４．本実験

４．１ 実験計画（目的）

本実験では、予備実験および準備実験、部材実験等これまでの研究で得られた知見等を踏まえ、

（１）大規模な木造建築物等の主要構造部の制限（建築基準法第 21 条第 2 項）および

（２）学校などの特殊建築物に関する主要構造部の制限（建築基準法第 27 条）

について見直しを検討するための最終的な検証を行う。

本実験の主な目的は以下のとおり。

１）防火壁について、火災が終了するまで以下の性能を有することを検証

（火災盛期を過ぎた時点まで火災を継続し検証）

ⅰ）防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能

ⅱ）防火壁の倒壊防止性能

２）天井を不燃化した場合に、在館者の避難および救助が完了するまで次の性能を有することを検証

ⅰ）他の区画への延焼防止性能

ⅱ）他の区画への遮煙性能

ⅲ）主要構造部の倒壊防止性能

これらのほか、建物周囲への影響等実大規模の建物を用いた火災実験でなければ確認できないデータを得て、

①周囲での延焼危険性が少ないかどうか

②消防活動上の障害となることが生じないかどうか

等の分析を行う。

＜実験の想定シナリオ＞

上記１）および２）の検証にあたり、実験では次のような火災の進展（シナリオ）を想定した。このシナリオでは、特に「他の区画への延焼および煙の侵入を一定時間防止できること」および「防火壁や主要構造部の倒壊防止性能および延焼防止性能」が検証のポイントとなる。

・出火（および火災覚知後の避難開始）から他の区画への延焼および煙の侵入を一定時間防止

注）通常はこの間に消火活動が開始され他の区画への延焼を防止するとともに、在館者の避難および救助が実施されることとなる。実験ではこの段階での消火活動は行わずに防火壁や主要構造部の延焼防止性能や遮煙性能の検証等に必要なデータ測定を行う。

↓

・出火室において火災が徐々に成長し、フラッシュオーバーが発生

↓

・フラッシュオーバー後、外部開口部を通じて２階へ延焼および煙が侵入

↓

・２階へ延焼後、比較的早期にフラッシュオーバーが発生、外部開口部を通じて３階へ延焼および煙が侵入

注）３階へ延焼後、スプリンクラー設備等で３階部分の火災を抑制しながら建物の火災を継続させ、防火壁や主要構造部の倒壊防止性能や延焼防止性能の検証等に必要なデータ測定を行う。

↓

・安全管理上、建物の倒壊などの危険が生じる前に消火

出火から在館者の避難が完了するまでのイメージとして、火災状況、在館者の避難および消防活動の関係は図 4.1-1 のとおりである。

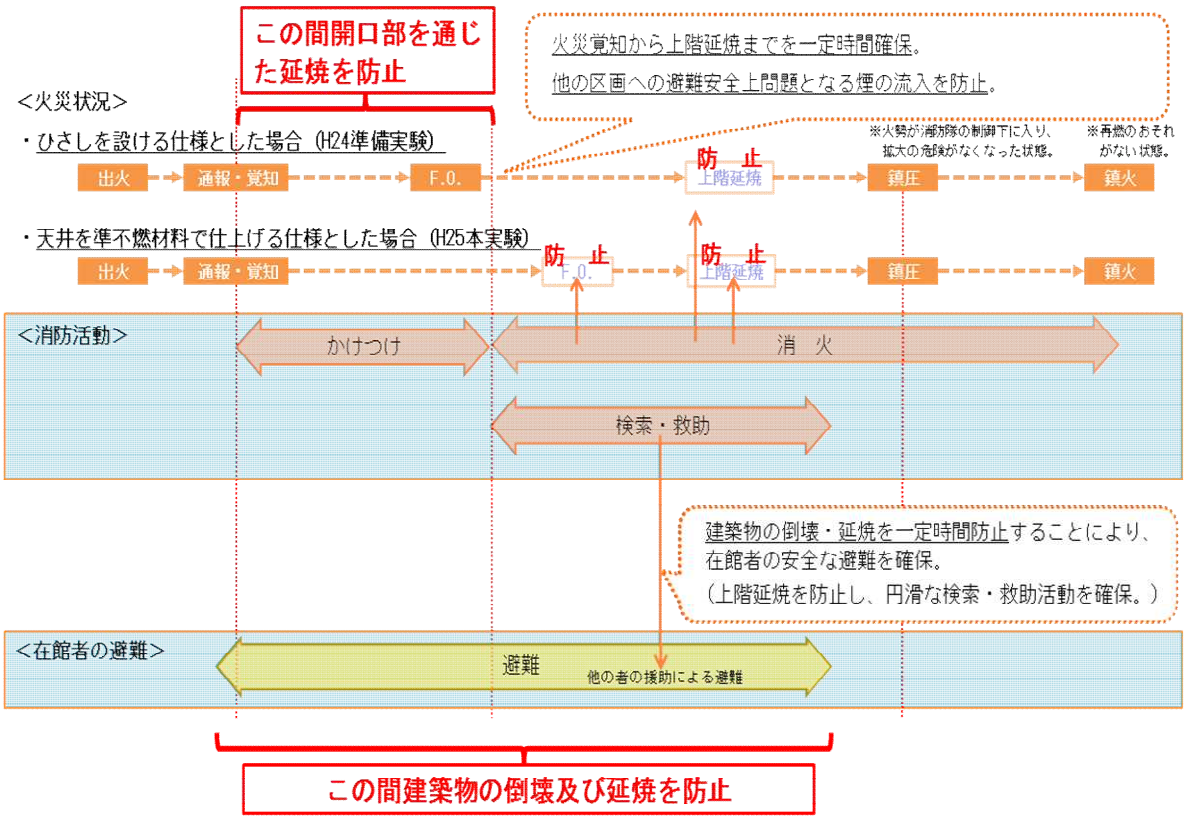


図 4.1-1　火災状況、在館者の避難および消防活動の関係

なお、本実験では内装の一部を不燃化する仕様により検証を行うが、図 4.1-2 のとおり準備実験において開口部上部へのバルコニーおよびひさしの設置が延焼防止上有効であることが確認されている。

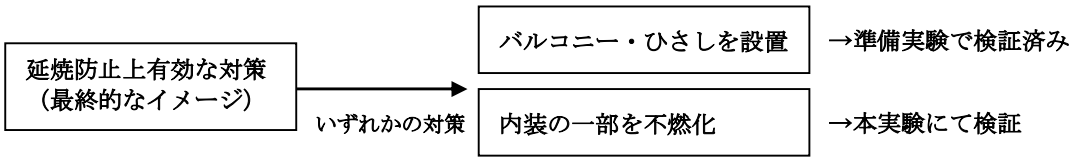


図 4.1-2　延焼防止上有効な対策の検討

４．２ 実験建物の計画

本実験は準備実験と同様に、延べ面積約 850 ㎡の３階建て学校を、指定地域外に適用されている１時間準耐火建築物となる仕様により設計および建設した。

以下、実験建物の平面計画、断面計画、構造計画、各部の設計、各部位の要求耐火時間、建物外周部の延焼および類焼防止性能、内装の燃焼拡大防止性能、実験建物の防耐火設計について示す。

４．２．１　平面計画

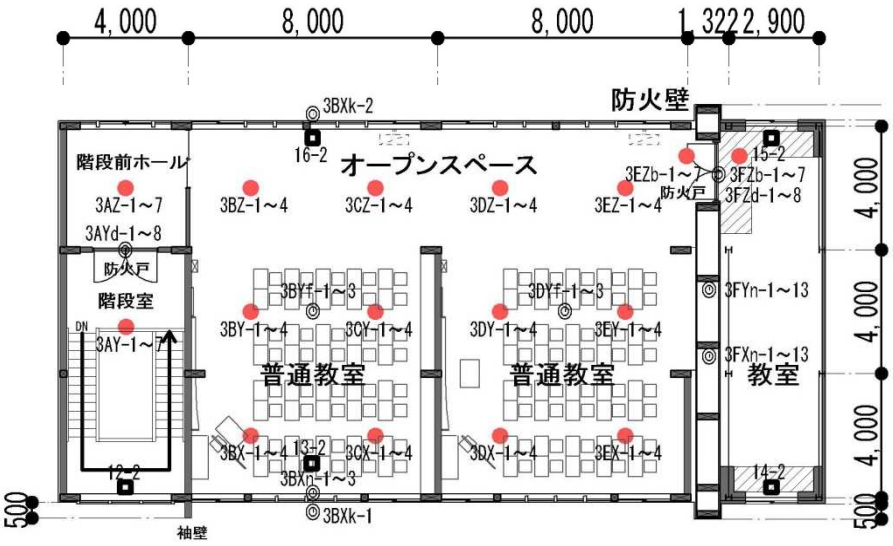
本実験の平面計画は、予備実験および準備実験と同様な想定のもとで実験建物を設計した。

8m×8mの教室を標準とし、教室と対となったオープンスペースを活用した教育形態を採用している一般的な小学校を想定し、エネルギー消費の約半分を占める照明エネルギーを軽減するため、南面採光（基準法による床面積の 1/5 の有効採光）を重視した東西に教室が並列される校舎の一部を再現する方針で設計した。

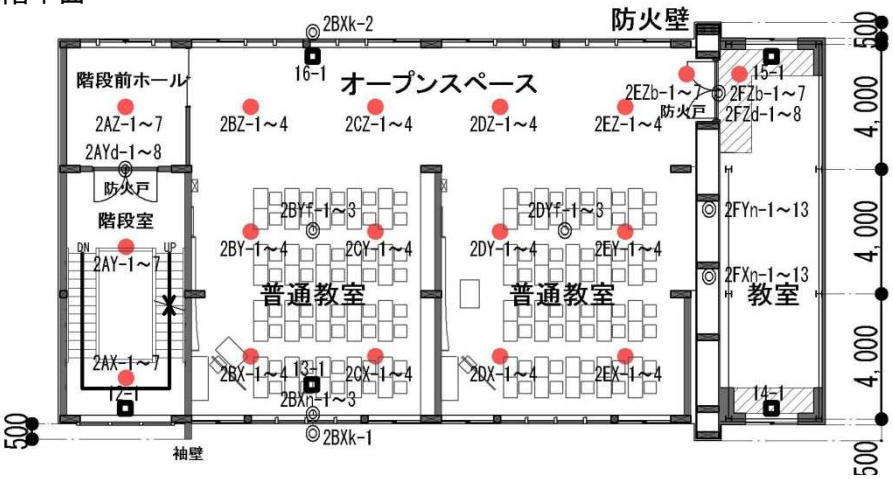
本実験の実験建物の設計では、図 4.2.1-1 に示すように、予備実験および準備実験と同様に南面して 8m×8mの教室を 2 室連続させ、教室と一体となったオープンスペースの奥行きを、準備実験と同様に、予備実験の 8mから 4mに縮め、オープンスペースを含めた大空間をもつ小学校を想定した。また、8m スパンいっぱいに採光のための大開口を南北面にもつ校舎を再現し、予備実験で課題となった開口部からの上階延焼を確認できる平面計画とした。教室の西側に 1 時間準耐火構造の竪穴区画となる階段室を、東側に自立型木造防火壁を挟み、昇降口（上階は教室想定）を持つ 4 スパン構成による延べ面積 851.796 ㎡の実験建物とした。

延焼拡大防止の有効性の確認のための自立型木造防火壁は、予備実験では自重のみを支える構造であったが、準備実験と同様、水平力を考慮した１時間耐火構造としている。

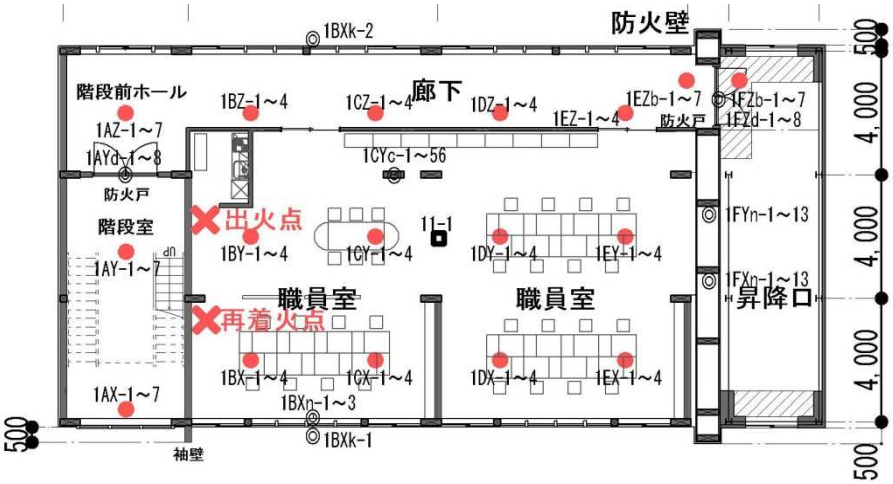
各階の平面構成は、２、３階は全て教室を想定し、１階の中央２スパンが収納可燃物の多い職員室、防火壁を隔て昇降口としている。



3 階平面

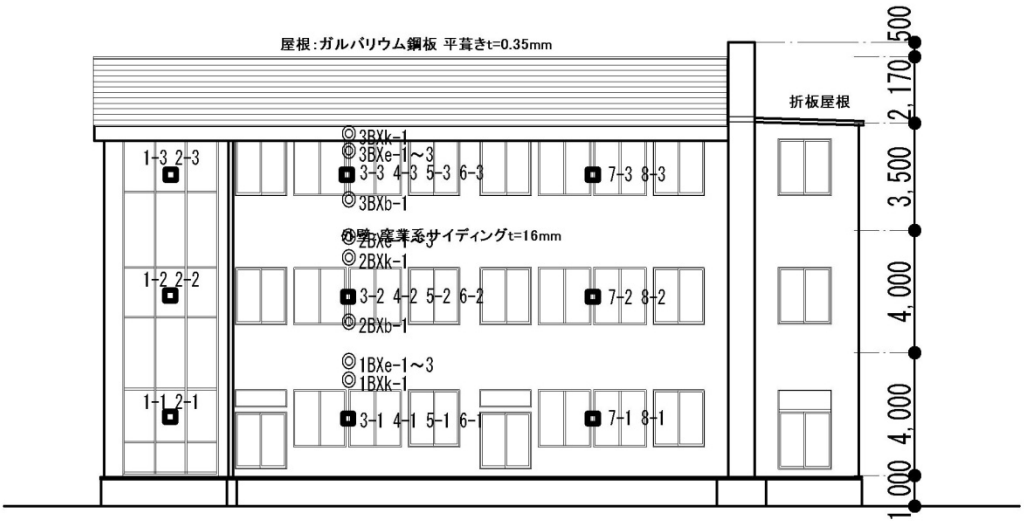


2 階平面

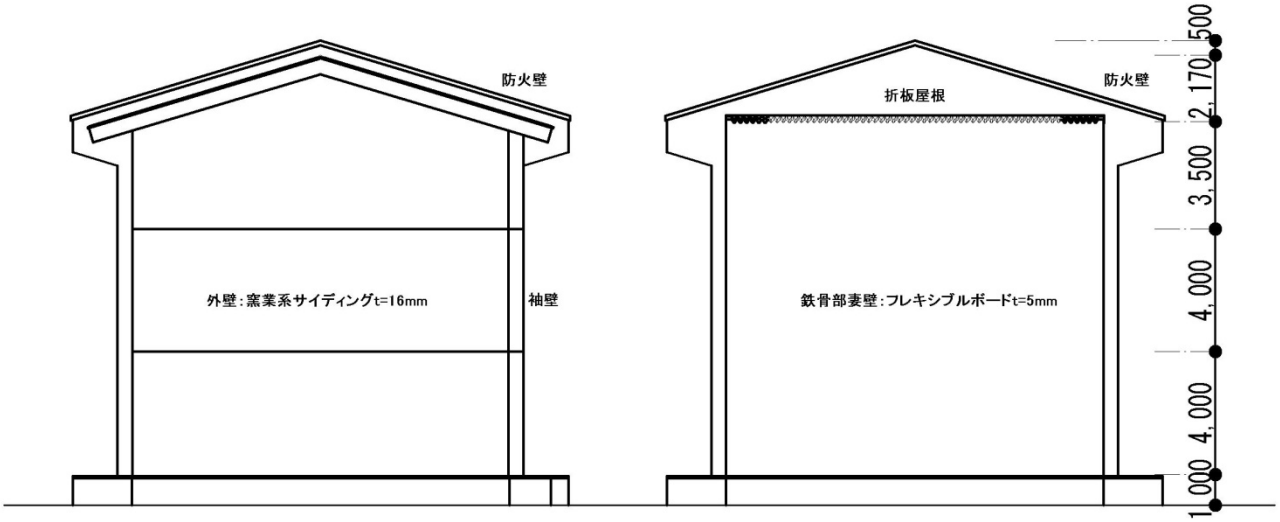


1 階平面

図 4.2.1-1　本実験の実験建物　平面図

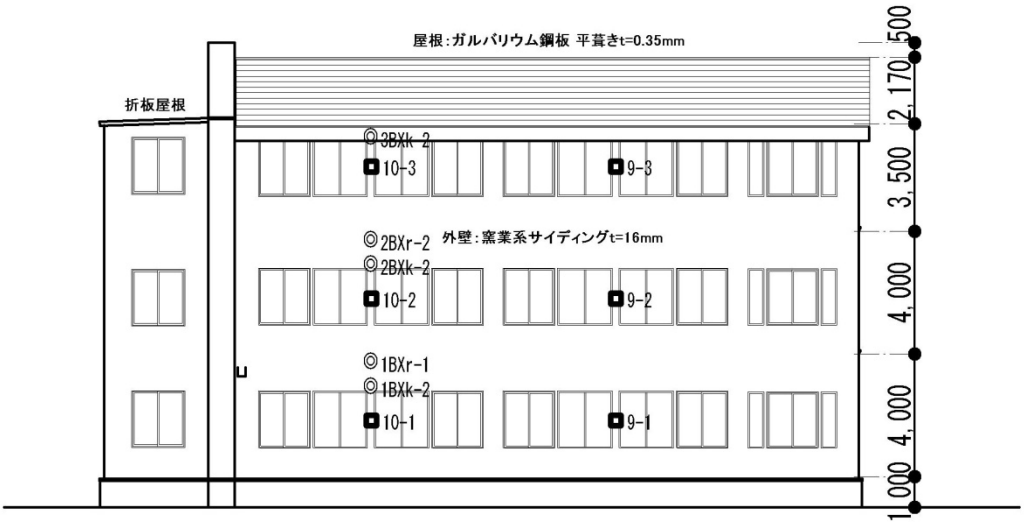


南側立面図



西側立面図

東側立面図



北側立面図

図 4.2.1-2　本実験の実験建物　立面図

４．２．２　断面計画

予備実験および準備実験と同様に、教室等の居室の想定天井高を 2.73m とし、１、２階の標準階高を 4.00m、３階は勾配屋根で桁高さ 3.50m とした。

準備実験では、予備実験で確認された噴出火炎による外部からの上階延焼を抑制するため、南北面に片持ちで支持できるほぼ限界の寸法である出幅 1.5mのバルコニーおよび庇を設置したが、本実験では内装による延焼抑制効果を確認するためにバルコニーおよび庇は共に設置していない。

４．２．３　構造計画

準備実験と同様に、X 方向は、8m スパンを集成材（柱：220×650mm、梁：220×650mm）による一方向ラーメン構造とし、南北面の大開口やオープンスペースとの連続性を実現している。Y 方向は、4m スパンの耐力壁構造で、耐力壁が各教室の仕切りとなるように計画し、オープンスペースは耐力壁がない一体的な空間を可能としている。普通教室ゾーンの耐力壁は構造用合板により 1 階：構造用合板 28mm（壁倍率 6.2 倍(片面)、12.4 倍（両面））、2 階：構造用合板 24mm（壁倍率 5.4 倍)、3 階：構造用合板 12mm（壁倍率 3.0 倍））により確保している。

また、準備実験と同様、延焼評価用の昇降口部分は、延焼の有無が判断できればよいことから、構造体を簡易な鉄骨造とすると共に、構造的に他の部分と独立した。防火戸および外壁開口部周辺の延焼を確認するために必要な部分（1ｍの範囲）のみ仕上げ（天井：強化せっこうボード 12.5+12.5mm、壁 : せっこうボード 12.5+12.5mm、(開口周囲内装 : 木材)、床 : モルタル 40mm）を施した。予備実験および準備実験と同じく集成材構造については、「直通集成材を用いたラーメン構造の設計法」により X 方向を鋼板挿入ドリフトピン接合の仕口とし、Y 方向は、予備実験で確認された耐力壁の焼失後の倒壊を防止するため、断面寸法を 350mm から 650mm へと増すと共に上下引きボルト（N20）を設置した。水平力を考慮した 1 時間耐火構造の自立型防火壁は、X 方向に 700mm の集成材を 2,150mm ピッチで設けている。

４．２．４　各部の設計

図 4.2.1-1 に、本実験の実験建物の矩計図を示す。

準備実験と同様に、基礎は実験場所の地層と実験後の整地並びに処分を考慮し、中間支持層に H 鋼（350×350mm）を圧入しその上部を H 鋼（300×300mm）で繋ぐ形式を採用した。1 階床部については、予備実験では内部の可燃物が落下して 1 階床が延焼し、床下が燠火状態になり、構造体に悪影響を及ぼしたと判断されるため、準備実験と同様にデッキプレートの上にコンクリートを打ち、床下の燠火状態から構造フレームの保護を行った。また、予備実験の構造フレームの崩壊の一つの要因として、加熱後の柱脚金物の強度保持にあると考えられるため、準備実験と同様に 1 階柱脚についても、強度を確保するため板厚の増加（9→12mm）を行った。

軸組構造部は、図 4.2.4-1 に示すとおり、必要な燃えしろ（集成材：45mm）を確保し、ラーメン方向は柱 650×220mm と梁 220×650mm を、耐力壁方向は梁 220×650mm をカラマツＥ

105-F300 とし、小梁 220×350mm と垂木 220×250mm を共にスギ E65-F225 とした。

外壁（南・北・西）は、予備実験および準備実験と同様の窯業系サイディング 16mm で、各階でファイアストップを設置した通気工法とした。

予備実験では、開口部上下の腰壁および下り壁内に早期に火炎が侵入したため、準備実験と同様に、開口の上下の窓台は集成材による燃えしろ設計を行い 220×220mm とし、掃き出し窓部分の方立て柱も同様に集成材 220×220mm とした。

天井のメンブレンとなる仕上材は、準不燃材料のせっこうボード 9.5mm（下地の被覆は強化せっこうボード 12.5+12.5mm）とし、大梁と小梁は燃えしろ設計として露出させ、甲乙梁を隠し、天井面における木部の露出を最小限とする仕様とした。

防火戸は、準備実験では木製の片開きとしたが、本実験では、両開きの鋼製扉（特定防火設備）を採用した。

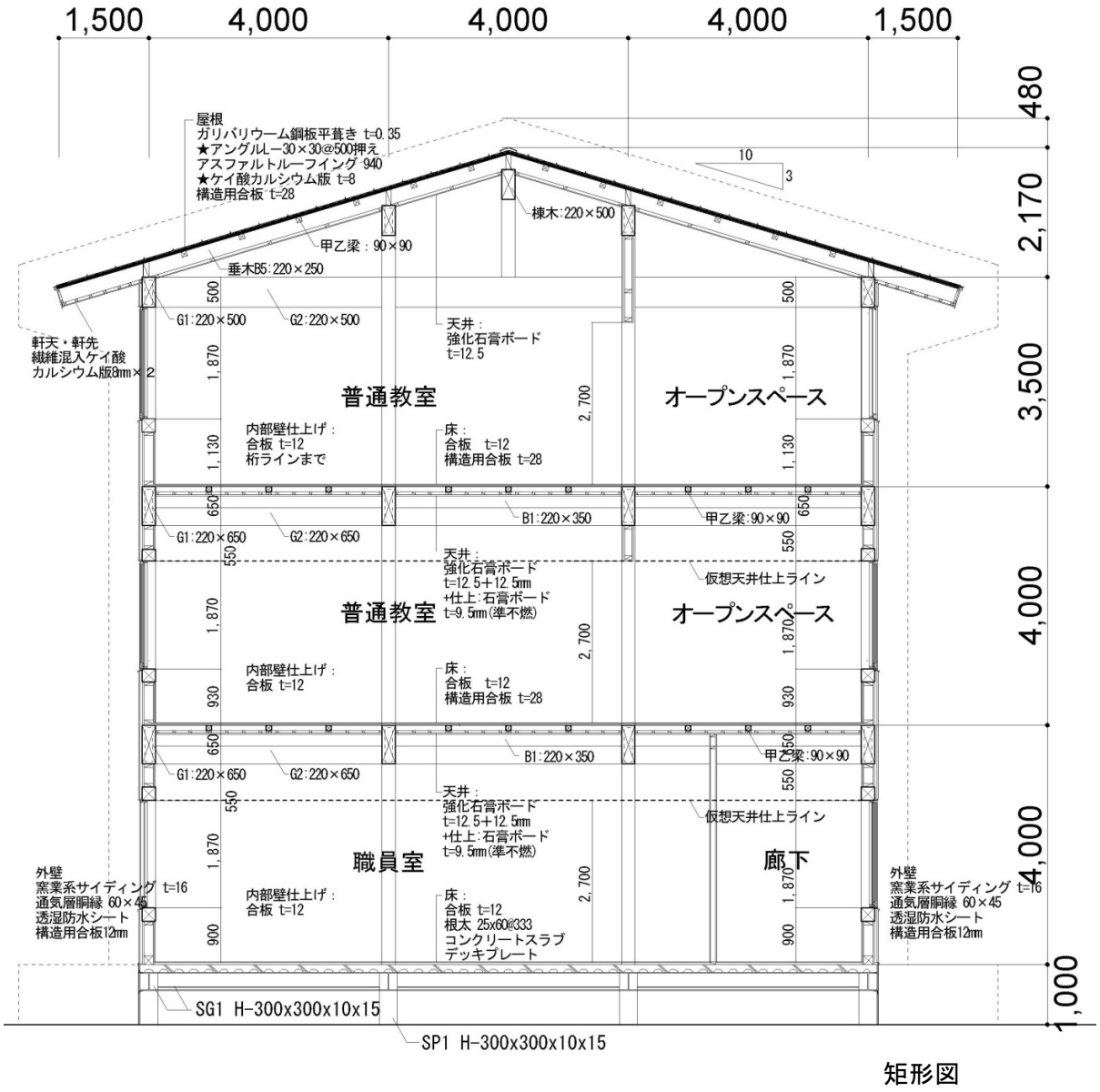


図 4.2.4-1　本実験の実験建物　矩形図

４．２．５　各部位の要求耐火時間

予備実験および準備実験と同様、学校建築における盛期火災の継続時間が、収納可燃物量や開口条件を考慮すると、普通教室等の主たる部屋は１時間以内に収まり、倒壊に大きく影響する主要構造部（外壁・間仕切壁・柱・梁・床・軒裏）を１時間準耐火構造とすれば、ほぼ収納可燃物が燃え尽きるまで建物の自立は保持でき、避難安全性、消防戦術、周辺市街地への影響が現行法令の１時間耐火構造と１時間までは根本的に変わらないよう表 4.2.5-1 のとおりとした。

予備実験では、点火後 76 分の建物倒壊まで柱およびはりは加熱に耐えた。しかし、１時間準耐火構造とした外壁、間仕切壁および床や特定防火設備は想定よりも早く燃え抜けた。外壁開口部からの上階延焼など建物内の延焼拡大が早かったため、壁および床が長時間にわたり両面加熱を受けたことや火災室の火災初期の温度が部材レベルの実験で用いる ISO834 標準加熱曲線による加熱温度よりも高かったことも一因と考えられる。このような上階延焼が早期に起こらない条件であれば、１時間準耐火構造の壁および床を通じた上階延焼や防火区画の突破は１時間以上遅延できると考えられるため、壁および床については準備実験と同様に１時間準耐火構造の告示仕様の防火被覆を一般的な施工方法の範囲で施工した。また、特定防火設備は木造躯体に取り付けた場合に防火上弱点とならない仕様および納まりを検討し、部材レベルの加熱実験でその延焼防止性能を確認した。

なお、部材の断面等の寸法ついては、必要となる性能に対し過剰にならないぎりぎりの寸法を採用したことは予備実験および準備実験と同様である。

また、準備実験では、１階出火室のフラッシュオーバーから約 53 分で３階に延焼し消火を開始したため、主要構造部を１時間準耐火構造とした建物の 53 分以降の挙動については明らかになっていない。

表 4.2.5-1　本実験における主要構造部の防耐火仕様

主要構造部	防耐火性能	
外壁	1時間準耐火構造	国土交通大臣認定仕様
軒裏	1時間準耐火構造	H12建設省告示第1380号
間仕切壁（竪穴区画の壁含む）	1時間準耐火構造	H12建設省告示第1380号
柱	1時間準耐火構造	H12建設省告示第1380号（燃えしろ設計）
はり	1時間準耐火構造	H12建設省告示第1380号（燃えしろ設計）
床	1時間準耐火構造	H12建設省告示第1380号
屋根	30分準耐火構造	H12建設省告示第1358号
階段	30分準耐火構造	H12建設省告示第1358号
外壁開口部	—※	
竪穴区画開口部	特定防火設備	部材実験※※

防火壁	1時間耐火構造	国土交通大臣認定仕様（木造）
防火壁開口部	特定防火設備	部材実験※※

※防火設備等ではないガラス戸

※※加熱実験から1時間を超える遮炎性能を確認した仕様

４．２．６　建物外周部の延焼および類焼防止性能

予備実験および準備実験と同様、実験建物外周部の延焼および類焼防止性能についても、耐火構造とした場合の耐火時間にならって、主要構造部の準耐火構造の時間を設定し、周辺から建物内部への類焼、建物本体から外部への延焼危険について、1 時間までは耐火構造の建物と同じになるように外壁、軒裏の仕様を表 4.2.5-1 のとおりとした。また、外壁開口部についても予備実験および準備実験と同様、学校建築が十分余裕のある敷地に建つことが少なくないことを考慮し、防火設備でないアルミ製ガラス戸（フロート板ガラス 4mm）とした。

一方、予備実験では外壁開口部からの噴出火炎による上階への延焼抑制措置として、開口部上部に 0.9m を超える不燃材料仕上げのスパンドレル（約 2m）を設けたが、大きな噴出火炎が生じたこともあり延焼抑制効果はほとんどなかった。本実験では、出火室内での内装不燃化（天井を準不燃材料、壁および床を木材）による延焼遅延効果が避難安全上十分かどうかを確認するために、予備実験と同様にバルコニーと庇は設けない。

４．２．７　内装の燃焼拡大防止性能

予備実験では、現行法令において学校には内装制限の適用がないことも考慮し、

①床・壁・天井：木材（１階出火室他）

②床・壁・天井：不燃材料（２・３階枠組壁構造の部分）

③床：木材、壁：不燃材料、天井：木材（上記以外の部分）

として、燃焼拡大性状を把握することを計画した。その結果、①とした出火室は早期にフラッシュオーバーが発生し、外壁開口部からの噴出火炎により上階延焼したことから、内装の違いによる延焼拡大への影響は十分把握できなかった。

一方、準備実験では、

①柱・はり：木材（燃えしろ設計によるあらわし）

②壁・天井：不燃材料

③床：木材

とし、内装の可燃物表面積を抑制しフラッシュオーバー発生時間を大幅に遅延した。

そこで、本実験では、内装の木質化を考慮して、

①柱・はり：木材（燃えしろ設計によるあらわし）

②天井：準不燃材料（せっこうボード）

③壁・床：木材

とした。

なお、本実験に先立って、これと同じ内装の約８ｍ四方の教室実験により火災初期の内装の燃焼拡大性状を検証し、火源が 20 分間で 100kW(10 分)→300kW(10 分)の規模であれば火災は局所に留まることを確認した。

４．２．８　実験建物の防耐火設計

実験建物は、図 4.2.1-1 および写真 4.2.8-1、2 のような幅約 24.5m×奥行 12m×高さ約 15m の総３階建て（建築面積：約 310m²、延べ面積：約 850m²）で、写真 4.2.8-2 の右から「軸組工法建物」、「防火壁（木造）」、「延焼評価用建物（鉄骨造）」で構成し、それぞれ自立するように構造的に分棟として設計した。「軸組工法建物」内の階段室は防火区画（竪穴区画）し、防火区画の開口部には特定防火設備を設けた。また、「防火壁（木造）」は単独で自立するよう構造設計し、1 時間耐火構造の壁と特定防火設備の開口部で構成した。これにより、竪穴区画（壁および開口部）と防火壁開口部が職員室および普通教室の収納可燃物がほとんど燃え尽きる 1 時間は延焼せず、さらに防火壁で延焼を防止することを目標とした。

各部の仕様は表 4.2.5-1 および表 4.2.8-1 に示すとおり、すべて告示の 1 時間および 30 分準耐火構造とし、内部は、構造体となる集成材を燃えしろ型に、壁と天井はせっこうボードによるメンブレン型、外壁および軒天をけい酸カルシウム板によるメンブレン型の 1 時間準耐火構造とした。

特定防火設備は、別途実施した部材実験で 1 時間の遮炎性を満足した仕様とした。

また、安全管理上の対策として、火の粉の飛散防止のために、２、３階の屋根の軒先に 10mm メッシュの金網を設置し、また、屋根は通常 30 分準耐火構造となるが、燃え抜け防止のために構造用合板の上部にけい酸カルシウム板 8mm を敷いた上に、波板ガルバリウム鋼板の燃え抜け時のめくれを防止するため、重ねを垂木上部で 0.6m 確保し、飛散防止のアングル（30×30mm）を 0.5m 間隔で設置した。

防火壁は、木造の軸組に国土交通大臣の認定を取得した強化せっこうボードを重ね張り（総厚 36mm）した 1 時間耐火構造とし、防火壁の基準にならい、屋根上部および外壁から 0.5m 突出させた。また、階段室（竪穴区画）の開口部、防火壁の開口部には特定防火設備を設置した（各階の階段室、防火壁に 1 箇所ずつ計 6 箇所）。特定防火設備は常時閉鎖式の鋼製扉とし、実験時はすべて閉めた状態とした。



写真 4.2.8-1 本実験における実験建物(南面)



写真 4.2.8-2 本実験における実験建物(北面)

表 4.2.8-1　主要構造部の仕様

		本実験 1～3階
外壁 1時間準耐火		窯業系サイディング16厚 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚 木材12厚（仕上げ）
間仕切壁 1時間準耐火		木材12厚（仕上げ） 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚 木材12厚（仕上げ）
床 1時間準耐火		合板12厚（仕上げ） 構造用合板28厚 強化石膏ボード12.5厚 強化石膏ボード12.5厚 せっこうボード9.5厚 （準不燃材料仕上げ）
柱 1時間準耐火		燃えしろ設計（燃えしろ45） 構造用集成材（カラマツ） E105-F300 650×220，700×220
はり 1時間準耐火		燃えしろ設計（燃えしろ45） 構造用集成材（カラマツ） E105-F300 220×650，220×400（大梁） 構造用集成材（スギ） E65-F255 220×350（小梁） 220×250（垂木） 小梁・垂木は、天井被覆材の内部に隠れる
屋根・軒裏 30分準耐火（屋根） 1時間準耐火（軒裏）		ガルバリウム鋼板（仕上げ） ケイ酸カルシウム板6厚（安全管理上） 構造用合板12厚 強化せっこうボード12.5厚（仕上げ） 繊維混入ケイカル板8厚 繊維混入ケイカル板8厚（軒裏仕上げ） ※バルコニー軒天及び庇軒天も同仕様
階段 30分準耐火		ささら桁：スギ60厚 段板：スギ35厚 強化石膏ボード12.5厚
防火壁 1時間耐火	壁部	木材12厚（仕上げ） 強化石膏ボード21厚 強化石膏ボード15厚 屋外部は窯業系サイディング16厚を増し張り 強化石膏ボード15厚 強化石膏ボード21厚
	開口部	鋼製防火戸（特定防火設備） ※竪穴区画の開口部も同仕様
層間区画		層間スパンドレル約2m
外観		

４．３ 実験場および建物配置

木３学の本実験における実験場および建物配置について示す。

４．３．１　実験場

実験は、準備実験と同様、図 4.3.1-1 に示す岐阜県下呂市（岐阜県下呂市御厩野）にある民間企業の有する敷地の一部に実験建物を建設して実施した。

実験場内には、消火用の貯水場を２カ所設けた。



図 4.3.1-1　実験場周辺の様子

４．３．２　建物配置

実験建物は建物全体に延焼した場合を想定し、林縁部への放射熱が針葉樹の発火限界以下になるよう、実験建物と林縁部の離隔距離が 60m 以上となる図 4.3.2-1 に示す位置に配置した。実験場周辺部の植生は、図 4.3.2-2 に示すとおり、アカマツ群落およびスギ・ヒノキ・サワラ植林地となっており、比較的防火性が弱い植生となっている。

また、実験建物および観測小屋、やぐら（観測用）、消火用貯水池の配置を図 4.3.2-3 に示す。

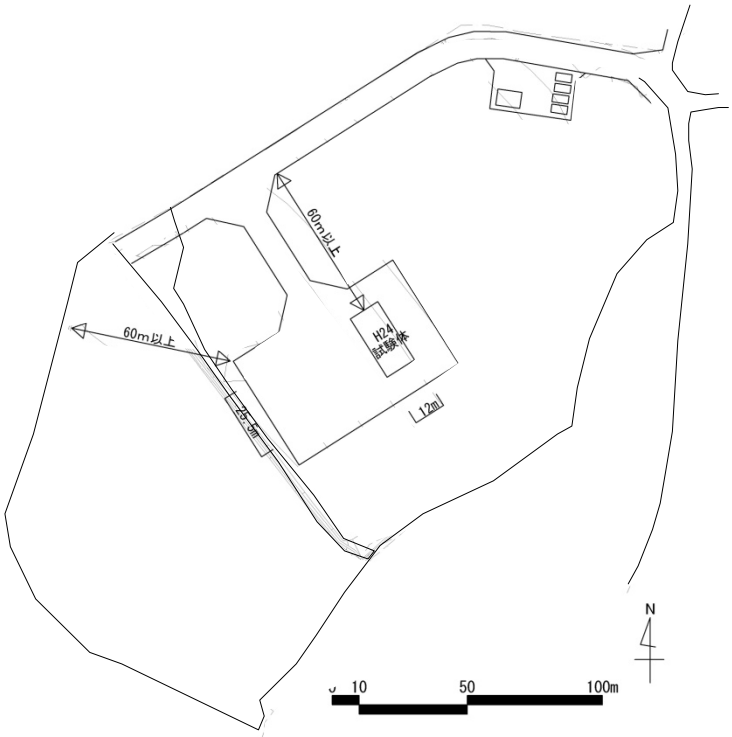


図 4.3.2-1　実験建物の配置

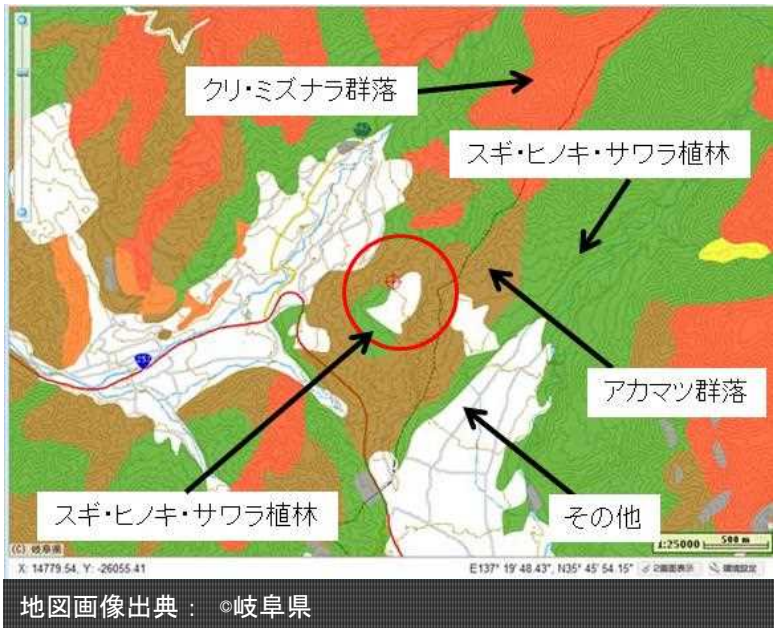


図 4.3.2-2　実験場周辺部の植生

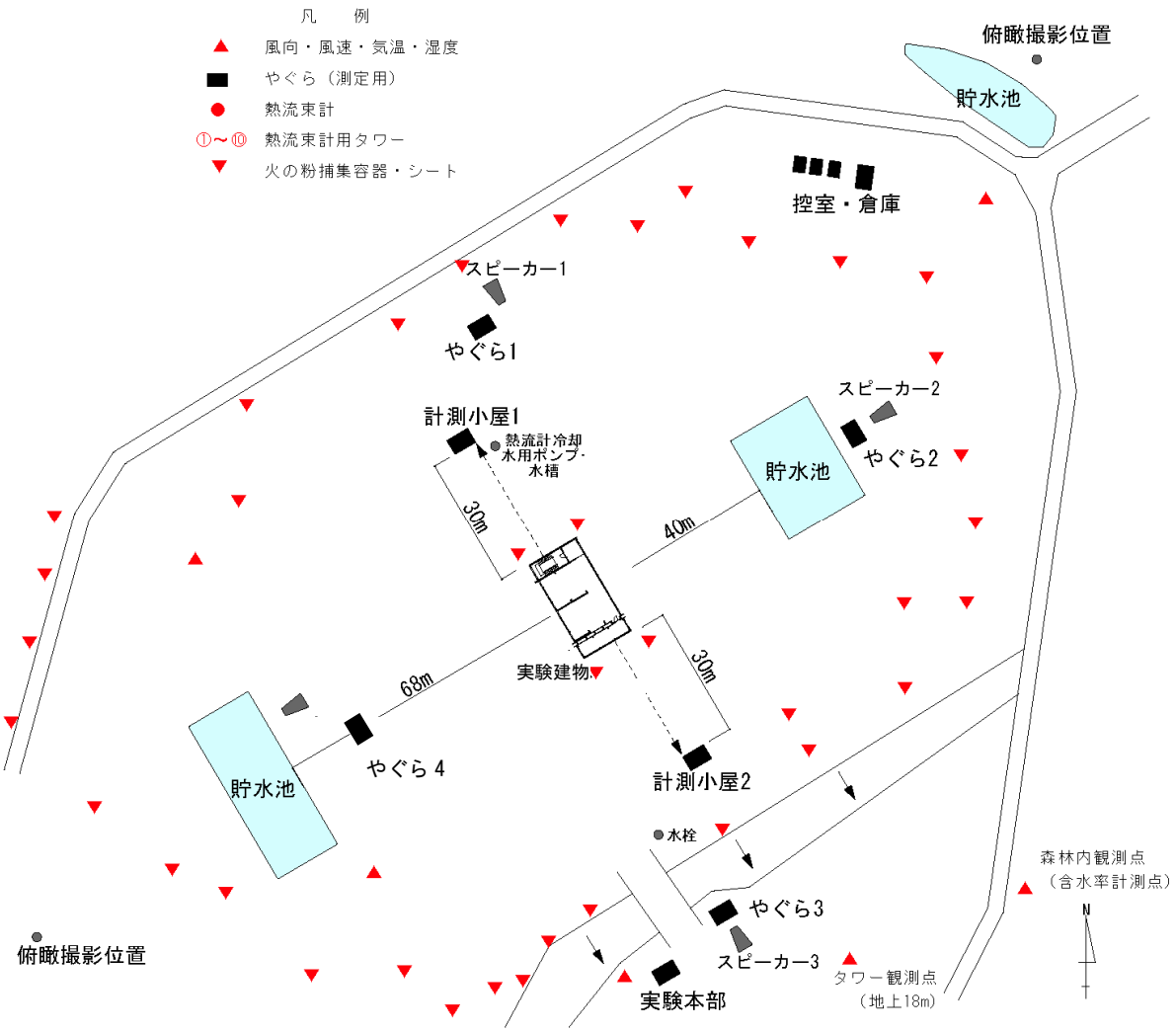


図 4.3.2-3　実験建物および観測小屋・やぐら・貯水池の配置

４．４ 実験条件

本実験における想定火災シナリオ、実験建物内に配置した収納可燃物、開口条件、点火源および点火方法、実験継続時間を以下のとおり設定した。

４．４．１ 想定火災シナリオ

本実験では、４．１に示したように、火災の進展と消火活動との関係が重要となる。そのため、過去に起きた学校火災において、最も多いケースとなる火災シナリオを想定し、そのシナリオに基づいた火災に対する安全性を本実験により確認する。

（１）出火原因について

総務省が公表する火災報告 1995 年～2008 年の 14 年間のデータを対象として調査を行った。

検索条件として、

1)「業態」で学校として、小学校、中学校、高校、大学、短大、高専を選択

2)「火災種別」で建物火災を選択

3)「放火・放火の疑い・火遊び、火遊び以外で無意識に火をつける」等を除く

条件により、14 年間のデータから、発火源、経過、着火物について、件数を集計した。

その結果、2,152 件の学校火災があり、発火源の上位３つは、

不明(547 件)、

たばこ(403 件)、

コード(49 件)

であり、不明とたばこで半数を占める。それぞれの経過と着火物を整理すると表 4.4.1-1、2 のとおりである。

表 4.4.1-1　学校火災で最も多い着火物（不明）と経過および着火物

発 火 源	経　過	着 火 物
不明(547 件)	不明(537 件)	不明(332 件)
		紙くず、藁屑(35 件)
		ゴミ屑(27 件)

表 4.4.1-2　学校火災で２番目に多い着火物（たばこ）と経過および着火物

発 火 源	経　過	着 火 物
たばこ(403 件)	不適当なところに捨て置く(301 件)	ゴミ屑(93 件)
		紙くず、藁屑(92 件)

これらの結果から、身近にある可燃物に着火していることがわかる。たばこについて経過と着

火物を整理すると、「不適当なところに捨て置く」ことで、「ゴミ屑」、「紙くず、藁屑」、「袋および紙製品」に着火している事例が多い。

次に、出火から消防機関が覚知するまでの時間は、24 時間(1440 分)内のデータを対象とすると、表 4.4.1-3 のとおりであり、出火後 50 分程度で消防機関が覚知している。

表 4.4.1-3　発火源と覚知までの平均時間

発火源	覚知までの平均時間(分)
たばこ(385 件)	50.0
不明(511 件)	52.8

2,152 件の火災を出火箇所についてみると、多いものから、表 4.4.1-4 に示すとおりとなっている。それぞれの出火源で主なもの（アンダーラインを付す）は、表 4.4.1-5 のとおりで、発火源は室の用途等によるが、共通して「たばこ」による出火が多いことが分かる。

表 4.4.1-4　出火箇所別の火災件数

理科室	383 件
教室	306 件
休憩室	211 件
体育館	173 件
一般倉庫	143 件
教職員室	81 件
廊下・階段	79 件

表 4.4.1-5　発火源と出火場所別の火災件数

	理科室	教室	体育館	休憩室	教職員室
発火源　＼　出火件数	383	306	174	210	81
不明	59	80	44	83	13
その他移動可能な電熱器	19	12	1	2	3
器具外付け安定器	0	0	11	0	0
扇風機	6	6	2	6	1
スポットライト	0	2	12	0	0
その他電気機器	10	6	1	1	0
コード	13	13	2	0	6
器具付きコード	14	4	3	7	0
ガステーブル	2	7	0	0	0
たばこ	13	32	41	64	22
観賞魚用ヒーター	0	19	0	0	0
溶接機	0	0	9	0	0

（2）学校における火災初期の想定シナリオ

発火源として、不明を除き最も多い「たばこ」を発火源に想定して、火災初期の想定シナリオを、

「たばこからゴミ屑や紙くず等に着火し、50 分後に消防機関が覚知できる火災に成長し、その後フラッシュオーバーして上階延焼する。」

と想定する。

ただし、火災報告からは、どのような方法で出火を確認して消防機関へ通報しているか、その段階でどの程度火災が拡大しているかは不明であるが、消防機関へ通報すると判断できる程度（例えば、写真 4.4.1-1 に示すように火炎が天井付近の高さになる等）に火災が拡大していると想定する。

（3）本実験での火源の想定

本実験においては、実際に事例の多いたばこ等の発火源からの出火は想定せず、発火源から着火物に燃焼拡大し、内装（木質内装を前提とする）に燃え移った後、収納可燃物に燃え広がる状況を想定する。

そのため、本実験における初期の火源は、木質内装が着火できる程度の火源を想定し、その周囲に実際の学校の職員室や教室で想定できる収納可燃物を配置する。

図 4.4.1-1 に木 3 学における火災初期の想定イメージを示す。予備実験および準備実験、教室実験、屋外区画実験の結果から、木質内装の室における火災拡大（発熱速度）を、消防が覚知後、放水を開始するまでの 20 分間上階延焼を抑制する性能を木 3 学に求めることによって、上階延焼による避難上の危険を排除する考え方である。



実験（点火後約 2 分）　予備実験(点火後約 2 分)　準備実験(点火後約 6 分)

写真 4.4.1-1　火炎片が天井に到達する程度のイメージ

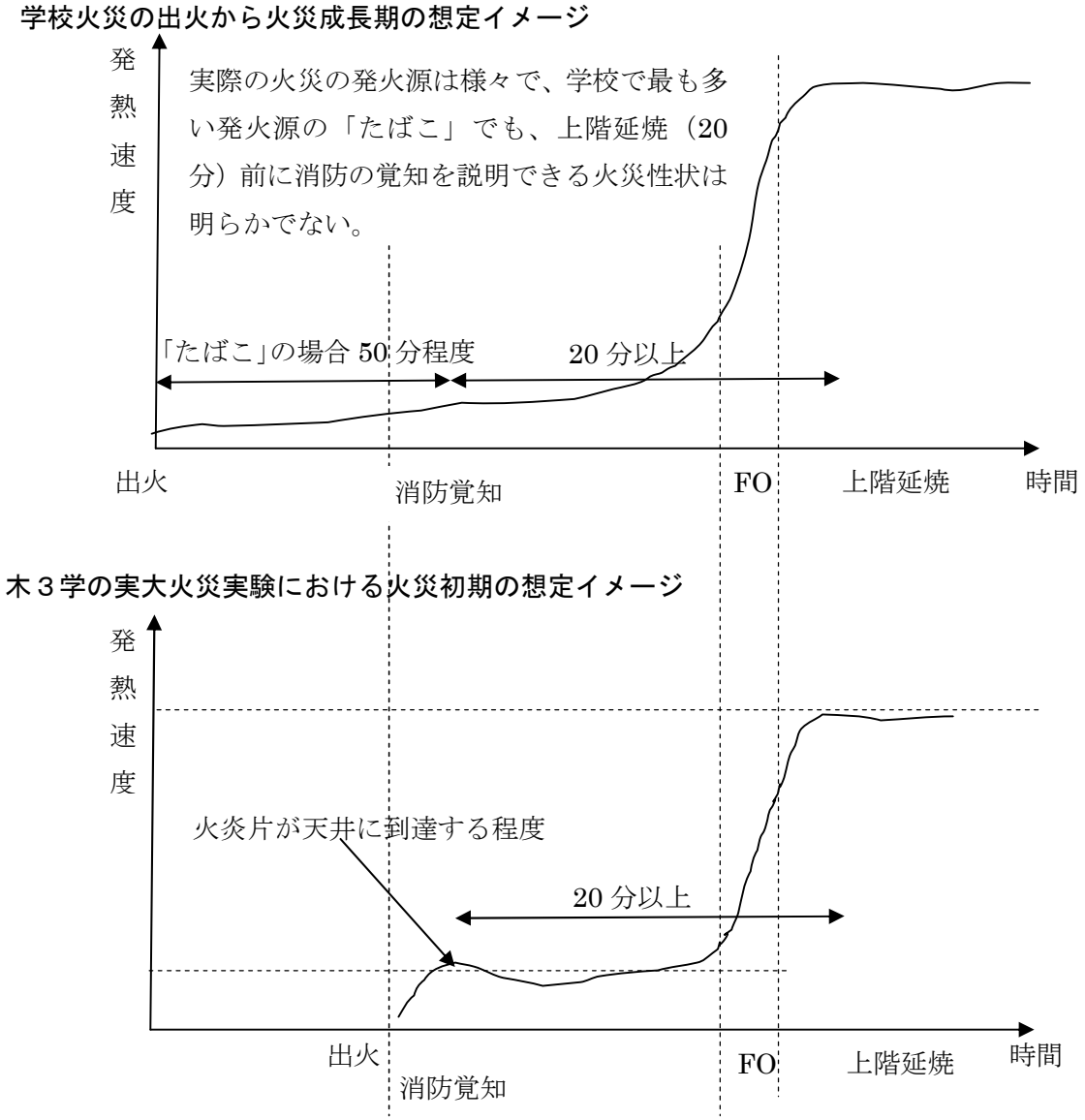


図 4.4.1-1　学校火災と木３学実大火災実験における火災初期の想定イメージ

４．４．２ 収納可燃物

収納可燃物については、予備実験および準備実験と同様、表 4.4.2-1～3 に示すとおり、各室の用途に応じて収納可燃物の発熱量を設定した。１階職員室では、実際のパーソナルコンピューターや机等の什器を可燃物として用い、収納可燃物量調査の結果をもとに、什器の発熱量（それぞれ 12,554MJ と 25,596MJ））を差し引いた発熱量に相当する木材重量を算出した。ただし、木材の発熱量を耐火性能検証法をもとに 16MJ/kg とした。この重量をもとに、含水率 15%前後のスギ材（0.027×0.105×0.75m）22 本（１段当たり２本で 11 段、約 18kg）を、書籍を想定して平行に並べ 0.21×0.397×0.75m の大きさに組んだクリブ(書籍型)とそれ以外の井桁状に組んだクリブ（一般型）の個数に換算して室内に配置した。各室の収納可燃物の配置を図 4.4.2-1 に示す。なお、本実験での収納可燃物量は、準備実験と同様に収納可燃物量調査の平均値を用いた。

表 4.4.2-1　各室の収納可燃物（1 階）

1 階	発熱量密度	木材換算密度	室面積	木材重量	クリブ(個)	
室名称	MJ/m^2	kg/m^2	m^2	kg	一般型	書籍型
職員室*	700	43.8	151	6120	39	308
廊下	32	2.0	56.6	252	13	0
階段室	32	2.0	32	144	8	0
昇降口	0	0.0	36	0	0	0

*　机＋椅子、パーソナルコンピューターを配置

表 4.4.2-2　各室の収納可燃物（2 階）

2 階	発熱量密度	木材換算密度	室面積	木材重量	クリブ(個)	
室名称	MJ/m^2	kg/m^2	m2	kg	一般型	書籍型
普通教室**	700	43.8	151	6120	65	106
オープンスペース	32	2.0	56.6	252	13	24
階段前ホール	32	2.0	16	72	4	0
階段室	32	2.0	32	144	8	0
教室	0	0.0	36	0	0	0

**　机(7kg)＋椅子(4kg)を 80 セット配置

表 4.4.2-3　各室の収納可燃物（3 階）

3 階	発熱量密度	木材換算密度	室面積	木材重量	クリブ(個)	
室名称	MJ/m^2	kg/m^2	m^2	kg	一般型	書籍型
普通教室***	700	43.8	151	6120	6	16
オープンスペース	32	2.0	56.6	252	0	0
階段前ホール	32	2.0	16	72	0	0
階段室	32	2.0	32	144	4	0
教室	0	0.0	36	0	0	0

***　机(7kg)＋椅子(4kg)を 20 セット配置



図 4.4.2-1　各室の収納可燃物の配置

４．４．３ 開口条件

開口部は、火災の初期には燃焼ガスが流出し、燃焼に必要な空気の流入する場所であり、火災の進展に大きな影響を及ぼすが、本実験では、予備実験および準備実験での想定とは異なり、４．４．１で想定した火災シナリオに従い、在館者があり、フラッシュオーバーが起こりやすい状況を想定して、図 4.4.2-1 に示す職員室の南側１スパンにある腰窓部分の引違窓を東側に寄せたままの状態とし、他の屋外および屋内の開口部の扉はすべて閉鎖して実施した。

なお、階段室と防火壁には煙感知器連動式特定防火設備が設置されているが、あらかじめ閉鎖状態にて実験を実施した。また、開口部には、カーテン等は設けていない。

４．４．４ 点火源および点火方法

本実験では、４．４．１で想定した火災シナリオに従いうように、火源として、0.5m 四方の鋼製のアルコールパンを写真 4.4.4-1 に示すとおり、壁と柱の隅角部に配置し、収納可燃物をその周りに設置した。着火前にアルコールパンにメタノール 4 リットルを入れ、トーチを用いて着火した。火源周辺の実験前の様子は、写真 4.4.4-2 に示すとおりである。

なお、第 2 火源は具体に想定はしなかった。



写真 4.4.4-1　実験前の火源周辺の様子



写真 4.4.4-2　実験前のクリブ設置の様子

４．４．５ 実験継続時間の設定

本実験では、予備実験および準備実験における実験条件である可燃物密度、開口寸法、建物の構造は大きく変えていないことから、予備実験および準備実験と同様な火災継続時間となると想定した。

４．５ 測定項目および測定方法

本実験における、気象、目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像、温度、熱流束、感知器、スプリンクラー、火の粉、主要構造部および区画の焼毀状況、圧力の測定方法および計測体制について以下に示す。

４．５．１ 気象

安全管理および火災性状に影響を及ぼす気象条件を把握するために、風向・風速・気温・湿度・降雨量について、図 4.3.2-3 に示す実験建物周辺の３点と、建物から南東に約 50m 離れたタワー観測点、（観測点高さ 18m）、実験本部および周辺森林内において測定した。測定に使用した気象観測装置は、写真 4.5.1-1 に示す米国 Davis 社製の Vantage Pro2 を用いた。

測定は、実験当日は 1 分間隔で、それ以前は実験実施の５ヶ月前から５分間隔で継続的（一部断続的）に測定し、測定データは気象観測装置内蔵のメモリに記録した。測定データについては、前述の観測点のうち、風について局所的な地形の影響が小さいと考えられる本部観測点と実験建物観測点（写真 4.5.1-2）での測定値を現地の気象データの代表値として取り扱うこととした。



写真 4.5.1-1 気象観測装置（実験建物観測点）



写真 4.5.1-2　気象観測点

４．５．２　目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像

実験時の火災の進展を記録するために、図 4.3.2-3 に示す４台のやぐらと２カ所のクレーン上部からデジタルビデオによる定点撮影、デジタルカメラによる 30 秒間隔の定点撮影と移動撮影および目視観察を行い、そのほか、観察者４名による移動撮影および目視観察を随時行った。

また、図 4.5.2-1 に示すとおり、１階の職員室２カ所、昇降口、階段と廊下に各１カ所、２、３階の階段室に各１箇所と普通教室(東)に各１箇所と普通教室(西)に各４箇所、２階オープンスペースに１カ所の計 18 箇所に CCD カメラ（一部写真 4.5.2-1 のとおり耐熱加工）を設置して定点撮影を行い、加えて観察者３名による移動撮影を随時行った。

測定にはサーモビューアを４台使用し、図 4.3.2-3 の各やぐらに１台ずつ設置した。使用したサーモビューアの仕様を表 4.5.2-1 に示す。設置にあたって、実験建物の全体を限られた視野で可能な限り撮影できるように配慮した。測定は、放射率を 1.0 として実験建物の外壁面付近の温度分布等を測定できるように視野を固定して 30 秒間隔で熱映像を撮影した。



写真 4.5.2-1　建物内撮影用 CCD カメラ（耐熱加工したもの）

表 4.5.2-1　測定に用いたサーモビューアの仕様と記録状況

計測点	計測位置	機種名	表示レンジ	記録状況	その他
やぐら１	西側	日本アビオニクス TVS-700	0-1200℃	熱映像とビデオ出力	高温測定対応（2000℃まで）
やぐら２	北側	NEC Avio赤外線テクノロジー H2640	0-1200℃	熱映像とビデオ出力	高温測定対応（2000℃まで）
やぐら３	東側	日本アビオニクス TVS-700	0-1200℃	熱映像とビデオ出力	高温測定対応（2000℃まで）、広角レンズ付き
やぐら４	南側	NEC Avio赤外線テクノロジー H2640	0-1200℃	熱映像とビデオ出力	高温測定対応（2000℃まで）、広角レンズ付き

