

3. 準備実験

3. 1 実験計画（目的）

予備実験の結果、大規模木造の準耐火建築物の主要構造部および防火基準に期待される一般的な火災安全性能からみて、以下の課題が明らかになった。

- (1) 1階出火室窓から大規模な噴出火炎が発生し、短時間で2階、3階教室に延焼した。
- (2) 1時間準耐火構造を満足するように設計した間仕切り壁・外壁において、早い段階で崩壊・燃え抜けが発生した。
- (3) 耐火構造の防火壁(廊下貫通による特定開口部は防火設備(鉄扉))が早い段階での延焼を防止できなかった。
- (4) 耐火構造の防火壁が最終的には倒壊した。

また、火の粉の発生については、建築基準法では明示的には規制されていないが、この経過で多量の火の粉を発生し、最大約 1.6km 遠方まで飛散した。

これらの課題に対する解決方法を検討し、その妥当性を検証する必要がある。

建築基準法は、実験室レベルで防耐火性能が検証された部材・材料で建物を構成すれば、建物全体としてその性能に見合う火災安全性能を実現できることを前提としている。そのため、準備実験でも予備実験と同様に、主要構造部の準耐火性能を設定した。また、予備実験で短時間の火災拡大の原因となった開口噴出火炎による上階延焼抑制のためには、

①噴出火炎自体の制御を目的とした内装不燃化

②噴出火炎による上階開口部への火炎の侵入対策とした庇・バルコニーの設置

を行い、区画部材・特定防火設備の脱落が起こり難い一般的な対策を講じることにより、準耐火構造でどの程度の火災拡大抑制を達成できるかを明らかにする。

そして、防火壁による火災拡大抑制のために、

③防火壁を他の構造部分とは構造的に独立させ自立化

④防火壁をバルコニー立ち上がり壁より外側に 0.5m（外壁より 2m）突出

⑤防火壁の屋内開口部に設ける特定防火設備の仕様を変更

させることで、木3学実現の見通しを明らかにする。

準備実験では、これらの対策の妥当性を検証するとともに、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以下の項目を中心として、実験データを収集することを目的とした。

(1) 建物内部の火災の拡大性状

- ・ 出火室、出火階、上階各室での火災の拡大性状
- ・ 床等を貫通した上階への延焼の有無、発生プロセス
- ・ 開口部から外壁さらに上階への延焼の有無、発生プロセス
- ・ 防火区画された階段室への延焼の有無、発生プロセス
- ・ 防火壁を超えた延焼の有無、発生プロセス

(2) 建物内部の煙の流動性状

- ・出火階における煙の流動性状
 - ・ 竪穴区画（階段室）、床の亀裂、貫通部等を経由した上階への煙の流動性状
- (3) 建物周囲への火災による影響
- ・ 周囲への放射熱量
 - ・ 外壁の燃え抜けの有無、発生プロセス
- (4) 長時間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の有無、発生プロセス

3. 2 実験建物の計画

準備実験は、延べ面積約 850 m²の3階建て学校を、予備実験と同様に、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・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・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。

3. 2. 1 平面計画

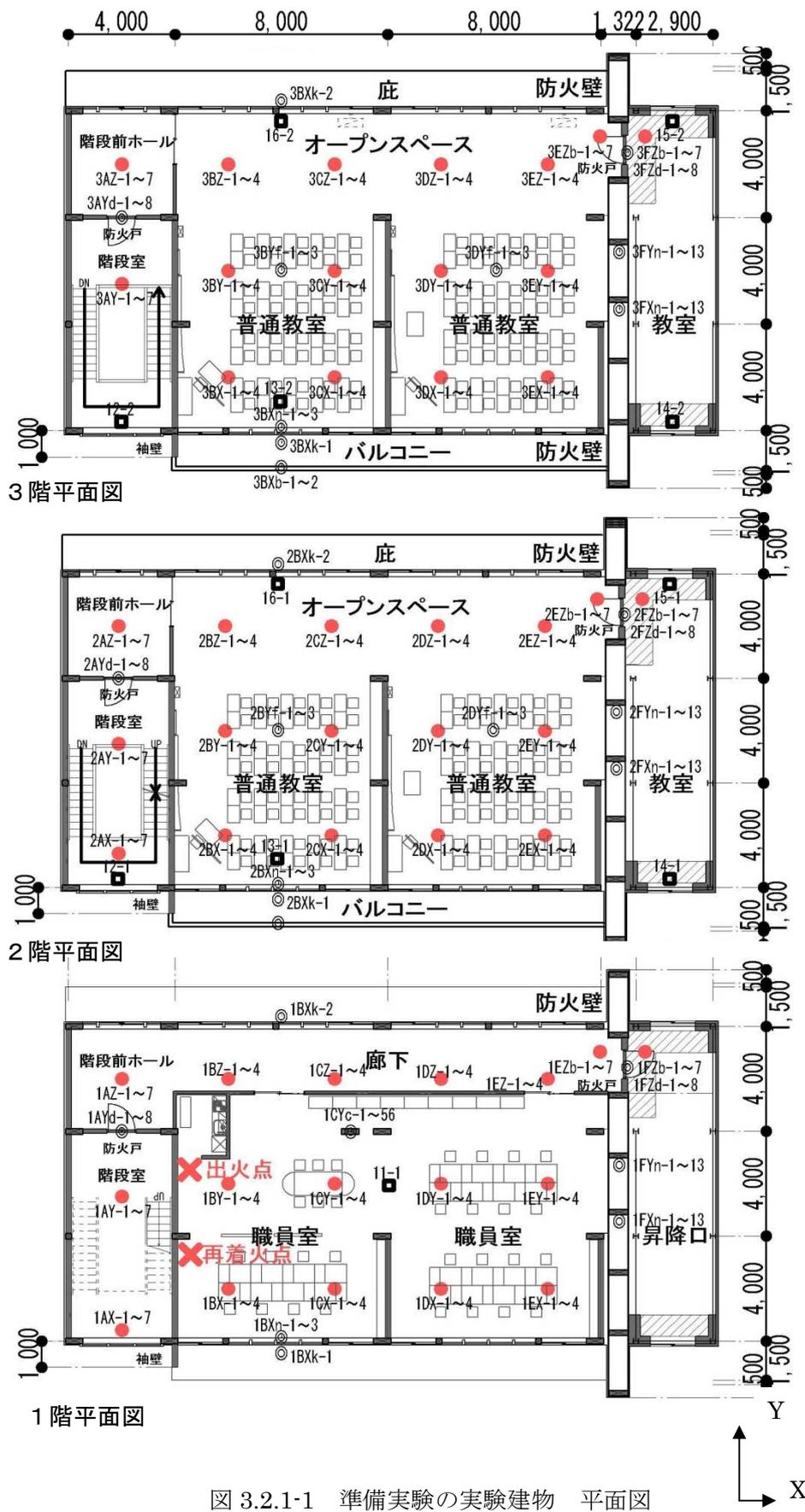
準備実験の平面計画は、予備実験と同様な想定のもとで実験建物を設計した。

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、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。

準備実験の実験建物の設計では、予備実験と同様、図 3.2.1-1 に示すように南面して 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、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、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時間準耐火構造の堅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 m²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、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。



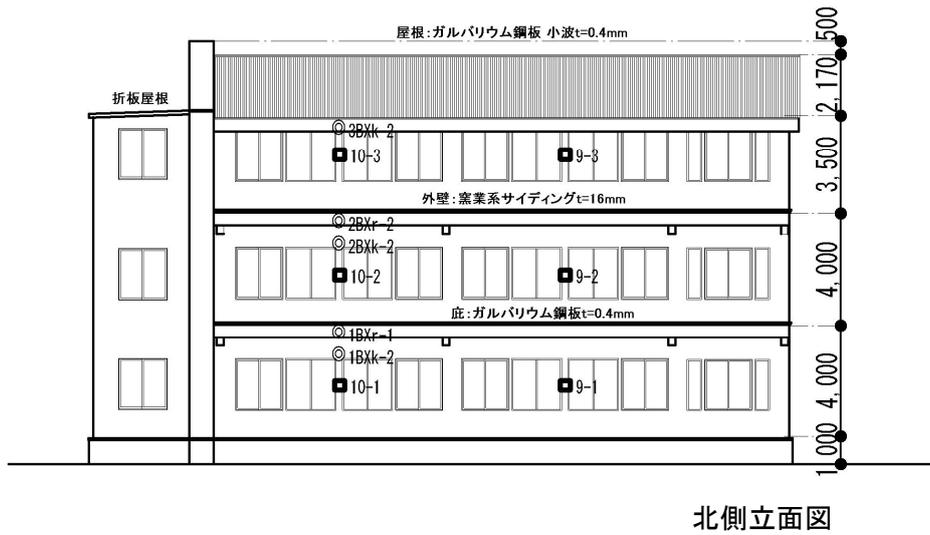
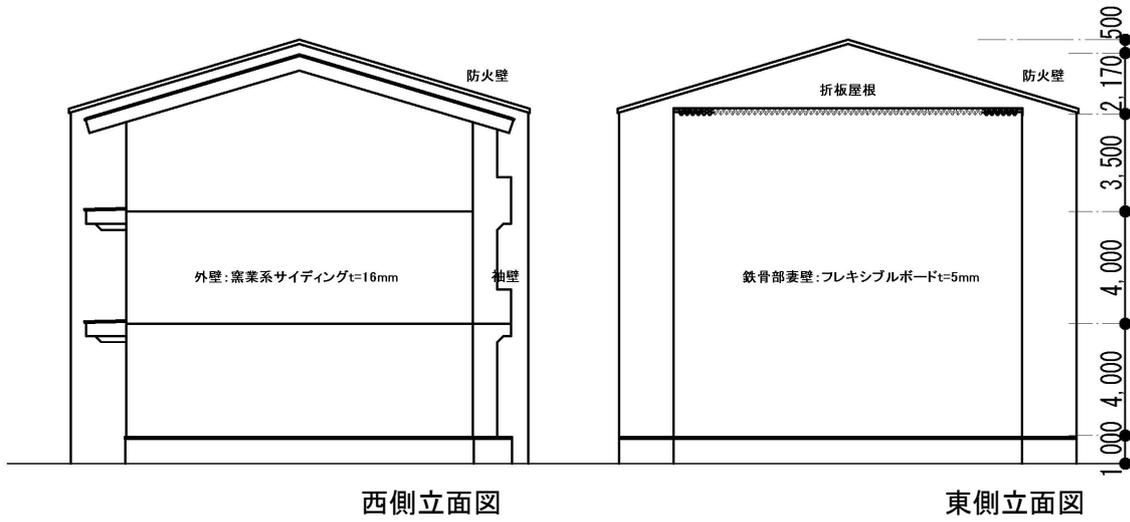
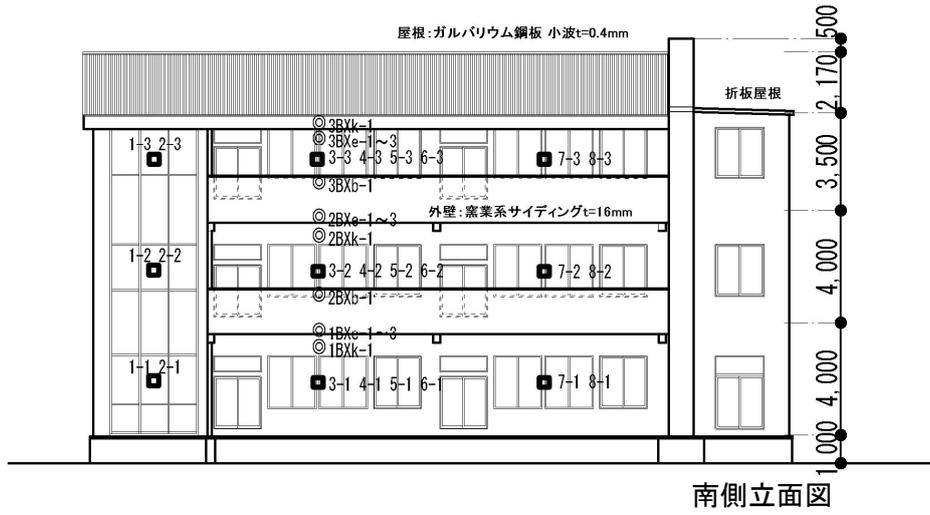


図 3.2.1-2 準備実験の実験建物 立面図

3. 2. 2 断面計画

予備実験と同様に、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。

予備実験時の噴出火炎による外部からの上階延焼を防止するため、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。

3. 2. 3 構造計画

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、耐力壁が各教室の間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、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、構造体を構造的に他の部分と独立した簡易な鉄骨造とするとともに、外壁開口部および防火戸周辺部の延焼を確認するため必要な部分（1m の範囲）のみ仕上げ（天井・壁：せっこうボード 12.5+12.5mm、床：モルタル 40mm）を施した。予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。

3. 2. 4 各部の設計

図 3.2.4-1 に準備実験の実験建物の矩計図を示す。

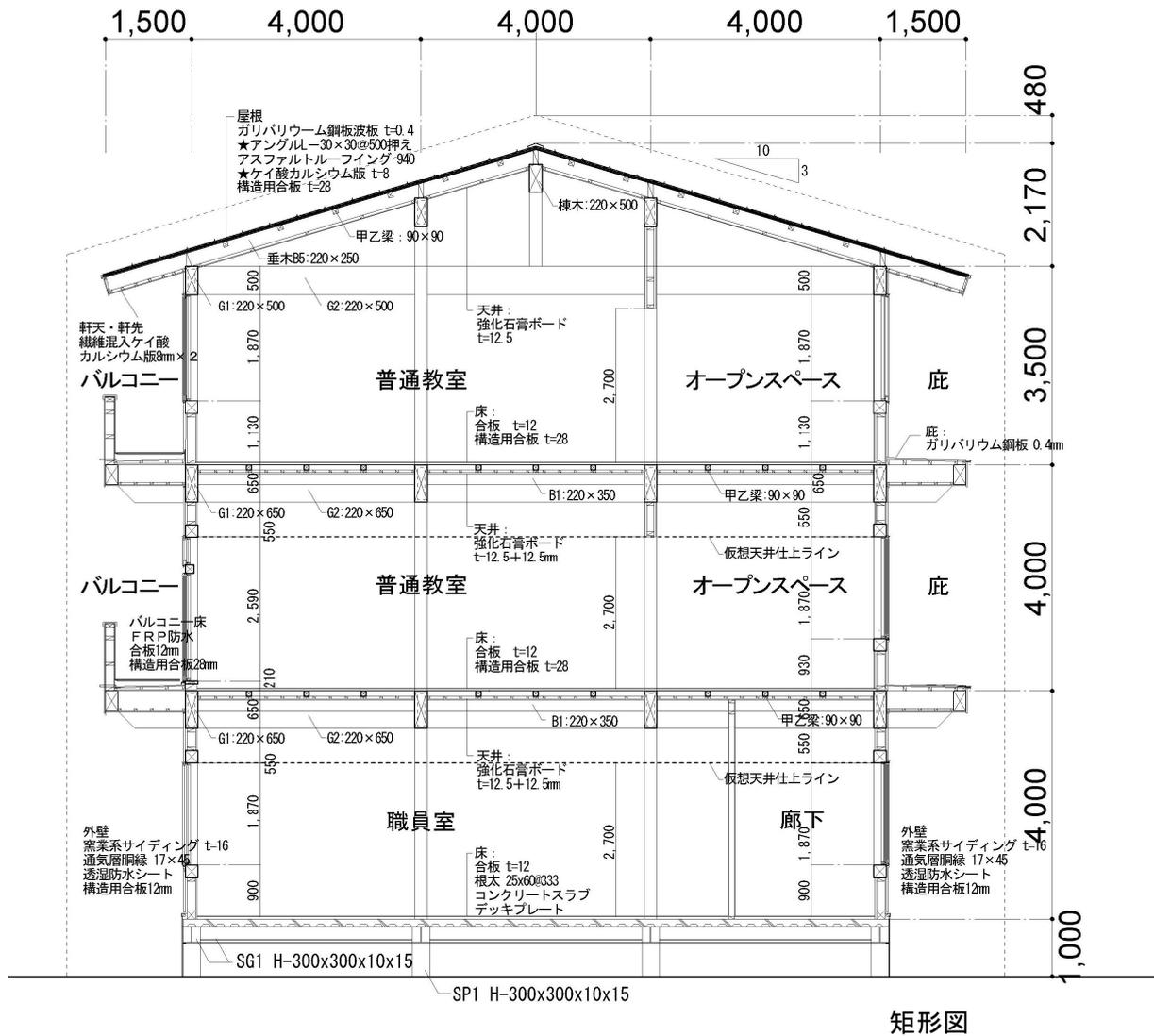
基礎は、実験場所の地層と実験後の整地並びに処分を考慮し、中間支持層に H 鋼（350×350mm）を圧入しその上部を H 鋼（300×300mm）で繋ぐ形式を採用した。1階床部については、建築基準法で遮熱性は要求されず、予備実験では内部の可燃物が落下して 1階床が延焼し、床下が燻火状態になり、構造体に悪影響を及ぼしたと判断されるため、デッキプレートの上にコンクリートを打ち、床下の燻火状態からの保護を行った。また、予備実験の構造フレームの崩壊の一つの要因として、加熱後の柱脚金物の強度保持にあると考えられるため、1階柱脚についても、強度を確保するため板厚の増加（9→12mm）を行った。

