火炎中心からの距離に応じて求め、局所火災の放射により床材が燃え広がり範囲とする。

次に、局所火災が終了した後、前述の燃え広がり範囲の床材が燃焼する場合を想定した火炎の形状を設定し、床材の燃焼による燃え広がり範囲を求める。

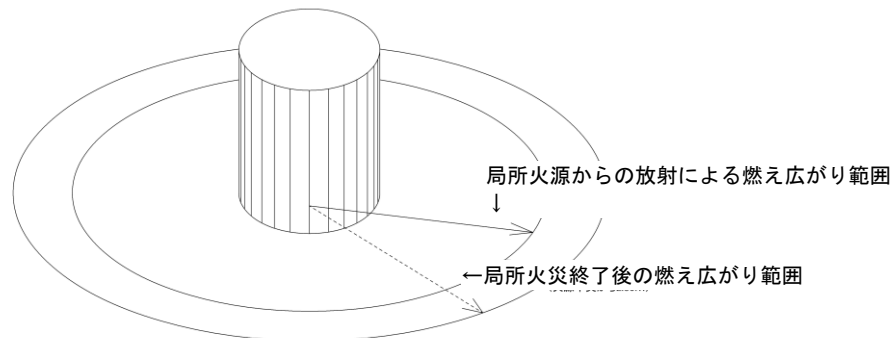


図 3.2.8 床材の燃え広がり概念図

(2-2) 床の燃え抜け

可燃物が燃え尽きるまでの間の床材の燃焼に基づき、床材の燃え抜けの有無を確認する。

ここで、木質系床材の場合、その炭化速度を 0.06mm/分とすれば、

$$\text{床材の燃焼（炭化）する厚さ [mm]} = 0.06 \text{ [mm/分]} \times \text{可燃物の燃焼時間 [分]}$$

となり、

$$\text{床材の燃焼（炭化）する厚さ [mm]} < \text{床材の厚さ [mm]}$$

であれば、燃え抜けの危険性がないと考えられる。

なお、可燃物の燃え尽き後の床材の燃焼時間（消炎時間）までを考慮した床材の燃焼（炭化）する厚さ [mm]とすれば、安全側の検討と言える。

(2-3) 木質系壁への延焼を考慮した火源

(a) 壁面の燃焼範囲

まず、局所火災が壁面に延焼することを想定し、「壁面高さ=燃焼高さ」とする。

ただし、壁面の水平方向への火炎伝播はほとんど無いことから（参考資料 3.2.17）、燃焼する壁面の幅は局所火源の代表寸法  $D=1.50\text{m}$  とし、壁面の同時燃焼を考慮した火源の発熱速度を次のように求める。



- ・壁面の燃焼面積  $A_{w1}$  [m<sup>2</sup>] = 1.50 [m] × 壁面高さ [m]
- ・壁面の発熱速度  $Q_{w1}$  [kW] = 壁材の単位発熱速度 [kW/m<sup>2</sup>] ×  $A_{w1}$  [m<sup>2</sup>]
- ・火源の発熱速度  $Q_1$  [kW] = 3,000 [kW] +  $Q_{w1}$  [kW]

さらに、この火源の無次元発熱速度  $Q_1^*$  は次式で求められる。(後述の 3.2.4 項を参照)

$$Q_1^* = \frac{Q_1}{1116D^{5/2}} \quad (\text{式 3.2.17})$$

ここで、燃焼する壁面の幅を局所火源の代表寸法の 3 倍、すなわち 4.50m とした場合には、

- ・壁面の燃焼面積  $A_{w2}$  [m<sup>2</sup>] = 4.50 [m] × 壁面高さ [m]
- ・壁面の発熱速度  $Q_{w2}$  [kW] = 壁材の単位発熱速度 [kW/m<sup>2</sup>] ×  $A_{w2}$  [m<sup>2</sup>]
- ・火源の発熱速度  $Q_2$  [kW] = 3,000 [kW] +  $Q_{w2}$  [kW]
- ・火源の代表寸法  $D_2$  [m] =  $\sqrt{4.50 [m] \times 1.50 [m]}$

さらに、この火源の無次元発熱速度  $Q_2^*$  は次式で求められる。(後述の 3.2.4 項を参照)

$$Q_2^* = \frac{Q_2}{1116D_2^{5/2}} \quad (\text{式 3.2.18})$$

これより、 $Q_2^* < Q_1^*$  であれば、壁面の燃焼を考慮した火源の発熱速度  $Q_1$  とする。

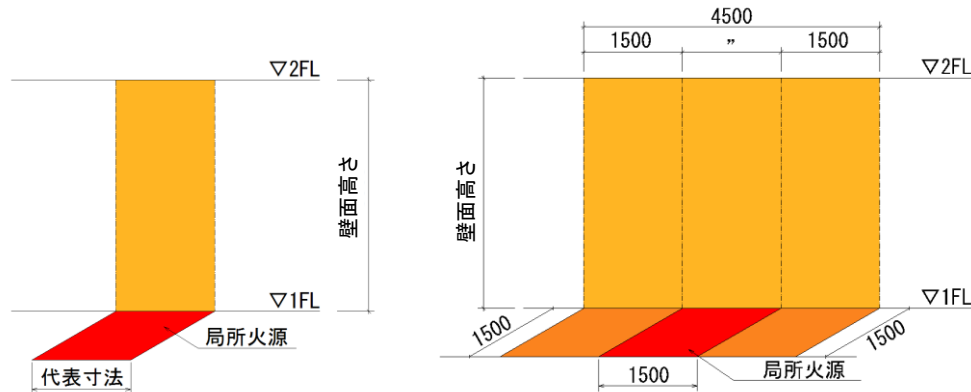


図 3.2.9 壁面の燃焼面積と無次元発熱速度の比較

#### (b) 火炎高さの想定

壁面が燃焼した場合には火炎高さが壁面の 2 倍程度に達することがあるため、前述の壁面の燃焼を考慮した火源から生じる火炎高さの検討においては、安全側として、以下の条件の想定することが考えられる。

- ・火炎高さを隅角部の計算式（後述の 3.2.4 項を参照）で算出する。
- ・火炎高さの計算結果が壁面高さの 2 倍以下の場合、火炎高さ = 壁面高さ × 2 とする。
- ・上記の算出された火炎高さに当該壁面高さを加算する。

《参考資料》

- 3.2.13 : 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説, 日本建築センター等, pp.46~47, 2001
- 3.2.4 : 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説, 日本建築センター等, pp.172~173, 2001
- 3.2.15 : 鋼構造耐火設計指針, 日本建築学会, pp.213~214, 2008
- 3.2.16 : 田中 哮義, 改訂版 建築火災安全工学入門, 日本建築センター, pp.76 および pp.290, 2002
- 3.2.17 : 五頭辰紀ほか, 内装防火設計に関する基本的研究—木造内装を例として その 2 水平方向火炎伝播性と火炎伝播性に対する予熱の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1988

### 3.2.4 火源の火炎性状

局所火災の火源について、その火炎高さおよび軸上温度（プルーム軸上温度）を算定し（参考資料 3.2.18）、木質系主要構造部材に火炎が到達しないこと、および火炎軸上温度が 260°C 以下になることを確認する。

#### (1) 無次元発熱速度

円形または正方形火源における無次元発熱速度  $Q^*$  [-] は、次式で計算される。（参考資料 3.2.19）

$$Q^* = \frac{Q}{c_p \rho_0 T_0 \sqrt{g} D^{5/2}} = \frac{Q}{1116 D^{5/2}} \quad (\text{式 3.2.19})$$

$Q$  : 火源の発熱速度 [kW]

$c_p$  : 空気の比熱 (=1.01) [kJ/(kg·K)]

$T_0$  : 基準温度 (=293) [K]

$\rho_0$  : 基準温度での空気の密度 (=353/ $T_0$ =1.205) [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  : 重量加速度 (=9.8) [m/s<sup>2</sup>]

$D$  : 火源の代表寸法 [m] ⇒ 火源面積  $\approx \pi D^2/4$

#### (2) 円形または正方形火源から生じる火炎高さおよび軸上温度

円形または正方形火源から生じる火炎高さの算定式を表 3.2.2、軸上温度の算定式を表 3.2.3 にまとめる。

なお、各表に示す出典は、後述の 3.2.6 節（4）に示す。

表 3.2.2 円形または正方形火源から生じる火炎高さ(1)

条件		算定式	出典
自由空間	連続火炎高さ	$L_c = 1.8 Q^{*2/3} D$ ( $Q^* < 1$ ) $L_c = 1.8 Q^{*2/5} D$ ( $Q^* \geq 1$ )	3-1
	平均火炎高さ	$L_m = 3.4 Q^{*2/3} D$ ( $Q^* < 1$ ) $L_m = 3.4 Q^{*2/5} D$ ( $Q^* \geq 1$ )	
壁際	連続火炎高さ	$L_c = 2.2 Q^{*2/5} D$	3-5
	平均火炎高さ	$L_m = 3.5 Q^{*2/5} D$	3-6
	間欠火炎高さ	$L_f = 4.6 Q^{*2/5} D$	3-7
隅角部	連続火炎高さ	$L_c = 3.0 Q^{*2/3} D$	3-5
	平均火炎高さ	$L_m = 4.3 Q^{*2/3} D$	3-7

$L_c$ : 連続火炎高さ [m],  $L_m$ : 平均火炎高さ [m],  $L_f$ : 間欠火炎高さ [m],

$D$ : 代表長さ（火源の幅, 直径）[m],  $Q^*$ : 無次元発熱速度 [-]

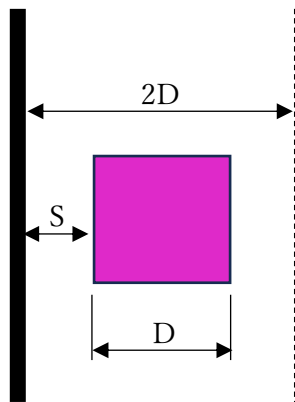
表 3.2.3 円形または正方形火源の軸上温度(1)

条件	算定式	出典
自由空間	$T_f = T_0 + 800 \quad (z^* \leq 1.2)$ $T_f = T_0 + 960 / z^* \quad (1.2 \leq z^* \leq 2.4)$ $T_f = T_0 + 1720 / z^{*5/3} \quad (2.4 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = 2.4D(Q^{*2/5} - Q^{*2/3}) \quad (Q^* \leq 1)$ $\Delta z = 2.4D(1 - Q^{*2/5}) \quad (Q^* > 1)$	3-1
壁際	$T_f = T_0 + 800 \quad (z^* \leq 2.86)$ $T_f = T_0 + 4600 / z^{*5/3} \quad (2.86 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = (2.5 - 0.7Q^*)Q^{*2/5} D$	3-5 3-6 3-7
隅角部	$T_f = T_0 + 880 \quad (z^* \leq 2.5)$ $T_f = T_0 + 2200 / z^* \quad (2.5 \leq z^* \leq 3.6)$ $T_f = T_0 + 5100 / z^{*5/3} \quad (3.6 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = (3.54Q^{*2/5} - 3.3Q^{*2/3})D$	3-5 3-7

$T_f$ : 軸上温度 [K],  $T_0$ : 周辺空気温度 [K],

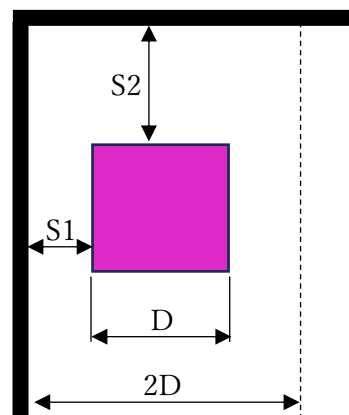
$z^*$ : 無次元距離 [-],  $z$ : 火源からの距離 [m],  $\Delta z$ : 仮想点熱源補正 [m],

$Q^*$ : 無次元発熱速度 [-],  $D$ : 代表長さ (火源の幅, 直径) [m]



$S < 2D$  のとき 壁際とする

図 3.2.10 壁際の定義



$S1 < 2D$  かつ  $S2 < 2D$  のとき 隅角部とする

図 3.2.11 隅角部の定義

なお、次項 3.2.5 において算定される煙層下端高さより低い部分においては、煙層の影響を受けない常温を  $T_0$  として単純加算することで、プルーム軸上温度を算出する。



### 【計算例】

発熱速度：3,000kW、火源面積：1.7 m<sup>2</sup>（代表径：D=1.5m）の火源について、火炎高さおよび軸上温度の計算結果は以下となる。

表 3.2.4 火炎高さの計算結果

条件	連続火炎高さ [m]	平均火炎高さ [m]	間欠火炎高さ [m]
自由空間	2.66	5.02	
壁際	3.27	5.20	6.83
隅角部	4.43	6.34	

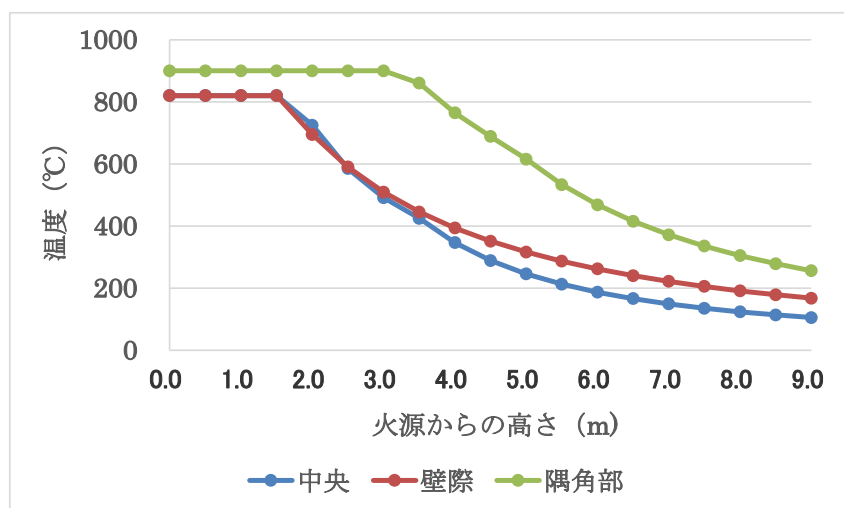


図 3.2.12 火源からの高さと軸上温度

《参考資料》

3.2.18：鋼構造耐火設計指針，日本建築学会，pp.52～54，2017

3.2.19：鋼構造耐火設計指針，日本建築学会，pp.57，2017

### 3.2.5 煙層温度

非定常二層ゾーンモデル「BRI2002（二層ゾーン建物内煙流動モデルと予測計算プログラム，(社)建築研究振興協会 刊）」を用いて、想定火源ごとの煙層温度および煙層下端高さを算定し、いずれにおいても煙層温度が 260°C 以下になることを確認する。（算定結果は図 3.2.13 のように示すことができる。）

なお、木質系主要構造部材の耐火性能を検証する部分においては想定火災が局所火災にとどまることが条件になるため、煙層の温度上昇や降下を抑止し、また周辺可燃物辺の延焼防止を図るために、煙制御が不可欠である。

ただし、火災時における作動継続性の観点から、自然排煙設備（手動開放装置または煙感知器連動で開放）を設置するが、排煙口だけでなく、排煙口と連動開放する給気口の確保により排煙効果を高める計画とする。

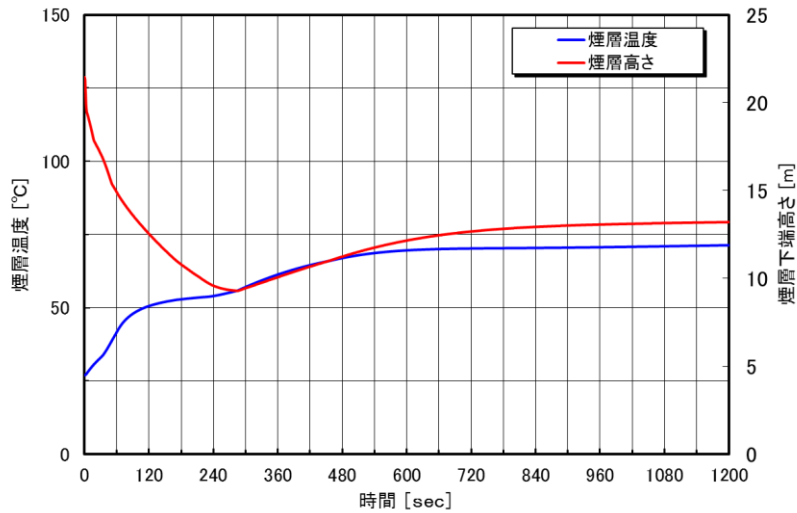


図 3.2.13 BRI2002 による煙層温度および煙層下端高さ算定結果の出力例

### 3.2.6 補足説明等

#### (1) 開口部からの噴出火炎

前述の 3.2.1 項で示した通り、木質系主要構造部材の耐火性能を検証する部分は、その他の部分と「防火区画」される。そのため、その他の部分の火災の影響は考慮しない。

しかしながら、利用形態上、防火区画されない部分を設ける場合には、当該検証部分とその他の部分との間に設けられた開口部からの噴出火炎（以降、開口噴出火炎）についての検討が必要となる。

なお、開口噴出火炎の性状は、参考資料 3.2.20 に基づく検討方法により予測することができる。

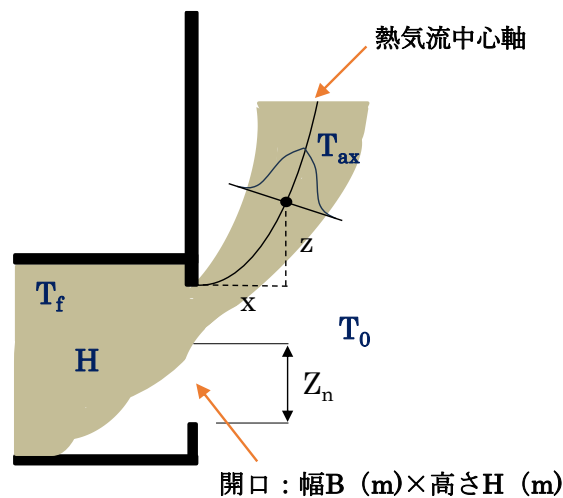


図 3.2.14 開口噴出熱気流の中心軸の概念図

#### 《参考資料》

3.2.20 : 鋼構造耐火設計指針, 日本建築学会, pp.98~105, 2017

(2) 円形または正方形火源から生じる火炎高さおよび軸上温度

前述の 3.2.4 節で示した算定式以外を表 3.2.5～3.2.8 にまとめる。なお、各表に示す出典は、後述の本項（4）に示す。

(2-1) 算定式 2

参考資料 3.2.21 に基づく算定式を、次表にまとめる。

表 3.2.5 円形または正方形火源から生じる火炎高さ(2)

条件		算定式	出典
自由空間	連続火炎高さ	$L_c=1.8Q^{*2/3}D$ ( $Q^*<1$ )	3-1
		$L_c=1.8Q^{*2/5}D$ ( $Q^*\geq 1$ )	
		(参考 1) $L_c=1.8Q^{2/5}$	3-2
	平均火炎高さ	$L_m=3.4Q^{*2/3}D$ ( $Q^*<1$ )	3-1
		$L_m=3.4Q^{*2/5}D$ ( $Q^*\geq 1$ )	
		(参考 2) $L_m=-1.02D+0.23Q^{2/5}$	3-3
	(参考 3) $L_m=3.3Q^{*2/3}D$ ( $Q^*<1$ ) $L_m=3.3Q^{*2/5}D$ ( $Q^*\geq 1$ )	3-4	
間歇火炎高さ	$L_i=0.2Q^{2/5}$	3-2	
壁際	連続火炎高さ	$L_c=2.2Q^{*2/5}D$	3-5
	間歇火炎高さ	$L_i=3.5Q^{*2/5}D$	
隅角部	連続火炎高さ	$L_c=3.0Q^{*2/3}D$	
	間歇火炎高さ	$L_i=4.3Q^{*2/3}D$	

$L_c$ : 連続火炎高さ [m],  $L_m$ : 平均火炎高さ [m],  $L_i$ : 間歇火炎高さ [m],

$D$ : 代表長さ (火源の幅, 直径) [m],  $Q^*$ : 無次元発熱速度 [-],  $Q$ : 発熱速度 [kW]

なお、一般に火源縁と壁の平面距離が火源径を 2 倍した長さより近くに壁がある場合、火源が壁に近づくと従い、火源高さは伸長する傾向にあるため、火源径の 2 倍の長さより近くに壁が設置される場合、壁際の火炎高さの算定式を用いることが推奨されている。

表 3.2.6 円形または正方形火源の軸上温度(2)

条件	算定式	出典
自由空間	連続火炎領域： $\Delta T=800 \quad (z^* \leq 1.2)$ 間歇火炎領域： $\Delta T=960/z^* \quad (1.2 \leq z^* \leq 2.4)$ プルーフ領域： $\Delta T=1720/z^{*5/3} \quad (2.4 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = 2.4D(Q^{*2/5} - Q^{*2/3}) \quad (Q^* \leq 1)$ $\Delta z = 2.4D(1 - Q^{*2/5}) \quad (Q^* > 1)$	3-1
	(参考) 連続火炎領域： $\Delta T=797 \quad (\frac{z}{Q^{2/5}} < 0.08)$ 間歇火炎領域： $\Delta T=72(\frac{z}{Q^{2/5}})^{-1} \quad (0.08 \leq \frac{z}{Q^{2/5}} < 0.2)$ プルーフ領域： $\Delta T=24.6(\frac{z}{Q^{2/5}})^{-5/3} \quad (0.2 \leq \frac{z}{Q^{2/5}})$	
壁際	連続火炎領域： $\Delta T=800 \quad (z^* \leq 2.86)$ プルーフ領域： $\Delta T=4600/z^{*5/3} \quad (2.86 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = (2.5 - 0.7Q^*)Q^{*2/5} D$	3-5
隅角部	連続火炎領域： $\Delta T=880 \quad (z^* \leq 2.5)$ 間歇火炎領域： $\Delta T=2200/z^* \quad (2.5 \leq z^* \leq 3.6)$ プルーフ領域： $\Delta T=5100/z^{*5/3} \quad (3.6 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = (3.54Q^{*2/5} - 3.3Q^{*5/3})D$	3-5

$\Delta T$  : 上昇温度 [K],

$z^*$  : 無次元高さ [-],  $z$  : 火源からの高さ [m],  $\Delta z$  : 仮想点熱源の位置 [m],

$Q^*$  : 無次元発熱速度 [-],  $Q$  : 発熱速度 [kW],  $D$  : 代表長さ (火源の幅, 直径) [m]

**【計算例】**

発熱速度 : 3,000kW、火源面積 : 1.7 m<sup>2</sup> (代表径 :  $D=1.5$ m) の火源について、火炎高さおよび軸上温度の計算結果は以下となる。



表 3.2.7 火炎高さの計算結果

条件	連続火炎高さ [m]	平均火炎高さ [m]	間歇火炎高さ [m]
自由空間	2.66	5.02	4.92
壁際	3.27		5.20
隅角部	4.43		6.34

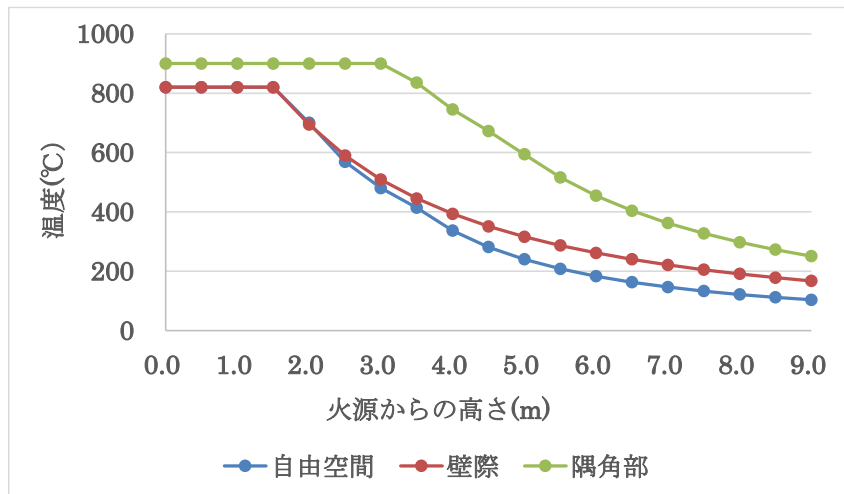


図 3.2.15 火源からの高さと軸上温度

(2-2) 算定式 3

参考資料 3.2.22 に基づく算定式を、次表にまとめる。

表 3.2.8 円形または正方形火源面から生じる火炎高さ(3)