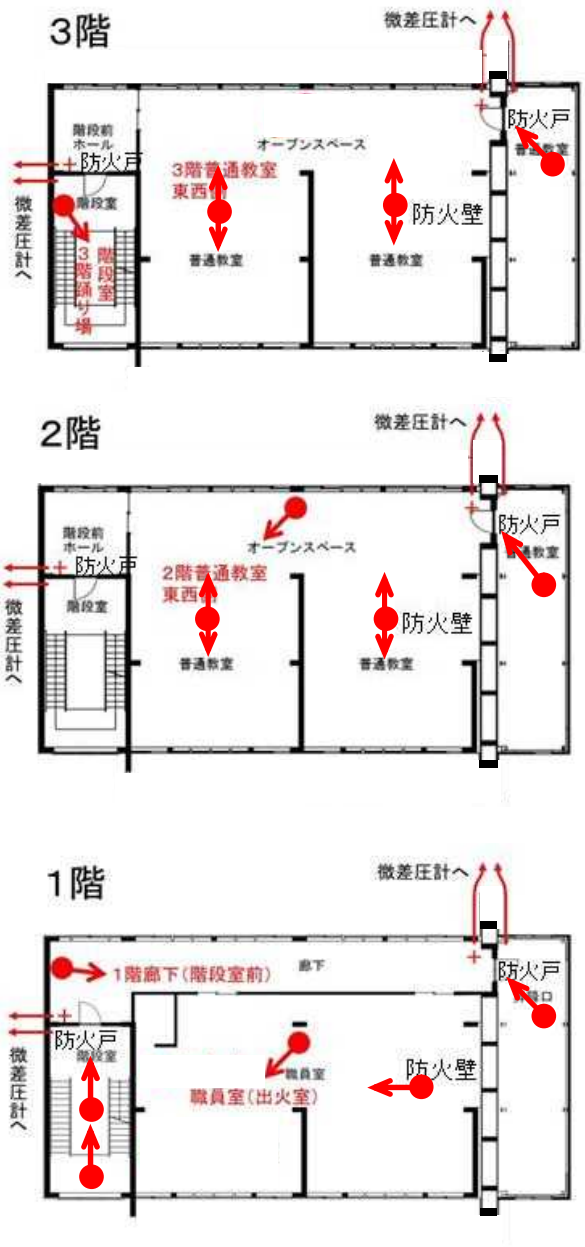


図 4.5.2-1　内部 CCD カメラおよび微差圧計の設置位置

４．５．３ 温度

温度は、

・避難安全性

・延焼拡大性状

・火災継続時間

を検討するために、建物内部に熱電対（JIS K 型 0.65mm 径）を、

・室内空間および部材表面に合計 240 点

・構造部および防火区画の耐火性能を検討するために部材をよび接合部に合計 318 点

・上階への延焼拡大性状を検討するために外壁面に合計 51 点

配置し、データロガーにより 2 秒間隔で収録した。

（１）建物内部の測定位置

建物内部の温度測定は、図 4.5.3-1～3 に示す位置で熱電対を用いて、セラミックファイバーで被覆した熱電対タワー（写真 4.5.3-1）で、1,2 階は FL+1.8m、FL+2.4m、FL+3.0m、FL+3.53m（天井面）の高さと、３階の床上 1.8m、2.786m、3.993m（天井下面）の高さ（棟付近は、床上 1.8m、2.786m、3.772m、4.757m（棟木下面））に設置した。天井高さの高い 3 階については、北側および南側は FL+1.8m、FL+2.531m、FL+3.262m、FL+4.757m （天井面で測定した。防火戸周辺の熱電対タワーについては、上記に加えて FL+0.05m、FL+0.6m、FL+1.2m の位置にも設置した。

平面的には、４m間隔の格子点を基本として熱電対タワーを設置し、防火壁の室内開口部にも設けて室内温度を測定した。防火戸付近および屋内熱流束計位置等に設けた（図 4.5.3-1）。

部材内温度は、床・壁・天井等の内部および被覆各層に熱電対を設置し、素線が直接熱せられないよう配慮して部材内部を通し、室内に露出する部分にはセラミックファイバーで被覆を行った。（写真 4.5.3-3、4）



写真 4.5.3-1 熱電対タワー



写真 4.5.3-2 熱電対設置の様子



写真 4.5.3-3 壁表面熱電対設置の様子



写真 4.5.3-4 熱電対配線の様子

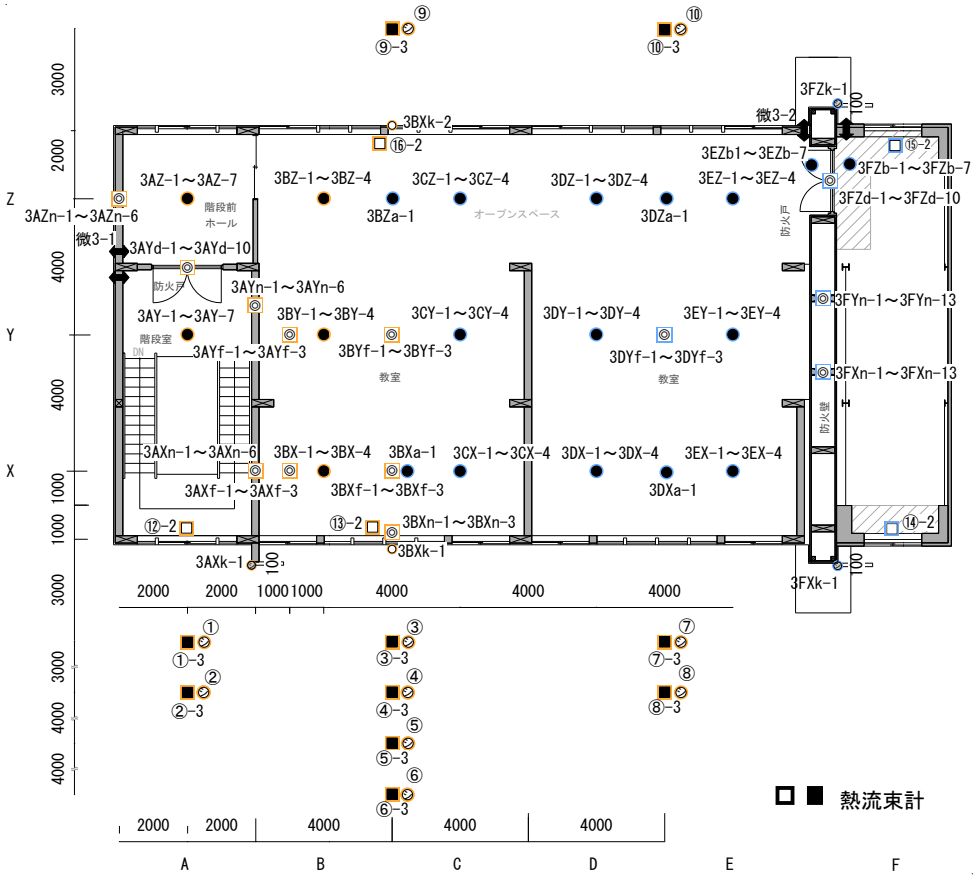


図 4.5.3-1　３階温度および熱流束測定位置

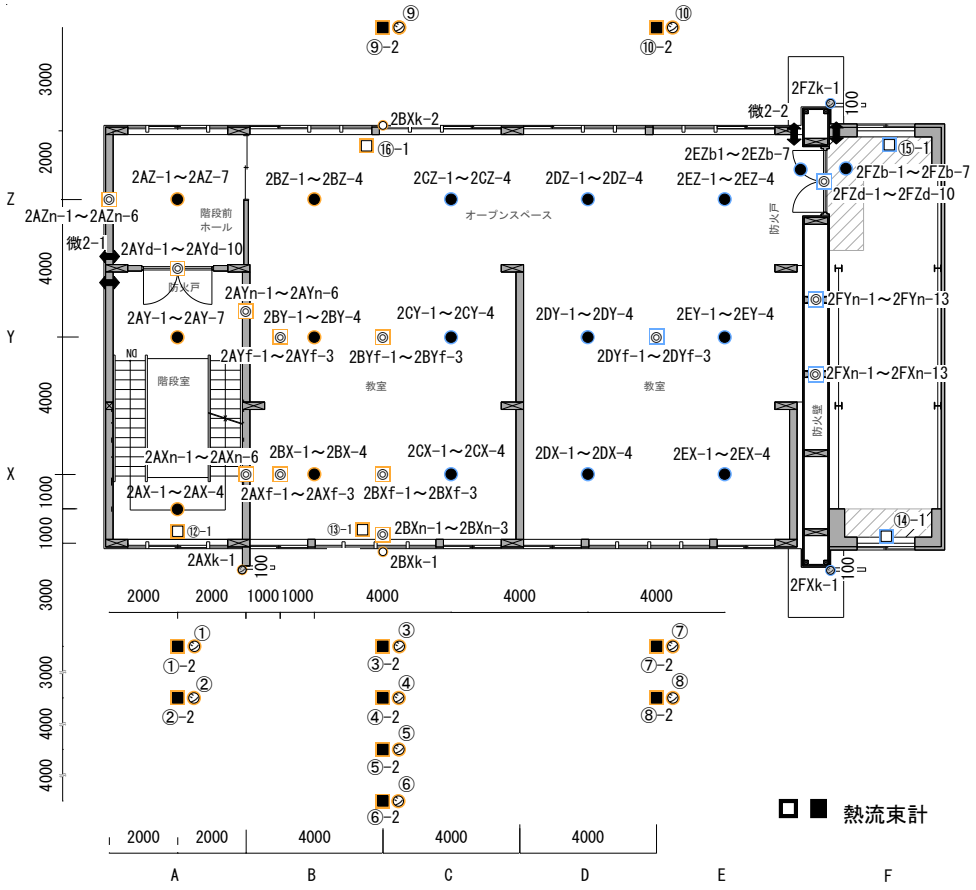


図 4.5.3-2　２階温度および熱流束測定位置

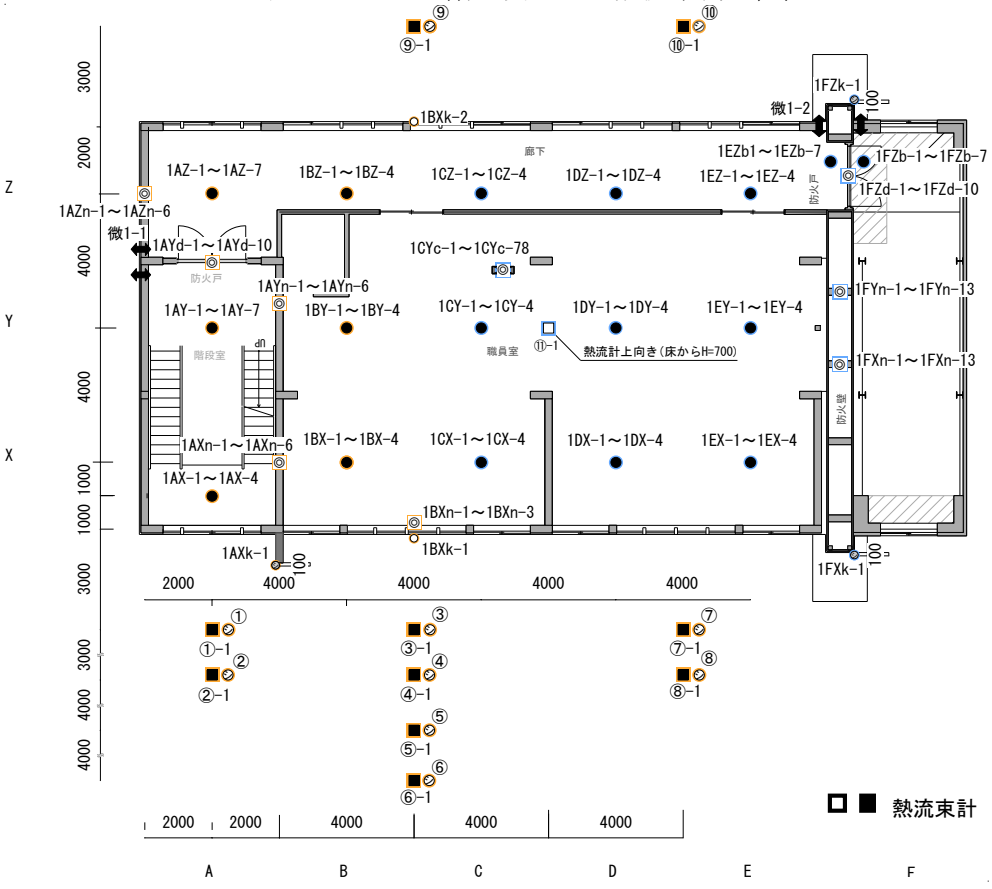


図 4.5.3-3　１階温度および熱流束測定位置

（２）部材温度測定位置

建物各部材の温度測定位置を図 4.5.3-4 に示す。主要構造部である床・屋根・壁の内部、防火壁内部および防火戸周り、炭化深さ評価用柱の温度測定を行った。各階部材温度測定位置を図 4.5.3-5～23 に示す。

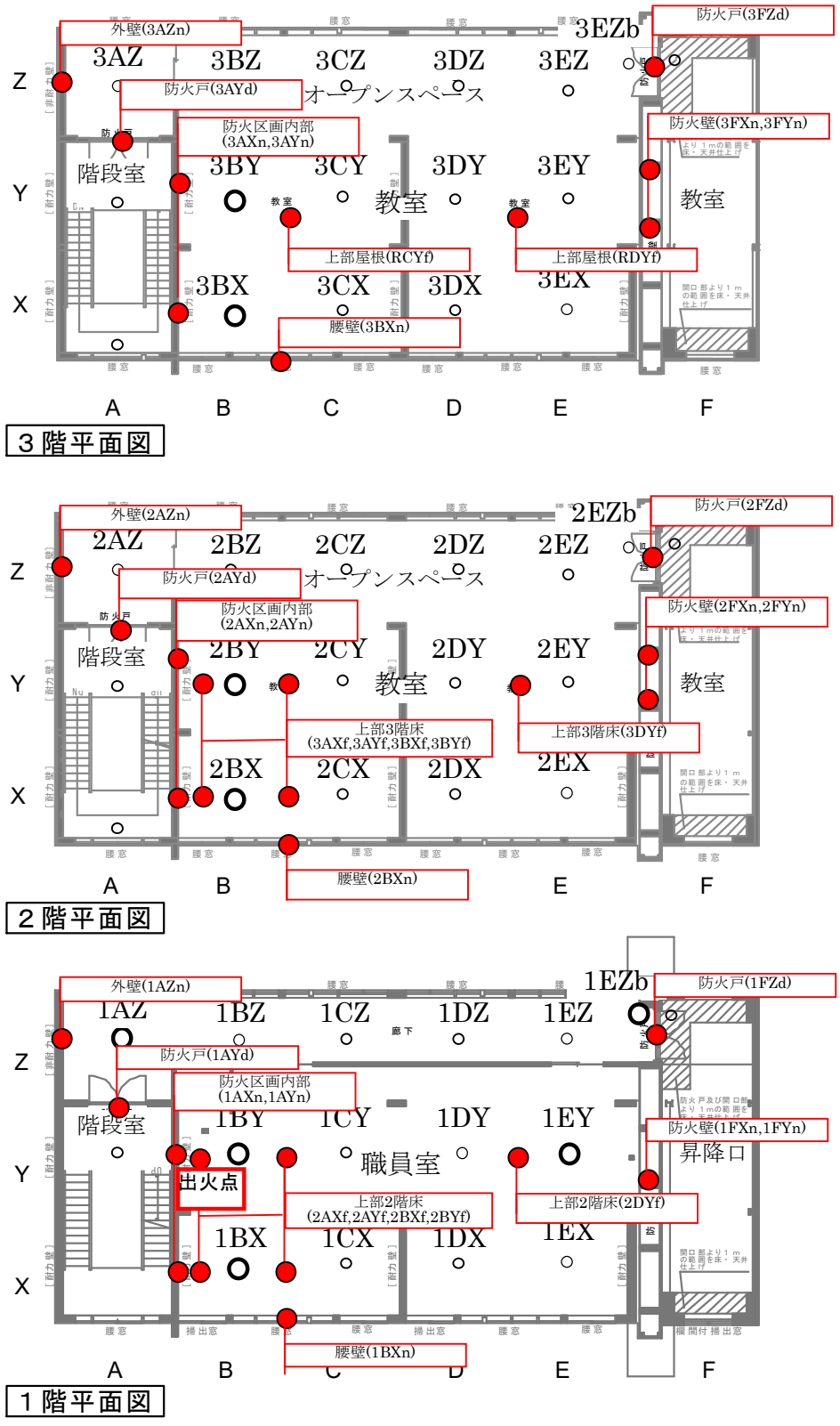


図 4.5.3-4　部材温度測定位置（平面図）

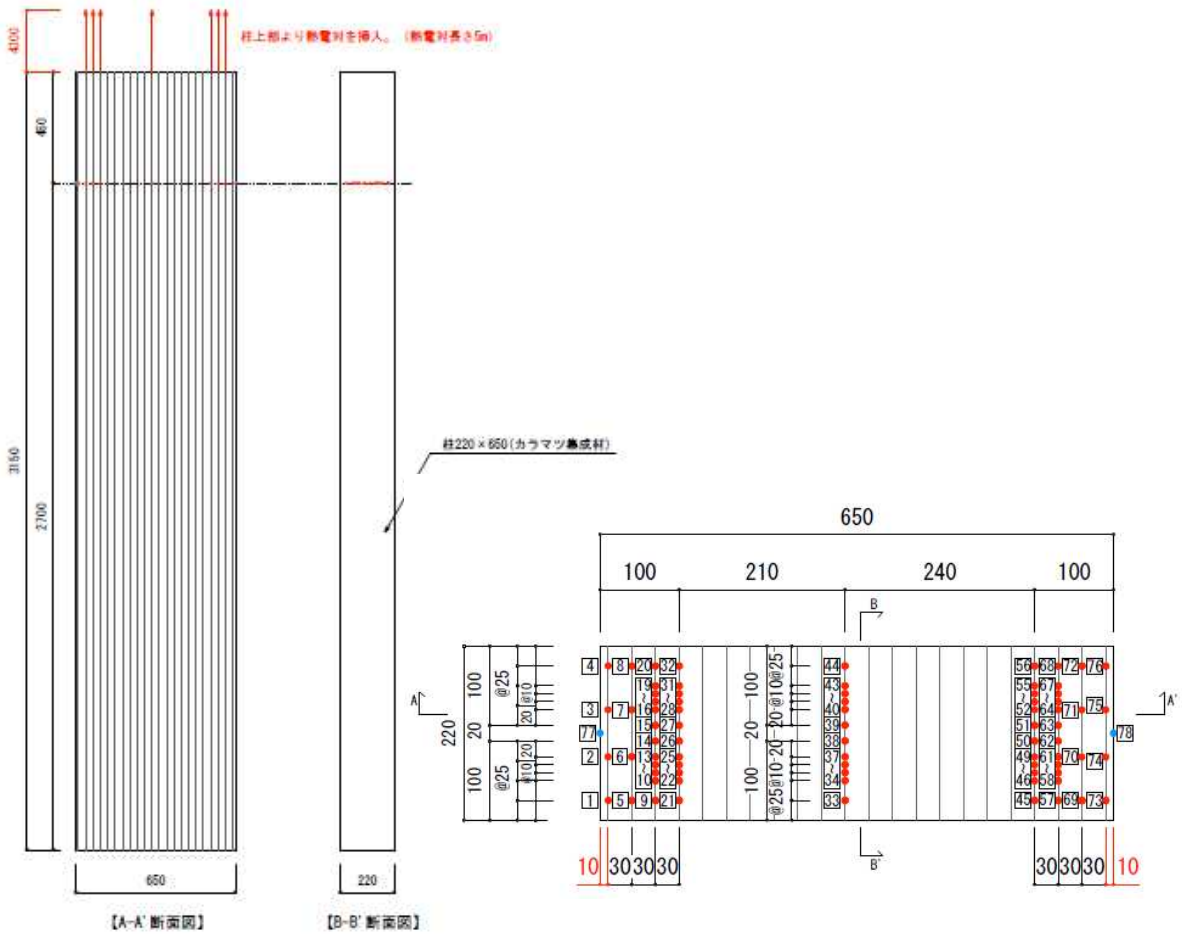


図 4.5.3-5　炭化深さ評価用柱温度測定点

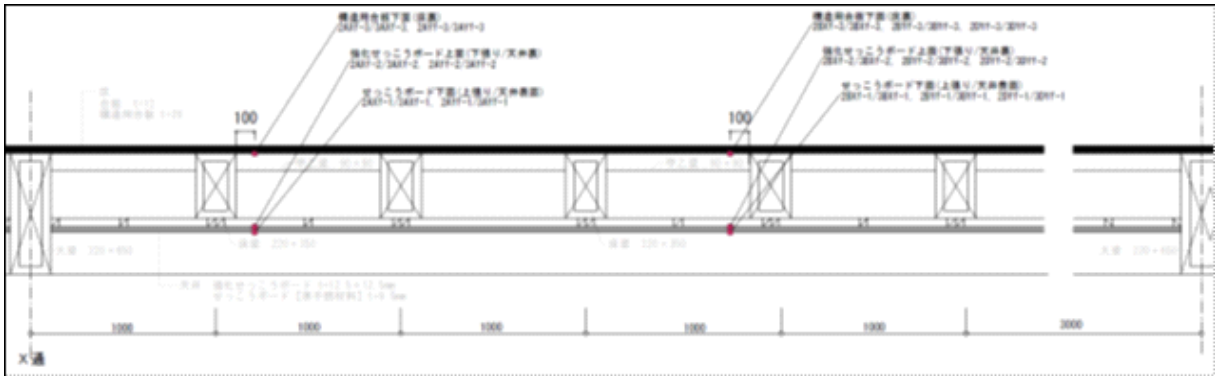


図 4.5.3-6　階床温度測定点（鉛直断面）

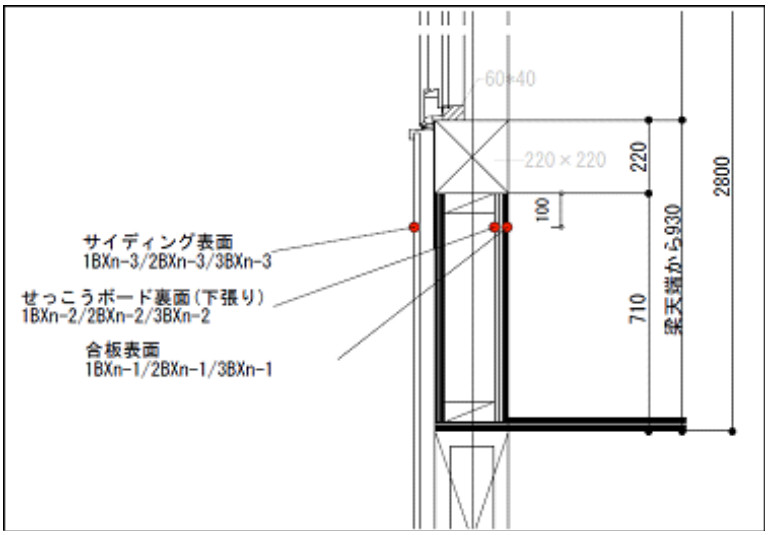


図 4.5.3-7　腰壁温度測定点（鉛直断面）

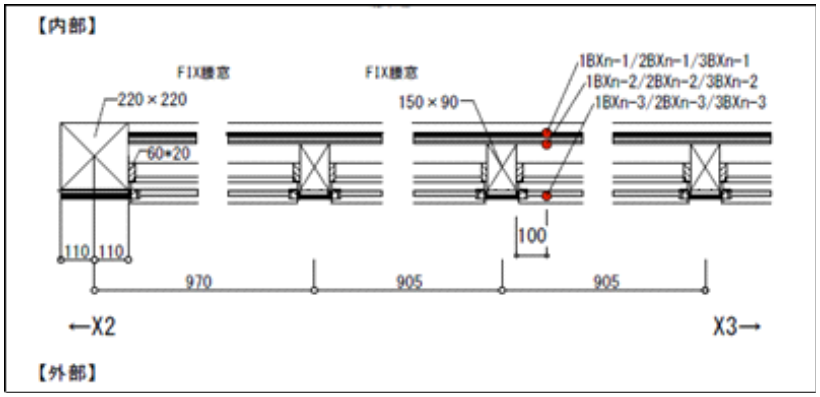


図 4.5.3-8　腰壁温度測定点（水平断面）

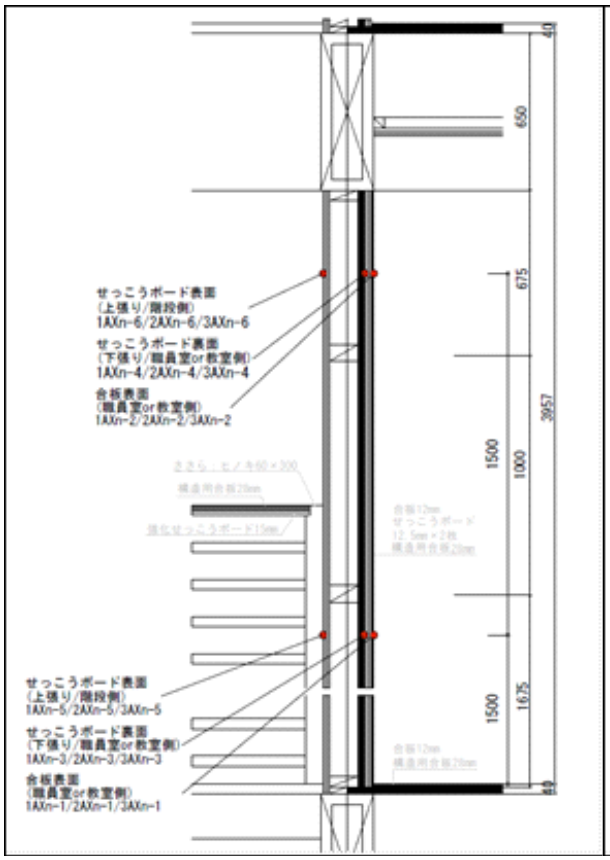


図 4.5.3-9　防火区画壁内部温度測定点
（北側）（鉛直断面）

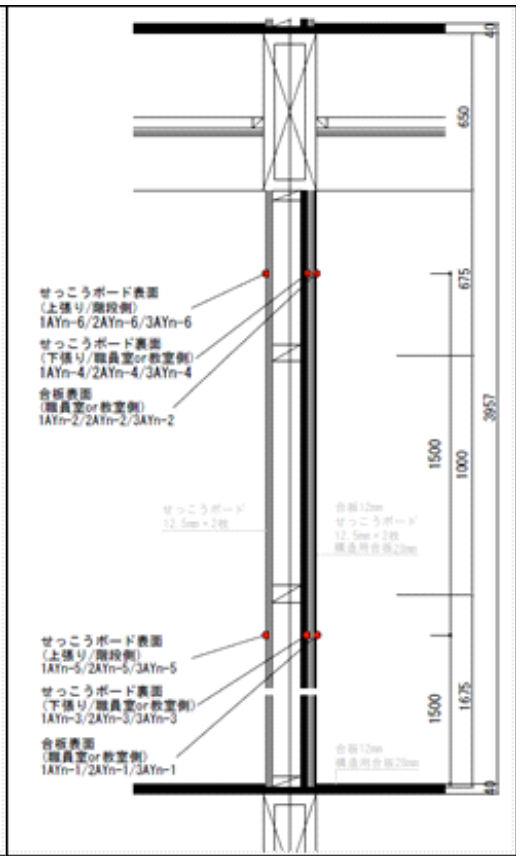


図 4.5.3-10　防火区画壁内部温度測定点
（南側）（鉛直断面）

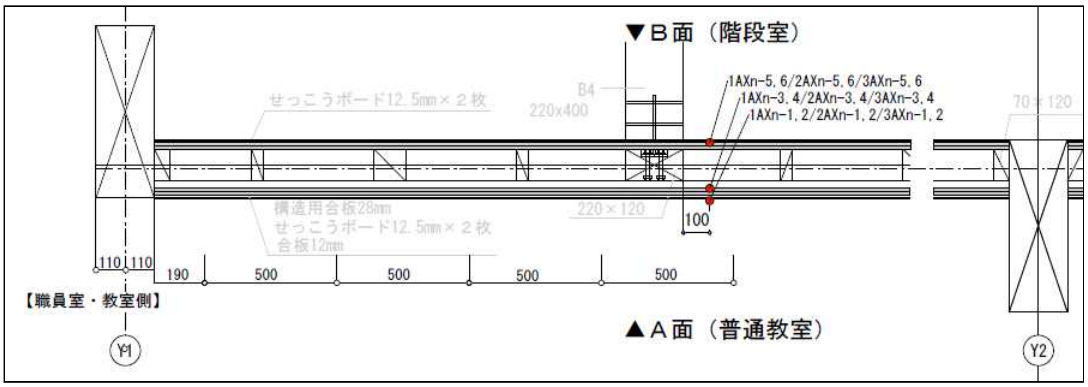


図 4.5.3-11　防火区画壁内部温度測定点
（南側）（水平断面）

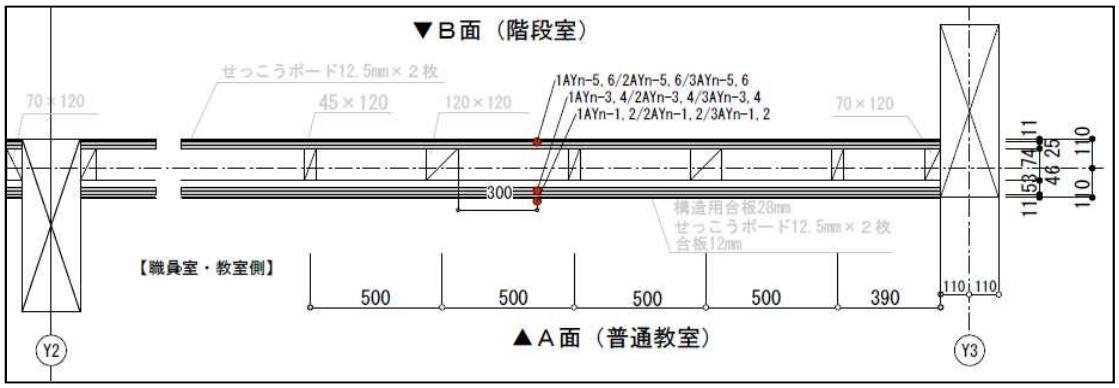


図 4.5.3-12　防火区画壁内部温度測定点
（北側）（水平断面）

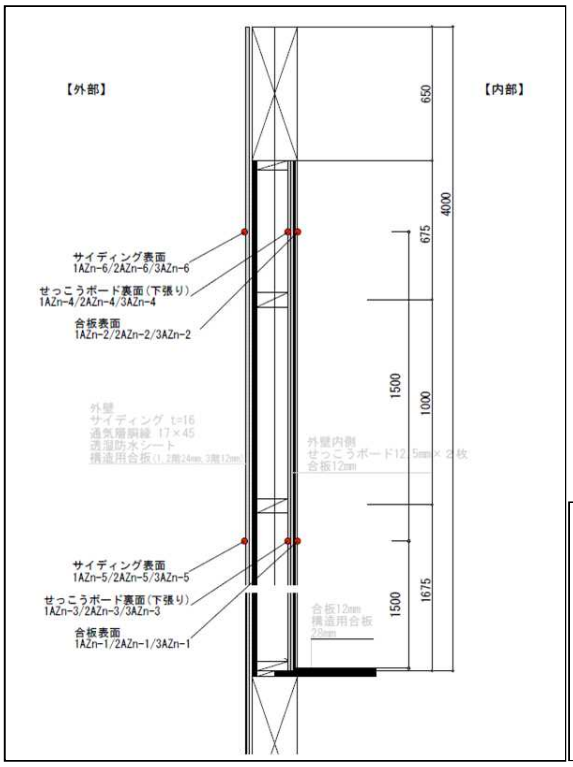


図 4.5.3-13　外壁温度測定点（鉛直断面）

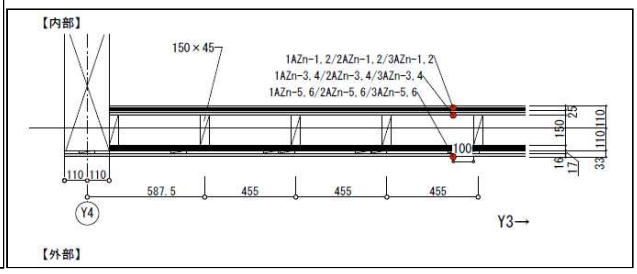


図 4.5.3-14　外壁温度測定点（水平断面）

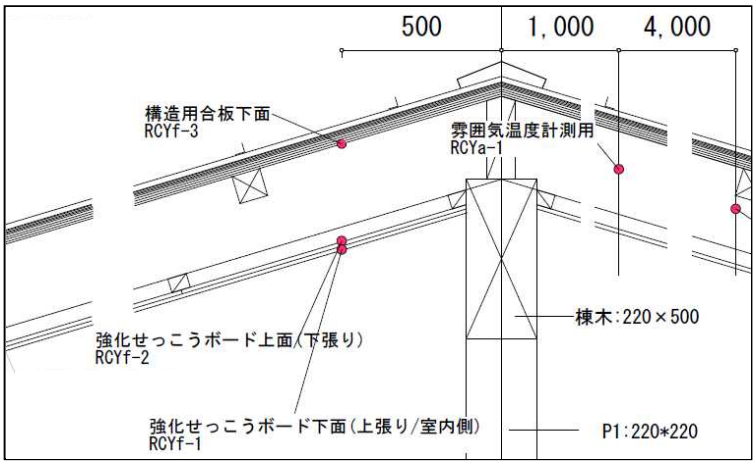


図 4.5.3-15　屋根温度測定点（鉛直断面）

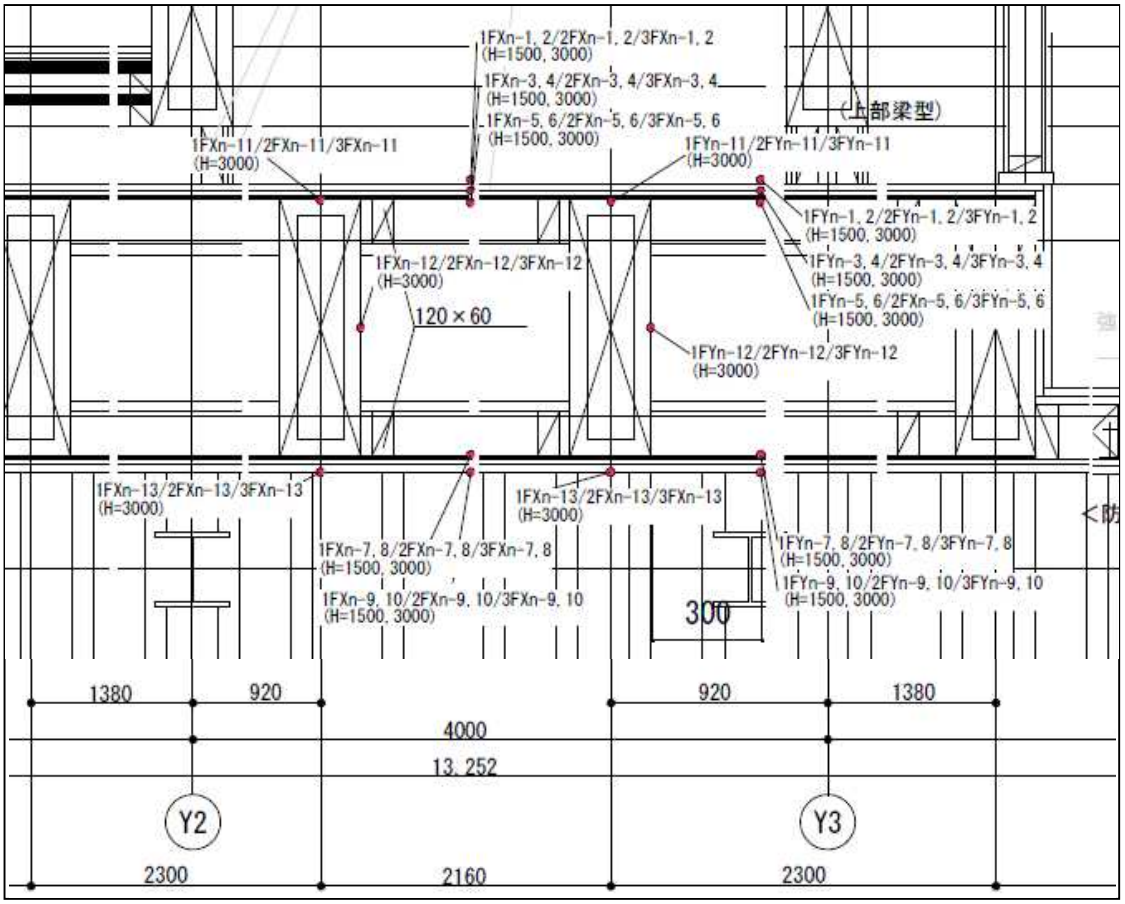


図 4.5.3-16　防火壁温度測定点（水平断面）

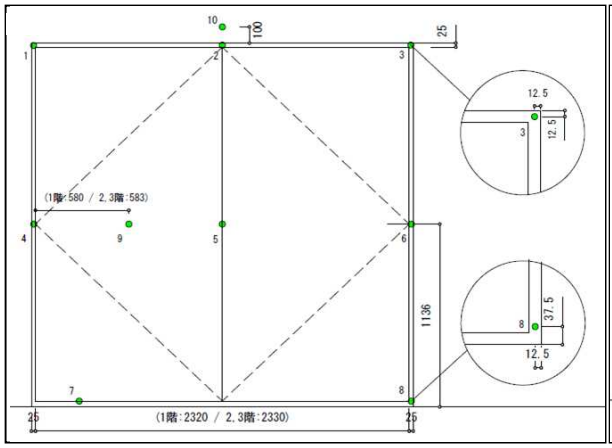


図 4.5.3-17　１、２、３階 防火壁部防火戸

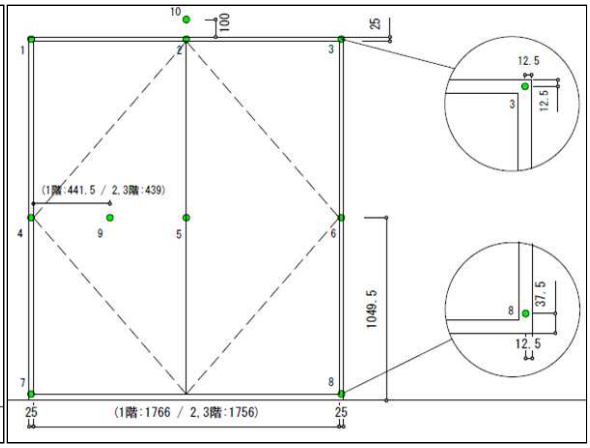


図 4.5.3-18　１、２、３階 階段室防火戸

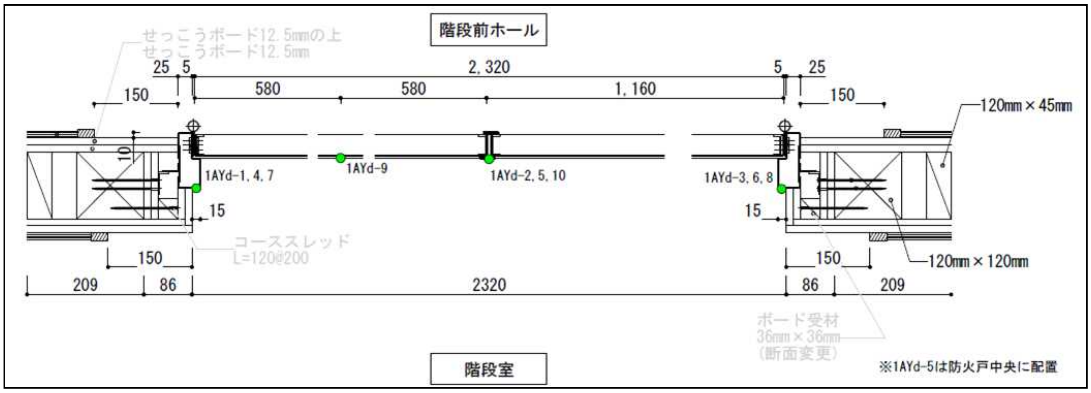


図 4.5.3-19　１階階段室防火戸（水平断面）

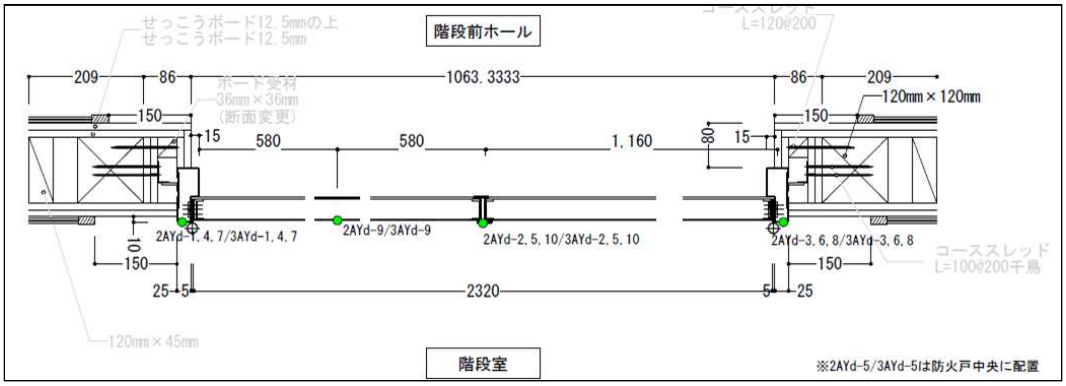


図 4.5.3-20　２、３階階段室防火戸（水平断面）

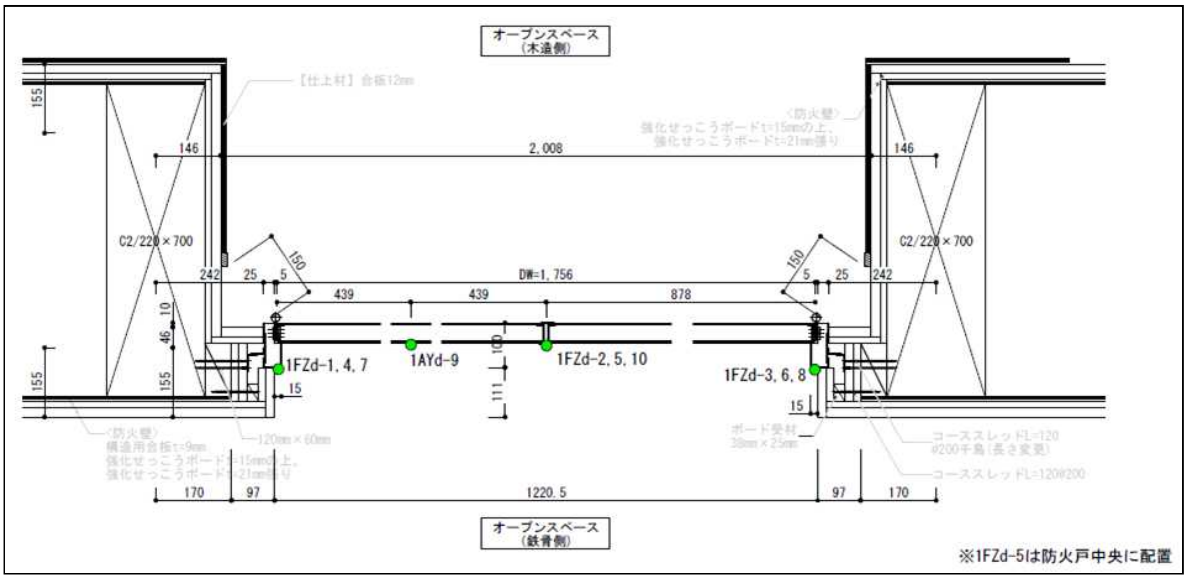


図 4.5.3-21　防火壁部　１階防火戸（水平断面）

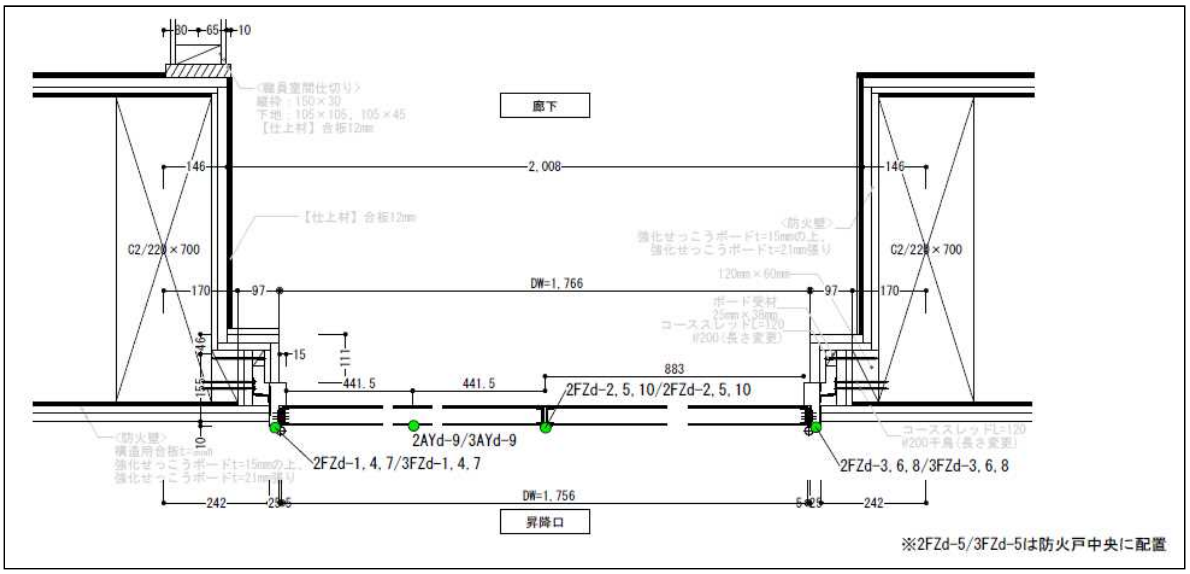


図 4.5.3-22　防火壁部　２、３階防火戸（水平断面）

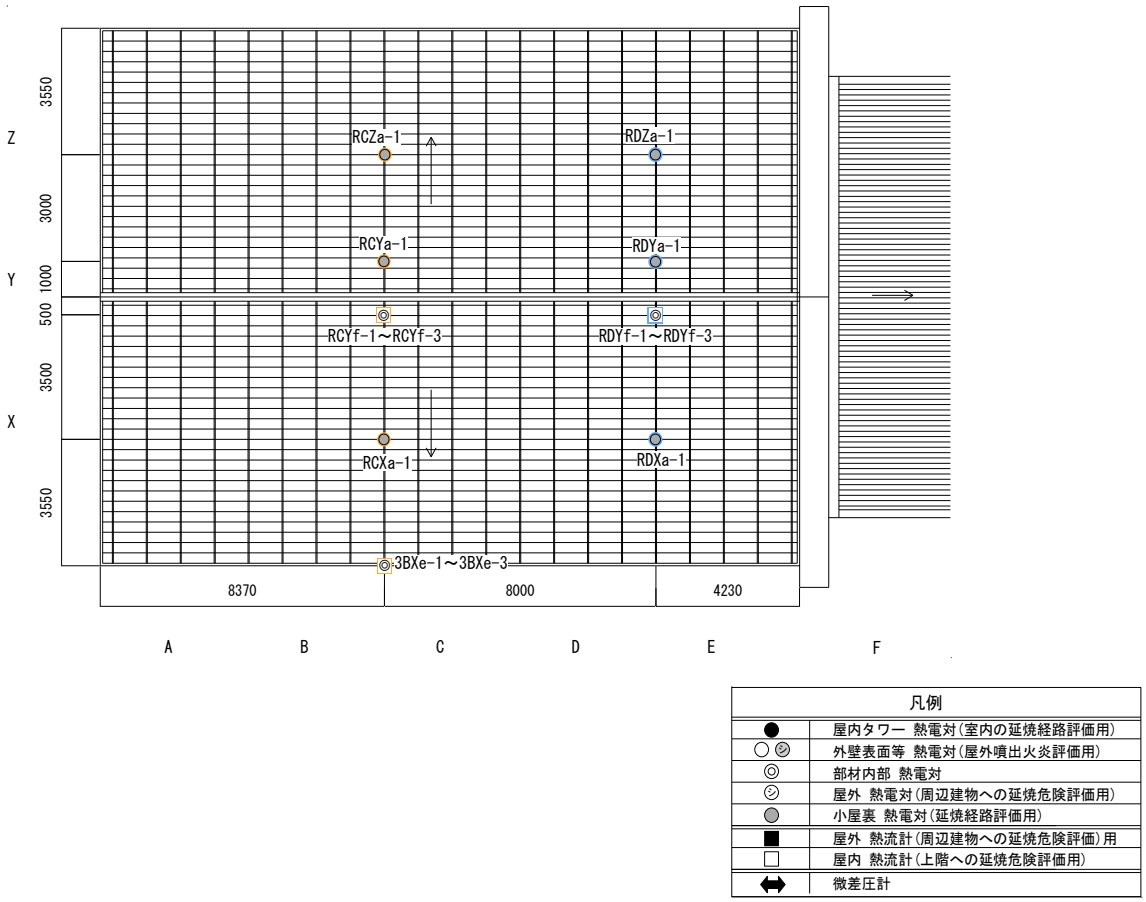


図 4.5.3-23　屋根内部温度

（３）建物外部の測定位置

建物外部の温度は、図 4.2.1-1、2、図 4.5.3-1～3 に示す外壁面および写真 4.5.4-5 に示す熱流束計タワーの位置で測定した。

４．５．４ 熱流束

熱流束は、

・燃焼拡大

・上階への延焼拡大性状

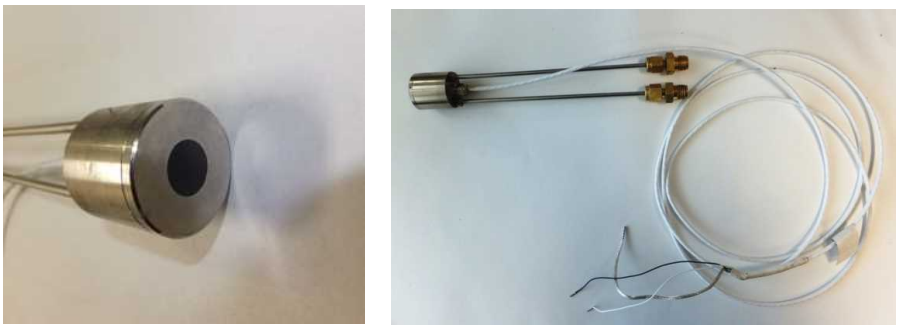
・建物周囲への加害性

を検討するために、熱流束計により測定した。

（１）建物内部の熱流束

建物内部の熱流束は、図 4.5.3-1～3 および写真 4.5.4-2 に示すとおり、職員室内の机天板レベル（H=0.7m、１点)に上向きに設置し、外壁開口を通じて室内に入射する熱流束を２、３階外壁開口部中央で床面より 1.86m の高さの室内に計 10 点熱流束計を設置して測定した。熱流束計は、写真 4.5.4-1 に示す水冷式熱流束計(フランジ無しタイプのシュミッド・ボエルター型、Hukseflux 社製、型番：CHF-SBG03-200)を用いた。熱流束計の測定レンジは、常用測定レンジ 0～200 kW/m^2、最高測定レンジ 300 kW/m^2 である。熱流束計は、写真 4.5.4-2 に示すとおり受熱部分を除き、セラミックファイバーブランケットで断熱し、高温雰囲気においても測定が継続できるように配慮した。

冷却水の循環システムは３系統を構築した。写真 4.5.4-3 に示すとおり、循環システム１系統に電動モーターポンプ(最大吐出能力：120L/min、最高揚程 50m、(株)工進製、型番：JM-25H)を 2 台設置し、定格時間内で交互運転して循環させた。冷却水にはグリセリンとエタノールを主成分とする凍結防止剤を投入し、低温下での冷却水の凍結を抑制した。



a)　センサー部　　b)全体写真

写真 4.5.4-1　熱流束計



a) 職員室　床面



b)　オープンスペース(背面)

写真 4.5.4-2　熱流束計設置状況



a)　冷却水用水槽



b)　配管設備

写真 4.5.4-3　冷却水循環装置

（２）建物外部の熱流束

建物外部の熱流束計は、写真 4.5.4-4、5、図 4.2.1-2、図 4.5.3-1～3 および図 4.5.4-1 に示すとおり、建物外壁から 3m、6m、10m、14m 離れた熱流束計タワー①～⑩(30 点）の位置で、開口部の中央に位置するように地上 2.9m、6.9m、11.1m の高さに設置した。熱流束計の仕様は、屋内のものと同一である。熱流束計タワーは、建設足場用金属パイプなどを組合せて構築した。熱流束計の配線および配管部分等はプラスティックフィルムなどを用いて防水処理をし、セラミックファイバーブランケットを用いて断熱した。

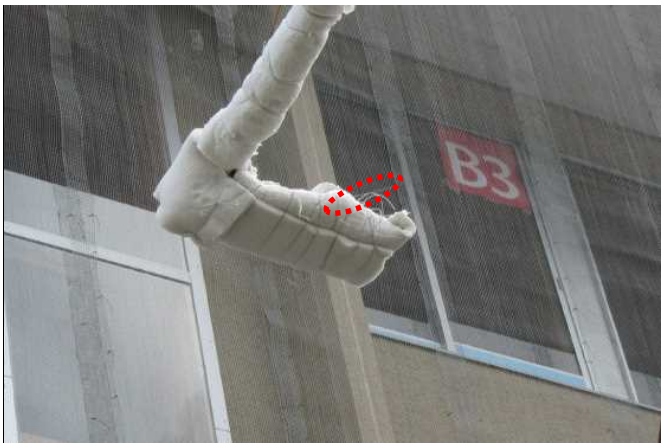
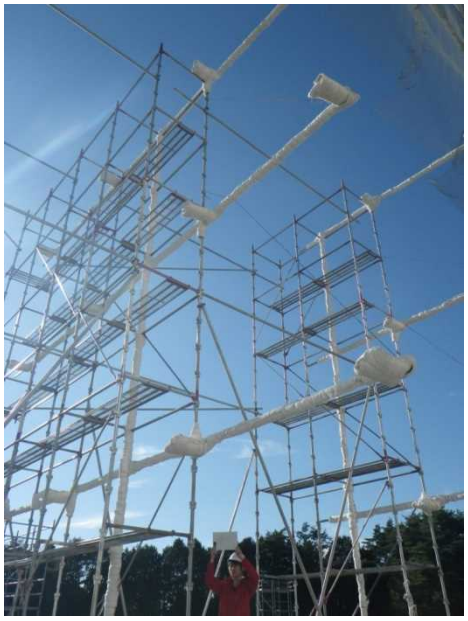


写真 4.5.4-4　熱流束計および屋外雰囲気温度測定用シース熱電対の設置状況



a)　熱流束計の設置状況



b)　タワー部分の被覆状況



c)　北側　熱流束計タワー



d）　南側　熱流束計タワー

写真 4.5.4-5　屋外熱流束計の設置状況

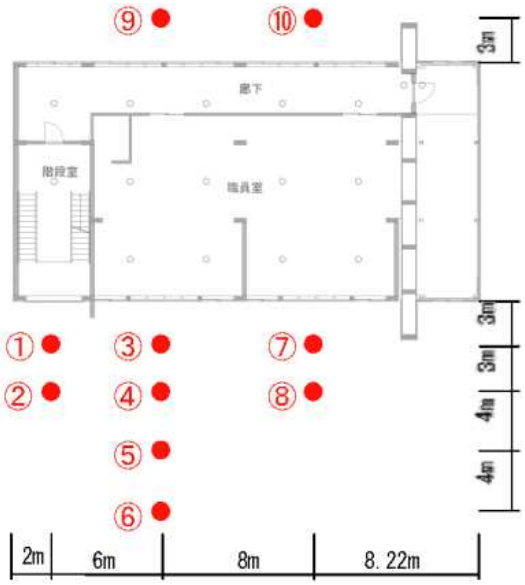


図 4.5.4-1　建物周辺における熱流束計と熱電対の設置位置

４．５．５ 感知器、スプリンクラーヘッド

準備実験と同様に、図 4.5.5-1 に示すとおり、火災の覚知時間を測定するために、出火室である１階職員室の天井に差動式スポット型感知器（２種）４個と光電アナログ式スポット型感知器（２種）２個、１階廊下と階段前ホールの天井に光電アナログ式スポット型感知器（２種）各１個、２階オープンスペース（東）の天井に光電アナログ式スポット型感知器（２種）と差動式スポット型感知器（２種）を各１個、２階階段室前ホールに光電アナログ式スポット型感知器（２種）１個、３階階段室の天井に光電アナログ式スポット型感知器（２種）１個を設置して、作動時間を測定した。

また、図 4.5.5-1 に示すとおり、初期消火のためのスプリンクラー作動時間を測定するために、１階職員室の天井にスプリンクラーヘッド５個を設置して、配管内に圧縮空気を充填し、スプリンクラーヘッドの作動による圧力低下により作動時間を測定した。

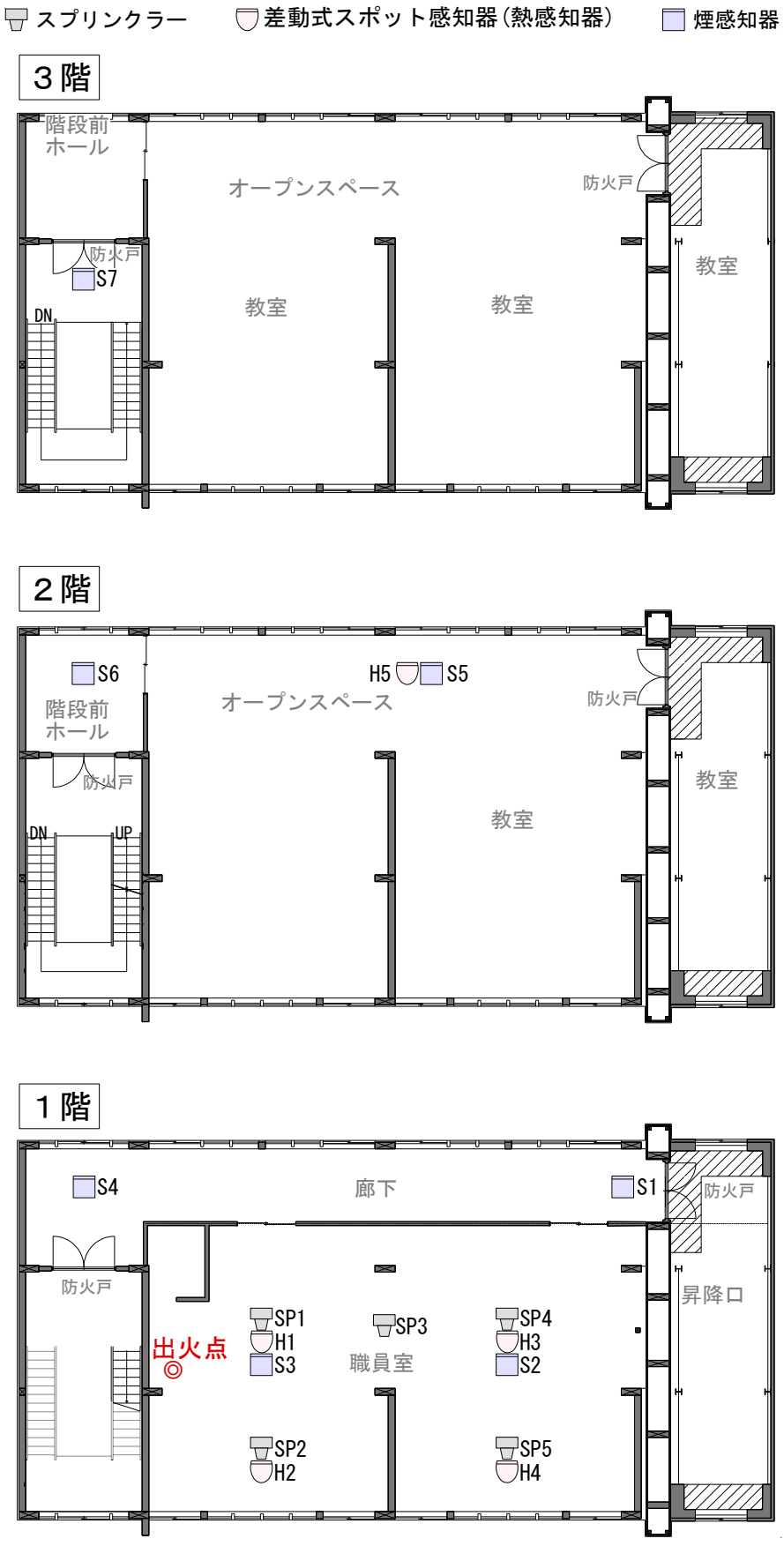


図 4.5.5-1　火災感知器およびスプリンクラーヘッド設置位置

４．５．６ 火の粉

実験建物から発生する火の粉の飛散、着床を測定することを目的に、火の粉による燃え抜けを留め、実験後にその状況（燃え抜けの大きさ、数）を手がかりに、火の粉の飛散、降積範囲を把握するように、図 4.3.2-3 に示す位置に写真 4.5.6-1、2 に示すビニールシート（２ｍ×３ｍ）を設置した。

予備実験では、火の粉は 1,500m 以上飛散した。これを踏まえ、実験建物から約 1,500m 以内の範囲の御厩野、加子母地区で飛び火警戒を行った。事前に実験場周辺の御厩野、加子母地区のビニールハウス（図 4.5.6-3、4）等の位置も確認した。

また、実験中は４名による実験建物の四方から火の粉の発生の有無を確認した。さらに、実験場周辺地区では、２名が車を使って機動的に移動し、煙流動や火の粉の移流の有無を観察した。また、ビニールハウスの監視も行った。