軸組構造部は、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、梁 220×650mm、耐力壁方向は、梁 220×650mm をカラマツ E105-F300、小梁 220×350mm、垂木 220×250mm を共にスギ E65-F225 とした。

外壁（南・北・西）は、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・下り壁内に早期に火炎が侵入したため、開口の上下に位置する窓台についても、集成材による燃えしろ設計を行って 220×220mm とし、掃き出し窓等に絡む、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、甲乙梁を隠す仕様としている。



矩形図

図 3.2.4-1 準備実験の実験建物 矩形図

3. 2. 5 各部位の要求耐火時間

予備実験同様、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3.2.5-1のとおりとした。

予備実験では、点火後76分の建物崩壊まで柱およびはりには加熱に耐えた。しかし、1時間準耐火構造とした外壁・間仕切壁・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については、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と同様である。

表 3.2.5-1 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

3. 2. 6 建物外周部の延焼・類焼防止性能

実験建物外周部の延焼・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 3.2.5-1 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。そこで、準備実験では上階延焼抑制に効果があると考えられるバルコニーと庇 (ともに出寸法 1.5m) を 2、3 階に設けることとした。

3. 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から、室により

- ①床・壁・天井：木材 (出火室他)
- ②床：木材、壁：不燃材料、天井：木材
- ③床・壁・天井：不燃材料

の仕様として燃焼拡大性状を把握することを計画した。実験の結果、①とした出火室で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早期に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。避難安全性を確保するためには、早期の上階延焼を抑制する必要があるため、準備実験では、出火室において発生した開口部からの噴出火炎は内装表面の燃焼による寄与分が大きいことも考慮して、

- ①壁・天井：不燃材料 (床は木材) により内装の可燃物表面積を制御
- ②柱・はり：燃えしろ設計してあらかし

とした。なお、準備実験に先立って、これと同じ内装で約 8m 四方の教室実験から火災初期の内装の燃焼拡大性状を検証し、火源が 100kW(10 分間)→300kW(10 分間)であれば火災は局所に留まることを確認した。

3. 2. 8 実験建物の防耐火設計

実験建物は、図 3.2.1-1 および写真 3.2.8-1 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 3.2.8-1 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 (堅穴区画) 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。

各部の仕様は表 3.2.5-1 および表 3.2.8-1 に示すとおり、すべて告示の1時間および30分準耐火構造の仕様とし、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、外壁および軒天をケイ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。

バルコニーは、学校で使用される一般的な出寸法(1.5m)とした。また、庇の出寸法は実設計ではバルコニーより小さいことが多いが、上階延焼経路にならないようバルコニーのそれに合わせた。バルコニーの腰壁は1時間準耐火構造の外壁と同様とし、腰壁の有無による延焼防止効果を庇と比較することとした。

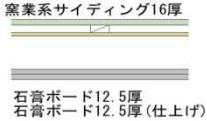
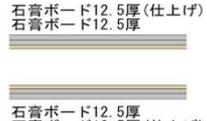
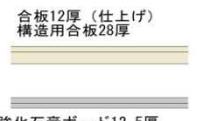
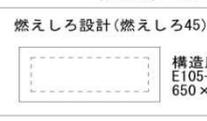
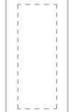
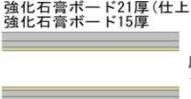
安全管理上の対策として、火の粉の飛散防止のために、2、3階のバルコニーおよび庇の先端に10mmメッシュの金網を設置し、また、屋根は通常30分準耐火構造となるが、燃え抜け防止のために構造用合板の上部にけい酸カルシウム板8mmを敷いた上に、波板ガルバリウム鋼板の燃え抜け時のめくれを防止するため、重ねを垂木上部で0.6m確保し、飛散防止のアンクル(30×30mm)を0.5m間隔で設置した。

防火壁は木造の軸組に国土交通大臣の認定を取得している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、屋根上部およびバルコニーの腰壁から0.5m突出させた。また、階段室(縦穴区画)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)。特定防火設備は全て常時閉鎖式の木製扉とし、実験時はすべて閉めた状態とした。



写真 3.2.8-1 準備実験の実験建物 北側立面

表 3.2.8-1 主要構造部仕様

		準備実験
		1～3階
外壁	1時間標準耐火	窯業系サイディング16厚 
	1時間標準耐火	石膏ボード12.5厚(仕上げ) 石膏ボード12.5厚 
間仕切壁	1時間標準耐火	石膏ボード12.5厚(仕上げ) 石膏ボード12.5厚 
床	1時間標準耐火	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(仕上げ) 1階床はデッキプレートの上に合板12厚(仕上げ)
柱	1時間標準耐火	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時間標準耐火	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)
屋根・軒裏	30分標準耐火(屋根) 1時間標準耐火(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  強化せつこうボード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分標準耐火	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	壁部	強化石膏ボード21厚(仕上げ) 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
	開口部	木製防火戸(特定防火設備) ※壁区画の開口部も同仕様
層間区画		バルコニー・庇 出寸法1.5m
外観		 ▼防火壁 階段室(壁区画) バルコニー(0-1.5m)

3. 3 実験場および建物配置

木3学の準備実験における実験場および建物配置について示す。

3. 3. 1 実験場

実験は、図 3.3.1-1 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大規模の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 3.3.1-1 実験場周辺の様子

3.3.2 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3.3.2-1に示す位置に配置を決定した。実験場周辺部の植生は、図3.3.2-2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3.3.2-3に示す。

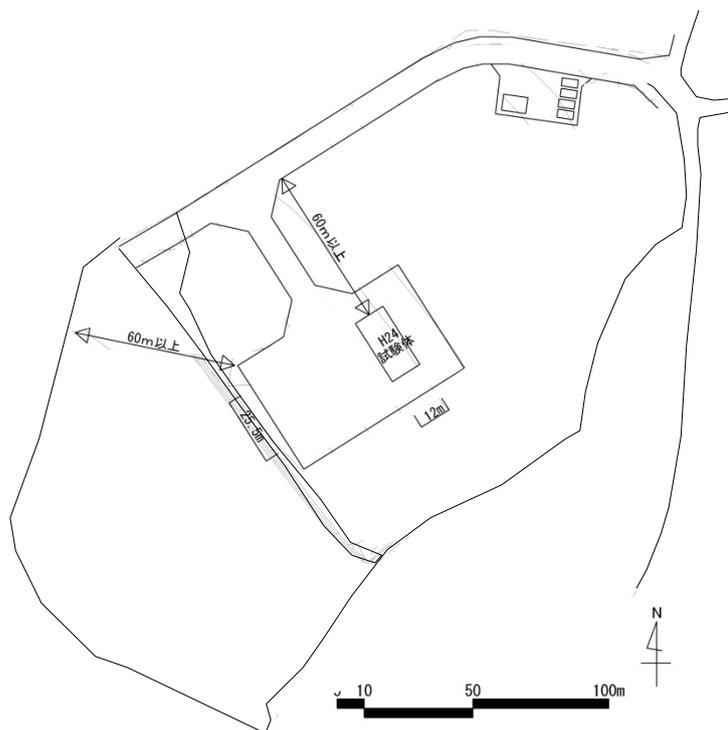


図 3.3.2-1 実験建物の配置

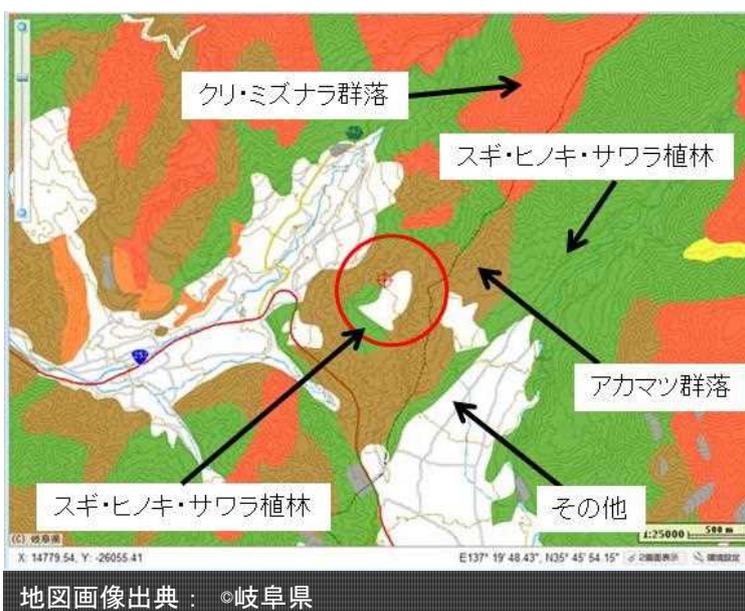


図 3.3.2-2 実験場周辺部の植生

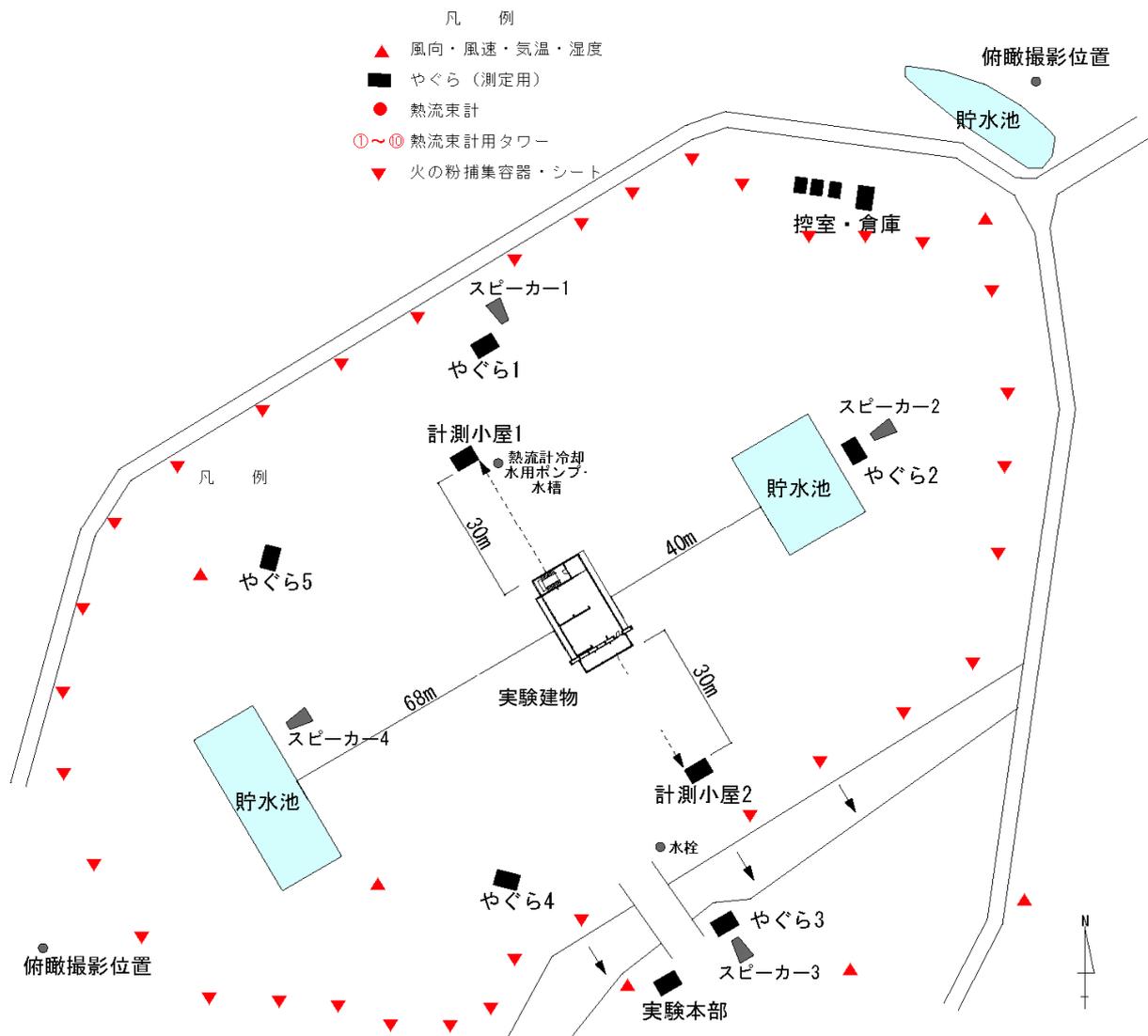


図 3.3.2-3 実験建物および観測小屋・やぐら・貯水池の配置

3. 4 実験条件

準備実験における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。

3. 4. 1 収納可燃物

収納可燃物については、予備実験と同様、表 3.4.1-1～3 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、木材の発熱量を耐火性能検証法をもとに 16MJ/kg と想定して、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。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 3.4.1-1 に示す。なお、予備実験では、その目的から、収納可燃物調査の結果の範囲で評価をする上では安全側になるよう表面積を設定していたが、準備実験では平均値を用いた。

表 3.4.1-1 各室の収納可燃物(1 階)

1 階 室名称	発熱量 密度 MJ/m ²	木材換 算密度 kg/m ²	室面 積 m ²	木材 重量 kg	クリブ(個)	
					一般型	書籍型
職員室	700	43.8	151.36	6243.3	39	308
廊下	32	2.0	56.64	113.3	13	0
階段	32	2.0	32	64	8	0
昇降口	0	0.0	36	0	0	0

表 3.4.1-2 各室の収納可燃物(2 階)

2 階 室名称	発熱量 密度 MJ/m ²	木材換 算密度 kg/m ²	室面 積 m ²	木材 重量 kg	クリブ(個)	
					一般型	書籍型
普通教室	400	25.0	128	3085.4	65	107
オープンスペース	200	12.5	64	800	21	24
階段前ホール	32	2.0	16	32	4	0
階段室	32	2.0	32	64	8	0
教室	0	0.0	36	0	0	0

表 3.4.1-3 各室の収納可燃物(3 階)

3 階 室名称	発熱量 密度 MJ/m ²	木材換 算密度 kg/m ²	室面 積 m ²	木材 重量 kg	クリブ(個)	
					一般型	書籍型
普通教室	400	25.0	128	3085.4	65	107
オープンスペース	200	12.5	64	800	54	24
階段前ホール	32	2.0	16	32	4	0
階段室	32	2.0	32	64	8	0
教室	0	0.0	36	0	0	0

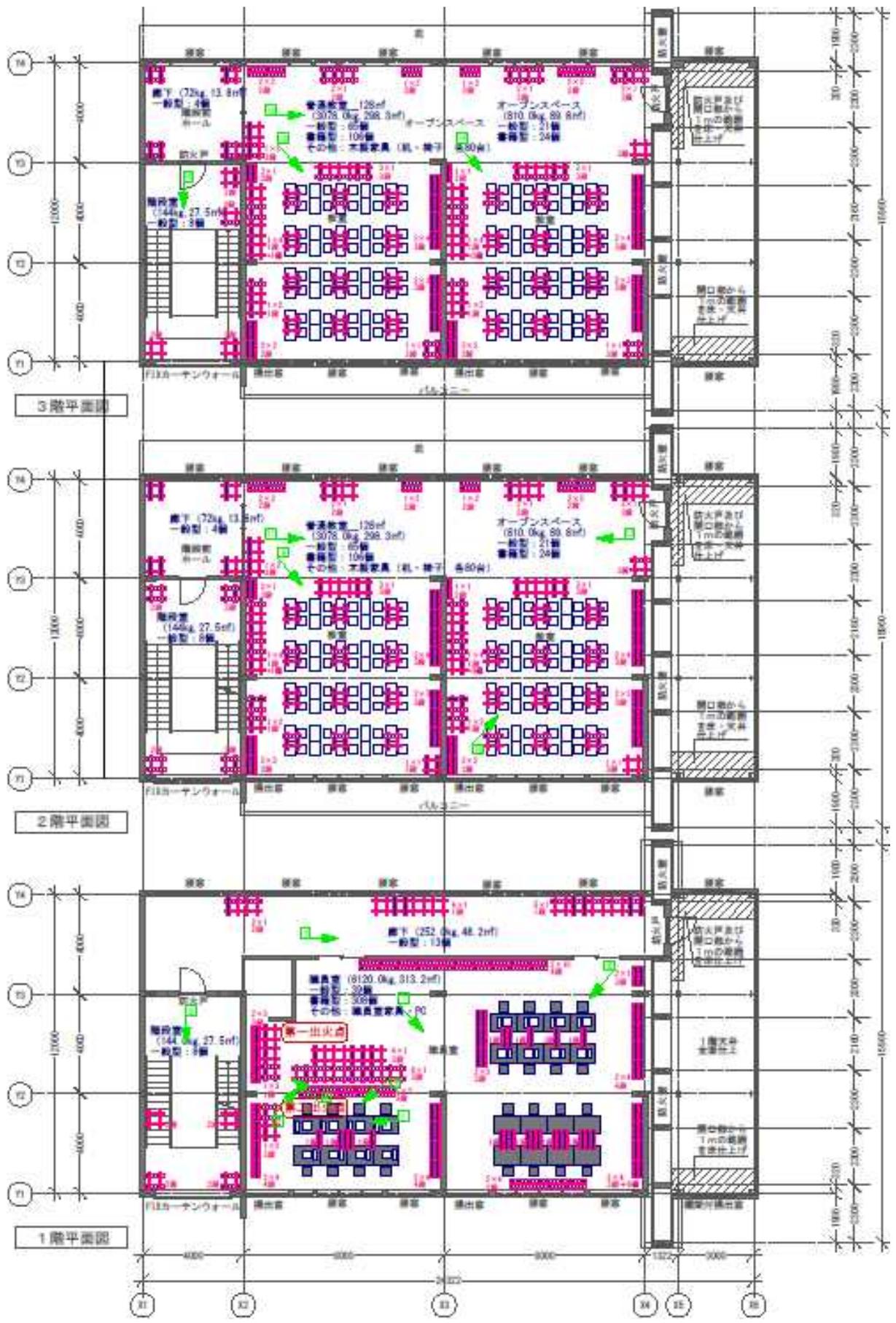


図 3.4.1-1 各室の収納可燃物の配置

3. 4. 2 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、準備実験では予備実験と同様にこれまでの学校火災の傾向から、夜間の放火による出火が多いことから、屋外に面する開口部および屋内の開口部の扉はすべて閉鎖し、屋内の開口部の扉（引き違い戸の場合は片側）を開放した。