条件	算定式	出典
自由空間	連続火炎高さ $L_c = 1.8 Q^{*2/5} D$ ( $0.4 \leq Q^* \leq 5$ )	3-1
	平均火炎高さ $L_m = 3.4 Q^{*2/3} D$ ( $0.02 \leq Q^* < 1$ ) $L_m = 3.4 Q^{*2/5} D$ ( $1 \leq Q^* < 40$ )	3-8
壁際	連続火炎高さ $L_c = 2.2 Q^{*2/5} D$ ( $0.3 \leq Q^* \leq 2$ )	3-5
	平均火炎高さ $L_m = 3.5 Q^{*2/5} D$ ( $0.3 \leq Q^* \leq 2$ )	
隅角部	連続火炎高さ $L_c = 3.0 Q^{*2/3} D$ ( $0.1 \leq Q^* \leq 24$ )	3-5
	平均火炎高さ $L_m = 4.3 Q^{*2/3} D$ ( $0.1 \leq Q^* \leq 24$ )	

$L_c$  : 連続火炎高さ [m],  $L_m$  : 平均火炎高さ [m],

$D$  : 代表長さ (火源の幅, 直径) [m],  $Q^*$  : 無次元発熱速度 [-],  $Q$  : 発熱速度 [kW]

表 3.2.9 円形または正方形火源の軸上温度(3)

条件	算定式	出典
自由空間	$T_{ax} = T_0 + 800 \quad (z^* \leq 1.2)$ $T_{ax} = T_0 + 960 / z^* \quad (1.2 \leq z^* \leq 2.4)$ $T_{ax} = T_0 + 1720 / z^{*5/3} \quad (2.4 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = 2.4D(Q^{*2/5} - Q^{*2/3}) \quad (Q^* \leq 1)$ $\Delta z = 2.4D(1 - Q^{*2/5}) \quad (Q^* > 1)$	3-8
壁際	$T_{ax} = T_0 + 800 \quad (z^* \leq 2.86)$ $T_{ax} = T_0 + 4600 / z^{*5/3} \quad (2.86 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = (2.5 - 0.7Q^*)Q^{*2/5} D$	3-8
隅角部	$T_{ax} = T_0 + 880 \quad (z^* \leq 2.5)$ $T_{ax} = T_0 + 2200 / z^* \quad (2.5 \leq z^* \leq 3.6)$ $T_{ax} = T_0 + T = 5100 / z^{*5/3} \quad (3.6 \leq z^*)$ $z^* = (z + \Delta z) / (Q^{*2/5} D)$ $\Delta z = (3.54Q^{*2/5} - 3.3Q^{*3/5})D$	3-5

$T_{ax}$  : 軸上温度 [K],

$z^*$  : 無次元距離 [-],  $z$  : 火源からの距離 [m],  $\Delta z$  : 仮想点熱源補正 [m],

$Q^*$  : 無次元発熱速度 [-],  $D$  : 代表長さ (火源の幅, 直径) [m]

【計算例】

- ・ 火炎高さの計算

表 3.2.10 火炎高さの計算結果

条件	連続火炎高さ [m]	平均火炎高さ [m]	間歇火炎高さ [m]
自由空間	2.67	4.87	
壁際	3.27	5.20	
隅角部	4.43	6.34	

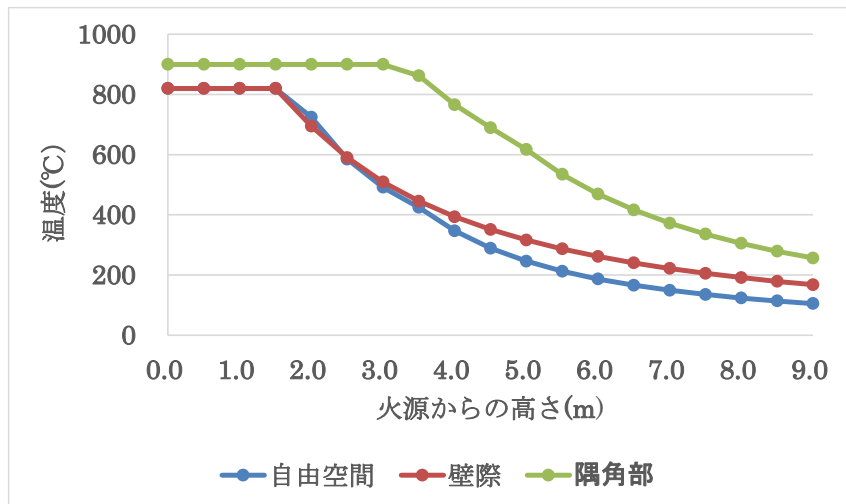


図 3.2.16 軸上温度の計算結果

《参考文献》

3.2.21 : 建築物の火災荷重及び設計火災性状指針, 日本建築学会, pp.103~105, 2022

3.2.22 : 火災性状予測計算ハンドブック 2018, 日本建築学会, pp.39~40,

(4) 出典

前掲の表 3.2.2、表 3.2.3、表 3.2.5、表 3.2.6、表 3.2.8、表 3.2.9 に示す出典を、以下にまとめる。

- 3-1 : Y.Hasemi, T.Tokunaga : Flame Geometry Effects on the Buoyant Plumes From Turbulent Diffusion Flames, Fire Science and Technology, Vol.4, No.1, pp.15-26, 1984
- 3-2 : McCaffery, B.J. : Purely Buoyant Diffusion Flames-Some Experimental Results, NBSIR79-1910,1079
- 3-3 : Heskestad.G. : Luminous Height of Turbulent Diffusion Flames, Fire Safety Journal, Vol.5, pp.103-108, 1083
- 3-4 : E.E.Zukoski, T.Kubota, B. Cetegen : Entrainment in Fire Plume, Fire Safety Journal, Vol.3, pp.107-121, 1980/1981
- 3-5 : Y.Hasemi, T.Tokunaga : Some Experimental Aspects of Turbulent Diffusion Flames and Buoyant Plumes from Fire Sources against a Wall and in a Corner Walls, Combustion Science and Technology, Vol.40, pp.1-17, 1984
- 3-6 : Back G., Beyler C., DiNenno P., Tatem P. : Wall Incident Heat Flux Distributions Resulting from an Adjacent Fire, Fire Safety Science-proc. 4<sup>th</sup> Symp., pp.241-252, 1997
- 3-7 : Poreh M., Garrad G. : A Study of Wall and Corner Fire Plumes, Fire Plumes, Fire Safety Journal, Vol.34, pp.81-98, 2000
- 3-8 : Cetegen B.M., Zukoski E.E., Kubota T : Entrainment in the Near and Far Field of Fire Plumes, Combustion Science and Technology, Vol.39, pp.305-311, 1984

## 第4章 木質床の燃焼実験

### 4.1 実験の目的

耐火建築物の要求のある建築物の屋根や横架材の木造化を、耐火構造ではなく C ルート検証法により実現しようとするならば、木質化した壁や床が燃焼した場合、その火炎が局所にとどまることの確認と、燃焼による発熱の影響を、主要構造部への入射熱流の算出の際、考慮する必要がある。しかし、局所火源火災を条件とした木質系の壁および床の燃焼実験は、希有な状況にある。そこで、今年度は木質化された床を対象に燃焼試験を実施し、火炎伝播性状と発熱速度の計測を行うことにした。

### 4.2 実験

実験の仕様を表 4.2.1 に示す、写真 4.2.1 のように局所火源を想定したプロパンガスバーナー火源（一定の発熱速度＝200kW）を用いた木質床の燃え拡がり性状を確認することを目的とした実験と、写真 4.2.2 のように、木製クリブ火源（発熱速度が時系列に変化する）を用いて、より現実に近い収納可燃物の燃焼を再現して、木質床の燃え抜けと燃え拡がり性状を確認する実験の 2 種類を行った。

表 4.2.1 実験仕様一覧

実験名	実験日	床材	熱源	加熱条件	加熱時間	目的	測定項目					
予備実験1-1	3月13日	ケイカル板 厚25mm	プロパンガス バーナー500角	200kW	20分	熱流の計測 (ブランク試験)	床表面：熱流計3箇所＋熱電対3箇所 火炎面：熱流計1箇所＋熱電対1箇所 発熱速度・総発熱量 ※予備実験2-1は熱流束データ未計測					
予備実験1-2	3月14日											
予備実験2-1	3月11日							木製クリブ	1ヶ	火源が燃え 尽きるまで	着火方法の検討 発熱速度把握	発熱速度・総発熱量
予備実験2-2	3月11日								2ヶ重ね			
床実験1	3月13日	スギ厚物合板 厚28mm	プロパンガス バーナー500角	200kW	20分	燃え拡がり性状	床表面：熱流計3箇所＋熱電対3箇所 火炎面：熱流計1箇所＋熱電対1箇所 発熱速度・総発熱量					
床実験2	3月13日							200kW	30分	燃え拡がり性状		
床実験3	3月11日		木製クリブ	2ヶ重ね	火源が燃え 尽きるまで	燃え抜け性状 燃え拡がり性状	床表面：熱流計2箇所＋熱電対2箇所 床断面：熱電対3本 発熱速度・総発熱量					
床実験4	3月12日							1ヶ				
床実験5	3月14日	フローリング 厚18mm+ 構造用合板厚15mm	プロパンガス バーナー500角	200kW	20分	燃え拡がり性状	床表面：熱流計3箇所＋熱電対3箇所 火炎面：熱流計1箇所＋熱電対1箇所 発熱速度・総発熱量					
床実験6	3月12日		木製クリブ	2ヶ重ね	火源が燃え 尽きるまで	燃え抜け	床表面：熱流計2箇所＋熱電対2箇所 床断面：熱電対3本 発熱速度・総発熱量					
床実験7	3月12日							1ヶ				
床実験8	3月13日	塗装フローリング 厚18mm +構造用合板15mm	プロパンガス バーナー500角	200kW	20分	燃え拡がり性状	床表面：熱流計3箇所＋熱電対3箇所 火炎面：熱流計1箇所＋熱電対1箇所 発熱速度・総発熱量					

※床実験 5～8 の試験体のフローリングの表面材料はイタヤカエデとした



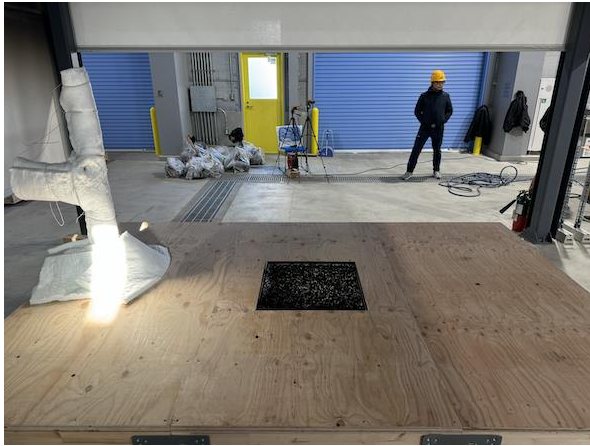


写真 4.2.1 プロパンガスバーナーによる木質床の燃え拡がり性状確認実験の様子  
(バーナーサイズ：0.5m×0.5m)



写真 4.2.2 木製クリブ火源による木質床の燃え拡がり性状確認実験の様子  
(クリブサイズ：スギ 30×105×750mm×20 本を用いた 10 段組)

実験は、まず木製クリブの個数の違いによる発熱速度を確認する予備実験を 2 体、プロパンガスバーナー火源の床への入射熱流束を確認する予備実験を 2 体実施して、基本的なデータを入手し、その後、木質床の仕様を 3 仕様、変化させて、プロパンガスバーナー火源による実験（以降、プロパンガスバーナー実験と呼ぶ）を 4 体、木製クリブ火源による実験（以降、クリブ実験と呼ぶ）を 4 体の計 8 体実施した。

#### 4.2.1 プロパンガスバーナー火源による木質床の燃焼実験

局所火源火災で一般的に想定される代表火源である、代表寸法 1.5m×1.5m、3MW の火源と無次元発熱速度が同じとなるように、バーナー寸法 0.5m×0.5m、200kW（正確には 192.5kW であるが、バーナーの出力制御の関係上、200kW を目標に制御した）の火源を用いて床の燃え拡がり性状を確認した。

##### (1) 実験計画

木質床の燃え拡がり性状を把握するため、プロパンガスバーナーを火源とし、床材及び加熱時間をパラメーターとして、4 仕様の木質床の燃焼実験を実施した。また本実験に先立ち、予備実験としてガスバーナーの発熱速度、床への熱流束を把握するブランク試験を実施した。

## (2) 実験方法

試験装置を写真 4.2.3～4.2.5、および図 4.2.1 に示す。床試験体の外形は、W2730×D1820mm として、その中心に 500mm×500mm のプロパンガスを燃料とするバーナーを設置し 20 分または 30 分間燃焼させた。



写真 4.2.3 実験装置全景

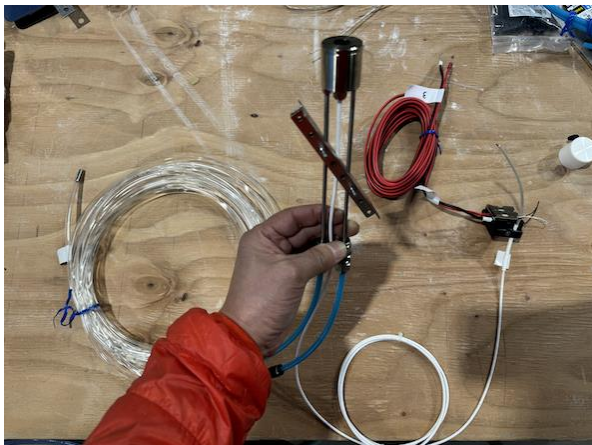


写真 4.2.4 熱流計と床面への設置状況



写真 4.2.5 熱流計冷却水配管設備とプロパンガス用マスフローメーター



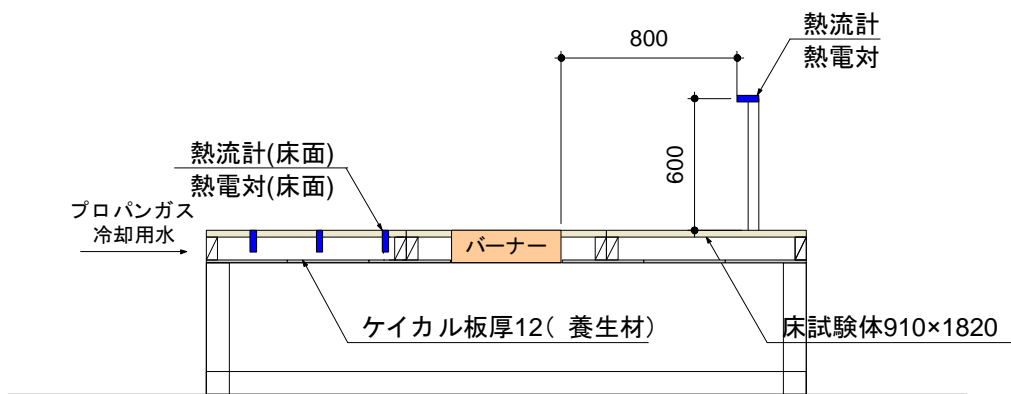
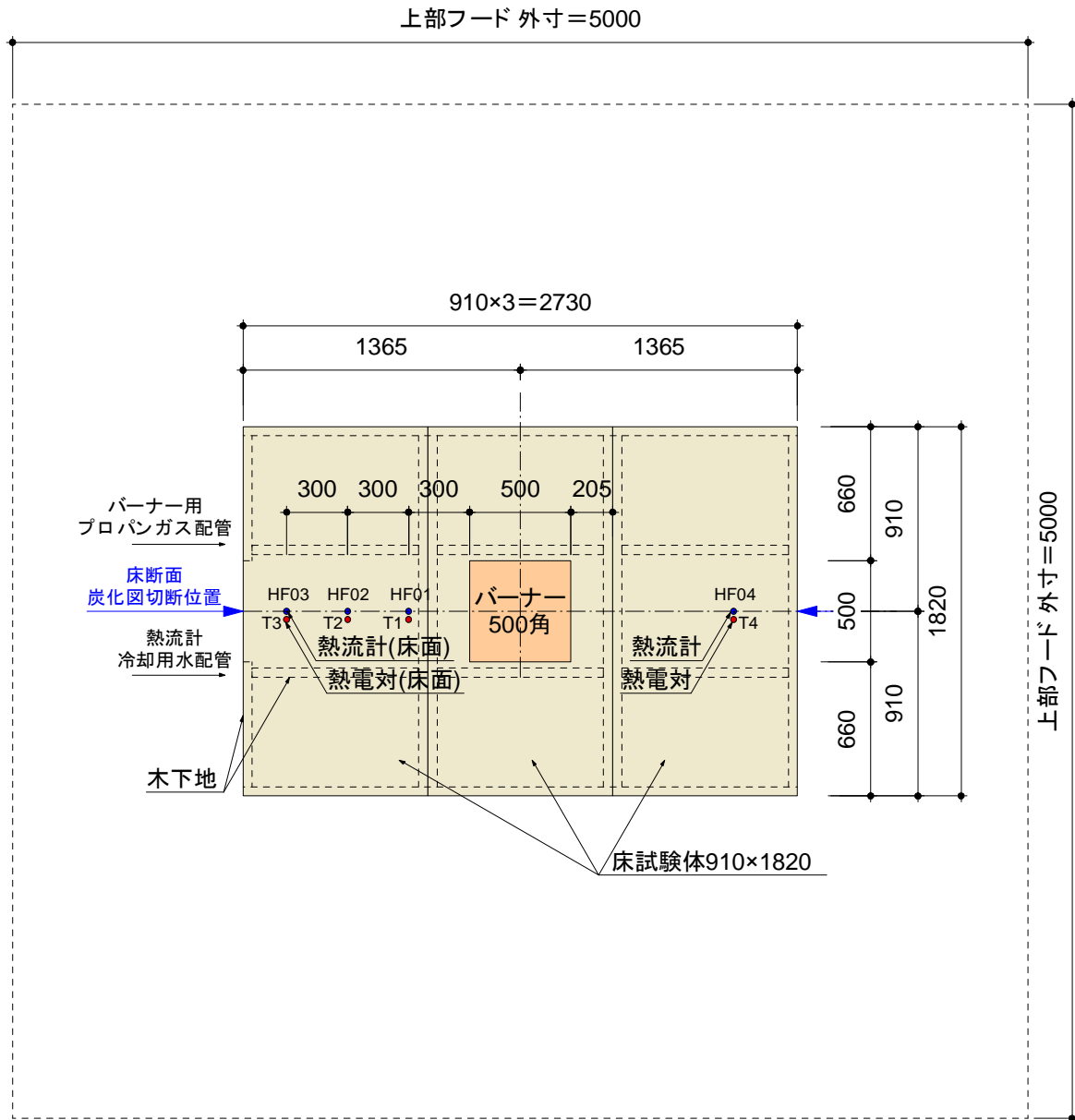


図 4.2.1 実験装置及び試験体概要

その際、水冷式熱流束計(フランジ無しタイプのシュミット・ボエルター型、Hukseflux社製、品番：CHF-SBG03-200、常用測定レンジ  $200\text{kW/m}^2$ 、最高測定レンジ  $300\text{kW/m}^2$ ) と K タイプの CA 熱電対を床への入射熱測定用に 3 箇所、火炎からの輻射熱測定用に 1 箇所、設置して、熱流束及びその付近の温度(熱流計端部より  $10\text{mm}$  の位置)を測定した。また、発熱速度を試験体上部に設けたフードを用いて、酸素消費法により測定するとともに、目視による観察、ビデオ及びカメラによる撮影を行った。

### (3) 実験結果

#### 1) 予備実験(ブランク試験)

発熱速度と温度・熱流速(予備実験 1-2 のみ)の計測結果、実験の記録画像を下記に示す。発熱速度は 20 分間、継続しておおむね  $200\text{kW}$  を保っている。

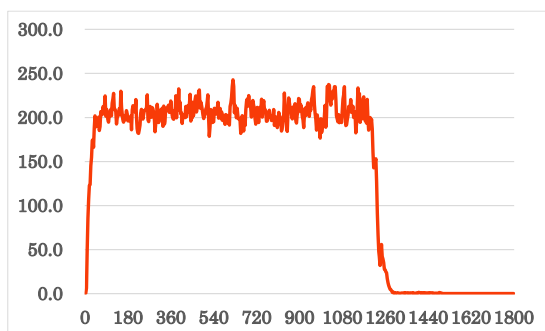


図 4.2.2 発熱速度の推移  
(予備実験 1-1)

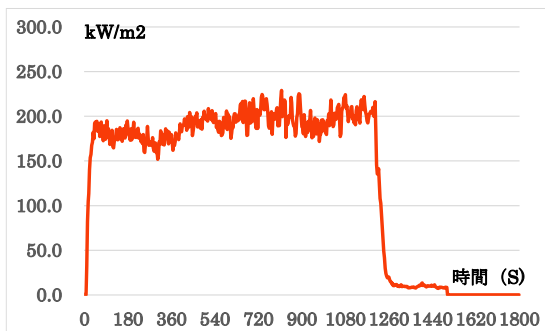


図 4.2.3 発熱速度の推移  
(予備実験 1-2)

予備実験 1-1 の温度及び熱流速は、計測装置の不具合により未記録

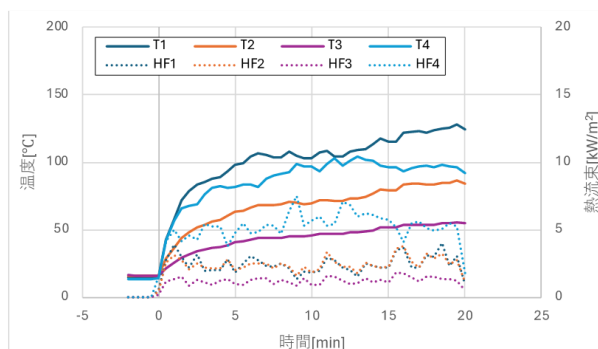


図 4.2.4 温度・熱流速の推移  
(予備実験 1-2)

予備試験 1 の記録画像を写真 4.2.6 に、予備試験 2 の記録画像を写真 4.2.7 に示す。



実験開始時（着火 0 分）



実験開始時（着火 5 分後）



実験開始時（着火 10 分後）



実験開始時（着火 15 分後）



実験開始時（着火 20 分後）

写真 4.2.6 予備試験 1 の記録画像



実験開始時（着火 0 分）



着火 5 分後



着火 10 分後



着火 15 分後



着火 20 分後

写真 4.2.7 予備試験 2 の記録画像



2) 構造用合板厚 28mm の床 (加熱時間 : 20 分、30 分)

床実験 1 の発熱速度を図 4.2.5、床実験 2 の発熱速度を 4.2.6 に、床実験 1 の温度・熱流速の計測結果を図 4.2.7、床実験 2 の温度・熱流速の計測結果を図 4.2.8 に示す。また実験 1 の記録画像を写真 4.2.8、実験 2 の記録画像を写真 4.2.9 に示す。なお、床実験 1 では、実験開始 10 分以降にプロパンガス流量の低下が生じたため、データは参考値である。

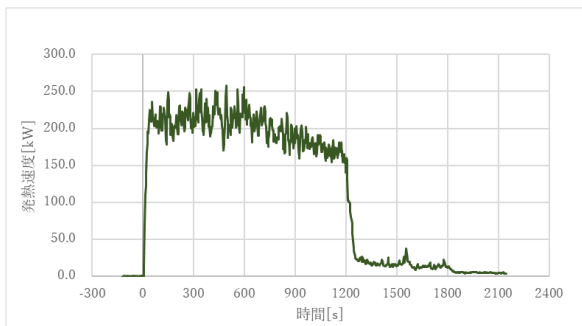


図 4.2.5 発熱速度の推移  
(床実験 1)