図 4.5.6-1　ビニールシート



図 4.5.6-2　ビニールシート配置状況

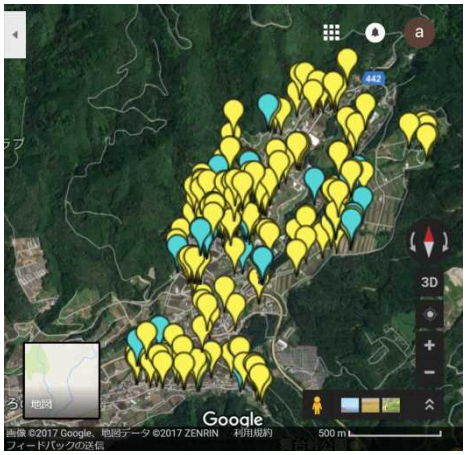


図 4.5.6-3　ビニールハウス（御厩野）

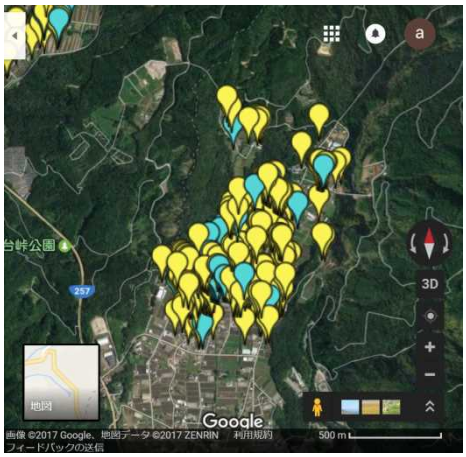


図 4.5.6-4　ビニールハウス（加子母）

４．５．７主要構造部および区画の焼毀状況

火災による実験建物の倒壊危険性を把握するために、消火終了後の実験建物主要構造部の残存断面を、部材の残存の程度に応じて測定した。測定は、消火後の建物を解体しながら、部材を取り出し、健全な木部と炭化部分を把握した。

４．５．８ 圧力

予備実験では、点火 1 分 30 秒後に 1 階昇降口の防火戸が少し開いたことが内部ビデオ映像により確認されている。そこで、本実験では準備実験と同様に、煙拡散性状を検討するために、各階の階段室と廊下の間および防火壁に設置された防火戸の近傍で防火戸を挟む区画間の差圧を測定した。本実験も準備実験と同様に防火戸を施錠して実験を実施した。

差圧の測定は表 4.5.8-1 に示す微差圧計を用い、各階の階段室と廊下の間および防火壁に設置された防火戸の近傍で行い、図 4.5.2-1 に示す合計 6 系統で測定した。

圧力測定用の銅管は写真 4.5.8-1 に示すように、外壁を貫通して床面から 50mm の高さに動圧の影響を受けないように設置し、出火室側を微差圧計の正圧出力側に接続した。微差圧計は、測定点にできるだけ近くかつ実験に伴う熱や部材等の落下により破損しないよう、図 4.5.2-1 のように壁面から垂直方向に銅管を延長し、壁面から約 12m の地中にアンプとともに埋設して（写真 4.5.8-2）、ケーブルを通じて観測小屋でアンプの出力を記録した。

表 4.5.8-1　微差圧計の仕様

微差圧計	アンプ	数量
バリダイン社圧力トランスデューサー DP103-12-N-3-S-4-D	クローネ社プレッシャーアンプ PA501-S	6



写真 4.5.8-1　微差圧計のチューブの端部









機器を収納して地中に埋設した

写真 4.5.8-2　微差圧計の配管

４．５．９ 計測体制

本実験における計測体制を図 4.5.9-1 に示す。計測体制はほぼ準備実験と同様に構成されたが、準備実験を踏まえ、やぐら上やフリーに観測する人員を増員し、計測スタッフ約 140 名を動員した。なお、安全管理体制も準備実験同様、自衛消防隊および安全警戒のスタッフと共に、地元消防による安全支援体制を組織した。

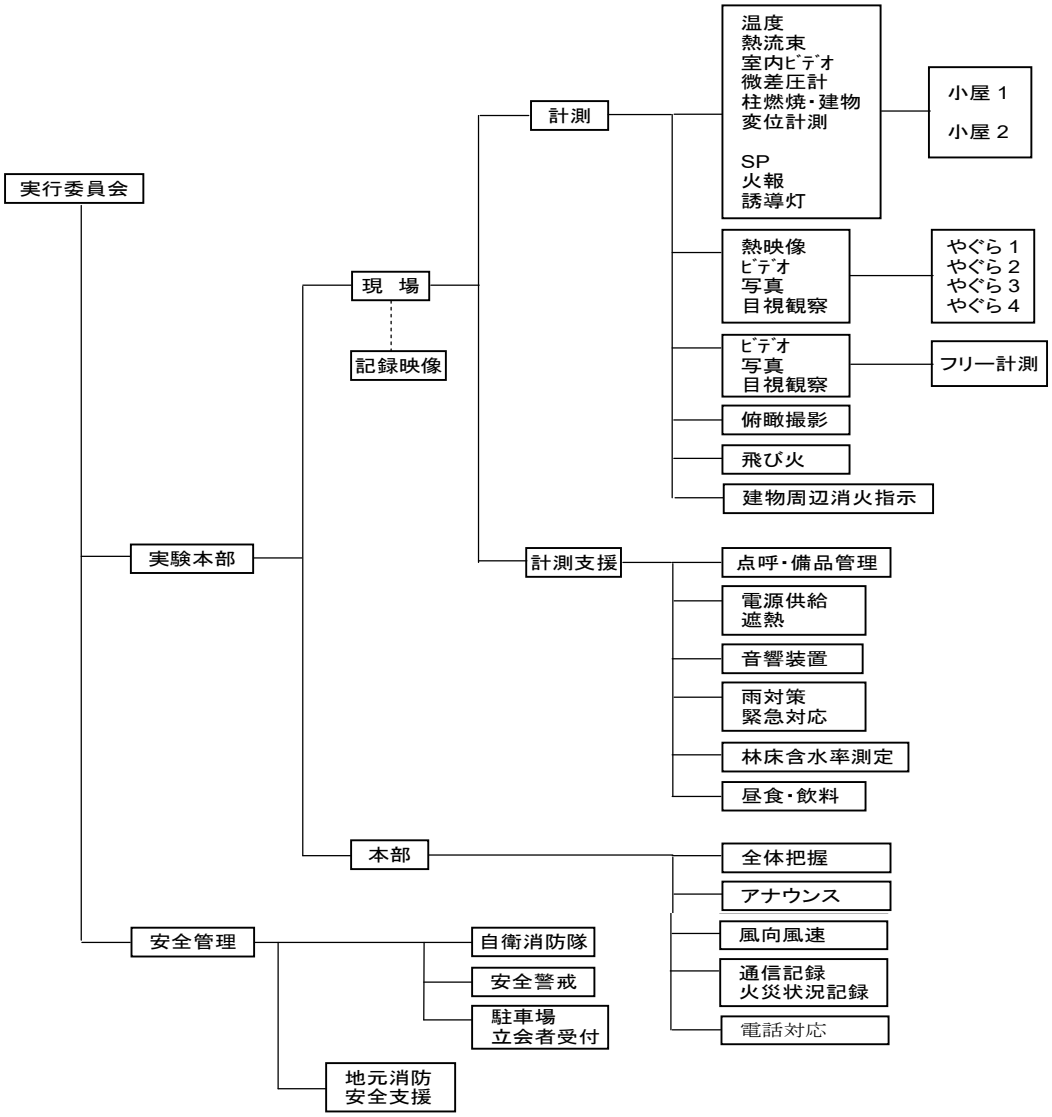


図 4.5.9-1　本実験における計測体制

４．５．１０　建物消火水量

木３学の建物を消火する際に、鎮火するまでに要した水量を計測する。

４．６ 安全管理

本実験を実施する上で、実験前に定めた安全管理計画および実施内容を以下に示す。

本実験で使用する建物は、基本的に準備実験と大きく違わず、準備実験において解決の見通しが立ったことから、準備実験における安全管理を基本とし、本実験として準備実験とは異なる条件に対して、より安全性を確保するために補足的な検討を加える。

４．６．１ 安全管理の目的と対象となる火災の概要

（１）実験における安全管理の目的

本実験を実施する上で、「火災安全上の支障がない」ようにすることを目的とし、事前に計画を立て、その計画に基づいて建物に点火する前の準備、実験中の管理、消火活動、消火後に残火等の問題がないように警戒等を含めて、準備実験の結果を踏まえて改善を加え、下呂市および中津川市、各消防、消防団、地域の協力者と連携しながら計画した。

なお、本実験では立会者があることから、実験実施者の消火活動や立会者を含めた避難計画等の緊急対応計画についても連携しながら計画した。

（２）安全管理の対象となる実験計画概要

本研究では、学校を想定した建物を設計および建設して、実大火災実験を実施する。

予備実験は、大規模木造の火災性状の把握を目的とした予備的な実験として実施された。予備実験により、大規模木造全体に燃焼が及んだ時の周囲への影響については把握できたため、準備実験と同様に本実験の実験建物は、３階建てとするが、建物規模を予備実験(延べ床面積 2,260 ㎡)の約 40%（延床面積：850 ㎡）とする。これは、予備実験では各階に教室が東西方向に一列に５室並んだ上、階段室が設けられていたが、本実験において確認すべき現象は、この規模の建物であれば十分代表するものであることから、教室は各階２室および防火壁を隔てた部分を教室として 1/2 の幅である準備実験に用いた建物と同じ規模の建物規模を設定した。

（３）予備実験での課題と対策

予備実験で克服すべき課題は、

1. 多量の飛び火の発生
2. 窓からの噴出火炎による上階への延焼、
3. 火災の建物内拡大を防止および遅延させるための防火区画の信頼性の確実化

の３項目であった。

これらに対して、準備実験では、

・大断面集成木造を主要構造部とすることで多量の飛び火の発生を回避
・開口部に火の粉飛散防止の金属ネットおよび屋根葺き材の補強
・実際に学校で使用される机および椅子等の什器を調達し、内装不燃化
・開口噴出火炎による上階延焼防止対策として庇およびバルコニーの設置

を行い、その有効性が確認できた。

本実験では、部材実験および教室実験によって基準化に向けて検討した仕様を採用し、基準内容の実用的多様化を目指すことを主な目的とする。そのため、本実験の実験建物は基本的に準備実験と同じであるが、建物仕様として、

1) 上階延焼抑制を目的として開口上部に設置したバルコニーおよび庇を本実験では省くこと
2) 防火壁（１時間耐火構造）および階段室防火区画（１時間準耐火構造）に設ける扉を、準備実験では、火災加熱による変形が少ない片開き木質防火戸としたものを、本実験では両開き鋼製防火戸とすること
3) 内装は、準備実験では天井および壁を不燃材料（小梁は木現し）としたのを本実験では天井を準不燃材料（小梁なし)、壁を木質とすること

について、その効果を実大規模の実験により確認する。

（４）想定される火災性状と加害性の範囲

準備実験においては、バルコニーおよび庇が高い延焼抑制効果を有することが確認できたが、木造学校の設計内容として自由度を高めるためにはバルコニーおよび庇によらない基準の必要性も高く、バルコニー等によらない上階延焼遅延対策を教室実験で検討したところ、内装の制御により一定の効果を上げられる見通しが得られたこと、また、学校の防火戸として一般的な鋼製防火戸で支障を生じないようにできる見通しが部材実験で明らかになったことによる。

各室内で使用する家具および可燃物等については、基本的に準備実験に準じ、職員室想定の１階居室にはスチールデスクと可燃物相当量の木材を使用し、教室想定の２階居室には一般的な教室机に木材を併用するが、３階のみは家具および可燃物相当量の荷重を不燃物で代替し、内装も不燃化した。

建物内に火災が拡大し、開口部に噴出火炎が形成されるに従い、周囲に対して放射熱および火の粉の飛散による飛び火および建物の倒壊による影響が想定される。敷地に必要とされる広さは、放射熱により周囲の建物や樹木等へ着火しないこと、建物倒壊により周囲の建物や樹木等へ着火しないことを条件とした。

特に、火の粉の飛散については、予備実験および準備実験の検討から、別項に定める対策の追加検討ほか、十分な人的体制を整えた。

（５）実験敷地の条件

本実験を実施する上で、建物の規模、実験の目的から、以下の条件が敷地に要求されることは予備実験、準備実験と同様である。

実験敷地については、準備実験と同じ場所で、下呂市および中津川市の協力を得て、岐阜県下呂市にある牧草地（民間企業所有地）を引続き使用する。

４．６．２　安全管理の枠組

（1）組織と体制：実施の条件等について

・公開・非公開：立会者を限定した公開とする。

・実験関係者：延べ 350 名（マスコミ等含む。ただし、消防関係者（別項）を含まず。）

・危険の種類：火、熱である。

・危険区域、安全区域の設定：実験建物周辺は一般立ち入り禁止、指定区域以外は安全区域とする。

・実験および調査スタッフに対する安全教育：災害防止のため関係者の監督、実験時の火熱に対する担当者、見学者の安全対策を徹底する。

・協力機関との安全対策協議：会議等の場で協議し、安全管理組織を決定する。

・関係官署との安全対策協議：現地関連機関として国道を管轄する県土木事務所、消火体制等の構築にともなう市役所（支所、地区の区長などを含む）および警察署である。実験終了時の消火活動並びに飛び火対策と揚煙届けを行う消防署と協議する。

・実行委員会：総合的な安全体制として、実験実施者で実験に当たる研究者および関連行政機関、地元自治体より成る実行委員会を設置する。

・実行委員会の機関と独立な消防研究者および山林火災の専門家を委員として招聘し、安全計画上の助言および指導を受けることとした。

・立会者対策：公開であるが、実験時には危険区域を指定して立ち入りを全面的に禁止する。

・近隣民家および住民への周知：実験そのものへの理解を得るための説明会を開催するとともに、実験日の事前に予め実験の趣旨および安全性に関する周知を行う。

（2）建物の配置等

本実験の実験建物は、準備実験と同じ規模および工法とする。これにより、基本的には準備実験に準じるが、仕様変更にともないその一部については、同等以上の消防消火計画を作成する。

（3）火の粉の飛散対策

安全計画の観点からは、基本的に火の粉を発生させない実験とすることは準備実験と同様である。火の粉の発生原因には次の 4 点があげられる。

a. 建物の崩壊

b. 大量の可燃物の炎上

c. 有風下の火災

d. 建物上方での炎上

これらを前提として、本実験においても以下の 1）～ 3）の 3 段階の安全対策および対処を行う。

1）敷地外に火の粉を飛散させない対策

2）火の粉が飛散しても被害を発生させない対策

3）火の粉による被害が発生した場合の対処

1） 敷地外に火の粉を飛散させない対策

・実験建物の対策（火の粉を発生し難い構法）

建物規模を予備実験の約 40%（準備実験と同じ）とすることにより、全体の燃焼規模が縮小され、建物周囲に対する放射熱の影響や延焼可能性は全体的に低下する。また、予備実験の実験建物は、約 1/3 が枠組壁工法、2/3 が大断面集成木造による軸組工法であったが、予備実験では、実験建物の枠組壁工法部分の最上階から小屋裏に延焼した後、小屋裏内の木造部材が急速に燃焼し、屋根の崩落を引き起こしたことが大量の飛び火の発生を招いた。これに対して、大断面集成木造による軸組工法の部分は、屋根の下に天井を設けない構造となっており、屋根および屋根を支える小屋組は実験建物内の可燃物がほぼ全焼するまで自立を維持し、飛び火の発生および飛散を防いだ。こうした予備実験の成果を受けて、準備実験、本実験の実験建物の工法は、大断面集成木造による軸組工法を選択し、さらに、前節で述べた壁および防火戸等の防火区画性能の改善など、火災安全性達成の確実化を目的とする改良を行ったものを使用し、屋根については、安全対策上、火の粉の飛散を防止するよう屋根の燃え抜けを防止する目的で屋根の耐火被覆やふき材の留め付け方法を強化した。

また、実験建物は、予備実験では東西南北の各壁面に窓を設けたが、準備実験および本実験では、火炎等が放出される方向を限定して、警戒と消火活動を容易にするために、窓は長辺方向のみに設ける設計とした。実験建物には、予備実験時と同様に耐火構造の防火壁を設置して、防火壁を介しての延焼の有無を確認するが、防火壁裏面側の建物構造は、予備実験では木造であったが、準備実験および本実験では、延焼した場合でも倒壊に至らないように鉄骨造とした。なお、枠組壁工法部分から大量の飛び火が発生した原因はほぼ特定できたため、その対策のための研究開発は、部材レベルで別途、実施している点は準備実験と同様である。

以上、敷地外に火の粉を飛散させない主な対策は、準備実験と同様に、

1) 断面計画（小屋裏）

2) 屋根の強化

3) 無窓の妻面

4) 防火壁外を鉄骨造

5) 金属メッシュによる火の粉捕獲

6) 3 階における燃焼の抑制（消火装置）

である。

本実験では、準備実験の仕様とは異なり、バルコニーおよび庇を設けない仕様としたことにともない、実験において、３階が盛期火災に達した段階では、火の粉の飛散の可能性等から消火を開始せざるを得ず、３階で大規模な燃焼が起こるまでの実験継続は想定し難く、１、２階で火災が続いている間は１、２階の柱等には３階の荷重が適切に載荷されている必要があることから、３階のみは家具および可燃物相当量の荷重を不燃物で代替し、内装も不燃化した。

ただし、開口噴出火炎により１、２階から３階に延焼するかどうかの検討は必要であるため、窓付近のみ一般的な可燃物を設置し、内装も開口部から１ｍの範囲は木材で仕上げている。また、散水装置による制御他の対策を行っている。

・３階散水装置

役割：霧状の微細な水滴充満による室温制御

３階火炎抑制用散水装置をヘッド数４（準備実験）→８（本実験）

・屋根上残火対策用散水装置：新規設置
・放水台の考え方
建物消火上、シナリオ外の噴出火炎発生時等（多層階の合流火炎等）に、確実に操作者が放水銃位置に着くことが出来ること。
・遮熱盾の設置
消火台への放水（青ライン外）を検討
必要な大きさは、中央高さ 3.6m、 両翼 5.2mで、高さについては両翼で担保（３階への有効放水を可能にする）
さらに、屋根の燃え抜け防止のため野地板と防水紙の間にけい酸カルシウム板８mm を追加し、３階の天井には強化せっこうボード 12.5mm を張り増し、面戸部分へ強化せっこうボード 21mm を追加した。また、３階収納可燃物の配置と木内装仕上を延焼評価部分のみとして、火の粉飛散措置用金網の固定方法を準備実験の仕様から改善した。

２）火の粉が飛散しても被害を発生させない対策
火の粉が飛散した場合に被害を発生させないための予防対策と警戒および消火体制を整備する。火の粉が発生した場合、発生量および風速にもよるが、1,500m 以上遠方まで、火の粉が飛散し得る。その範囲には山林、農地、住宅、道路があり、被害発生防止対策を講じておく必要がある。それぞれ、危険の軽減の予防方策を講じるのが望ましく、地権者の協力を得て対策を講じる。
周囲の山林および敷地のうち、準備実験と同様に、地権者が確認できた場合については、実験実施の約１ヶ月前までに個別に連絡をとり（下呂市外居住者については郵送）、実験実施の説明と安全管理のための敷地立ち入り、下草の伐採等について基本的な合意を得る。地権者が所在不明な場合のほとんどは、投資目的の購入で実質は放棄された状況であるため、管理会社の同意を得る。なお、敷地東側の山林を隔てた林道以東の山林はについても同様であり、安全管理のための立ち入りと下草の伐採等については、地権者の合意を得る。敷地南東部の国有林については林野庁に情報提供を行うとともに地元管理局から合意を得る。

a.予防方策
以下の予防方策のもとで対策を検討した。
1）山林：乾燥した枯葉、下草等に火の粉が落下した場合に、火の粉による出火および延焼の危険が大きい。枯葉および下草の処理および伐採、事前散水を行い、林床湿度の測定を行って管理する。
2）農地およびビニールハウス等の状況確認と実験中の警戒を行う。
3）要注意箇所を把握し、宅地の植物性屋根および木造工作物等を把握し、実験の事前告知と警戒を行う。
4）道路等は自動車への影響を防ぐため、告知および交通制限などを実施する。

b.警戒および初期消火体制　→　消防消火体制を参照

３） 火の粉による被害が発生した場合の対処（３段階目の安全対策）

万一、被害が発生した場合の現状回復および対応を予め明確化しておく。

a. 本実験に関する被害の原状回復（補償）の方法について

（以降の内容では補償の意味も含め、「原状回復」という表現を用いる。）

火の粉発生予防対策、火の粉による出火および被害発生対策にも係わらず、実際に火の粉による被害が発生した場合には、原状回復を行う。主な対象が山林となるため、予め原状回復の手続きを説明し、事後の調査と申告により対応する。また、対応にあたっては、一連の実験を円滑に遂行するために地権者等の理解と協力を得ることを前提とする。損傷の発見時は住民等には区別できないので、区別無く申告を受ける。

連絡を受けた後、補償コンサルに連絡して調査（実験当日は直接調査)、内容確認した上で、地権者に対応する。以上の対応については、公共事業により生じた建物等の損害等に係る事務処理と類似の性格を有するため、作業の一部を補償コンサルタントに委託する。

なお、準備実験と同様、実験には補償コンサルタントが立会を行い、実験の進捗を把握し、万一の場合の対応が迅速に行えるように備える。

b.原状回復手続きの流れ

事前準備として、被害の状況を正確に把握するため、実験前の現況把握と実験後の状況調査を行う。また、火の粉等の影響を受け易いもの（ビニールハウス等）については、監視等を行う。

・火災実験（１０ 月下旬予定）による滅失等の被害の発生

↓

・滅失等の申し出（物件所有者 → 実行委員会）

実行委員会で準備し、事前説明の際の資料「木造３階建て学校の実大火災実験（本実験)」に伴う滅失等の原状回復に関する申出書」により、実験実施日より１ヶ月以内に実行委員会事務局宛に提出する。

↓

・滅失等の調査※

↓

・原状回復費用の算定※

↓

・原状回復費用の説明※

↓

・原状回復費用支払契約※（物件所有者と実行委員会）

↓

・原状回復費用の支払（実行委員会 → 物件所有者）

※の手続きについては、中立的な第三者的立場として補償コンサルタントに業務を依頼する。

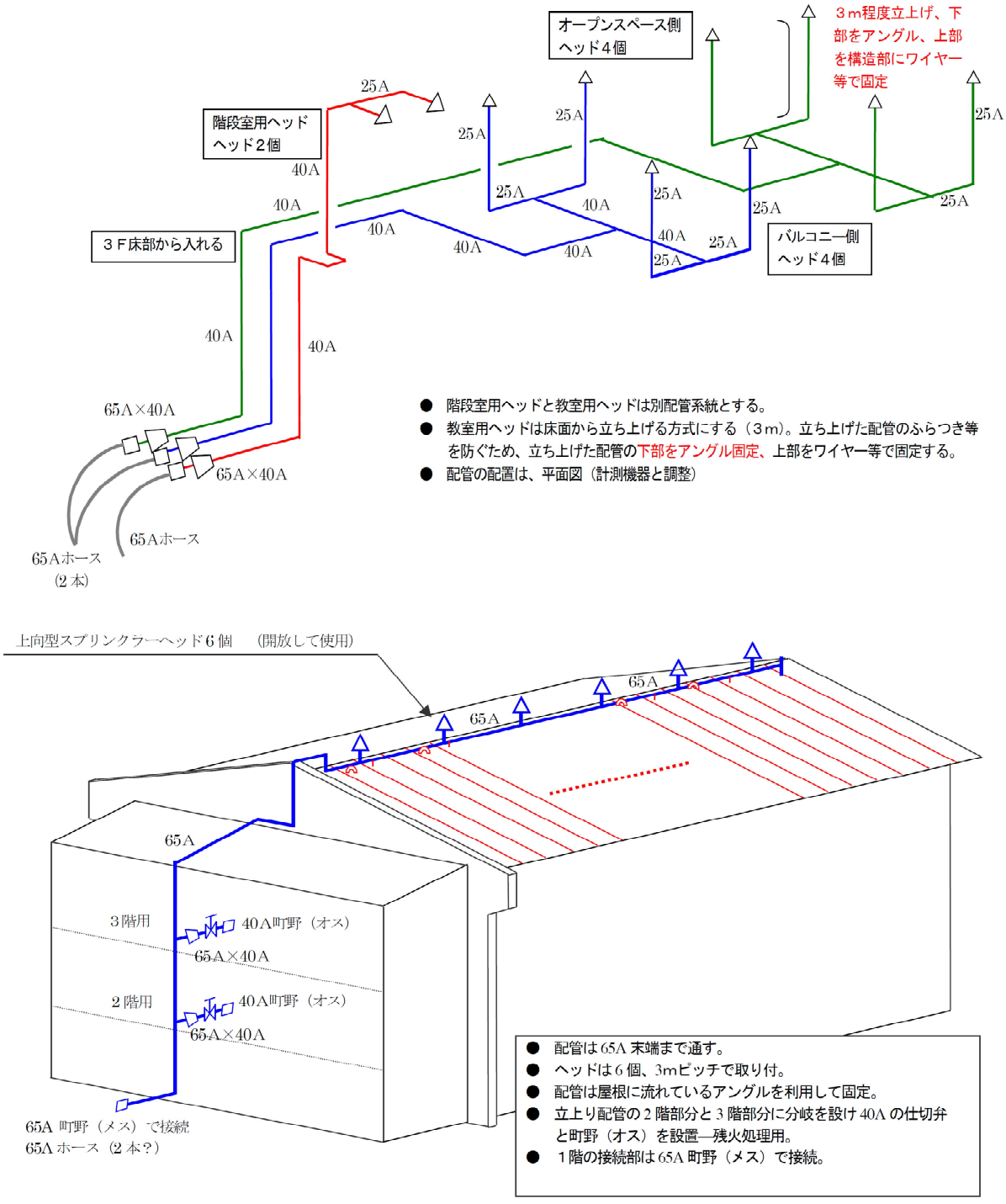
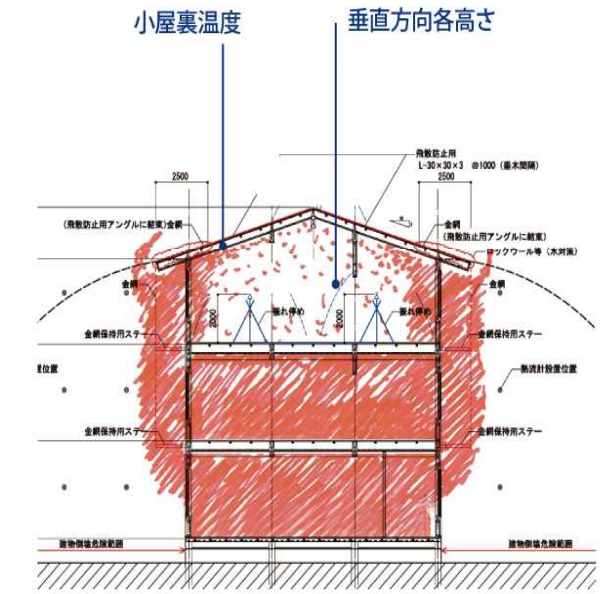
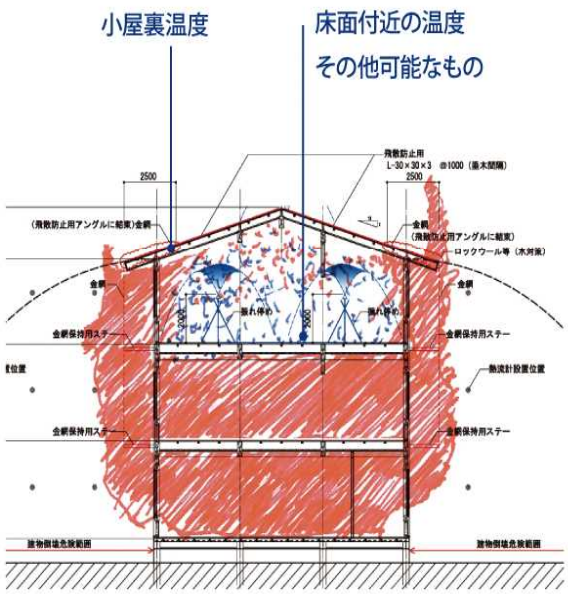


図 4.6.2-1： ３階火災抑制装置概要図

■ 判断温度測定位置（散水開始前）



■ 判断温度測定位置（散水開始後）



■ 散水水量の目安　圧力 0.7MP

ポンプ能力　　1200~1400L/ 分

散水ヘッド　　211L/ 分・本　（7 ×√80）

1教室4ヘッド　850L ／分

2教室8ヘッド　1400L/ 分

2教室　1800m2

1400L ÷ 1800m2=8mm/ 分

散水量　積算水量測定（板書）

ヘッドの耐熱温度　　700~800℃

図 4.6.2-2　３階火災抑制装置能力および基本図

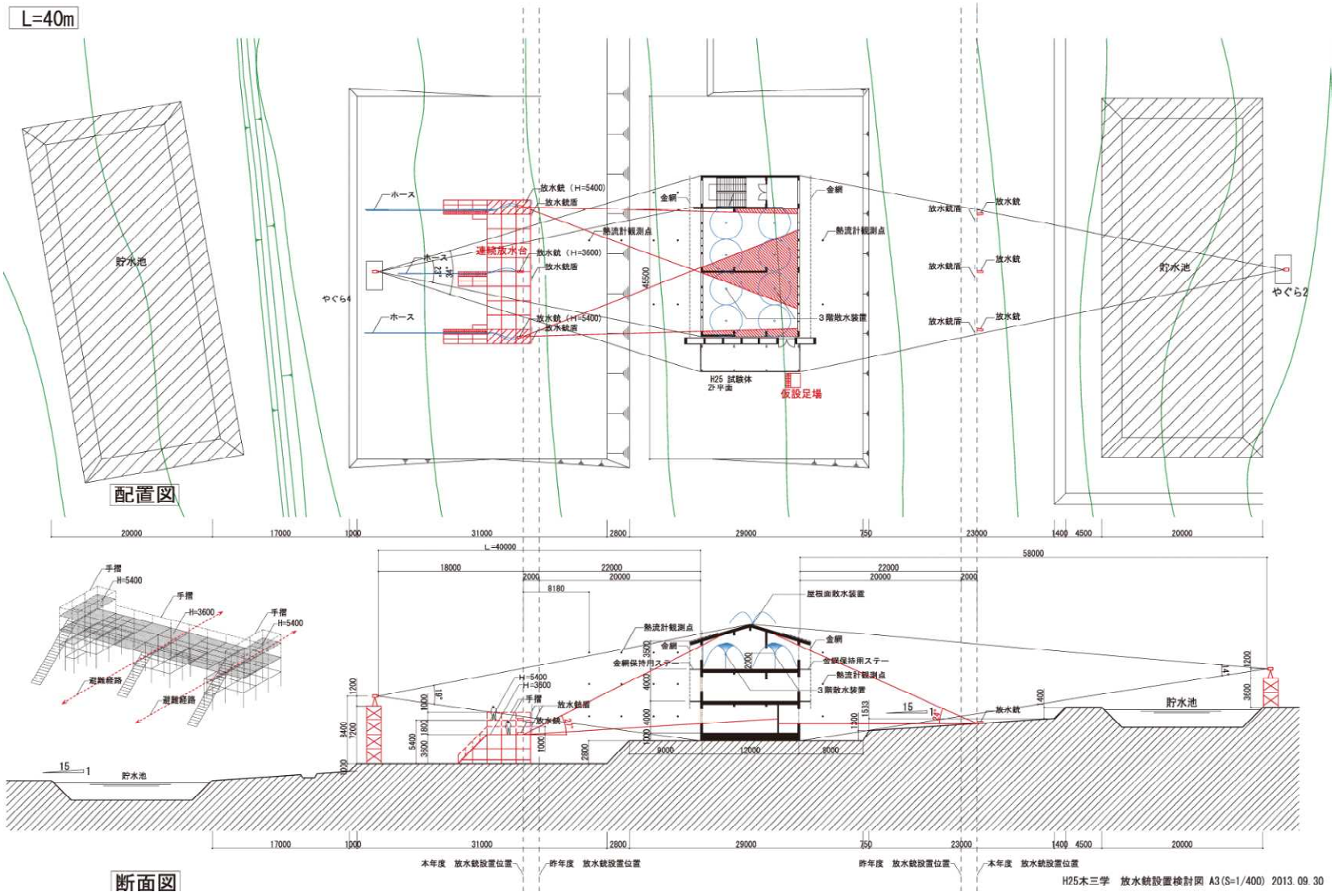


図 4.6.2-3　実験建物消火用放水台平面図・断面図

（４）実験までの安全計画

本実験を実施するまでに、以下の準備を行う。

･火の粉発生防止対策（建物および消火施設等）の検討
･周辺地区の調査
･気象観測
･林床状況の把握
･住民説明
･飛び火による山林での出火危険とその対策の検討
･消防体制の構築
･予防方策等の説明および交渉
･山林の下草および枯木等の対策
･出火危険物等の予防方策

１）周囲環境の土地利用および敷地状況調査

万一、火の粉が飛散した場合に被害を最小化するには、実験時期の土地利用状況を予め把握して、火の粉が落下した場合に必要な措置を予め把握しておく必要があるため、実験場所近隣敷地の状況等につき、実験前に調査を行う。

２）住民等説明

本実験の実施目的の理解と同時に、実験時には煙が遠くからも見えると予想されることなどから、実験敷地に近い下呂市御厩野地区および中津川市加子母地区の住民には、実験実施前に国土交通省および実験実施者より説明会および準備実験の報告会を行う。また、準備実験を通して、下呂市および中津川市加子母地区では、火災実験や木造大規模建築に対する関心も高まったため、説明会にあわせ、地元対象の実験建物の見学会も実施する。当該敷地の近隣地区の住民には、自治会を通して実験情報を配布する。実験日前には、付近の県道に告知看板を設置し、実験に関する周知を行うとともに非火災報に備える。防災無線などで直前の周知を行う。自治体等との協議に加え、自治会の区長等を対象に説明理解を随時実施する。

３）周辺敷地地権者との協議

実験時の安全管理上必要な消防進入経路および避難経路の周辺林野への設定、周辺敷地での飛び火の予防措置等、実験実施により周辺敷地に影響を及ぼす可能性があることに関して、周辺敷地の地権者に説明し、協議を行う。協議内容は、地権者に対する依頼事項および、立ち入りや火の粉等により、原状回復の必要が生じた場合の対処の方法を含み、文書化したものを地権者が保管するようにする。周辺地権者以外の住民については、地元回覧板を利用して配布する。

この手順と書式は、補償コンサルタントおよび現地自治会と相談して決め、協議および文書の具体的な内容については、補償コンサルタントの意見を入れてとりまとめる。

実験実施により周辺敷地に影響を及ぼす可能性があることに関しては、地域自治会関係者およ

び周辺敷地の地権者に対し、準備実験直後の平成 24 年 12 月 17 日、自治会関係者に報告、地権者の感触を得るとともに本実験実施の理解を得ている。(平成 25 年 4 月 11 日､7 月 22 日､8 月 23 日、9 月 14 日、9 月 27 日に説明および協議を行った。)

協議内容は、地権者に対する依頼事項および、立ち入りや火の粉等により、原状回復の必要が生じた場合の対処の方法を含むが、内容は準備実験時と同一であり、地権者からは、同意文書については、改めて作成するのが面倒であるとの意見が多いため、地権者が保存している準備実験時の文書を、地権者の異論がない限りそのまま使用し、地権者には、下草刈り、作業のための敷地進入等について、事前に連絡して、地権者の事情に応じて日程や進入の範囲を調整することとした。この手順は、補償コンサルタント、当該地区の区長との合意のうえで決める。この方法については地権者を訪問した際にも説明を行い、不在者を除き直接理解を得た。なお、地権者から異論はなく、地権者から、改めて同意文章を作成したいとの意見はない。

４）飛び火対策

周囲の山林は、実験予定時期には下草が枯れている可能性があるため、山林火災の専門家の指導のもとに、事前に下草の伐採を行い、飛び火が落下した場合の発見および処理を容易にするとともに、出火予防対策とする。

５）周辺整備（下草刈など）について

実験の進行に応じて、以下の通り周辺整備すべき範囲を検討した。

a. 近・中域（300m 前後まで）

２階開口から火の粉が飛散した場合（高さ h=8m から飛散する場合を想定)、飛び火の危険限界距離は 200m と予想できる。対応は、次の通り。

・林道に沿った警戒

1)敷地境界部に沿った警戒

2)ジェットシューター装備への給水、プールなど水源の充実

・林縁部を中心とした範囲の下草刈りを実施

b. 広域（300～800m）

屋根が燃え抜けた場合（高さ h=30m から飛散する場合を想定)、飛び火の危険限界距離は 750m と予想できる。対応は、次の通り。

・地形、気象条件などから監視台などを設置（目視監視)、櫓による上空監視：飛散状況監視（北櫓、南櫓の設置）

・拠点監視：火の粉の着床を監視するため、枝打ちなどによる見通しを確保する。

・事前に弱点箇所（可燃物堆積など）を調査し、危険ポイントで監視を行う。

c. 集落（800m～）：

対応は、次のとおりとする。

・事前告知を中心に協力を依頼する。

・農作物対策については戸別訪問を行い、協力を依頼する。

・周辺地区の一般警戒として、車両などによる巡回（実験実施者＋地元消防団）を実施する。

６）敷地周辺の気象測定

現地近くの気象データはすでに入手しているが、地形が複雑で、当該敷地の気象条件にはその影響が生じる可能性もあるため、当該敷地で準備実験と同様に６月から気象測定を継続的に実施する。

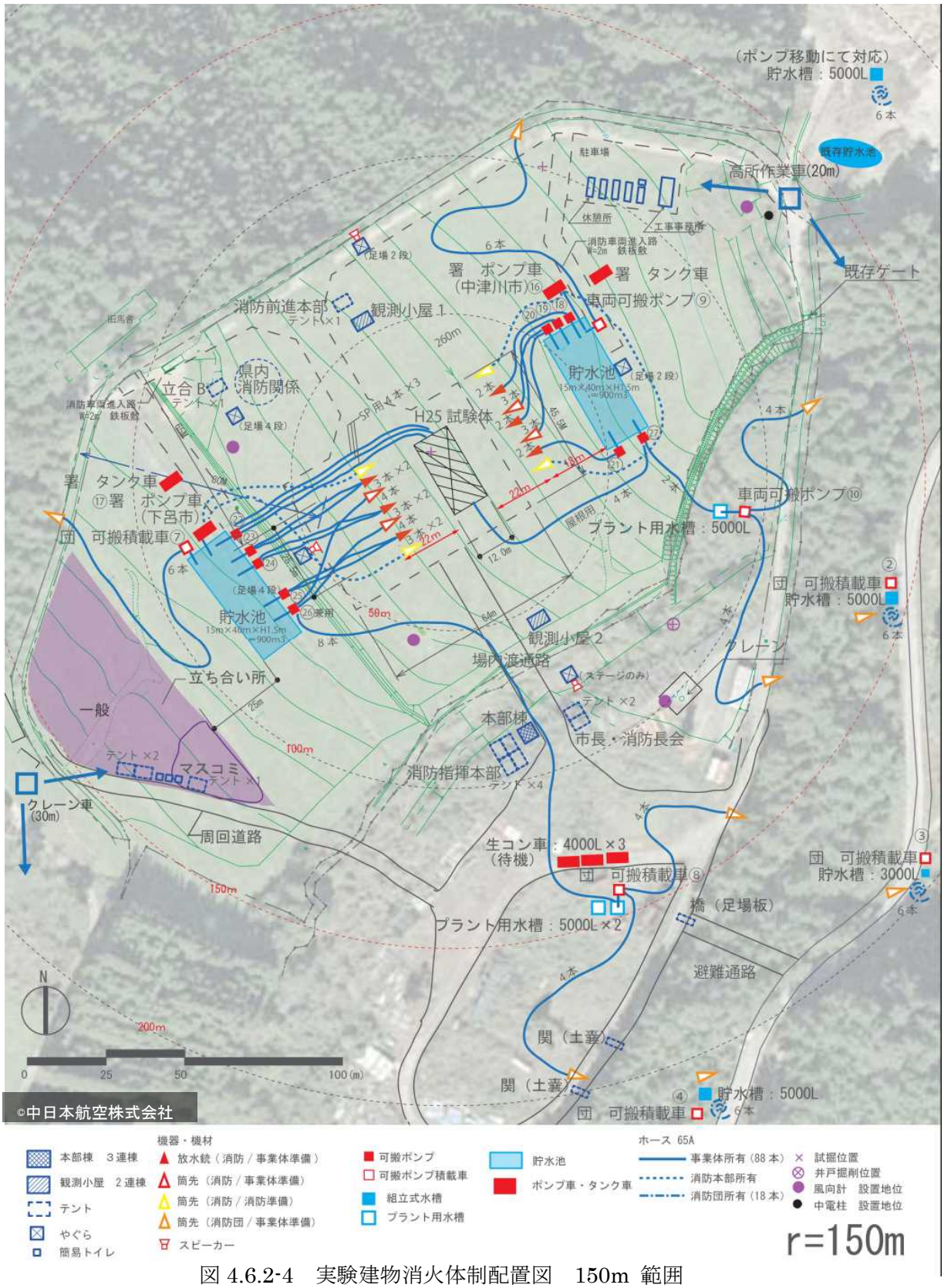


図 4.6.2-4　実験建物消火体制配置図　150m 範囲

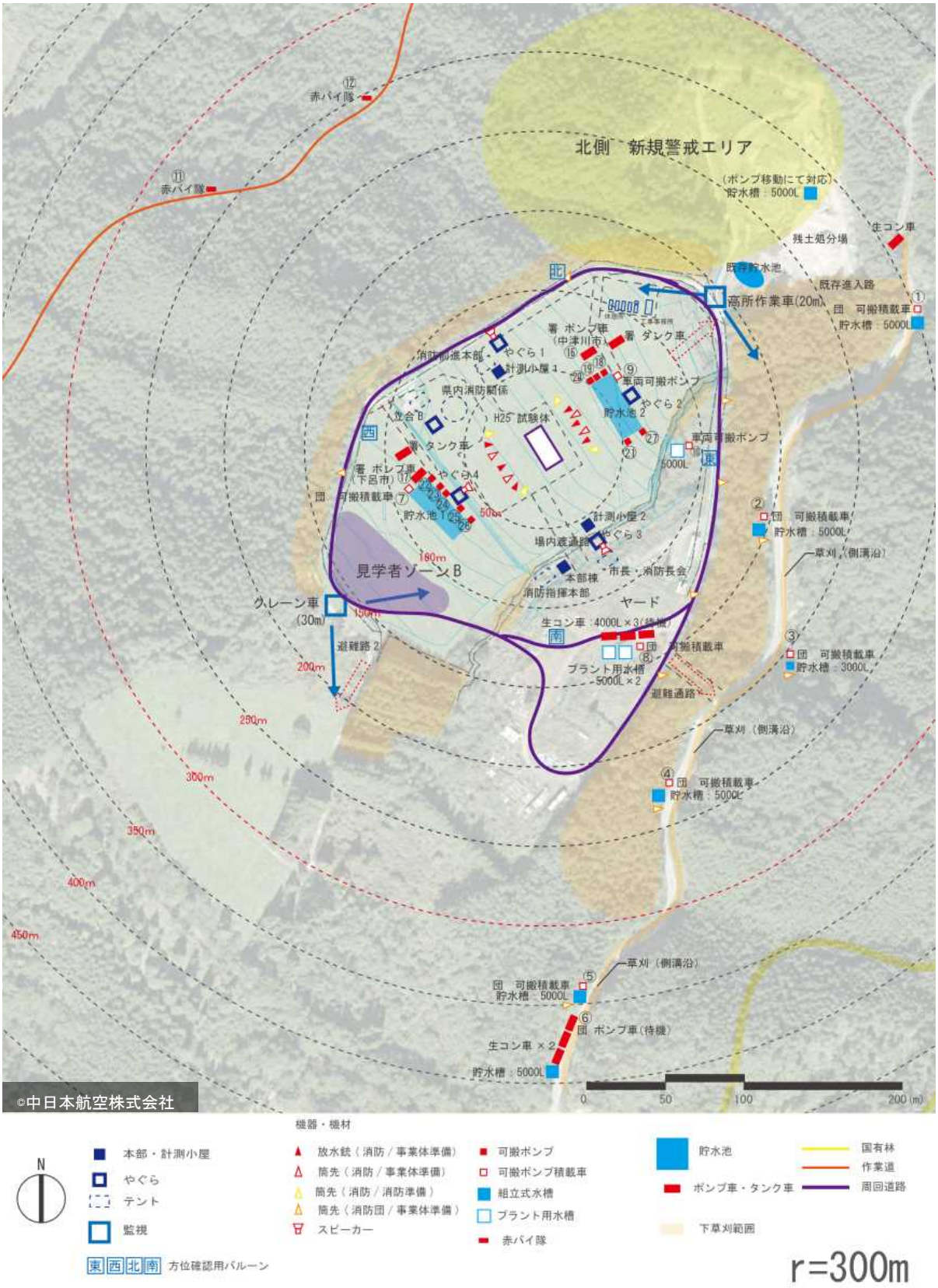


図 4.6.2-5　実験建物消火体制配置図　300m 範囲

（５）消防消火体制

本実験の消防消火体制は、準備実験に準じて行うが、準備実験における放水等に関する課題に

ついては、その改善策を講じる。

予備実験では、近隣の人工池を水源とする可搬ポンプ４台の自衛消防隊、消防隊の応援車両４台による体制とし、可搬ポンプの機動性と放水能力の高さが実証されたことから、準備実験では貯水量合計約 2,000 トンの仮設人工池を敷地内に切削し、可搬ポンプと消防本部の応援を併せて、建物４面からの放水を確保し、教室部分について各窓前方３方向（全６口）から放水銃による放水ができるようにした。本実験においても、同様とする。

実験実施者側の消防体制は、消防ポンプ協会を通じて消防活動に慣れた者で組織できるよう、別途、委託協力を得て、予備実験の３倍の台数、可搬ポンプ 13 台ほかの機材提供で実験を行う体制を整えた。

これらをもとに、下呂市および中津川市に要請を行い、建物消火は、下呂、中津川市の消防本部が担当、消防、消防団とも協議の上、協力を得る。消防車両については、下呂市および中津川市より、ポンプ車、タンク車、各２両合計４両の提供と消防職員の協力の申し出を受ける。協議を重ね、消火設備は各教室に個別に放水可能な能力を確保し、合計 14 本の筒先を備える。いずれからでも放水できるよう、放水台を設置するなどの周辺整備を行う。

地上からの放水にやや困難がある建物３階教室部分および階段室内には散水消火設備を設置して、内部に延焼した場合により効果的な散水消火できるようにする。このため、実験遂行中に飛び火、近隣への延焼危険が生じた場合には、一斉放水することにより、短時間で火災抑制することができる計画となっている。

飛び火警戒については、下呂市および中津川市の消防署および消防団と協議し、全国消防長会および東京消防庁の助言を得た上で、次の二段階の消火体制を取る。

まず、実験敷地に接する山林沿いの拠点に山林用消火器(ジェットシューター等) をもつ警戒班員(消防団員)を配置し、飛び火が落下した場合は、その場で直ちに消火できるようにする。

次に、山林の一部は地形が険しくジェットシューターの配置が困難な場所、また、ジェットシューターによる消火が困難な場合に備える必要があることを考慮し、周辺の林道から実験敷地内道路までの各所に、ホースによる放水範囲に盲点が生じないように仮設水槽を配置し、消防車両を移動させて、山林内の出火時にも山林へ放水できるようにする。さらに水源確保のバックアップとして近隣のプールの利用を計画する。

本実験では、整備した周回道路により機動性の高いポンプ積載車４台が実験場内林縁部の消火警戒にあたる。また、警戒消防団員による事前散水を実験開始直前に行い、より高い安全性を確保するとともに、予め放水することで団員が、何かあった際、より機敏に活動する事ができる備えとする。

実験場所および周囲山林とも、林床の湿度に応じて実験直前に散水し、放射熱や火の粉の落下による出火防止に努める。さらに、遠距離への飛び火飛散による出火警戒及び消防支援のため、

防災ヘリの運用を国土交通省から消防庁へ情報提供を行い、下呂市と岐阜県で情報共有して備えとする。

地元集落の警戒については、同様に消防団および実験実施者で巡回を行うとともに、林野内の作業道は、消防団赤バイ隊が警戒を行う。

実験終了後は、迅速に消火にあたり、当日中に、外観上、残火がない状態とする。その後、実験実施者の一部は、現地消防が残火再燃の可能性がないと判断するまで敷地で監視し、発炎または発煙を認めた場合は、可搬ポンプにより消火を行う。この警戒は、燃焼状況に応じて建物解体時まで継続して行う。

なお、本実験では、屋根上に散水装置を設置し、実験建物鉄骨部に消火栓および昇降階段を設置して残火対策時の消火および火の粉等の飛散対策として改善を行う。

１）消火作業行程

事前散水（前日までと当日早朝）	消防団＋実験実施者
< 実験開始>	
飛び火警戒（建物燃焼中、実験終了時）	下呂中津川消防・消防団、実験実施者
建物消火、鎮圧（実験終了）	下呂中津川消防・実験実施者
残火処理＋飛び火警戒（夜間、数日後までの再燃監視）	実験実施者

２）消火組織

地元行政、消防と消防団の協力を得て消火組織を構成する。

建物消火：消防＋実験実施者（技術者など）

周辺警戒：消防団を中心

消防指揮本部の設置：実験実施者、消防団、消防署の指揮所を同一場所に設置

３）消防本部（消防団）との連携

実験中止、終了、続行の判断、指示：実験実施者側と消防側で連携して実施し、周辺の放射による発火、林野部分での飛び火発見から消火指示の手順を確認し、岐阜県、愛知県ほかへの協力（出動）依頼をする。

４）本部構成（以降の人数は、いずれも計画）

本部は、実験実施者（本部小屋）と次の協力組織（全国消防長会、東京消防庁など）で構成し、事前に本部の役割等を確認する。

下呂市

中津川市

下呂市消防本部　17 名

中津川市消防本部 15 名

下呂市消防団　18 名

中津川市消防団　11 名

・情報の集約
・全体を監視できる場所とする
・決定権は本部に置く
・各隊に同一情報を同時に伝達できるようにする
・各機関の無線等を使用
・場内には進行状況が分かるようスピーカーを設置する

（6）機器および人員配置

下呂市および中津川市の消防本部、消防団の協力を得て実施、筒先には消防職員を配備する。実験実施者では機器機材の準備、支援体制を確立する。消防ポンプ協会の協力により、機器および機器操作の体制を整える。フェールセーフとして、全国消防長会、東京消防庁の立会、助言、応援を受ける体制で実験にあたる。

1）人員

a. 建物消火体制

南側： 下呂市消防本部隊員 12 名　実験実施者 17 名

・放水銃３基／２線放水（放水台３基）
・通常管鎗４基

３階および階段室散水装置制御

・可搬ポンプ５台
・下呂市ポンプ車１台管鎗２基

合計口数　７口

北側： 中津川市市消防本部隊員 26 名　実験実施者 5 名

・放水銃３基
・通常管鎗４基

中津川市ポンプ車１台管鎗２基
中津川市可搬ポンプ１台管鎗２基

・可搬ポンプ５台

合計口数　７口

南北両面合計 14 口による放水体制とし、合計消火人員 60 名を配置する。

b. 実験敷地内周辺警戒体制

実験敷地内および敷地周辺の警戒態勢は、次の通りである。

・４隊（消防団＋積載可搬ポンプ）×14＝56 名
・実験実施者警戒員　２隊 15 名
・本部（全国消防長会、東京消防庁）

c. 周辺林野警戒体制

周辺林野警戒体制は 12 名を１隊とし、15 隊を実験場内の立木のない場所に分散して待機（単独行動不可、安全な場所を確保）させる。実験当日の風向により、隊の位置を移動する計画とし、ジェットシューターおよび山林火災道具を携帯する。その他、以下の警戒を行う。

・東側広域林道：３隊（消防団＋可搬ポンプ）×（14＋13）名＝81 名
・加子母側警戒域：２隊(消防団＋可搬ポンプ）×11 名＝22 名
・西側作業道：２隊(消防団赤バイ隊）×２名＝　４名
・御厩野区警戒　１隊（消防団）×　18 名＝18 名
・近隣プール：ヘリコプター補給隊ポンプ隊　30 名

協力消防団合計人数

・下呂市消防団　　193 名
・中津川市消防団　106 名

d. 櫓監視

監視台を全体が監視できる高さの安全な場所に設置し、実験建物を中心に東西南北４ケ所に、監視台から目視できる札等（バルーン）を設置して東西南北で場所を指示する。南北のタワークレーン各々に監視員２人と高所作業車操作員１名を配置する。

e. その他

・消防タンク車を、移動可能な安全な場所に配備する。
　下呂市タンク車　１台　５名
　中津川市タンク車１台　５名
・周回道路として、実験場内の道路は周回できるようつなぐ。
・実験関係者、地元消防団の配備、退路の確保等安全地帯を設け、林道付近の火災時の退路を確保する。

２）機材

以下の機材を準備する。ただし、可搬ポンプなどは前項参照。

・下呂市　：消防車、ポンプ車合計２台　ジェットシューター70 台
・中津川市：消防車、ポンプ車合計２台　ジェットシューター50 台
・実験実施者：　水槽車（コンクリートミキサー車４トン）合計６台（場内３台、林道３台）
・可搬ポンプなど

燃料 800 リットル（ドラム缶 4 本）を補給可能な体制として、敷地内２カ所に給油所（常時人を配置）を設置し、20 リットルの携行缶６個（ポンプのタンクは 18 リットル）を用意し、５個はガソリンを入れて指定された位置へ置き、１個は混合ガソリンとする。

実験前日　16 時にポンプへ給油（事前散水などに使用した後）する
実験当日　６時 30 分から配達用 180 リットルの給油車を現場待機する

３）水源

・主貯水池

有効給水が可能な貯水池（防火水槽）を掘削して南北２カ所に設置し、井水（井戸掘削） および沢水により補給する主貯水池水量 : 2400 トン（15m × 45m 深さ約 2m、ポンプ取水用のカマ場 3m）を２箇所設置設置する。

・代替貯水池

南東側検討中貯水池を下記のように計画する。

コンクリートプラント用の水槽（5.5m^3× ３台）を設置し、生コン車（４m^3× ３台）を待機させ、合計 27 m^3（可般ポンプ１台で 27 分放水可能）を用意し、状況に応じてこの間に、主貯水池から送水するルートを確保する。さらに、実験敷地に近い林道沿 100mおきに６箇所と加子母に２箇所、組立式水槽を設置し、水槽車（コンクリートミキサー車（４トン積)）を６台、林道内および代替貯水池に待機させる。

４）教育および想定演習

本実験は準備実験の経験をふまえ、想定演習は行わないが、実験に先立ち、想定シナリオなどの情報共有を行い、実験に望む。また、放水銃の試験散水は実験日２日前に行う。

（７）実験関係者、消防関係者の安全体制

避難ルートを確保し、非常時の避難行動を周知し、訓練を行う。実験関係者に非常時の避難ルートを記したマニュアルを配布する。

（８）実験終了後の安全計画

実験終了後、直ちに消火を開始する。火勢鎮圧後も、部材内部や堆積物内部など、水がかかりにくい部分で再燃する可能性があるため、消火できる体制を残し、残火警戒を数日間実施可能な体制を整える。

また、実験日のうちに、周辺の山林、農地等の調査を行い、飛び火の影響の有無を把握する。

（９）総合的な安全体制

準備実験では、実験前の消防協議、市との調整、近隣住民説明等は、国土交通省および実験実施者により、時間をかけて行われ、良好な信頼関係を築くことができた。特に地元行政の理解と協力を得た。本実験においても、この体制を構築するため、具体に以下の計画とする

本実験の実施予定日は、平成 25 年 10 月 20 日(日)とし、天候等の事情により当日に実験を行えない場合を考え、同年 11 月３日を第一予備日、11 月 10 日を第二予備日とする。

１）消防および山林火災に関する専門家の助言および指導体制の構築

建物実験を遂行するために、実験実施者および関連行政機関、地元自治体より成る実行委員会

を設置し、さらに、これら機関と独立な消防研究者および山林火災の専門家を委員として招聘し、安全計画上の助言、指導を受ける。

２）安全管理の実施体制

安全管理の実施体制は、安全管理ワーキングを中心とした実験実施者および下呂市と中津川市の行政担当者によって行う。

実験時の安全管理本部を、消防本部並びに実験本部に隣接して設ける。

安全管理の視点から実験進行を確認するとともに、以下の内容について、各組織間の調整、指示伝達、燃料、機器機材などの支援、消防消火活動との連携を行う。

・実験実施、実験前後の安全管理計画の検討
・地元行政、消防関係者への依頼および調整
・実験敷地および周辺の整備計画、実施監理
・実験実施に伴う住民、地権者などへの説明などの折衝
・消防消火体制の検討と機材調整
・各機材の搬入、組立、設置、試運転、消防関係者への引き継ぎ
・事前散水の計画および実施
・３階散水装置の運用
・散水開始の指示：実験本部と協議の上、安全管理が行う。
・建物消火開始の伝達
・消火開始の指示：実験本部と協議の上、安全管理が行う。
・南側建物消火のホース補助（実験実施者）人員の訓練管理
・実験実施者側警戒班の統括
・実験実施者側警戒班（地元消防団以外の警戒人員）の移動、消防団への支援指示
・実験実施に伴う交通計画・避難計画
・残火確認および警戒
・実験後の各機材の管理および確認

４．６．３　実験の実施・中止の判断

実験を実施する条件については、地元消防との協議および実行委員会での議論に基づいて、実験中の周辺の安全確保および火の粉の遠方への飛散防止の観点から風速上限を設定し、火の粉が飛散して林野等に落下した場合の出火防止の観点から、周辺森林の林床の枯れ葉等の含水率の下限を設定した。風速については、過去の飛び火火災事例を参考に、平均風速 4m/s 未満の場合に実験開始とする。また、林床の含水率については、過去の林野火災はいずれも 20%未満で発生しており、実験でも 20%を超えると、引火および燃え広がりがほぼ起こらなくなることに基づき、30%を下限とする。その他、雨が強く、実験しても成果を期待できない場合、降雪により実験の遂行に困難および危険を生ずると懸念される場合は、実験開始を延期する。

実験開始後の実験中止の判断も、気象条件については、上記条件にもとづくものとする。燃焼

状況については、本実験の目的は、１階に点火した後、１階で構造の準耐火性能要求時間を超えて倒壊せず、２階に延焼した後、３階に延焼した時点で達成できるため、
・２階、３階への延焼が起こらない場合には１階で火盛り期に達してから 1.5 時間経過した場合
・それ以外の場合は３階に延焼した時点、もしくは構造の変形が生じ始めた場合
に実験終了とし、消火活動に入る。なお、３階に延焼した時点の基準は、３階に設置した散水装置による火勢の抑制用を行い、安全に実験が継続できるよう計画する。

１階に点火しても火盛り期に達しない場合には、２階に再点火する可能性がある。その場合にもこの基準に則って実験中止、消火の判断を行う。その他、火の粉の飛散が懸念される燃焼状況（屋根の部分的な崩壊、３階からの火炎噴出)や、実際に火の粉による周辺敷地での出火が観察された場合は直ちに実験中止して、消火活動に入る。周辺警戒については、高さ 30m の仮設監視台を２カ所に設置する。

階段室内に延焼が認められた場合には、拡大防止用の散水装置を使用して、教室部分の実験が継続出来るように運用する。この際、必要に応じて放水銃を使用する。教室部分に影響がないことを確認する。

１）実施の判断基準

本実験は、準備実験と同様に、実験実施や開始時刻の最終的な判断は、予定時刻直前に行う。これまでの気象観測から、実験敷地では午前中、早朝は概して無風に近いが時間の経過とともに風速が上昇する傾向が認められるため、実験開始予定時刻を午前８時としたうえ、前述の実験実施の判断条件に照らして、延焼、飛び火飛散等の可能性が少しでも懸念される場合は、実験開始を見合わせる。

以下の基準を全て満足すること。
・外気風速 4m/ｓ以下（10 分間平均）
・降水量１mm/ｈ以下（燃焼に影響が無いこと）
・周囲の林床の含水率が 30%以上
・その他、地震等の異常がないこと（実行委員長の判断による。（必要に応じて協議を行う。））

２）実施判断時期
・実験実施前々日　　午後５時以降に、林床の含水率による判断を行う。
・実験実施前日　　午後５時以降に、林床の含水率による判断を行う。
・実験実施当日　　午前５時　※最終判断は着火予定の８時直前。
※最終判断は、着火直前。天気予報を含め、開始時間を 30 分単位で順延する。
※当日の実験可否は、5:15 頃 HP に掲載し、各自確認の上参集する。

３）消火・中止の判断基準
１）天候
・外気風速（実験敷地）：10 分間平均 4m/s より大きくなった時点

・周囲の林床の含水率：30％未満になった時点

2）建物の火災性状

・急激な上階延焼が生じた時点

・柱の燃焼により座屈が生じる可能性が高まった時点、柱の残存耐力が 100％を下回る時点（炭化量が約 70mm に達した時点。※偏心がない場合）

・３階の室内に延焼した時点（室内の温度が 450℃を越えた時点）

・階段室に延焼した時点（階段室内の温度が 450℃を越えた時点）

３階の室内と階段室内の散水装置により消火を行い安全性の確認を行った際は、教室部分の実験を継続する

・倒壊危険等が生じた時点

・倒壊危険または倒壊の予兆が見られた時点

梁間方向：西側外壁面（高さ 15m）変位 75mm 以上

桁行方向：北西側軒先（高さ 11m）変位 55mm 以上

※階ごとの変形が著しく異なる場合は、層間変位角 1/200 を目途とする。

（点火後 1.5 時間～２時間を目安）

・周囲の森林へ火の粉による飛び火の危険があると判断された時点

・実行委員長の判断による。

3）その他

・地震等の予期しない事象が発生した時点

4）消火および中止の決定

・実行委員長の判断による。必要応じて協議を行う。



写真 4.6.3-1：実験建物消火開始時の状況

４．６．４　実験立会い者

本実験では、実験実施者（実験担当者および実行委員会委員）以外に、報道および以下の者が実験に立ち会う予定であり、実験遂行上、立会いが必要な人、実験遂行に係わる団体で、実験への理解を得る上で立会いが必要な人、木３学基準の検討および政策化の上で実験立会いが望ましい人、実験遂行上の協力団体の代表者を以下の通りとした。