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。

3. 4. 3 点火源および点火方法

準備実験では、火源となるクリブの燃焼により形成される火炎が壁側にある可燃物に延焼するように井桁状のクリブを設置した。クリブの最下段近傍に、メタノールを含浸させたインシュレーションボードを設置し、助燃剤とした。火源周辺の実験前の様子および点火方法は、写真 3.4.3-1、2 に示すとおりである。

なお、事前に第2火源は想定していない。



写真 3.4.3-1 実験前の火源周辺の様子



写真 3.4.3-2 クリブへの点火方法

3. 4. 4 実験継続時間の設定

準備実験では、予備実験における実験条件では可燃物密度を多く見積もったが、開口寸法、建物の構造は大きく変えていないことから、予備実験と同様な火災継続時間となると想定して実験計画を立てた。

3. 5 測定項目および測定方法

準備実験における、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、スプリンクラーヘッド、火の粉、主要構造部および区画の焼損状況、圧力の測定方法および計測体制について以下に示す。

3. 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 3.3.2-3 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 3.5.1-1 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試験体観測点(写真 3.5.1-2)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 3.5.1-1 気象観測装置 (実験建物観測点)



写真 3.5.1-2 気象観測点

3. 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 3.3.2-3 に示す 5 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・目視観察を行い、そのほか、観察者 4 名による移動撮影・目視観察を随時行った。

また、図 3.5.2-1 に示すとおり、1 階の職員室 2 カ所、昇降口と階段に各 1 カ所、廊下 2 カ所、2、3 階のオープンスペースと普通教室に各 1 箇所、階段室と集会ホールと普通教室東に各 1 カ所の計 13 箇所に CCD カメラ (一部写真 3.5.2-1 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。

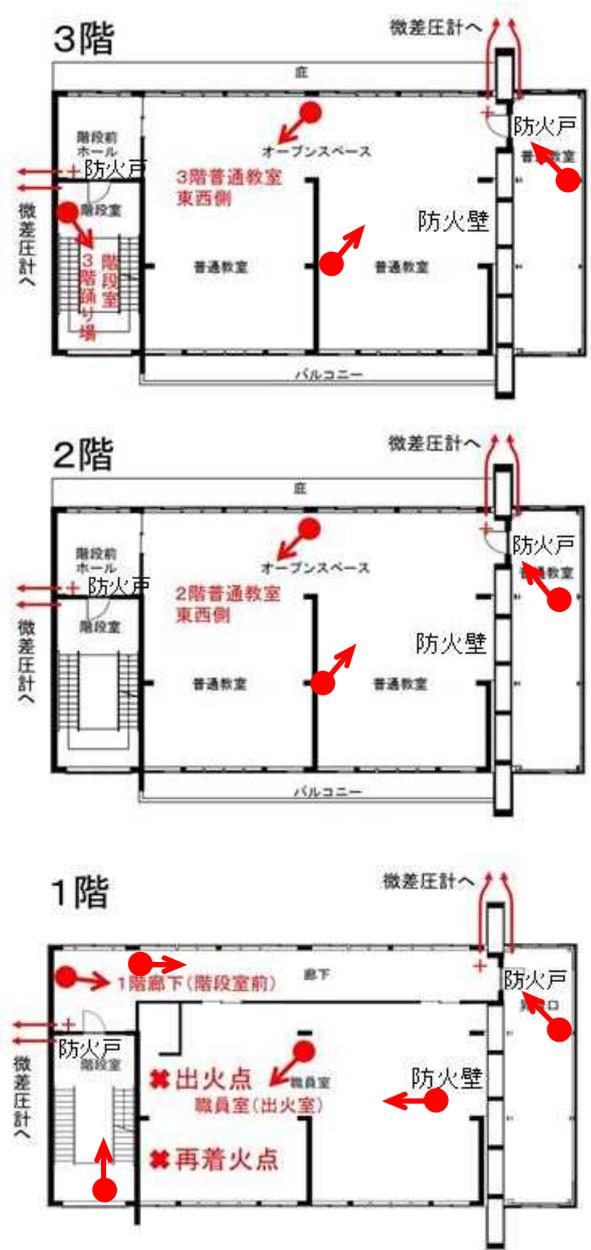
測定ではサーモビューアを 5 台使用し、図 3.3.2-3 の各やぐらに 1 台ずつ設置した。使用したサーモビューアの仕様を表 3.5.2-1 に示す。設置にあたって、木 3 学の全面を限られた視野で可能な限り撮影できるように配慮した。測定は、放射率を 1.0 として木 3 学の外壁面付近の温度分布等を測定できるように視野を固定して 30 秒間隔で熱映像を撮影した。



写真 3.5.2-1 建物内撮影用 CCD カメラ (耐熱加工したもの)

表 3.5.2-1 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℃	供給電源の不具合により記録できず	高温測定対応(2000℃まで)、広角レンズ付き
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)、広角レンズ付き
やぐら3	東側	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
やぐら4	南東側	NEC Avio赤外線テクノロジー TVS-500EX	0-500℃	ビデオ出力のみ	高温測定非対応(500℃まで)
やぐら5	南西側	日本アビオニクス TVS-700	0-1200℃	ビデオ出力のみ	高温測定対応(2000℃まで)、広角レンズ付き



●→ CCDカメラの位置と撮影方向 二+ 微差圧計の管路(+は正圧側)

図 3.5.2-1 内部 CCD カメラおよび微差圧計の設置位置

3. 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 236 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 227 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 55 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 3.5.3-1～3 に示す位置で熱電対を用い、セラミックファイバーで被覆した熱電対タワー（写真 3.5.3-1）で FL+1.8m、FL+2.4m、FL+3.0m、天井面を基本に室内温度を測定した。（写真 3.5.3-2）防火戸周辺のタワーについては、上記に加えて FL+0.05m、FL+0.6m、FL+1.2m の測定も行った。天井高さの高い 3 階については、北側・南側は FL+1.8m、FL+2.531m、FL+3.262m、天井面、棟木下は FL+1.8m、FL+2.786m、FL+3.772m、棟木下面で測定した。

部材内の温度は、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壁等の内部を通し、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 3.5.3-3、4）



写真 3.5.3-1 熱電対タワー

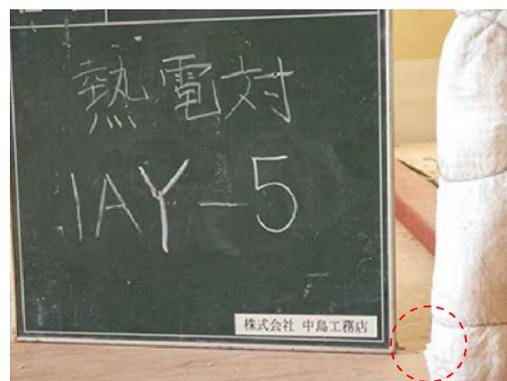


写真 3.5.3-2 熱電対の設置状況



写真 3.5.3-3 壁表面熱電対の状況



写真 3.5.3-4 熱電対の配線状況

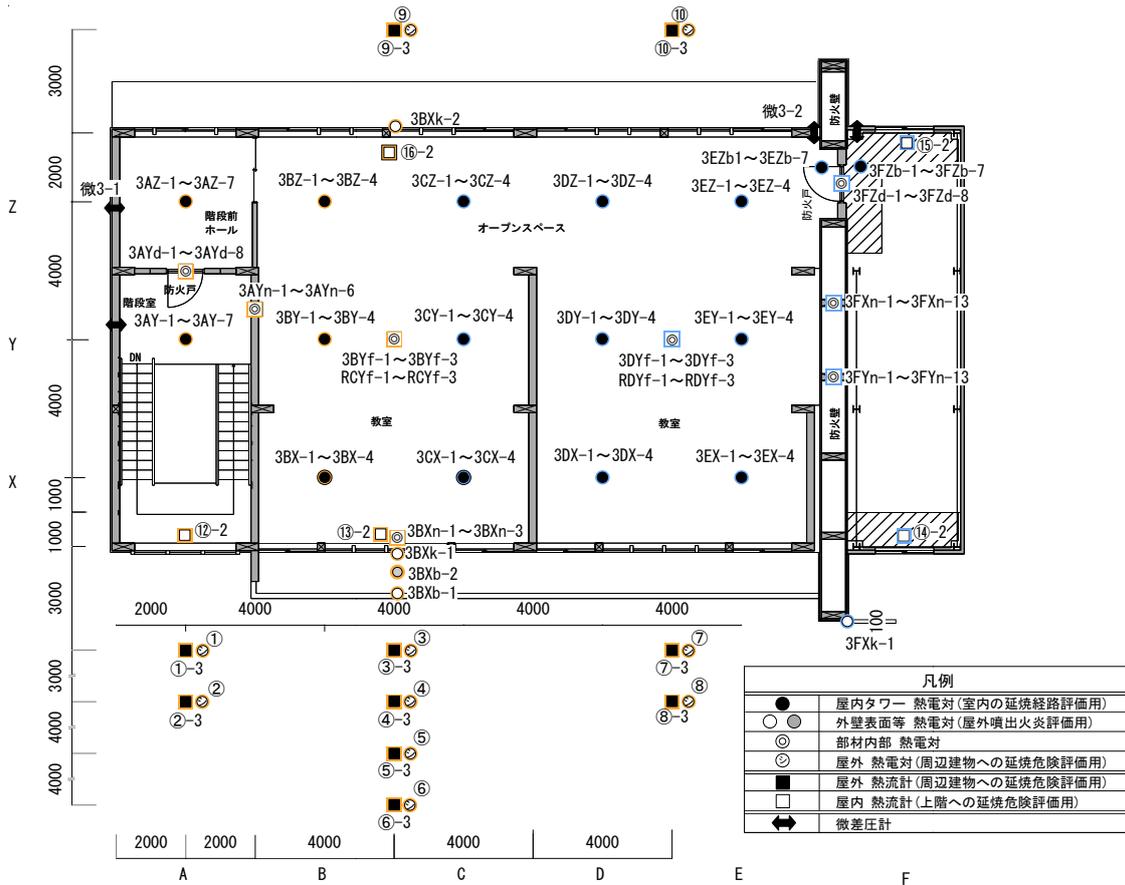


図 3.5.3-1 3階温度および熱流束測定位置

(2) 部材温度測定位置

建物各部材の温度測定位置を図 3.5.3-4 に示す。主要構造部である床・屋根・壁の内部および、防火壁内部・防火戸周りの温度測定を行った。各階部材温度測定位置を図 3.5.3-5～16 に示す。