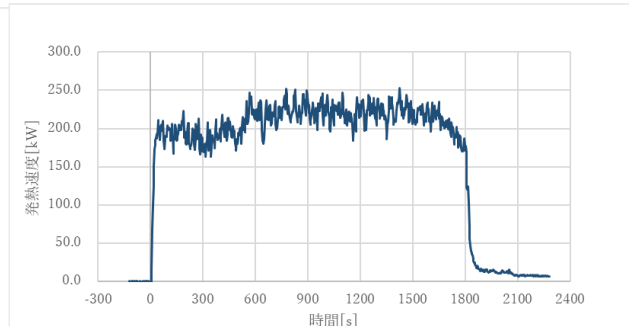


図 4.2.6 発熱速度の推移  
(床実験 2)

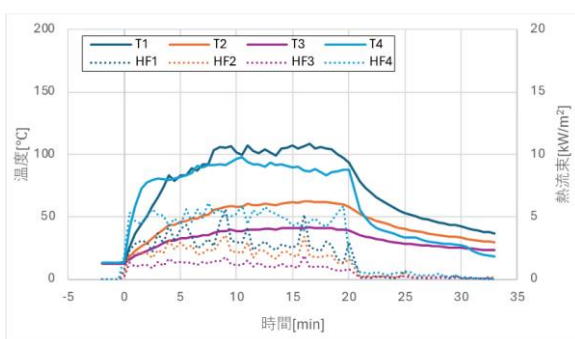


図 4.2.7 温度・熱流速の推移  
(床実験 1)

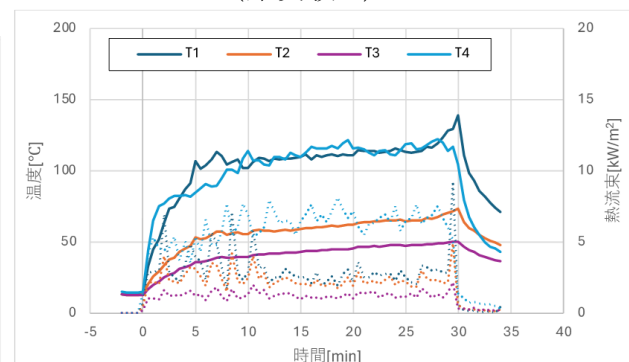


図 4.2.8 発熱速度の推移  
(床実験 2)



実験開始時（着火 0 分）



着火 5 分後



着火 10 分後



着火 15 分後



着火 20 分後（加熱終了）



加熱終了 5 分後

写真 4.2.8 実験 1 の記録画像



実験開始時（着火 0 分）



着火 5 分後



着火 10 分後



着火 15 分後



着火 20 分後



着火 25 分後



着火 30 分後（加熱終了）



加熱終了 2 分後

写真 4.2.9 実験 2 の記録画像

写真 4.2.10 に実験 1 の実験終了後の床上の燃焼した範囲を、写真 4.2.11 に実験 2 の実験終了後の床上の燃焼した範囲を示す。

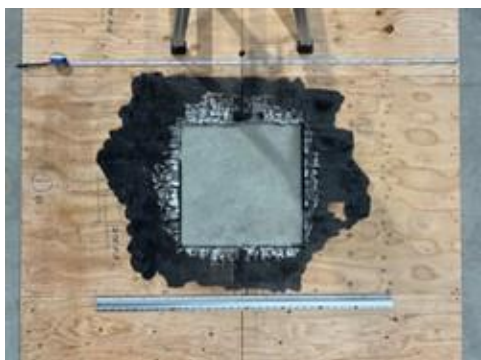


写真 4.2.10 床上の燃焼した範囲  
（実験 1）

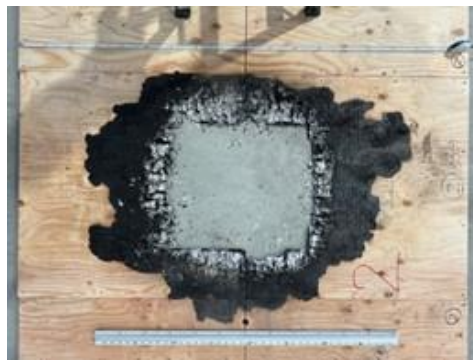


写真 4.2.11 床上の燃焼した範囲  
（実験 2）

3) 体育館用フローリング床（表面材イタヤカエデ、無塗装）

床実験 5 の発熱速度を図 4.2.9 に、温度・熱流速の計測結果を図 4.2.10 に示す。また写真 4.2.12 に記録画像、写真 4.2.13 に床上の燃焼状況を示す。

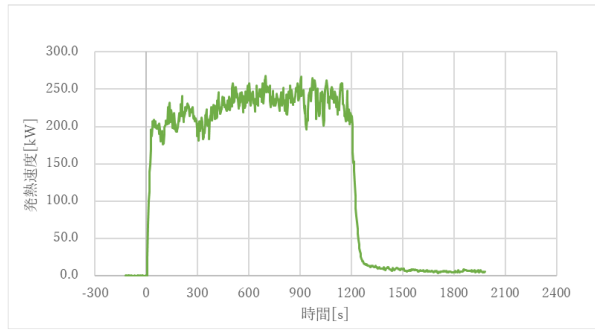


図 4.2.9 発熱速度の推移  
(床実験 5)

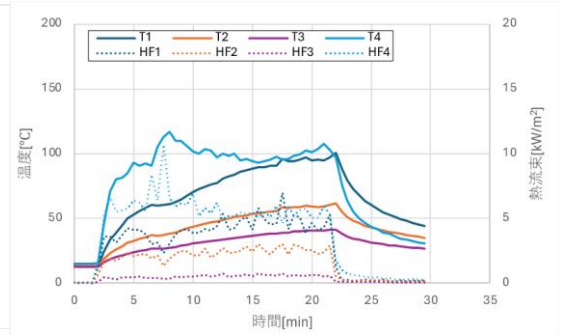


図 4.2.10 温度・熱流速の推移  
(床実験 5)



実験開始時（着火 0 分）



着火 5 分後



着火 10 分後



着火 15 分後



着火 20 分後（加熱終了）



加熱終了 5 分後

写真 4.2.12 実験 5 の記録画像



写真 4.2.13 床上の燃焼した範囲（実験 5）



4) 体育館用フローリング床（表面材イタヤカエデ、ウレタン塗装）

床実験 8 の発熱速度を図 4.2.11 に、温度・熱流速の計測結果を図 4.2.12 に示す。  
また写真 4.2.14 に記録画像、写真 4.2.15 に床上の燃焼状況を示す。

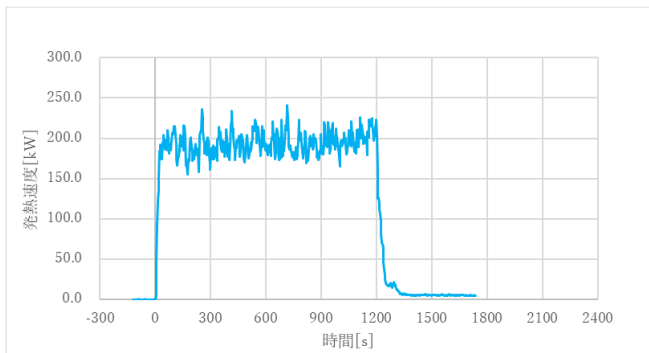


図 4.2.11 発熱速度の推移  
(床実験 8)

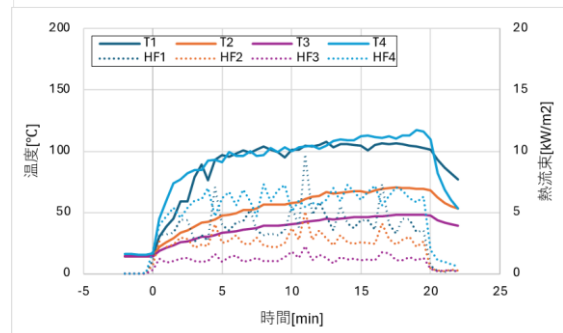


図 4.2.12 温度・熱流速の推移  
(床実験 8)



実験開始時（着火 0 分）



着火 5 分後



着火 10 分後



着火 15 分後



着火 20 分後（加熱終了）



加熱終了 5 分後

写真 4.2.14 実験 8 の記録画像



写真 4.2.15 床上の燃焼した範囲（実験 8）

#### 4.2.2 クリブ火源による木質床の燃焼実験

局所火源火災で想定される収納可燃物を模した木製クリブ（スギ製材 30×105×750、20 枚、約 17.5kg～18kg）を燃焼させて、木質床の燃え抜け性状及び燃え広がり性状を確認した。

##### (1) 実験計画

床の燃え抜け及び燃え広がり性状を把握するため、クリブを火源とし、床材及び加熱条件をパラメーターとして、4 仕様の木質床の燃焼実験を実施した。また本実験に先立ち、着火方法及びガスバーナーの発熱速度を把握する予備実験を実施した。以下に実験概要の一覧を記載する。

##### (2) 実験方法

試験装置を図 4.2.13、写真 4.2.16～4.2.18 に示す。床試験体の外形は、W 1820×D1820mm として、その中心に外寸 750mm×750mm の木製クリブ（スギ製材 30×105×750、20 本を 10 枚積みとした）を設置し、着火剤（木材繊維質＋灯油、約 180g）を図 4.2.13 のように配置して、着火した。クリブの重量を表 4.2.2 に示す。

その際、水冷式熱流束計（フランジ無しタイプのシュミッド・ボエルター型、Hukseflux 社製、品番：CHF-SBG03-200、常用測定レンジ 200kW/m<sup>2</sup>、最高測定レンジ 300kW/m<sup>2</sup>）と K タイプの CA 熱電対を床への入射熱測定用に 2 箇所に設置して、熱流束及びその付近の温度（熱流計端部より 10mm の位置）を測定した。また、発熱速度を試験体上部に設けたフードを用いて、酸素消費法により測定するとともに、目視による観察、ビデオ及びカメラによる撮影を行った。

表 4.2.2 クリブの重量

実験名	クリブ名	制作時			実験直前			全乾法換算 [kg]	
		重量 [kg]	含水率 [%]	計測日	重量 [kg]	含水率 [%]	計測日		
実験①	①	18.02	11.0	2月19日	17.82	11.0	3月11日	16.05	
実験②	②-1	17.03	11.3	2月19日	16.80	11.2		15.11	
	②-2	18.72	11.3	2月17日	18.02	11.3		16.19	
実験③	③-1	19.47	11.7	2月17日	19.35	11.3		17.39	
	③-2	19.29	12.0	2月17日	19.19	11.6		17.20	
実験④	④-1	17.60	9.9	2月19日	17.41	10.8		15.71	
	④-2	18.10	10.8	2月19日	17.87	9.4		16.33	
	④-3	17.63	10.2	2月19日	17.43	10.5		15.77	
	④-4	18.15	10.0	2月19日	17.98	11.3		16.15	
実験⑥	⑥-1	17.24	9.3	2月19日	17.05	10.5		15.43	
	⑥-2	17.79	10.6	2月20日	17.53	11.0		15.79	
実験⑦	⑦-1	18.51	11.6	2月19日	18.30	11.9		16.35	
	⑦-2	18.34	11.3	2月19日	18.16	10.9		16.38	
	⑦-3	17.53	10.1	2月19日	17.34	10.6		15.68	
	⑦-4	17.47	9.6	2月19日	17.29	11.0		15.58	
				平均値	17.84	10.95			16.08

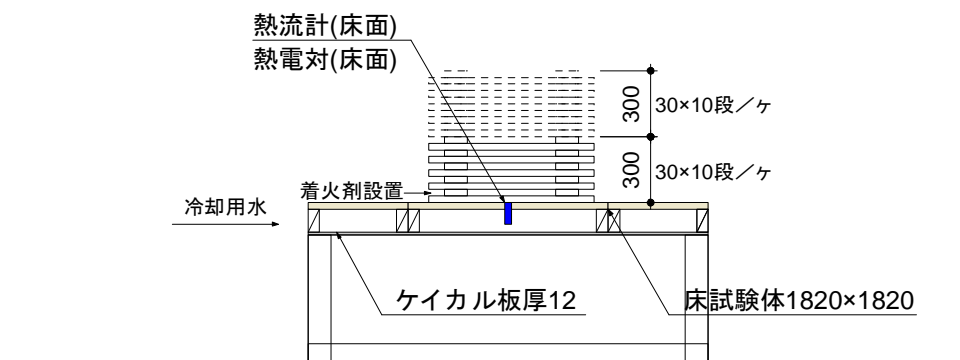
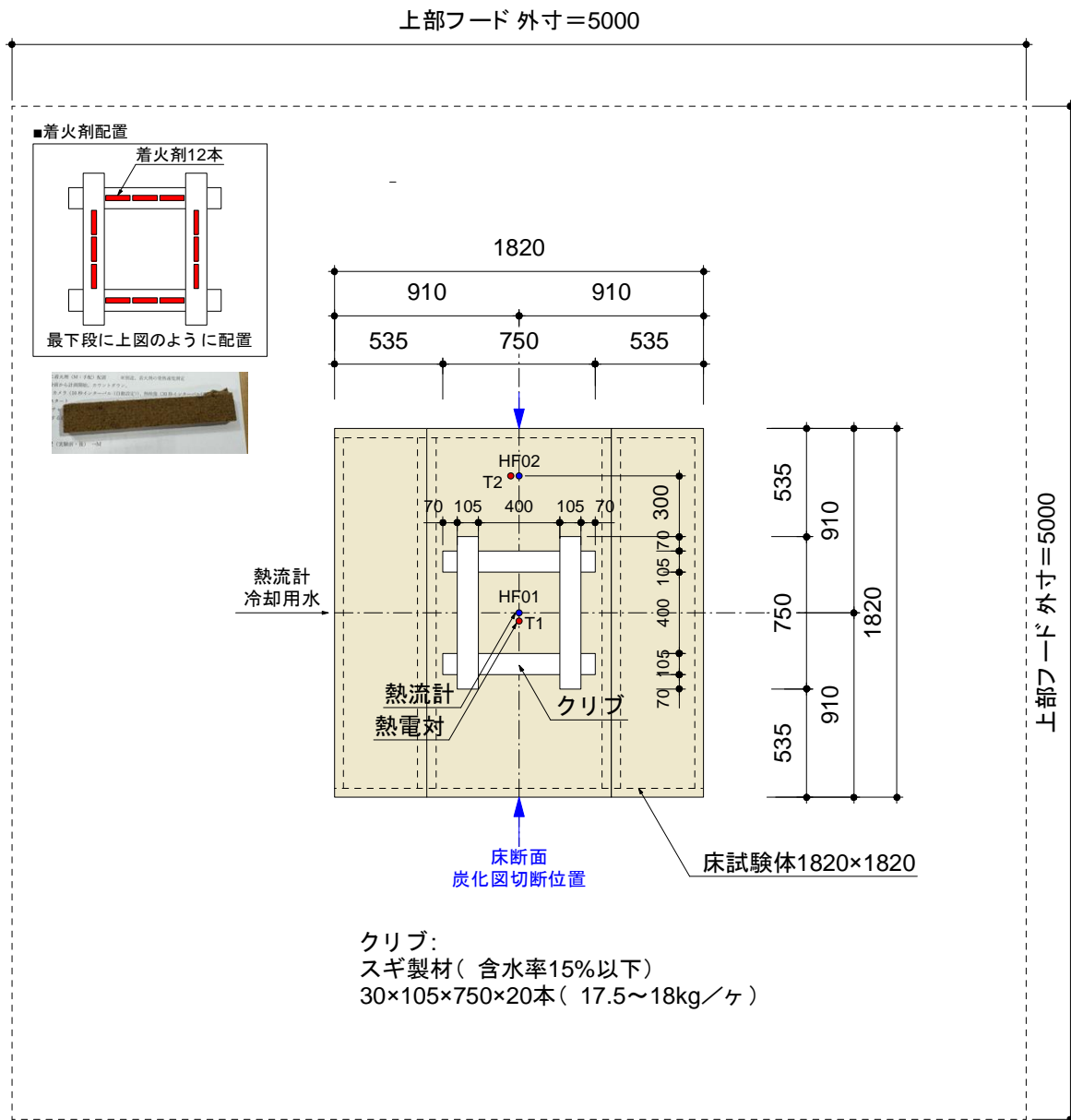


図 4.2.13 試験装置及び試験体概要



写真 4.2.16 実験装置全景

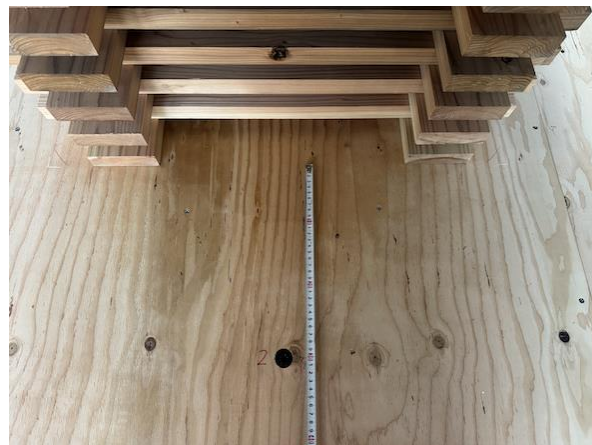
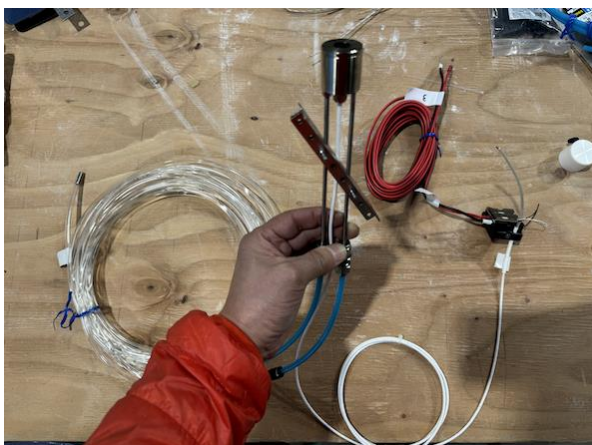


写真 4.2.17 熱流計と床面への設置状況

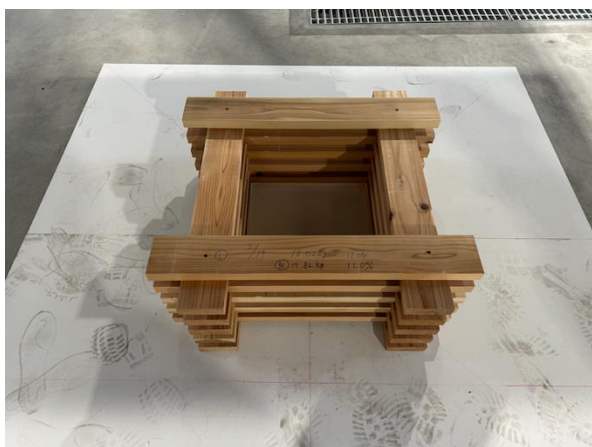


写真 4.2.18 木製クリブ（1ヶ）と着火剤



### (3) 実験結果

#### 1) 予備実験

クリブ1ヶと2ヶの燃焼によるそれぞれの発熱速度の推移を図4.2.14、図4.2.15、実験の記録画像を写真4.2.19、写真4.2.20に示す。

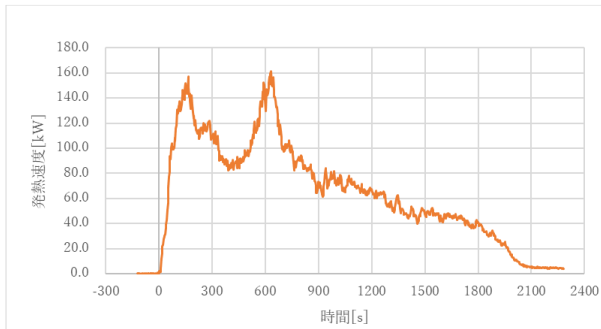


図 4.2.14 発熱速度の推移  
(予備実験 2-1) クリブ 1ヶ

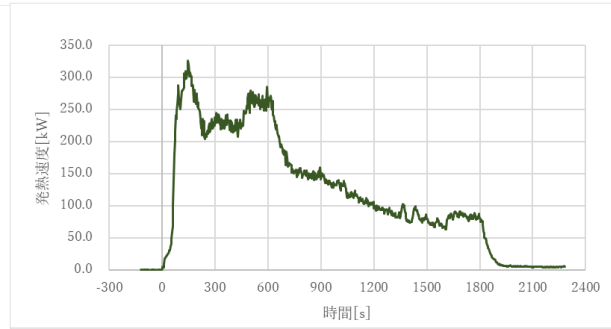


図 4.2.15 発熱速度の推移  
(予備実験 2-2) クリブ 2ヶ



実験開始時（着火 0 分）



着火 2 分後



着火 4 分後



着火 6 分後



着火 8 分後



着火 10 分後



着火 12 分後



着火 14 分後



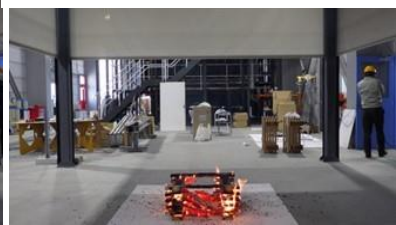
着火 16 分後



着火 18 分後



着火 20 分後



着火 22 分後



着火 24 分後



着火 26 分後



着火 28 分後



着火 30 分後



着火 32 分後

写真 4.2.19 予備実験 2-1 の記録画像



実験開始時（着火 0 分）



着火 2 分後



着火 4 分後



着火 6 分後



着火 8 分後



着火 10 分後



着火 12 分後



着火 14 分後



着火 16 分後



着火 18 分後



着火 20 分後



着火 22 分後



着火 24 分後



着火 26 分後



着火 28 分後



着火 30 分後

写真 4.2.20 予備実験 2-2 の記録画像



2) 構造用合板床.×2 実験 (クリブ 1 段と 2 段)

床実験 3、床実験 4 の発熱速度を図 4.2.16、図 4.2.17 に、温度・熱流速の計測結果を図 4.2.18、図 4.2.19 に示す。また実験ごとの記録画像を写真 4.2.21、写真 4.2.22 に示す。

実験は、構造用合板の中央裏面温度が 260℃になる時点を目処に終了させた。

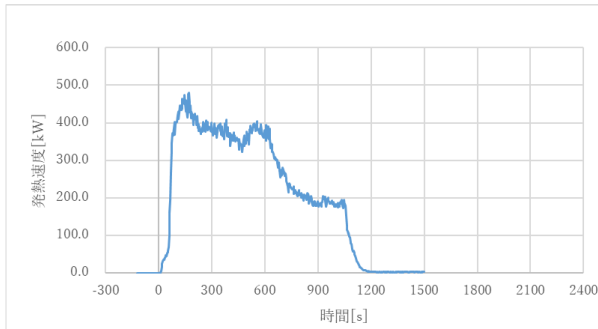


図 4.2.16 発熱速度の推移  
(床実験 3)

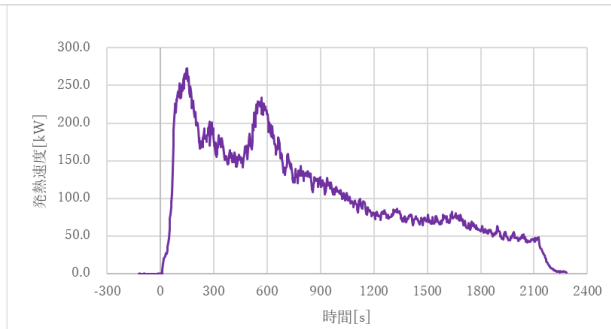


図 4.2.17 発熱速度の推移  
(床実験 4)

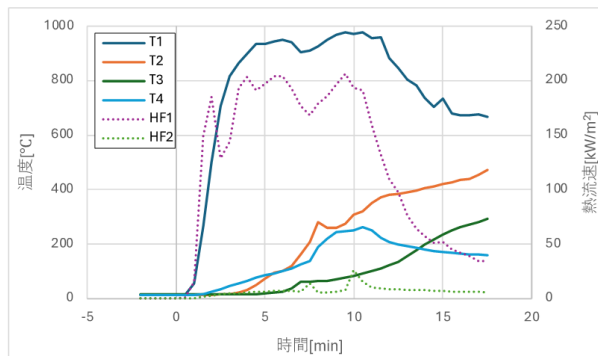


図 4.2.18 温度・熱流速の推移  
(床実験 3)