1) 実験遂行上、立会いが必要な人
・実験による影響が生じる可能性のある範囲の地権者
・消防支援（岐阜県下消防、全国消防長会等。活動服での参加）
2) 実験遂行に係わる団体で、実験への理解を得る上で立会いが必要な人
・実験実施者の所属長、地元自治体幹部および市議会議員等
3) 木３学基準の検討および政策化の上で実験立会いが望ましい人
・国交省審議会・防火基準検討委員会・国会議員・関連省庁担当者等
4) 実験遂行上の協力団体の代表者

いずれも、実験前に名前等を明確にし、非常時の対応について合意を取ることを前提とする。合意については、実行委員会が計画する非常時の対応について本人確認の上、立会を認めることとし、実験当日改めて、受付時に説明書確認を求めて、確認、署名を得る方法とする。安全管理上、立ち会い者および報道関係者の見学位置は、燃焼拡大の様相を観察し易く、非常時にも、消防活動と交錯せず、避難し易い敷地南端の新設道路付近の平地を予定する。

場内の各組織位置
・消防指揮本部本部南東テント４張（地元消防のみ）
・県内消防　消防前進本部（小屋１裏）南西で区分
・国会議員、市長、全国消防長会等　本部北東側テント２張、行政としては首長判断が可能な位置
・マスコミ、その他南貯水池の南西側、区分（市議会議員はこの場所）
・地権者および区長は、場内監視および立会者誘導の役割をもって立会

なお、本実験の実験建物は、想定される木３学の防火基準を反映するものであるため、本実験への見学希望は多いが、立会として整理し上記の範囲として制限する。但し、建物仕様等に対する関心に配慮し、実験前の平成 25 年 10 月 16，17 日に建物の見学会（9 月 14 日は主に住民を対象）を開催する。

４．６．５　安全管理の実施

実験実施までに、４．６．１～４に示す安全計画に従って準備を行い、実験当日および実験後は安全計画に基づいて管理を実施した。

なお、実験当日は、実験前および実験時間を通じて小雨であった。実験実施の判断基準は、降水量 1mm/h 以下（燃焼に影響がないこと）であるが、

・実験前の外気風がほぼ無風状態であったこと

・実験建物の軒の出が 1.5m あること

から、室内の火災性状に及ぼす影響は少ないと判断して実験を実施した。

なお、着火から 65 分後及び 125 分後に 1 時間あたりそれぞれ 5.8mm、8.0mm の比較的強い降雨があったが、短時間であった。

最終の立会者数は、

・報道関係者	23 名
・省庁関係者	39 名
・県関係者	22 名
・実験実施者関係者	12 名
・下呂市・中津川市	7 名
・消防関係	44 名
・その他	18 名
・登録外	10 名
計	175 名

であった。

４．７　測定結果

４．７．１　気象

実験当日の天候は午前中は雨だった。実験開始時刻の 10 月 20 日の午前 8 時から実験終了の午前 10 時 35 分までの、本部観測点（地上 10m）と試験体観測点（地上 2.5m）の 5 分ごとの観測データを表 4.7.1-1 に示す。実験中の気温・湿度、風速・風向・降水量の概況は以下の通り。

（１）気温・湿度

気温は実験時間を通じて概ね 11℃だった。湿度は降雨のため 96%だった。

（２）風速・風向

実験時間を通じてほぼ無風か微風であった。

（３）降水量

実験時間を通じて小雨であり、着火から 65 分後及び 125 分後に 1 時間あたりそれぞれ 5.8mm、8.0mm の比較的強い降雨があったが短時間であった。しかし、外気風がほぼ無風であること、実験建物の軒の出が 1.5m あることから、室内の火災性状に及ぼす影響は少ないと考えられる。

表 4.7.1-1　実験実施中の気象観測結果

時刻	経過時間（分）	気温（℃）	湿度（%）	降水量（mm/時）	風向（本部）	風速（本部）（m/s）	風向（試験体）	風速（試験体）
8:00	0	10.9	96	2.0	南南西	0.4	ー	0.0
8:05	5	10.9	96	2.2	南	0.0	ー	0.0
8:10	10	10.9	96	2.0	南	0.4	ー	0.0
8:15	15	10.9	96	3.8	西	0.4	ー	0.0
8:20	20	10.9	96	2.2	北	0.4	ー	0.0
8:25	25	10.9	96	3.2	北北西	0.0	西	0.4
8:30	30	11.1	96	2.0	ー	0.0	ー	0.0
8:35	35	10.9	96	1.6	ー	0.0	ー	0.0
8:40	40	10.9	96	2.6	ー	0.0	西	0.4
8:45	45	10.9	96	1.2	ー	0.0	ー	0.0
8:50	50	10.9	96	1.0	北北西	0.4	ー	0.0
8:55	55	10.9	96	2.0	ー	0.0	西	0.0
9:00	60	10.9	96	1.6	北西	0.9	ー	0.0
9:05	65	10.9	96	5.8	ー	0.0	北西	0.0
9:10	70	10.9	96	2.8	ー	0.0	ー	0.0
9:15	75	11.1	96	2.6	北	1.3	北東	1.8
9:20	80	11.2	96	4.2	東北東	0.9	東南東	0.4
9:25	85	11.4	96	2.0	南南西	2.2	南南西	1.8
9:30	90	11.3	96	1.8	南西	1.8	西南西	1.8
9:35	95	11.1	96	1.4	南南西	0.9	西南西	0.9
9:40	100	11.1	96	1.2	西北西	1.3	北北西	1.3
9:45	105	11.2	96	1.2	西北西	0.9	北北西	0.0
9:50	110	11.2	96	1.0	西	0.0	西	0.4
9:55	115	11.2	96	2.6	西	0.0	ー	0.0
10:00	120	11.2	96	1.4	ー	0.0	ー	0.0
10:05	125	11.3	96	8.0	西	1.3	西南西	1.8
10:10	130	11.3	96	3.2	南西	1.3	南西	0.9
10:15	135	11.2	96	2.0	南南西	0.4	西南西	0.4
10:20	140	11.3	96	1.8	南南東	0.0	ー	0.0
10:25	145	11.3	96	6.0	ー	0.0	ー	0.0
10:30	150	11.3	96	4.8	ー	0.0	西南西	0.0
10:35	155	11.3	96	1.6	ー	0.0	ー	0.0

４．７．２　目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像

（１）目視観測

火災の進展に伴う特徴的な現象について、該当するビデオ映像の画像と合わせて示す。

１）出火室内の延焼および煙の拡大

火源に点火後、木質内装の壁に延焼し、約３分（以下、点火後の時間を示す。）に火炎は天井まで到達（写真 4.7.2-2）するが、準不燃材料の天井や周囲の収納可燃物には延焼せず、約 10 分に自然鎮火した（写真 4.7.2-3）。

そのため、出火点近くの収納可燃物で炭化したものは入替え、同じ位置と方法により、最初の点火から 20 分後に再着火した（以下、再着火後の時間を( )内に示す。）（写真 4.7.2-4）。約 24 分(訳 4 分)には再び火炎が天井まで到達し（写真 4.7.2-5）、天井面に沿って火炎が水平に広がる様子が観察された（写真 4.7.2-6）。27 分(7 分)には出火室の窓から白煙が噴出した。その後、出火点近くの収納可燃物に着火し、近くの壁の木質内装も燃焼し、火炎が継続的に天井に達する状態が継続した（写真 4.7.2-7）。



写真 4.7.2-2　天井付近に達した火炎



写真 4.7.2-3　自然鎮火した火源付近



写真 4.7.2-4　再着火の様子



写真 4.7.2-5　天井付近に達した火炎

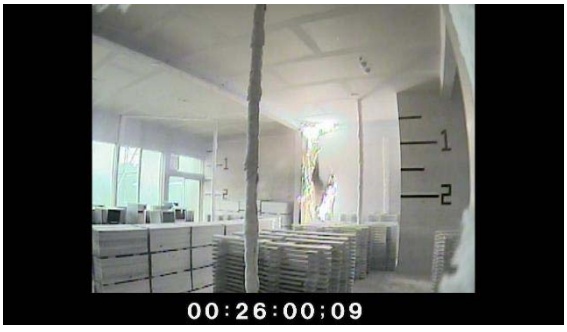


写真 4.7.2-6　天井面を広がる火炎



写真 4.7.2-7　天井面を広がる火炎

出火室の天井に設置された熱および煙感知器は、27 秒から 9 分 30 秒で作動した。また、再着火に対しても再着火から 53 秒から 7 分 36 秒にも作動している。その他の煙感知器の作動時間は、1 階出火室前の廊下部分では点火後 32 分 51 秒(12 分 51 秒)、階段室前が点火後 43 分 51 秒(23 分 51 秒)に作動した。また、スプリンクラーヘッドは、火源のもっとも近いものが 2 分 49 秒、再着火後の作動は 24 分 57 秒から 25 分 58 秒(4 分 57 秒から 5 分 58 秒)までに作動した。

約 66 分(46 分)に天井下を火炎が急速に水平方向に延び(写真 4.7.2-8)、室内の収納可燃物に次々に着火し始めた（写真 4.7.2-9)。67 分(47 分)には出火室の窓から大量の煙とともに大きく火炎が噴出し（写真 4.7.2-10)、出火室全体に延焼した。南側窓からの噴出火炎は、始めは 2 階の窓に達する高さ程度であったが、78 分(58 分)頃に 1 階職員室全体に延焼が広がると軒まで達する大きな火炎を形成した（写真 4.7.2-11)。出火室の北側廊下は、48 分(28 分)頃から濃い煙が観察され（写真 4.7.2-12)、67 分(47 分)には多量の黒煙で廊下の見通しが利かない状況が観察された（写真 4.7.2-13)。北側の窓ガラスが破損し、78 分(58 分)には窓から火炎が噴出し（写真 4.7.2-14)、3 階開口部まで達した（写真 4.7.2-15)。



写真 4.7.2-8　天井下を延びる火炎



写真 4.7.2-9　収納可燃物への着火



写真 4.7.2-10　出火室から噴出する火炎



写真 4.7.2-11　軒まで達した噴出火炎



写真 4.7.2-12　点火後 48 分頃の廊下



写真 4.7.2-13　点火 67 分後の廊下



写真 4.7.2-14　北側からの噴出火炎



写真 4.7.2-15　北側３階に達した噴出火炎

２）２階への延焼

出火室の南側窓からの噴出火炎により 68 分(48 分)には出火点近くの２階南側の窓ガラスが割れ、２階の内部カメラの映像により、割れた窓から室内に煙が流入する様子が観察された（写真 4.7.2-16)。72 分(52 分)頃までには流入した煙が床近くまで降下し、全く見通しが利かない状態になった（写真 4.7.2-17)。その後 82 分(62 分)頃には北側窓から室内に火炎が入ってくる様子が観察され、壁が燃焼し始めた。侵入した火炎が天井に沿って水平に急速に広がり、床に置かれた収納可燃物が次々と着火し始めた。87 分(67 分)には室内全体が火炎に包まれ（写真 4.7.2-18)、２階の開口部から火炎が噴出した（写真 4.7.2-19)。



写真 4.7.2-16　割れた窓から流入する煙



写真 4.7.2-17　床近くまで降下した煙



写真 4.7.2-18　炎に包まれた室内



写真 4.7.2-19　２階から噴出する火炎

３）３階への延焼

１階および２階からの噴出火炎は軒近くまで達し、79 分(59 分)頃には南側の窓ガラスが割れ、室内に火炎が断続的に侵入する様子が観察された（写真 4.7.2-20)。ほぼ同じ頃に北側の窓ガラス

も破損し、流入した煙により室内の見通しがほとんど利かない状態になった。87 分(67 分)頃には開口部から 3 階の室内へ延焼した。

実験シナリオどおり、87 分 50 秒(67 分 50 秒)、3 階に設けられた散水設備から散水を開始し、室内の燃焼を制御した（写真 4.7.2-21)。その後も断続的な散水を繰り返し、155 分(135 分)の実験終了時には外部からの放水により消火を行った。



写真 4.7.2-20　室内に侵入する火炎



写真 4.7.2-21　散水開始時の 3 階室内

4）階段室と防火壁

階段室内のビデオカメラには 68 分(48 分)から 1 階の防火戸の隙間から薄い煙の流入が認められ（写真 4.7.2-22)、3 階の煙感知器は 72 分(52 分)に作動した。その後、徐々に煙が濃くなり（写真 4.7.2-23)、終了時には見通しが難しい状況になったが、階段室内へは延焼しなかった。

また、防火壁の反対側についても防火戸の隙間を通じて薄い煙の流入が認められるものの（写真 4.7.2-24)、延焼はしていない。なお、87 分(67 分)に、1 階からの噴出火炎が防火壁を越えて 2 階北側の窓付近に達した（写真 4.7.2-25)。防火壁の反対側の 2 階北側の窓は、84 分(64 分)にガラスが破損（写真 4.7.2-26）したが、室内への延焼は認められなかった（写真 4.7.2-27)。



写真 4.7.2-22　1 階防火戸から侵入する煙



写真 4.7.2-23　階段室 3 階の見通し



写真 4.7.2-24　防火戸から侵入する煙



写真 4.7.2-25　北側防火壁を越えた火炎



写真 4.7.2-26　ガラス破損時点



写真 4.7.2-27　ガラス破損後に流入する煙

5）まとめ

実験建物の延焼経過は以下のとおりである。主な事象を時系列に図 4.7.2-1 に示す。

最初の点火は自然鎮火したため、20 分に再着火した。出火室の燃焼は天井の不燃化により、当初は出火点近くの木仕上げの壁と収納可燃物に留まっていたが、66 分(46 分)に出火室がフラッシュオーバーとなり、火炎が噴出した。外部開口を通じた延焼は、2 階は 82 分(62 分)に、3 階へは 87 分(65 分)に生じた。階段室および防火壁を越えた延焼は生じなかった。

b.ビデオ映像・写真記録・熱映像

各やぐらから定点撮影した火災進展の概要を、時系列に整理したものを表 4.7.2-1 に示す。また、木 3 学内部のビデオ映像の概要を、内部温度分布に基づく延焼範囲とともに時系列に整理したものを表 4.7.2-2 に示す。木 3 学の建物内部のビデオ映像で把握した火災性状の概要を以下に示す。また、各やぐらから定点撮影した熱映像を時系列に整理したものを表 4.7.2-3 に示す。

経過時間（分）	再着火後（分）	経過時間（分）	主な事象
0		0	点火
		3	火源上の火炎が天井に達する
10		10	出火源がほぼ消える
20	0	20	火源を再度設置して、再着火
		24	火源上の火炎が天井に達する
		27	1階南側窓から白煙が流出
30	10		
40	20		
		48	出火室(南西)窓から黒煙が噴出
50	30		
60	40		
	47	67	出火室南側窓から火炎が噴出し、フラッシュオーバー
			出火室南側窓ガラスが落下
			出火室の煙層が床まで降下
		68	噴出火炎は2階窓上端に達する
		69	2階普通教室南側の窓ガラスが落下
70	50		
		73	2階普通教室の煙層が床まで降下[2-2]
		78	1階北側窓から黒煙が噴出
			1階南側噴出火炎は軒に達する
80	60		3階普通教室南側窓ガラスが落下
		81	1階北側窓が割れ、黒煙が噴出
	62	82	2階普通教室に延焼
		83	1階北側窓から火炎が噴出し、軒まで達する
			2階北側窓ガラスが落下
	67	87	3階オープンスペースに延焼
			3階に断続的な散水を開始
90	70	88	3階北側の窓ガラスが落下
100	80		
110	90		
120	100		
130	110		
140	120		
150	130	155	消火開始
		1680	実験終了後も倒壊なし



図 4.7.2-1　目視観察による実験経過

表 4.7.2-1　火災進展の概要（屋外）

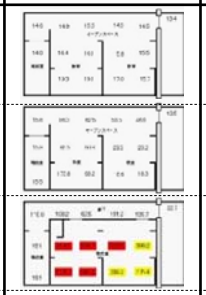
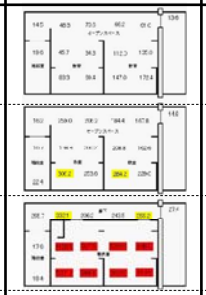
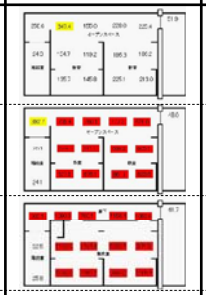
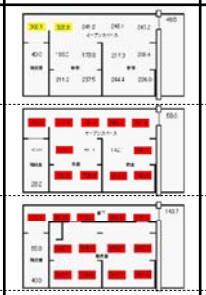
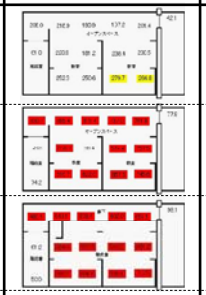
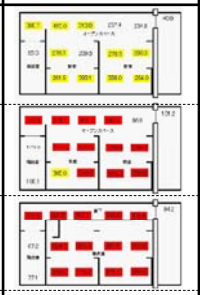
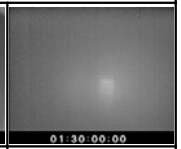
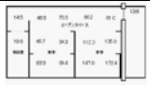
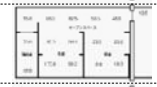
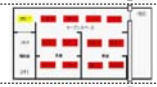
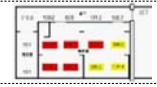
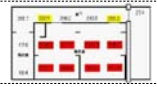
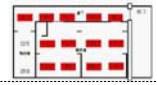
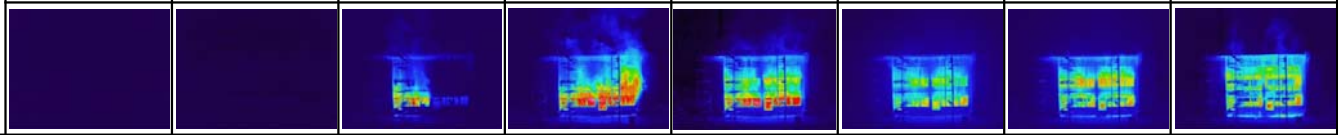
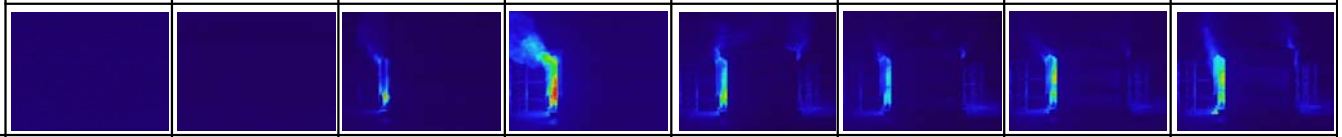
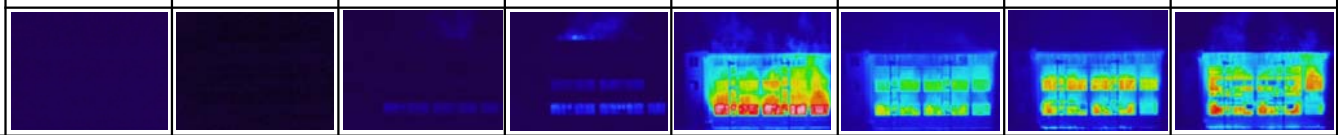
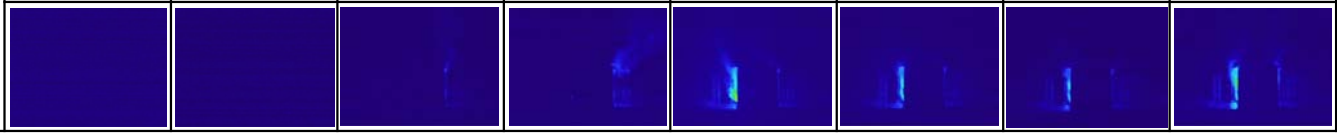
経過時間 ※（）内は再着火後	0分	20分 （0分）	70分 （50分）	80分 （60分）	90分 （70分）	100分 （80分）	120分 （100分）	150分 （130分）
南 （やぐら4）								
東 （やぐら3）								
北 （やぐら2）								
西 （やぐら1）								
延焼の範囲 天井付近温度 赤：450℃以上 黄：260℃以上 3階 2階 1階								
	0分後	20分後	70分後	80分後	90分後	100分後	120分後	150分後

表 4.7.2-2　火災進展の概要（屋内）

経過時間 ※（）内は再着火後	0分	20分 （0分）	30分 （10分）	40分 （20分）	60分 （40分）	70分 （50分）	80分 （60分）	90分 （70分）
職員室 （出火室）						映像記録なし		
1階廊下 （階段室前）						映像記録なし		
2階 普通教室 南西側		→	→	→			映像記録なし	
3階 普通教室 南西側		→	→	→	→			
階段室 3階踊り場		→	→	→				
延焼の範囲 天井付近温度 赤：450℃以上 黄：260℃以上 3階								
2階			→	→	→			
1階								
	0分後	20分後	30分後	40分後	60分後	70分後	80分後	90分後

→：変化がないことを示す

表 4.7.2-3　屋外の熱映像

経過時間 ※（）内は再着火後	0分	20分 （0分）	70分 （50分）	80分 （60分）	90分 （70分）	100分 （80分）	120分 （100分）	150分 （130分）
南 （やぐら4）								
1200℃ 熱映像 0℃								
東 （やぐら3）								
1200℃ 熱映像 0℃								
北 （やぐら2）								
1200℃ 熱映像 0℃								
西 （やぐら1）								
1200℃ 熱映像 0℃								

４．７．３　温度

（１）　室内の温度

１）１階室内温度

出火室において、点火後、最初に温度上昇を記録したのは職員室西の着火点近傍の測定点 1BY であった。1BY の温度を図 4.7.3-1 に示す。最初に点火した火源は徐々に成長し一旦天井に接炎するものの 10 分以降自然鎮火した。この間の温度推移は天井付近で 100℃を超える温度を記録し再び初期温度に戻っている。初期の火災成長が緩慢で局所火災に留まったため、点火 20 分後（以下、点火からの時間を示す。）に再着火した。

火源は自然鎮火することなく緩やかに成長し、66 分(再着火後 46 分、以下( )内に再着火からの時間を示す)に 450℃に到達し、67 分(47 分)にフラッシュオーバー(F.O)が発生した。その後、20 分間程度 1000℃前後の温度で推移し、以後 600℃程度まで徐々に下降したが 130 分(110 分)以降再び温度上昇があり 135 分(115 分)過ぎに 1,000℃近い温度を記録した。

職員室着火点近傍 1BY から離れた測定位置 1EY の温度を図 4.7.3-2 に示す。F.O が発生した 67 分(47 分)までの温度は 1BY よりも低い温度で推移しており、F.O までの火災初期はが局所火源の様相を呈していることが読み取れる。F.O 以降急激に温度が上昇し、70 分(50 分)に 450℃に到達し出火室全体がほぼ同時期に盛期火災に至り、以降 1BY とほぼ同じような温度を記録した。

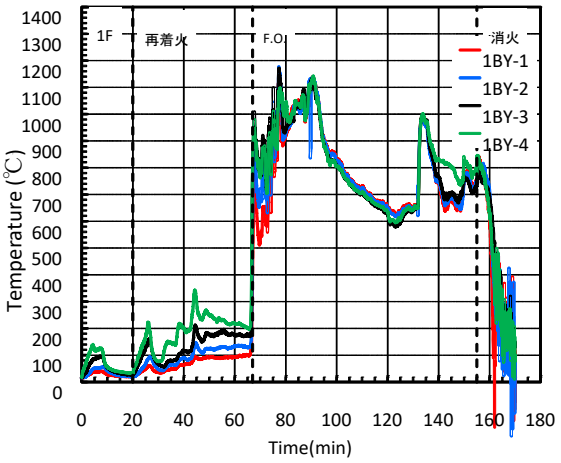


図 4.7.3-1　１階職員室(西)1BY 温度

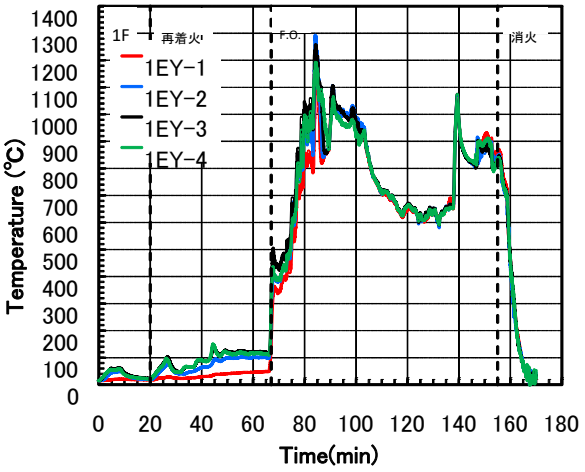


図 4.7.3-2　１階職員室(東)1EY 温度

職員室に隣接する廊下で最初に温度上昇を記録したのは 1EZ であった。1EZ の温度を図 4.7.3-3 に示す。当該位置は 80 分(60 分)に 450℃に達した。1EY が 70 分(50 分)であったことから職員室と廊下を隔てている木製フラッシュ戸で 10 分程度延焼が遅延した。

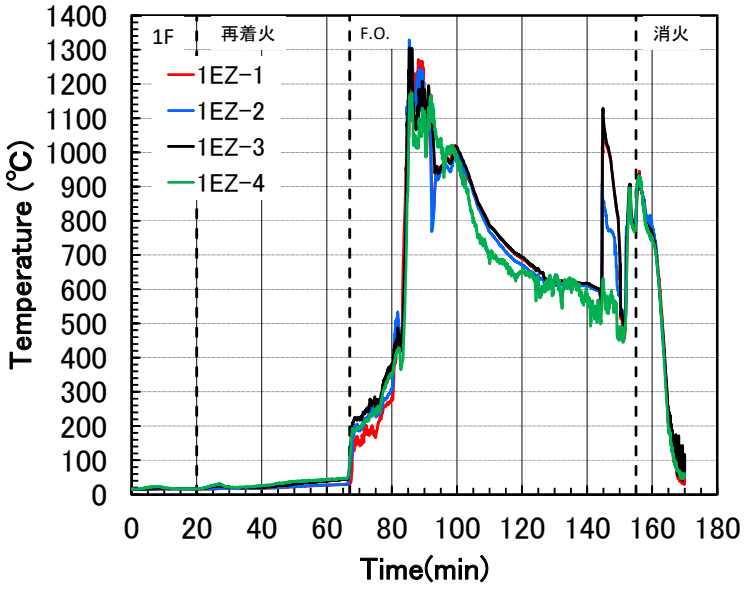


図 4.7.3-3　1 階廊下(東)1EZ 温度

防火壁東側区画への延焼に関して、防火壁に設けられた防火戸の非加熱側 1FZb の温度を図 4.7.3-4 に示す。非加熱側は 85 分(65 分)過ぎより温度上昇が認められ 96 分(76 分)に 400℃程度の最高温度を記録したが、以降下降し実験終了まで延焼しなかった。

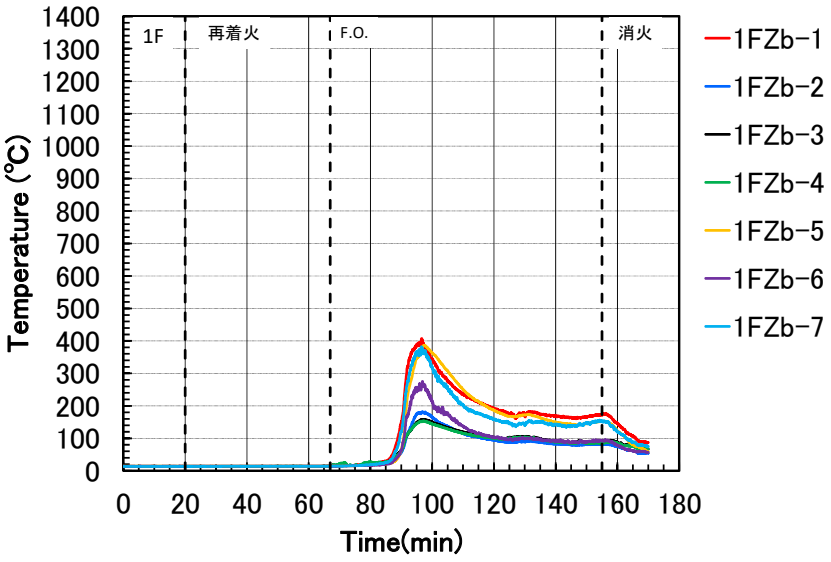


図 4.7.3-4　1 階防火壁防火戸非加熱側(1FZb)温度

階段室 1 階 1AY、1 ～ 2 階踊り場 1AX の温度を図 4.7.3-5 に示す。いずれの測定位置も 90 分(70 分)頃より温度上昇が認められるが最高温度が 100℃以下に留まり試験終了まで延焼しなかった。

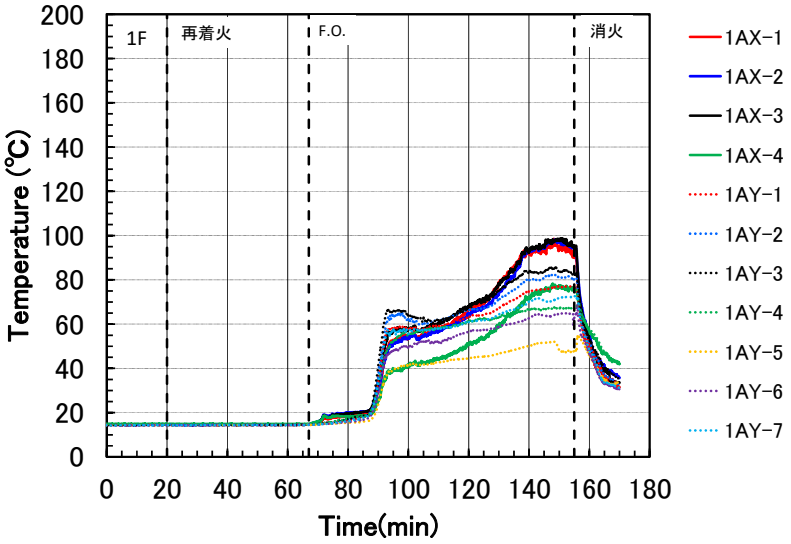


図 4.7.3-5　階段室(1AY、1AX)温度

２）２階室内温度

２階普通教室(東)2EX の温度を図 4.7.3-6 に示す。当測定点は２階で最初に 450℃に到達した位置である。当初室温は殆ど変化が無く、南面ガラスが落下した 70 分(50 分)頃より上昇し始め、外部開口経由の延焼により 82 分(62 分)に 450℃に到達した。その後 90 分(70 分)頃より 10 分間程度 1,000℃前後で推移した後 800℃前後を維持し 140 分(120 分)頃に再び 1,000℃を超える温度を記録した。130 分以降のデータに乱れが見られるが、そのまま記載した。

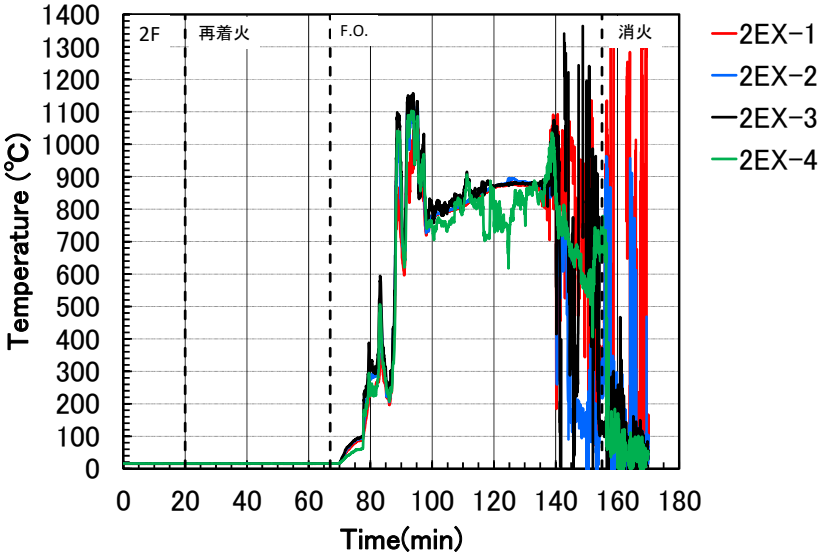


図 4.7.3-6　２階普通教室(東)2EX 温度

２階オープンスペース(西)2CZ の温度を図 4.7.3-7 に示す。当測定点は２階北側で最初に 450℃に到達した位置である。２階南側 2EX と同様に 70 分(50 分)頃より温度が上昇し始め 84 分(64 分)に 450℃に達した。90 分(70 分)頃より 800℃を超える温度で推移し 135 分(115 分)頃に最高温度を記録した。130 分以降のデータに乱れが見られるが、そのまま記載した。

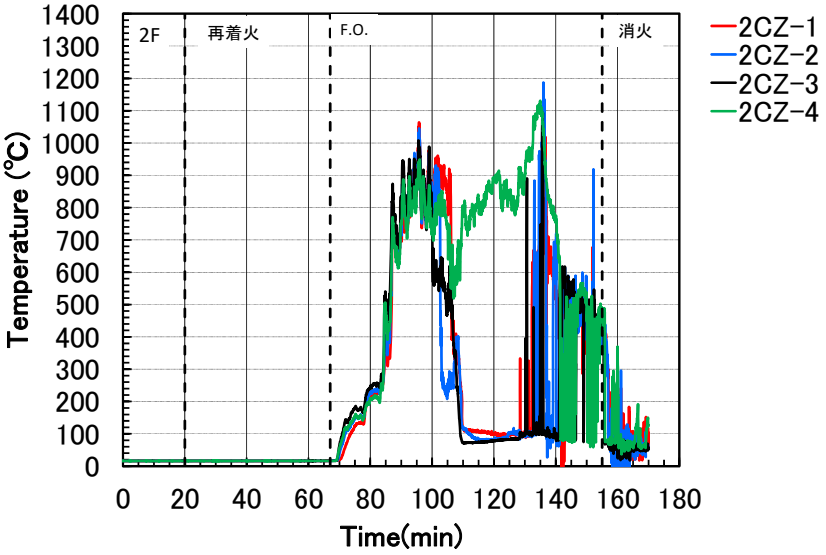


図 4.7.3-7　２階オープンスペース(西)2CZ 温度

防火壁東側区画への延焼に関し、防火壁に設けられた防火戸の非加熱側 2FZb の温度を図 4.7.3-8 に示す。非加熱側は 85 分(75 分)頃より温度上昇が始まり 280℃程度の最高温度を記録したが実験終了まで延焼しなかった。

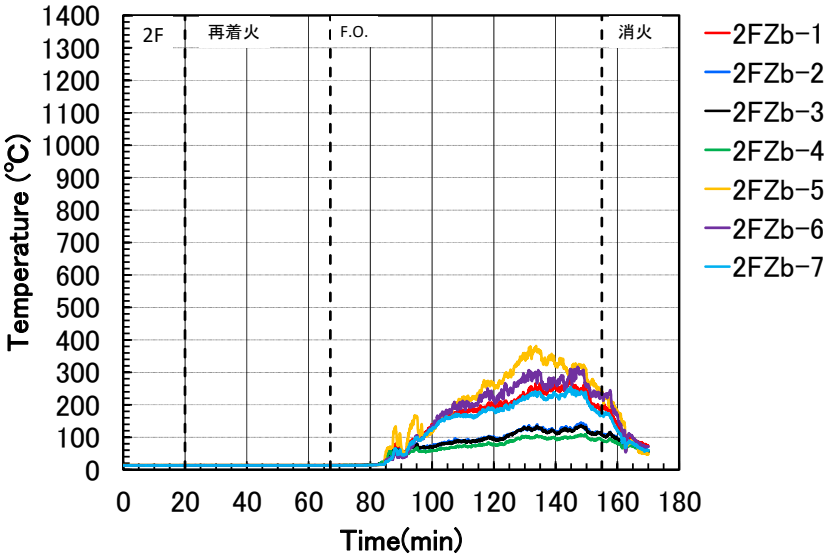


図 4.7.3-8　２階防火壁防火戸非加熱側 2FZb 温度

階段室２階 2AY、２～３階踊り場 2AX の温度をそれぞれ図 4.7.3-9 に示す。いずれの測定位置も 90 分(70 分)頃より温度上昇が認められるが、最高温度が 130℃程度に留まり消火まで延焼しなかった。

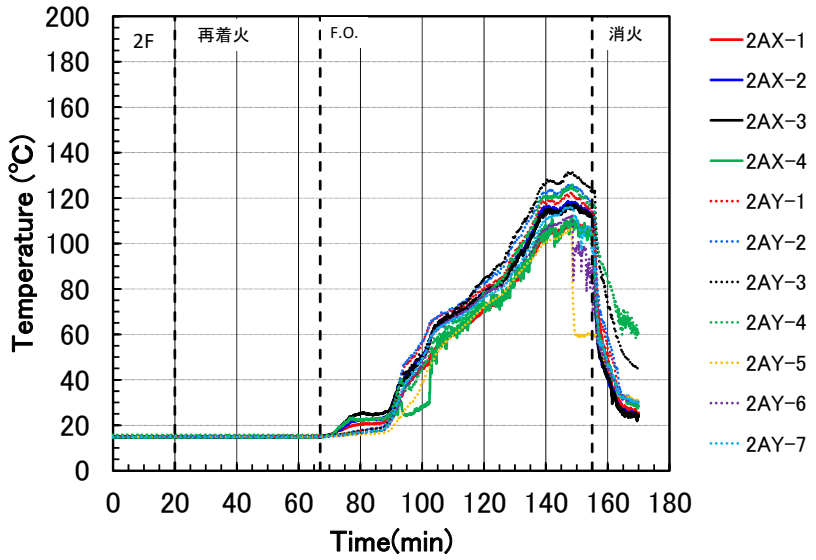


図 4.7.3-9　階段室(2AY、2AX)温度

３）３階室内温度

３階オープンスペース(西)3BZ の温度を図 4.7.3-10 に示す。この測定点は３階で最初に 450℃に到達した位置である。当初室温は殆ど変化が無く、80 分(60 分)頃より上昇し始め、外部開口経由の延焼により 87 分(67 分)に 450℃に到達した。２階で最初に 450℃に到達してから約 5 分後のことであった。この時点から３階普通教室に設けられた散水設備による断続的な散水により、温度上昇を制御し終了した。

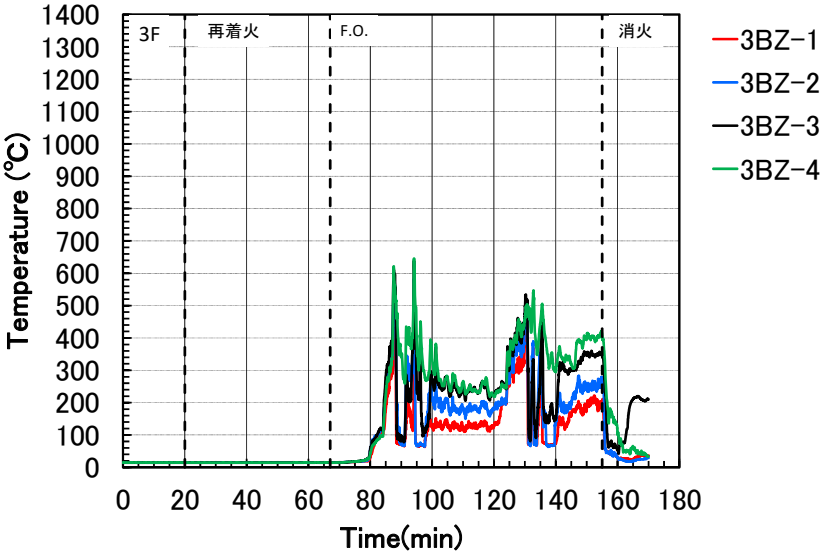


図 4.7.3-10　３階オープンスペース(西)3BZ 温度

３階普通教室(西)3BX の温度を図 4.7.3-11 に示す。80 分(60 分)以降温度が上昇している点は 3BZ と同様であるが、以降 200℃前後を維持し 450℃に到達した時間は 135 分(115 分)であった。これは３階北側への延焼が確認されてから散水設備による断続的な散水により、温度上昇を制御していたため延焼拡大が遅延されたものと思われる。

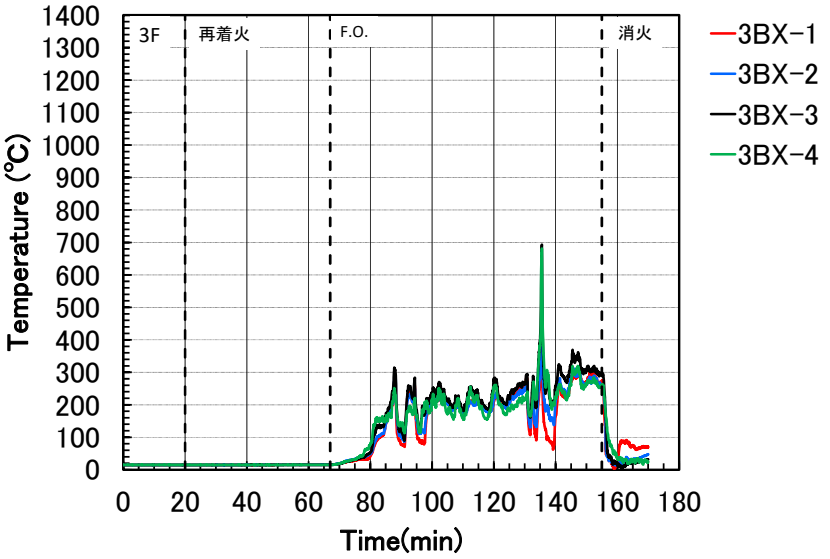


図 4.7.3-11　３階普通教室(西)3BX 温度

防火壁東側区画への延焼に関し、防火壁に設けられた防火戸の非加熱側 3FZb の温度を図 4.7.3-12 に示す。非加熱側は 85 分(65 分)頃より温度上昇が認められるものの 150℃程度の最高温度に留まり実験終了まで延焼しなかった。

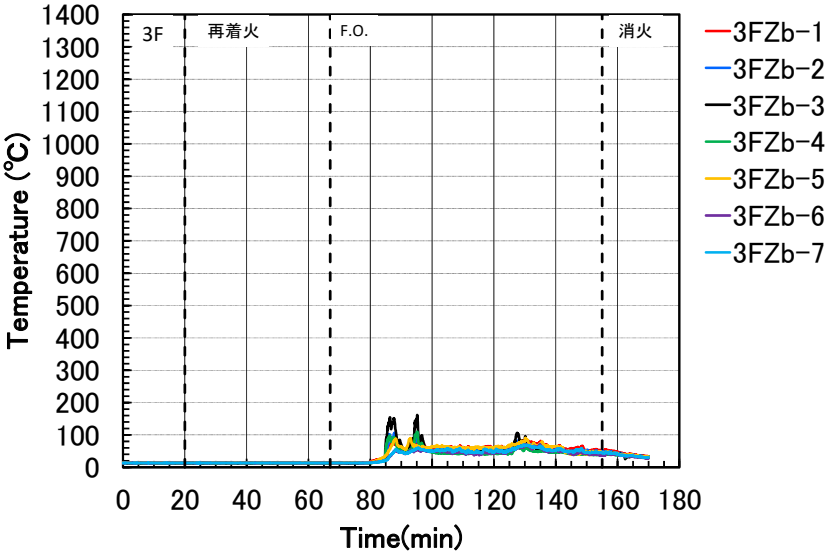


図 4.7.3-12　３階防火壁防火戸非加熱側 3FZb 温度

階段室３階 3AY の温度を図 4.7.3-13 に示す。いずれの測定位置も 90 分(70 分)頃より温度上昇が認められるが最高温度が 120℃程度に留まり試験終了まで延焼しなかった。

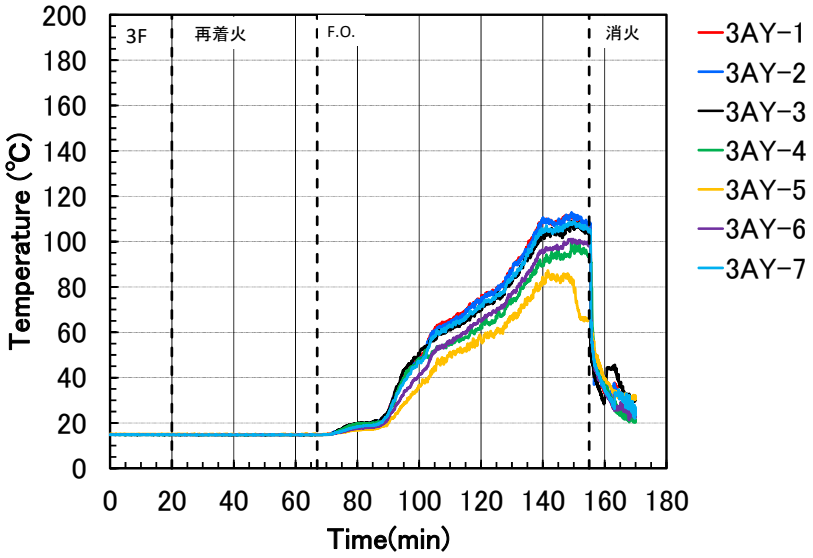


図 4.7.3-13　３階階段室 3AY 温度

４）まとめ

室内温度から得られた結果は下記のとおりである。

・出火室の初期の火災成長は緩慢であり、20 分に再着火し 66 分(46 分)に 450℃に達した。

・出火室と隣接する廊下へは木製フラッシュ戸からの燃え抜けで延焼したが、450℃に達する時間は 10 分程度遅延した。

・２階で最初に 450℃を記録したのは２階普通教室(東)で、82 分(62 分)であった。

・３階で最初に 450℃を記録したのは３階オープンスペース(西)で、87 分(67 分)であった。

・実験終了まで防火壁東側の区画へは延焼しなかった。

・実験終了まで階段室へは延焼しなかった。

（２）　延焼の進展状況

測定された建物各部屋の温度データから、温度が 450℃を超えた時間を当該空間の延焼時間と定義し実験建物内の延焼経路を推定した。

表 4.7.3-1 に室温測定結果について各部屋に設置した可燃物の発熱量密度、内装仕上げ、および、各計測タワーで測定された温度が 450℃に達した時間をまとめた。

表 4.7.3-1　各室の条件と 450℃到達時間

階数	延焼順序	室名	タワー名	計測位置	発熱量密度※1 (MJ/m²)	内装※2			延焼時間[分:秒] ※4
						壁	天井	床	
3階	−	階段室	3AY	−	32	可※3	不	可	−
	33	階段前ホール	3AZ	3	32	可※3	不	可	93:54(73:54)
	34	教室西(南西)	3BX	3	400	可※3	不	可	135:12(115:12)
	34	教室西(北西)	3BY	4	400	可※3	不	可	135:12(115:12)
	27	オープンスペース西(1)	3BZ	3	200	可※3	不	可	87:16(67:16)
	35	教室西(南東)	3CX	3	400	可※3	不	可	135:30(115:30)
	−	教室西(北東)	3CY	−	400	可※3	不	可	−
	28	オープンスペース西(2)	3CZ	4	200	可※3	不	可	87:32(67:32)
	36	教室東(南西)	3DX	3	400	可※3	不	可	136:28(116:28)
	38	教室東(北西)	3DY	3	400	可※3	不	可	136:36(116:36)
	29	オープンスペース東(1)	3DZ	3	200	可※3	不	可	87:38(67:38)
	37	教室東(南東)	3EX	3・4	400	可※3	不	可	136:32(116:32)
	39	教室東(北東)	3EY	3	400	可※3	不	可	136:38(116:38)
	30	オープンスペース東(2)	3EZ	3	200	可※3	不	可	87:48(67:48)
	32	防火戸前(防火壁/加熱面側)	3EZb	2・3	200	可※3	不	可	92:20(72:20)
	−	防火戸前(防火壁/非加熱面側)	3FZb	−	0	不	不	不	−
階数	延焼順序	室名	タワー名	計測位置	発熱量密度※1 (MJ/m²)	内装※2			延焼時間[分:秒] ※4
						壁	天井	床	
2階	−	階段室踊り場(2−3階)	2AX	−	32	可※3	準不	可	−
	−	階段室	2AY	−	32	可※3	準不	可	−
	31	階段前ホール	2AZ	3	32	可	準不	可	88:06(68:06)
	25	教室西(南西)	2BX	2・3	400	可	準不	可	86:58(66:58)
	23	教室西(北西)	2BY	3	400	可	準不	可	86:26(66:26)
	20	オープンスペース西(1)	2BZ	4	200	可	準不	可	84:54(64:54)
	26	教室西(南東)	2CX	3	400	可	準不	可	87:00(67:00)
	24	教室西(北東)	2CY	3	400	可	準不	可	86:40(66:40)
	18	オープンスペース西(2)	2CZ	3・4	200	可	準不	可	84:32(64:32)
	14	教室東(南西)	2DX	3	400	可	準不	可	82:54(62:54)
	15	教室東(北西)	2DY	3	400	可	準不	可	83:00(63:00)
	19	オープンスペース東(1)	2DZ	3・4	200	可	準不	可	84:52(64:52)
	13	教室東(南東)	2EX	3	400	可	準不	可	82:48(62:48)
	16	教室東(北東)	2EY	3	400	可	準不	可	83:08(63:08)
	21	オープンスペース東(2)	2EZ	3	200	可	準不	可	85:00(65:00)
	22	防火戸前(防火壁/加熱面側)	2EZb	2	200	可	準不	可	85:02(65:02)
	−	防火戸前(防火壁/非加熱面側)	2FZb	−	0	不	不	不	−
階数	延焼順序	室名	タワー名	計測位置	発熱量密度※1 (MJ/m²)	内装※2			延焼時間[分:秒] ※4
						壁	天井	床	
1階	−	階段室踊り場(1−2階)	1AX	−	32	可※3	準不	可	−
	−	階段室	1AY	−	32	可※3	準不	可	−
	17	廊下(階段室前)	1AZ	3	32	可	準不	可	83:24(63:24)
	3	職員室西(南西)	1BX	3	700	可	準不	可	66:56(46:56)
	1	職員室西(北西)	1BY	4	700	可	準不	可	66:38(46:38)
	9	廊下西(1)	1BZ	3	32	可	準不	可	81:08(61:08)
	4	職員室西(南東)	1CX	3	700	可	準不	可	67:02(47:02)
	2	職員室西(北東)	1CY	4	700	可	準不	可	66:48(46:48)
	10	廊下西(2)	1CZ	3	32	可	準不	可	81:22(61:22)
	7	職員室東(南西)	1DX	3	700	可	準不	可	74:30(54:30)
	4	職員室東(北西)	1DY	3	700	可	準不	可	67:02(47:02)
	12	廊下東(1)	1DZ	3	32	可	準不	可	82:28(62:28)
	6	職員室東(南東)	1EX	3	700	可	準不	可	74:22(54:22)
	5	職員室東(北東)	1EY	3	700	可	準不	可	70:50(50:50)
	8	廊下東(2)	1EZ	2	32	可	準不	可	80:44(60:44)
	11	防火戸前(防火壁/加熱面側)	1EZb	3	32	可	準不	可	82:24(62:24)
	−	防火戸前(防火壁/非加熱面側)	1FZb	−	0	不	不	不	−

【※1】発熱量密度は、単位床面積あたりの可燃物の量(発熱量)を示す。
【※2】内装　不:不燃材料、準不:準不燃材料、可:木材
【※3】X方向(東西方向)の壁は外壁の屋内側のみ全て木質化し、他は不燃材料仕上げ。
　　Y方向(南北方向)の壁は外壁柱面より1mまで木質化し、他は不燃材料仕上げ。

延焼拡大の様子を視覚的に判り易くするため同時刻の各計測タワーの最高温度を平面図に記入し、当該温度が 260℃以上(450℃未満)となった場合、当該測定位置が代表するゾーンを黄色、450℃以上となった場合は赤色で示した。温度が 450℃以上になった時点を延焼時間と想定し、代表的な事象が現れている例を図 4.7.3-14～19 に示す。

66 分(46 分)の温度分布を図 4.7.3-14 に示す。火源が成長し 66 分(46 分)に再着火点近傍の測定点が初めて 450℃を超え、67 分(47 分)に職員室(西)でフラッシュオーバー(F.O.)が発生した。

80 分(60 分)の温度分布を図 4.7.3-15 に示す。職員室と廊下を隔てる木製フラッシュ戸が燃え抜けて廊下に延焼している。

82 分(62 分)の温度分布を図 4.7.3-16 に示す。この時点で２階への延焼が確認された。延焼経路は噴出火炎による南側の外部開口を経由して延焼した。

84 分(64 分)の温分布度を図 4.7.3-17 に示す。この時点で２階北側オープンスペースへ延焼した。延焼経路は南側同様、噴出火炎による北側の外部開口経由であった。

87 分(67 分)の温度分布を図 4.7.3-18 に示す。３階の北側オープンスペースに延焼した。延焼経路は噴出火炎による北側の外部開口経由であった。また、136 分(116 分)に３階普通教室へ延焼したが、この延焼経路も南側の外部開口経由であった。

実験終了時の 150 分(130 分)の温度分布を図 4.7.3-19 に示す。この時点で防火壁東側の区画は 52.7～244.9℃、階段室の竪穴区画は 83.8～129.3℃でいずれの防火区画にも延焼しなかった。

上記の室温測定結果から推定した延焼経路を図 4.7.3-20 に示す。延焼時間は当該位置における最初に 450℃に到達した時間を記載した。

室内の温度の測定結果から確認された実験建物内の延焼拡大の特徴は、以下のとおりである。

① 出火室天井内装材の準不燃化により初期の火災成長が緩慢であった。

② ２階への延焼は 82 分(62 分)に、噴出火炎による外部開口経由で延焼した。また、３階への延焼は 87 分(67 分)に、２階と同様、噴出火炎による外部開口経由で延焼した。

実験終了時の 150 分(130 分)まで防火戸を通じて延焼はせず、防火区画を越える延焼もなかった。

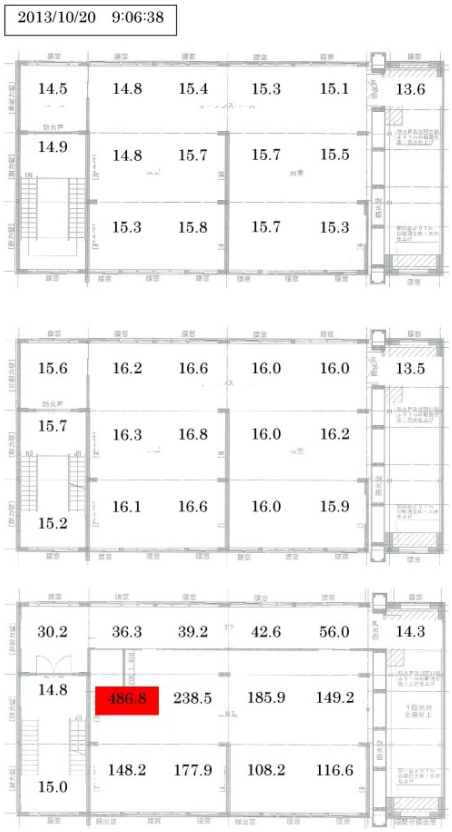


図 4.7.3-14　66 分(46 分)の温度分布

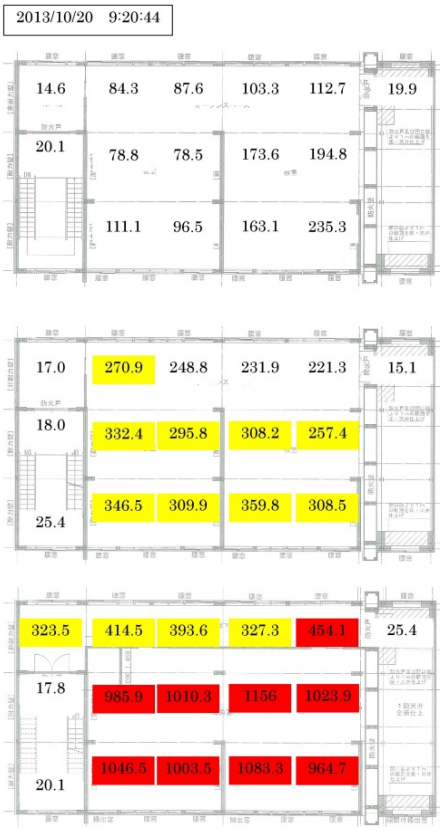


図 4.7.3-15　80 分(60 分)の温度分布

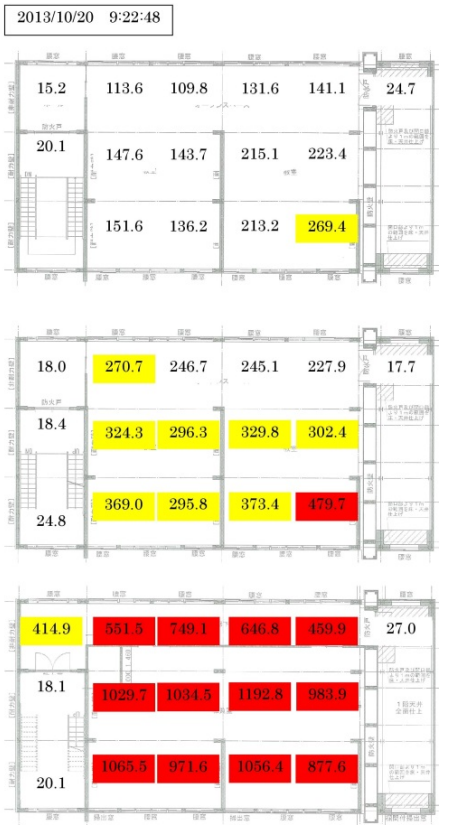


図 4.7.3-16　82 分(62 分)の温度分布

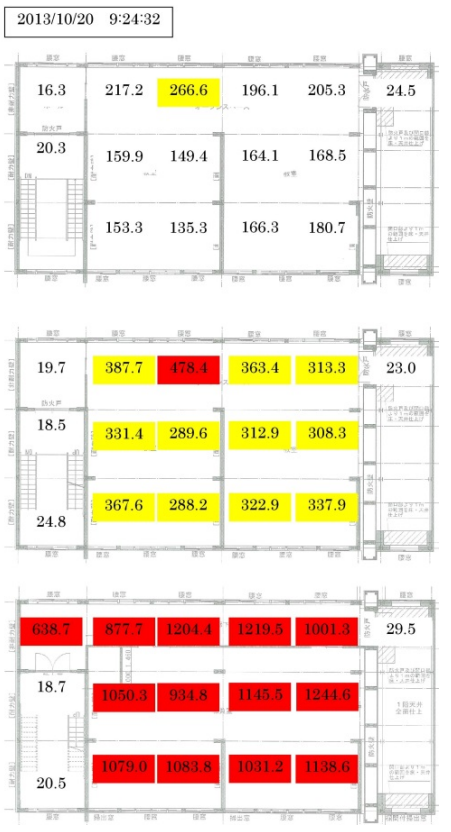


図 4.7.3-17　84 分(64 分)の温度分布



図 4.7.3-18　87 分(67 分)の温度分布

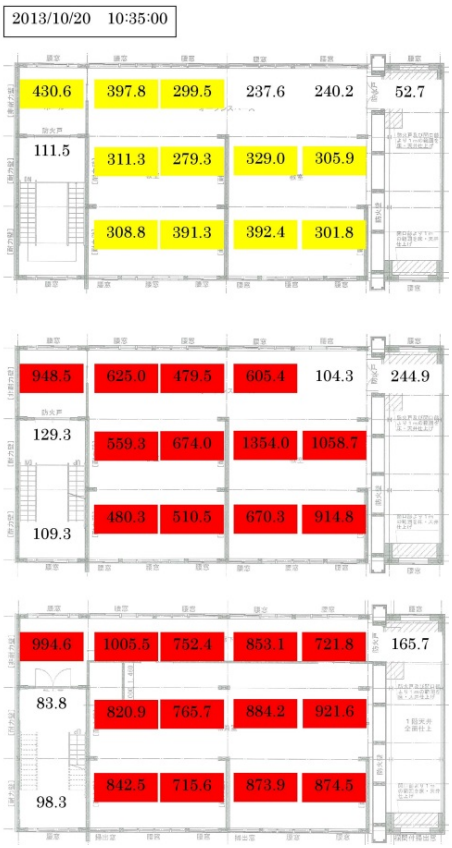


図 4.7.3-19　150 分(130 分)の温度分布

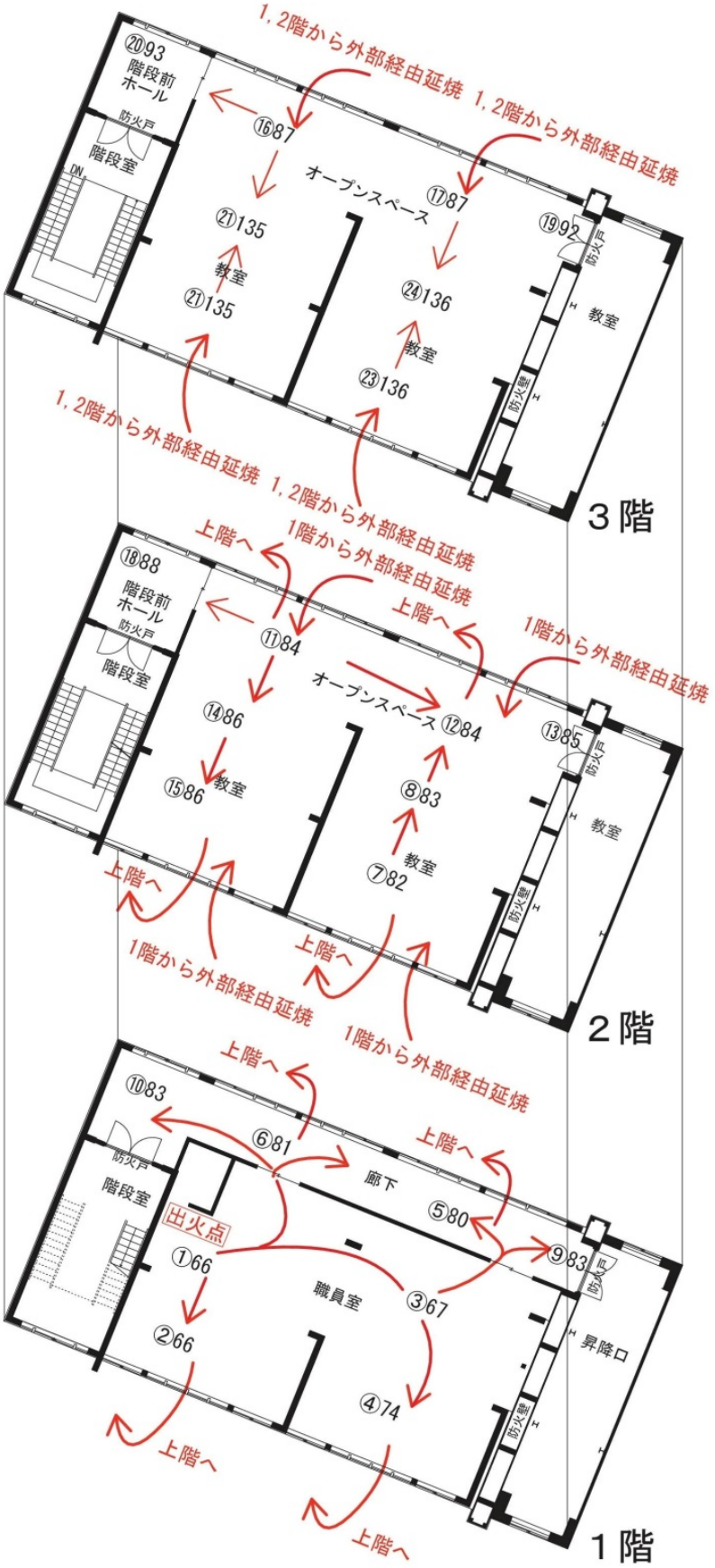


図 4.7.3-20　延焼拡大の推定経路

（３）主要構造部等の温度

１） 柱

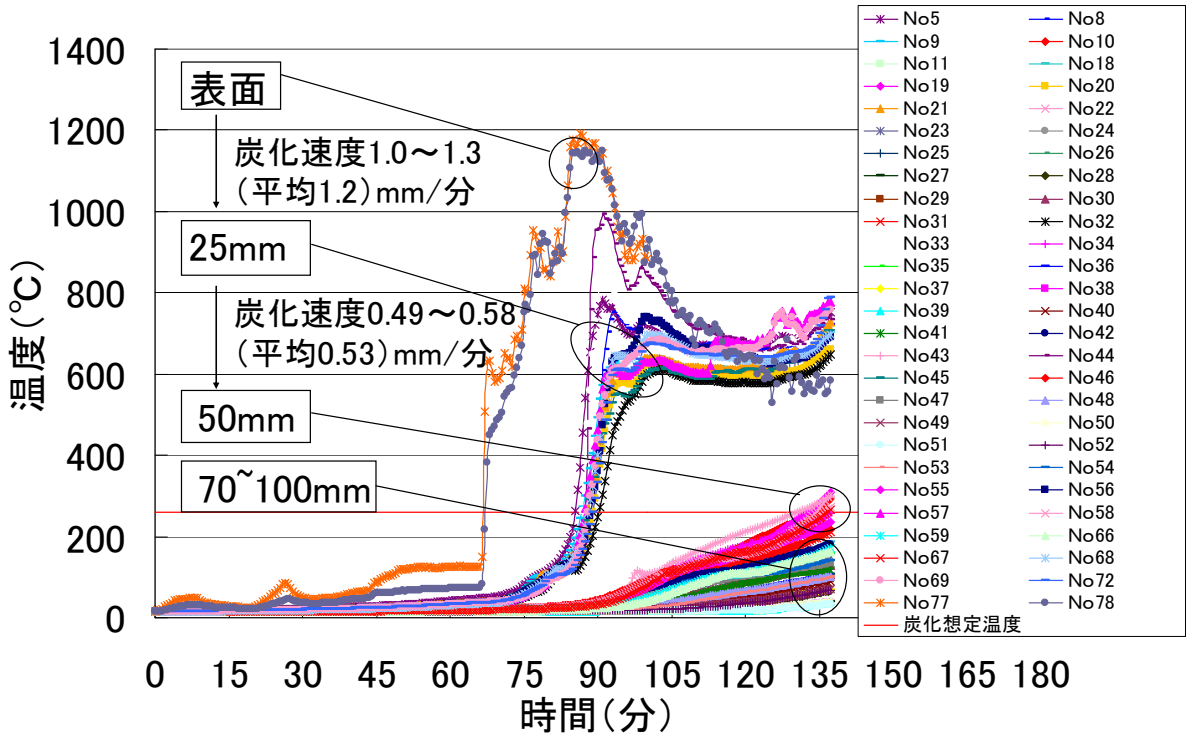
本試験では、準備実験と同様に１階出火室にのみ独立柱が１本あり、建物部材内でこの柱が最も早く構造的に破壊するおそれがあったため、独立柱の近傍に図 4.2.1-1 および図 4.5.3-5 に示す独立柱と同素材、同断面（対称異等級構造用カラマツ集成材 E105－F300、220×650mm）の炭化深さ評価用柱を置き、その内部に設置した熱電対 78 点の温度変化から、柱の炭化量と残存耐力をモニタリングした。独立柱の初期の軸力は約 133kN で、実験終了後は炭化深さ評価用柱および独立柱をそれぞれ解体し、最終的な炭化量の測定を行った。