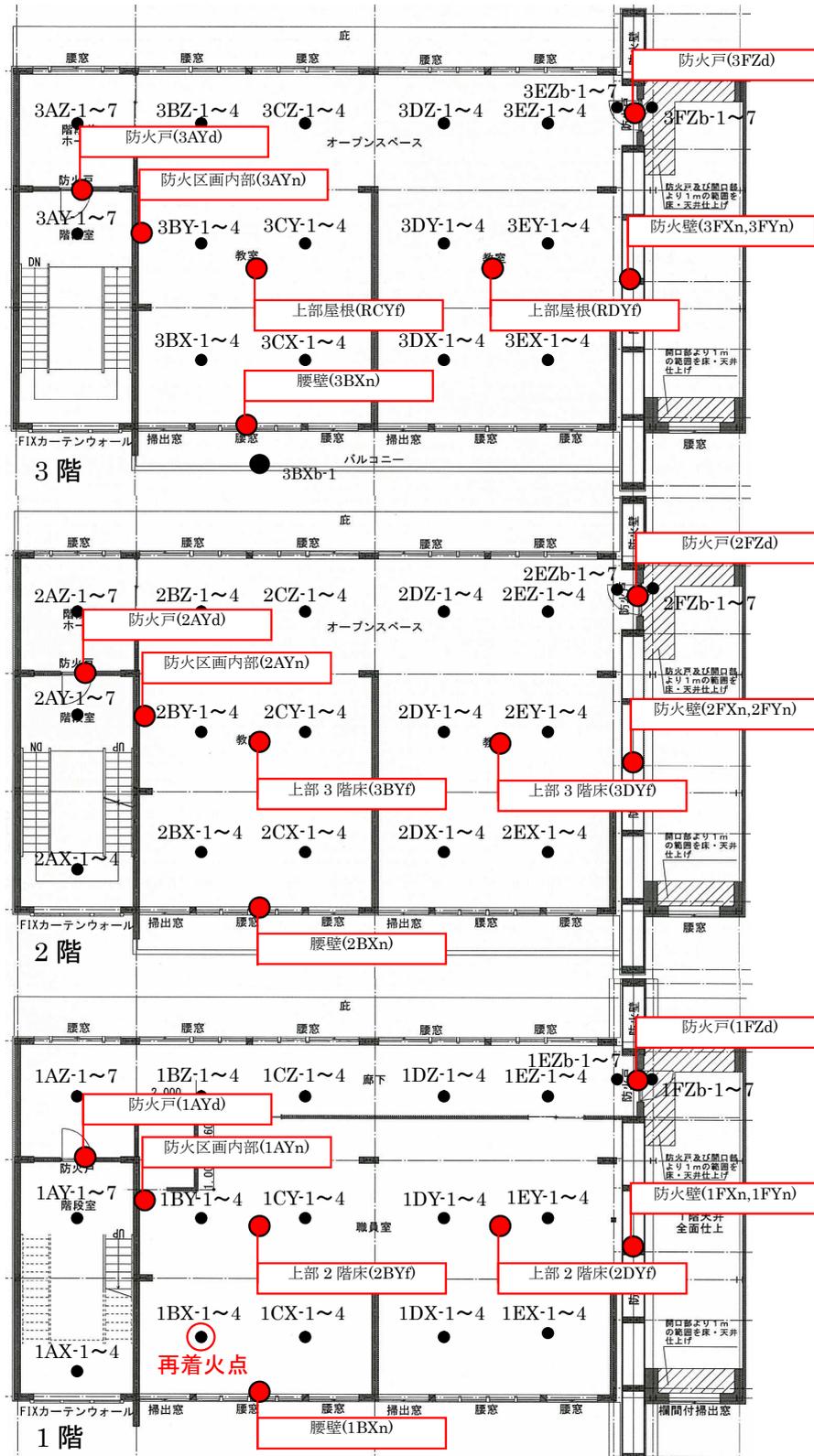


図 3.5.3-4 部材温度測定位置平面図

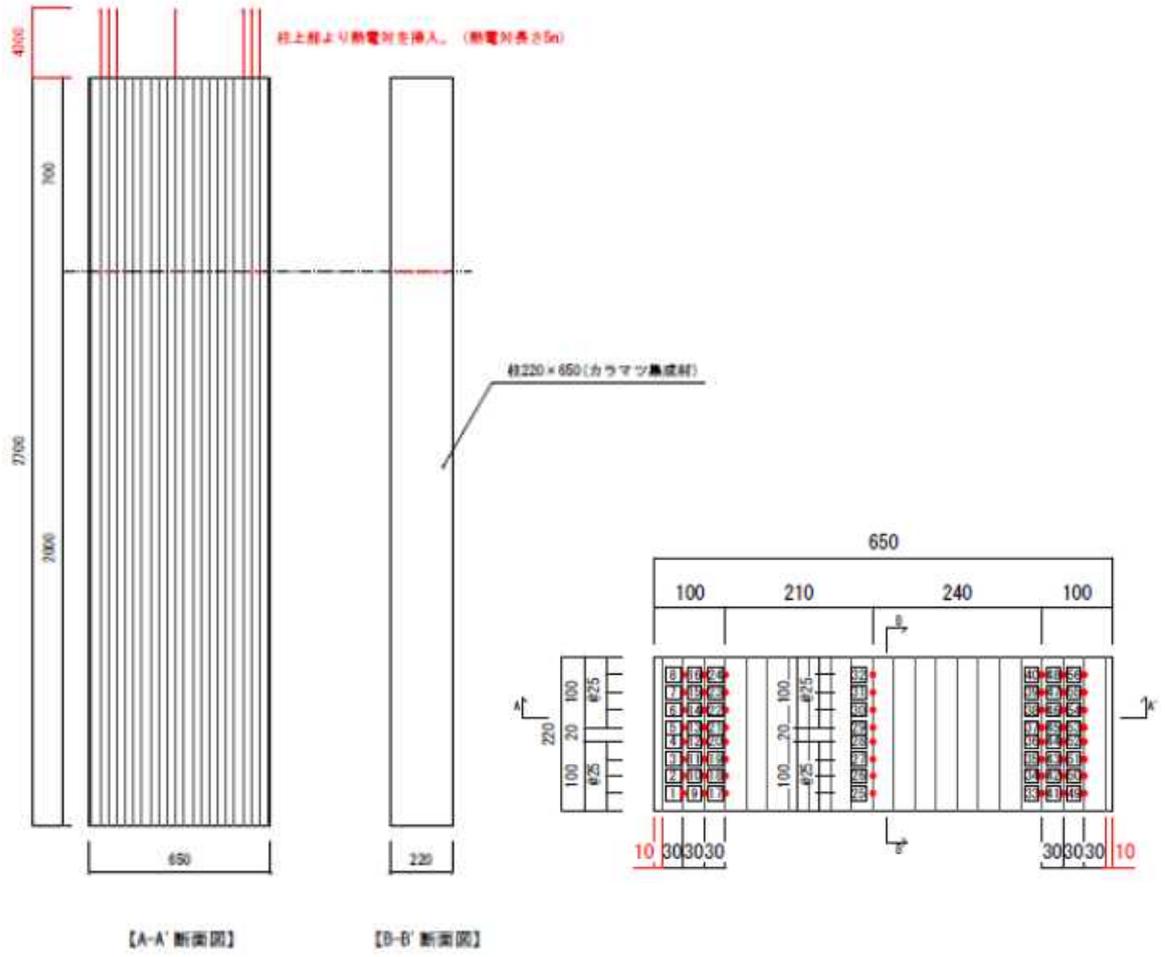


図 3.5.3-5 炭化深さ評価用柱温度測定点

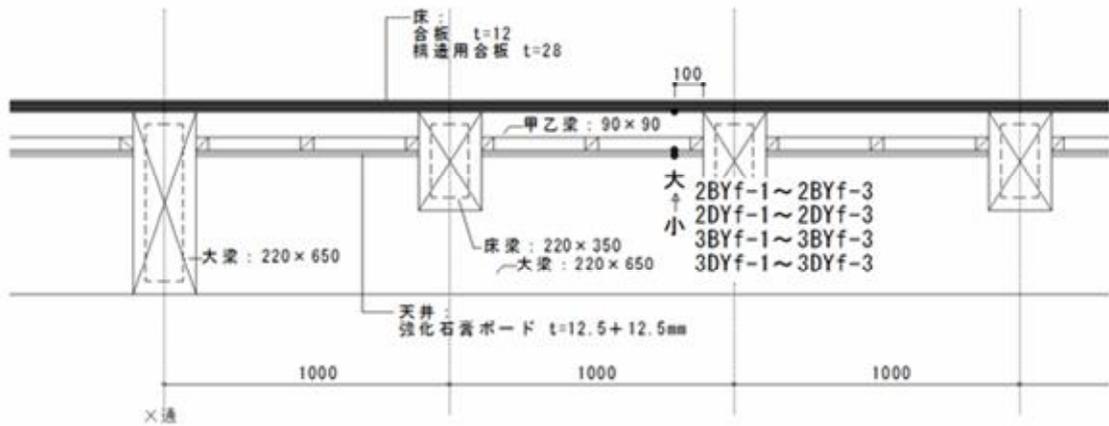


図 3.5.3-6 2、3階床温度測定点 (鉛直断面)

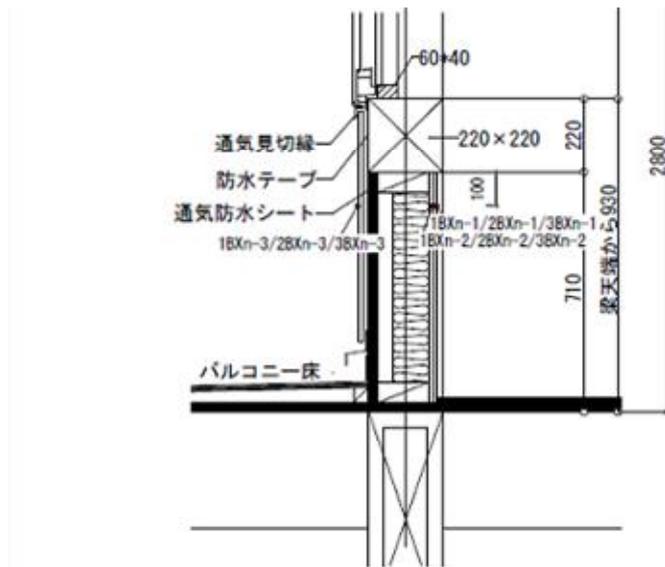


図 3.5.3-7 腰壁温度測定点（鉛直断面）

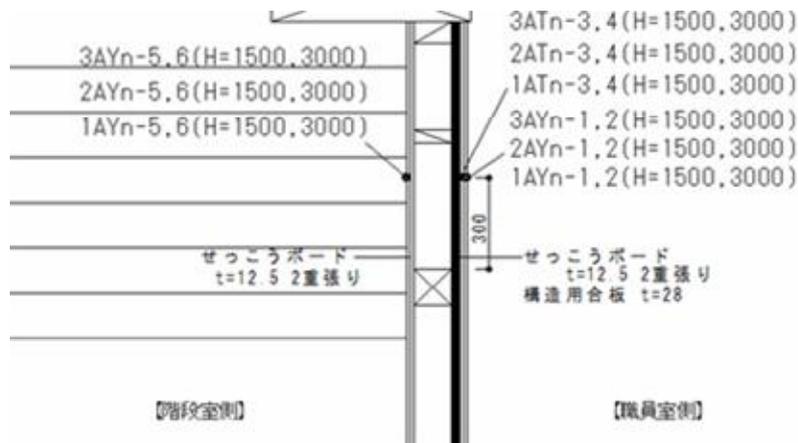


図 3.5.3-8 防火区画壁内部温度測定点（水平断面）

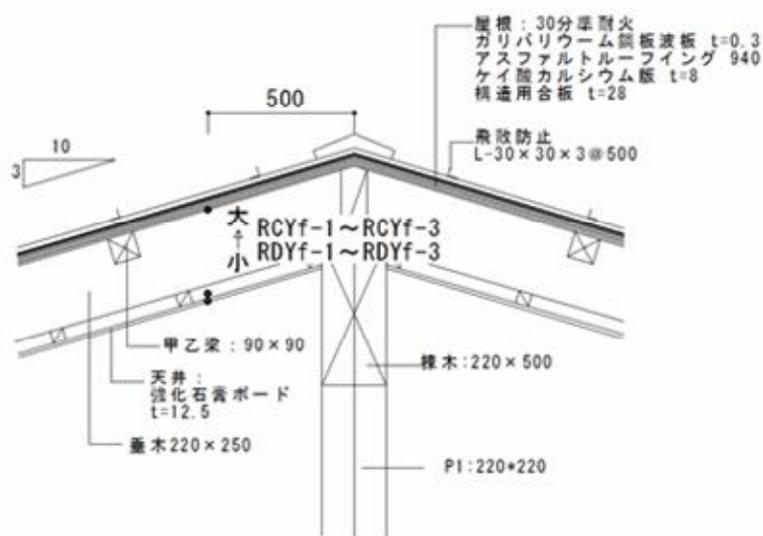


図 3.5.3-9 屋根温度測定点（鉛直断面）

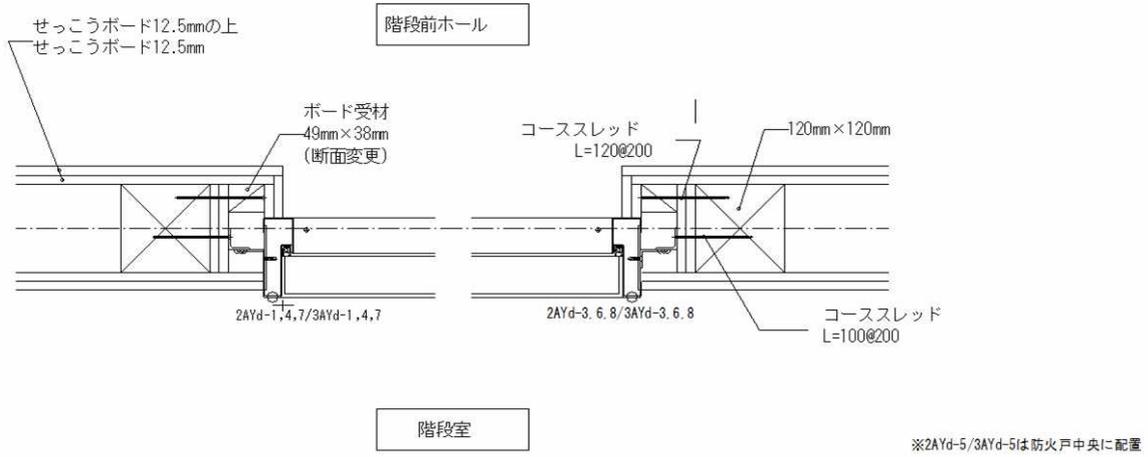


図 3.5.3-14 2、3階階段室防火戸温度測定点（水平断面）

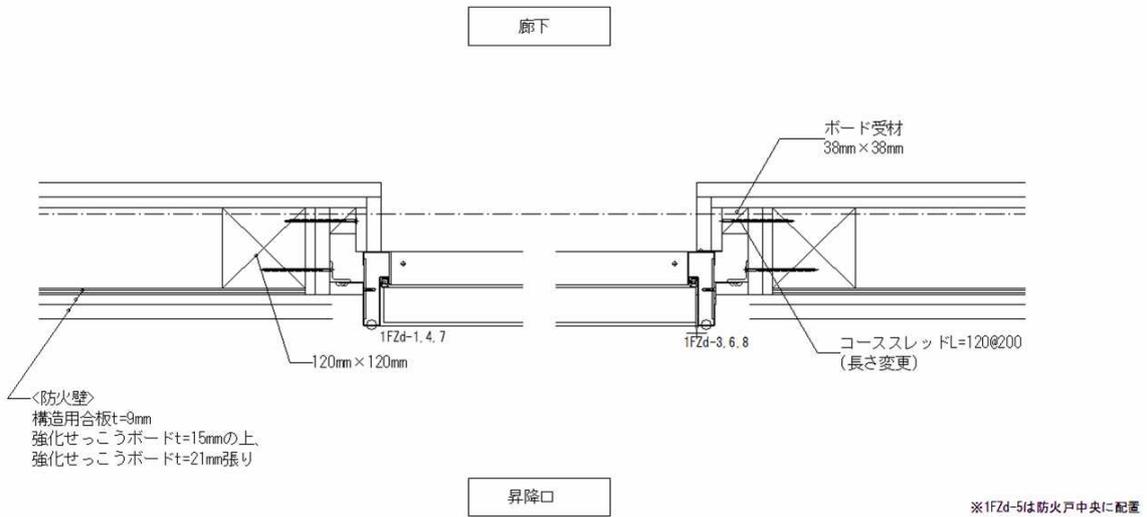


図 3.5.3-15 防火壁部 1階防火戸温度測定点（水平断面）

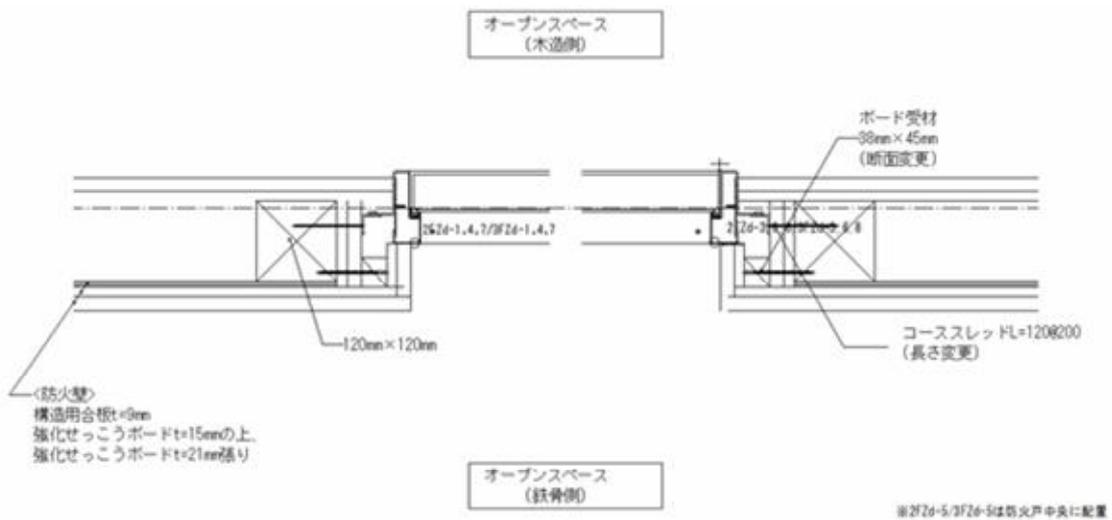


図 3.5.3-16 防火壁部 2、3階防火戸温度測定点（水平断面）

(3) 建物外部の温度測定位置

建物外部の温度は、図 3.2.1-2 および図 3.5.3-1～3 に示す外壁面および写真 3.5.3-3、4 に示す熱流束計タワーの位置で測定した。

3. 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 3.5.3-1～3 および写真 3.5.3-1 に示すとおり、熱流束計を職員室内の机天板レベル(H=0.6m、1点)に上向きに設置し、図 3.5.3-1～3 に示すとおり、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点設置して測定した。熱流束計は、写真 3.5.4-1 に示す水冷式熱流束計(フランジ無しタイプのシュミット・ポエルター型、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/m²、最高測定レンジ300 kW/m² エラー! 参照元が見つかりません。である。熱流束計は、写真 3.5.3-2 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 3.5.4-3 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 3.5.4-1 熱流束計



a) 職員室 床面



b) 教室開口部

写真 3.5.4-2 熱流束計の設置位置



a) 冷却水用水槽



b) 配管設備

写真 3.5.4-3 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 3.5.4-4、図 3.2.1-2、図 3.5.3-1～3 および図 3.5.4-1 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。熱流束計は、配線・配管部分等をプラスチ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。

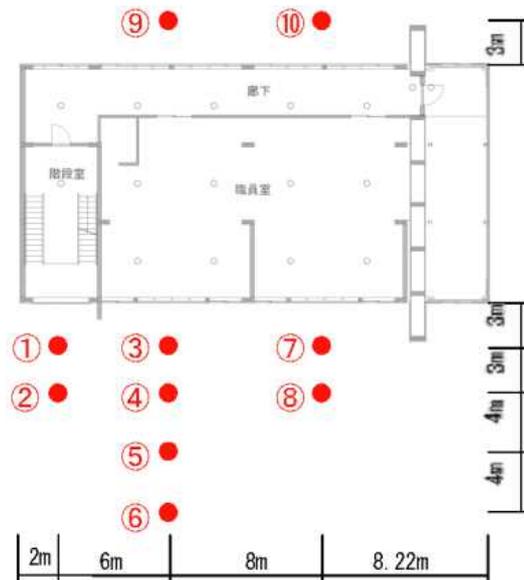


図 3.5.4-1 建物周辺における熱流束計と熱電対の設置位置



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 3.5.4-4 屋外熱流束計の設置状況

3. 5. 5 感知器、スプリンクラーヘッド

図 3.5.5-1 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、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、予備実験と同様に、図 3.5.5-1 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。