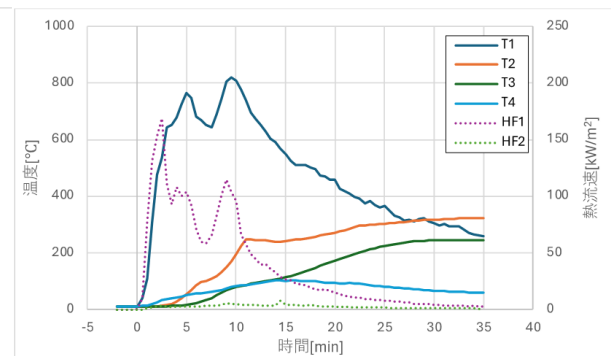


図 4.2.19 温度・熱流速の推移  
(床実験 4)





実験開始時（着火 0 分）



着火 2 分後



着火 4 分後



着火 6 分後



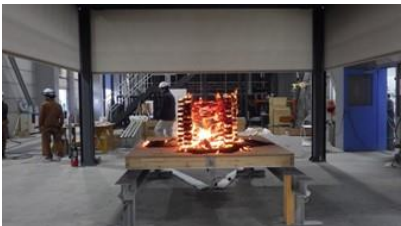
着火 8 分後



着火 10 分後



着火 12 分後



着火 14 分後



着火 16 分後



着火 18 分後  
（実験終了）

写真 4.2.21 床実験 3 の記録画像



実験開始時（着火 0 分）



着火 2 分後



着火 4 分後



着火 6 分後



着火 8 分後



着火 10 分後



着火 12 分後



着火 14 分後



着火 16 分後



着火 18 分後



着火 20 分後



着火 22 分後



着火 24 分後



着火 26 分後



着火 28 分後



着火 30 分後



着火 32 分後



着火 35 分後  
（実験終了）

写真 4.2.22 床実験 4 の記録画像

3) 体育館用フローリング床（無塗装）×2 実験（1 段と 2 段）

床実験 6、床実験 7 の発熱速度を図 4.2.20、図 4.2.21 に、温度・熱流速の計測結果を図 4.2.22、図 4.2.23 に示す。また実験ごとの記録画像を写真 4.2.23、写真 4.2.24 に示す。

実験は、捨て張り合板の中央裏面温度が  $260^{\circ}\text{C}$  になる時点、または裏面の目視による判断で終了することとした。

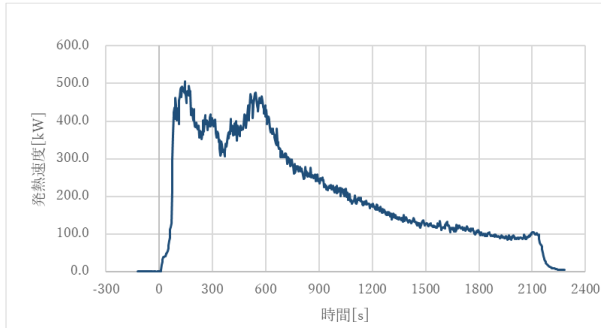


図 4.2.20 発熱速度の推移  
(床実験 6)

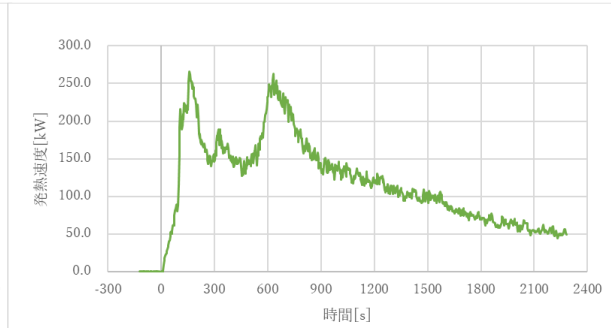


図 4.2.21 発熱速度の推移  
(床実験 7)

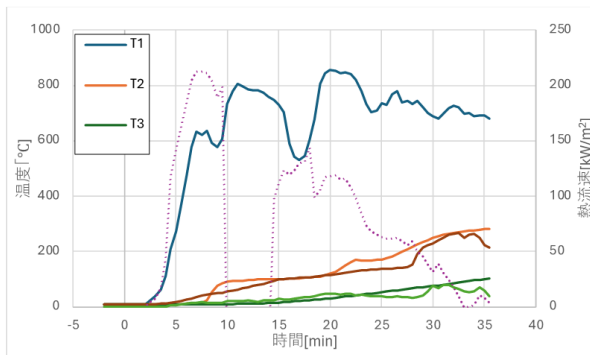


図 4.2.22 温度・熱流速の推移  
(床実験 6)

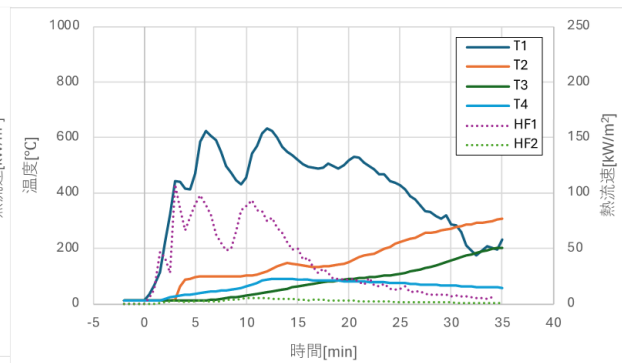


図 4.2.23 温度・熱流速の推移  
(床実験 7)





実験開始時（着火 0 分）



着火 2 分後



着火 4 分後



着火 6 分後



着火 8 分後



着火 10 分後



着火 12 分後



着火 14 分後



着火 16 分後



着火 20 分後



着火 22 分後



着火 24 分後



着火 26 分後



着火 28 分後



着火 30 分後



着火 32 分後



着火 34 分後



着火 36 分後  
（実験終了）

写真 4.2.23 床実験 6 の記録画像





実験開始時（着火 0 分）



着火 2 分後



着火 4 分後



着火 6 分後



着火 8 分後



着火 10 分後



着火 12 分後



着火 14 分後



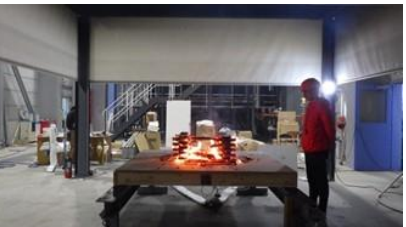
着火 16 分後



着火 18 分後



着火 20 分後



着火 22 分後



着火 24 分後



着火 26 分後



着火 28 分後



着火 30 分後



着火 32 分後



着火 39 分後  
（実験終了）

写真 4.2.24 床実験 7 の記録画像

### 4.3 考察

プロパンガスバーナー実験及びクリブ実験の発熱速度を図 4.3.1、図 4.3.2 に示す。

ガスバーナーを火源とした実験においては、20 分及び 30 分の加熱について、床板の種類にかかわらず、燃え広がり続ける現象は生じず、バーナー消火後は、2～5 分程度で自消した。その際、燃え広がり寸法はバーナー端部から 200～330mm であった。また、バーナーの発熱速度 (200kW) を除いた、発熱速度の増加分は概ね 50kW 以下であった。

クリブ実験においては、クリブの燃焼は着火後 3 分頃に第一ピークを迎え、その後、9 分頃に第二ピークを迎えて、約 30 分間燃焼が続いた。その間、燃え広がりにはクリブ端部から 500～700mm に達したが燃え続けることはなく、クリブの発熱速度の低下に従って、自消した。またクリブの内側の床面への入射熱はクリブ 1 段で 100kW/m<sup>2</sup>、2 段で 200kW/m<sup>2</sup> 前後となった。床板裏面の温度が 260℃を越えて、燃え抜けが生じたと考えられ、実験 3 (スギ厚物合板、クリブ 2 段) で点火後約 17 分、次に床実験 4 (スギ厚物合板、クリブ 1 段)、床実験 6 (フローリング、クリブ 2 段)、床実験 7 (フローリング、クリブ 2 段) の順で点火後、30 分経過して燃え抜けている。

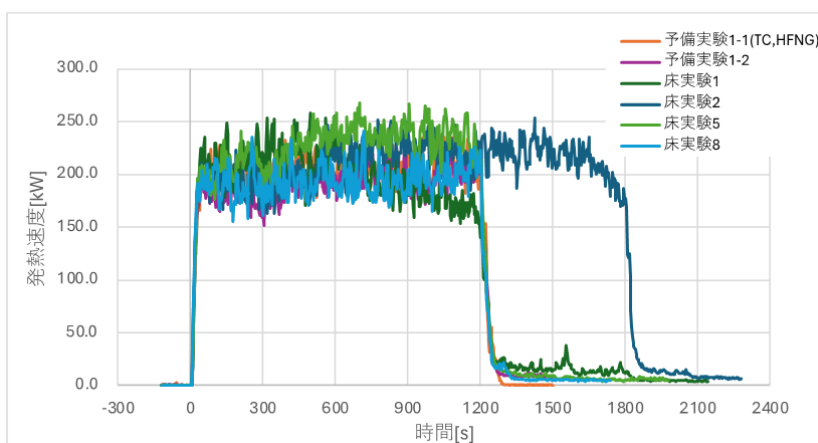


図 4.3.1 ガスバーナーを火源とした床実験の発熱速度の推移  
(予備実験 1-1,1-2、床実験 1,2,5,8)

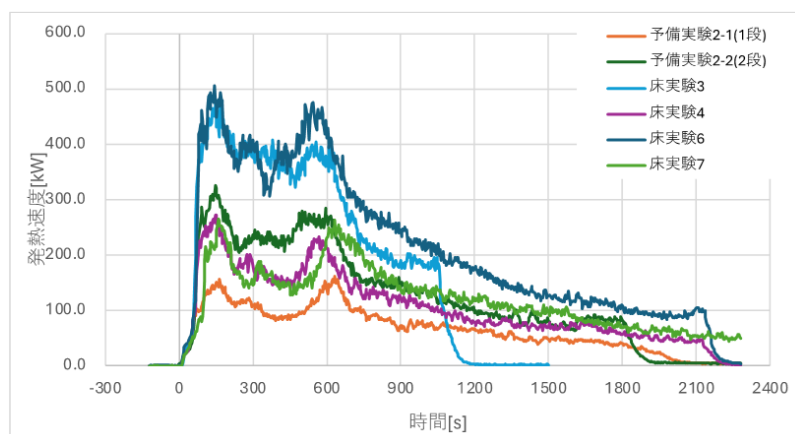
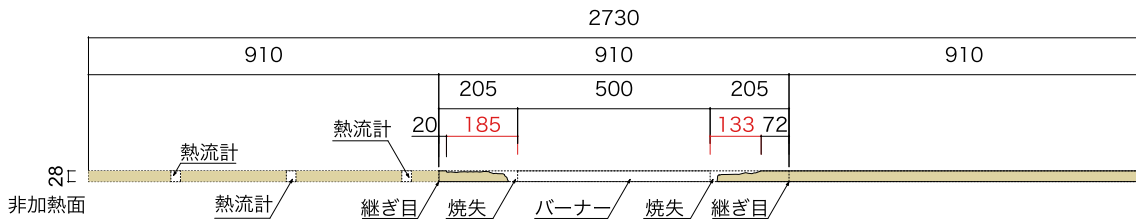
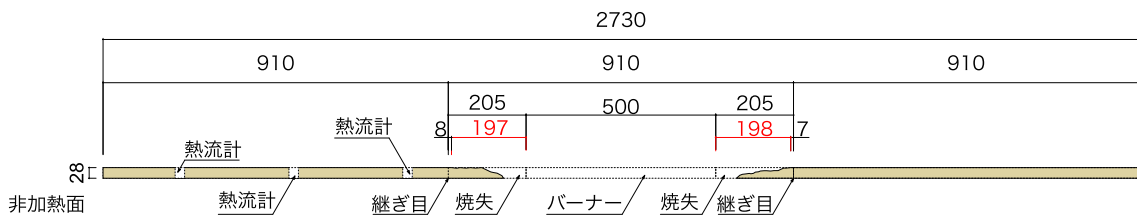


図 4.3.2 クリブを火源とした床実験の発熱速度の推移  
(予備実験 2-1,2-2、床実験 3,4,6,7)

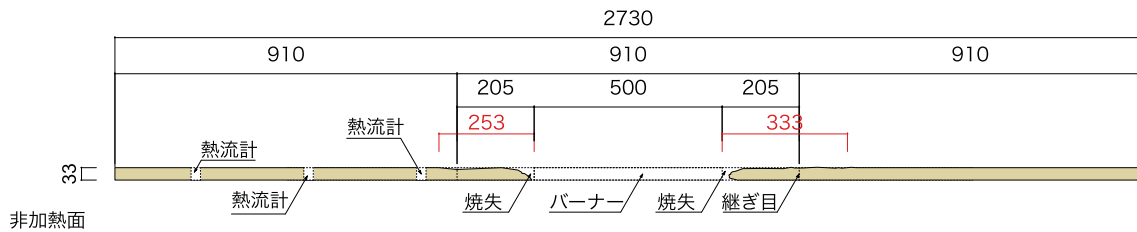
実験終了後のバーナーを熱源とした床板の実験の炭化状況を図 4.3.3 に示す。



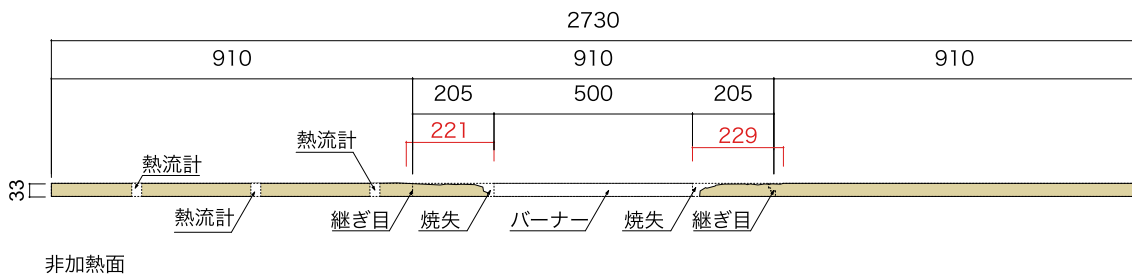
[床実験 1] 構造用合板厚 28mm (20 分間) ※10 分以降、ガス流量低下  
(写真 4.2.10 参照)



[床実験 2] 構造用合板厚 28mm (30 分間)  
(写真 4.2.11 参照)



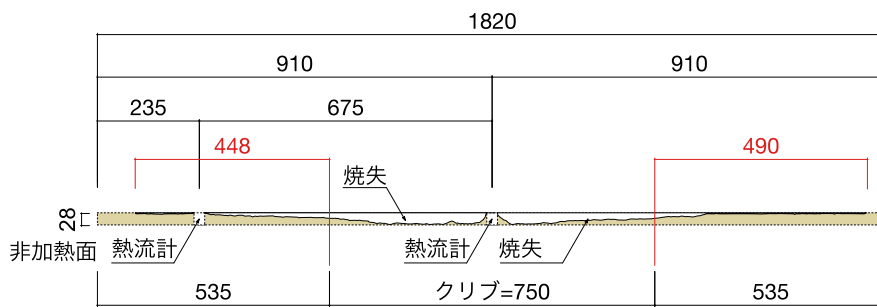
[床実験 5] 構造用合板厚 15mm 上にフローリング厚 18mm (20 分間)  
(写真 4.2.13 参照)



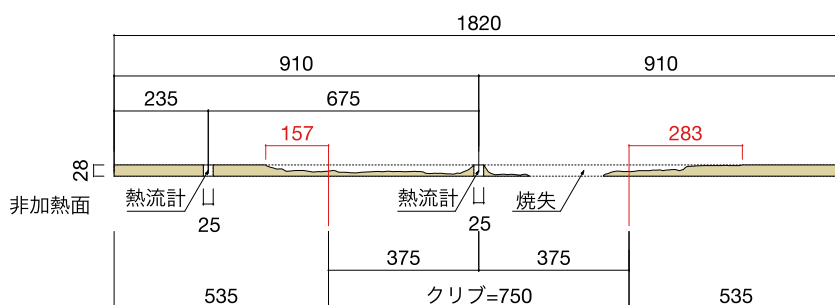
[床実験 8] 構造用合板厚 15mm 上に塗装フローリング厚 18mm (20 分間)  
(写真 4.2.15 参照)

図 4.3-3 ガスバーナーを火源とした床実験の木質床材の炭化状況

実験終了後のクリブを熱源とした床板の実験の炭化状況を図 4.3.4 に示す。

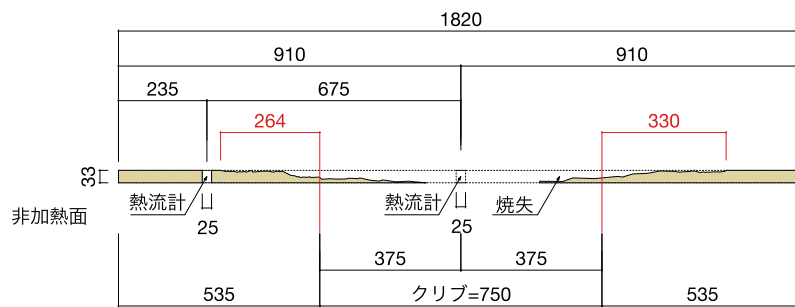


[床実験 3] 構造用合板厚 28mm (クリブ 2ヶ縦積み)

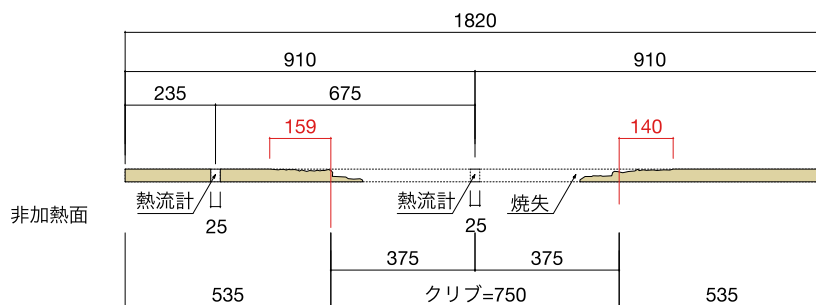


[床実験 4] 構造用合板厚 28mm (クリブ 1ヶ)





[床実験 6] 構造用合板厚 15mm 上にフローリング厚 18mm (クリブ 2 ヶ縦積み)



[床実験 7] 構造用合板厚 15mm 上にフローリング厚 18mm (クリブ 1 ヶ)

図 4.3-4 クリブを火源とした床実験の木質床材の炭化状況

#### 4.4 まとめ

局所火源を想定した木質床の燃え拡がり性状及び燃え抜け性状の確認実験を行い、以下の知見を得た。

① 本検討で採用した、プロパンガスバーナー火源（0.5m×0.5m、200kW）、クリブ火源（スギ製材 30×105×750、20本（10枚積み）×2ヶ重ね）では、床面への入射熱は限定的で、火源出力が低下すると燃え拡がらず自消する。その際、燃え拡がり寸法は火源端部から最大で 500mm 程度であった。

② クリブ火源では、クリブ内部の床への入射熱が 200kW/m<sup>2</sup>を超えることがあり、約 30 分で構造用合板厚さ 28mm、体育館用フローリング床総厚さ 33mm が燃え抜けることがある。一方、クリブの外側は床への入射熱は限定的で、燃え抜けることはなかった。

## 第 5 章 床材の CCM 試験

### 5.1 実験の目的

体育館に使用されている床材の次のような項目を確認することを目的に、加熱時間 20 分のコーンカロリメータ試験（以下、CCM 試験 写真 5.1.1、写真 5.1.2 参照）を実施した。

- ① 発熱速度の計測
- ② 加熱終了後の燃え止まりの確認
- ③ 燃え止まり後の残存厚さ



写真 5.1.1 CCM 試験機



写真 5.1.2 CCM による実験例

### 5.2 試験概要

試験材料は、下記の 3 種類とした。

- ① 試験材料 1：E フローリング：空知単板工業(株)（図 5.2.1 参照）
- ② 試験材料 2：バリューフローリング：矢島木材乾燥（図 5.2.2 参照）
- ③ 試験材料 3：スギ厚物合板（厚さ 28mm）

上記①の試験材料 1 は、大分県大分市のレゾナック武道スポーツセンターのメイン施設のフロア材として使用された材料、上記②の試験材料 2 は、二ツ井小学校体育館等に使用された製品である。上記①と上記②については、ヒラタキクイムシ対策として防虫処理されているラワン普通合板（厚さ 15mm）を捨張合板として使用し、ウレタン系接着剤（400～450g/m<sup>2</sup>）塗布して貼り合わせを行っている。

上記③の厚物スギ合板は、現在、木造建築物の屋根や床の下地材として広く使用されている材料である。

表 5.2.1 に表面塗装の仕様、輻射強度、試験体数および実験依頼した試験場を記す。

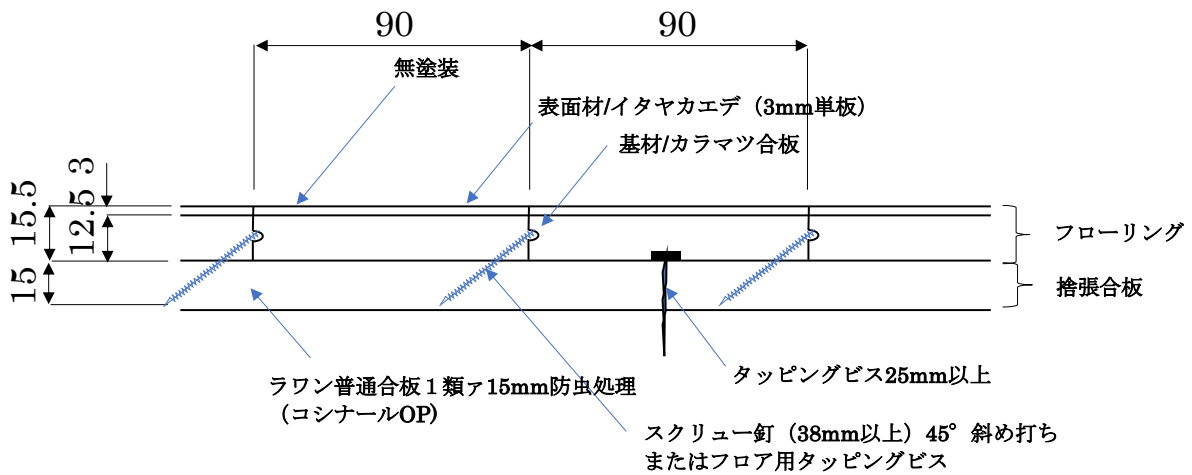


図 5.2.1 E フローリング製品断面図

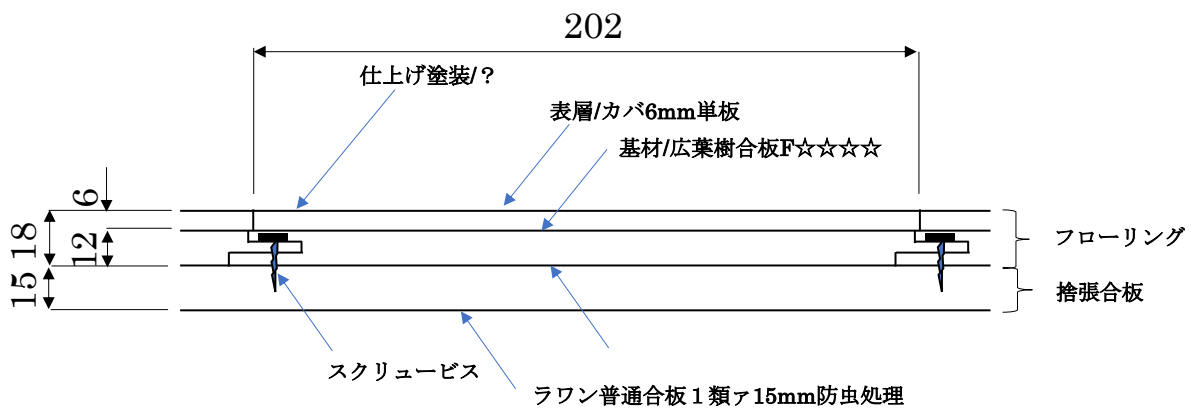


図 5.2.2 バリューフローリング製品断面図

表 5.2.1 試験体表面の塗装の仕様、輻射強度、試験体数および試験場

試験材料	塗装	輻射強度 kW/m <sup>2</sup>	試験 体数	実験場所
試験材料 1	なし	30	3	建材試験センター西日本試験所
	なし	40	3	
	なし	50	3	
	ウレタン塗装	50	3	建材試験センター中央試験所
試験材料 2	なし	30	3	建材試験センター西日本試験所
	なし	40	3	
	なし	50	3	
試験材料 3	なし	30	3	
	なし	40	3	
	なし	50	3	