図 4.7.3-21、22 に柱内部温度変化と炭化速度を示す。炭化速度は、温度が 260℃を超えた部分より外側が炭化したと想定し、柱表面に直交する一直線上の２点を選び、２点の距離の差を 260℃超えた時間の差で割ることにより算出した。図をみると、１階がフラッシュオーバーした頃の 67 分(47 分)に炭化深さ評価用柱表面温度が 260℃を超えて柱の燃焼が始まったことがわかる。139 分(119 分)以降は断線して温度測定が不能になったが、写真 4.7.3-1 より実験終了後も炭化深さ評価用柱および独立柱ともに破壊せず自立していた。短辺方向の炭化速度は最初速いところで 1.3mm/分であったが、徐々に遅くなり断線する直前には平均 0.53mm/分に落ち着いた。断線時の炭化量は図 4.7.3-21 でちょうど 50mm 程度であったから、ここから消火時 155 分(135 分)の炭化深さを予測すると、(155－139)×0.53＋50≒58mm となった。長辺方向の炭化速度は、最初速いところで 1.0mm/分であり、40mm 炭化するまで平均 0.93mm/分と比較的早い炭化速度を示した。最終的な柱の炭化量は４．７．７（５）軸組材の残存・炭化状況に示すとおりで、温度から予測した値と近似しており、いずれも燃えしろ 45mm を越えていた。

本実験と準備実験の柱の炭化量を ISO834 標準加熱時の一般的な炭化速度 0.6mm/分 [2)3)]で割ると、本実験は炭化量 58mm÷0.6mm/分≒97 分、準備実験は炭化量 50～60mm÷0.6mm/分≒83～100 分で、いずれも ISO 加熱で 80～100 分に相当する加熱を受けたと推定できる。図 4.7.3-23、4 に柱の近傍室温とこれから算出した温度時間面積を示す。図 4.7.3-24 で水分蒸発や変色が始まる 100℃以上の受熱時間を積算したグラフをみると、本実験では ISO 加熱の 96 分程度、準備実験では 87 分程度の加熱に相当し、前述の炭化量からの換算時間にほぼ合致する結果が得られた。

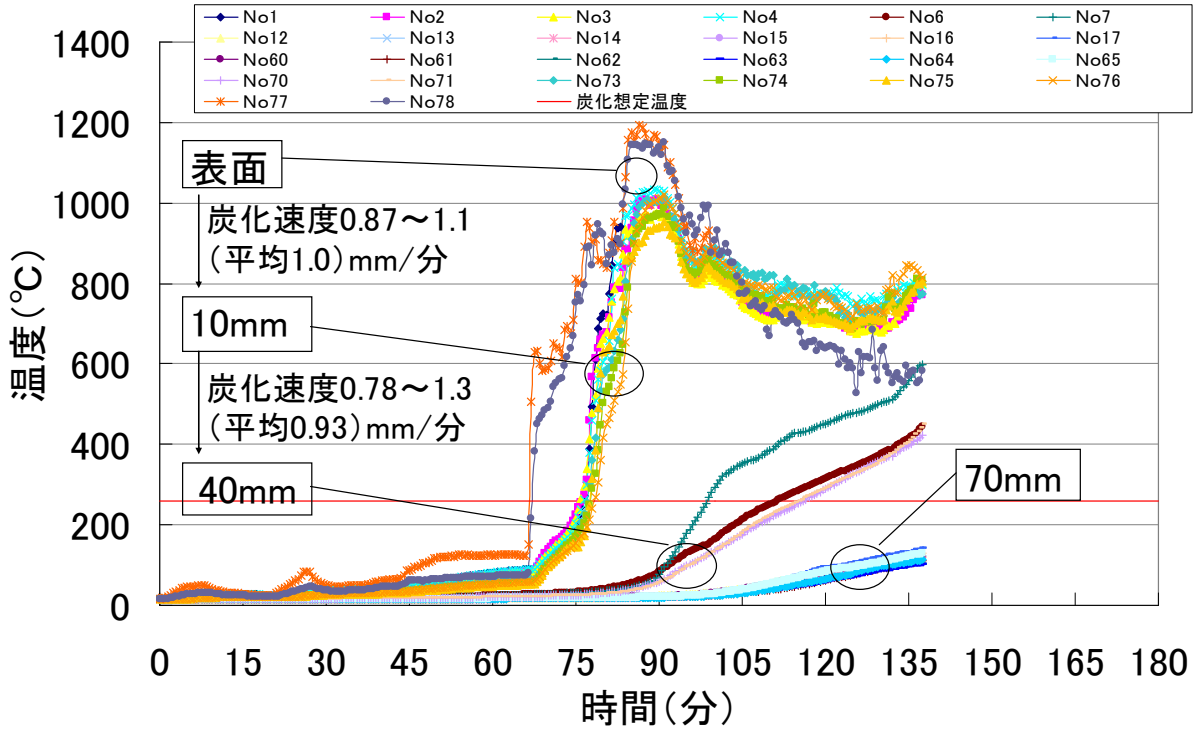


写真 4.7.3-1　消火後の独立柱および炭化深さ評価用柱の状態



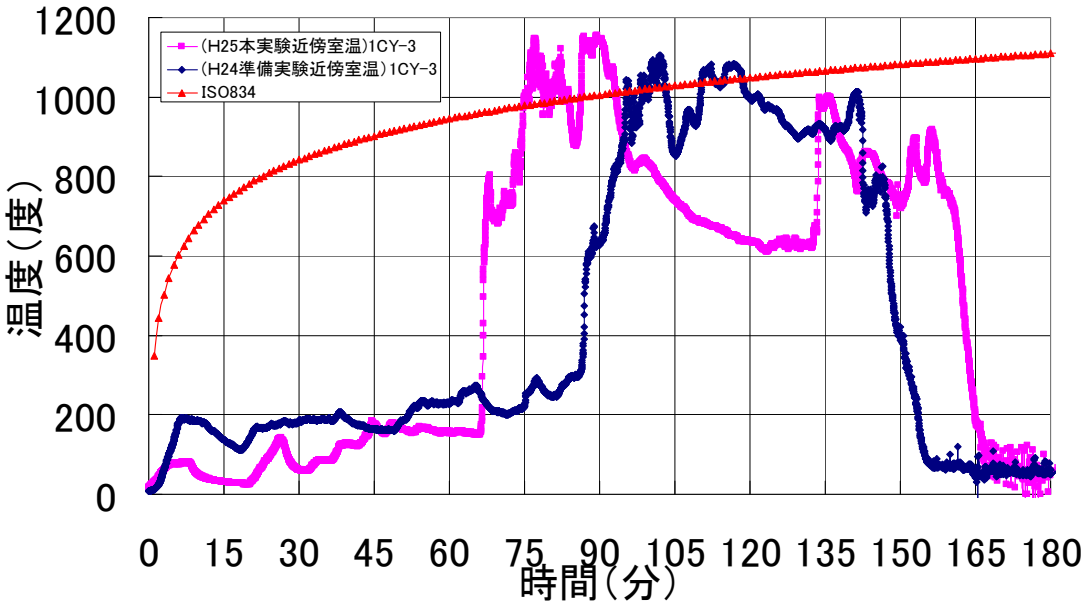
（表面から 25,50,60,70,80,100 ㎜）

図 4.7.3-21　短辺方向の柱内部温度と炭化速度



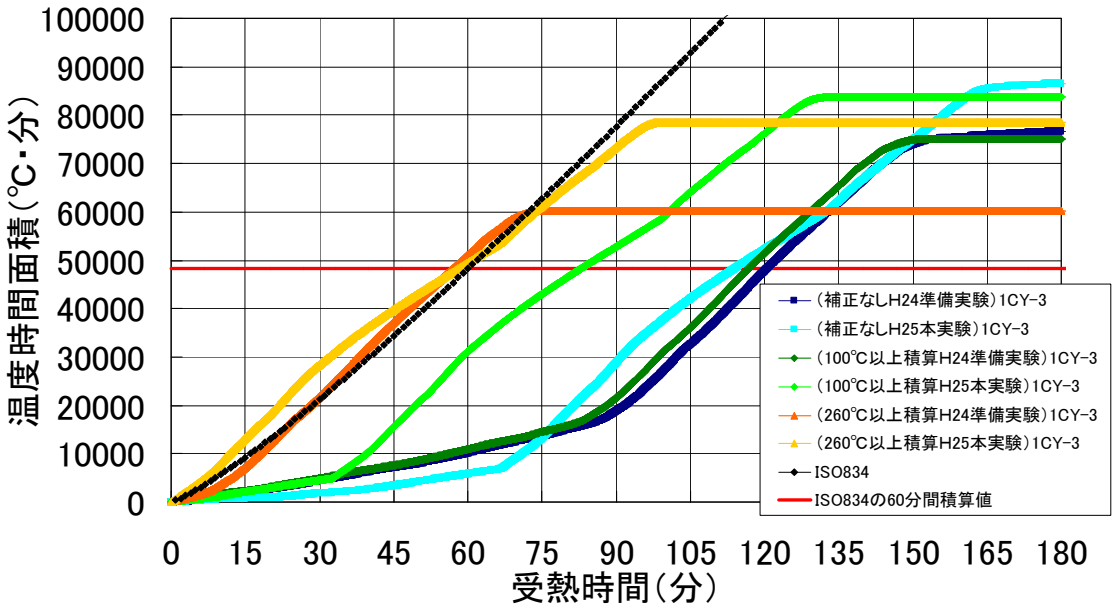
（表面から 10,40,70 ㎜）

図 4.7.3-22　長辺方向の柱内部温度と炭化速度



(柱の近傍室温の温度)

図 4.7.3-23　独立柱の加熱温度変化



(図 4.7.3-22 から算出。100℃未満、260℃未満の時間を切り捨て
て補正したものと、補正していないものを含む)

図 4.7.3-24　独立柱が受けた温度時間面積

１．１）　独立柱の支持能力の検証（柱の載荷加熱実験）

本実験における実験建物の倒壊を防止するために、本実験に先立ち、独立柱が支持荷重に対してどの程度の炭化深さで破壊するか検証を行った。

試験体は図 4.7.3-25～27 および写真 4.7.3-2、3 に示すように本実験と同じ、断面寸法 220×650mm のカラマツ集成材の柱で座屈長さを 3350mm とし、柱頭はピン納まり、柱脚はピンと実際の鋼板挿入金物接合による固定納まりの２仕様各１体とした。実験は、独立柱の初期軸力 133kN を載荷しながら ISO834 標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。試験体内部に図 4.7.3-25 のように熱電対 22 点を設置してその温度から炭化深さをモニタリングした。

図 4.7.3-28 に軸方向収縮量、図 4.7.3-29 に軸方向収縮速度、図 4.7.3-30、31 に内部温度、図 4.7.3-32 に炭化深さの予測図を示す。

試験体（両端ピン支持）は、加熱開始後 117.5 分に柱中央付近で座屈破壊して荷重支持ができなくなった。試験体（柱頭ピン・柱脚固定支持）は、加熱開始後 94.75 分に荷重支持ができなくなり、その後柱脚の金物上端付近で破壊した。

図 4.7.3-30、31 で 260℃を越えた部分を炭化層と想定すると図 4.7.3-32 のようになり、試験体（両端ピン支持）の炭化深さは 70～80mm、試験体（柱頭ピン・柱脚固定支持）の炭化深さは 60～70mm であった。

なお、本実験の結果から、本実験での炭化深さはこれらより小さかったため、支持能力には余力があったと考えられる。

図 4.7.3-28 から、変位量は加熱 60 分時点でどちらの試験体もほぼ同じであったが、それ以降は試験体（柱頭ピン・柱脚固定支持）の方が速く変位が増加し破壊も速かった。これは、柱脚が固定されて加熱が進むと、周辺で起きる木部の熱劣化と炭化により支持金物の補剛効果が下がってしまうことが原因と考えられる。しかし、支持荷重が大きな条件では、金物周辺の木部の熱劣化等が支持金物の補剛効果に影響を及ぼす前に柱が座屈破壊する可能性もあり、常にこの結果のように柱脚固定支持の条件が両端ピン支持の条件より、早く破壊するとは限らないといえる。

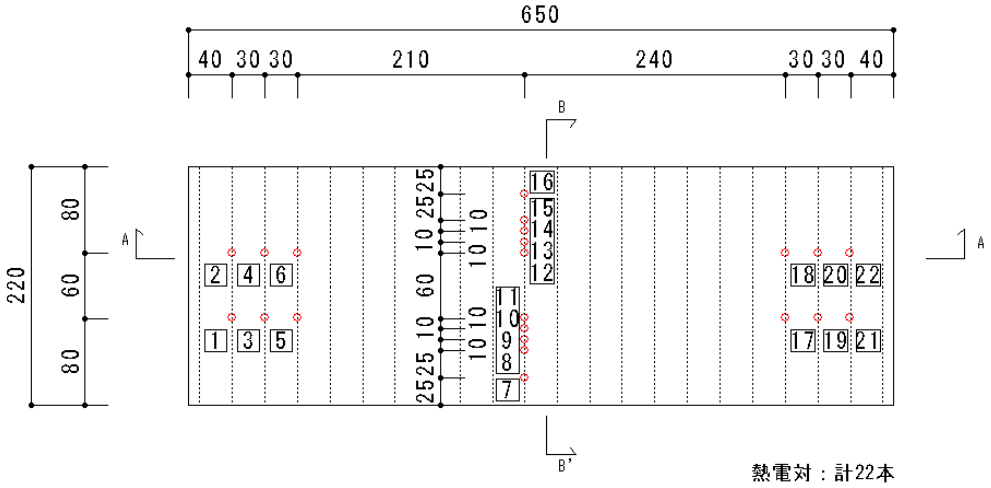


図 4.7.3-25　柱内部熱電対位置

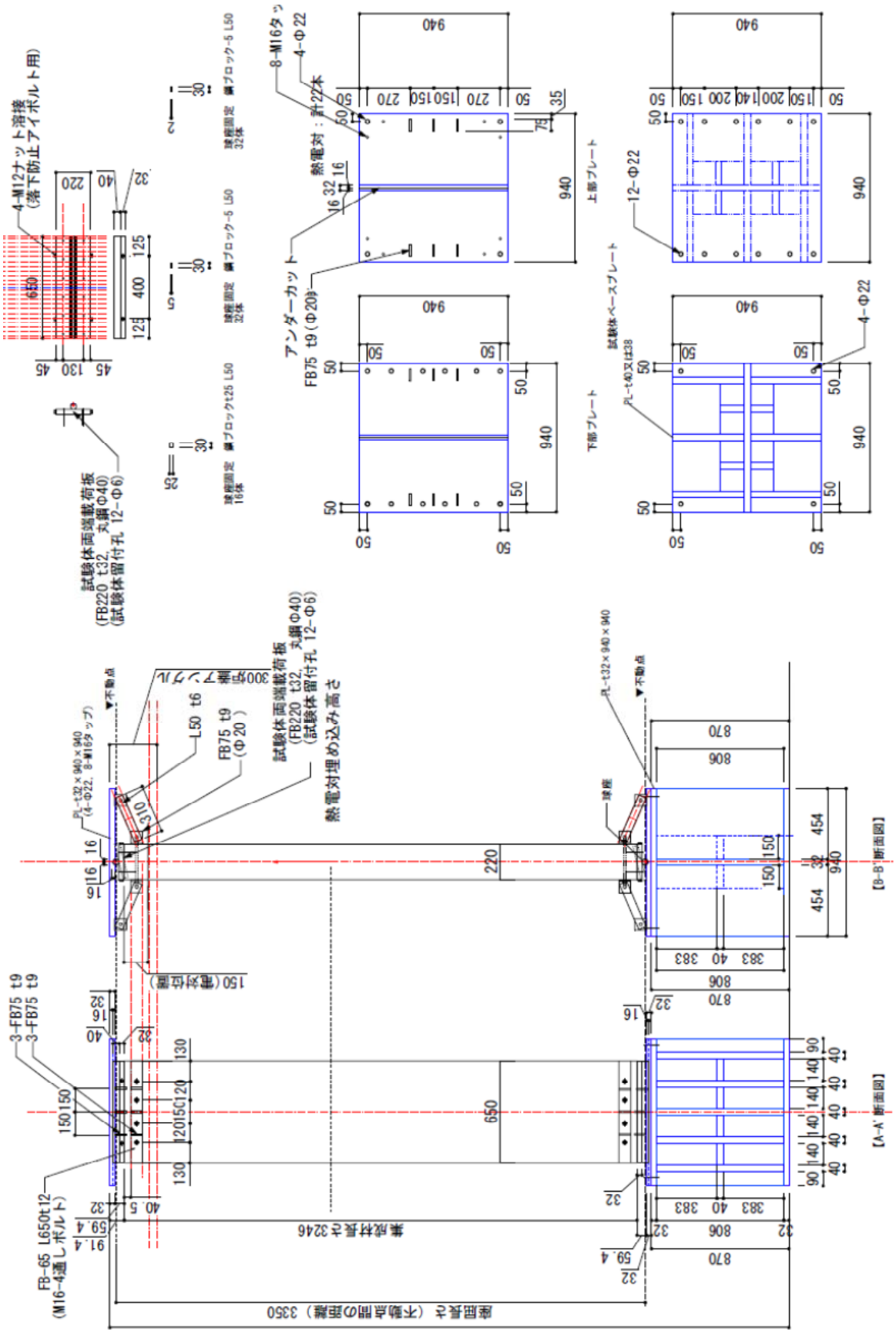


図 4.7.3-26　柱試験体（両端ピン支持）

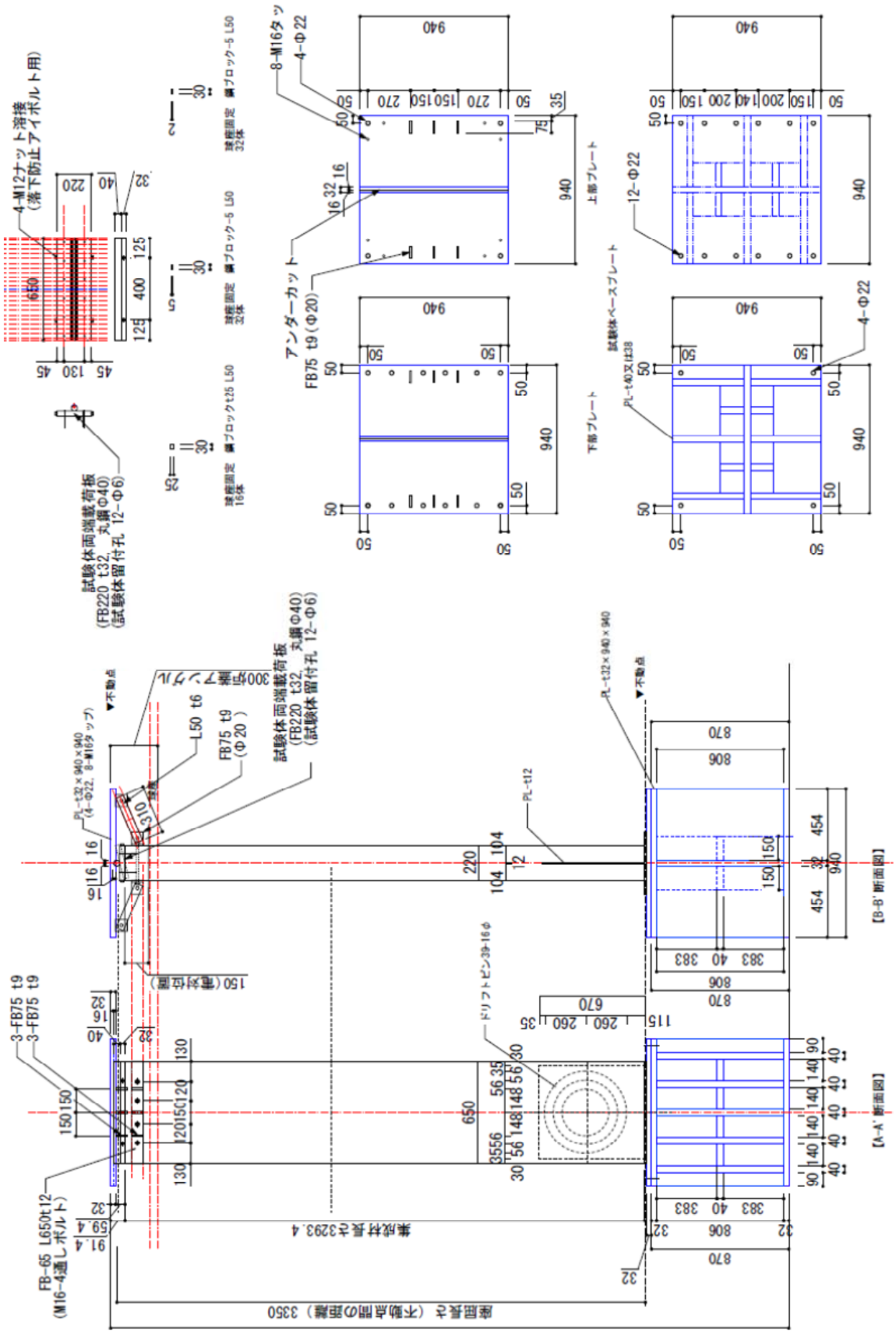


図 4.7.3-27　柱試験体（柱頭ピン・柱脚固定支持）









写真 4.7.3-2　柱試験体（両端ピン支持）加熱前・加熱中・加熱後の様子



写真 4.7.3-3　柱試験体（ピン - 柱脚固定支持）加熱前・加熱中・加熱後の様子

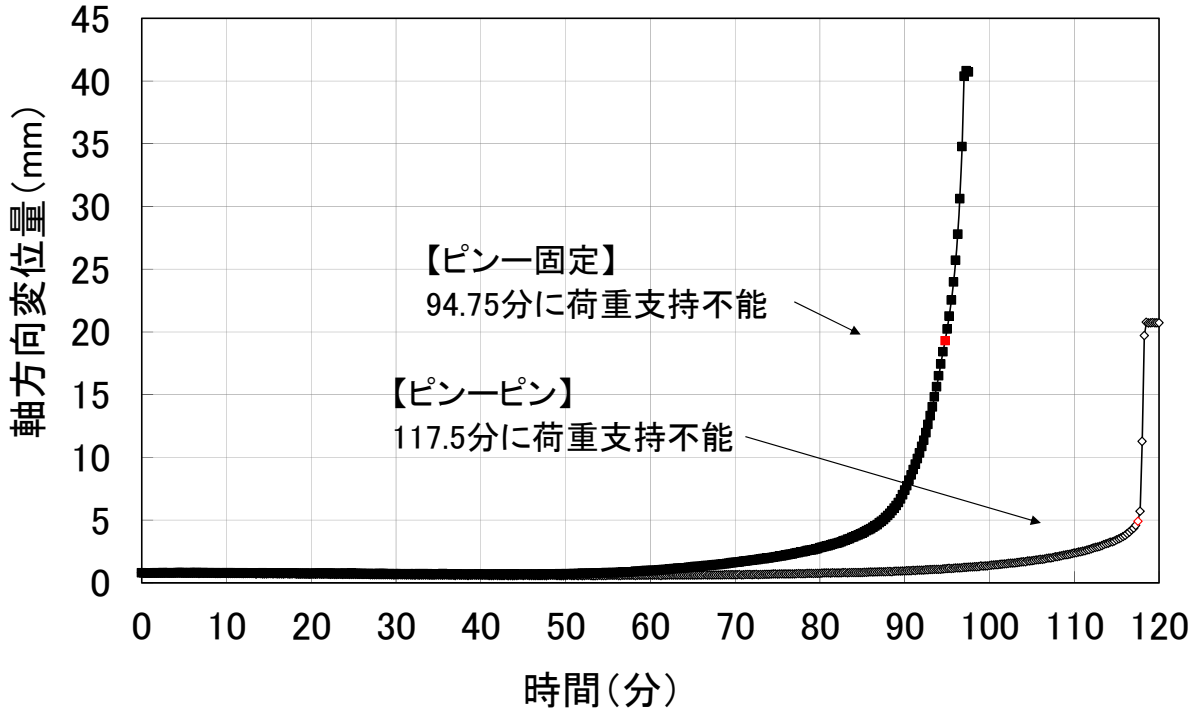


図 4.7.3-28　柱試験体（両端ピン支持）軸方向収縮量

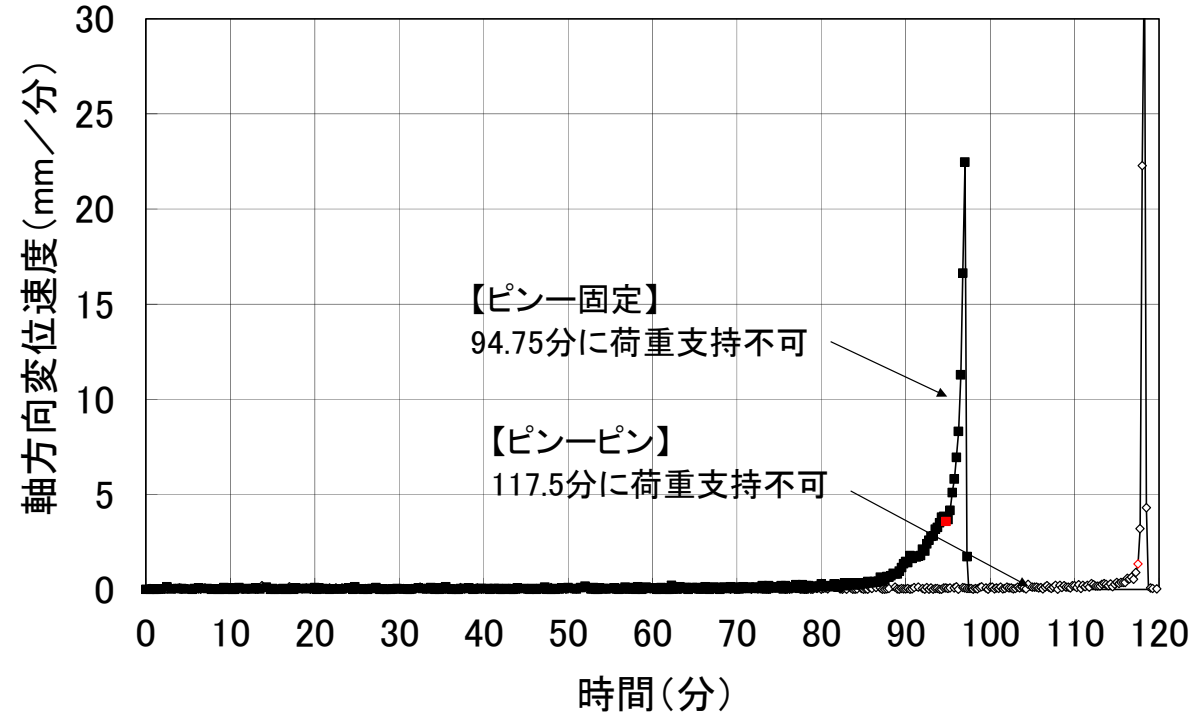


図 4.7.3-29　柱試験体（両端ピン支持）軸方向収縮速度

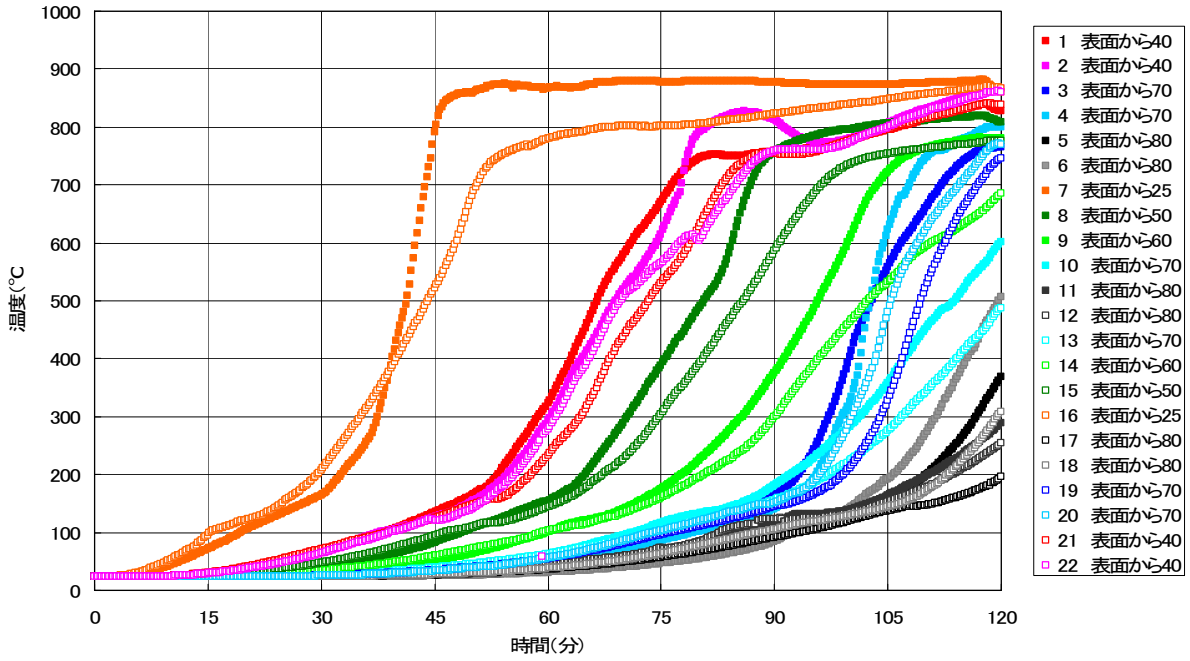


図 4.7.3-30　柱試験体（両端ピン固定支持）内部温度

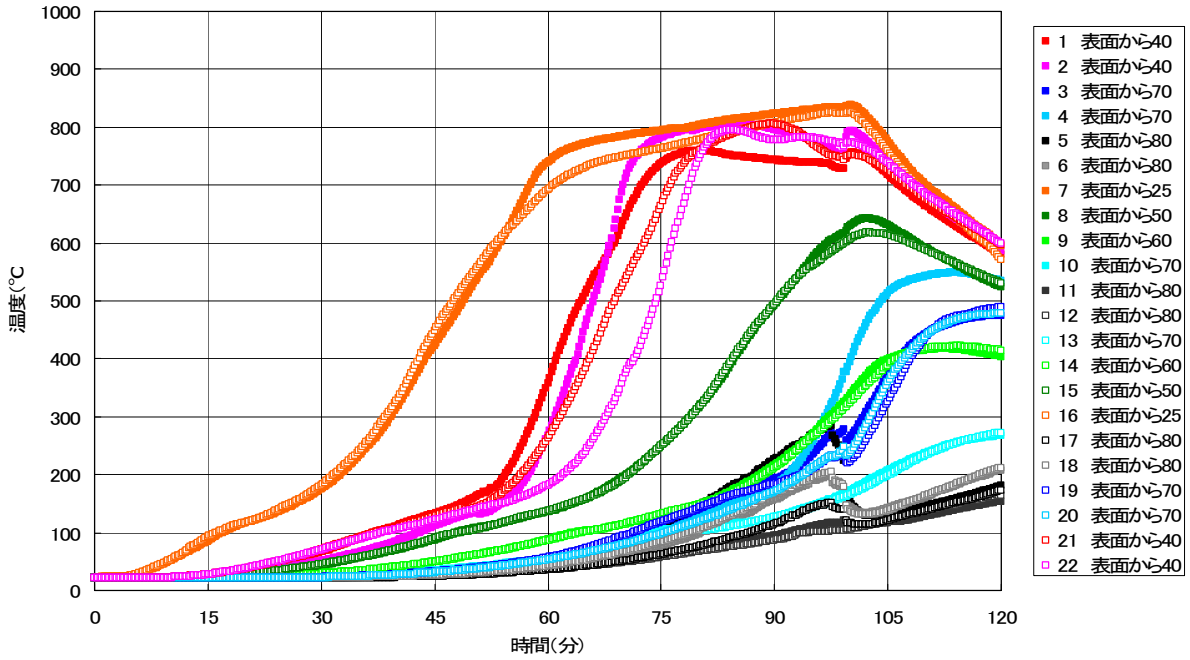
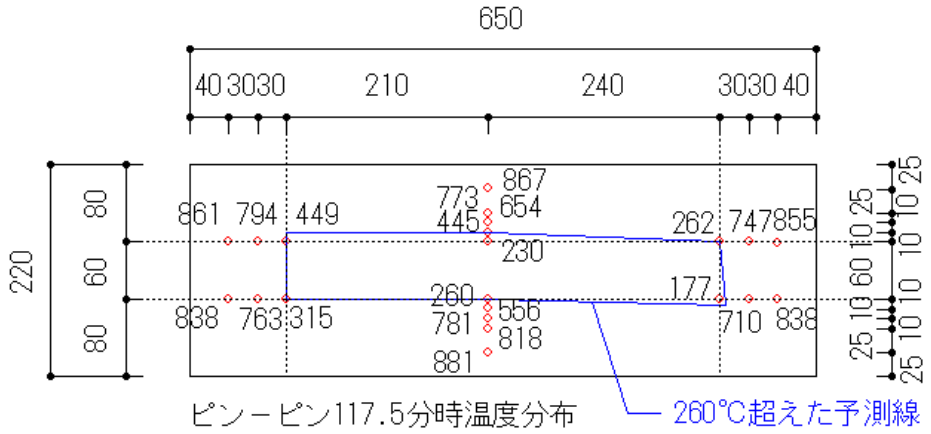


図 4.7.3-31　柱試験体（柱頭ピン・柱脚固定支持）内部温度



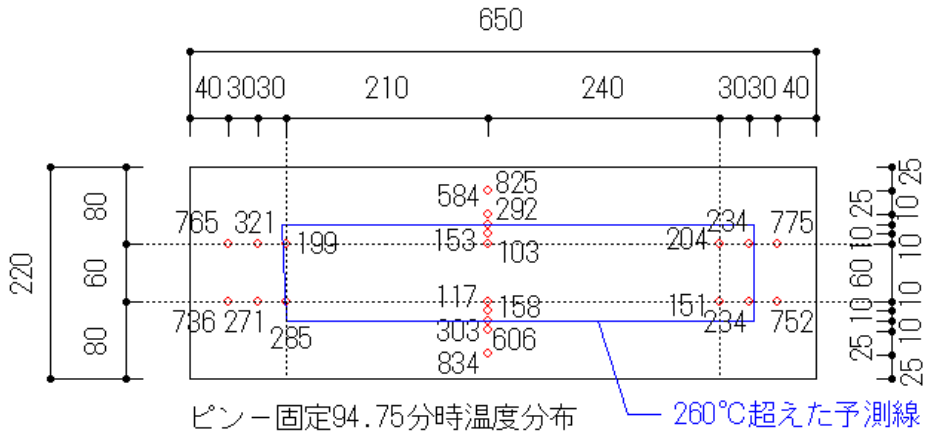


図 4.7.3-32　各破壊時間における断面内温度と炭化深さの予測図

2）床

着火点である職員室上部にある２階普通教室(西)床の温度をみると、火源からの熱気流の影響で天井表面(2AXf-1、2AYf-1、2BXf-1、2BYf-1)は 100℃～200℃の余熱を約 65 分間受け、職員室 1BY が 450℃となる 66 分(46 分)から天井表面温度が急上昇し、86 分(66 分)には２階普通教室 2BY も 450℃に達し以降両面加熱となった。

２階普通教室(西)南西の床は、図 4.7.3-33 より 80 分(60 分)に強化せっこうボード裏 2AXf-2 で 450℃を超えた。134 分(114 分)には再び天井強化せっこうボード裏 2AXf-2 および床面構造用合板下 2AXf-3 が 450℃を超え、天井内部への延焼が確認された。

２階普通教室(西)北西の床は、図 4.7.3-34 より 133 分(113 分)には天井強化せっこうボード裏 2AYf-2 および床面構造用合板下 2AYf-3 が 450℃を超え、天井内部への延焼が確認された。

２階普通教室(西)南東の床は、図 4.7.3-35 より 118 分(98 分)に強化せっこうボード裏(2BXf-2、3)で 450℃を超えた。133 分(113 分)には天井強化せっこうボード裏 2BXf-2 および床面構造用合板下 2BXf-3 が再び 450℃を超え、天井内部への延焼が確認された。

２階普通教室(西)北東の床は、図 4.7.3-36 より 118 分(98 分)に強化せっこうボード裏(2BYf-2、

3)で 450℃を超えた。131 分(111 分)に天井強化せっこうボード裏 2BYf-2 および床面構造用合板下 2BYf-3 が 450℃を超え、天井内部への延焼が確認された。

職員室(東)上部の 2 階普通教室(東)の床は、火源からの熱気流の影響で天井表面 2DYf-1 が 100℃程度の余熱を約 65 分(45 分)頃まで受け、職員室 1BY が 450℃となる 66 分(46 分)頃から天井表面温度 2DYf-1 が急激に上昇した。2 階普通教室(東)2EY が 450℃となる 83 分(63 分)からは両面加熱となり、137 分(117 分)に天井内部へ延焼を確認した。

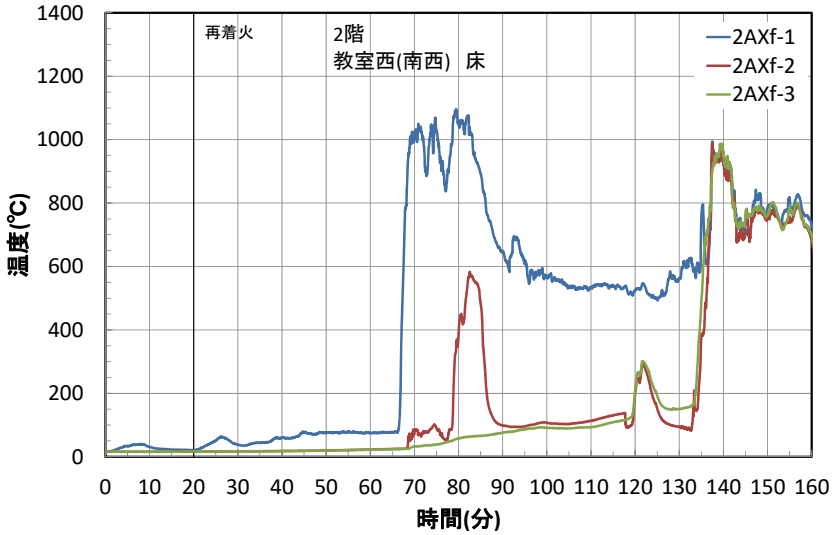


図 4.7.3-33　2 階普通教室(西)南西の床温度

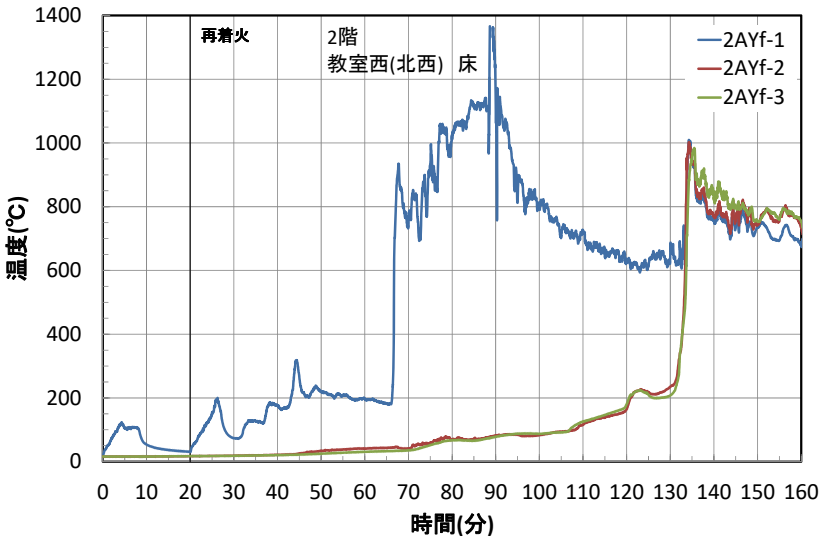


図 4.7.3-34　2 階普通教室(西)北西の床温度

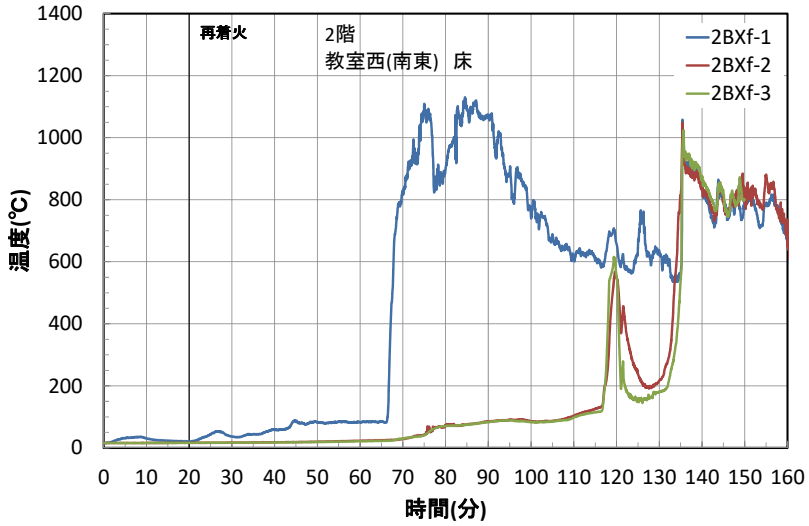


図 4.7.3-35　2 階普通教室(西)南東の床温度

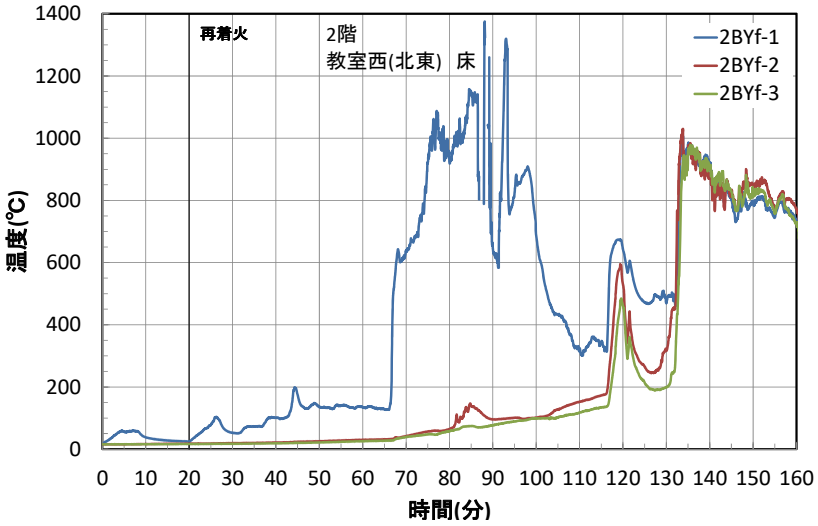


図 4.7.3-36　2 階普通教室(西)北東の床温度

3 階普通教室(西)の床の温度をみると、1 階からの噴出火炎で 70 分(50 分)頃から天井表面温度が上昇し始め、2 階普通教室が 450℃となる 86 分(66 分)頃から温度が急上昇し 450℃を超えた。

3 階普通教室(西)南西の床は、図 4.7.3-37 より強化せっこうボード 2 枚目裏 3AXf-2 および床面構造用合板下 3AXf-3 は 100℃以下で、天井内部への延焼は無かった。

3 階普通教室(西)北西の床は、図 4.7.3-38 より強化せっこうボード 2 枚目裏 3AYf-2 および床面構造用合板下 3AYf-3 は 100℃以下で、天井内部への延焼は無かった。

3 階普通教室(西)南東の床は、図 4.7.3-39 より強化せっこうボード 2 枚目裏 3BXf-2 および床面構造用合板下 3BXf-3 は 200℃以下で、天井内部への延焼は無かった。

3 階普通教室(西)北東の床は、図 4.7.3-40 より強化せっこうボード 2 枚目裏 3BYf-2 および床面構造用合板下 3BYf-3 は 200℃以下で、天井内部への延焼は無かった。

3 階普通教室(東)の床は、図 4.7.3-41 より 1 階からの噴出火炎で 70 分(50 分)頃から天井表面温度が上昇し始め、2 階普通教室が 450℃となる 83 分(63 分)頃から温度が急上昇し 450℃を超えた。強化せっこうボード 2 枚目裏 3DYf-2 および床面構造用合板下 3DYf-3 は 200℃以下で、天井内部への延焼は無かった。

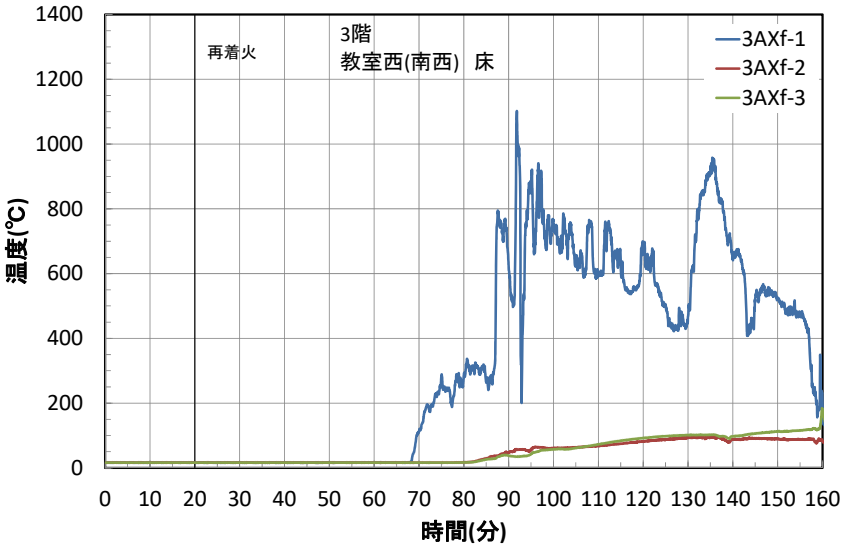


図 4.7.3-37　3 階普通教室(西)南西の床温度

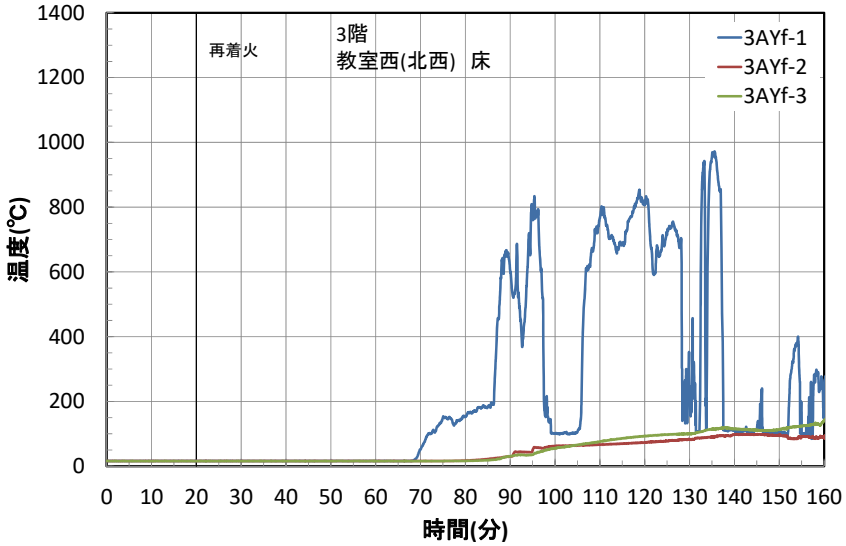


図 4.7.3-38　3 階普通教室(西)北西の床温度

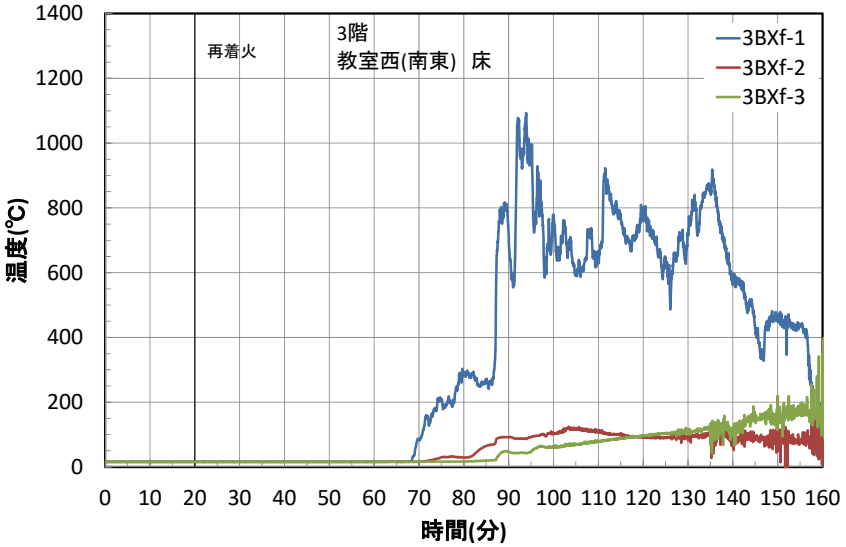


図 4.7.3-39　3 階普通教室(西)南東の床温度

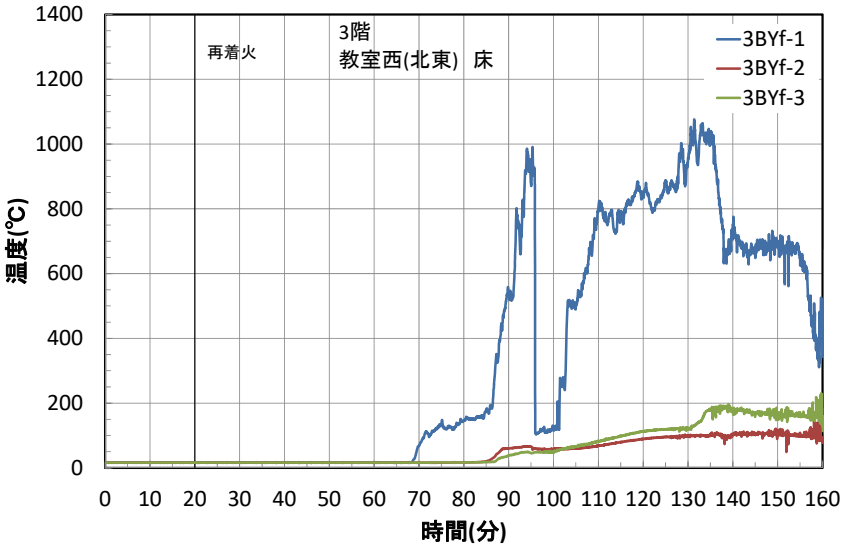


図 4.7.3-40　3 階普通教室(西)北東の床温度

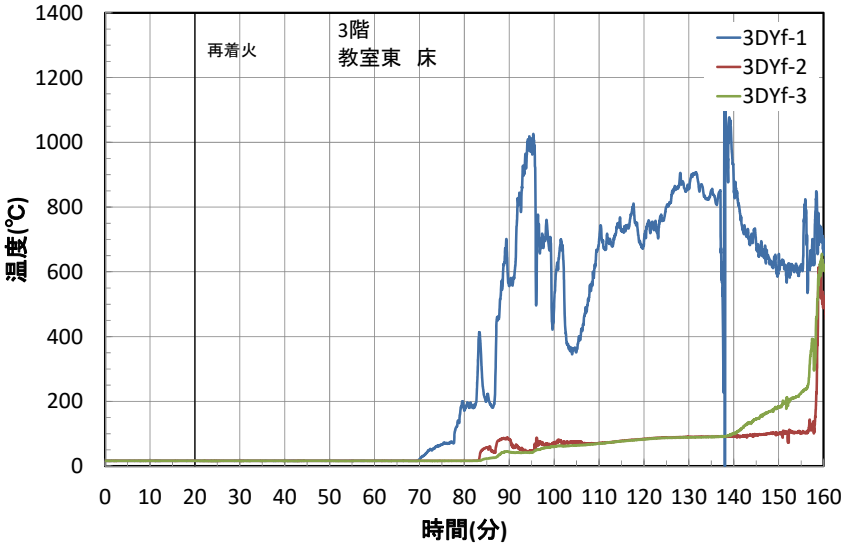


図 4.7.3-41　3 階普通教室(東)の床温度

3）腰壁

1 階腰壁は、図 4.7.3-42 より職員室 1BX が 66 分(46 分)で 450℃となる頃から室内側合板表面 1BXn-1 の温度が上昇した。70 分(50 分)頃には噴出火炎の影響でサイディング表面 1BXn-3 の温度が上昇した。90 分(70 分)には壁内部 1BXn-2 へ延焼、サイディング表面 1BXn-3 も 450℃に達した。

2 階腰壁は、図 4.7.3-43 より 1 階からの噴出火炎により 75 分(55 分)にサイディング表面 2BXn-3 が 450℃に到達した。2 階普通教室 2BX が 450℃となる 86 分(66 分)から室内側合板表面 2BXn-1 の温度も上昇し、94 分(74 分)には 450℃に達した。その後 137 分(117 分)にはせっこうボード裏面 2BXn-2 が 450℃に到達し、壁内部への延焼を確認した。

3 階腰壁は、図 4.7.3-44 より職員室 1BX が 450℃となった 66 分(46 分)以降に噴出火炎によりサイディン表面 3BXn-3 の温度が上昇した。132 分(112 分)頃には、腰壁内部 2BXn-2、サイディン表面 3BXn-3 が 450℃を超え腰壁内部へ延焼した。