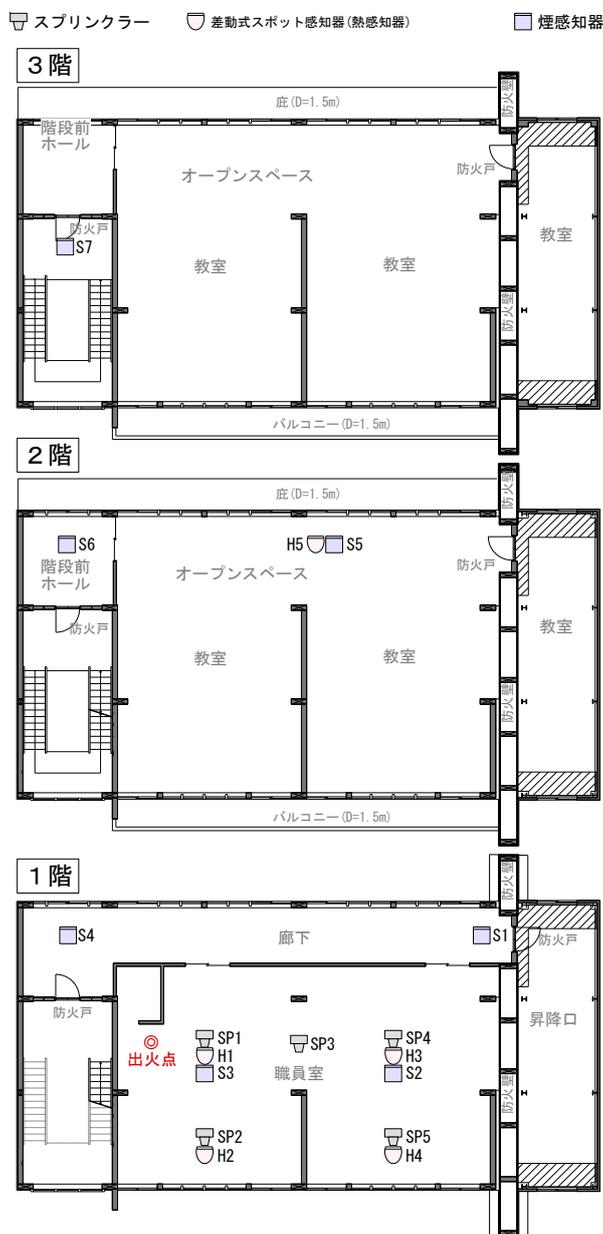


図 3.5.5-1 火災感知器およびスプリンクラーヘッド設置位置

3. 5. 6 火の粉

実験建物から発生する火の粉の飛散、着床を測定するため、図 3.3.2-3 に示す位置に写真 3.5.6-1、2 に示すビニールシート（2 m）、水入り容器（直径 0.6m、高さ 0.45m）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（図 3.5.6-1）では飛び火警戒を行った。事前にビニールハウス（図 3.5.6-1、写真 3.5.6-3）等の位置も確認した。



写真 3.5.6-1 ビニールシート



写真 3.5.6-2 水入容器（実験時は蓋外す）

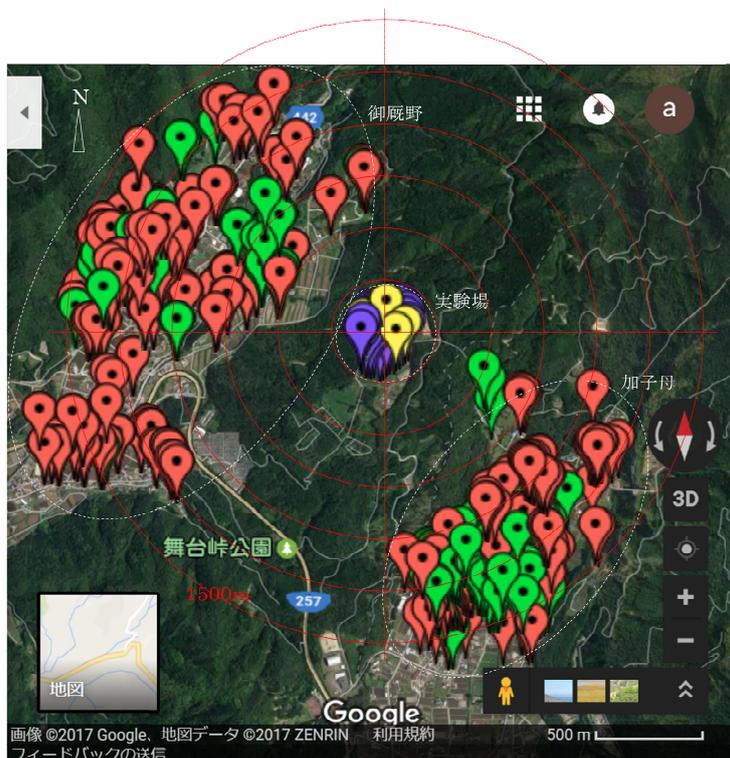


図 3.5.6-1 ビニールハウス位置（赤ピン：ビニールハウス、緑ピン：骨組みのみ）



図 3.5.6-3 ビニールハウス

3. 5. 7 主要構造部および区画の焼損状況

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。

3. 5. 8 建物内部の圧力

予備実験では、点火後 1 分 38 秒から 2 分 45 秒の間、1 階防火壁の防火戸および 1 階階段室の防火戸が火災初期の室内の圧力上昇によると考えられる原因で、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、準備実験では煙の拡散状況を確認するために、防火戸を挟む区画間の差圧を測定した。なお、準備実験では防火戸にはラッチを設けて施錠した。

表 3.5.8-1 に示す微差圧計による測定は、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 3.5.2-1 に示す位置で合計 6 系統で測定した。圧力測定用の銅管は、写真 3.5.8-1 に示すとおり外壁を貫通して床面から 0.05m 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 3.5.2-1 の矢印のように壁面から垂直方向に銅管を延長し、写真 3.5.8-2 に示すとおり壁面から約 12m の地中にアンプとともに埋設して、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 3.5.8-1 微差圧計の仕様

微差圧計	アンプ	数量
バリダイン社圧カ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 3.5.8-1 微差圧計のチューブの端部（施工中に撮影）



階段室側



防火壁側



機器を収納して地中に埋設した

写真 3.5.8-2 微差圧計の配管

3. 5. 9 計測体制

木3学の準備実験における計測体制を図 3.5.9-1 に示す。計測体制は予備実験同様に実験本部の下に、現場と本部に分かれ、現場では計測とそれを支援するメンバーにより構成された。予備実験を踏まえ、計測項目に微差圧の測定、誘導灯の確認、建物倒壊の危険性を予測するための柱

(炭化深さ評価用柱という。)の燃焼状況把握、建物の変位測定が加わり、それらの測定スタッフが配置された。本部では火の粉による延焼の危険性を評価するため、林床含水率測定の測定要員が配置された。これらの測定スタッフとして約 130 名が動員された。なお、準備実験においては、安全管理体制が強化され、自衛消防隊・安全警戒のスタッフが増員されると共に、地元消防による安全支援体制が組織された。

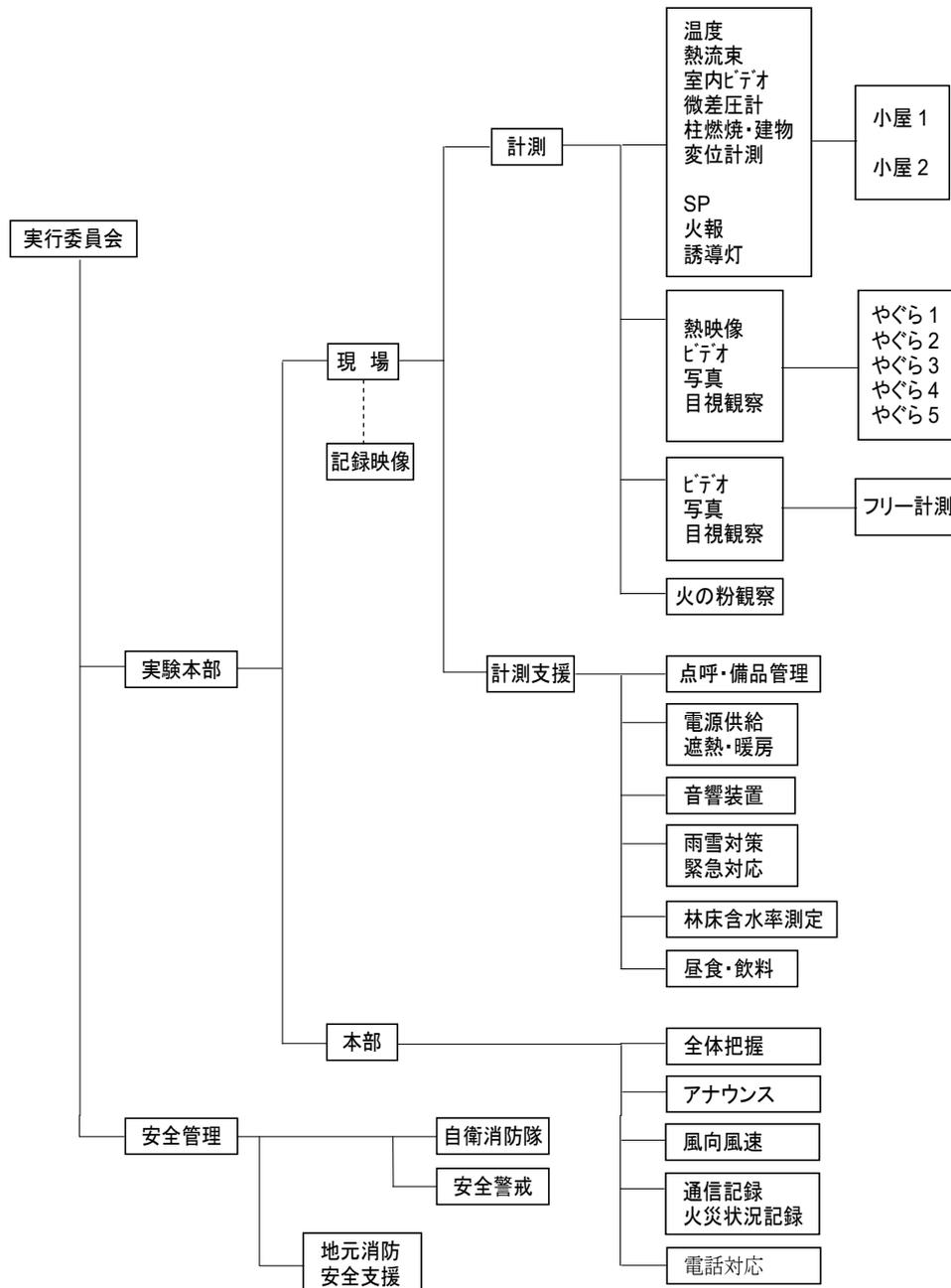


図 3.5.9-1 準備実験における計測の体制

3. 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。

3. 6 安全管理

準備実験を実施する上で、実験実施前に定めた安全計画および実施内容を以下に示す。

3. 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

準備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警戒等を含めて、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。

また、実験実施者の消火活動や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の概要

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

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 m²）の約 40%（延べ床面積：850 m²）とする。すなわち、予備実験では、各階に教室が東西方向に一行に5室並んだ上、階段室が設けられていたが、準備実験において確認すべき現象はこの規模の建物で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約 1/2 の幅の建物規模を設定した。

(3) 予備実験での課題と対策

準備実験では、予備実験で明らかになった木3学の防火基準の検討上の課題について、その後のデータ分析に加え、部材実験および教室実験を踏まえて、解決の明確な見通しが得られた仕様および設計手法を採用した実験建物を使用した。

予備実験で克服すべき課題として、

1. 多量の火の粉の発生
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・遅延させるための防火区画の信頼性の確実化

の3項目が明らかになった。これらについては、予備実験の後の部材実験および教室実験で対策を検討し、準耐火構造木造により達成できる防耐火性能を確認する。

1つめの課題については、予備実験では建物内に可燃物が燃焼する間を通じて屋根が崩壊せず、火の粉の飛散が生じなかった大断面集成木造を主要構造部とすることで、多量の火の粉の発生を回避する。

2つめの課題については、予備実験時に室内の家具および什器等の実物を調達できなかったために等量の木材クリブで代用したことが過度に危険側となっていた可能性があることから、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、さらに内装の燃焼の影響も大きいと考えられるため、内装を不燃化する等の対策を講じる。また、開口噴出火炎による上階延焼防止対策として従来も使われてきた庇、バルコニーを窓上方に設置して、窓からの噴出火炎による上階への延焼を防ぐ。

3つめの課題については、従来木造以外の大規模な準耐火建築物で用いられてきた仕様では、大規模木造の準耐火建築物に適さない可能性があること、たとえば、防火戸として最も一般的な鉄製の扉を従来通りの仕様で設置したのでは、木造下地には適さないことについて、主に部材実験を通じて検討を行い、火災の建物内拡大を防止・遅延させるための防火区画の信頼性の確実化をめざす。なお、これら3項目の課題のうち、準備実験を実施する上での安全管理上、克服の必要が最も大きいのは1つめの項目であるため、多段階に渡る安全対策を新たに講じる。2つめ、3つめの項目については、準備実験では、基準化という観点からの改善を行い、準備実験で新たな課題が確認されれば、本研究の中で改めて課題として検討を行う方針とした。

(4) 想定される火災性状と加害性の範囲

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、予備実験の結果から、別項に定める十分な体制を整えた。

(5) 実験敷地の条件

準備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。

- ・木3学が燃焼し、倒壊するまで（あるいは倒壊しないこと）の性状を確認するため、敷地に十分な余裕（半径100～150m程度の広さ）があること
- ・実験建物の周囲で火災の進展を安全に観察できること
- ・気候がある程度予測できること
- ・敷地周囲に電気や水、トイレの確保が比較的容易であること
- ・敷地周囲に消火用水の確保が可能であること
- ・周囲（一般の住民）に対して影響が少ないといえること
- ・消防消火体制について協力を得られること

なお、実験敷地については、国土交通省、関東地方整備局経由で検討、確認する他、実験関係者、協力企業の敷地等を検討した。この中で、林産県であること、行政を含めた十分な体制がとれることから、岐阜県下呂市にある牧草地（民間企業所有地）で実施することとなった。

3. 6. 2 安全管理の枠組

(1) 組織と体制：実施の条件等

- ・公開・非公開：非公開とする。

- ・実験関係者：延べ200名（マスコミ等含む。ただし、消防関係者は含まない人数）
- ・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定期的な監督、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、指導を受けることとした。
- ・見学者対策：一般へは非公開であるが、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、実験前に予め実験の趣旨、安全性に関する周知を行う。

（2）建物の配置等

実験建物の配置および周囲の位置関係は、予備実験の結果から、火災が進展し、継続的に火炎を形成したことを想定し、この火炎からの放射熱による既存施設への影響について確認し、配置計画に反映した。

なお、水源からの距離および建物消火の体制（ホースライン、ポンプ位置の他、場内の移動等）からも検討を行い決定した。

（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計画とする。火の粉の発生原因には以下の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. 建物上方での燃焼

これらを前提として、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%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が大断面集成材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、大断面集成材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、火の粉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、準備実験の実験建物の工法は、大断面集成材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つけ方法を強化した。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（南面と北面）のみに設ける設計とした。実験建物には、予備実験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火の粉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する。

以上、敷地外に火の粉を飛散させない主な対策は、

- 1) 断面計画（小屋裏、バルコニー、庇）
- 2) 屋根の強化
- 3) 無窓の妻面とする
- 4) 防火壁外を鉄骨造とする
- 5) 金属メッシュによる火の粉捕獲

である。

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、1500m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、地権者が確認できたものについては、実施の約二ヵ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

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・下草の処理・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) 原則として農地収穫後、ビニールハウス等撤去後の季節に実施する。
- 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

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. 準備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し（実験当日は直接調査）、内容を確認した上で、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。

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やすいもの（ビニールハウス等）については、予防方策を講じる。

- ・火災実験（11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（準備実験）」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ヶ月以内に下記の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。

（４）実験までの安全計画

準備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
- ・火の粉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
- ・現場での屋外教室実験の実施

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況等につき、実験前に調査を行う。

2) 住民等説明

準備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、国土交通省および実験実施者より、実験建物建設前に説明会を行う。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とともに、有線放送、防災無線などで実験直前の周知を行う。自治体等と協議のうえ、自治会の区長等を対象に説明を随時実施する。

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体と相談して決めており、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ている。

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、火の粉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、出火予防対策をとる。

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 $h=8\text{m}$ 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および給水、プールなどの水源の充実
- ・林縁部を中心とした範囲の下草刈りの実施

b. 広域（300～800m）

屋根が燃え抜けた場合（高さ $h=30\text{m}$ 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）を調査把握し、危険ポイントで監視を行う。

c. 集落（800m～）

対応は、次の通り。

- ・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。

【参考：火の粉の飛散距離】

火の粉の飛散については、必ずしも、これまでに十分なモデル化がされているわけではないが、横井の考え方に従えば、火の粉の舞い上がる高さを $h(\text{m})$ として、