E フローリングの試験体の切り出しは図 5.2.3 に示すように行った。表層に塗装を施していない試験体の 3 体のうち 1 体には、熱電対の取付を 3 カ所行った。

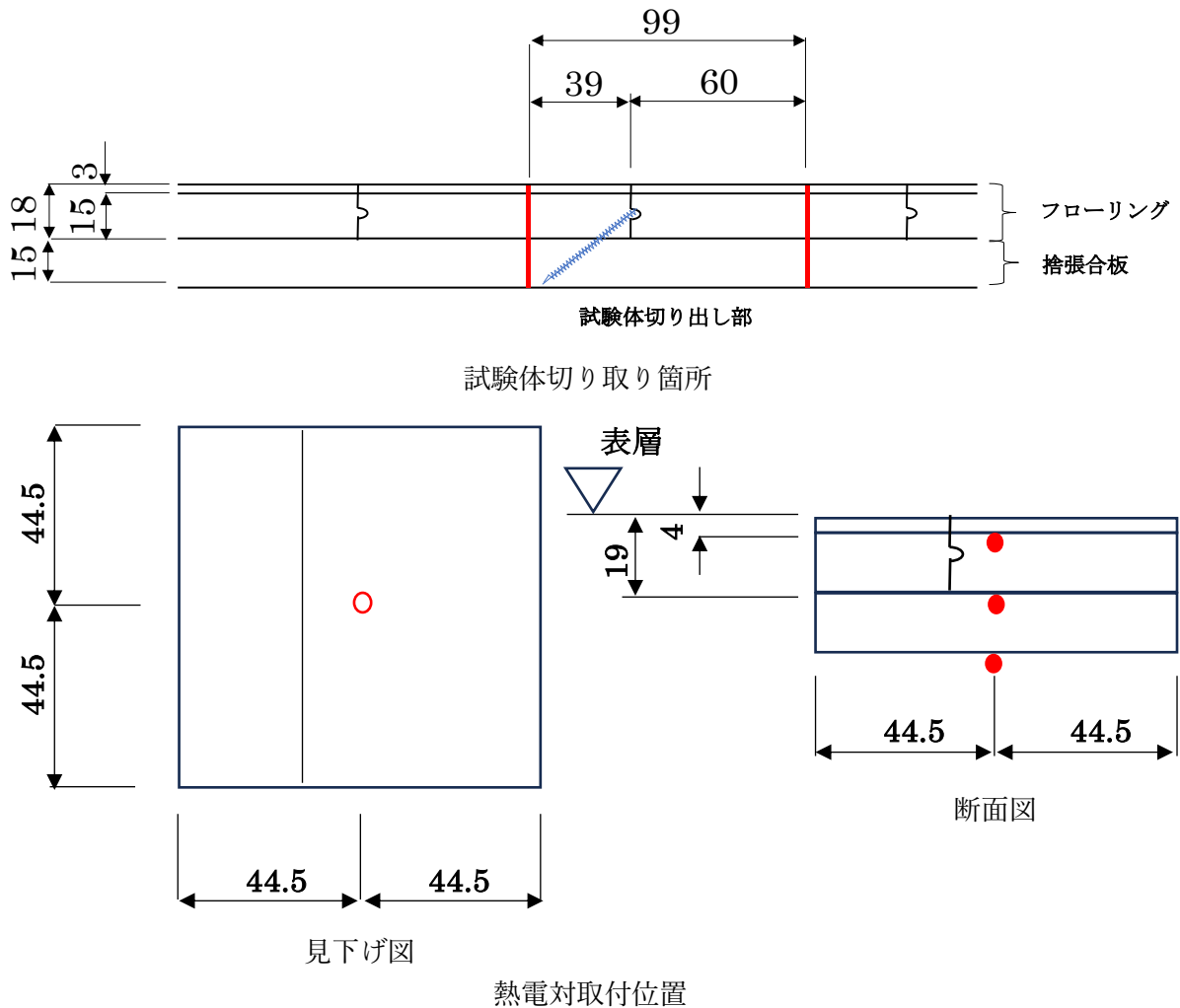


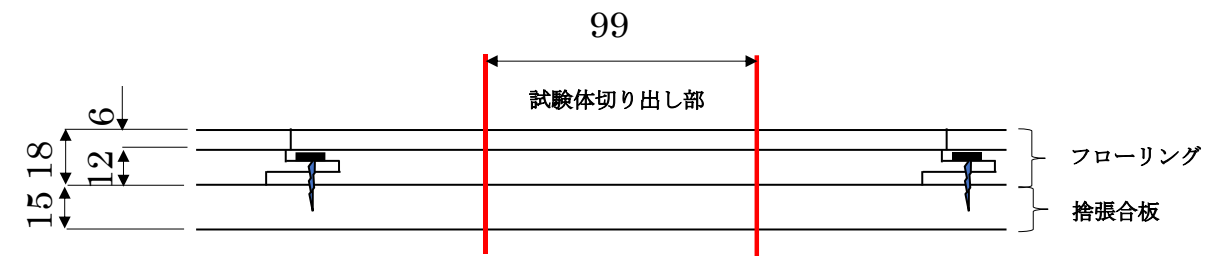
図 5.2.3 E フローリングの試験体詳細図

切り出した試験体を写真 5.2.1 に示す。

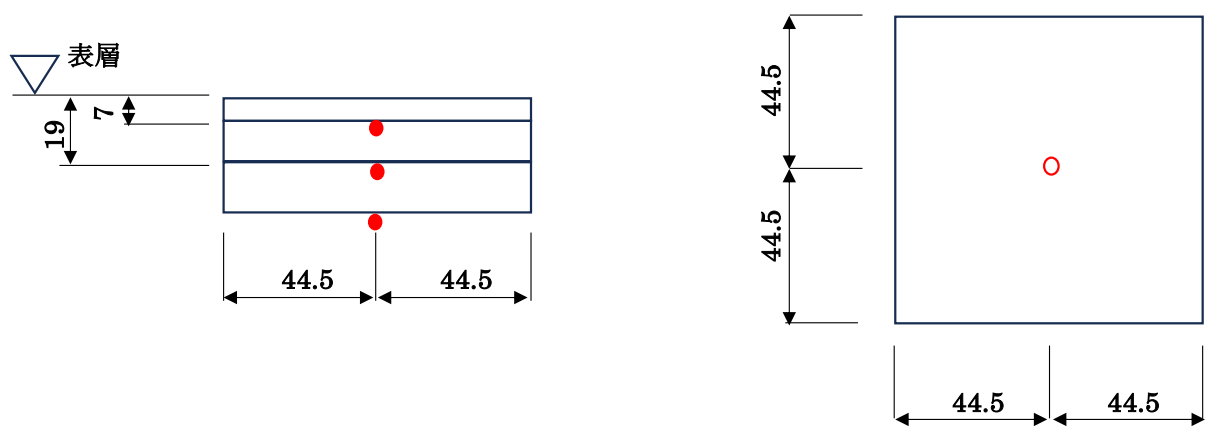


写真 5.2.1 E フローリングの試験体

バリューフローリングの試験体の切り出しは図 5.2.4 に示すように行った。試験体の 3 体のうち 1 体には、熱電対の取付を 3 カ所行った。



試験体切り取り箇所



熱電対取付位置

図 5.2.4 E フローリングの試験体詳細図

切り出した試験体を写真 5.2.2 に示す。

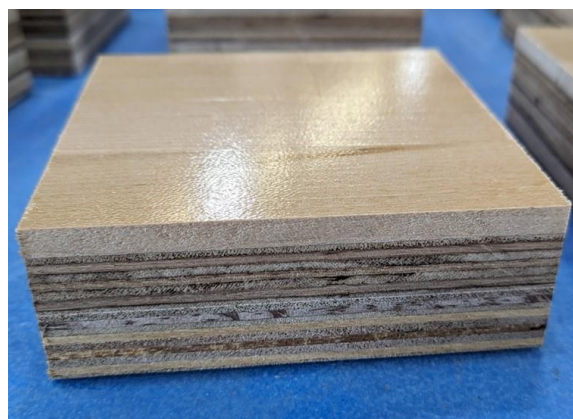


写真 5.2.2 バリューフローリングの試験体

## 5.3 実験結果

### 5.3.1 E フローリング（無塗装）

#### (1) 発熱速度

発熱速度を図 5.3.1 に示す

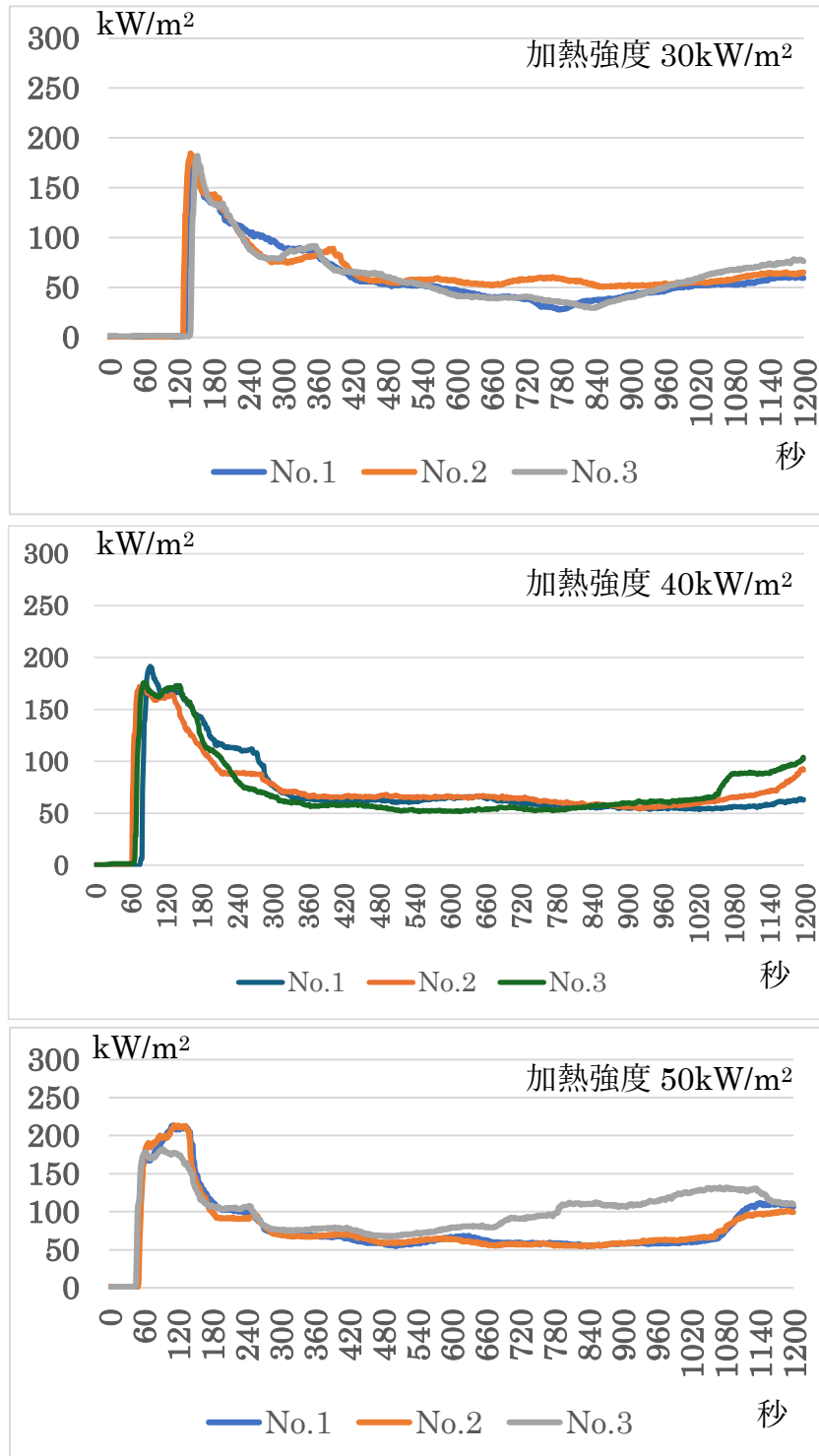


図 5.3.1 発熱速度

## (2) 総発熱量

総発熱量を図 5.3.2 に示す。

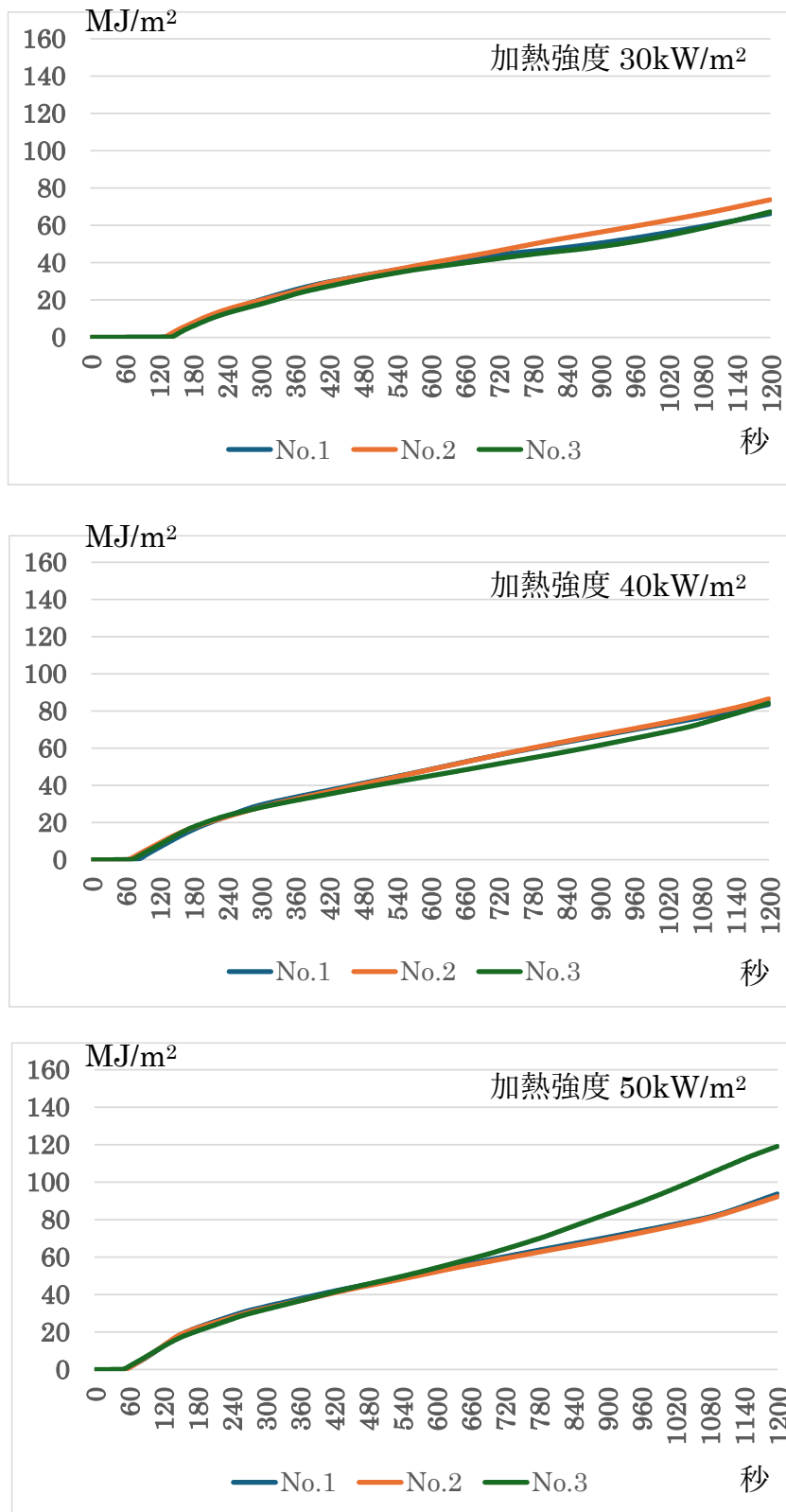


図 5.3.2 総発熱量



(3) 質量変化

質量の推移を図 5.3.3 に示す。

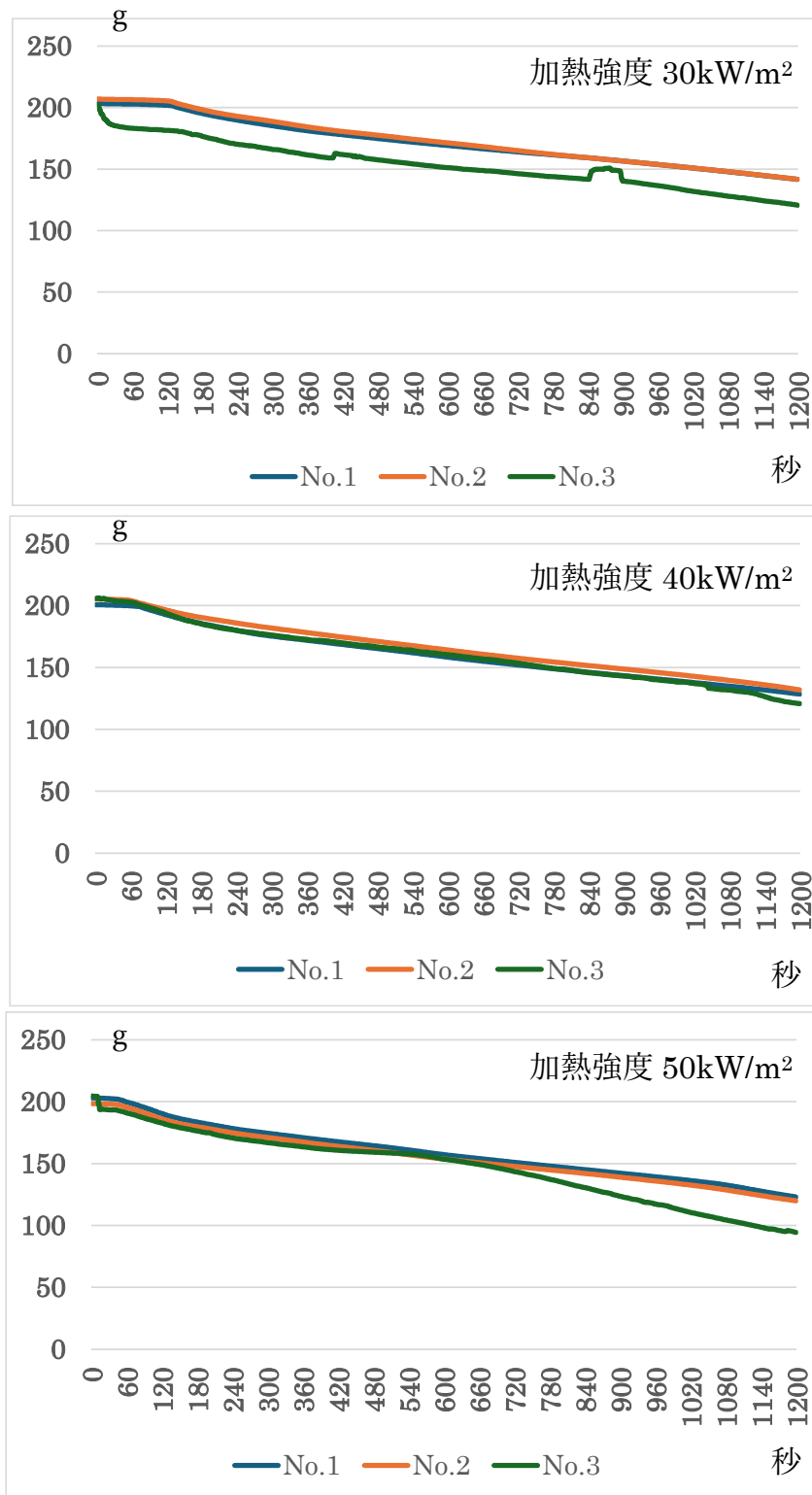


図 5.3.3 質量の推移

(4) 温度の推移

図 5.3.4 に上から 4mm、19mm と裏面に取り付けられた熱電対による温度の計測結果を示す。

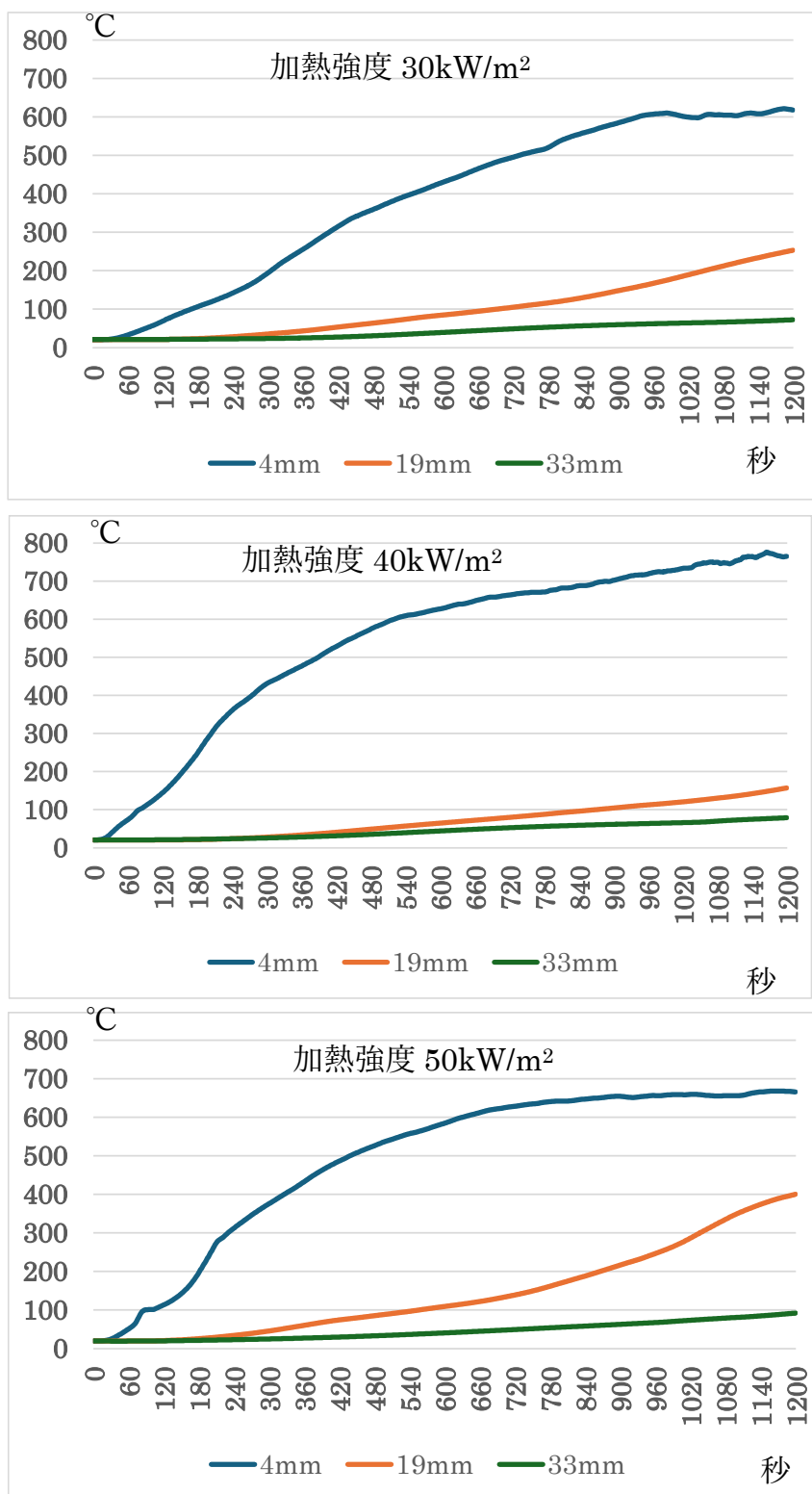


図 5.3.4 熱電対の計測結果

(5) 観察

燃え残った試験体の写真を表 5.3.1～表 5.3.3 に示す。

表 5.3.1 CCM 試験終了後試験体 (30kW/m<sup>2</sup>) 写真

	No.1	No.2	No.3
表面			
試験体を中央面で切断後の切削面			
皮スキでケレン後	 <p>上裏 下</p> <p>皮スキで接着面からはがす。</p>	 <p>上裏 下</p> <p>皮スキで接着面からはがす。</p>	
ブラシ処理後		 <p>仕上げ層の燃え残り部</p> 	
備考	仕上げ層がほぼ炭化。下地板の1層目の単板が変色しており、ブラッシングで削れる	仕上げ層、一部燃え残り。下地板の上面には変色はあるが、炭化は無し。	仕上げ層、一部燃え残り。下地板の上面には変色はあるが、炭化は無し。