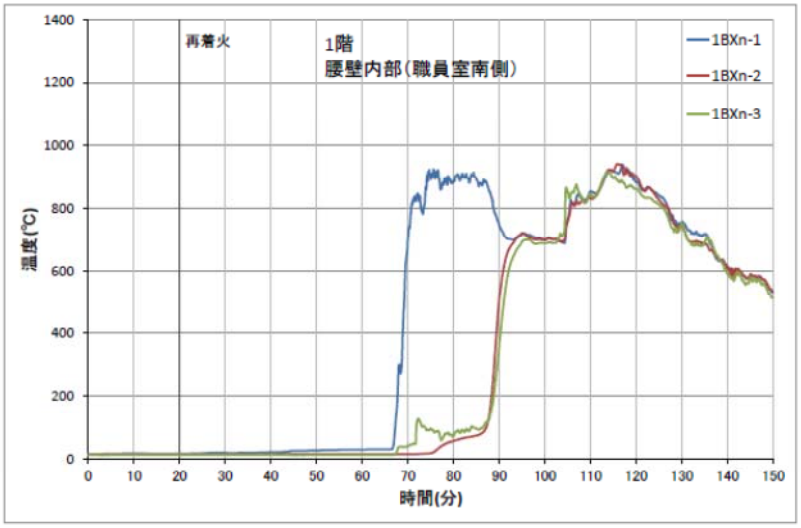


図 4.7.3-42　1 階腰壁内部温度

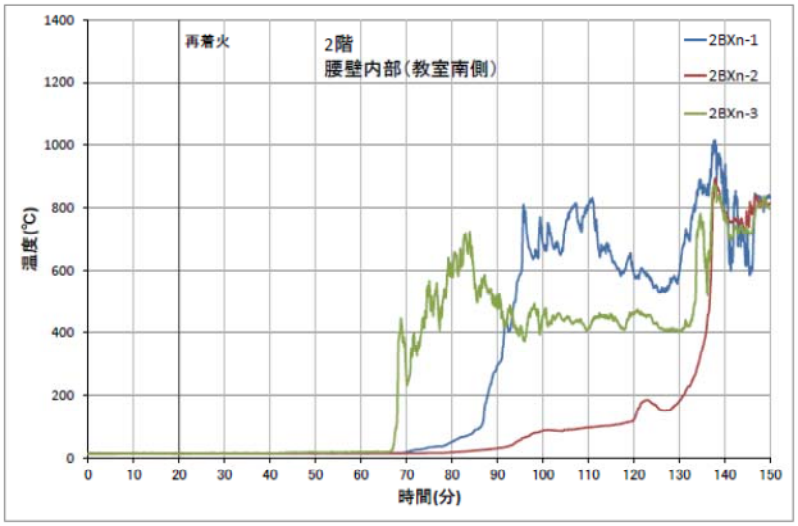


図 4.7.3-43　2 階腰壁内部温度

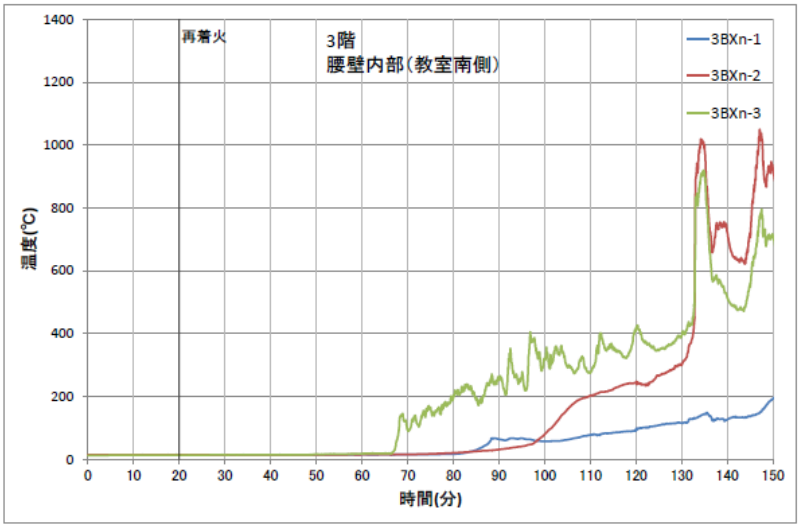


図 4.7.3-44　3 階腰壁内部温度

４）防火区画壁

１階職員室と階段室間の防火区画壁(南)は、図 4.7.3-45 より着火源が近いため実験開始から緩やかに温度上昇し、職員室 1BY が 450℃に達する 66 分(46 分)頃には表面温度(1AXn-1, 1AXn-2)が 450℃を超えた。構造用合板表面(1AXn-3、4)は 87 分(67 分)頃に 450℃を超え延焼した。

また、階段室側せっこうボード表面(1AXn-5、6)が 87 分(67 分)で 450℃に達したが、１階階段室内は最大 98℃と階段室内部への延焼はなかったことから、熱電対を火源近くの壁内部に配線したため、職員室側の壁温度を測定したものと考えられる。（下記、1AYn-5、1AYn-6 も同様。）

出火源近傍にある１階防火区画壁(北)は、図 4.7.3-46 より職員室側合板表面が火源成長に伴い温度上昇し、48 分(28 分)に 1.5m の高さ 1AYn-1 で 450℃を超えた。54 分(34 分)には 3m の高さ 1AYn-2 の合板表面も 450℃となり延焼拡大し、その後 66 分(46 分)には職員室 1BY が 450℃に達した。構造用合板表面(1AYn-3、4)は 87 分(67 分)で 450℃を超え延焼した。

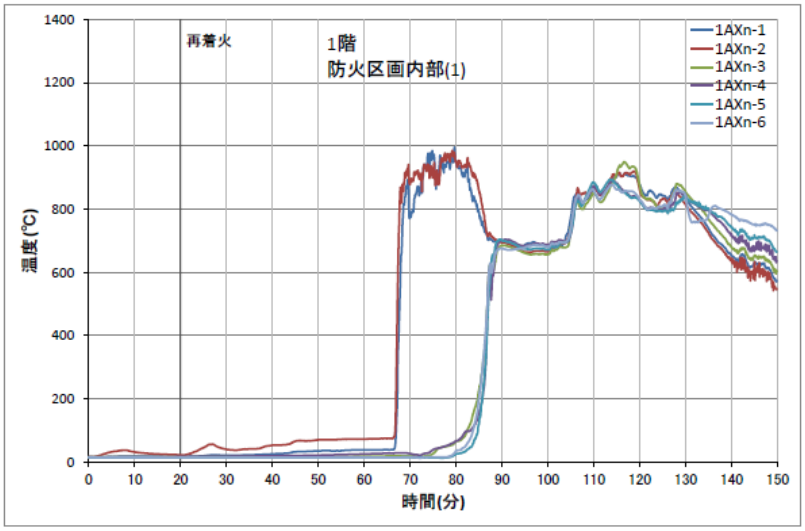


図 4.7.3-45　１階防火区画壁(南)内部温度

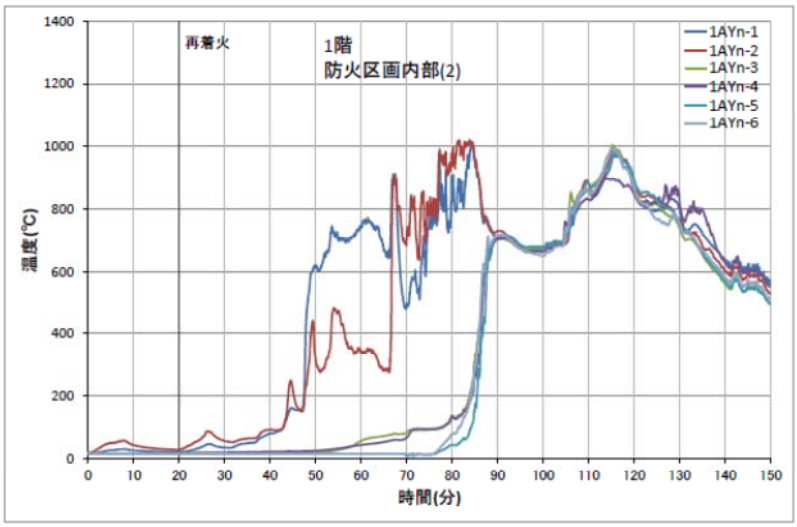


図 4.7.3-46　１階防火区画壁(北)内部温度

２階防火区画壁(南)内部は、図 4.7.3-47 より１階からの噴出火炎により 70 分(50 分)頃から表面温度(2AXn-1、2AXn-2)が上昇し、２階普通教室 2BX が 450℃となる 86 分(66 分)頃に急激に温度上昇した。壁内部 2AXn-4 は 120 分(100 分)に一度 528℃に達し、その後 135 分(115 分)頃に再び 450℃を超えた。また、１階同様に、階段室側せっこうボード表面(2AXn-5,6)が 450℃に達したが、階段室内部への延焼はなかったことから、熱電対を火源近くの壁内部に配線したため、職員室側の壁温度を測定したものと考えられる。（下記、2AYn-5、2AYn-6 も同様。）

２階防火区画壁(北)内部は、図 4.7.3-48 より１階からの噴出火炎により 70 分(50 分)頃から表面温度(2AYn-1, 2AYn-2)が上昇し、２階普通教室 2BX が 450℃となる 86 分(66 分)頃に急激に温度上昇した。壁内部 2AXn-3 は 120 分(100 分)に一度 333℃に達し、その後 139 分(119 分)に 450℃を超えた。

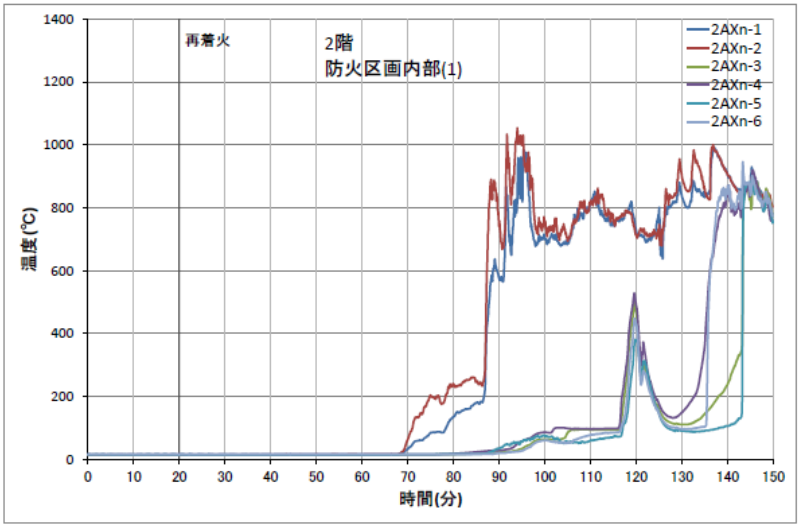


図 4.7.3-47　２階防火区画壁(南)内部温度

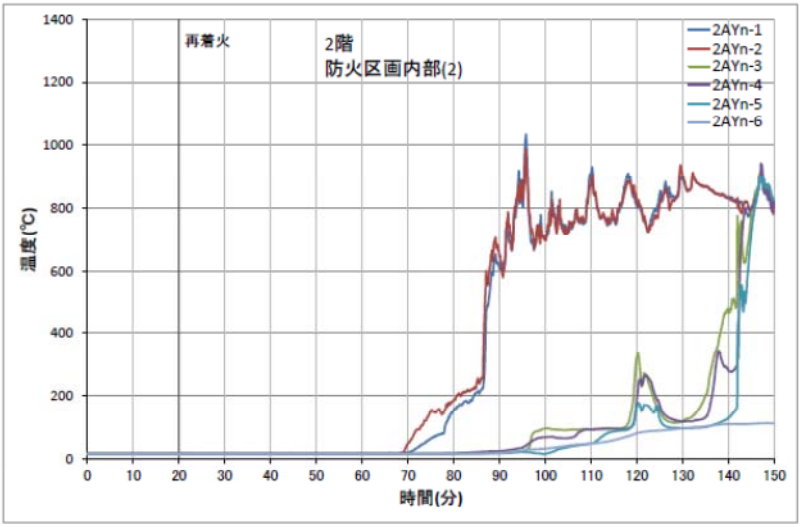


図 4.7.3-48　２階防火区画壁(北)内部温度

３階防火区画壁(南)内部は、図 4.7.3-49 より１、２階からの噴出火炎の影響で 80 分(60 分)頃から温度上昇が始まり、オープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から３階は散水によって燃焼を抑制したため、壁内部は 100℃以下で防火区画内部への延焼はなかった。

３階防火区画壁(北)内部も、図 4.7.3-50 より１、２階からの噴出火炎の影響で 80 分(60 分)頃から温度上昇が始まり、オープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から３階は散水によって燃焼を抑制したため、壁内部は 100℃以下で防火区画内部への延焼はなかった。

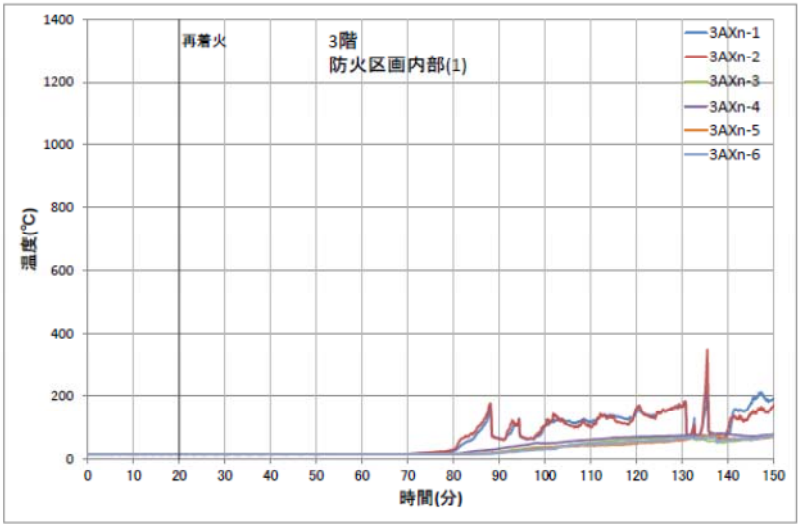


図 4.7.3-49　３階防火区画壁(南)内部温度

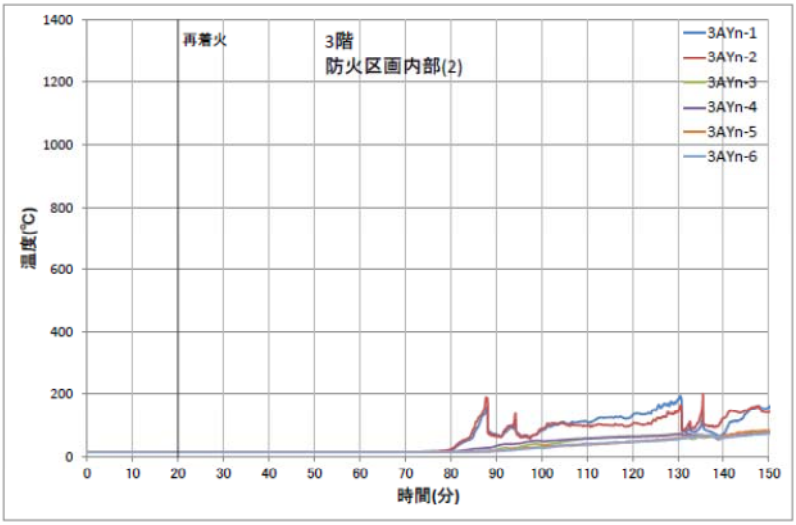


図 4.7.3-50　３階防火区画壁(北)内部温度

５）外壁

１階外壁は、図 4.7.3-51 より職員室(西)が 450℃となる 66 分(46 分)頃から室内側表面(1AZn-1、2)の温度上昇が始まり、近傍の室 1AZ が 450℃となる 83 分(63 分)頃には急激に温度上昇した。壁内部(1AZn-3、4)は 90 分(70 分)頃から徐々に温度上昇し、140 分(120 分)頃 450℃に達して壁内

部へ延焼した。

外側のサイディング表面(1AZn-5、6)の温度は、壁内部(1AZn-3、4)の温度と似た傾向が見られるものの、実際は壁が燃えぬけていないことから、壁内部に配線された熱電対が、室内側の温度を測定したものと考えられる。(下記、2AZn-5、2AZn-6 も同様。)

2 階外壁は、図 4.7.3-52 より普通教室(西)2BY が 450℃となる 86 分(66 分)頃から室内表面(2AZn-1、2)の温度が上昇し始め、近傍の室 2AZ が 450℃となる 88 分(68 分)頃には急激に温度上昇した。壁内部(2AZn-3、4)は 95 分(75 分)頃から徐々に温度上昇し、130 分(110 分)頃 450℃に達し壁内部へ延焼した。

3 階外壁は、図 4.7.3-53 よりオープンスペース(西)3BZ が 450℃となる 87 分(67 分)頃から室内側表面(3AZn-1、2)の温度が上昇し始め、近傍の室 3AZ が 450℃となる 93 分(73 分)頃に急激に温度上昇した。壁内部(3AZn-3、4)は 90 分(70 分)頃から徐々に温度上昇するが、最大 107℃(3AZn-4)であり、壁内部への延焼はなかった。

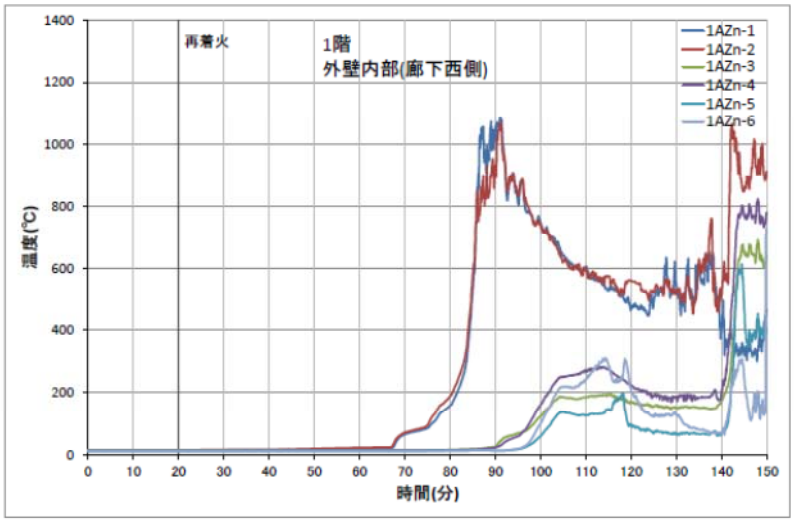


図 4.7.3-51　1 階外壁温度

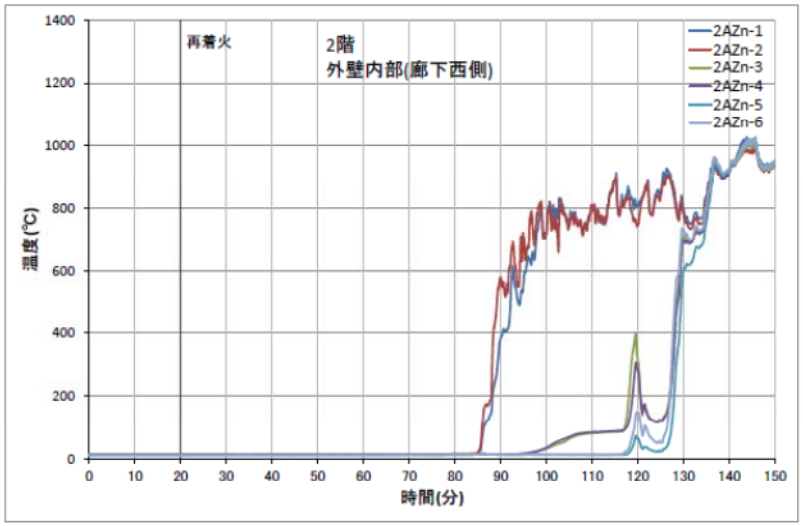


図 4.7.3-52　2 階外壁温度

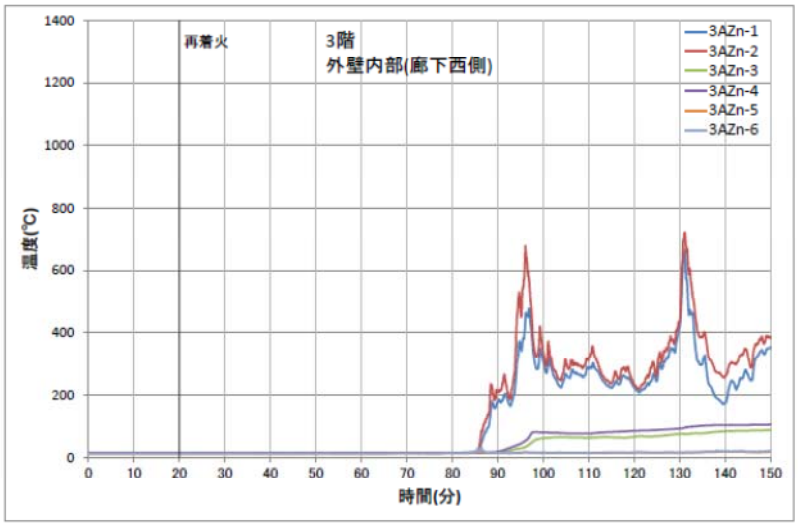


図 4.7.3-53　３階外壁温度

６）屋根

屋根(西)は、図 4.7.3-54 より１、２階からの噴出火炎の影響で 80 分(60 分)頃から天井表面 RCYf-1 の温度が上昇した。オープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から３階は散水によって燃焼を抑制したため、天井表面 RCYf-1 は最大 320℃で、内部は 100℃以下であり、天井内部への延焼はなかった。

屋根(東)も、図 4.7.3-55 より１、２階からの噴出火炎の影響で 80 分(60 分)頃から天井表面 RDYf-1 の温度が上昇した。オープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から３階は散水によって燃焼を抑制したため、天井表面 RDYf-1 は最大 308℃で、内部 RDYf-2 は最大 90℃であり、天井内部への延焼はなかった。

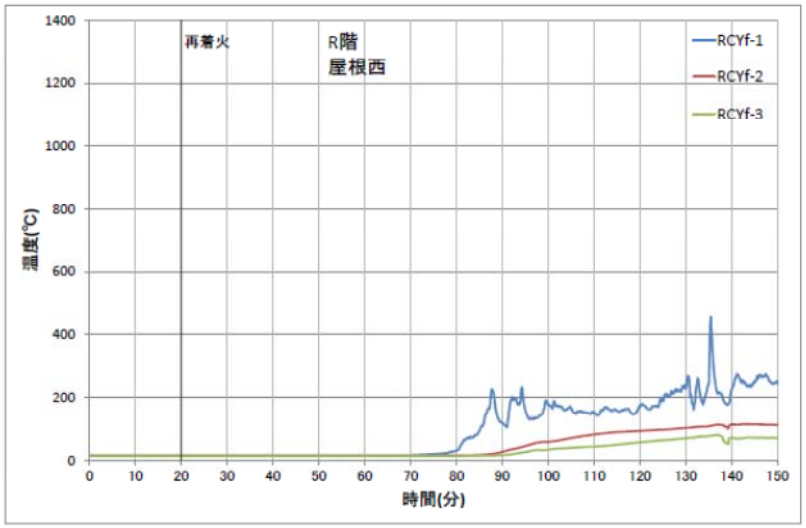


図 4.7.3-54　屋根(西)温度

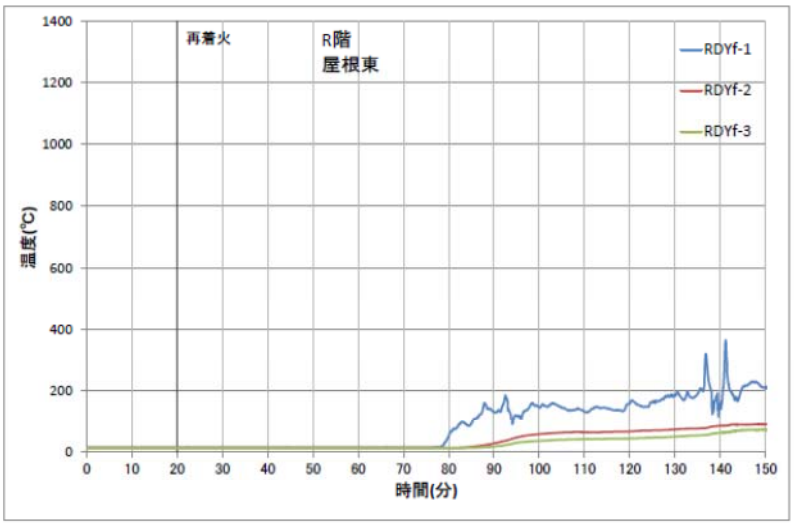


図 4.7.3-55　屋根(東)温度

7）防火壁

1 階防火壁(南)内部は、図 4.7.3-56 より 1 階職員室(東)1EY が 450℃となる 67 分(47 分)頃から上張り強化せっこうボード表面(1FXn-1、2)の温度が上昇し、77 分(57 分)頃に 450℃を超えた。上張り強化せっこうボードより内部の温度は全て 100℃以下であり、防火壁内部への延焼はなかった。

1 階防火壁(北)内部は、図 4.7.3-57 より 1 階職員室(東)1EY が 450℃となる 67 分(47 分)頃から上張り強化せっこうボード表面(1FYn-1、2)の温度が上昇し、77 分(57 分)に 450℃を超えた、その後、105 分(85 分)に上張り強化せっこうボード裏面 1FYn-4 が最大で 194℃となったが、上張り強化せっこうボードより内部の温度は全て 100℃以下であり、防火壁内部への延焼はなかった。

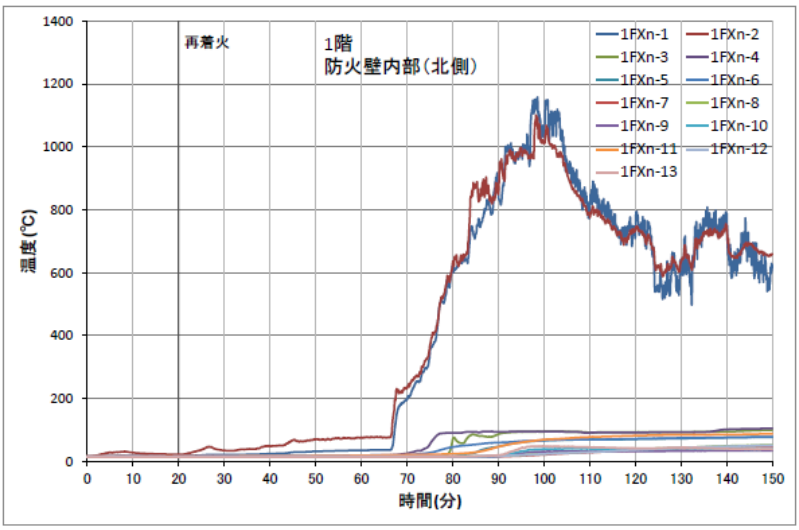


図 4.7.3-56　1 階防火壁(南)内部温度

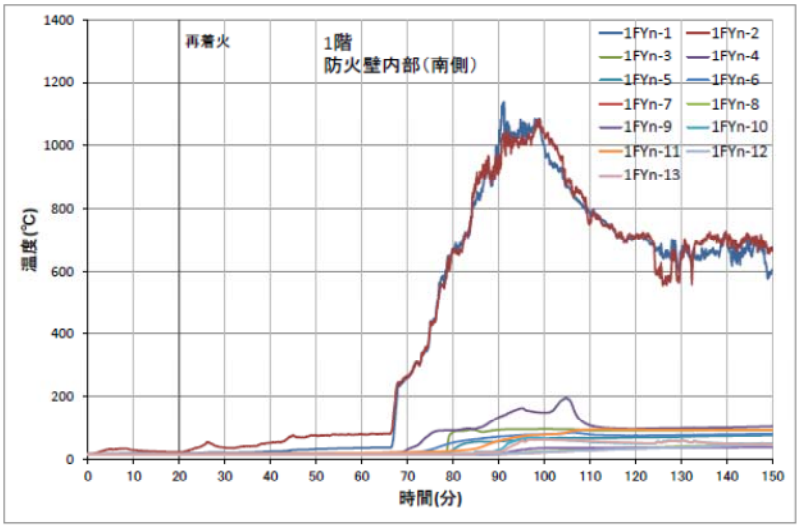


図 4.7.3-57　１階防火壁(北)内部温度

２階防火壁(南)内部は、図 4.7.3-58 より１階からの噴出火炎で 70 分(50 分)頃から強化せっこうボード表面(2FXn-1、2)の温度が上昇し、２階普通教室が 450℃となる 83 分(63 分)頃から急激に温度上昇した。上張り強化せっこうボードより内部の温度は全て 100℃以下であり、防火壁内部への延焼はなかった。

２階防火壁(北)内部も、図 4.7.3-59 より１階からの噴出火炎で 70 分(50 分)頃から強化せっこうボード表面(2FYn-1、2)の温度が上昇し、２階普通教室が 450℃となる 83 分(63 分)頃から急激に温度上昇した。上張り強化せっこうボードより内部の温度は全て 100℃以下であり、防火壁内部への延焼は無かった。

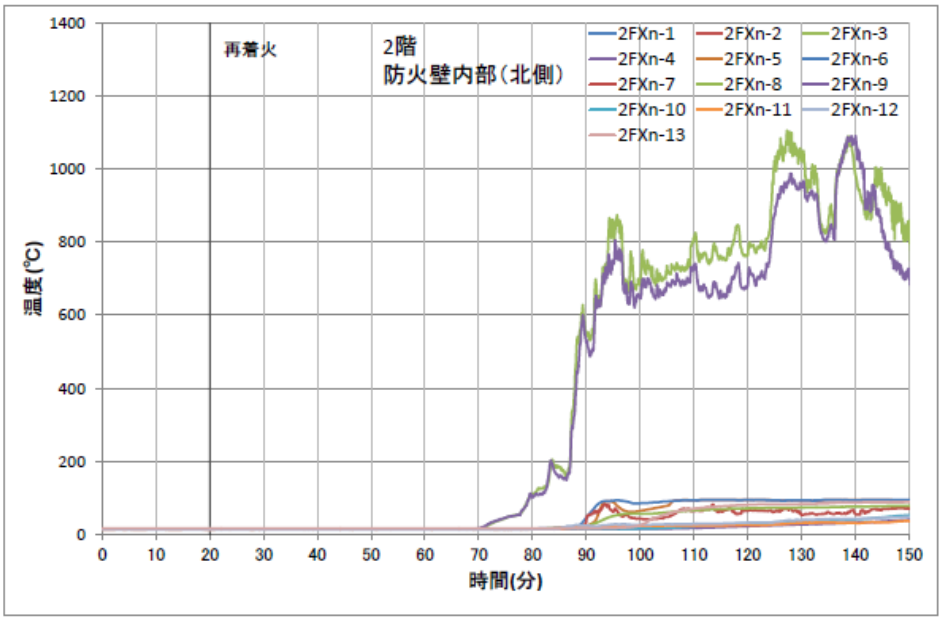


図 4.7.3-58　２階防火壁(南)内部温度

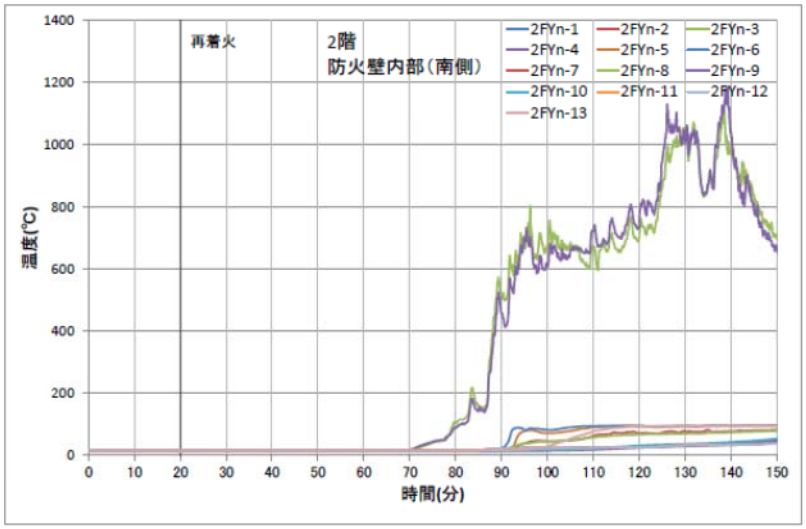


図 4.7.3-59　２階防火壁(北)内部温度

３階防火壁(南)内部は、図 4.7.3-60 より１、２階からの噴出火炎の影響で 80 分(60 分)頃から強化せっこうボード表面(3FXn-1、2)の温度が上昇した。オープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から３階は散水によって燃焼を抑制したため、上張り強化せっこうボードより内部温度は全て 100℃以下でああり、防火壁内部への延焼はなかった。

３階防火壁(北)内部も、図 4.7.3-61 より１、２階からの噴出火炎の影響で 80 分(60 分)頃から強化せっこうボード表面(3FYn-1、2)の温度が上昇した。オープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から３階は散水によって燃焼を抑制したため、上張り強化せっこうボードより内部温度は全て 100℃以下でああり、防火壁内部への延焼はなかった。

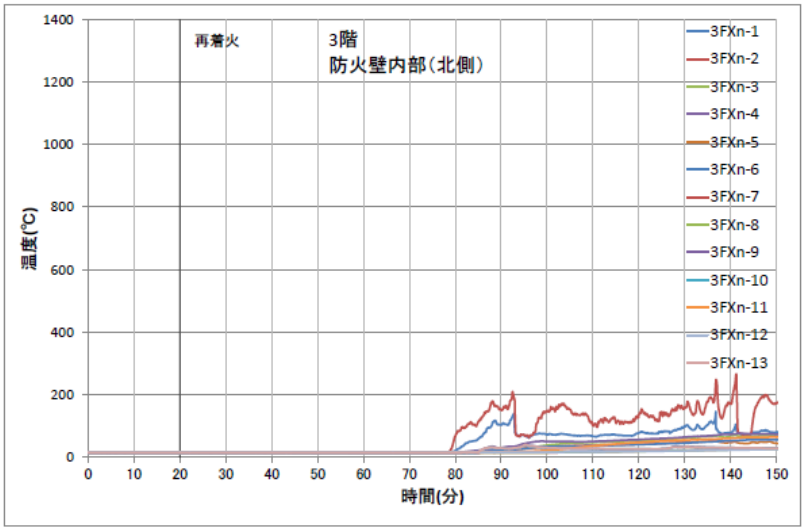


図 4.7.3-60　３階防火壁(南)内部温度

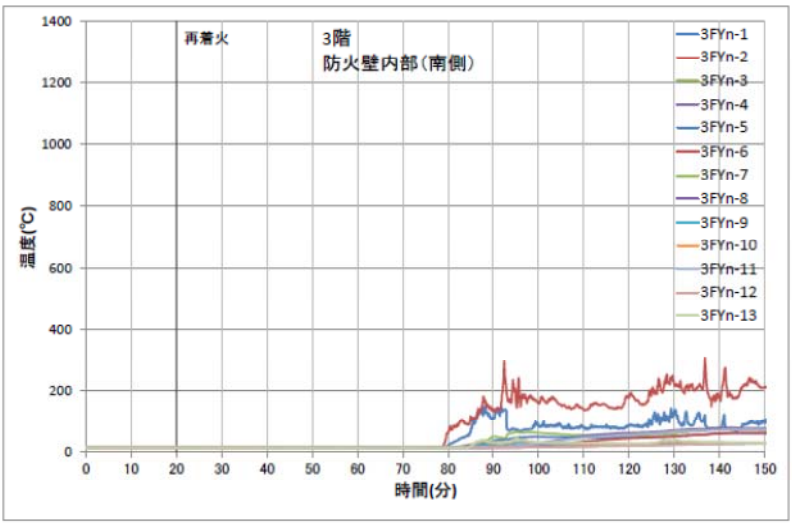


図 4.7.3-61　３階防火壁(北)内部温度

８）防火戸

１階段室側防火戸は、図 4.7.3-62 より防火戸近傍の室 1AZ が 450℃に達する 83 分(63 分)頃から急激に温度が上昇し、最高で鋼製枠 1AYd-3 が 355℃、防火戸裏面 1AYd-9 は 570℃まで上昇したが、燃えぬけはなかった。防火戸裏面 1AYd-9 で 90 分(70 分)にみられた温度低下は、鋼製扉を構成する表裏の鋼板を支える中骨の接合テープが防火戸の変形に伴い外れたことで、裏面側鋼板と中骨が接しなくなったことが原因と推測される。

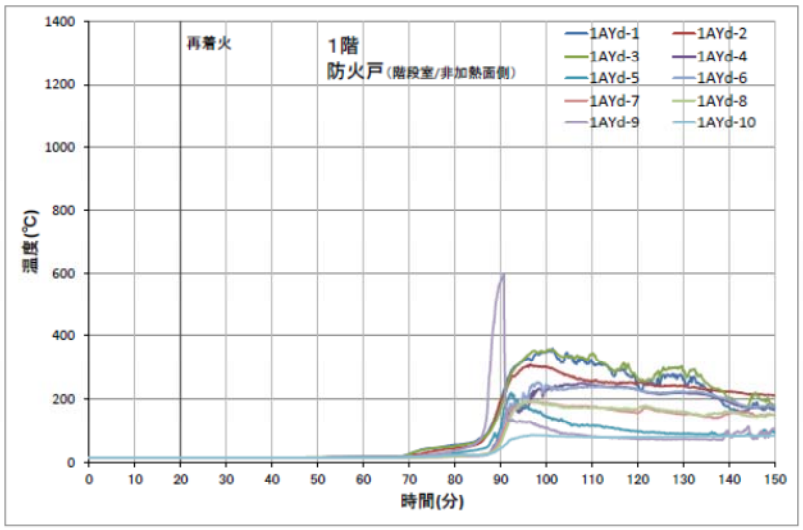


図 4.7.3-62　１階防火戸温度（階段室/非加熱面側）

２階段室側防火戸は、図 4.7.3-63 より防火戸近傍の室 2AZ が 450℃に達する 88 分(68 分)頃から温度が上昇し、最高で鋼製枠 1AYd-2 が 610℃、防火戸裏面 2AYd-5 は 374℃まで上昇したが、燃えぬけはなかった。

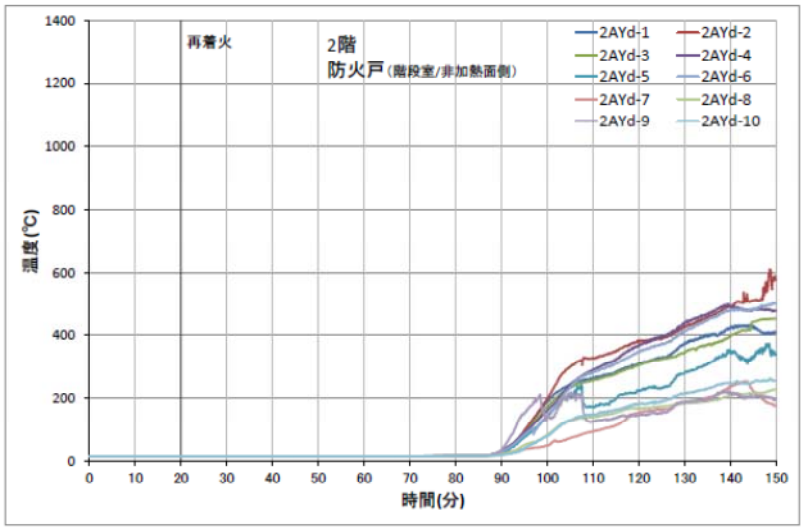


図 4.7.3-63　２階防火戸温度（階段室/非加熱面側）

３階段室側防火戸は、図 4.7.3-64 よりオープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から散水によって３階の燃焼を抑制したため、最高で鋼製枠 3AYd-2 が 194℃、防火戸裏面 3AYd-5 が 165℃まで上昇したが、燃えぬけはなかった。

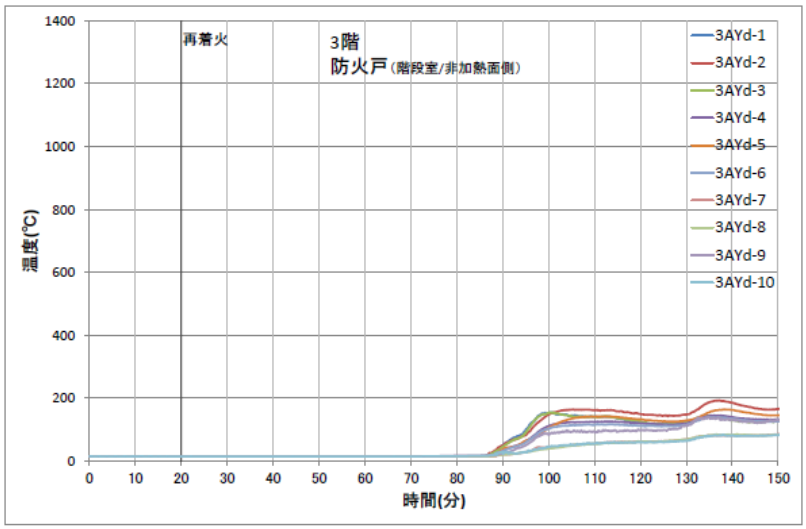


図 4.7.3-64　３階防火戸温度（階段室/非加熱面側）

１階防火壁の防火戸は、図 4.7.3-65 より防火戸近傍の室 1EZb が 450℃に達する 83 分(63 分)頃から急激に温度が上昇し、最高で鋼製枠 1FZd-2 が 460℃、防火戸裏面 1FZd-5 は 321℃まで上昇したが、燃えぬけはなかった。

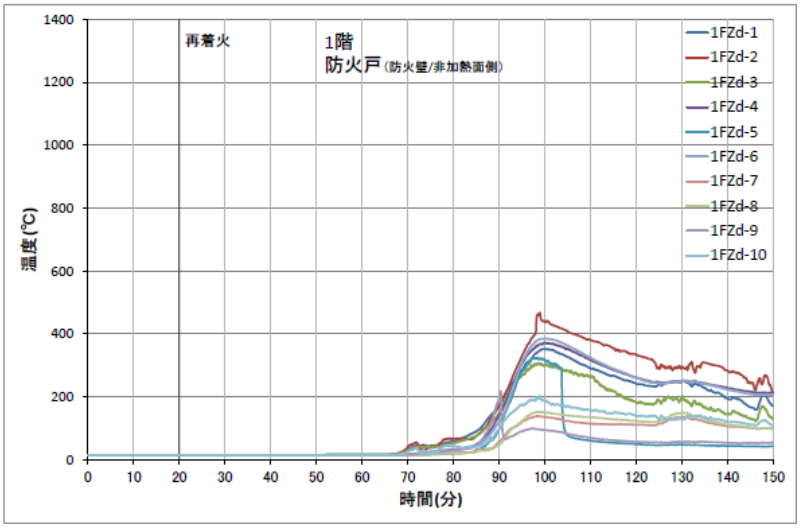


図 4.7.3-65　１階防火戸温度（防火壁/非加熱面側）

２階防火壁の防火戸は、図 4.7.3-66 より防火戸近傍の室 2EZb が 450℃に達する 85 分(65 分)頃から温度が上昇し、最高で鋼製枠 2FZd-3 が 477℃、防火戸裏面 2FZd-9 は 298℃まで上昇したが、燃えぬけはなかった。

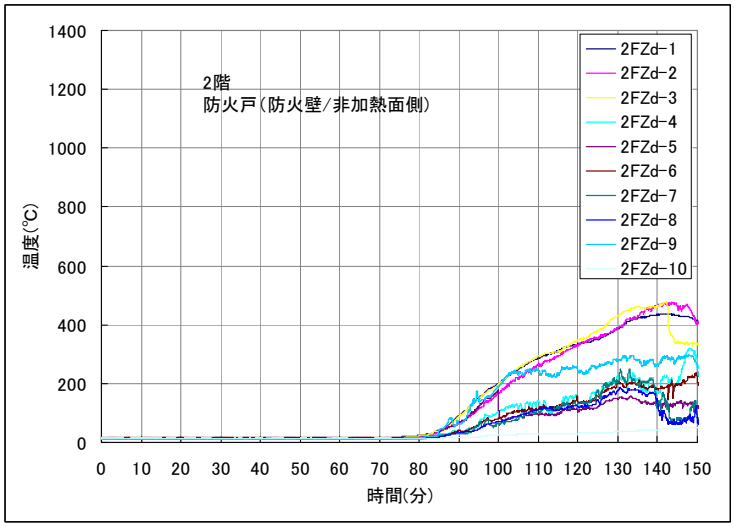


図 4.7.3-66　２階防火戸温度（防火壁/非加熱面側）

３階防火壁の防火戸は、図 4.7.3-67 よりオープンスペース(西)3BZ が 450℃となった 87 分(67 分)頃から散水によって３階の燃焼を抑制したため、最高で鋼製枠 3FZd-1 が 125℃、防火戸裏面 3FZd-9 が 96℃まで上昇したが、燃えぬけはなかった。

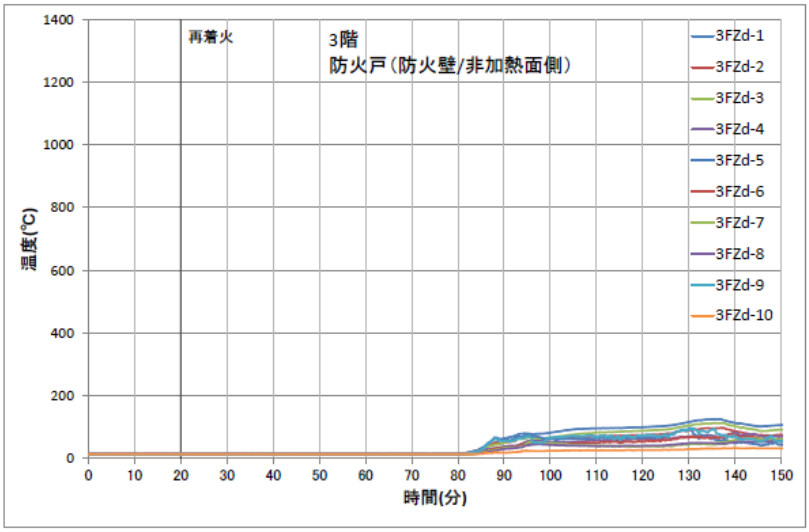


図 4.7.3-67　３階防火戸温度（防火壁/非加熱面側）

９）まとめ

本実験において測定した部材温度より想定される、部材内部あるいは裏面への延焼は下記のとおりである。

・柱の炭化速度は火災初期には 1.3mm/分であったが、徐々に遅くなり、139 分(119 分)に熱電対が断線する直前には平均 0.53mm/分になった。

・２階普通教室(西)床は 131 分(111 分)、２階普通教室(東)床は 137 分(117 分)で天井内部へ延焼した。

・３階普通教室床内部へは延焼しなかった。

・屋根内部へは延焼しなかった。

・１階南側外壁腰壁は 90 分(70 分)、２階南側外壁腰壁は 137 分(117 分)、３階南側外壁腰壁は 132 分(112 分)に内部に延焼した。

・１階外壁は 140 分(120 分)、２階外壁は 130 分(110 分)に外壁内部へ延焼したが、燃えぬけはなかった。３階外壁内部への延焼および燃えぬけはなかった。

・１階職員室と階段室間の防火区画壁は 87 分(67 分)で合板表面が 450℃となるが、壁裏面への燃えぬけはなかった。２階普通教室(西)と階段室間の防火区画壁は 120 分(100 分)で合板表面が 450℃となるが、壁裏面への燃えぬけはなかった。３階普通教室(西)と階段室間の防火区画壁は壁内部への延焼および裏面への燃え抜けはなかった。

・防火壁は１階強化せっこうボード裏で最大 194℃、２、３階含め下張り強化せっこうボードより内部は全て 100℃以下で、内部および裏面への延焼および燃えぬけはなかった。

・防火戸の燃えぬけはなかった。

４．７．４　熱流束

（１）　各室内の熱流束

建物内部熱流束に関しては、出火室(職員室 CD-Y ゾーン)の机上面レベル、階段室(南側⑫-1、A ゾーン)、出火室上階(南側⑬-1、⑬-1、北側⑯-1、⑯-2, BC ゾーン)、防火壁により区画された部分(⑭-1, ⑭-2、北側⑮-1, ⑮-2、F ゾーン)の開口部室内側における外部からの熱流束について分析する。なお、室内に設置された熱電対で測定された温度 T (K)を式(2.1)に代入して算出される放射熱流束q_r'' kW/m² を火災の進展状況および外部に放出される熱流束の指標として用いる。

１）職員室(出火室)

図 4.7.4-1 は、職員室 CD-Y ゾーン(出火室)の机上面レベルに上向きに設置した熱流束計と職員室の室内温度(T-1CY、T-1DY ツリーで測定したそれぞれの最高温度の平均値)を用いて式(2.1)によって算出した放射熱流束q_r''の経時変化を示す。

CD-Y ゾーンでは 66 分間(46 分間)は、熱流束計を設置した天井付近の煙層温度は 180℃程度であった。入射熱流束は室内温度の上昇に応じて変化するが、概ね 1 kW/m² 以下である。66 分(46 分)過ぎから出火室の温度が急激に上昇し、67 分(47 分)でフラッシュオーバー(F.O)した。この過程で、熱流束は急増し約 21 kW/m² に達した。67～74 分(47～54 分)まで CY ゾーン、DY ゾーンの温度は、それぞれ、約 700℃と約 400℃となっており、DY ゾーンは高温の黒煙が充満していたと考えられる。そのため熱流束は、約 75 分(55 分)まで 20～27 kW/m² 程度の値を保つ。その後、室内温度が 1,200℃超にまで上昇すると約 280 kW/m² まで上昇した。熱流束計の指示値とq_r''の変化を比較すると式(2.1)によって計算した放射熱流束は、約 87 分(67 分)まで机上面レベルに入射する熱流束を再現することがわかる。また、両者の差は熱流束の対流成分であると考えられ、83～87.7 分(63～67.7 分)以降における両者の差は 1～129 kW/m² (平均 62 kW/m²)となり、火災室内の熱流束の対流成分も大きな値を示すことがわかる。

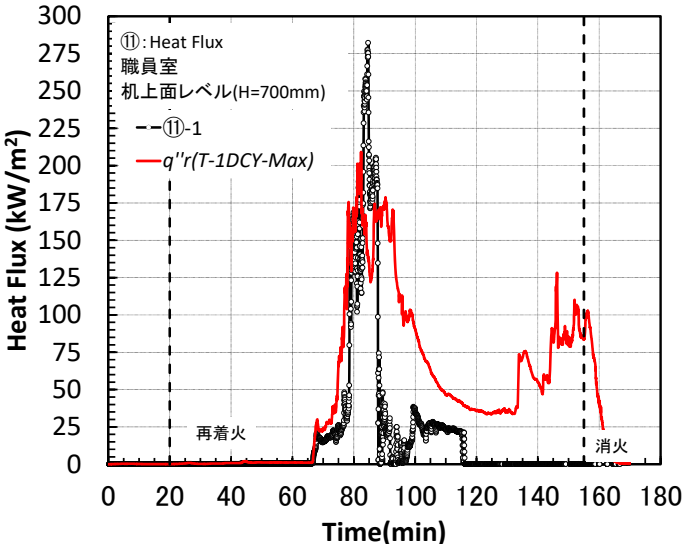


図 4.7.4-1　職員室内の机天板レベルへの入射熱流束

２） ２階普通教室、３階普通教室、オープンスペース

図 4.7.4-2 に BC ゾーン２、３階の南北開口部に屋外に向けて設置された熱流束計(⑬、⑯)の測定結果、図 4.7.4-3 に BC ゾーン外壁表面の温度を示す。BC ゾーン２階の南側の熱流束(⑬-2)は、フラッシュオーバー発生後約２分で開口部のガラスが脱落するため 15～20 kW/m² に増加した。78 分(58 分)以降１階の火災が拡大するとともにさらに増加し、約 75 kW/m² で 95 分(75 分)まで推移した。BC ゾーン２階の北側の熱流束(⑯-2)は、84～90 分(64～70 分)に発生した大規模な噴出火炎の影響により、225 kW/m² に達する熱流束となった。

３階の南側の熱流束(⑬-3)は、約 80～81 分(60～61 分)に開口部のガラスが脱落すると約 10 kW/m² に達した。96 分(76 分)以降、南側２階開口からの噴出火炎が大きくなると、75 kW/m² まで増加した。約 132 分(112 分)以降に２階の延焼が激しくなると約 130 kW/m² に達した。３階北側の熱流束(⑬-3)は、約 95 分(75 分)と 132 分(112 分)に 40 kW/m² となったが、概ね 25 kW/m² 以下であった。

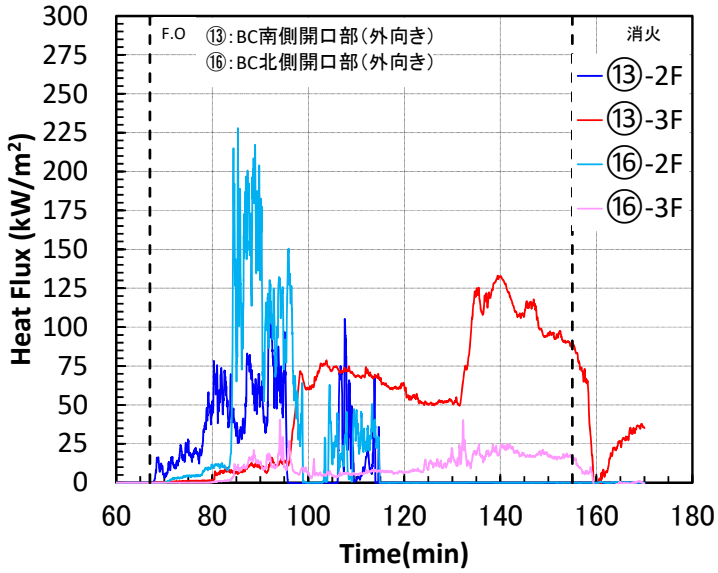


図 4.7.4-2　BC ゾーン開口部の熱流束

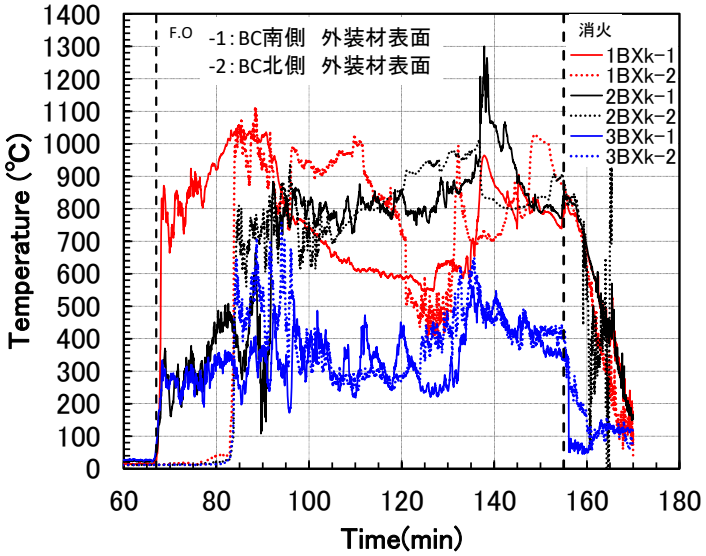


図 4.7.4-3　BC ゾーン　外壁表面の温度

３）階段室(A ゾーン、熱流束計⑫)

図 4.7.4-4 に A ゾーン室内の階段室踊り場開口部に屋外に向けて設置された熱流束計(⑫)の測定結果、図 4.7.4-5 に袖壁表面に取り付けたシース熱電対の測定結果を示す。

A ゾーンの階段室内における熱流束は小さく、F.O 以降も約 4.1 kW/m² 以下であった。階段室のガラスは火災時に破損しなかったため、袖壁表面の温度は 50～750℃の範囲で変動し、高温の煙が外部にあったと考えられるが、熱流束には大きな影響を与えていない。

A ゾーンの１、２階の踊り場(⑫-1、2F)、２、３階の踊り場では、それぞれ 152 分(132 分)に最大 3.8 kW/m²、156 分(136 分)に 4.1 kW/m² の熱流束となった。なお、階段室内温度がフラッシュオーバー発生以降、徐々に上昇し、140 分(120 分)に 1F-AX ゾーンで約 100℃、2F-AX ゾーンで約 120℃になるため、熱気流からの対流成分も含まれていると考えられる。

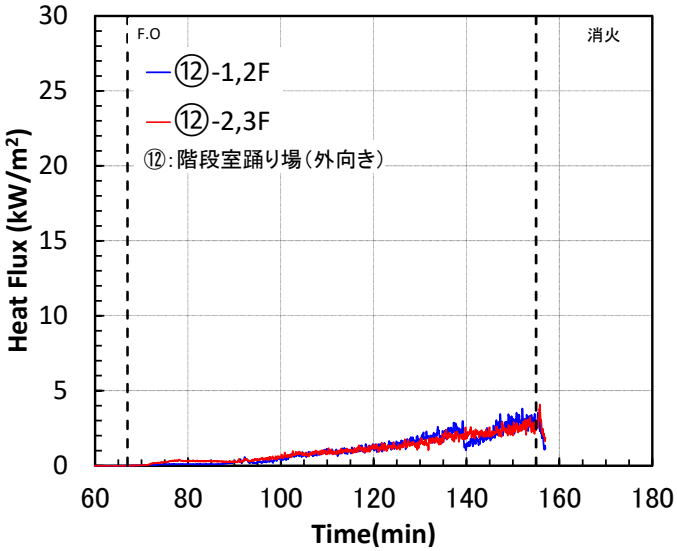


図 4.7.4-4　A ゾーン開口部の熱流束(階段室)

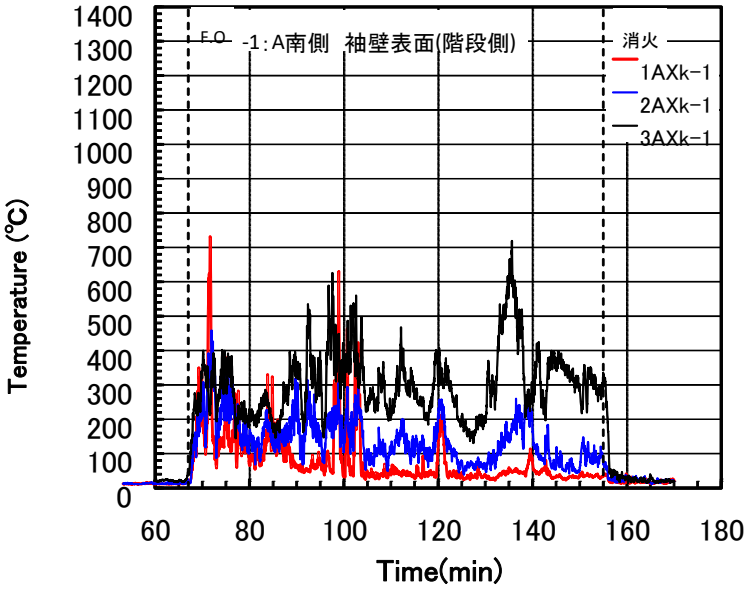


図 4.7.4-5　A ゾーン 袖壁表面近傍の温度(階段室)

４）防火壁により区画された部分(F ゾーン、熱流束計⑭、⑮)

図 4.7.4-6 に F ゾーン室内の開口部に屋外に向けて設置された熱流束計(⑭、⑮)の測定結果を示す。図 4.7.4-7 に防火壁表面に取り付けたシース熱電対の測定結果を示す。

図より、F ゾーンの室内における熱流束は噴出火炎が防火壁を超えて鉄骨側建物へ達した際に大きくなった。南側では、77～80 分(57～60 分)に比較的大きな噴出火炎が発生した際に、約 1 kW/m² となった。その後、実験終了まで、1.2 kW/m² 以下程度の熱流束であった。85 分(65 分)以降、南側では防火壁を越える噴出火炎は観察されていないため、鉄骨側の室内の熱気流からの入射熱流束が主であると考えられる。一方、北側では、84～90 分(64～70 分)に発生した大規模な噴出火炎により、鉄骨側建物の開口部のガラスが脱落(２、３階：84～85 分(64～65 分))したため、２階で最大 28.5 kW/m²、３階で 7.5 kW/m² の熱流束となった。また、鉄骨側建物の内部温度は、２階、３階とも 160℃程度に上昇する。防火壁表面(1FZk-2、2FZk-2)で、約 1,000℃に達したが、３階表面 3FZk-2 では 500℃となった。94～96 分(74～76 分)にも比較的大きな噴出火炎が発生したものの、入射熱流束は 10 kW/m² であった。消火後の観察により、開口部周辺に設置した木材に、ごく表層部分の炭化および変色は確認されたものの、着火には至らなかった。

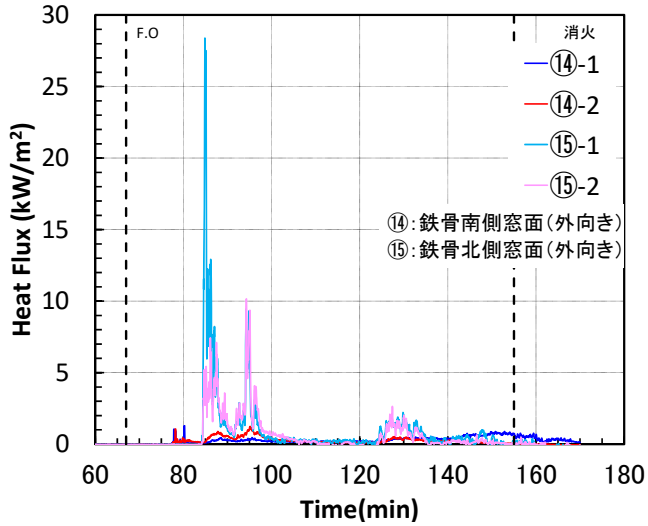


図 4.7.4-6　F ゾーン開口部の熱流束(鉄骨側)

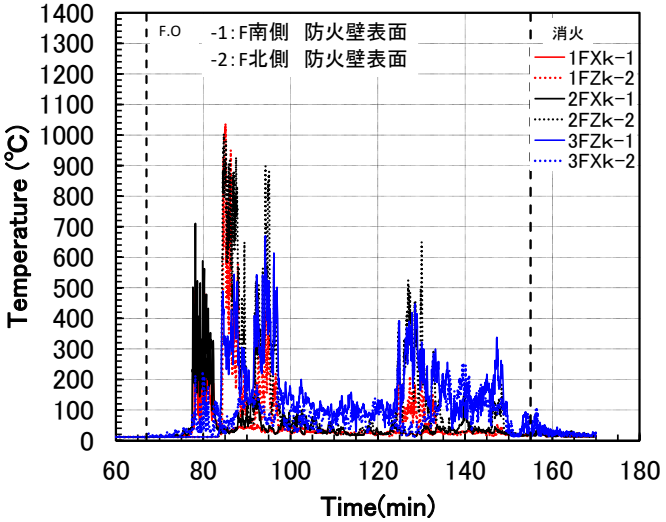


図 4.7.4-7　F ゾーン 防火壁表面近傍の温度(鉄骨側)