1. 1階開口から飛散した場合($h=4\text{m}$ として)、飛び火の危険限界距離は **100m**
2. 2階開口から飛散した場合($h=8\text{m}$ として)、飛び火の危険限界距離は **200m**
3. 3階開口から飛散した場合($h=12\text{m}$ として)、飛び火の危険限界距離は **300m**

4. 屋根が燃え抜けた場合($h=30\text{m}$ として)、飛び火の危険限界距離は 750m と計算できる。

6) 敷地周辺の気象測定

現地近くの気象データは近隣のアメダスのデータを収集し、地形が複雑で、当該敷地の気象条件にその影響が生じる可能性もあるため、当該敷地で実験実施の5か月前から気象測定を継続的に実施する。

(5) 消防消火体制

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台による体制とした。予備実験において、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、準備実験では図3.6.2-1に示すとおり、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する(体制としては予備実験の4倍規模)。実験実施者側の消防体制は、一般社団法人 日本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委託協力を得た上で、可搬ポンプ13台を用意する。

これらをもとに、下呂市および中津川市に要請を行い、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た。

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。いずれの方向からでも放水できるよう、図3.6.2-2に示す放水台を設置するなどの周辺整備を行う。さらに、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した。このため、実験中に飛び火、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。



図 3.6.2-1 実験建物消火体制配置図 150m 範囲

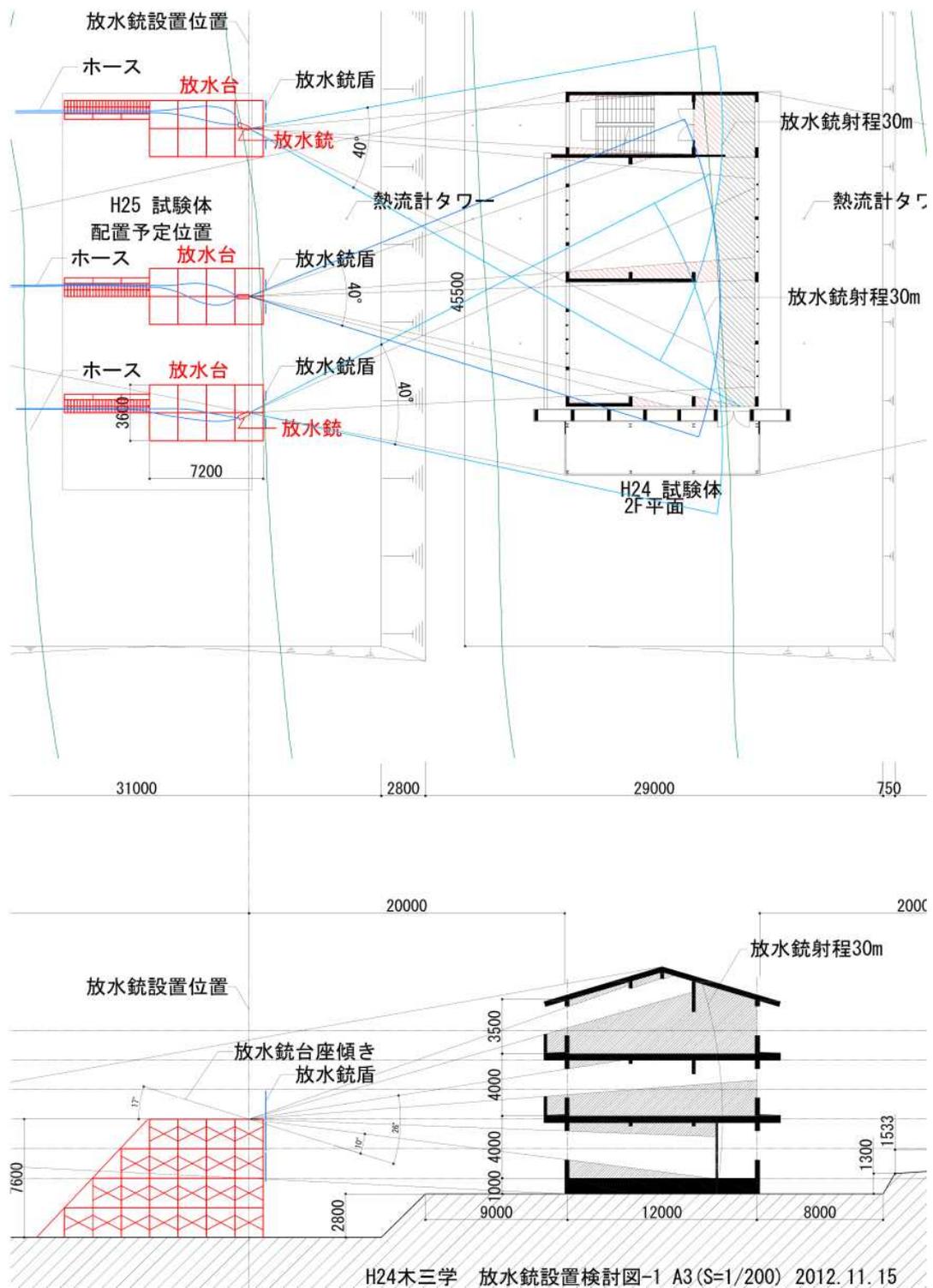


図 3.6.2-2 実験建物消火用足場図

飛び火警戒については、下呂市および中津川市の消防署・消防団との協議、全国消防長会、東京消防庁の助言を得て、次の二段階の消火体制を取ることにした。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、火の粉が落下した場合は、その場で直ちに消火できるようにする。さらに、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、図 3.6.2-3 に示すとおり、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。また、水源確保のバックアップとして近隣にあるプールの利用を計画する。

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、遠距離への火の粉飛散による出火警戒および消防支援のための防災ヘリの運用に関して、国土交通省から消防庁へ情報提供を行う。

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、実験実施者の一部が、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、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。

1) 消火作業計画

次の通りの消火計画とする。

- | | |
|----------------------------|-------------------|
| ・事前散水(前日までと当日早朝) | 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、消火組織を構成した。

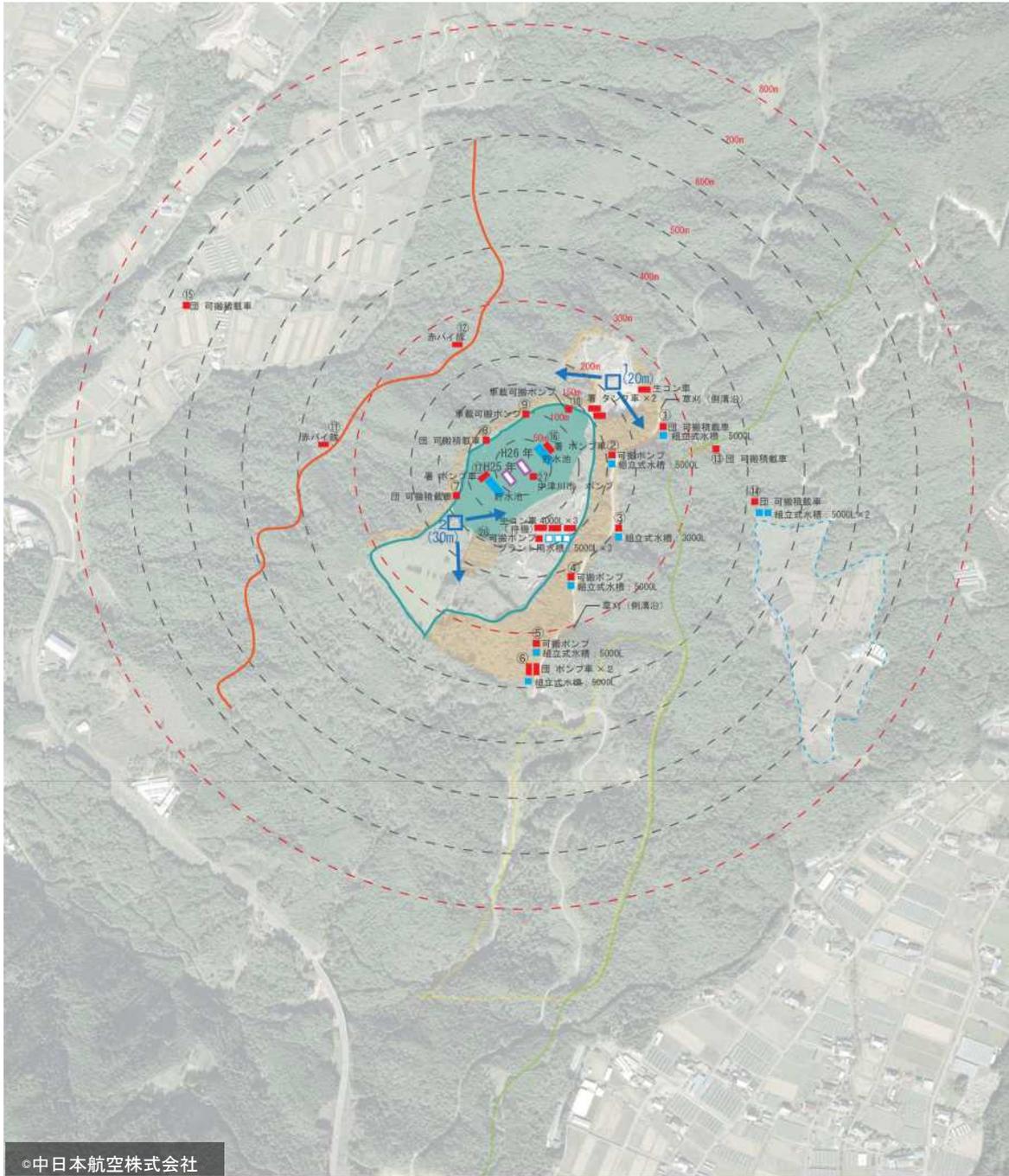
建物消火：消防+実験実施者(技術者など)

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：実験実施者と消防側で連携して実施し、周辺の放射熱による発火、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。



- | | | | |
|---|---|--|--|
| <p>機器・機材</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 可搬ポンプ ■ 組立式水槽 ■ プラント用水槽 ■ 赤バイ隊 ■ ポンプ車・タンク車 | <ul style="list-style-type: none"> □ 監視台 1: 高所作業車 h=20m 2: クレーン車+カゴ h=30m ■ 貯水池 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 下草刈範囲 ■ 警戒区域 ■ 試験体 | <ul style="list-style-type: none"> — 敷地 — 国有林 — 作業道 — 尾根 |
|---|---|--|--|



r=800m

図 3.6.2-3 実験建物消火体制および下草刈範囲 800m 範囲

4) 本部構成

本部は、実験実施者(本部小屋)と次の協力組織(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事前に確認する。

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

(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。実験実施者は、機器機材の準備、支援体制を確立し、一般社団法人 日本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

以下の人員を配置する。

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)
- ・通常管銃 4基

3階 / 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 管銃 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
- ・通常管銃 4基
- ・可搬ポンプ 5台
- ・中津川市ポンプ車 1台 管銃 2基
- ・中津川市可搬ポンプ 1台 管銃 2基

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体制は、次の通り。

- ・ 4 隊（消防団＋積載可搬ポンプ）×14 名＝56 名
- ・ 実験実施者側警戒員 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、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
- ・ 敷地西側作業道：2 隊（消防団赤バイ隊）×1 名＝2 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は、次の通り。

- ・ 下呂市消防団 188 名
- ・ 中津川市消防団 90 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 名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、退路の確保等として、安全地帯を設け、林道付近の火災時の退路の確保する。

2) 機材

以下の機材を計画する。

- ・ 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（可搬ポンプ用タンク容量は 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くことを可能として、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。

最終補充は、実験敷地、もしくは、一般販売所とする。

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 2 m、ポンプ取水用のカマ場 3 m）を 2 カ所設置する。

・代替貯水池

南東側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（5.5m³×3 台）を設置し、生コン車（4 m³×3 台）を待機させ、合計 27 m³（可搬ポンプ 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認する。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 m³ 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

実験説明、消火警戒方法の説明、リハーサルを行い、さらに、準備実験実施 1 ヶ月前に屋外教室実験を実施し、教室火災の性状について実験関係者の共通認識を得るとともに、今回の実験で火の粉飛散防止に予定している金属ネットの有効性の検証、消防消火設備の有効性の検討、煙の流動性状の把握等を行う。

（7）実験関係者および消防関係者の安全体制

図 3.6.2-4 に示すとおり、避難ルートを確認し、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。

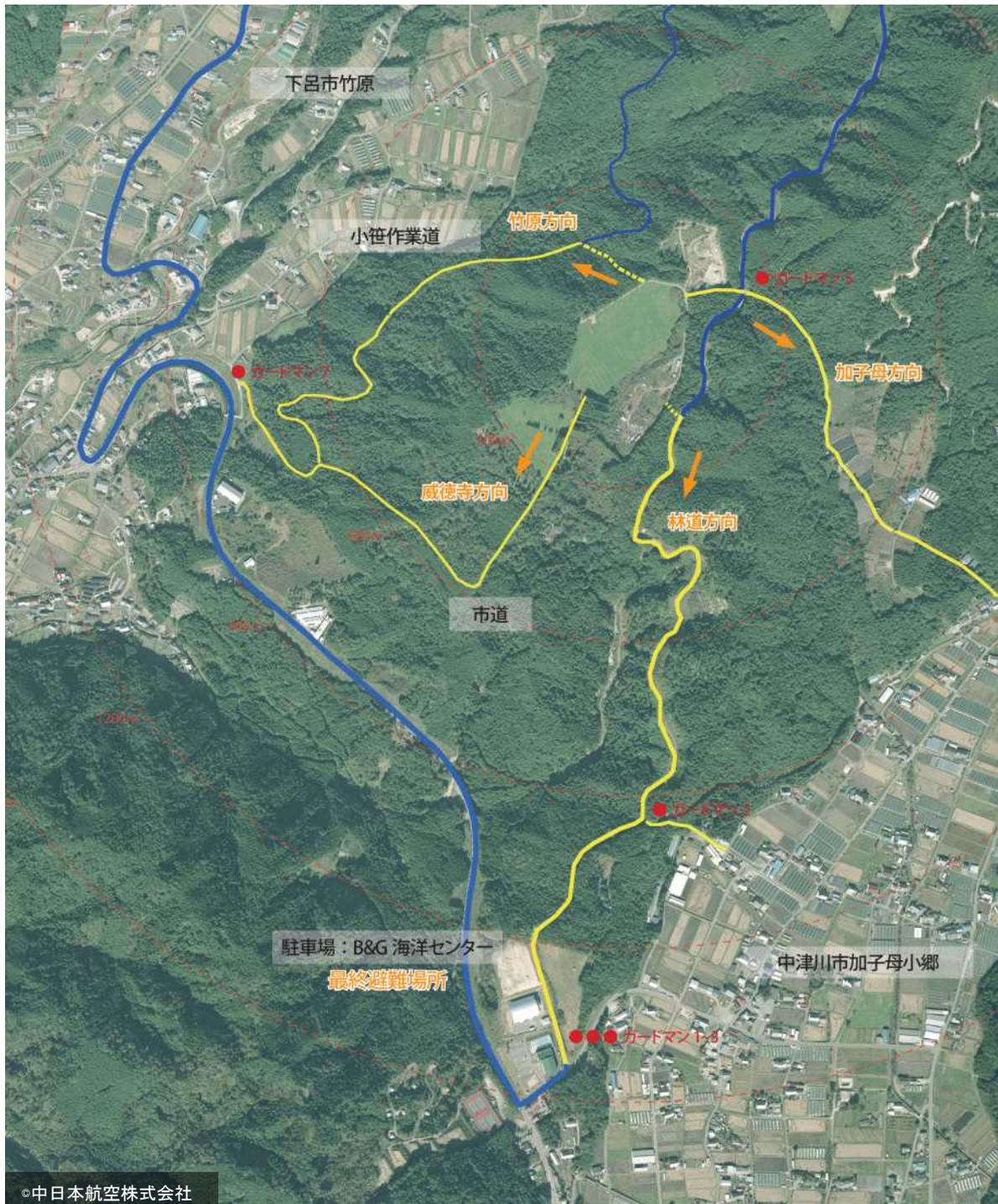


図 3.6.2-4 実験敷地周辺案内図／避難方向指示図

(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は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、火の粉の影響の有無を把握する。

(9) 総合的な安全体制

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、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、警戒
- ・ 実験後の各機材の管理、確認

3. 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審議に基づいて、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 未満の場合に実験を実施する。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、実験により 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

遂行に困難や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、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他階への延焼を防ぐことができ、2階に延焼した後、火盛り期に達した時点で、準備実験の目的が基本的に達成できるため、