表 5.3.2 CCM 試験終了後試験体 (40kW) 写真





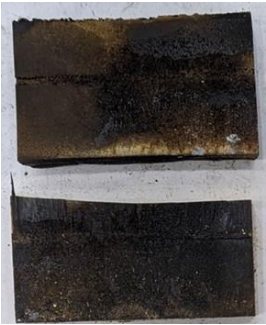





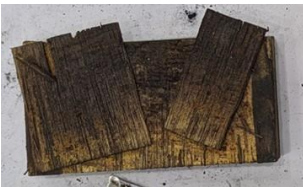

	No.1	No.2	No.3
表面			
試験体を中央面で切断後の切削面	 	 	 
ブラシ処理後	 <p>下地板表面はケレン棒で単板が剥離。</p>		
備考	仕上げ層一下地板間は剥離。仕上げ層はほぼ炭化。下地板面は1層目がケレン棒により剥離。	仕上げ層一下地板間は剥離。仕上げ層はほぼ炭化。下地板面は1層目がケレン棒により剥離。	仕上げ層は完全に炭化。下地板面は1層目がケレン棒により剥離。



表 5.3.3 CCM 試験終了後試験体 (50kW) 写真

	No.1	No.2	No.3
表面			
試験体を中央面で切断後の切削面	 	 	
皮スキ・ブラシでケレン後	 ↓ ブラッシング 	 ↓ ブラッシング 	
備考	仕上げ層一下地板間は剥離。仕上げ層はすべて炭化。下地面は1層目の単板が炭化。	仕上げ層一下地板間は剥離。仕上げ層はすべて炭化。下地面は1層目の単板が炭化。	側面からの加熱の影響もあり、両層とも炭化が顕著。

### 5.3.2 Eフローリング（ウレタン塗装）

#### (1) 発熱速度

発熱速度を図 5.3.5 に示す

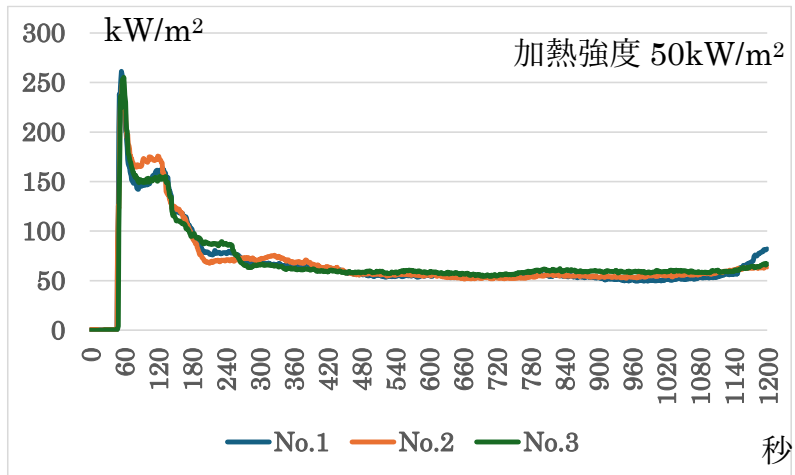


図 5.3.5 発熱速度

#### (2) 総発熱量

総発熱量を図 5.3.6 に示す。

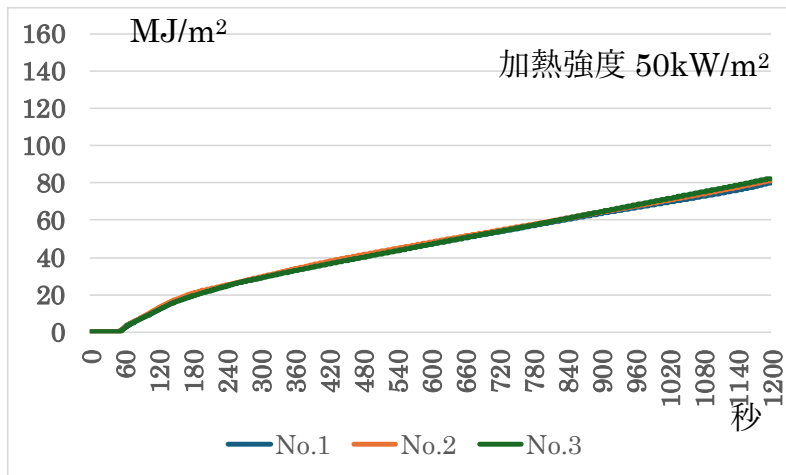

















図 5.3.6 総発熱量

#### (3) 観察

燃え残った試験体の写真を表 5.3.4 に示す。

表 5.3.4 CCM 試験終了後試験体 (50kW/m<sup>2</sup>) 写真

	No.1	No.2	No.3
表面			
側面			
フローリング、接着層での剥離後の裏面			
上下が剥離した状況			
捨て貼り合板、切断後の横断面			
備考	仕上げ層は完全に炭化。捨て貼り合板の上面には変色はあるが、炭化は無し。		

### 5.3.3 バリユーフローリング

#### (1) 発熱速度

発熱速度を図 5.3.7 に示す

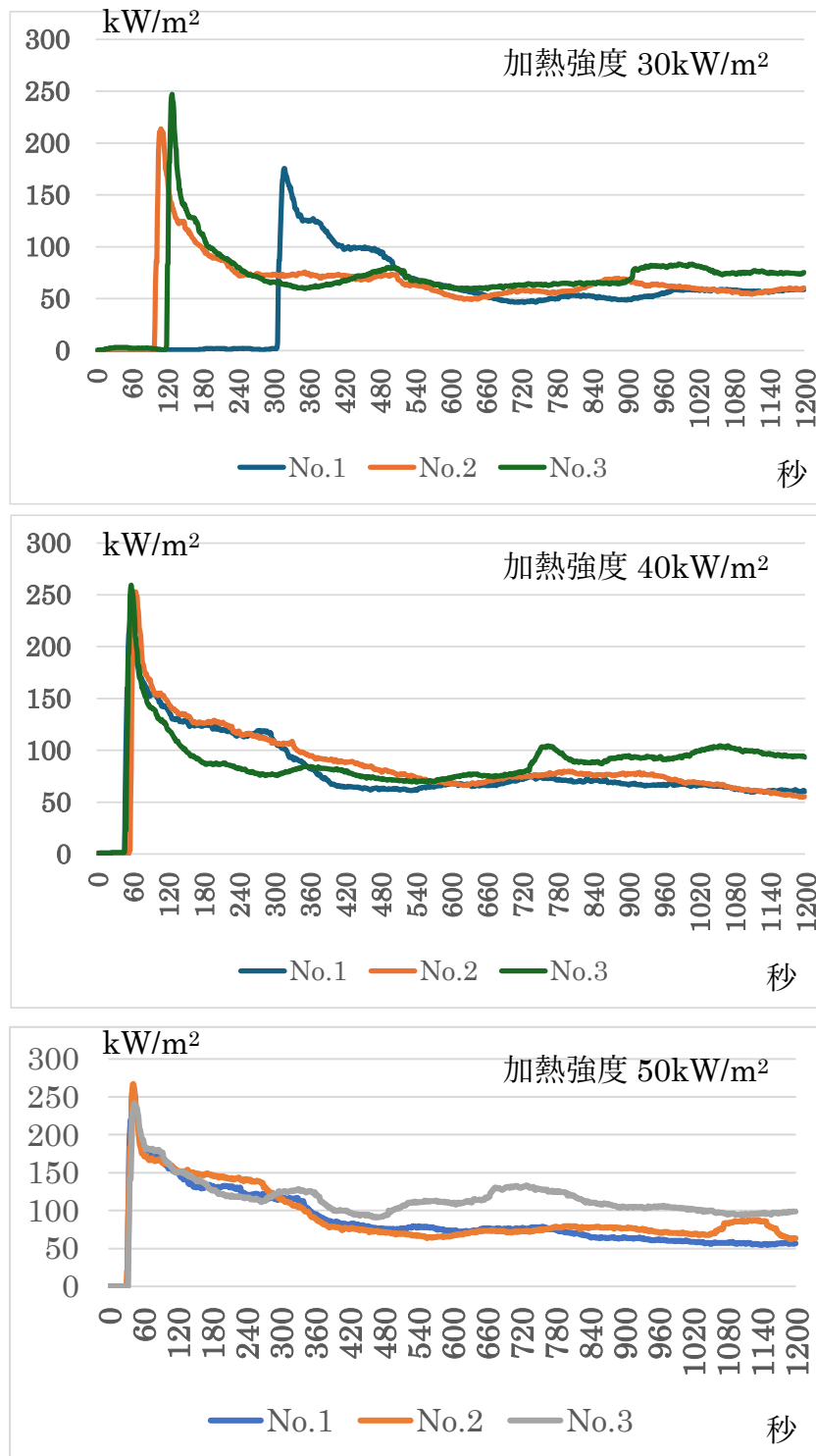


図 5.3.7 発熱速度



(2) 総発熱量

総発熱量を図 5.3.8 に示す

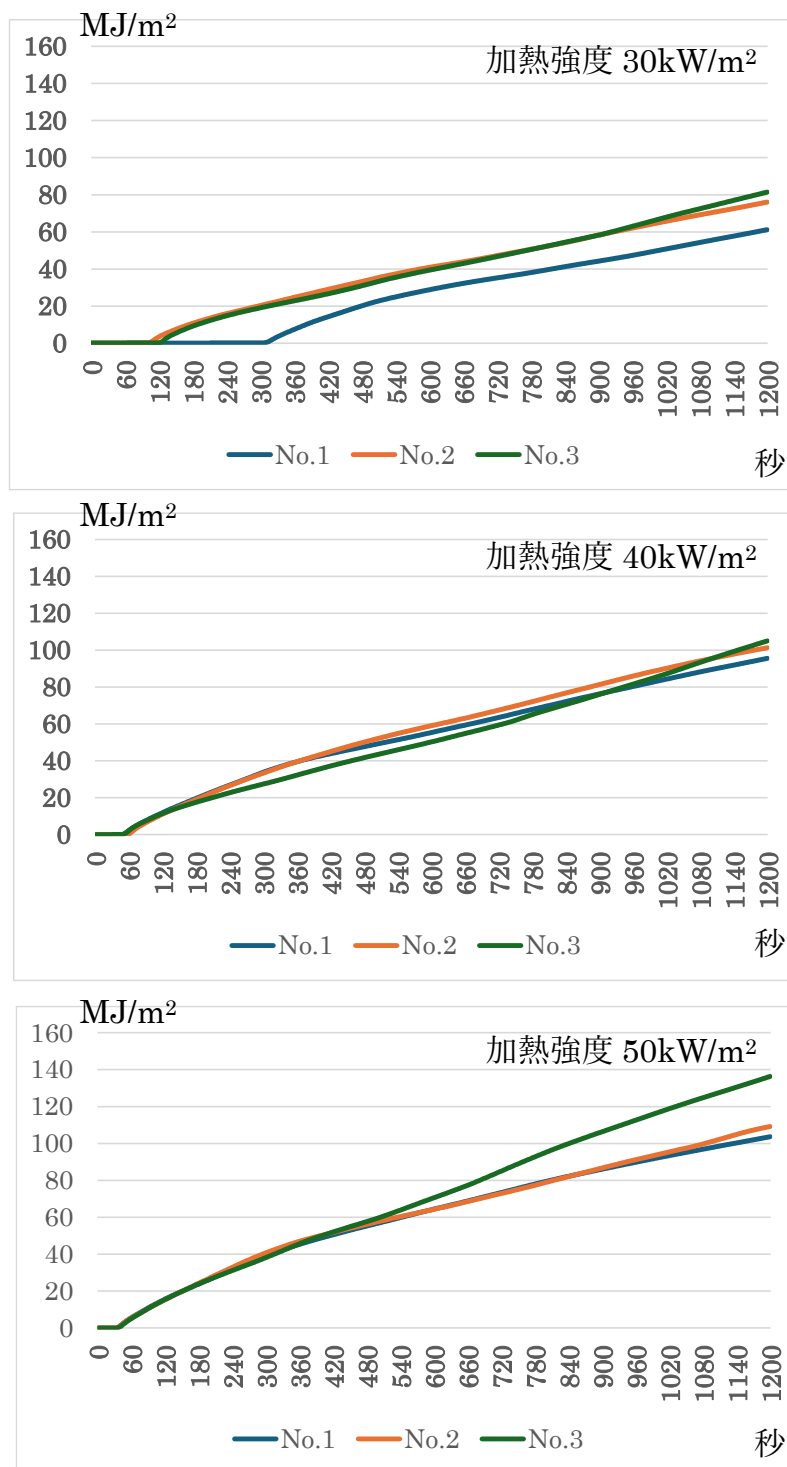


図 5.3.8 総発熱量

### (3) 質量の推移

質量の推移を図 5.3.9 に示す

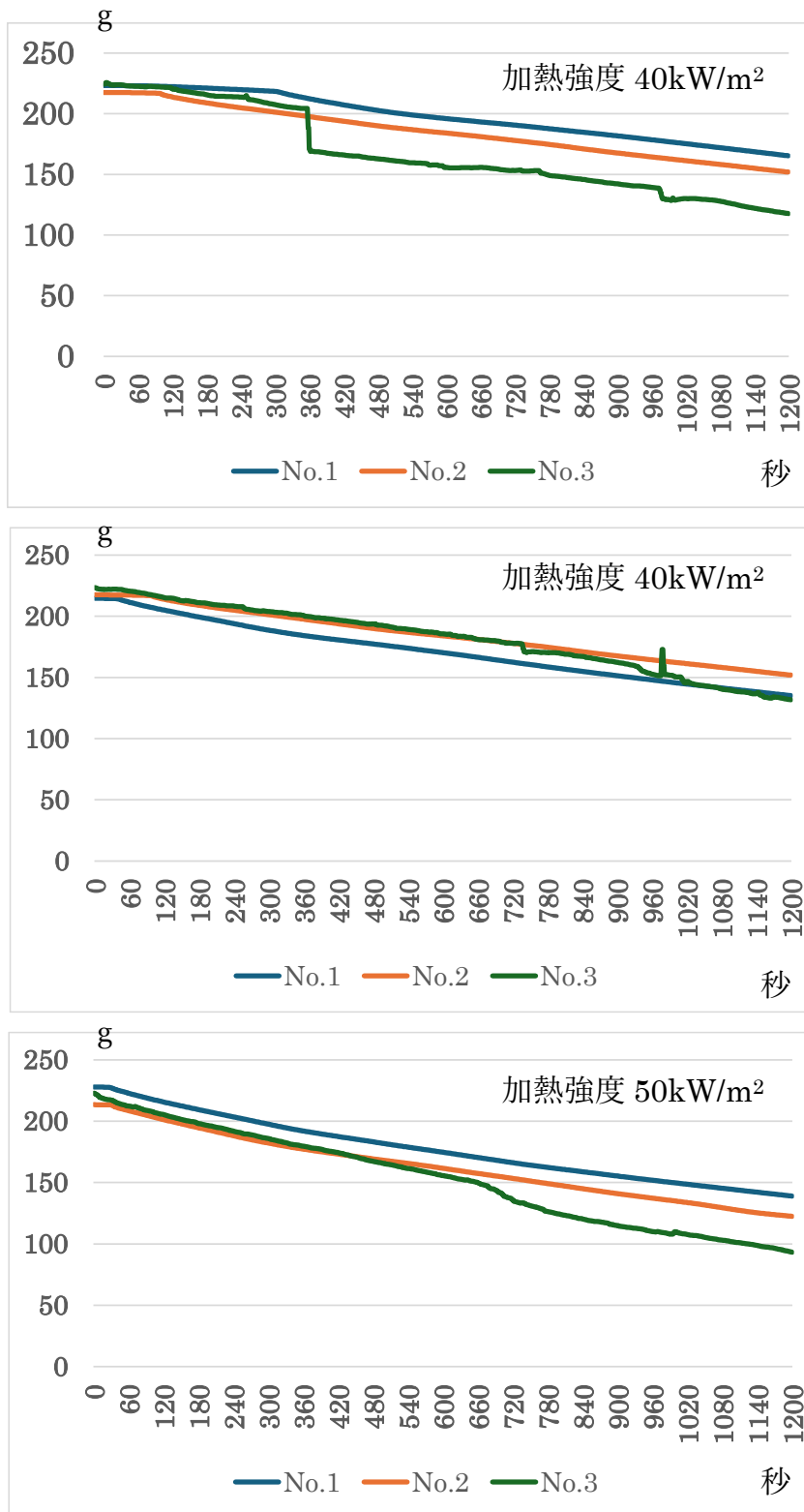


図 5.3.9 質量の推移

(4) 温度の推移

図 5.3.10 に上から 4mm、19mm と裏面に取り付けられた熱電対による温度の計測結果を示す。

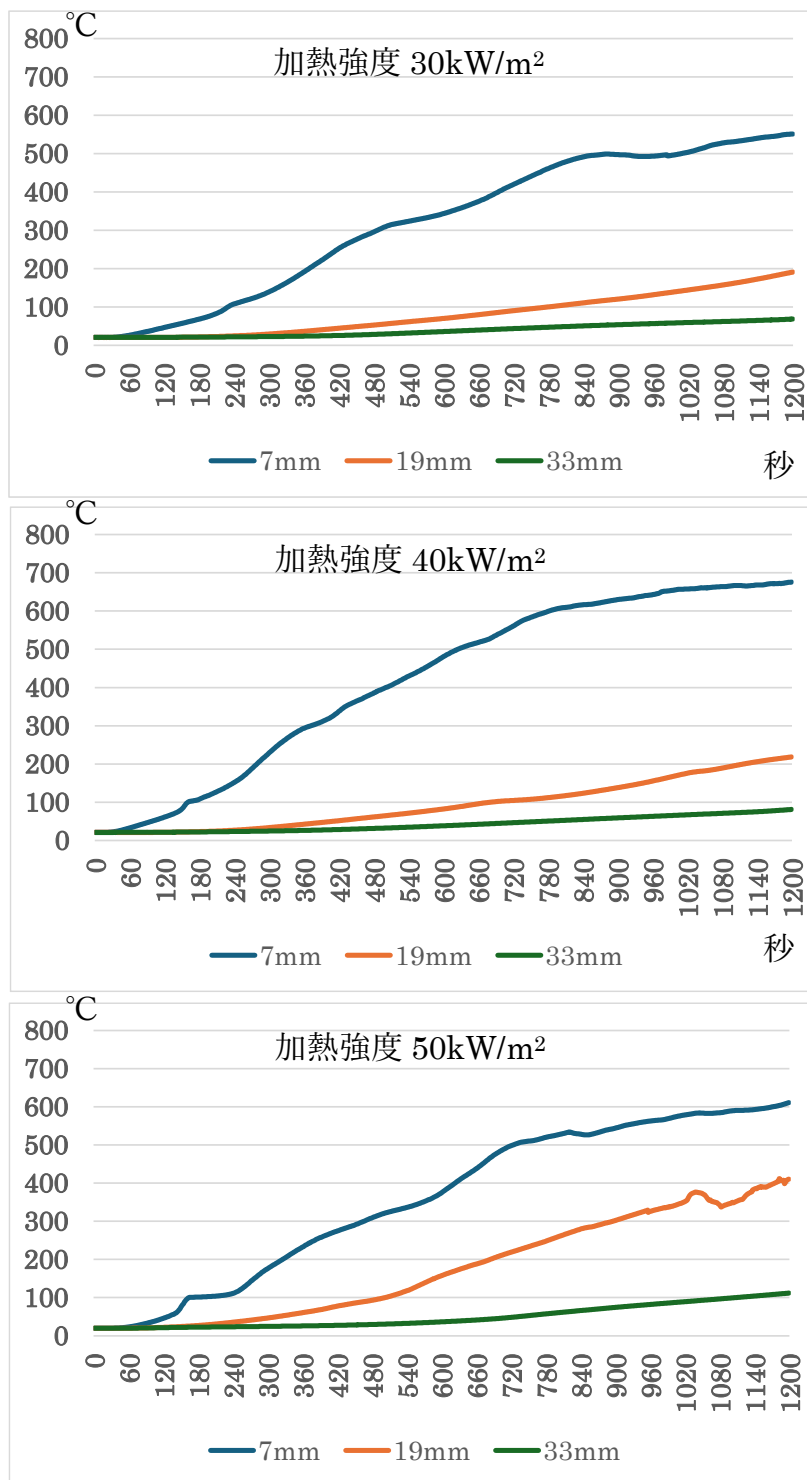


図 5.3.10 熱電対の計測結果

(5) 観察

燃え残った試験体の写真を表 5.3.5～表 5.3.7 に示す。

表 5.3.5 CCM 試験終了後試験体 (30kW) 写真




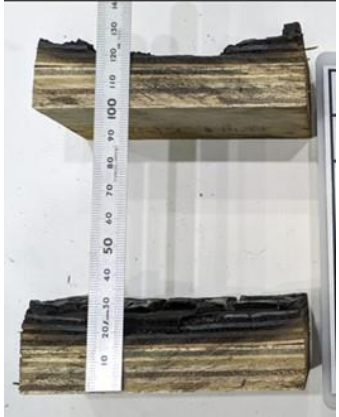



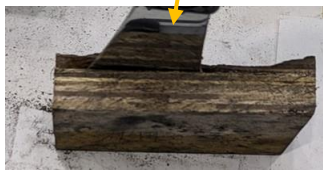
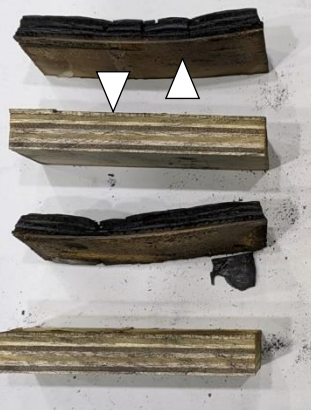

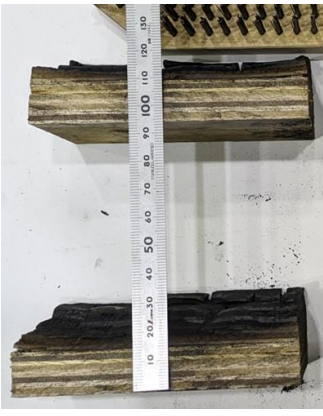

	No.1	No.2	No.3
表面			
試験体を中央面で切断後の切削面			
皮スキでケレン後		<p>皮スキ</p> 	
ブラシ処理後			<p>△面写真</p> 
備考	仕上げ層 2mm 残し 仕上げ層一下地板間に剥がれはない	仕上げ層 2mm 残し 仕上げ層一下地板間に剥がれが見られる	仕上げ層 1mm 残し 仕上げ層一下地板間には分離している