（２） 建物外部の熱流束

１）Ａゾーン（南側）

図 4.7.4-8、9 はＡゾーン(階段室)の外部に設置した、熱流束計タワーで測定された熱流束および雰囲気温度を示している。図 4.7.4-8 より、離隔距離３m、１階開口レベルの熱流束は 67 分以降、6 kW/m² 前後で推移し、南側で２階から大きな火炎が確認された 92 分(72 分)頃に、約 8 kW/m² に達する。２、３階開口レベルの熱流束は１階よりも小さいが、132 分に２階の燃焼が再度拡大した際に、１、２、３階レベル同時に上昇し、約 6 kW/m² となった。138 分(118 分)頃 2-DE ゾーンに大規模な噴出火炎が発生した際に、約 7 kW/m² となった。それを除き、３階開口レベルは１、２階に比べて小さく、離隔距離３m、６m で大きな差はない。雰囲気温度は 20℃程度であるが、３階レベルでは噴出火炎発生時に 50℃、150℃程度の温度となった。

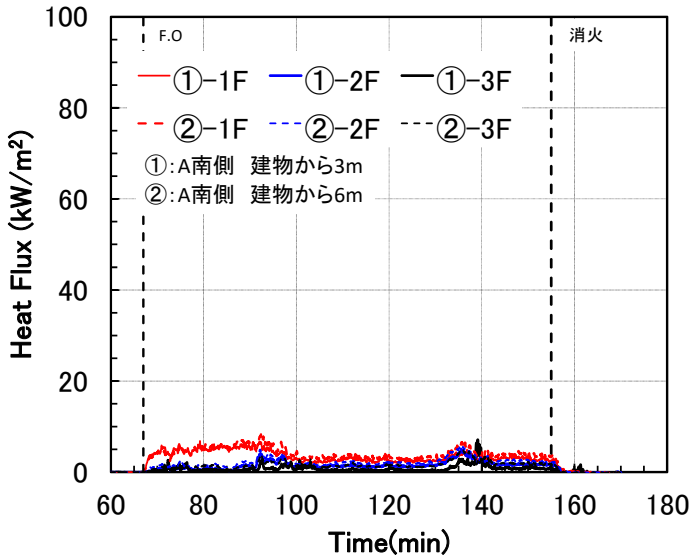


図 4.7.4-8　A ゾーン南側の熱流束(１～３階、L=3, 6m)

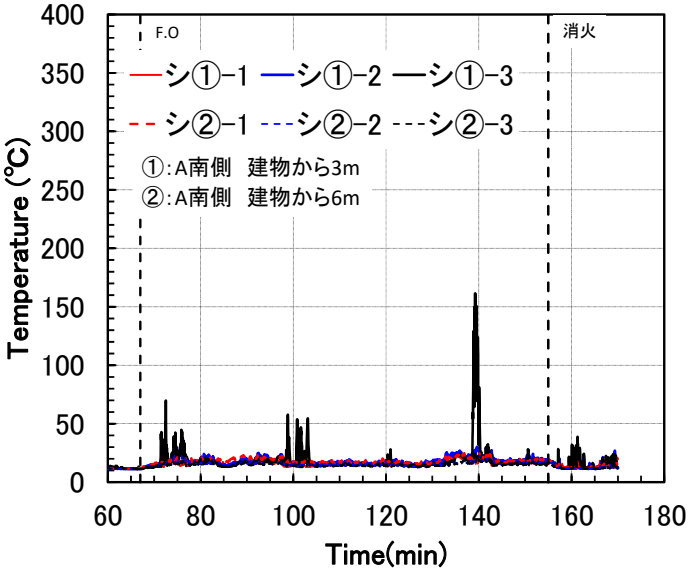


図 4.7.4-9　A ゾーン南側の温度(１～３階、L=3, 6m)

２）B、C ゾーン（南側）

図 4.7.4-10～14 は BC ゾーン南側の外部に設置した、熱流束計の熱流束および雰囲気温度を示している。図 4.7.4-10 より、離隔距離 3 m、１階開口レベルの熱流束は南側開口部からの噴出火炎が発生した 66 分(46 分)以降 90 分(70 分)まで、20～37 kW/m² 程度で推移した。90 分(70 分)以降は 20 kW/m² 程度に留まった。離隔距離 3 m、２階開口レベルの熱流束は、66 分(46 分)以降 5～22 kW/m² で推移したが、約 92 分(72 分)に急増し、40 kW/m² に達した。132 分(112 分)頃からの噴出火炎の増加に伴って再度増加し、50 kW/m² に達した。離隔距離 3 m、３階開口レベルの熱流束は２階開口部レベルと同様な傾向を示したが、最高で 14 kW/m² であった。図 4.7.4-11 より雰囲気温度は、離隔距離 3m の３階開口レベルが高く、140 分(120 分)以降 50℃から 220℃程度に上昇した。また、離隔距離 3m の１、２階開口レベルの雰囲気温度は最高でも 40℃であった。

図 4.7.4-12 より、離隔距離 10m と 14m の位置での熱流束は、それぞれ、9 kW/m² 程度以下と 4 kW/m² 程度以下となる。雰囲気温度は、図 4.7.4-13 よりほぼ増加せず、20℃以下程度となった。

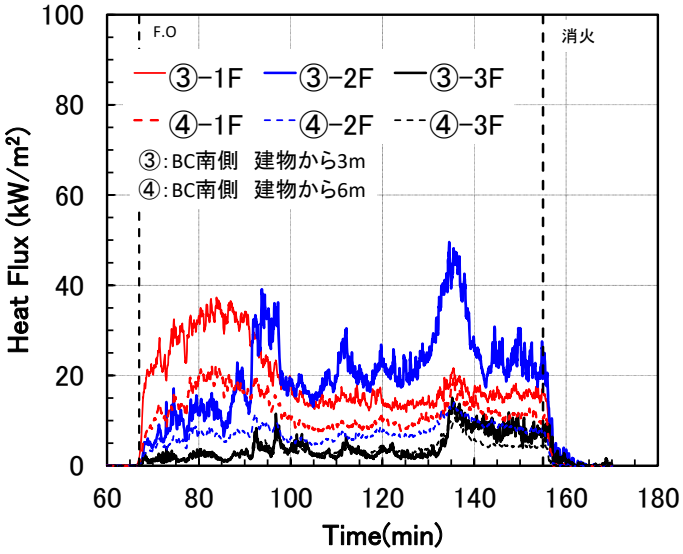


図 4.7.4-10　BC ゾーン南側の熱流束(１～３階、L=3, 6m)

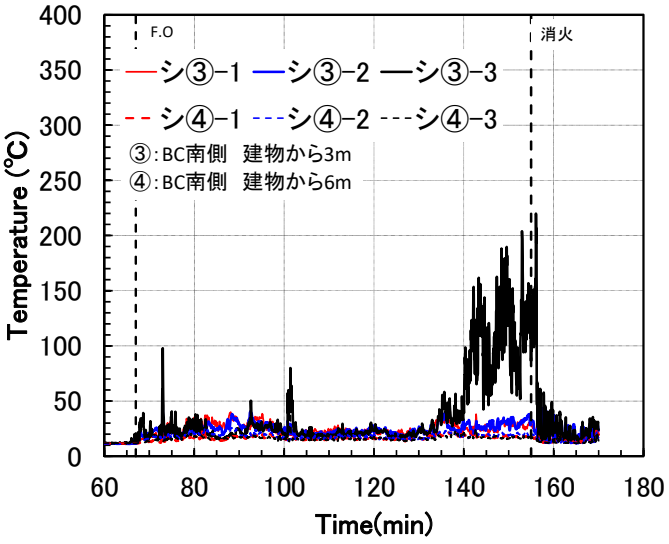


図 4.7.4-11　BC ゾーン南側の温度(１～３階、L=3, 6m)

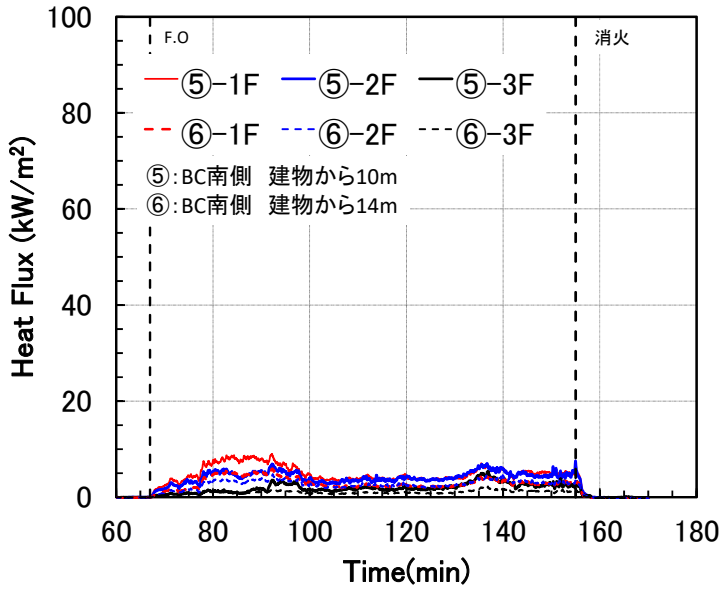


図 4.7.4-12　BC ゾーン南側の熱流束(１～３階、*L*=10、14m)

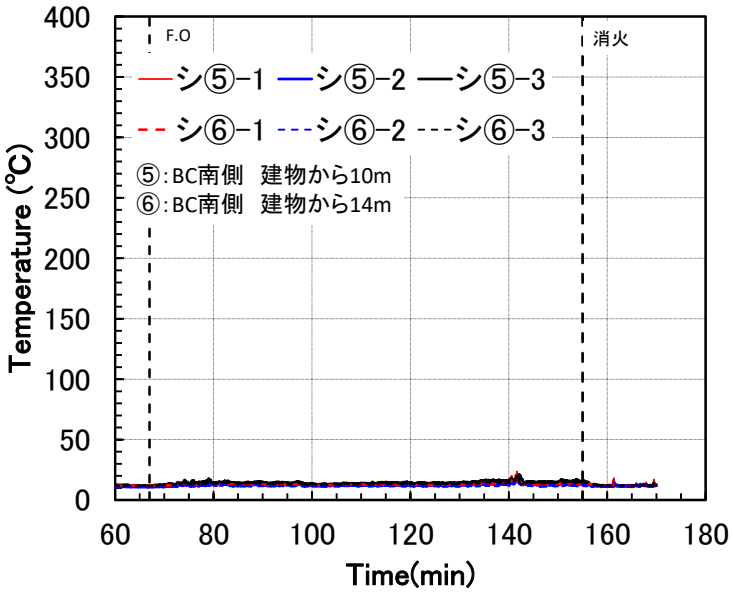


図 4.7.4-13　BC ゾーン南側の温度(１～３階、*L*=10、14m)

３）D、E ゾーン（南側）

図 4.7.4-14、15 は DE ゾーン(職員室・普通教室)南側の外部に設置した、熱流束計タワーで測定された熱流束および雰囲気温度を示している。図 4.7.4-14 より離隔距離３m、１階開口レベルの熱流束は東側開口部からの噴出火炎が発生した 77 分(57 分)以降、15～40 kW/m² 前後で推移した。離隔距離３m、２階開口レベルの熱流束は、77 分(57 分)以降 6～22 kW/m² 前後で推移したが、132 分(112 分)過ぎから上昇し、最大 38.5 kW/m² に達した。離隔距離３m、３階開口レベルの熱流束も２階開口部レベルと同様の傾向を示したが、5～15 kW/m² 程度であった。また、離隔距離６m の１階開口レベルは 6～17 kW/m² 程度で推移した。２、３階開口レベルの熱流束は 132 分(112 分)以前は、それぞれ 12 kW/m² と 6 kW/m² 程度であるが、132 分(112 分)以降は急増し、それぞれ約 17 kW/m² と約 12 kW/m² に達した。雰囲気温度は、図 4.7.4-15 より離隔距離３m の

３階開口レベルが最も高く、81 分(61 分)頃に 210℃程度、142 分(122 分)頃に約 320℃に達した。また離隔距離３m の１、２階開口レベルの雰囲気温度は、40℃程度以下で推移し、最高でも 100℃に至っていない。

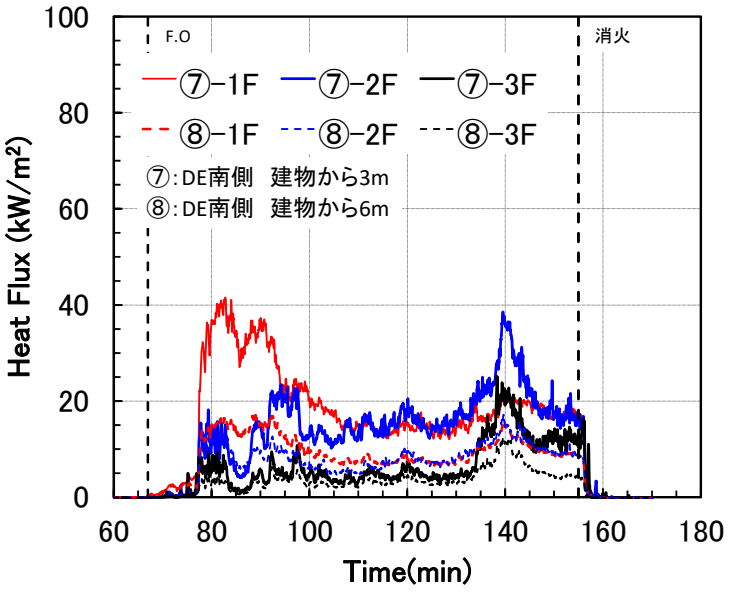


図 4.7.4-14　DE ゾーン南側の熱流束(１～３階、*L*=3、6m)

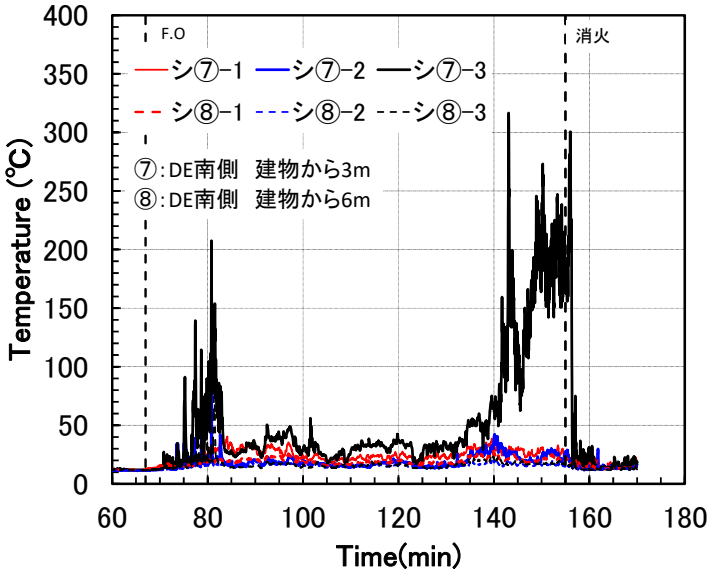


図 4.7.4-15　DE ゾーン南側の温度(１～３階、*L*=3、6m)

４）B～E ゾーン（北側）

図 4.7.4-16、17 は B～E ゾーン北側の外部に設置した熱流束計タワーで測定された熱流束および雰囲気温度を示している。図 4.7.4-16 より離隔距離３m、１階開口レベルの熱流束は北側開口部 DE ゾーンからの噴出火炎により、85.5 分(65.5 分)に 67 kW/m² に達した。BC ゾーンでは、130 分(110 分)まで 15～25 kW/m² 前後であったが、約 135 分(115 分)に 44 kW/m² に達した。

DE ゾーン離隔距離３m、２階開口レベルの熱流束は、約 90 分(70 分)に最大 54 kW/m² となった。１階開口部レベルよりも小さいが同様の傾向を示した。離隔距離３m、３階開口レベルの熱

流束も、概ね１、２階開口部レベルと同様の傾向を示し、最大で 40 kW/m² を示した。

雰囲気温度は、図 4.7.4-17 より離隔距離３m、３階開口レベルが最も高く、断続的に 150℃を超え、約 270℃に達した。離隔距離３m、１階開口レベルの雰囲気温度は最高でも 50℃であった。

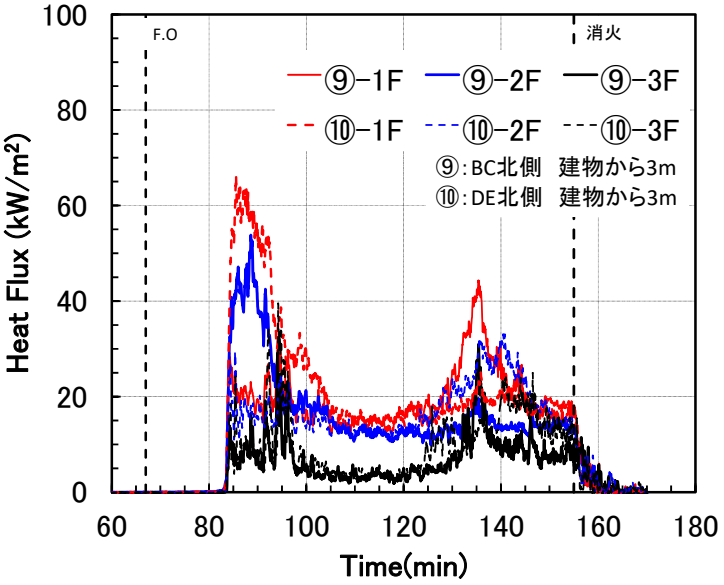


図 4.7.4-16　BC、DE ゾーン北側の熱流束（１～３階、L=3、6m）

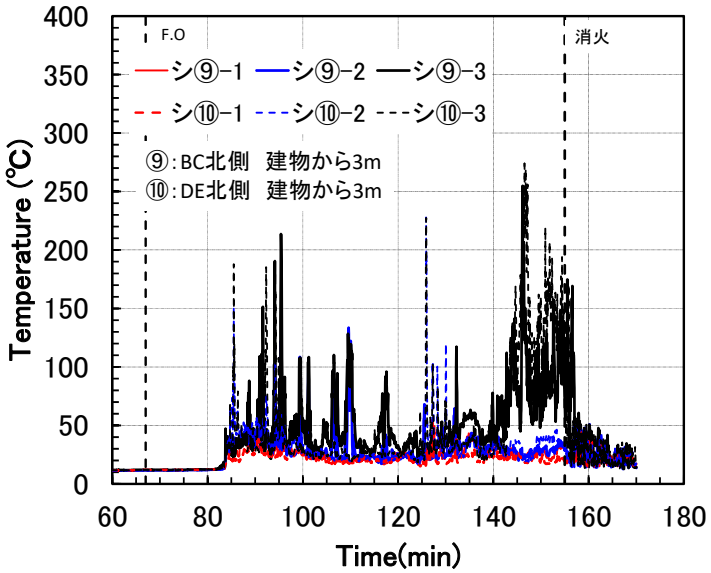
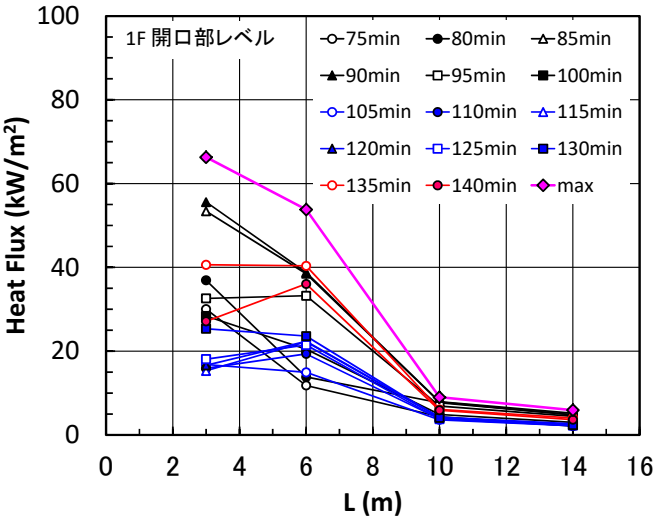


図 4.7.4-17　BC、DE ゾーン北側の温度（１～３階、L=3、6m）

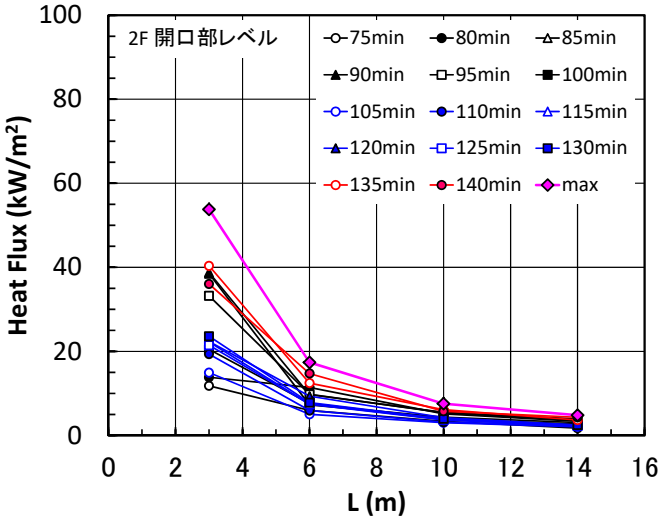
５）離隔距離 L と入射熱流束

図 4.7.4-18a)～c)は離隔距離 L と熱流束の関係を 75 分(55 分)以降、5 分毎に示したものである。プロットは同一隔離距離の熱流束計の最大値を示している。また測定値の最大値も併せてプロットしている。

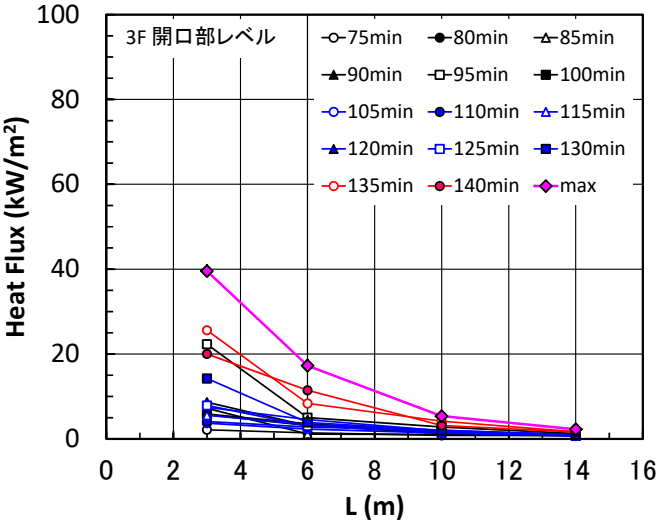
いずれの時間においても L=3～14m の熱流束は L が大きいほど小さくなることがわかる。1 階開口部レベルがもっとも大きく、離隔距離 3、6、10、14m でそれぞれ、約 66.3、53.7、8.9、5.9 kW/m² となった。



a) 1階開口部レベル



b) 2階開口部レベル



c) 3階開口部レベル

図 4.7.4-18　離隔距離と入射熱流束

４．７．５　感知器、スプリンクラーヘッド

感知器およびスプリンクラーヘッドの作動時間の測定結果を、表 4.7.5-1 と図 4.7.5-1、2 に示す。

出火室の天井に設置された熱および煙感知器は、20 分 53 秒(53 秒)から 27 分 36 秒(7 分 36 秒)で作動した。火源に、メタノールを用いたことで、熱感知器の作動が煙感知器より早かったと考えられる。その他の煙感知器の作動時間は、1 階出火室前の廊下部分では 32 分 51 秒(11 分 51 秒)、階段室前が 43 分 51 秒(23 分 51 秒)で作動した。また、スプリンクラーヘッドは、火源にもっとも近いものがはじめの火源で作動した 2 分 49 秒、その他は 25 分 58 秒(5 分 58 秒)までに作動した。

点火直後の煙濃度の推定ができないが、実験時の初期火源から発生する煙では減光率よりも温度上昇が速く、また、熱感知器には定温式ではなく差動式を用いたため熱感知器の方が作動が早かったものと思われる

表 4.7.5-1　火災感知器およびスプリンクラーヘッド発報時間

	1 階			2 階		3 階（階段室）
	出火室	廊下	階段室前ホール	オープンスペース	階段室前ホール	
本実験	20 分 53 秒（熱） 27 分 36 秒（煙） 2 分 49 秒～ 25 分 58 秒（SP）	32 分 51 秒（煙）	43 分 51 秒（煙）	1 時間 09 分 38 秒（熱） 1 時間 09 分 9 秒（煙）	1 時間 15 分 27 秒（煙）	1 時間 12 分 3 秒（煙）

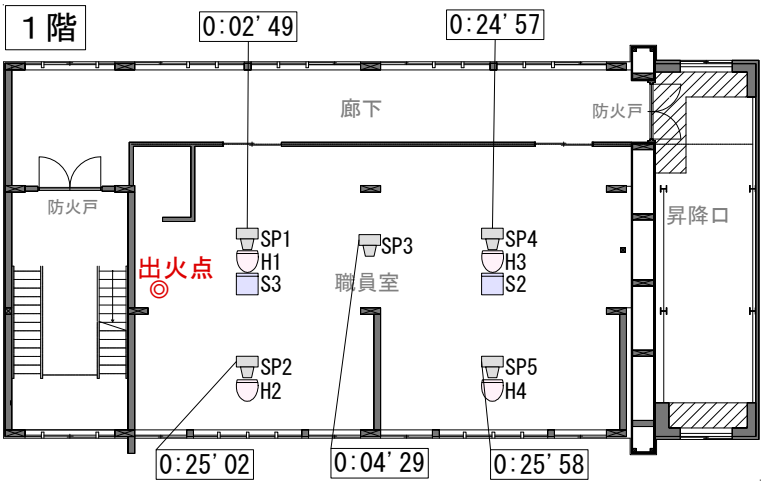


図 4.7.5-2　スプリンクラーヘッド発報時間

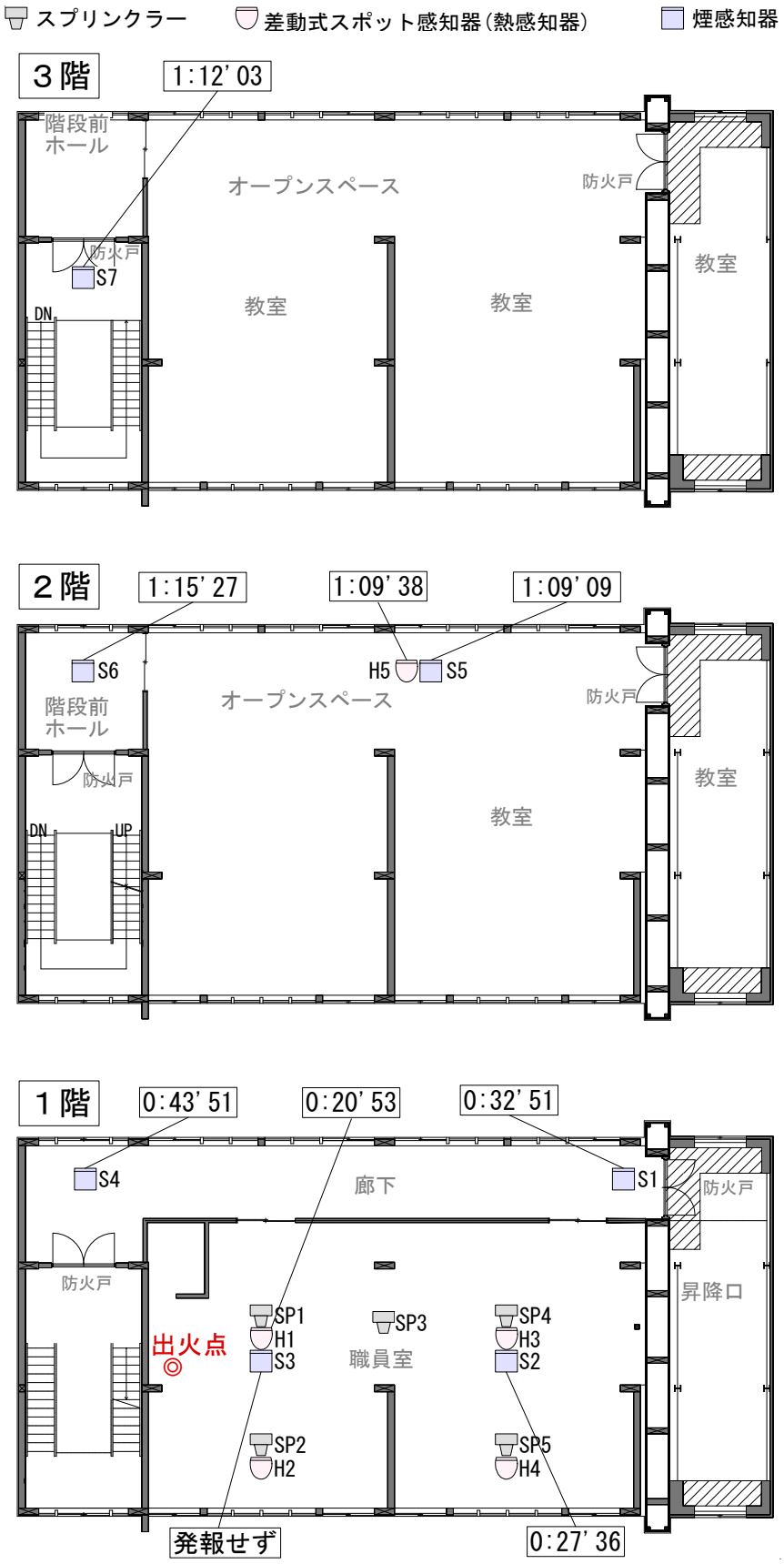


図 4.7.5-2　火災感知器発報時間

４．７．６　火の粉

実験中、４名が実験建物の四方から火の粉の発生の有無を注視した。また、ビニールシートの観察も行った。実験場周辺地区では、２名が車を使って機動的に移動し、煙流動や火の粉の移流の有無を観察した。また、ビニールハウスの監視も行った。

実験の結果、本実験においては、準備実験と同様、予備実験結果を踏まえ、設計計画面で十分工夫し、延焼を遅延化させたため、結果的に、火の粉の発生、飛散、降積は実験終了まで認められなかった。

４．７．７　主要構造部および区画の焼毀状況

本実験においては、点火後 155 分(135 分)頃消火活動が開始されたが、この時点では、階段室、防火壁東側を除く１階、２階が全焼し、３階にも延焼しているものの散水設備による断続的な散水により燃焼が抑制され、フラッシュオーバー(F.O)には至っていない状況であった。鎮火後の実験建物を確認したところ、階段室部分に関しては、ほぼ健全な状況であった。防火壁東側鉄骨部分に関しては、北側で開口部からの噴出火炎が回り込んだことにより２階あたりからサイディングが変色し、サッシュ・シール部分も燃えた形跡がみられたが、内部への影響はなかった。一方、燃焼のあった建物中央部分では、１、２階の開口部がほとんど消失し、外装もかなり焼け落ちていた。構造部材の損傷も著しく、X3-Y3 近傍に設置した炭化深さ評価用柱においても、かなりの炭化が想定された。

これより、建物内部に入っての作業は危険と判断されたため、写真 4.7.7-1、2 に示すとおり準備実験と同様に解体重機と高所作業車により、建物中央上部から順次部材を解体し、部材を採取した。採取された部材には、写真 4.7.7-3 のとおり部材の位置などをナンバリングし、さらにそれらの部材から、写真 4.7.7-4 のとおり断面サンプルを採取した。



写真 4.7.7-1　建物上階からの解体の様子



写真 4.7.7-2　構造部材解体・採取の様子



写真 4.7.7-3　解体部材のナンバリング



写真 4.7.7-4　解体部材からの断面サンプル採取

（１）消火状況

消火活動が開始されたのは点火後 155 分(135 分)経過した時点である。１階、２階は全焼し、３階には延焼しているものの散水設備による断続的な散水により燃焼が抑制され、階段室、防火壁東側部分にはまだ延焼していない状況であった。

消火は、写真 4.7.7-5 に示すとおり南北それぞれから放水銃３基、筒先４本により一斉に放水して行われ、表面的な炎はほぼ数分で鎮火された。しかしながらその後も小屋裏など直接放水があたらないような部分で燃焼が継続しており、実験翌日（2013 年 10 月 21 日）には、３階北側軒部分および防火壁との境界部分で煙が確認されたため、部分的な放水を行った。実験２日後（2013 年 10 月 22 日）には小屋の天井を破って垂木等の消火を行い、午後３時までに建物外側と３階室内温度上昇がないことが確認されたため、この時点で完全に鎮火したものと判断した。



写真 4.7.7-5　一斉消火の様子

（２）各部の残存状況

１）全体概要

鎮火後の実験建物の外観を写真 4.7.7-6、7 に示す。南側 B～E ブロック並びに北側 A～E ブロック部分に関しては、１、２階の開口部がほとんど消失し、外装もかなり焼け落ちている。下階ほど損傷がひどく、また出火源側の B・C ブロックの方が D・E ブロックに比べて損傷がひどかった。

階段室部分に関しては、ほぼ健全な状況であった。防火壁東側鉄骨部分に関しては、北側で開口部からの噴出火炎が回り込んだことにより２階あたりからサイディングが変色し、サッシュ・シール部分も燃えた形跡がみられたが、内部への影響は無かった。

準備実験では、バルコニーおよび庇があり、また噴出火炎による燃焼時間も 30 分程度短いこともあり、本実験では開口部および外装の損傷は激しいものとなった。１、２階の開口部は南北ともサッシュおよび窓枠がほぼ燃え落ちているが、３階ではサッシュの残骸がみられた。また、２階開口部腰壁はほぼ脱落しているが、３階では内装側せっこうボードがわずかに残っていた。

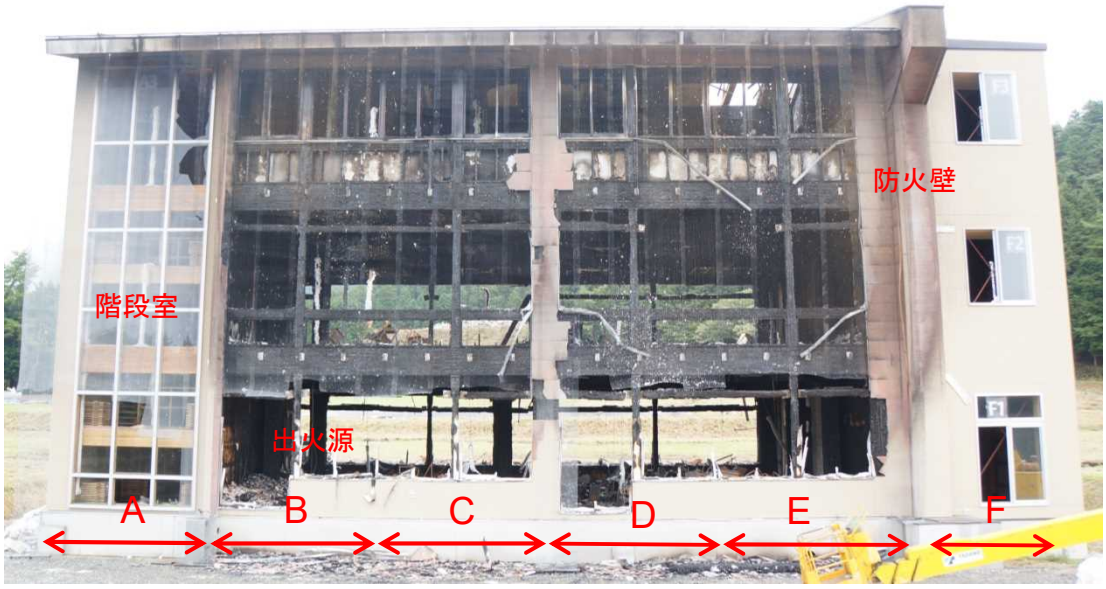


写真 4.7.7-6　実験後の実験建物（南面）



写真 4.7.7-7　実験後の実験建物（北面）

２）１階

１階出火源近傍の B ブロック階段室区画壁周辺及び北側廊下防火壁側から見た１階の様子を写真 4.7.7-8、9 に示す。天井および２階床はほぼ全面にわたり燃え抜けて、梁もかなり炭化して断面が減少している。唯一、北側廊下間仕切壁と階段室側壁の交差する付近のみ天井が残っており、小梁がわずかに炭化した程度であった。

一方、壁に関しては写真 4.7.7-10 のように、出火源近傍の壁（階段室部分）は壁内部まで火が入り、合板が燃え落ちているが、それ以外の階段室壁部分、C･D ブロック間間仕切壁（写真 4.7.7-11）、防火壁側壁（写真 4.7.7-12）は合板の炭化がある程度進んでいるものの、壁内部に火



写真 4.7.7-8　1 階出火源近傍の状況



写真 4.7.7-9　1 階の状況（北側廊下防火壁側より）

が侵入しているところは僅かであった。準備実験ではこれらの壁において内部まで火が侵入しているが、本実験では内装に針葉樹合板 12mm が加わったことにより加熱から保護され、燃焼時間が 30 分程度長かったにも関わらず、そこまでの損傷にならなかったと考えられる。

収納可燃物については、燃焼時間が長かったことにより一般型クリブは完全燃え尽き、書籍型クリブもかなり燃え崩れてしまったようで、原型をとどめているものはあまり見られなかった。



写真 4.7.7-10　１階階段室側耐力壁の様子



写真 4.7.7-11　１階防火壁側耐力壁の様子



写真 4.7.7-12　１階 C ブロック側耐力壁の様子



写真 4.7.7-13　１階 D ブロック側耐力壁の様子

３）２階

２階の床はほぼ燃え抜けて写真 4.7.7-14､15 のように床組のみの状態になっていた。このため、収納可燃物もほとんど燃え落ちてしまっていた。

写真 4.7.7-16 のように、出火源直上の壁（階段室部分）は合板がかなり炭化し、若干壁内部まで火が入っているが、それ以外の階段室壁部分、防火壁側壁（写真 4.7.7-17）は合板の炭化がある程度進んでいるものの、壁内部には火が侵入していないようであった。一方、写真 4.7.7-18 のように、C･D ブロック間の間仕切壁はせっこうボード・合板がほとんど燃え落ちて、内部の受け材もかなり炭化した状況であった。

写真 4.7.7-19 のように、天井はほぼ剥落しているが、部分的に内部が炭化していないところもあり、消火により放水されるまでせっこうボードにより被覆されていたと考えられる。天井内部に火が侵入し、床組が炭化している部分においても、3 階床の合板の燃え抜けは見られなかった。

４）３階

３階は、内装が不燃化され、収納可燃物も少なく、散水により燃焼が制御されていたため、写真 4.7.7-20、21 に示す通り、全体的には上部が黒ずんで木材部分が若干炭化した程度であった。ただし、写真 4.7.7-22、23 に示すとおり、残火により防火壁境界部分の登り梁や棟木、北側桁などは、炭化が進んでいる様子が確認された。



写真 4.7.7-14　２階 D・E ブロック教室の様子



写真 4.7.7-15　２階 B・C ブロック教室の様子



写真 4.7.7-16　２階階段室側耐力壁の様子



写真 4.7.7-17　２階防火壁側耐力壁の様子



写真 4.7.7-18　２階中央間仕切り壁の様子



写真 4.7.7-19　２階 D・E ブロック天井の様子



写真 4.7.7-20　３階 B･C ブロック教室の様子



写真 4.7.7-21　３階柱・梁の炭化状況



写真 4.7.7-22　防火壁境界部分の登り梁の燃焼跡



写真 4.7.7-23　北側桁の残火による燃焼跡

（２）防火設備の残存状況

防火壁・階段室に設置された防火戸はいずれも燃え抜け、転倒、脱落することなく、区画を保護した。写真 4.7.7-24 は１階防火壁に設置された防火戸であり、写真 4.7.7-25 に示すようにせっこうボードで被覆された開口部の枠木材は健全な状態であった。

写真 4.7.7-26 は階段室２階の防火戸であり、写真 4.7.7-27 のように戸枠近傍に若干変色が見られたものの、周辺の内装合板は健全な状況であった。一方、防火戸近傍に設置されたクリブにおいては、防火戸に面する部分に変色・炭化が見られた（写真 4.7.7-28）。図 4.7.7-1 は防火戸の階段室側での温度状況であるが、木材炭化温度の 260℃を超えた測定点も多く、最終的に 600℃に達する点もあり、高い放射熱が生じたと考えられる。



写真 4.7.7-24　１階防火壁防火戸の状況



写真 4.7.7-25　１階防火壁防火戸枠部分詳細



写真 4.7.7-26　２階階段室側防火戸の状況



写真 4.7.7-27　２階階段室防火戸枠部分詳細



写真 4.7.7-28　防火戸近傍のクリブの変色

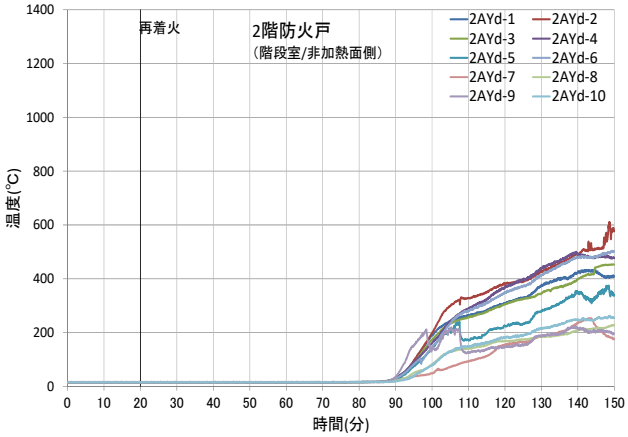


図 4.7.7-1　２階階段室防火戸・階段室側温度推移

（３）防火壁の自立性能と残存状況

防火壁の構造は、準備実験とほぼ同様であり、図 4.7.7-2 に示すように集成材柱（220×700mm）を 2,300mm 間隔で配置し、その両面に構造用合板 9mm を張った構造とした。壁方向（Y 方向）は防火戸以外は無開口の耐力壁となっており、面外方向（X 方向）については高さ 15m の片持ち柱として自立する構造として計画した。片持ち柱は集成材の通し柱であり、柱脚は建物本体の木造ラーメン構造と同様の鋼板挿入ドリフトピン留め（モーメント抵抗型）接合である。地震時水平力を柱の負担幅分の重量に C0=0.2 として、Ai 分布による外力を想定した場合、接合部に生じる応力は、接合部の耐力の 35%程度に納まっている。

防火壁の耐火仕様については、国土交通大臣の認定を取得した両面強化せっこうボード２枚張り（下張り 15mm、上張り 21mm）による１時間耐火構造の仕様である。

実験建物における、防火壁の主な温度測定点は図 4.7.7-2 の丸印部分で、図 4.7.7-3 に示す通り、高さ 1.5m と３m の２種類の高さで 1FYn-1～13 の温度測定を行った。測定点の温度測定結果を図 4.7.7-4 に示す。

出火室側せっこうボードの表面(1FYn-1、1FYn-2)は F.O 後に急激に温度が上昇し、最高 1,100°C 程度まで上がっているが、その他の 11 点の壁体内部の温度は、ほとんどが 100°C 程度までしか上がっておらず、1FYn-4 が唯一 200℃近くまで上昇したのみであった。

実験後、耐力壁西側部分を解体した状態を写真 4.7.7-29 に示す。せっこうボードはほぼ剥落し

ておらず、写真 4.7.7-30 に示すとおり、壁内部の軸組は健全な状態で火炎が侵入している様子はなかった。ただし、写真 4.7.7-31 に示すとおり、残火が生じた登り梁が接する部分のみ炭化痕が見られた。以上、解体後の目視調査及び内部温度測定結果より、火災による損傷はほぼ見られず、構造体の自重及び水平力に対する自立性は保たれていると考える。

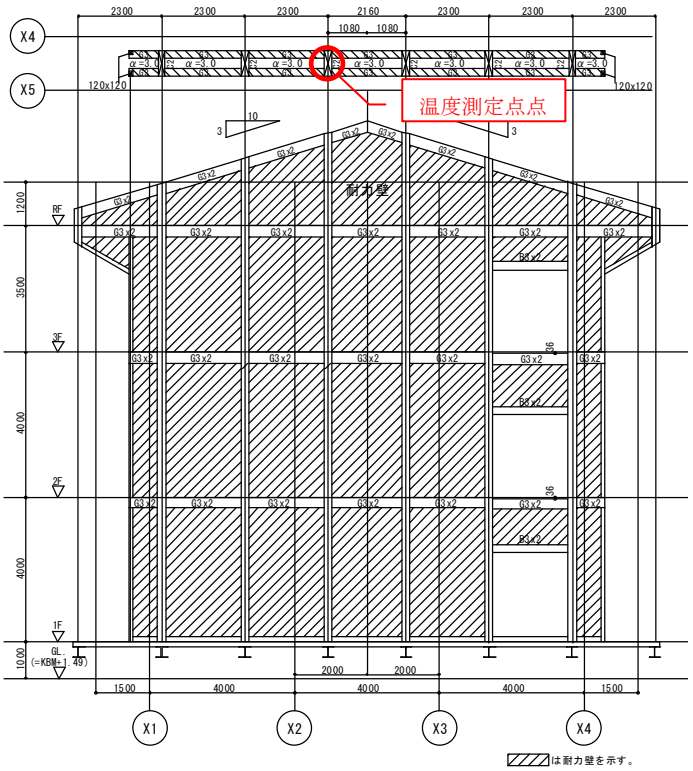


図 4.7.7-2　防火壁軸組み図

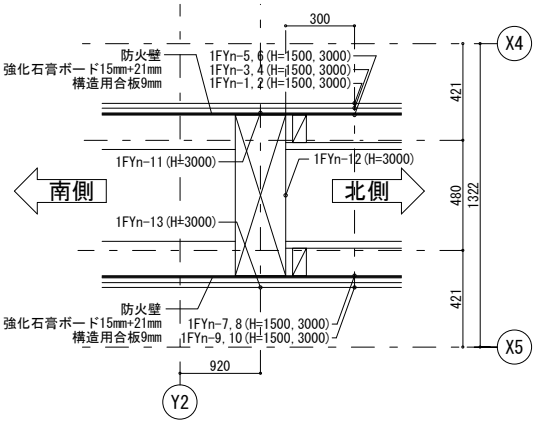


図 4.7.7-3　温度測定点詳細図

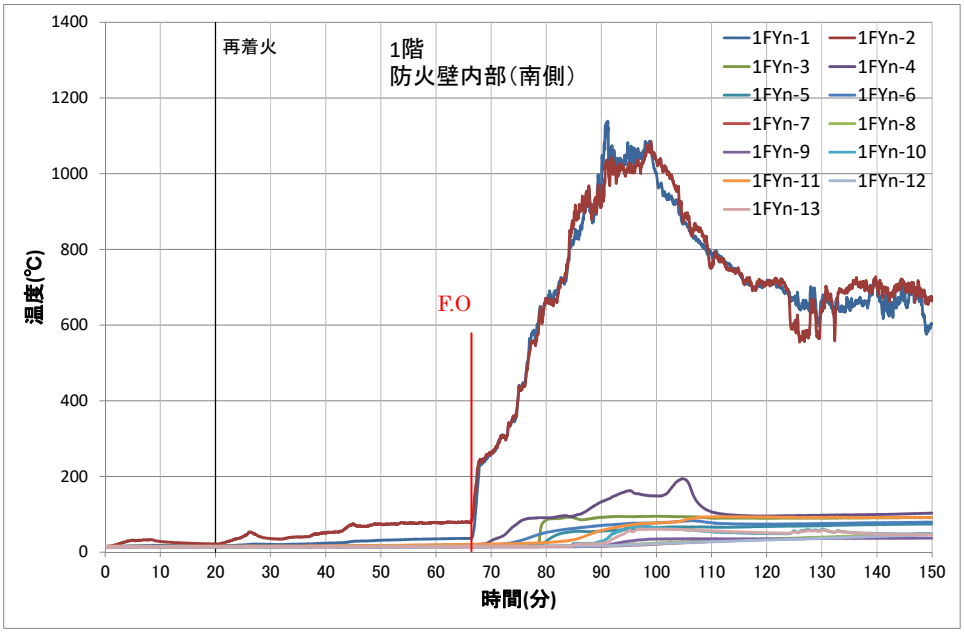


図 4.7.7-4　防火壁における測定温度



図 4.7.7-29　解体時の防火壁の状況



図 4.7.7-30　合板撤去後の防火壁の状況



写真 4.7.7-31　防火壁の残火による炭化痕

（4）解体調査

各部の燃焼状況を確認するため、建物の解体の際に図 4.7.7-5 に示す位置の部材を採取し、燃焼状況を調査した。これらのうち、断面サンプルが採取できたものは、切り出した断面より、炭化深さ等を測定した。これらの調査結果については、以降に述べる。

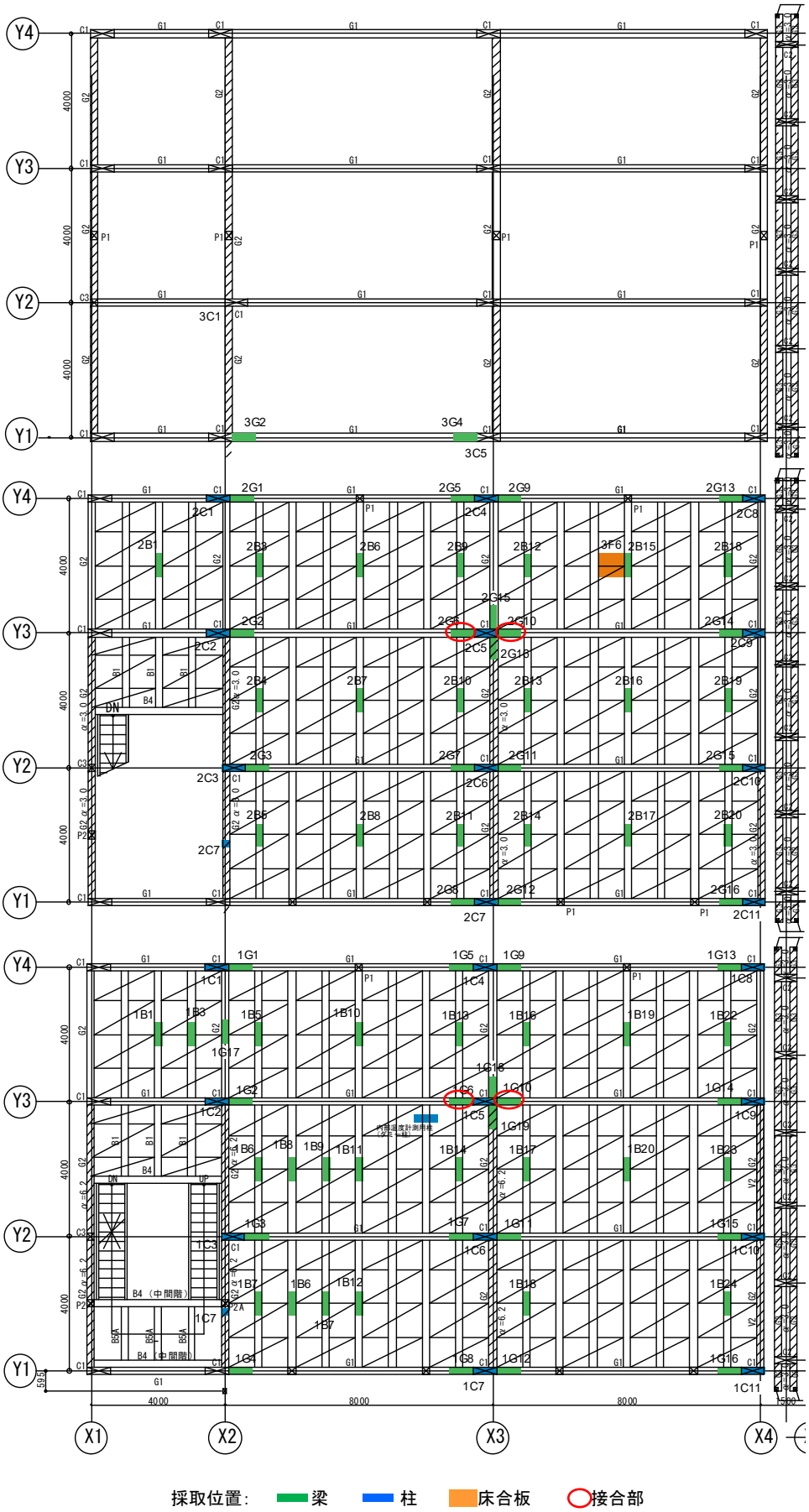


図 4.7.7-5　解体部材におけるサンプル採取位置

（５）軸組材の残存・炭化状況

本実験の解体調査において確認した軸組材の残存・炭化状況について報告する。

各軸組材の部材寸法は、柱 220mm×650mm、大梁 220mm×650mm（３階部分 220mm×500mm）、小梁 220mm×350mm である。また、サンプル切り出し位置は、柱が梁下 600mm、大梁が接合部金物から 50mm 外側、小梁がサンプル中央となっている。

解体後の試験体から採取した断面サンプル（写真 4.7.7-32）を用いて、室ごとの軸組材の炭化状況及び燃焼時間を把握する（表 4.7.7-1）。

本実験は、155 分(135 分)後に消火が開始され、約 20 分後に鎮火した。

各部材の燃焼時間は、サンプル採取位置より最も近い室内温度が 450℃を超えた時間を「燃焼開始時間」とし、消火活動が開始された 155 分(135 分)後までの時間を「燃焼時間」と定義した。

各室の室内温度を図 4.7.7-6 に示す。

１階職員室の出火源付近の軸組材は再着火後 33 分間、その直上に位置する２階普通教室は 17 分間、100℃～450℃の予熱にさらされた後、燃焼開始となる 450℃に達した。



柱（1C1）



大梁（1G1）



小梁（1B1）

写真 4.7.7-32　断面サンプル例

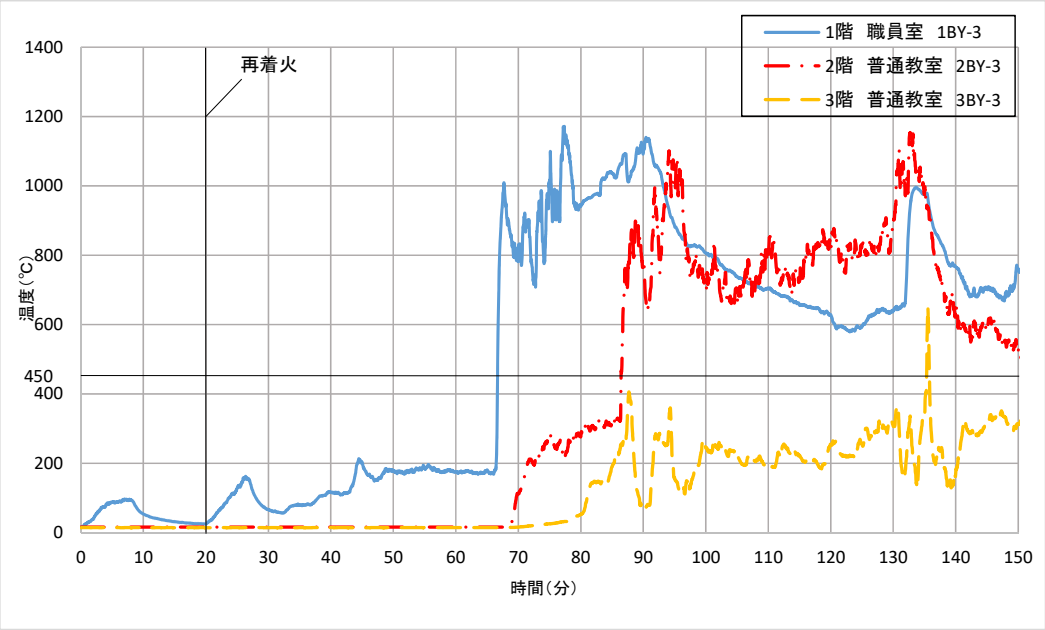


図 4.7.7-6　各階室内温度（１、２階：FL＋3.00m、３階：FL＋3.77m）

１）１階軸組材の残存・炭化状況

出火室となる１階職員室内では、独立柱である 1C5 の断面欠損が最も大きく、88 分間４面加熱を受け、４面全てで 55mm～60mm 程度炭化していた。１階の柱は全体をとおして 40mm～70mm 程度炭化していたが、1C3 のように一部壁と面している部分では炭化が見られないところもある。外壁面に位置する 1C4、1C7 の柱をみると外壁側にも炭化が見られる。これは開口部からの噴出火炎にさらされた影響と考えられる。

１階大梁下部は木現しであったため、火炎にさらされ 1G19 のように下部が大きく欠損しているものも多かった。大梁全体をとおして、大梁上面を除き３面が燃焼しているものが多く、20mm～70mm 程度炭化していた。

１階小梁は天井被覆の裏であったため、柱および大梁に比べて炭化量は少なかった。小梁下面および側面に炭化が目立つが、これは天井の燃え抜け後に下面及び側面が火炎にさらされた影響と考えられる。１階小梁全体をみると 20mm～30mm 程度炭化していた。

２）２階軸組材の残存炭化状況

２階軸組材の炭化状況は１階の状況と似ているが、炭化量は少ないものが多い。

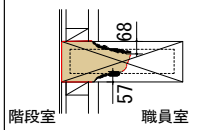
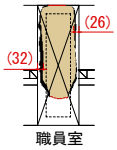
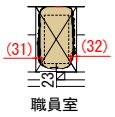
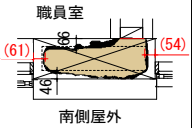
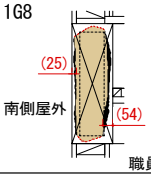
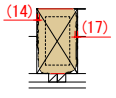
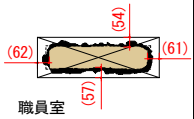
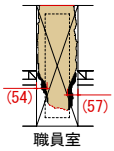
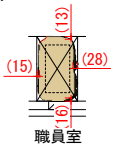
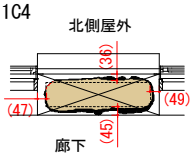
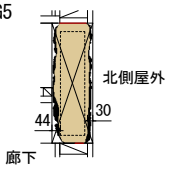
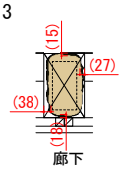
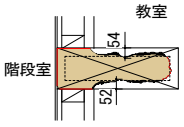
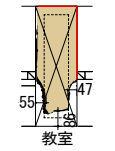
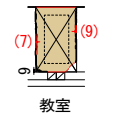
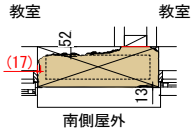
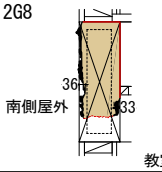
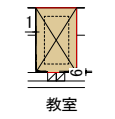
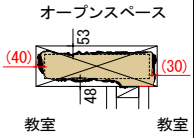
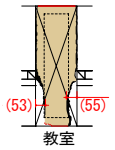
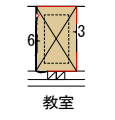
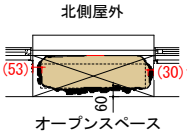
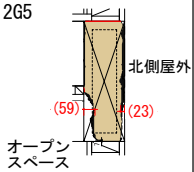
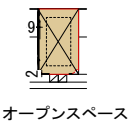
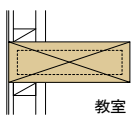
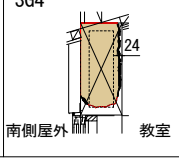
燃焼時間で見ると室内は１階と比べて 20 分程度燃焼時間が短かった。一方で、２階オープンスペースはそれに対応する１階廊下部分とは燃焼時間に差が少なかった。

全体をとおして、２階柱は 30mm～60mm、２階大梁は 15mm～70mm、２階小梁は 1mm～20mm 程度が炭化していた。

３）３階軸組材の残存炭化状況

３階は延焼評価用の開口部付近を除き不燃材料仕上げで、３階への延焼が確認された時点で安全管理のため３階教室内に設けた散水設備による断続的な散水が行われた。このため、室内の柱・梁にはほとんど炭化が見られなかった。ただし、噴出火炎により開口部を通じて３階へ延焼したため開口部付近の 3G4 では室内側に炭化が見られた。

表 4.7.7-1　軸組材の炭化状況と燃焼時間（燃焼時間は柱・大梁）

階	室名	部材名 柱(C)	大梁(G)	小梁(B)	燃焼時間(分)
1階	職員室 出火源付近 （再着火）	1C3 	1G3 	1B6 	88
	職員室 （南）	1C7 	1G8 	1B18 	88
	職員室 （北）	1C5 	1G19 	1B14 	88
	廊下	1C4 	1G5 	1B13 	74
2階	普通教室 出火源直上	2C3 	2G3 	2B7 	69
	普通教室 （南）	2C7 	2G8 	2B14 	68
	普通教室 （北）	2C5 	2G18 	2B10 	68
	オープン スペース	2C4 	2G5 	2B9 	70
3階	普通教室 出火源直上	3C1 燃焼・損傷なし 			0
	普通教室 （南）		3G4 		20

４）本実験と準備実験との比較

本実験と準備実験の実験建物の仕様の違いを、表 4.7.7-2 に示す。また、炭化状況及び燃焼時間の比較を表 4.7.7-3 に示す。

１階柱に関しては、燃焼時間の差が 30 分程度あるものの、本実験、準備実験とも 40mm～70mm 程度の炭化量であり、炭化状況が酷似しているものが多い。

建物北側外壁面に位置する 1C4（本実験）、1C2（準備実験）を比較すると、準備実験では北側外壁面に炭化が見られないのに対して、本実験では柱の 4 面全てに炭化が見られた。準備実験では北側屋外に噴出火炎による上階延焼防止措置として庇が設置されていたため、噴出火炎が斜め上方に伸びて建物から離れたことも準備実験で外壁面に炭化が見られないことに影響していると考えられる。