- ・ 2、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。1階に点火しても火盛り期に達しない場合には、状況により2階に再点火する。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を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、教室部分の燃焼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

予備実験は一般に公開し、実験開始4時間前に実験実施の有無の判断を行う必要があった。準備実験は非公開とし、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。準備実験の準備期間における気象観測から、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、火の粉の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。実施の判断基準は以下のとおり。

1) 天候

外気風速（実験敷地）：10分間平均4 m/s以下

その他：燃焼性状に大きく影響を及ぼすような降雨および降雪等がないことを目安として、降水量1mm/h以下とする。

2) 周囲の林床の含水率：30%以上

3) 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。

※当日の実験実施の可否は、5:15頃専用の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 4 m/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）
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 1.5～2 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

- ・着火から 2 時間経過した時点を目安とする
- ・地震等の予期しない事象が発生した時点

(4) 消火・中止の決定

- ・実行委員長の判断による。必要に応じて協議を行う。

3. 6. 4 安全管理の実施

実験実施までに、3. 6. 1～3 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。

3. 7 測定結果

3. 7. 1 気象

実験当日の天候は前日から引き続き晴天であった。実験開始時刻の11月25日午前8時から実験終了の午前10時20分までの、本部観測点（地上10m）と試験体観測点（地上2.5m）における5分ごとの観測データを表3.7.1-1に示す。実験中の気温・湿度、風速・風向等の概況は以下のとおりである。

(1) 気温・湿度

気温は実験開始時点で-2.0℃でその後徐々に上昇し、実験終了時は4.9℃であった。湿度は77%から48%まで推移した。

(2) 風速・風向

実験時間を通じてほぼ無風であった。

(3) 降水量

実験を通じて晴天で降雨は見られなかった。

表 3.7.1-1 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	-2.0	77	0.0	—	0.0	東	0.0
8:05	5	-1.9	77	0.0	東北東	0.0	東	0.0
8:10	10	-1.7	75	0.0	東北東	0.0	—	0.0
8:15	15	-1.6	74	0.0	東北東	0.4	東	0.4
8:20	20	-1.4	73	0.0	東北東	0.0	東	0.0
8:25	25	-1.1	71	0.0	東南東	0.9	東	0.0
8:30	30	-0.8	70	0.0	南東	0.4	東	0.0
8:35	35	-0.4	70	0.0	南東	0.4	東	0.0
8:40	40	-0.2	68	0.0	南東	0.4	東	0.0
8:45	45	0.2	67	0.0	南東	0.4	東	0.0
8:50	50	0.6	65	0.0	南東	0.4	東	0.0
8:55	55	0.7	65	0.0	南東	0.4	東	0.0
9:00	60	0.7	63	0.0	南東	0.0	—	0.0
9:05	65	1.3	62	0.0	南東	0.4	東	0.0
9:10	70	1.9	61	0.0	南東	0.0	東	0.0
9:15	75	2.6	60	0.0	—	0.0	—	0.0
9:20	80	3.0	59	0.0	南東	0.0	—	0.0
9:25	85	2.9	59	0.0	南	0.4	東	0.4
9:30	90	2.8	61	0.0	南	0.4	—	0.0
9:35	95	3.0	60	0.0	—	0.0	—	0.0
9:40	100	3.4	55	0.0	南	0.4	東	0.4
9:45	105	4.0	54	0.0	南	0.0	東	0.4
9:50	110	4.1	48	0.0	南西	0.9	西	0.4
9:55	115	3.9	52	0.0	西南西	0.4	西	0.0
10:00	120	4.0	52	0.0	西	0.4	西	0.0
10:05	125	4.3	53	0.0	北西	0.9	北西	0.9
10:10	130	4.6	51	0.0	西北西	1.3	北西	0.4
10:15	135	4.7	52	0.0	西南西	0.4	西	0.9
10:20	140	4.9	51	0.0	西南西	0.9	西北西	0.9

3. 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

クリブに点火後約5分（以下、点火後の時間を示す。）に火炎は天井に到達するが、不燃化された内装には着火せず、局所的な燃焼が継続した（写真3.7.2-1）。発生した煙は天井面から徐々に降下し、7分頃より窓から煙が漏れ出し始め（写真3.7.1-2）、出火室は煙で充満した。しかし、逆に火炎は小さくなったため、空気を供給するために17分に窓を開放するものの（写真3.7.2-3）、フラッシュオーバーには至らなかった。



写真 3.7.2-1 点火約 5 分後の出火室



写真 3.7.2-2 窓からの煙の漏出



写真 3.7.2-3 掃き出し窓の解放

出火室の天井に設置された熱および煙感知器は、1分43秒から3分で作動した。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7分40秒、階段室前が22分10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3分51秒、その他は5分47秒までに作動した。

火災室の燃焼が局所に留まっていたため、50分には出火点に近い窓ガラスを割って松明を投げ込み、窓近くのクリブに再着火させた（写真3.7.2-4）。55分には再び火炎は天井に到達し（写真3.7.2-5）、62分には天井下を火炎が水平方向に延びていく様子が観察された。81分には出火室の窓から大量の煙が噴出し（写真3.7.2-6）、87分には大きく火炎が噴出し、出火室全体に延焼した（写真3.7.2-7～8）。

出火室の北側廊下は、90分頃から濃い煙が観察され、103分に北側の窓ガラスが破損した（写真 3.7.2-9）。113分には窓から火炎が噴出し、2階開口部の中央位まで達した（写真 3.7.2-10）。



写真 3.7.2-4 再着火時の出火室



写真 3.7.2-5 天井に達する火炎



写真 3.7.2-6 煙噴出時の出火室



写真 3.7.2-7 出火室全体への延焼



写真 3.7.2-8 火炎の噴出



写真 3.7.2-9 北側窓ガラスの破損



写真 3.7.2-10 火炎の噴出

2) 出火室から2階への延焼

出火室の南側窓からの噴出火炎は継続して3階バルコニー付近まで達した。97分には2階の窓ガラスが割れ、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3.7.2-11)。その後も噴出火炎は2階を定常的に覆う高さであったが、直ぐには室内への延焼は認められていない。

その後、129分に窓から離れた位置の2階クリブから突然火炎があがり(写真3.7.2-12)、次第に火炎が高くなる様子が確認された。南側の開口部付近には着火が認められず、1階の再着火地点の直上となる位置であることから、床の燃え抜けにより2階へ延焼したと推定される。

130分には2階クリブの火炎は天井まで到達し(写真3.7.2-13)、急速に天井面に沿って火炎が広がった(写真3.7.2-14)。131分には窓から火炎が噴出し(写真3.7.2-15)、132分には2階の室内全体に延焼した(写真3.7.2-16)。



写真 3.7.2-11 窓ガラスからの煙の流入



写真 3.7.2-12 2階クリブからの火炎



写真 3.7.2-13 天井に到達する火炎



写真 3.7.2-14 天井面を広がる火炎



写真 3.7.2-15 2階からの火炎の噴出



写真 3.7.2-16 2階室内全体への延焼

3) 3階への延焼

1階および2階からの噴出火炎は屋根付近まで達し、133分には3階バルコニーの外壁部分に着火した(写真3.7.2-17)。2階の床が燃え抜けたことで、2階の南側と北側の両方の窓から大きく火炎が噴出し、138分には屋根を超える高さまで達した(写真3.7.2-18)。139分後には開口部から3階の室内へ延焼した(写真3.7.2-19~20)。

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



写真 3.7.2-17 3階バルコニーへの着火



写真 3.7.2-18 屋根を超える高さの火炎



写真 3.7.2-19 3階延焼時(北側)



写真 3.7.2-20 3階延焼時(南側)

4) 階段室と防火壁

階段室内のビデオ映像には68分から薄い煙の流入が認められ(写真3.7.2-21)、3階の煙感知器は92分に作動した(写真3.7.2-22)。しかし、階段室内の温度はほとんど上昇していないことから、避難上は支障がないものと考えられる。また、防火壁の反対側には延焼しなかった。



写真 3.7.2-21 階段室への煙の流入



写真 3.7.2-22 煙感知器作動時の階段室

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 3.7.2-1 に示す。

出火室の燃焼は内装不燃化により局所に留まったため、50分に再着火をした。その後、87分(再着火から37分後。以下、再着火からの時間を()内に示す。)に出火室がフラッシュオーバーとなり、火炎が噴出した。床の燃え抜けにより129分(79分)に2階に延焼した。下階からの噴出火炎により開口部から139分(89分)に3階に延焼した。階段室および防火壁を越えた延焼は生じなかった。

(2) ビデオ映像、写真記録

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 3.7.2-1 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(表 3.7.2-2)。木3学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。

1) 出火室

点火6分に火炎先端は天井に達したが、その後は床から2m程度で推移し50分の再着火までほとんど延焼拡大しなかった。85分に再着火点付近の火炎が天井を急速に展炎し、89分でフラッシュオーバーした。

2) 1階廊下

点火6分に薄い白煙が見え40分に視界が低下、60分にはほとんど何も見えない状況になった。

3) 2階普通教室

点火97分に出火室直上の南側窓が割れ黒煙が侵入し、100分には視界が失われたが121分から視界が若干戻った。130分に再着火点の直上付近の床を貫通する火炎が確認され、131分に火炎が天井を展炎し始め、132分に収納可燃物に着火し視界が失われた。

4) 3階普通教室

100分に室内が白煙でうっすらと曇りはじめて徐々に煙の濃度が増し、137分に視界が消失した。

5) 3階階段室

点火から60分からうっすらと徐々に白煙で満たされ始め、120分に階段室内が見通せなくなった。

(3) 熱映像

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 3.7.2-3 に示す。

経過時間	再着火後	主な事象	
0:00		0:00 点火	
0:10		0:07 出火室の南側窓から煙が流出	
0:20		0:21 1階北側窓から煙が流出	
0:30			
0:40			
0:50	0:00	0:50 出火室に松明を投げ入れて再着火	
1:00	0:10		
1:10		1:01 出火室の窓ガラスが割れる	
1:10	0:20	1:12 出火室の天井を火炎が広がる	
1:20	0:30		
1:30	0:40	1:27 出火室の窓から火炎が噴出 1:29 出火室でフラッシュオーバー	
1:40	0:50	1:32 噴出火炎は3階バルコニーに達する 1:37 2階教室の窓が割れ、煙が侵入 1:43 1階北側窓が割れ、黒煙を噴出	
1:50	1:00	1:53 1階北側の窓から火炎が噴出	
2:00	1:10		
2:10	1:20	2:09 2階教室に延焼 2:11 2階南側窓から火炎が噴出 2:14 2階北側窓からも火炎が噴出	
2:20	1:30	2:19 3階教室に延焼 2:22 放水開始	
		7:00 実験終了後も倒壊なし	

図 3.7.2-1 目視観察による実験経過

表 3.7.2-1 各方向からの火災進展の概要

経過時間 ※()内は再着火後	0分	50分 (0分)	80分 (30分)	90分 (40分)	100分 (50分)	110分 (60分)	130分 (80分)	140分 (90分)
南西 (やぐら5)								
南東 (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	 0分後	 50分後	 80分後	 90分後	 100分後	 110分後	 130分後	 140分後

表 3.7.2-2 内部ビデオ映像による火災進展の概要

経過時間 ※()内は再着火後	0分	30分	50分 (0分)	90分 (40分)	100分 (50分)	120分 (70分)	130分 (80分)	140分 (90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°C以上 黄:260°C以上	3階								
	2階		→				→		
1階									
	0分後		50分後	90分後	100分後		130分後	140分後	

→ : 変化がないことを示す

表 3.7.2-3 各方向からの熱映像と延焼の範囲

経過時間 ※()内は再着火後	0分	50分 (0分)	80分 (30分)	90分 (40分)	100分 (50分)	110分 (60分)	130分 (80分)	140分 (90分)
南東 (やぐら4)								
南東 (やぐら4) 510°C 0°C								
東 (やぐら3) 1200°C 0°C								
南西 (やぐら5) 1200°C 0°C								
北 (やぐら2)								
北 (やぐら2) 1200°C 0°C								
延焼の範囲 天井付近温度 赤: 450°C以上 黄: 260°C以上								
	0分後	50分後	80分後	90分後	100分後	110分後	130分後	140分後

3. 7. 3 温度

(1) 室内の温度

1) 1階室内温度

出火室を想定した職員室は収納可燃物として事務机、椅子、パソコンおよび木材クリブ(スギ)を発熱量密度 700MJ/m^2 となるように配置し、内装仕上げを床は杉板張り、壁と天井は柱、大梁、小梁以外を不燃材料であるせっこうボード張り(強化せっこうボードを含む)としている。最初に点火した火源は、内装不燃化の効果により成長することなく局所火源に留まった。この間、着火点近傍の測定点 1BY の温度は $100\sim 200^\circ\text{C}$ 程度で推移した。初期の火災成長が緩慢であったため、点火 50 分後に職員室(西)の窓ガラスを割り松明を投げ入れ再着火した。再着火点近傍 1BX の温度を図 3.7.3-1 に示す。火源は徐々に成長し、76 分(再着火後 26 分: 以下()内数値は再着火からの経過時間を示す。)に 450°C に到達し、89 分(39 分)にフラッシュオーバー(F.O)が発生した。以降消火を開始した 142 分(92 分)まで $1,000^\circ\text{C}$ 前後の温度で推移した。

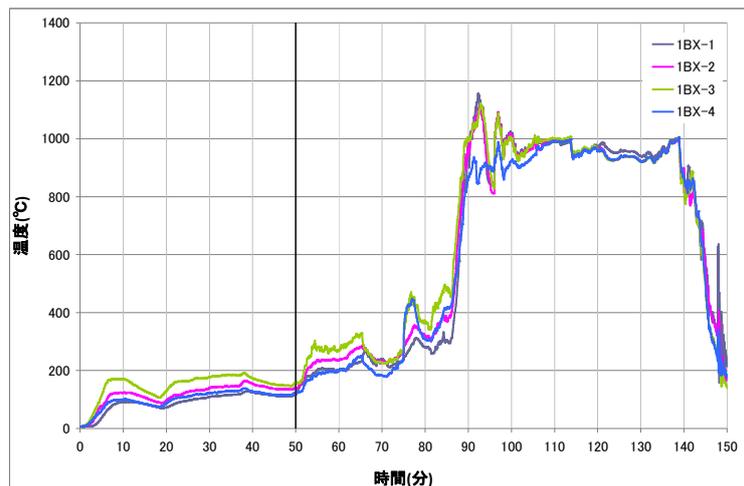


図 3.7.3-1 1階職員室(西)1BX 温度

職員室着火点近傍 1BY から離れた測定位置 1EY の温度を図 3.7.3-2 に示す。F.O が発生した 89 分(39 分)までの温度は 1BX よりも低い温度で推移しており、F.O までの火災初期は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、91 分(41 分)に 450°C に到達し、2 分程度の間に出火室全体が盛期火災に至り、その後 1BX と似たような温度推移を記録した。

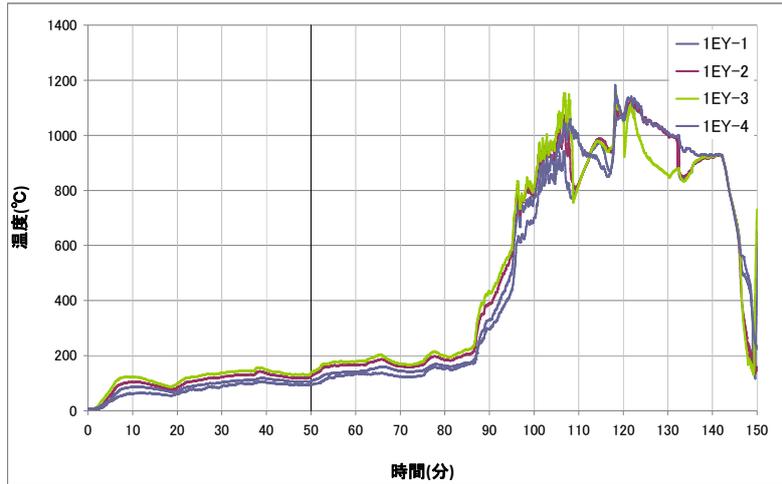


図 3.7.3-2 1階職員室(東)1EY 温度

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3.7.3-3に示す。当該位置は98分(48分)に450°Cに達した。1EYが91分(41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7分程度延焼が遅延した。

防火壁東側区画への延焼の有無に関し、防火壁に設けられた防火戸の非加熱側1FZbの温度を図3.7.3-4に示す。非加熱側は110分(60分)頃より緩やかに温度が上昇したが最高で30°C程度に留まり実験終了まで延焼しなかった。