表 5.3.6 CCM 試験終了後試験体 (40kW) 写真













	No.1	No.2	No.3
表面			
試験体を中央面で切断後の切削面	   <p>(上：裏面、下：上面)</p>	   <p>(上：裏面、下：上面)</p>	   <p>(上：裏面、下：上面)</p>
備考	仕上げ層—下地板間は分離。仕上げ層裏面は接着剤が変色化。下地板は上面の 3mm 程度変色。	仕上げ層—下地板間は分離。仕上げ層は完全炭化。下地板は上面の 2mm 程度変色。	仕上げ層—下地板間は分離。仕上げ層裏面は接着剤が変色化。下地板は上面の 3mm 程度変色。

表 5.3.7 CCM 試験終了後試験体 (50kW) 写真

	No.1	No.2	No.3
表面			
試験体を中央面で切断後の切削面			
皮スキ・ブラシでのケレン後			
備考	仕上げ層一下地板間は分離。仕上げ層は完全炭化。下地板は上面の1層目が炭化・剥離。	仕上げ層一下地板間は分離。仕上げ層は完全炭化。下地板は上面の1層目が変色・剥離。	仕上げ層一下地板間は分離。仕上げ層は完全炭化。下地板は上面の表層が変色。

### 5.3.4 スギ厚板合板

#### (1) 発熱速度

発熱速度を図 5.3.11 に示す

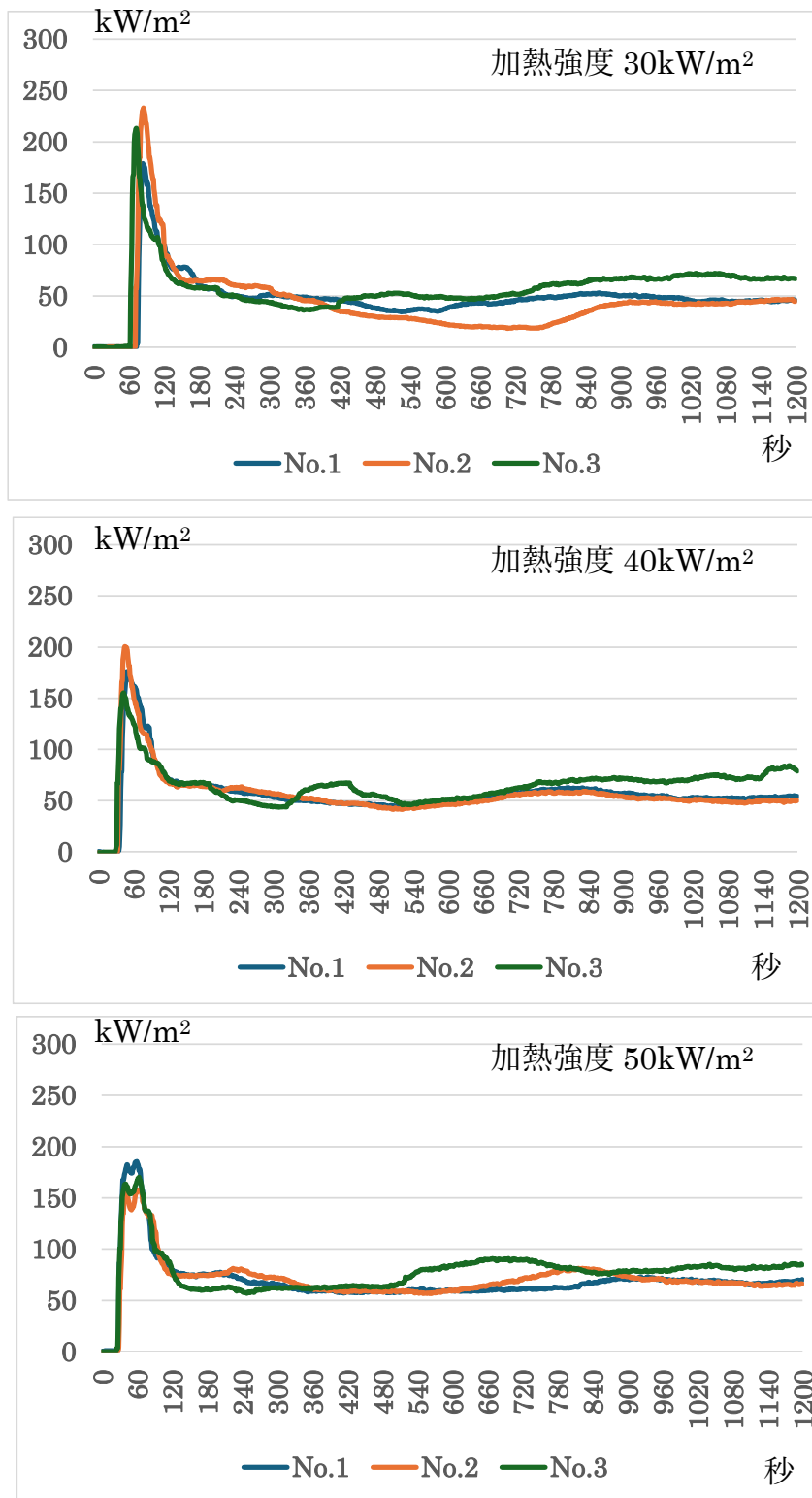


図 5.3.11 発熱速度

## (2) 総発熱量

総発熱量を図 5.3.12 に示す

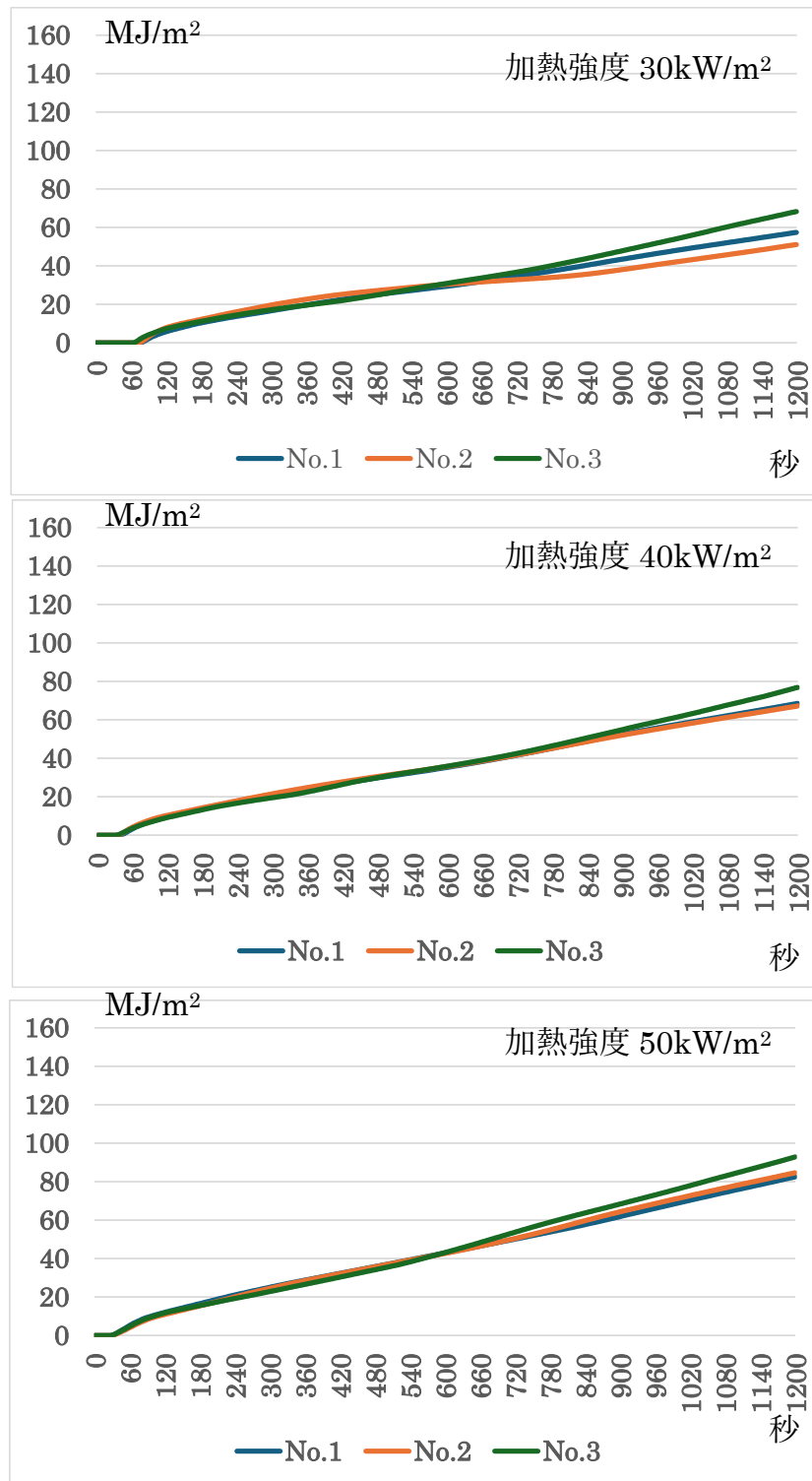


図 5.3.12 総発熱量



### (3) 質量の推移

質量の推移を図 5.3.13 に示す

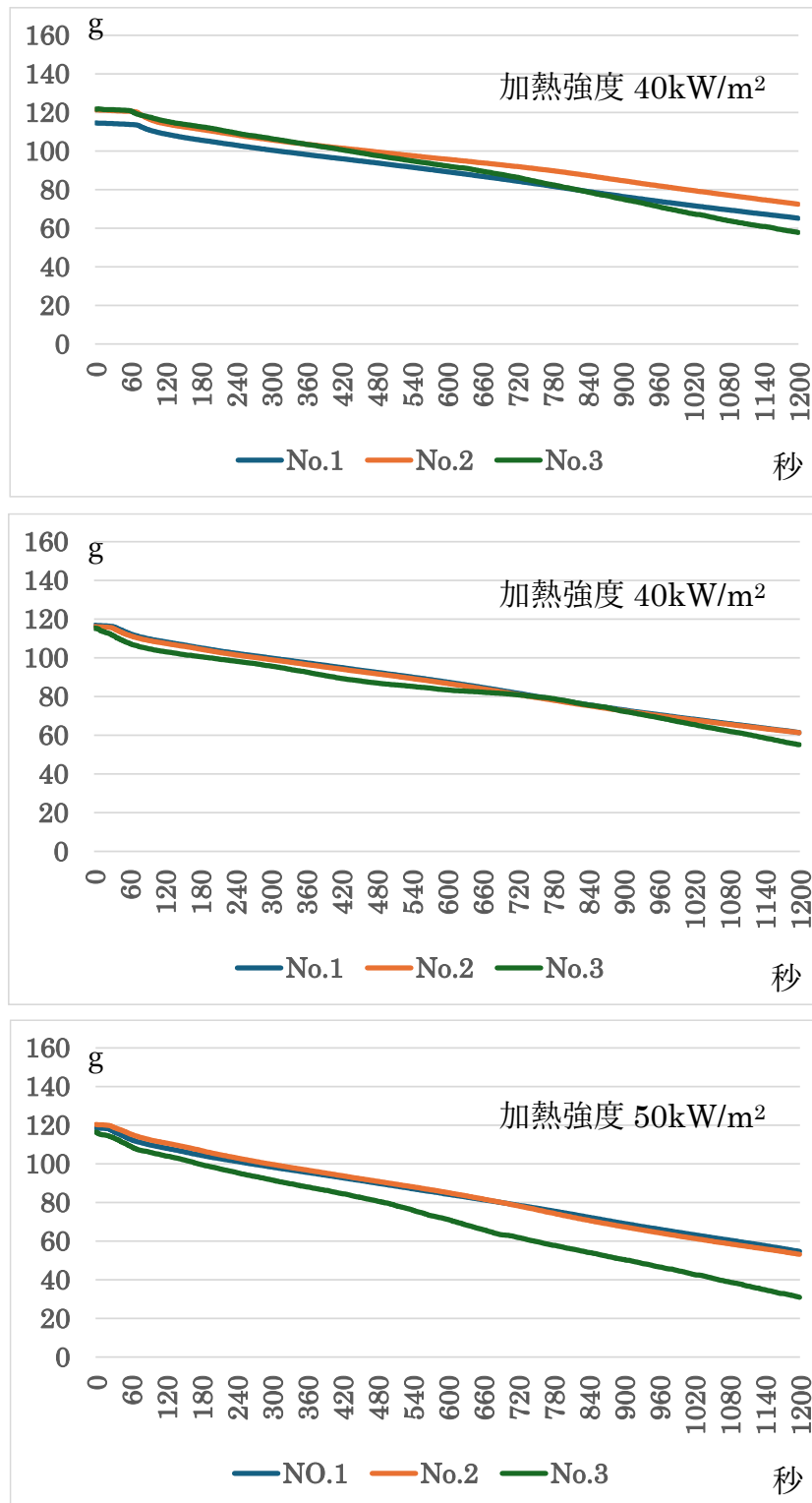


図 5.3.13 質量の推移

(4) 温度の推移

図 5.3.14 に上から 4mm、19mm と裏面に取り付けた熱電対による温度の計測結果を示す。

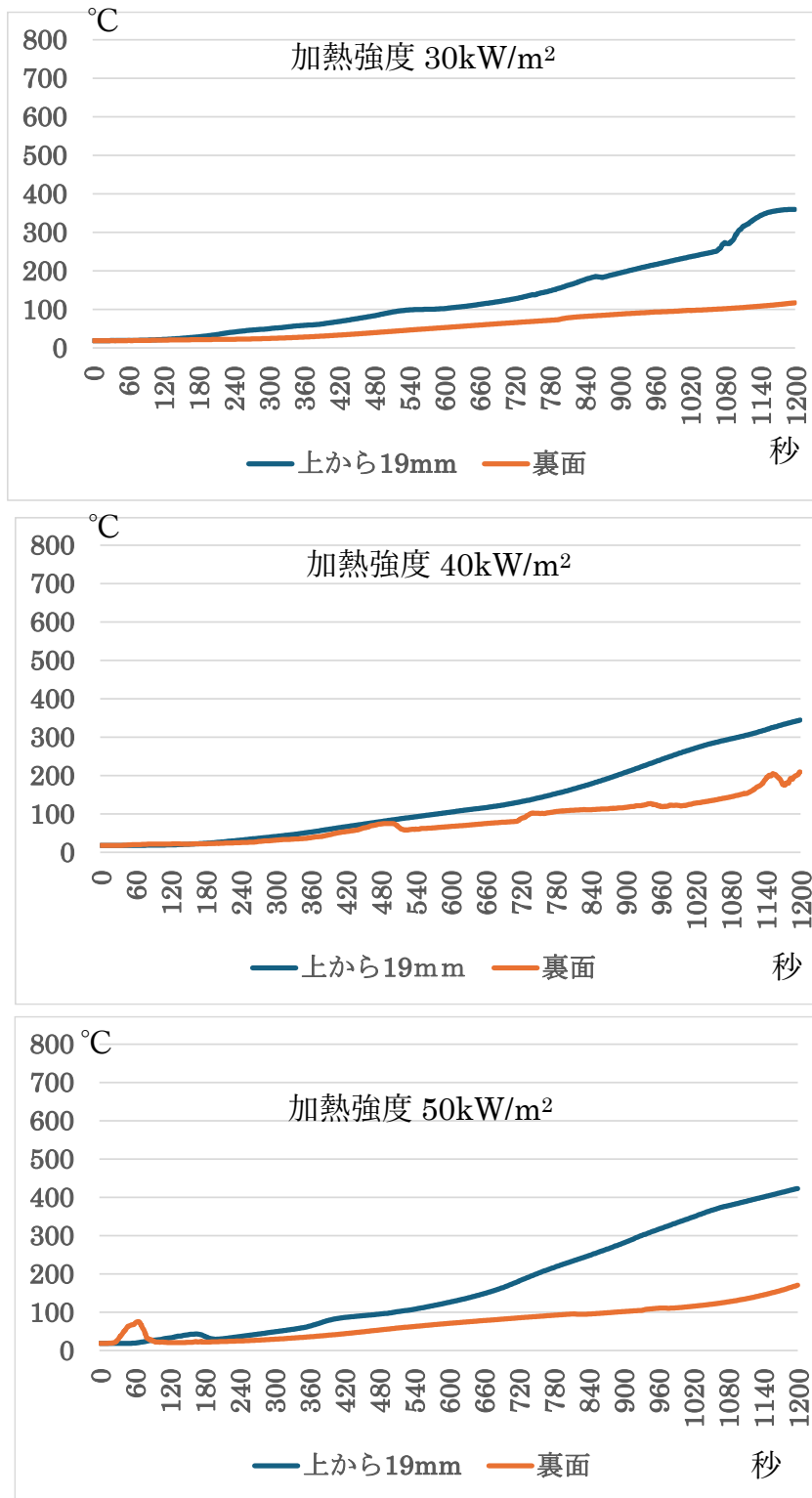


図 5.3.14 熱電対の計測結果

(5) 観察

燃え残った試験体の写真を表 5.3.8～表 5.3.10 に示す。

表 5.3.8 CCM 試験終了後試験体 (30kW) 写真

	No.1	No.2	No.3
表面			
裏面			
試験体を中央面で切断後の切削面			
炭化部除去後の正面			
炭化部除去後の切削面	 8mm	 9mm	 9mm
	 6mm      8mm	 9mm	 9mm















表 5.3.9 CCM 試験終了後試験体 (40kW) 写真

	No.1	No.2	No.3
表面			
裏面			
試験体を中央面で切断後の切削面			
炭化部除去後の正面			
炭化部除去後の切削面	 5mm	 3mm	 3mm



表 5.3.10 CCM 試験終了後試験体 (50kW) 写真

	No.1	No.2	No.3
表面			
裏面			
側面			
試験体を中央面で切断後の切削面			

## 5.4 まとめ

表 5.4.1 に着火時間、発熱速度、総発熱量をまとめた。着火時間は発熱速度が加熱速度を上回った時点とした。

表 5.4.1 CCM 試験結果

		着火時間 (秒)			最大発熱速度(kW/m <sup>2</sup> )			総発熱量 (MJ/m <sup>2</sup> )		
		30kW/m <sup>2</sup>	40kW/m <sup>2</sup>	50kW/m <sup>2</sup>	30kW/m <sup>2</sup>	40kW/m <sup>2</sup>	50kW/m <sup>2</sup>	30kW/m <sup>2</sup>	40kW/m <sup>2</sup>	50kW/m <sup>2</sup>
Eフローリング (無塗装)	1	133	81	52	179.96	191.6	213.62	66.31	83.52	93.7
	2	129	64	53	184.72	172.56	213.56	73.72	86.54	92.25
	3	143	69	49	182.21	175.77	152.5	67.23	84.24	119.1
	平均	135	71	51	182.30	179.98	193.23	69.09	84.77	101.68
Eフローリング (塗装)	1			49			261.12			80.25
	2			49			248.77			81.4
	3			51			255.07			82.54
	平均			50			254.99			81.40
バリューフローリング (塗装)	1	309	48	34	175.55	226.03	260.93	61.21	95.53	103.66
	2	101	57	34	213.75	253.15	267.08	76.07	101.28	109.21
	3	121	50	35	246.93	259.44	241.87	81.45	105	136.34
	平均	177	52	34	212.08	246.21	256.63	72.91	100.60	116.40
スギ厚板合板 (無塗装)	1	77	39	29	178.87	175.34	185.64	57.45	68.53	82.53
	2	73	35	32	233.02	200.65	157.76	51.14	67.2	84.62
	3	64	33	29	213.27	155.44	170.3	68.3	76.89	92.82
	平均	71	36	30	208.39	177.14	171.23	58.96	70.87	86.66

CCM 試験から次のような傾向がみられた。

- ① 無塗装品を比較すると最大発熱速度は、表層の仕上げ材の密度が高いほど高い (イタヤカエデ>スギ)。
- ② 同じ製品で比較すると最大発熱速度は、塗装品の方が無塗装品より高くなる。一方で、総発熱量に大きな差異は見られない。
- ③ 塗装品はばらつきが小さい傾向がみられる。
- ④ フローリングと捨て貼り合板の接着面は、40kW 以上の加熱条件では、剥離しており、その影響か、捨て貼り合板の損傷は 40kW、50kW でも小さい。
- ⑤ スギ厚物合板の加熱強度 50kW のみ、燃え残りはみられなかった。

## 第 6 章 収納可燃物の燃焼試験

### 6.1 実験の目的

体育館や比較的広い会議室において、代表的な収納可燃物である椅子が引火した際の延焼状況を確認するため、椅子の延焼試験を実施した。

実験は、建材試験センター中央試験所の多目的試験場で実施した。

### 6.2 実験の内容

#### 6.2.1 単体試験

##### (1) 試験体概要

表 6.1 に示す、4 種類の椅子を選択して、個々に燃焼試験を実施する。実験前に計測した椅子の重量と同じ製品の椅子を分解して、椅子を構成している材料の種類と、各材料の寸法および重量を計測した結果を表 6.2 に示す。

##### (2) 手順

実験は、次の手順で実施する。

- ① 椅子の重量を計測する（写真 6.1 参照）。
- ② ケイカル板を床に敷き、椅子をその中央に置く（写真 6.2 参照）。
- ③ 椅子の座面下（床面）中央に 180 角バーナー（写真 6.3）を設置する（写真 6.4 参照）。
- ④ バーナーに点火する（写真 6.5 参照）。



写真 6.1 椅子の重量計測



写真 6.2 ケイカル板の設置



写真 6.3 バーナー



写真 6.4 バーナーの設置



写真 6.5 バーナーに点火



写真 6.6 バーナーの撤去

- ⑤ バーナー出力を 20kW で 1 分間加熱し、最初の 1 分間で椅子の燃焼が始まらない場合、バーナー出力を 40kW にあげる。椅子の着火が確認された直後に、溶解物が垂れるのを避けるため、バーナーを座面下から抜く（写真 6.6 参照）。加熱開始後 3 分間で着火しなければ、実験終了とする。
- ⑥ 試験終了後、椅子の重量計測を行う。

表 6.1 椅子の種類

	椅子の種類	写真	寸法
①	スタッキング チェア	  裏面	W500×D535×H778 ／SH450 (mm)
②	折りたたみパイ プ椅子	  裏面	W425×D459×H741 ／SH424 (mm)
③	折りたたみパイ プ椅子	  裏面	W425×D459×H741 ／SH424 (mm)
④	スタッキング チェア	  裏面	W500×D535×H778 ／SH450 (mm)



表 6.2 椅子に使用されている材料の詳細

	椅子の種類 (重量)	部位	材料	重量 (g)	
①	スタッキングチェア  4.4kg	座席	基板：合成プラスチック (400×420×5) クッション材：ウレタンフォーム (t=5) 表層：ファブリック	473 101 97	
		背もたれ	正面	基板：合板 (440×270×7) クッション材：ウレタンフォーム (t=9) 表層：ファブリック	468 29 58
			背面	基板：MDF (440×270×3) クッション材：ウレタンフォーム (t=3) 表層：ファブリック	249 8 57
②	折りたたみ パイプ椅子  3.9kg	座席	基板：MDF (350×350×3) クッション材：ウレタンフォーム (t=2×2 枚) 表層：ポリ塩化ビニル	238 25 70	
		背もたれ	正面	基板：MDF (410×130×3) クッション材：ウレタンフォーム (t=2×2 枚) 表層：ポリ塩化ビニル	84 11 31
③	折りたたみ パイプ椅子  3.4kg	座席	基板：パーティクルボード (375×385×10) クッション材：ウレタンフォーム (t=2×2 枚) 表層：ポリ塩化ビニル	1082 20 69	
		背もたれ	正面	基板：MDF (400×270×3) クッション材：ウレタンフォーム (t=2) 表層：ポリ塩化ビニル	110 8 17
④	スタッキングチェア  4.7kg	座席	基板：MDF (395×440×10~15) クッション材：ウレタンフォーム (t=2) 裏地：ファブリック 表層：合成皮革	1120 46 17 160	
		背もたれ	正面	基板：合板 (430×220×13) クッション材：ウレタンフォーム (t=2) 表層：合成皮革	670 24 105
			背面	基板：MDF (445×230×3) クッション材：ウレタンフォーム (t=2) 表層：合成皮革	154 4 90