１階大梁に関しては、木現し部分の収まりの違いによる炭化状況の差は見られるが、準備実験と本実験とも 20～70mm 程度炭化していた。北側外壁面に位置する 1 G5（本実験）、1 G2（準備実験）を比較すると準備実験では庇上部には炭化が見られず、柱と同様に庇の効果が炭化状況にも現れている。

１階小梁に関しては、準備実験では木現しとなっていたため炭化層は 20～70mm 程度で、本実験の 5～30mm に比べて炭化量は多くなっている。

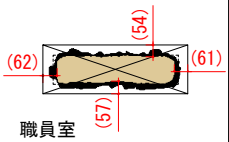
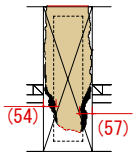
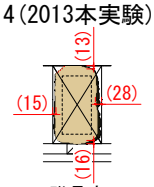
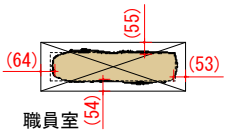
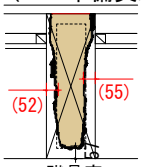
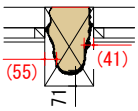
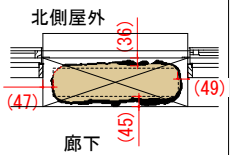
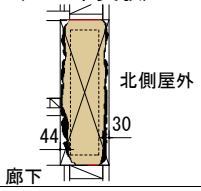
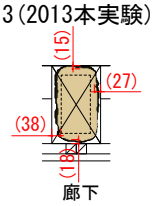
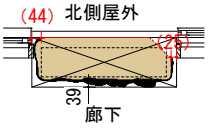
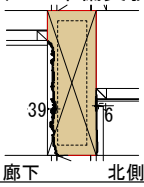
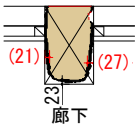
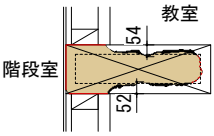
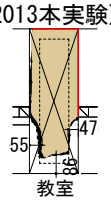
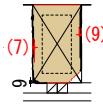
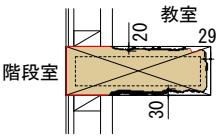
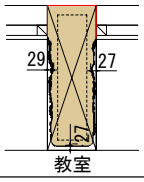
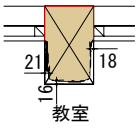
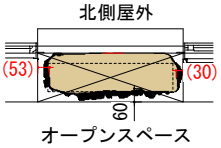
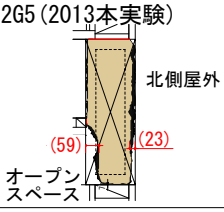
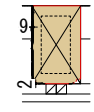
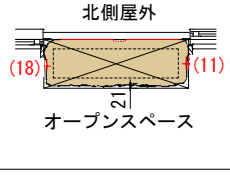
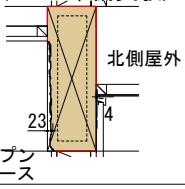
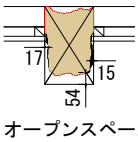
２階部分に関しては、準備実験の部材燃焼時間が 60 分程度と本実験に比べて短いため、本実験では炭化層が、柱 30～60mm、大梁 15～70mm に対して、準備実験では、柱 10～30mm、大梁 5～25mm 程度と炭化量に大きな違いが出ている。

一方、２階小梁に関しては、準備実験の方が燃焼時間は少ないものの木現しのため、本実験では炭化層が 1～20mm、準備実験では 4～25mm と準備実験の方が炭化量は多くなっている。

表 4.7.7-2 本実験と準備実験の試験体の比較

本実験（2013）	建物内部：柱・梁・床・壁は木現し（小梁は天井被覆裏）、天井は準不燃材料仕上げ 建物外部：バルコニー・庇なし
準備実験（2012）	建物内部：柱・梁・床は木現し、壁・天井は不燃材料仕上げ 建物外部：バルコニー（建物南側）・庇（建物北側）

表 4.7.7-3　本実験と準備実験の炭化状況及び燃焼時間の比較

階	室名	部材名			燃焼時間(分)
		柱(C)	大梁(G)	小梁(B)	
1階	職員室（北）	1C5(2013本実験) 	1G19(2013本実験) 	1B14(2013本実験) 	88
		1C3(2012準備実験) 	1G16(2012準備実験) 	1B12(2012準備実験) 	56
	廊下	1C4(2013本実験) 	1G5(2013本実験) 	1B13(2013本実験) 	74
		1C2(2012準備実験) 	1G2(2012準備実験) 	1B11(2012準備実験) 	46
2階	普通教室 出火源直上	2C3(2013本実験) 	2G3(2013本実験) 	2B7(2013本実験) 	69
		2C1(2012準備実験) 	2G7(2012準備実験) 	2B7(2012準備実験) 	12
	オープンスペース	2C4(2013本実験) 	2G5(2013本実験) 	2B9(2013本実験) 	70
		2C2(2012準備実験) 	2G2(2012準備実験) 	2B9(2012準備実験) 	10

（6）接合部の残存・炭化状況

図 4.7.7-7 に本実験建屋に用いた接合部の詳細を示す。準備実験と同様、用いた接合は鋼板挿入型ドリフトピン接合で、挿入鋼板は SS400、厚さ 9mm のものを使用した。ドリフトピンは直径が 16mm のものを 1 接合部分あたり 39 本使用し、それらを図のように三重の円上に配置、ドリフトピン頂部は表し仕様とし、鋼板を挿入したスリットの木栓の不使用なども同様である。準備実験の仕様と異なる点は、天井仕上げの高さが異なることから、梁の表し面積が小さい点である。さらに実験の状況として最も異なっている点は、火災継続時間が大きく伸びていることである。このようなことから、準備実験では余り見られなかったドリフトピン孔やスリットからの火炎や熱の侵入による部材内部の燃焼や炭化、接合金物の熱軟化や変形が発生している可能性があった。これらを評価するため、前回と同様に解体時に数カ所から接合部のサンプルを採取し、目視観察による検討を行った。なお、ここでは鋼板挿入型ドリフトピン接合を用いた接合部のみを対象とし、他の接合（引きボルト接合部、小梁接合部など）について詳細な検討は行っていない。

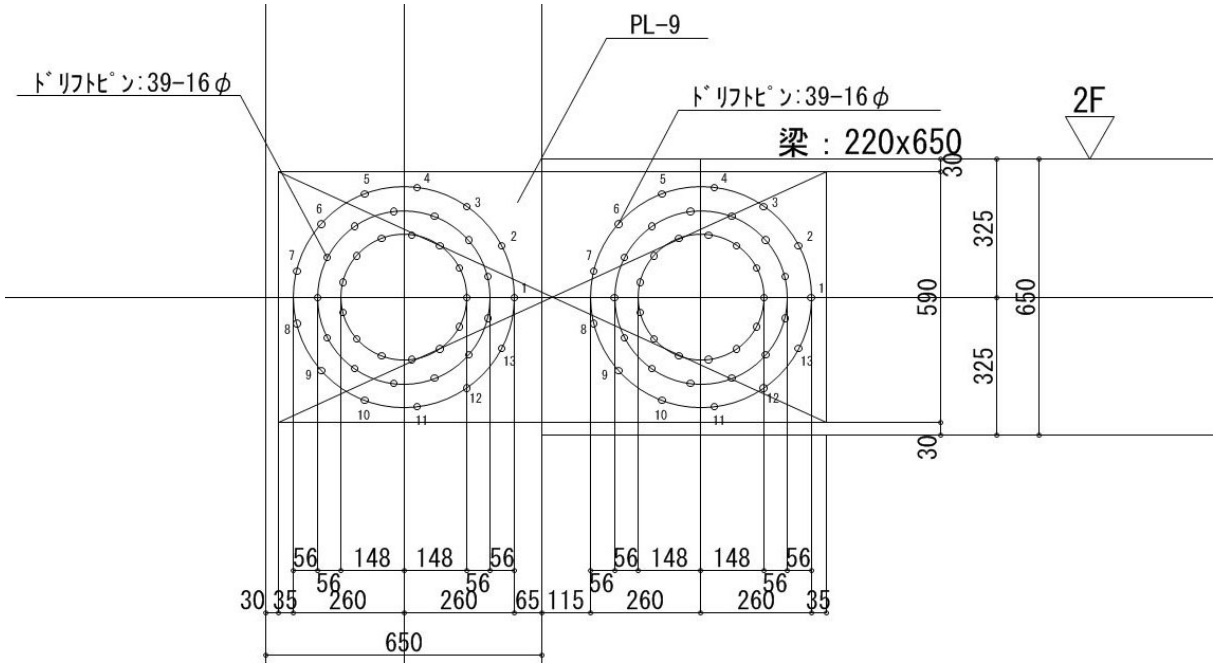


図 4.7.7-7　接合部詳細

解体前の接合部の炭化状況を写真 4.7.7-29～31 に示す。写真 4.7.7-29 は 1 階における出火源直上の柱梁接合部の状況であるが、全面が炭化し、断面欠損も著しいことがわかる。特に梁下部においては挿入鋼板が炭化による断面欠損で露出しており、ドリフトピンと鋼板の接触部分まで欠損が進行した。柱と梁の突き合わせ部に隙間などは見られないが、柱の断面も大きく炭化しており、構造耐力の減少が懸念された。なお、柱を含めて梁上部の断面が残存しているのは準備実験と同様に天井仕上げ高さが関連しており、同じ階高 4,000mm に対して、準備実験では天井高さが床面から 3,840mm の高さであり、本実験では天井仕上げを大梁を除いて準不燃化するために、床組の小梁の下面に天井を張ったため、床面から 3,575mm の高さに天井があって梁の現し部分が小さくなっている。本実験では、F.O から消火に至る時間が準備実験では 53 分であったのに対して、本実験では 88 分と長くなっているため、準備実験と比較して全体的にも炭化が進行した。このような挿入鋼板が露出するような状況が 1 階の接合部で多く見られたほか、引きボルト接合

部が露出する状況なども見られた。また、開口部では軸組の接合金物が完全に露出している状態となっていた。本実験では庇、バルコニーなど噴出火炎を遮る部位がなかったことから、部材および接合部が屋外側からの長時間加熱されたため、屋内外両面からの加熱により著しい炭化欠損が発生したものと思われる。

解体後の接合部から梁側の集成材サンプルを採取し、準備実験と同様に詳細な検討を行った。接合部サンプルの採取位置を図 4.7.7-8 に示す。サンプルは、燃焼が激しかった１階および２階を対象とし、両階とも燃焼が激しかった X3-Y3 柱と接合されている梁から採取した。これら３つのサンプルについて表層およびドリフトピン孔周りの炭化、断面欠損の状況を把握するため、切断後の断面から炭化深さを測定した。なお、サンプルは柱突き合わせから 0.7m 程度の位置で切断したものを使用した。



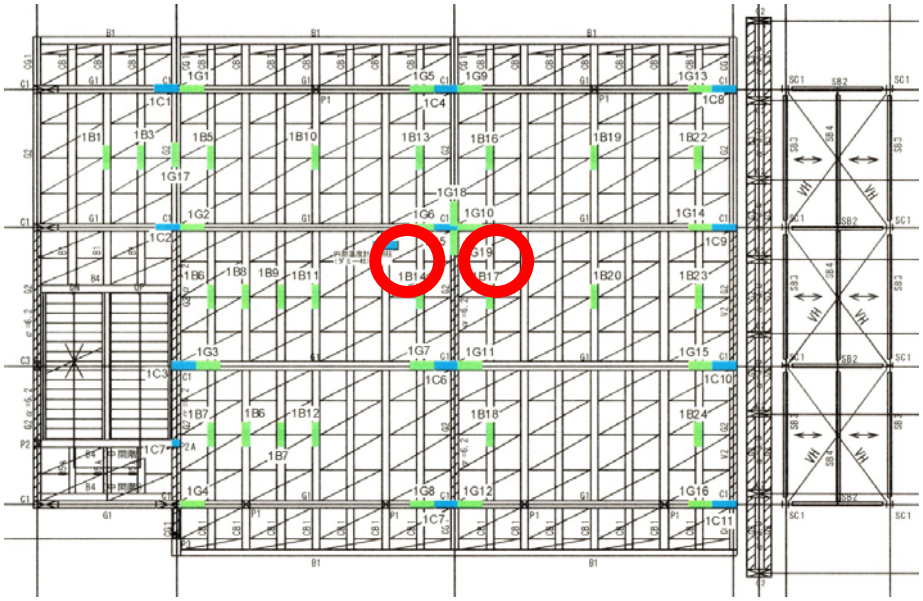
写真 4.7.7-29　出火源直上の柱-梁接合部



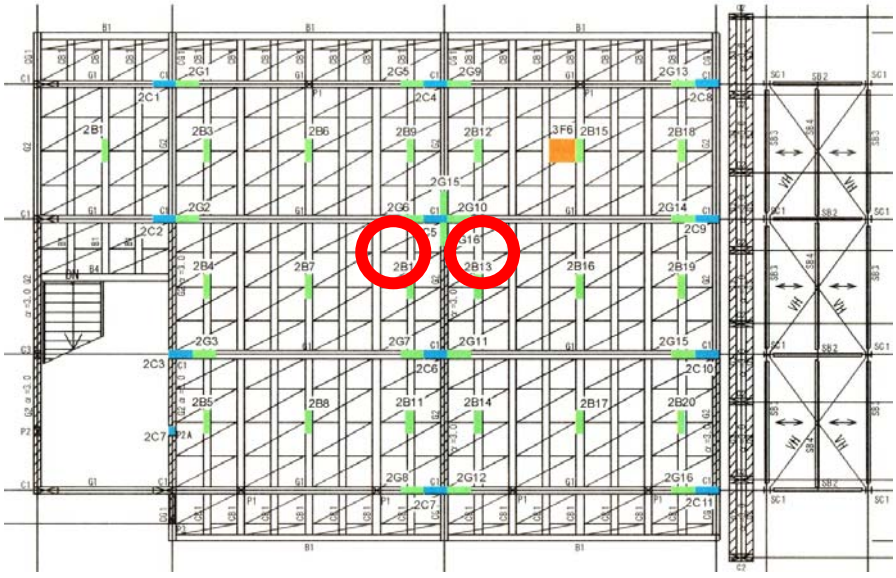
写真 4.7.7-30　１階 X3-Y3 柱の柱-梁接合部



写真 4.7.7-31　１階開口部軸組の接合部



a)　１階サンプル採取位置



b)　２階サンプル採取位置

図 4.7.7-8　サンプル採取位置

写真 4.7.7-32～35 に、採取した接合部サンプルの状況を示す。写真はすべて接合部の南側表面であり、鋼板周りの炭化状況を確認するため、鋼板挿入位置からサンプルを分割して目視により測定を行った。写真より、天井材や小梁が残存した部分以外はすべて炭化しており、現しとなっていた梁下部の炭化が著しいことが確認された。また、１階は２階に比べてその傾向が顕著であり、炭化による断面欠損が大きく生じていることがわかる。内側の鋼板周りの炭化状況については、１階の断面欠損が激しい部分で内側まで炭化が進んでいたこと、天井被覆が梁下部より上方 230mm に施工されていたが、天井被覆内の大梁表面のほとんどが黒色化していたことが確認できた。このことから、梁現し部分と天井仕上げに隠れた部分で梁内部も含めて部材温度が異なっていたことが考えられる。一方でドリフトピン周りの炭化状況については、１、２階共にピン周りから 5～10mm の炭化層が見られた。これらの結果は、燃焼時間の差による燃え進みは見られたものの、準備実験とほぼ同様の結果であるといえる。なお、断面欠損は梁下部から順次進行していったと思われ、ドリフトピン周りでの過剰な炭化や断面欠損が進行しているような部分は確認されなかった。このドリフトピン周りの燃え進みの状況を示す一例を写真 4.7.7-26 に示す。写真は梁 2J6 を柱から 0.6m の位置で切断した断面であるが、炭化が表層 10mm 程度となっている左側（梁上部）のドリフトピン孔上部周りにおいて、炭化が他の部分よりも進行していないことがわかる。これは、熱伝導の高いドリフトピンが木材にかかる熱を吸収することにより、木材の燃焼・炭化を抑制したと思われる。逆に炭化層が 50mm 近い右側（梁下部）のドリフトピン孔上部周りはむしろ炭化が進んでおり、これは熱せられたドリフトピンと火災の熱によって隅角部と同様の２面加熱の状態となったことが原因と考えられる。このような状況は準備実験においても確認された。このように、ドリフトピン孔周りの火災進展はドリフトピンの温度によって変化すると考えられるため、接合部の耐力を詳細に検討する場合には注意が必要になると思われる。



写真 4.7.7-32　1J6（１階 X3-Y3）

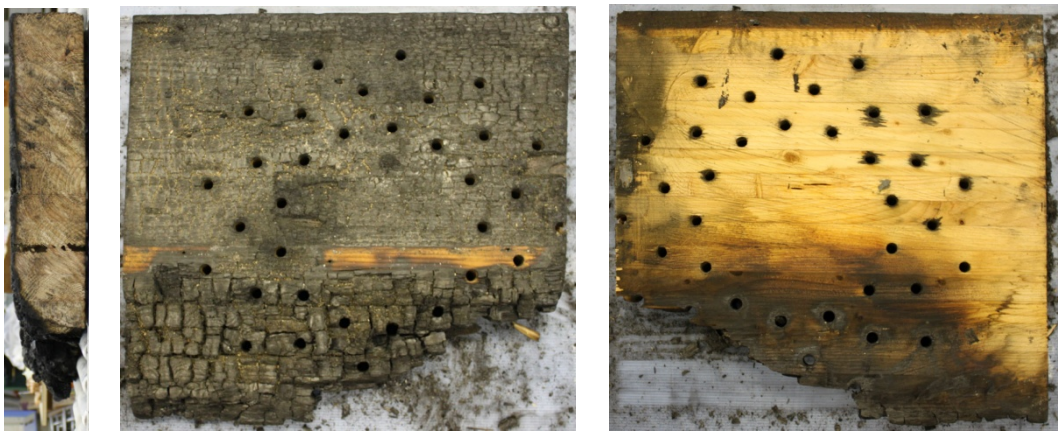


写真 4.7.7-33　1J10（１階 X3-Y3）



写真 4.7.7-34　2J6（２階 X3-Y3）

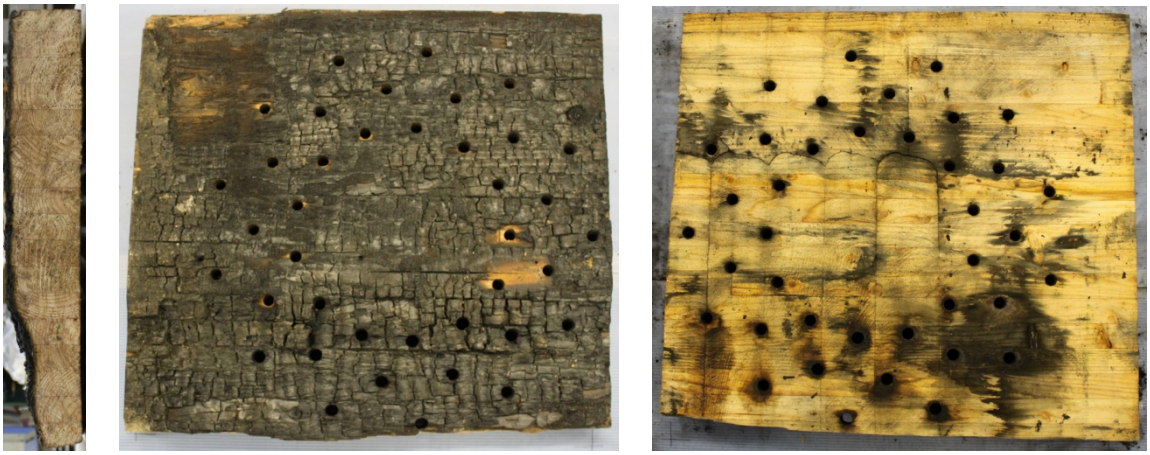


写真 4.7.7-35　2J10（２階 X3-Y3）



写真 4.7.7-36　ドリフトピン周りの炭化状況

炭化測定に使用したサンプルを、柱突き合わせ部から 100mm 毎に切断し、その断面から炭化深さを測定した。その結果を図 4.7.7-9～12 に示す。黒色部が炭化層、茶色部が健全部分、点線はドリフトピン孔を表している。全体的な傾向として、柱に近づくに従って炭化領域が減少していることがわかる。ここで、炭化層厚さと断面欠損をあわせたものを炭化深さとして、各サンプルにおける最大炭化深さについて測定したものを表 4.7.7-4 に示す。なお、この測定において 2 面からの加熱を受ける隅角部は含めていない。表 4.7.7-4 より、柱突き合わせ部である 0mm 以外のところではほとんど 50mm を超える深さとなった。1 階の炭化が特に顕著で、写真 4.7.7-36、37 でもみられるとおり、内部に炭化が進む状況が確認された。また、梁 1J6 では炭化深さが 80mm を超えており、梁 1J10 においては炭化の進行により断面がほとんど脱落して測定ができないケースも見られた。表 4.7.7-5 に天井仕上げに隠れた非現し部の最大炭化深さを示すが、非現し部分の炭化は全体的に余り進行していない。表 4.7.7-5 より、非現し部の炭化は梁 1J6 の方が進行しており、1J10 よりも早期に天井が脱落したものと思われる。

表 4.7.7-4　最大炭化深さ

柱からの距離(mm)		600	500	400	300	200	100	0	Ave.
最大炭化深さ(mm)	1J6S	(小梁位置)	69.8	62.6	80.9	83.2	66.8	55	69.7
	1J10S	測定不能	測定不能	測定不能	測定不能	66.5	58.3	43.6	56.1
	2J6S	54.1	67.5	57.7	54.1	48.5	37.1	4.7	46.2
	2J10S	51.9	51.3	48.1	60.8	52.6	50.7	18.3	47.7

表 4.7.7-5　非現し部（天井仕上げ内側）における最大炭化深さ

柱からの距離(mm)		600	500	400	300	200	100	0	Ave.
非表し部炭化深さ(mm)	1J6S	26.3	(小梁位置)	(小梁位置)	11.9	11.9	16.5	10.9	15.5
	1J10S	12.9	9.9	10.6	9.6	12.2	9.3	5.4	10.0
	2J6S	8	0	0	0	0	0	0	1.1
	2J10S	17.9	15.7	15.7	15	17.3	32	0	16.2



図 4.7.7-9　梁 1J6（南側）の炭化状況

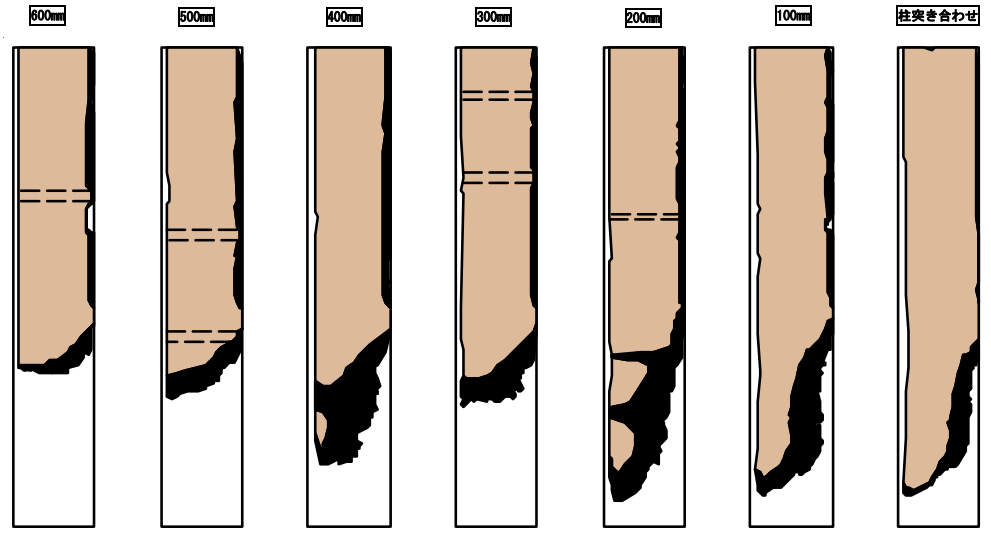


図 4.7.7-10　梁 1J10（南側）の炭化状況

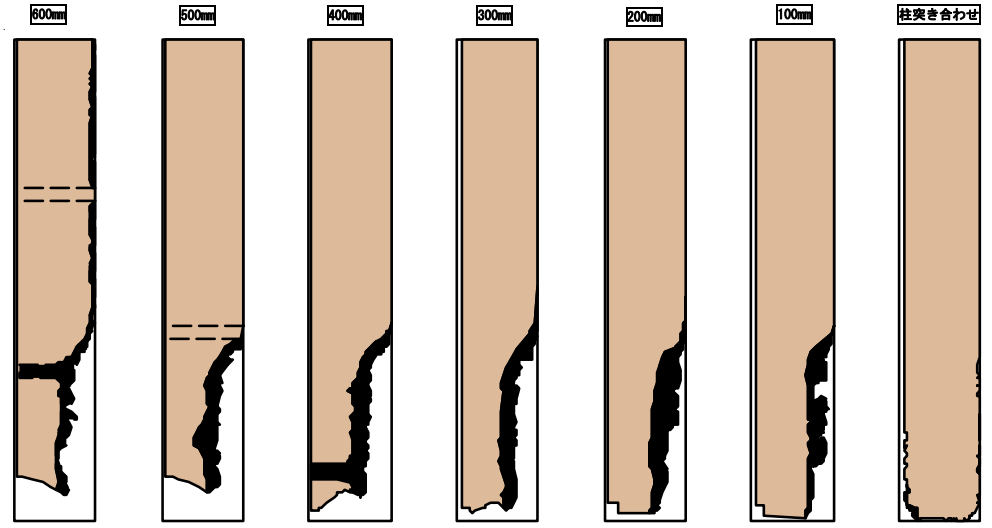


図 4.7.7-11　梁 2J6（北側）の炭化状況

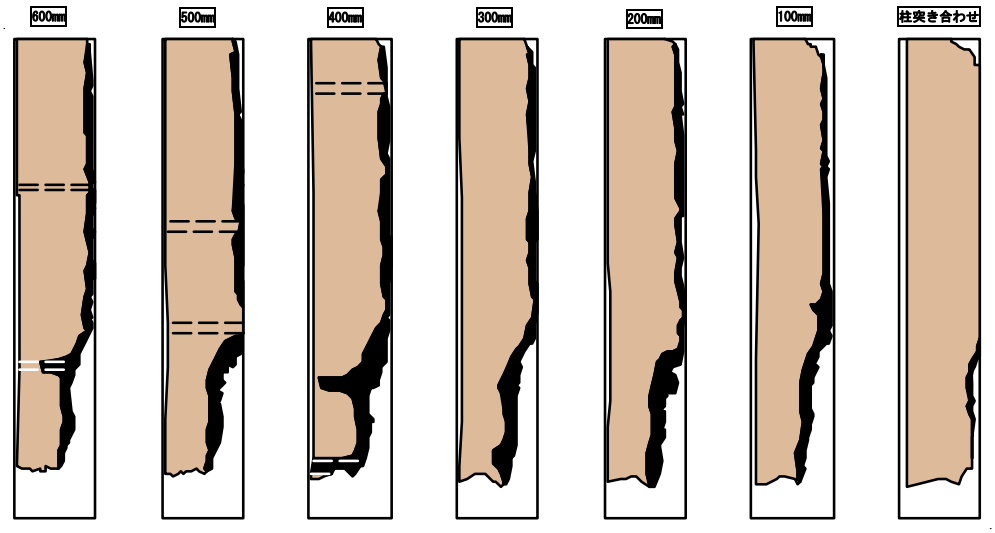


図 4.7.7-12　梁 2J10（南側）の炭化状況

柱－梁接合部の残存耐力に関して、木質構造計算規準（日本建築学会）に従って簡易に算定を行った。準備実験時は最大炭化深さをもとに評価を行ったが、梁 1J10 に見られるとおり、現し部が完全に欠落する状況が見られたことから、梁せい減少による有効なドリフトピンの減少を考慮に入れて算定を行った。梁 1J10 の柱突き合わせから 0.6m（図 4.7.7-10 における最左図）における梁せいの欠損を最大と考え、図 4.7.7-13 に示すように中央部の残存梁せい高さから有効となるドリフトピンの本数をカウントしたところ、39 本中 25 本となった。ここで、残存した梁せい部分はほとんどが非現し部と考えられることから、これに表 4.7.7-5 から求めた非現し部の最大炭化深さの平均の最大値（16.2mm：梁 2J10S）を梁幅の欠損とした。算定の結果、接合部の降伏モードはドリフトピンの曲げ変形によるモードⅣとなり、炭化深さの影響はほとんど見られない。ただし、有効ドリフトピンが減少したことから接合部全体の基準許容せん断耐力は、低減係数を 0.9 とすると 173.1kN となり、梁に掛かる設計せん断荷重に対して約 1.5 倍の耐力であった。準備実験と比較すると耐力は 66%程度となっており、燃焼時間の増加による部分欠損の影響が大きいことがわかる。本実験では非現し部が梁せいの約 2/3 であったことにより、88 分の燃焼時間後でも設計せん断荷重以上の耐力を確保することができたが、準備実験のように梁せいの約 3/4 が表しとなっているような場合は、88 分経過以前に耐力を確保することが難しくなると考えられることから、安全性の観点から本実験仕様の妥当性が示される結果となった。

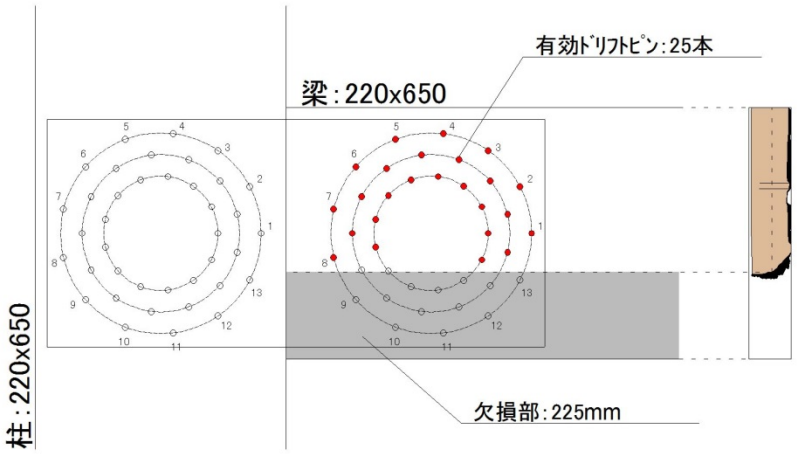


図 4.7.7-13　有効ドリフトピンのカウント方法

４．７．８　圧力

図 4.5.2-1 に示す各階の階段室側と防火壁側それぞれの微差圧計で測定された差圧と火災の進展に伴う主な事象を時系列に図 4.7.8-1、2 に示す。

１階の防火壁を挟んだ差圧は、準備実験では階段室側・防火壁側とも点火直後から急激に 110Pa 程度まで上昇した後、急速に低下したが、本実験では点火・再着火、F.O 時ともに差圧は 1～2Pa 程度であった。

点火 20 分後の再着火を経て出火室が F.O するまで各階の差圧はほぼ 0 であった。F.O 以降、1

階では、北側窓から黒煙が噴出した 78 分(58 分)前後に 60Pa 程度まで急激に上昇（階段室側・防火壁側）、83 分(63 分)に北側窓から軒に達する火炎の噴出時に防火壁側で 53Pa となったほかは徐々に -10Pa 程度まで低下した。

２階では、87 分(67 分)に３階に延焼して３階で散水を開始直後に防火壁側では瞬間的に 400Pa を記録したが、双方とも 90 分(70 分)までに -20Pa まで低下し、その後上昇して -10Pa 程度で推移した。

３階については、78 分(58 分)の普通教室の南側窓ガラスが落下した時点で、出火室に近い階段室側は差圧が 3Pa 程度まで上昇、防火壁側は 16Pa 程度まで上昇し、３階に延焼して散水を開始した 87 分(67 分)の時点で階段室側は 18Pa に急上昇した後は双方とも徐々に低下して負圧になった。

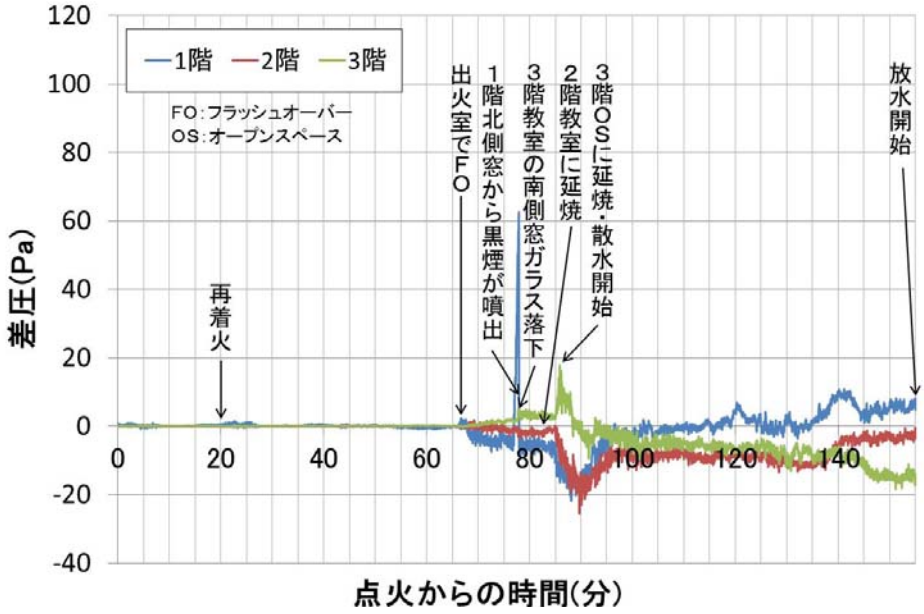


図 4.7.8-1　微差圧計による測定結果（階段室側）

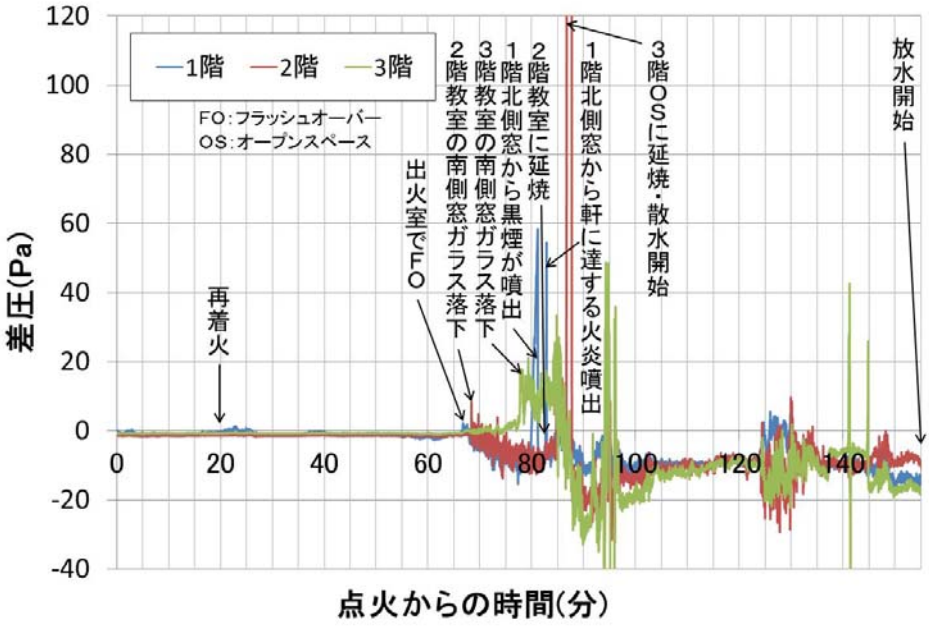


図 4.7.8-2　微差圧計による測定結果（防火壁側）

４．７．９　スパンドレル・そで壁の効果

（１）　スパンドレル・そで壁の構造

建築基準法施行令 112 条の 10 の規定に準じ、試験体のスパンドレル、そで壁は以下の仕様とした。鉛直方向のスパンドレルは、１階開口上端から２階の開口下端までが 2,130mm、２階開口上端から２階の開口下端までは 2,330mm とし、防火被覆はその他の部分の外壁と同じ厚さ 16mm の窯業系サイディングとした。実験建物南面の階段室の竪穴区画の屋外部(X2 とおり)に 0.5m のそで壁を設置し、防火壁も南北両面に外壁から 0.5m 突出させた。竪穴区画のそで壁は木造軸組みに防火被覆として厚さ 16mm の窯業系サイディング仕上げとした。また、防火壁は１時間耐火構造の国土交通大臣認定仕様の被覆である強化せっこうボード 15mm＋21mm 重ね張りの上に、外装仕上げとして厚さ 16mm の窯業系サイディング張りとした。南立面の外壁温度測定位置を図 4.2.1-1、2 に、スパンドレルおよび各そで壁の断面図と温度測定位置を図 4.7.9-1～3 に示す。

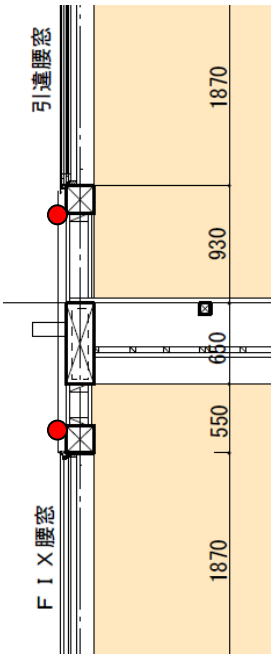


図 4.7.9-1　スパンドレル断面図

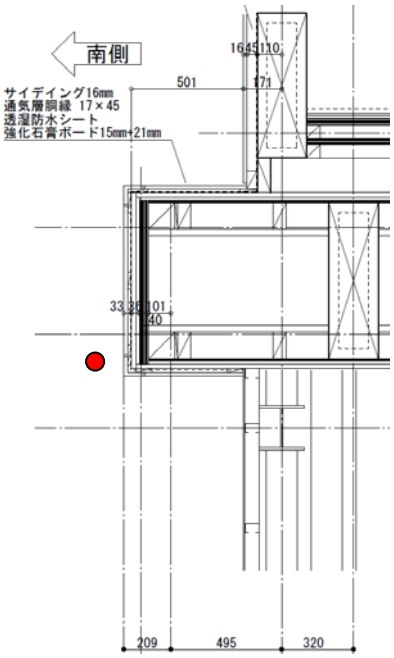


図 4.7.9-2　防火壁そで壁断面図

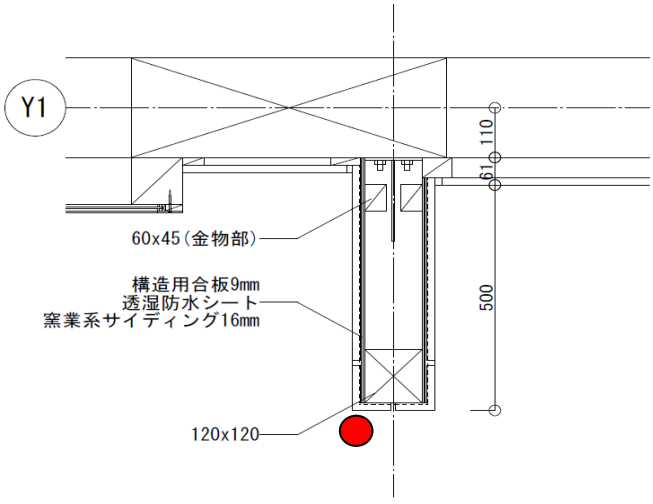


図 4.7.9-3　竪穴区画そで壁断面図

（２）スパンドレルの効果

１階の噴出火炎発生時刻と噴出火炎による２階への延焼時間を図 4.7.9-4 に示す。図 4.7.9-4 は実験建物の X2～X4 とおりの立面を表しており、水色の四角は開口部を示す。南側の１階開口からの火炎噴出から２階の延焼にかかる時間は西側が 20 分、東側が５分であった。

各開口部からの延焼の状況を以下に示す。67 分(47 分)に出火室の職員室で F.O が発生し、１階職員室(西)開口部から火炎が噴出した。その１分後には噴出火炎が直上の２階普通教室(西)開口部の上端に達したことから、噴出火炎の高さは１階開口上部から約４m となった。F.O の２分後には２階普通教室(西)南側窓ガラスが割れて落下した。１階職員室(東)開口部からは職員室(西)開口部より 10 分遅れた 77 分(57 分)に火炎が噴出し、この噴出火炎により５分後の 82 分(62 分)に２階普通教室(東)開口部より２階へ上階延焼した。火炎の噴出は出火源に近い職員室(西)開口部の方が早かったが、職員室(東)開口部の噴出火炎により上階に延焼した。この原因としては、職員室(西)は F.O までに収納可燃物の表面の炭化が進んでいたのに対し職員室(東)は収納可燃物が一斉燃焼したことなどにより噴出火炎が大きくなったためと考えられる。

実験建物北側では 84 分(64 分)に１階廊下の開口部より火炎が噴出したが、ほぼ同時に２階普通教室南側からの延焼により北側２階のオープンスペースに延焼した。写真 4.7.9-1、2 の 85 分(65 分)の北側の様子から判断すると、北側の噴出火炎は外気風の影響で南側に比べて大きく、２階普通教室南側からの延焼がなかった場合、より早い時間で噴出火炎により延焼していた可能性がある。

本実験では、スパンドレル長さが 2.1～2.2m であったが、開口から火炎が噴出した後スパンドレルを越えて上階に延焼する時間は５～20 分であった。

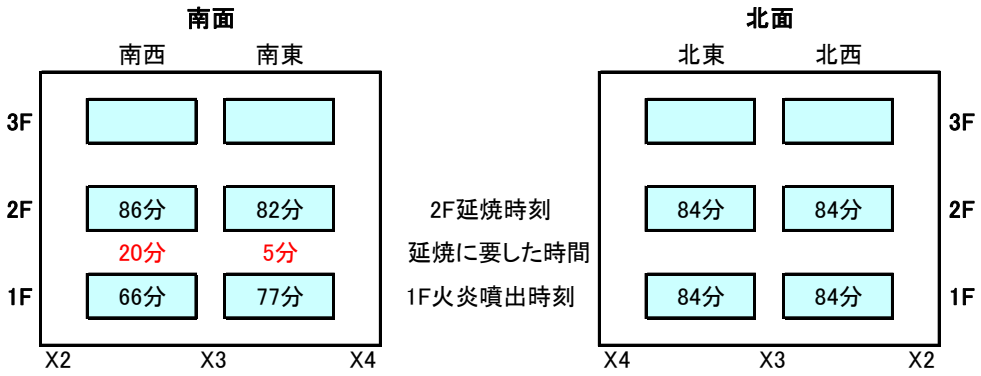


図 4.7.6-4　噴出火炎発生時刻と上階延焼時間



写真 4.7.9-1　85 分の北側の様子１



写真 4.7.9-2　85 分の北側の様子２

（３）そで壁の効果

67 分(47 分)で 1 階職員室(西)開口部から火炎が噴出してから、155 分(135 分)の消火まで竪穴区画の階段室には延焼しなかった。また、同様に防火壁の東側の区画への延焼もなかった。写真 4.7.9-1、2 に示す 85 分(65 分)ごろの北側防火壁を越えた火炎により、防火壁の東にある延焼評価用建物 2 階の窓ガラスが割れ、開口部周りの部材が燃焼したが、その後室内へ延焼はせずに自然鎮火した。噴出火炎は壁面から垂直水平方向に最大で 2.5m に達したが、0.5m のそで壁を越えて隣の区画への延焼はなかった。

（４）各部の温度

各部の測定温度を図 4.7.9-5～9 に示す。図 4.7.9-5、6 は 1-2 階と 2-3 階南側外壁(西)のスパンドレルの上部(下階開口上部)と下部(上階開口下部)の温度とその差を示している。1 階 F.O 後から 2 階 F.O までは、1-2 階間のスパンドレルの上下の温度差は 400℃程度で推移している。また、2 階 F.O 後の 2-3 階間のスパンドレルの上下の温度差は 500℃程度で推移している。このことから、スパンドレルによって外壁面の受熱量が低減されているのがわかる。

図 4.7.9-7、8 は防火壁の突出先端から 0.1m の空間温度を示す。その温度は、隣接する開口部から火炎が噴出した直後の 10～15 分間が最も高く、南側は 1 階開口部から火炎が噴出した直後に 250～300℃を示し、北側は 83 分(63 分)に 1 階より火炎が噴出し、その 3 分後に 2 階からも火炎が噴出したために 800～1,000℃と高い温度を示し、この時(写真 4.7.9-1、2)に防火壁の東にある延焼評価用建物 2 階の北側窓ガラス周りが一時燃焼した。図 4.7.9-9 は竪穴区画である階段室のそで壁先端から 0.1m の空間温度を示す。温度には波があり、風向きによって噴出火炎の大きさが変化したためと推測され、最高温度は 450～500℃となっている。

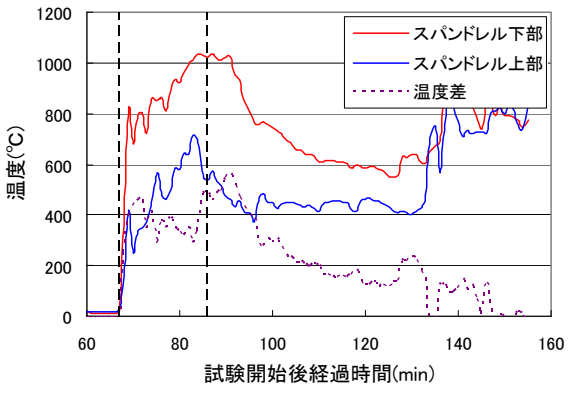


図 4.7.9-5　1-2 階スパンドレル外壁面温度

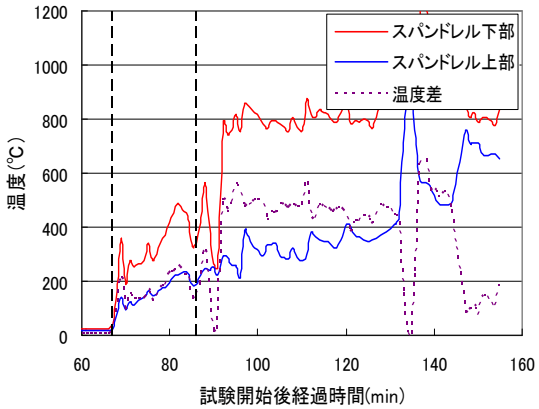


図 4.7.9-6　2-3 階スパンドレル外壁面温度

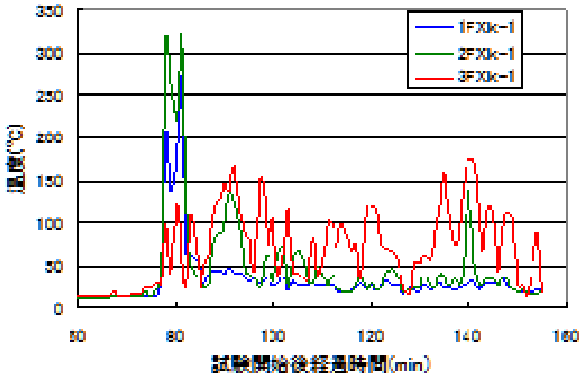


図 4.7.9-7　防火壁南側突出先端温度

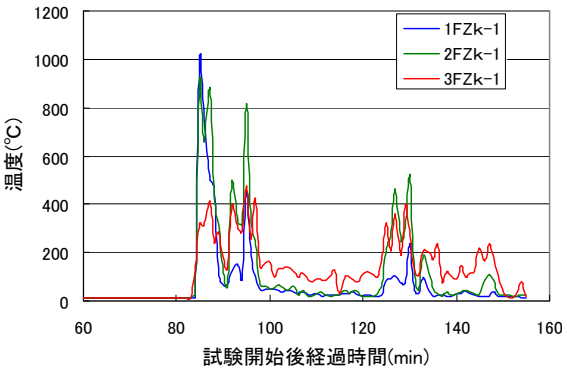


図 4.7.9-8　防火壁北側突出先端温度

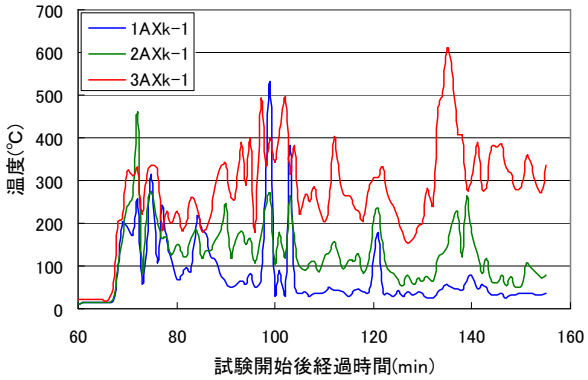


図 4.7.9-9　竪穴区画そで壁先端温度

４．７．１０　建物消火水量

建物消火は、３階室内に散水を行って燃焼を抑制しながら、１、２階の火災を継続させ、着火後 150 分(130 分)に消火を開始した。準備実験と同様に、南北２面から合計６口の放水銃を中心に 10 分前後で鎮圧した。可搬ポンプの機動性とともに放水銃の能力も立証された。

実験前の雨天から事前散水量が少なく、使用水量は十分であったが、季節気温、乾燥状態、飛び火の想定を十分に検討し、貯水量を判断する必要がある。表 4.7.10-1 に、３階室内の散水位置、散水時間および散水量を、写真 4.7.10-1 に放水銃による残火消火の様子を示す。また、本実験の消火体制、水量等（短時間の消火鎮圧）は、類似規模の消火に関する知見の一助となるが、要した鎮圧時間等の内容は、機器、人員数、体制（２つの行政が合同し、各協会の協力など）が整った条件下であったことによるものであることには注意する必要がある。

また、３階散水装置による燃焼抑制は一定の効果をはたし、室温を制御することが明らかとなった。表 4.7.10-2 にその経過と水量を示す。その運用の判断基準となる室温の測定ポイントについては、十分な検討が必要とされる。図 4.7.10-1 に実験で使用した可搬ポンプの放水量・整流筒圧力の関係を示す。

表 4.7.10-1　３階散水位置、散水時間および散水量一覧

回	時間					位置	流量計				圧力
	開		閉		散水時間		流量(L/分)	積算水量(L)	散水量(L)	重複	
1	1:27:50	9:27:50	1:31:10	9:31:10	0:03:20	西	540	1,498	1,498		0.85
2	1:32:47	9:32:47	1:36:00	9:36:00	0:03:13	東	930	3,003	1,505	*	0.95
3	1:34:20	9:34:20	1:38:00	9:38:00	0:03:40	西	930	4,986	1,983	*	0.95
4	2:10:50	10:10:50	2:11:50	10:11:50	0:01:00	西	550	5,546	560		0.95
5	2:12:50	10:12:50	2:13:50	10:13:50	0:01:00	西	540	6,127	581		1.00
6	2:16:30	10:16:30	2:19:30	10:19:30	0:03:00	西	930	7,202	1,075	*	0.95
7	2:17:20	10:17:20	2:20:20	10:20:20	0:03:00	東	510	9,827	2,625	*	0.85
8	2:21:15	10:21:15	2:24:00	10:24:00	0:02:45	東	540	11,330	1,503		0.90
					0:20:58			西	5,697	東	5,633

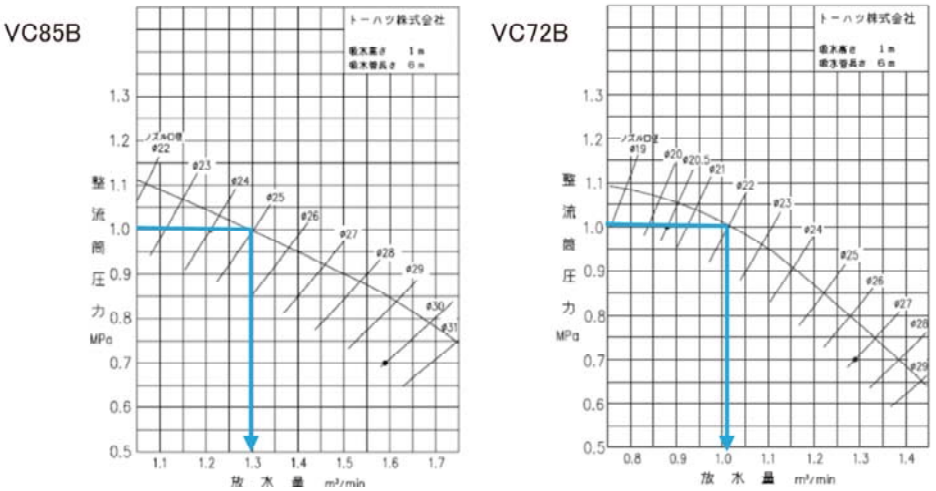


写真 4.7.10-1　放水銃による残火消火(左)と散水装置・散水跡(右)

表 4.7.10-2

	放水時刻		機材	台数 *3	放水時間 min	単位放水量 *4 m³/sec	放水量	m³
初期鎮火 *1	2:35－2:39	北側	放水銃	3	4	1	12	
			筒先	2	4	1	8	
		南側	放水銃(中央	1	4	1.3	5.2	
			放水銃(左右	2	4	1	8	
			筒先	5	4	1	20	53.2
残火処理 *2	2:39－2:50	北側	放水銃	3	11	0.8	26.4	
			筒先	3	11	0.8	26.4	
		南側	放水銃(中央	1	11	0.8	8.8	
			放水銃(左右	2	11	0.8	17.6	
			筒先	5	11	0.8	44	123.2
							合計	176.4

*1 3階床下面は一部燃えているが、鎮火したと見なした。
*2 残火処理終了時刻を映像記録の2:50までとした。
*3 映像記録より、放水本数を定めた。
*4 初期鎮火の際は、可搬ポンプをフルスロットルで使用した。
下の図はフルスロットル時のポンプの能力曲線を表している。
南側、放水台中央の放水銃に使用した可搬ポンプは能力が高い
(トーハツVC85BS)1.3m³/secとし、他の場合は1.0m³/sec(トーハツVC72BS)
と同等の性能とした。
残火処理の際は、フルスロットルでは使用していないので下の図は
使用できない。一律に0.8m³/secとした。



建物消火（鎮圧および消火）に使用した水量・放水時間

４．８ 考察

2013 年 10 月 20 日、下呂市において木造３階建て学校実大火災実験（本実験）を実施し、得られたデータから以下の事項が確認できた。

実大火災実験(本実験)では、平成 23 年度及び平成 24 年度に実施した実験などこれまでの研究で得られた知見等を踏まえ、

（１）大規模な木造建築物等の主要構造部の制限（建築基準法第 21 条第 2 項）及び

（２）学校などの特殊建築物に関する主要構造部の制限（建築基準法第 27 条）

について見直しを検討するため、実験の主な目的として、火災のシナリオを想定しながら、

１）防火壁（出幅：50cm）について、火災が終了するまで以下の性能を有することを検証（火災盛期を過ぎた時点まで火災を継続し検証)。

ⅰ）防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能

ⅱ）防火壁の倒壊防止性能

２）天井を不燃化した場合に、在館者の避難・救助が完了するまで以下の性能を有することを検証

ⅰ）他の区画への延焼防止性能

ⅱ）他の区画への遮煙性能

ⅲ）主要構造部の倒壊防止性能

を確認すること、さらに、これらのほか、建物周囲への影響等実大規模の建物を用いた火災実験でなければ確認できないデータを得て、

①周囲での延焼危険性が少ないかどうか

②消防活動上の障害となることが生じないかどうか　等

の分析を行った。

４．８．１　防火壁による延焼防止性能及び倒壊防止性能の検証

防火壁について、火災が終了するまで（火災盛期を過ぎた時点まで火災を継続し検証)、防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能および防火壁の倒壊防止性能について、以下の知見が得られた。

・出火室は、点火後火源は成長し火炎が天井に到達するものの、約 10 分で自然鎮火した。そのため、出火点の近くにある収納可燃物で炭化したものを入れ替え、同じ位置と方法で点火後 20 分（以下、点火後の時間を示す。）に再着火した。

・その後、火源は徐々に成長し、約 66 分（再着火後約 46 分。以下、再着火後の時間を()に示す。）で室内温度が 450℃に到達し、約 67 分（47 分）に室内温度が急激に上昇して室内全体に延焼拡大した。

・出火階から 2 階への延焼は、2 階外壁開口部を通じて約 82 分（62 分）に起き、3 階への延焼は、約 87 分（67 分）に外部開口を通じて起きた。

・155 分（135 分）で本格消火するまで、出火室から階段室への延焼、防火壁を通じた東側の室への延焼は起きなかった。
・1 階出火室内に火災が拡大して本格消火するまで、出火室内の構造部は約 90 分間、2 階部分は 63 分間加熱されたことになるものの、建物の倒壊や延焼が起きなかったことになり、防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能および防火壁の倒壊防止性能が実大火災実験により検証できた。

４．８．２　天井の不燃化により在館者の避難・救助が完了するまで他の区画への延焼防止性能・他の区画への遮煙性能・主要構造部の倒壊防止性能の検証

天井の不燃化により、在館者の避難・救助が完了するまで、他の区画への延焼防止性能・他の区画への遮煙性能・主要構造部の倒壊防止性能について、以下の知見が得られた。

・出火室における火災拡大の様子は、前項に示したとおりであり、煙の拡散については、以下の通りである。
・出火室では約 67 分（47 分）に、床まで煙層が降下した。
・出火室に近い 1 階廊下では点火後暫くして薄い煙が拡がり、1 階階段室前では、約 67 分（47 分）以降、煙濃度が濃くなった。
・2 階普通教室では外部開口のガラスが脱落して室内に煙が流入し、約 73 分（53 分）で床まで煙層が降下した。
・階段室内では避難安全上問題となる煙は確認されなかった。

この結果から、避難・救助が完了するまでは問題がないことが、実大火災実験により検証できた。

４．８．３　建物周囲への火災による影響

周囲への放射熱量、外壁の燃え抜けの発生プロセスについて、以下の知見が得られた。

・建物から 10m、14m 離れた位置での受熱流束は、それぞれ、9 kW/m² 程度以下、4 kW/m² 程度であり、ISO/DIS 11613.4 防火帽の性能では、クラス 2 の耐炎・耐熱性能の中で、熱伝達(放射熱ばく露)の基準は、EN13087-10 による熱流束 14 kW/m²、 8 分で軟化、溶融、滴下、発火しないことを要求していることから [6]、上階延焼する前に消火活動が開始できれば、消火活動上の大きな支障とはならないことが分かる。
・109 分（90 分）に 1 階開口上部のサイディングが落下しはじめ、134 分（114 分）で、1 階と 2 階の窓上部外壁が燃え抜けたことが確認された。
・建物は倒壊することはなく、倒壊による周囲への影響はなかった。
・なお、本実験では、準備実験と同様に、安全面から火の粉の発生防止に配慮したため、結果

的に火の粉の飛散は観察されなかった。

４．８．４　長時間の火災が継続した場合の建物の構造躯体への影響

倒壊等の事象の発生プロセスについて、以下の知見が得られた。

・安全管理上、倒壊による火の粉の飛散を防止するため、試験体倒壊前（155 分(135 分)）に消火を開始したところ、出火室内の柱は、4.5cm（建築基準法において通常の火災による 1 時間の加熱で炭化すると想定されている寸法）の燃えしろを設けたが、実験終了後、表面から 4～7cm の深さまで炭化していた。部分的に炭化が進んだところもあり、床や外壁の燃え抜けはあったものの柱や梁の構造躯体の落下や試験体の倒壊等は確認されなかった。

４．８．５　安全管理上の課題

本実験では、火災盛期における火災に対して、短時間の消火鎮圧ができた。この消火体制や水量等は、類似規模の消火に関する知見の一助となるが、要した鎮圧時間等の内容は、機器、人員数、体制（２つの行政が合同し、各協会の協力など）が整った条件下であったことによるものであることには注意する必要がある。

４．９ まとめ

2013 年 10 月 20 日、下呂市において木造 3 階建て学校実大火災実験（本実験）を実施し、得られたデータから以下の事項が確認できた。

実大火災実験(本実験)では、平成 23 年度及び平成 24 年度に実施した実験などこれまでの研究で得られた知見等を踏まえ、

（１）大規模な木造建物等の主要構造部の制限（建築基準法第 21 条第 2 項）及び

（２）学校などの特殊建物に関する主要構造部の制限（建築基準法第 27 条）

について見直しを検討するため、実験の主な目的として、火災のシナリオを想定しながら、

１）防火壁（出幅：50cm）について、火災が終了するまで以下の性能を有することを検証（火災盛期を過ぎた時点まで火災を継続し検証)。

ⅰ）防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能

ⅱ）防火壁の倒壊防止性能

２）天井を不燃化した場合に、在館者の避難・救助が完了するまで以下の性能を有することを検証。

ⅰ）他の区画への延焼防止性能

ⅱ）他の区画への遮煙性能

ⅲ）主要構造部の倒壊防止性能

を確認することができた。

さらに、これらのほか、建物周囲への影響等実大規模の建物を用いた火災実験でなければ確認できないデータを得て、

①周囲での延焼危険性が少ないかどうか

②消防活動上の障害となることが生じないかどうか　等

の実験データを収集することができた。

実験の結果から、防火壁について、気象条件によらず延焼を防止できる外壁・屋根面からの出寸法の検討については、今後の課題である。