\* 基板の幅および奥行き寸法は、最大寸法を示す。

\*



MDF



パーティクルボード

(3) 結果

発熱速度を図 6.1 に示す。

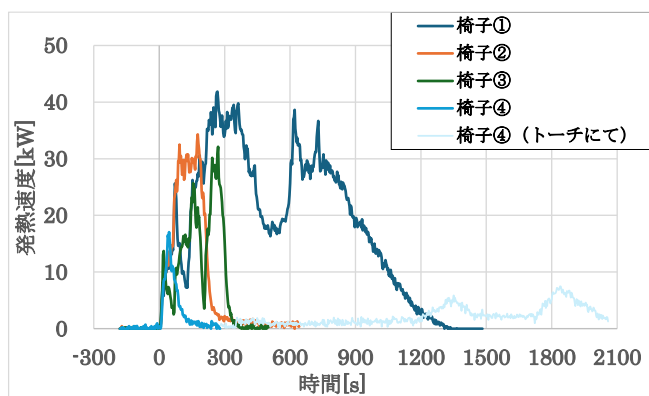


図 6.1 椅子燃焼試験の発熱速度

燃焼の状況を表 6.3 に示す。

表 6.3 椅子の燃焼状況

	椅子の種類	状況
①	スタッキングチェア	<p>試験開始後、約 80 秒で座席部が着火 (i)、その後、合成プラスチックが床に落ち始め、床の上と座席部の両方で燃焼 (ii) し、約 10 分後に背もたれ部が燃焼し始め (iii)、その後、座席・背もたれ・床上で同時に燃焼 (iv) が続き、20 分後にほぼ消炎</p>
②	折りたたみパイプ椅子	<p>座席部が着火 (i) し、小さな炎は発生する (ii) がすぐに消炎 (iii)。10 分後に試験終了。</p>
③	折りたたみパイプ椅子	<p>座席部が着火 (i) し、発炎は一瞬おこるが、すぐに消炎 (ii)。5 分後に試験終了。</p> <p style="text-align: center;">バーナー </p>
④	スタッキングチェア	<p>座席部の端部が着火するが、炎は小さく、2 分後には消炎した。その後、トーチにて座席部に点火 (i)、座席部にゆっくり燃え広がったが、背もたれに延焼する状況は見られなかった (ii)。</p>

### 6.2.2 3脚の燃焼試験 その1

椅子単体の燃焼試験の結果、最も発熱性が高い、表 6.1 の①のスタッキングチェアを選択して横に3脚並べて、中央の椅子にバーナーにより座席の下から点火し、燃焼試験を行った。

#### (1) 実験の手順

- ① 椅子の重量を計測する。
- ② スギ厚物合板 (t=28mm) の上に、椅子を既製の連結材で3脚つなげて並べる (写真 6.7、写真 6.8 参照)。
- ③ 中央の椅子の着席部の前先端から前に 80cm/高さ 60cm と、座席部の後ろ先端から後ろに 80cm/高さ 60cm の位置に熱流束計を設置する (写真 6.9、写真 6.10 参照)。
- ④ 椅子の座面下 (床面) 中央に 180 角バーナーを設置する。
- ⑤ バーナー出力を 20kW で 1 分間加熱し、最初の 1 分間で椅子の燃焼が始まらない場合、バーナー出力を 40kW にあげる。椅子座席部の燃焼開始後、炎の高さが背もたれ部の高さになったことを確認後、溶解物がたれるのを避けるため、バーナーを座面下から抜く。
- ⑥ 椅子の燃焼終了後も、スギ厚物合板の燃焼が終了するまで観察。
- ⑦ 椅子の重量を計測する。
- ⑧ 床においたスギ厚板合板の厚さ方向の燃え残り状況を観察する。



写真 6.7 椅子の設置 (前方)



写真 6.8 椅子の設置 (側方)



写真 6.9 椅子の設置 (後方)

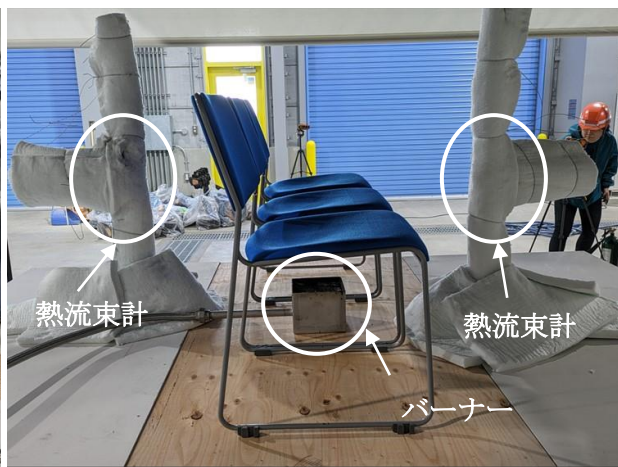


写真 6.10 椅子の設置 (側方)



(2) 実験経過

実験経過を表 6.4、状況の推移を写真 6.11～写真 6.18 に示す。

表 6.4 試験経過

点火からの経過時間	状況
60 秒後	バーナーを 20kW から 40kW に変更、座席裏面の溶融→脱落
65 秒後	中央椅子が着火
1 分 15 秒後	バーナーの脱却
1 分 45 秒後	背もたれ部に着火
2 分 32 秒後	右側椅子が着火
2 分 58 秒後	左側椅子が着火
3 分 12 秒	発熱速度が一旦、ピーク値 (246kW/m <sup>2</sup> ) を示す
3 分 17 秒後	左側椅子背もたれ部着火
5 分 42 秒後	発熱速度が最大値 (346kW/m <sup>2</sup> ) を示す
25 分 10 秒後	床板の燃焼終了



写真 6.11 点火



写真 6.12 中央椅子座席部の燃焼



写真 6.13 中央椅子座席部  
および背もたれ部の燃焼



写真 6.14 3脚の燃焼状態



写真 6.15 3脚の燃焼状態



写真 6.16 左右椅子の  
背もたれ部  
および床上での燃焼状況



写真 6.17 椅子の燃焼  
終了前



写真 6.18 試験終了



### (3) 実験結果

発熱速度の推移を図 6.2 に、熱流束計の測定結果から得られた温度を図 6.3 に示す。

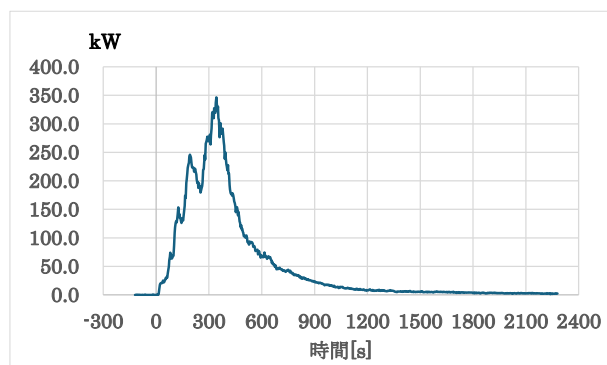


図 6.2 発熱速度

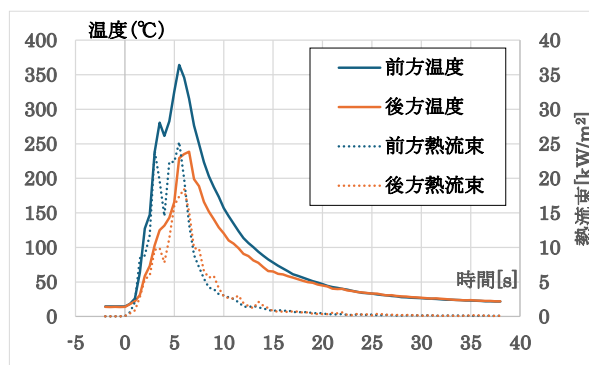


図 6.3 熱流束計の計測結果と温度

#### 6.2.3 3脚の燃焼試験 その2

椅子単体の燃焼試験の結果、最も発熱性が高い、表 6.1 の①のスタッキングチェアを選択して横に3脚並べ、座席の上に置いた着火剤に点火し、燃焼試験を行った。

##### (1) 実験の手順

- ① 椅子の重量を計測する。
- ② スギ厚物合板 ( $t=28\text{mm}$ ) の上に、椅子を既製の連結材で3脚つなげて並べる。
- ③ 中央の椅子の着席部の前先端から前に 80cm/高さ 60cm と、座席部の後ろ先端から後ろに 80cm/高さ 60cm の位置に熱流束計を設置する (写真 6.19)。
- ④ 14.5g の着火剤を4枚、座席後方部に井桁に組んで設置 (写真 6.20) し、着火装置で点火する。
- ⑤ 椅子の燃焼終了後も、スギ厚物合板の燃焼が終了するまで実験を継続する。
- ⑥ スギ厚板合板の厚さ方向の燃え残り状況を観察する。



写真 6.19 椅子と熱流束計の設置状況



写真 6.20 着火剤の設置状況

##### (2) 実験経過

実験経過を表 6.5、状況の推移を写真 6.21～写真 6.29 に示す。

表 6.4 試験経過

着火からの経過時間	状況
	着火剤の燃焼と共にまもなく座席に着火
20 秒後	背もたれ部に着火
2 分 08 秒	床面で燃焼開始
3 分 36 秒後	左側の椅子の座席部が着火
6 分 27 秒後	発熱速度が一旦、ピーク値 (205kW/m <sup>2</sup> ) を示す
6 分 31 秒後	左側の椅子の背もたれ部着火
8 分 55 秒後	右側の椅子の背もたれ部が着火
9 分 39 秒後	右側の椅子の座席部が着火
9 分 45 秒後	発熱速度が一旦、ピーク値 (263kW/m <sup>2</sup> ) を示す。
11 分後	発熱速度が最大値 (305kW/m <sup>2</sup> )
20 分 30 秒後	椅子の燃焼終了
25 分以降	床板の燃焼終了



写真 6.21 点火



写真 6.22 座席の燃焼



写真 6.23 座席の燃焼拡大



写真 6.24 背もたれ燃焼



写真 6.25 隣座席の燃焼



写真 6.26 隣座席の燃焼



写真 6.27 3脚の燃焼



写真 6.28 3脚の燃焼



写真 6.29 椅子燃焼終了

### (3) 実験結果

発熱速度の推移を図 6.4 に、熱流束計の測定結果から得られた温度を図 6.5 に示す。

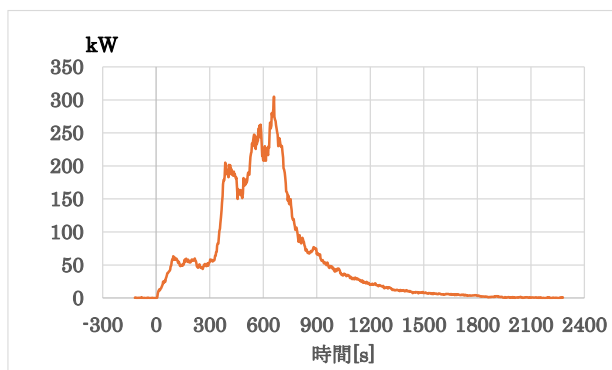


図 6.4 発熱速度

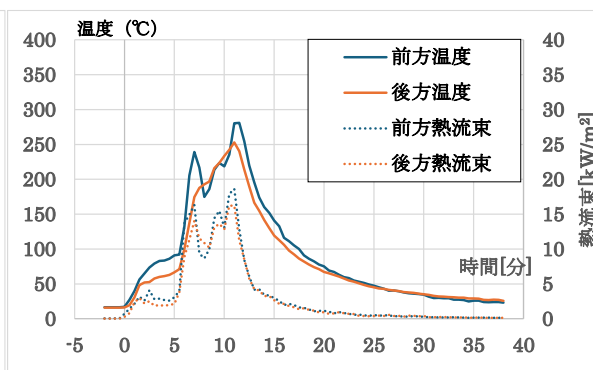


図 6.7 熱流束計の計測結果と温度

また着火剤の CCM 試験結果を図 6.6 に、総発熱量を図 6.7 に示す。

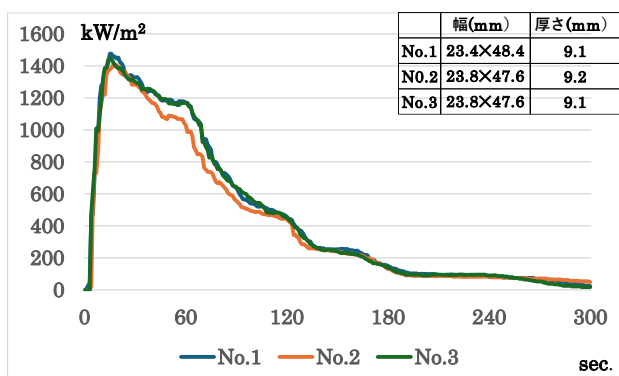


図 6.6 着火剤の発熱速度

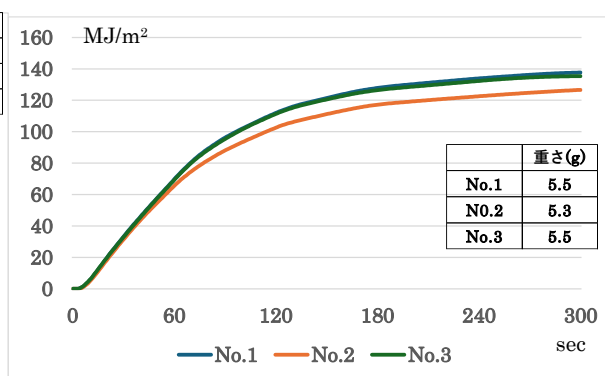


図 6.7 着火剤の総発熱量

### 6.3 床の燃焼状況

写真 6.30 に、3 脚の椅子の燃焼試験が終了した状況、写真 6.31 に床面のスギ厚板合板の上面の状況を示す。また図 6.8、図 6.9 にスギ厚物合板を切断した断面の状況を示す。



写真 6.30 実験終了後の状況

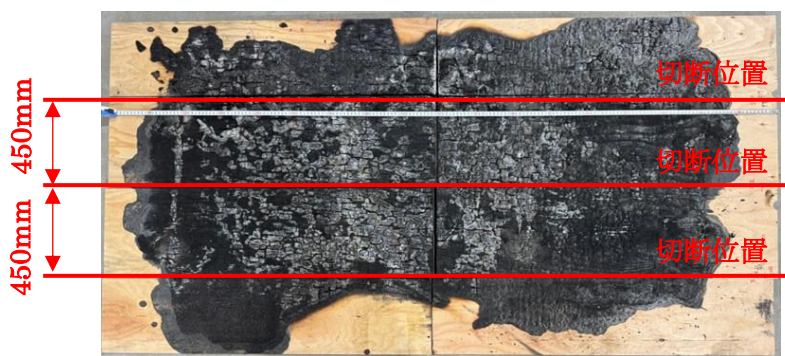


写真 6.31 スギ厚板合板の実験終了後の上面



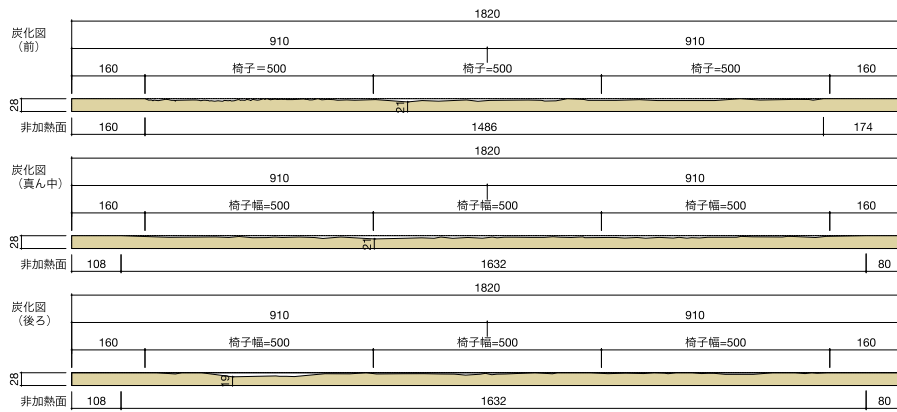


図 6.8 スギ厚板合板実験終了後の断面の状況（椅子の下に火源を置いた実験）

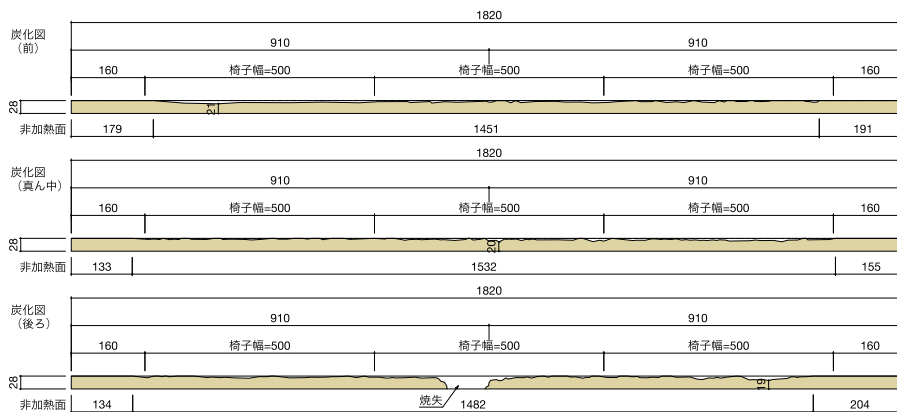


図 6.9 スギ厚板合板実験終了後の断面の状況（椅子の上で点火した実験）

厚さ 28mm に対し、20~21mm の厚さは燃え残っていた。ただし一カ所燃え抜けているが、合板の継ぎ目の影響であったと考えられる。よって捨て貼り合板の上に 18mm のフローリングを貼った場合には、フローリング内で燃焼が留まると推察できる。

#### 6.4 まとめ

以上の実験から、次のことが確認できた。

- ① 座席部に合成プラスチックを使用した椅子の燃焼が、もっとも激しい。合成プラスチックは溶融後、床面で着火し、比較的長く燃焼が続き、側方に延焼する。
- ② 同種の椅子でも、点火の方法によって燃え方がかなり異なる。
- ③ 木材の着火温度である 260℃で着火すると仮定するならば、座席下からの炎による着火の場合には 3 分程度で、座席上の炎による着火の場合には 7 分程度で、前方の椅子の背もたれの後ろの部分に可燃物が使用されている場合には、延焼の可能性がある。
- ④ 今回、選択した椅子であれば、仮に延焼しても耐火性能検証法で一般的に想定される代表寸法 1.5m、3 MW であれば、安全側の設計であると推察される。ただし消火活動がない場合には、次々に延焼し、燃焼は 20 分以上継続する。
- ⑥ 通路を有効に設けることで、延焼は制御できる。



## 第7章 耐火性能検証法チェックリスト（案）

### 7.1 目的

2000年の法改正により、性能規定化という概念のもと、耐火性能検証法が建築基準法に導入されたが、国土交通大臣の認定を要するCルート検証法は、平12建告1433号によって実施する検証方法とは異なり、その手順や検証方法が明文化されていないため、多くの設計者はどのように設計に反映すればいいのか、認識されていない状況にある。火災工学の専門家の協力がなければ大臣認定の取得はできないが、基本構想から基本設計の段階で、木造化に向けて最低限の設計条件がわかっているならば、設計者は耐火性能検証法の採用を検討しやすくなると共に、その後の認定までの作業工程において手戻りを少なくすることができる。

耐火建築物の定義は「想定する火災が終了した後、消火活動がなくても崩壊せず自立し続ける」建築物となるが、主要構造部を木造とする場合、木質部材に着目するならば、次のいずれかの条件を満たすことが必要になる。

- ① 着火しない
- ② 着火するが自消し、残存断面で長期荷重を継続的に支持できる

ここでは上記①を対象に、初めて耐火性能検証法による木造化に望む設計者に向けて、設計条件を、チェックリストというかたちでまとめた。

### 7.2 チェックリスト案

表7.2にチェックリスト案を示す。

表 7.1 初心者のための耐火性能検証法チェックリスト (案)

No.	チェック項目	要点
1	収納可燃物量	原則として積載可燃物の発熱量が 160MJ/m <sup>2</sup> 以下の用途 (表 7.2) とする。
2	床の仕様	下地は鉄筋コンクリート造とする。 体育館の床のように浮き床構造とする場合、床上可燃物の燃焼により、木床が燃え抜けないことを検証するか、若しくは石膏ボード又は鋼板等を木床の下に敷く。
3	主要構造部材 (木質系) の床からの高さ	告示の居所火災 (発熱速度 3MW, 燃焼時間 20 分) を想定する場合、必要な床からの高さは 6.9m (計算例参照) とする。 [計算例] 発熱速度 $Q=3,000\text{kW}$ , 火源の代表径 $D=1.5\text{m}$ 無次元発熱速度 $Q^*$ $Q^* = \frac{Q}{1,116D^{5/2}} = \frac{3,000}{1,116 \times 1.5^{5/2}} = 0.976$ 間歇火炎高さ $L_f$ (壁際火源) $L_f = 4.6Q^{*2/5}D = 4.6 \times 0.976^{2/5} \times 1.5 = 6.9\text{m}$
4	木質系壁の高さ	①断面的に離す場合 上述と同様、6.9m 離す。 ②平面的に離す場合 想定される火源規模に応じて平均火炎高さまでを放射面と想定し、可燃物の燃焼が終了するまでの間、木質系壁に着火しない距離だけ離す。 [計算例] 火炎高さ：連続火炎 $L_c$ , 平均火炎 $L_m$ (自由空間) $L_c = \begin{cases} 1.8Q^{*2/3}D(Q^* < 1.0) \\ 1.8Q^{*2/5}D(Q^* \geq 1.0) \end{cases}, L_m = \begin{cases} 3.4Q^{*2/3}D(Q^* < 1.0) \\ 3.4Q^{*2/5}D(Q^* \geq 1.0) \end{cases}$ 放射受熱量 $q$ $q \leq 10\text{kW/m}^2 \text{ 又は } \int q^2 dt = 120,000$
5	隣室との開口部	木質架構を有する空間とその他の部分は、耐火構造の壁・床及び特定防火設備で防火区画する。
6	外部建具の面積	内部の可燃物の局所的な燃焼にとどめ、火災時の空間の温度上昇を抑制するため、防煙区画面積の 1/50 以上の自然排煙口、及び排煙口と連動開放する専用給気口を天井高の 1/2 以下の部分に設置する。給気口の開放面積は排煙口面積の 1/2 以上とする。

表 7.2 160MJ/m<sup>2</sup>以下となる用途と積載可燃物の発熱量<sup>8.1)</sup>

建築物の部分の種類	積載可燃物の発熱量 $q_f$ (MJ/m <sup>2</sup> )	その他これに類する用途の例
会議室	160	会議室に類する用途の特徴は、使用時のみ可燃物が持ち込まれ、常時は少数の家具等が設置される室である。事務所の役員室などが該当する。
体育館のアリーナ	80	通常は収納可燃物が極めて少ない空間で、屋内球技場のフィールドや屋内プールなどが該当する。
廊下、階段その他の通路	32	廊下、階段その他の通行の用のみに供する通路が該当し、トイレやダクトスペースなども含まれる
玄関ホール、ロビーその他これらに類するもの	160	玄関ホール、ロビーその他これらに類するものは、商業施設の待ち合わせ場所や簡易なイベントを行うためにソファ、机などの若干の可燃物が置かれる可能性のある空間(160MJ/m <sup>2</sup> )と、その他の空間(80MJ/m <sup>2</sup> )とに区別する。
その他	80	
屋上広場又はバルコニー	80	
診療所	480	

#### 参考文献

8.1) 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説, 海文堂出版, pp.46~47, 2001.3

### 7.3 今後の課題

本チェックリストには、第 4 章で取り扱った床の、火源にクリブを使った燃焼試験において、木質系の床材料が燃え残らない状況となっていること、また第 5 章では椅子の燃焼試験を紹介しているが、椅子以外にも可燃性の収納物は様々あることから、これらの実験結果は反映させていない。また木材の持つ温かみや衝撃を和らげる効果を鑑み、積極的に壁の木質化を図った場合、壁の燃え方についても情報の整理を行っていかなければならない。

木質の床と壁、そして収納可燃物の‘燃え方’の情報が、今後、実験等により整理されることで、本チェックリストは、より実用的な設計ツールへとステップアップさせることができる。