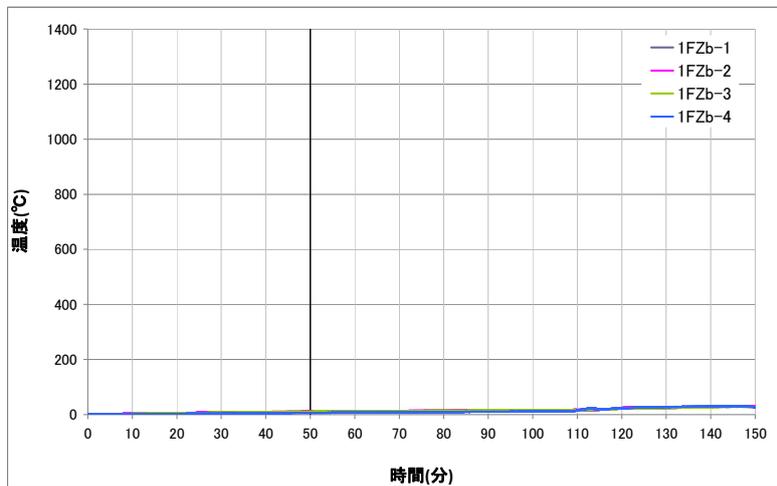


図 3.7.3-3 1階廊下(東)1EZ 温度

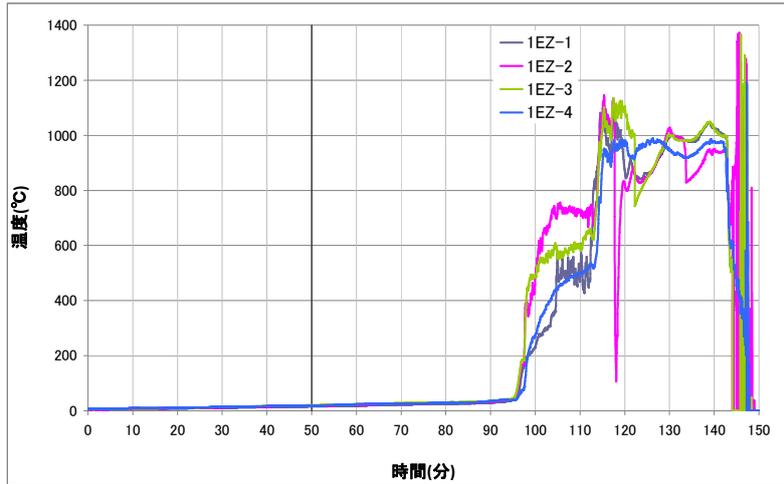


図 3.7.3-4 1階防火壁防火戸非加熱側 1FZb 温度

階段室 1 階 1AY、1～2 階踊り場 1AX の温度をそれぞれ図 3.7.3-5、6 に示す。いずれの測定位置も僅かな温度上昇が認められるが最高で 20°C 程度に留まり試験終了まで延焼しなかった。

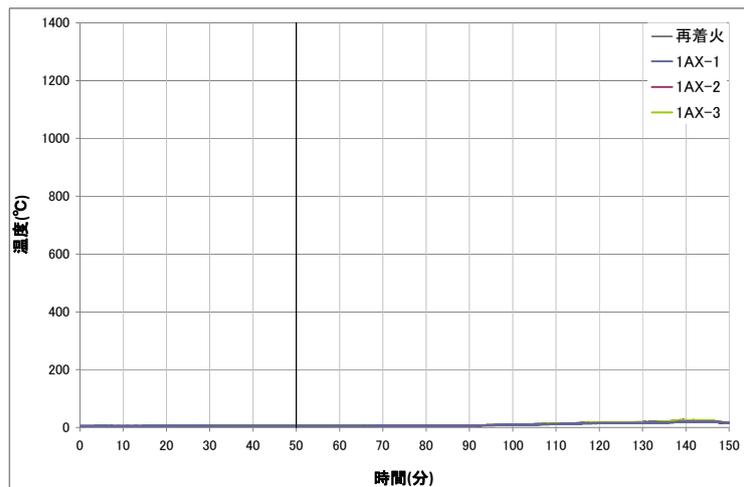


図 3.7.3-5 1階階段室 1AY 温度

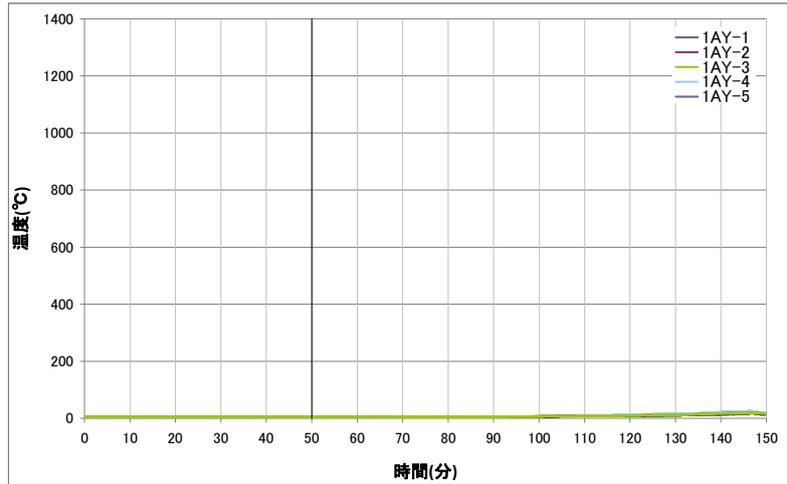


図 3.7.3-6 1～2階踊り場 1AX 温度

2) 2階室内温度

再着火点の直上の普通教室(西)2BX の温度を図 3.7.3-7 に示す。当測定点は 130 分(80 分)に 2 階で最初に 450°C に到達した。当初室温は殆ど変化が無く、90 分(40 分)頃より僅かに上昇し始めているのは直下室が 89 分(39 分)に F.O し盛期火災になったことと連動している。延焼経路は室内に設置されたビデオ映像から床が燃え抜けた様子が確認されている。130 分(80 分)以降、消火を開始した 142 分(92 分)まで 1,000°C を超える温度で推移し 135 分(85 分)頃には 1,300°C を記録した。

2 階オープンスペース(東)2EZ の温度を図 3.7.3-8 に示す。当測定点は 2 階で最初に 450°C に到達した 2EX から対角に位置する測定点である。90 分過ぎより温度上昇し 134 分(84 分)に 450°C に到達した。130 分(80 分)過ぎに急激に温度上昇しているのは両測定点ともよく似ており、2 階の普通教室とオープンスペースの開放空間は F.O により短時間で空間全体が盛期火災に至ったことが読み取れる。

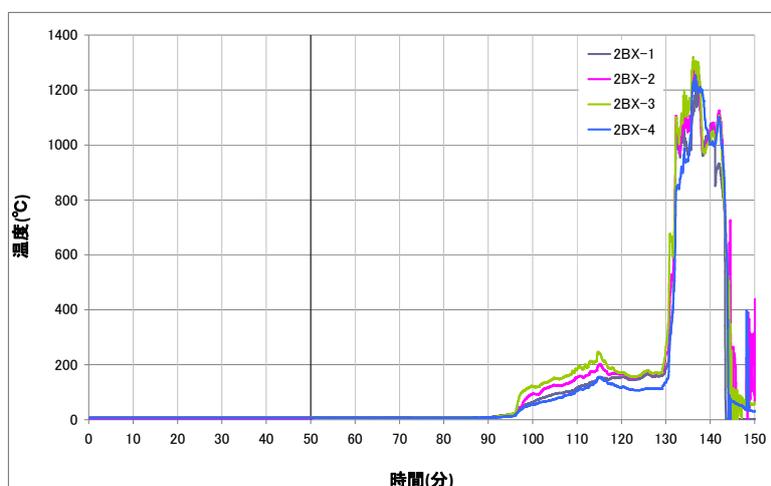


図 3.7.3-7 2階普通教室(西)2BX 温度

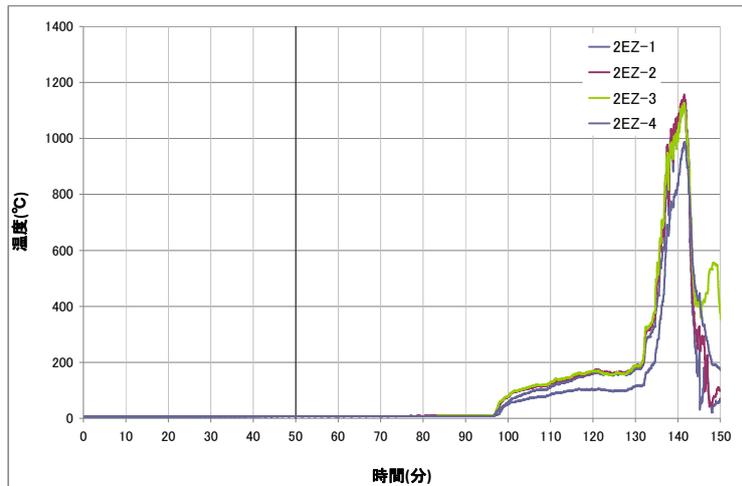


図 3.7.3-8 2階オープンスペース(東)2EZ 温度

防火壁東側区画への延焼の有無に関し、防火壁に設けられた防火戸の非加熱側 2FZb の温度を図 3.7.3-9 に示す。非加熱側は極めて緩やかな温度上昇で 20°C程度に留まり試験終了まで延焼しなかった。

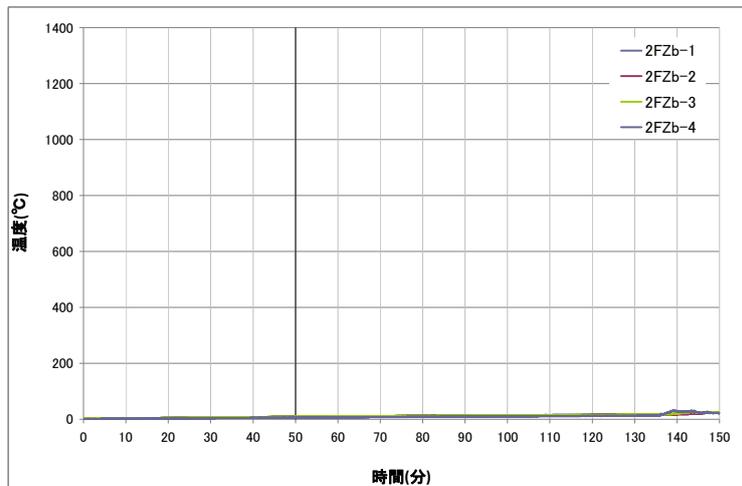


図 3.7.3-9 2階防火壁防火戸非加熱側 2FZb 温度

階段室2階 2AY、2～3階踊り場 2AX の温度をそれぞれ図 3.7.3-10、11 に示す。いずれの測定位置も極めて緩やかな温度上昇で最高温度が 20°C程度に留まり試験終了まで延焼しなかった。

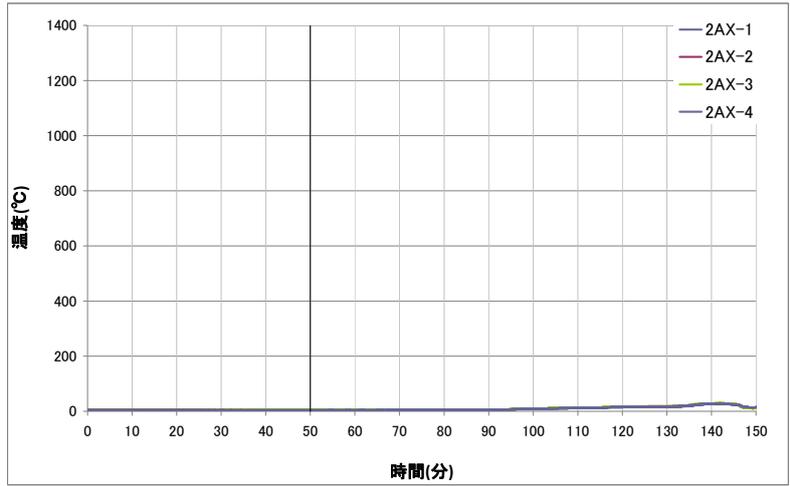


図 3.7.3-10 2階階段室 2AY 温度

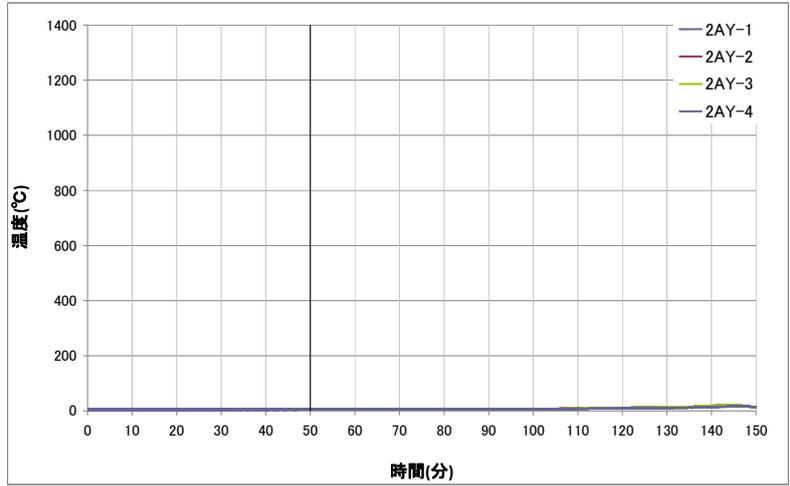


図 3.7.3-11 2～3階踊り場 2AX 温度

3) 3階室内温度

再着火点の上方の普通教室(西)3BX の温度を図 3.7.3-12 に示す。当測定点は実験開始以降温度変化なく推移したが2階直下室同様1階が F.O した直後の 90 分(40 分)過ぎより室温の上昇が認められ、139 分(89 分)には3階で最初に 450°C に到達した。これは2階で最初に 450°C を記録してから約 9 分後のことであった。その後 142 分(92 分)に消火開始したため盛期火災に至らず最高温度 680°C で終了した。

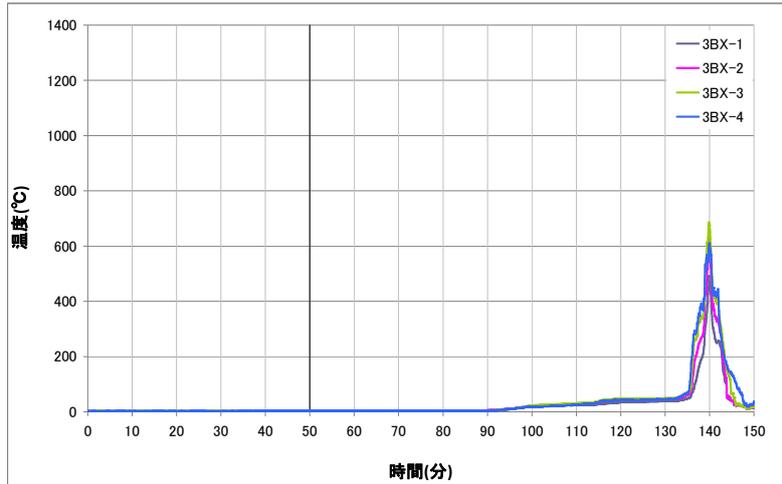


図 3.7.3-12 3階普通教室(西)3BX 温度

3階オープンスペース(東)3EZの温度を図3.7.3-13に示す。3階で最初に450°Cに到達した3BXと対角に位置する測定点である。当測定点では450°Cには至っていないが3BXとほぼ同様の推移を示しており、消火が開始されなければ3階の教室、オープンスペースの開放空間は短時間に延焼したものと推察される。

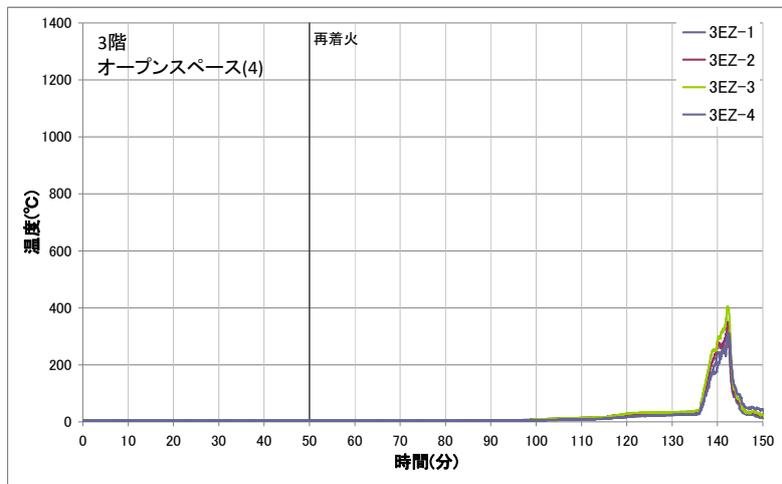


図 3.7.3-13 3階オープンスペース(東)3EZ 温度

防火壁東側区画への延焼の有無に関し、防火壁に設けられた防火戸の非加熱側 3FZbの温度を図3.7.3-14に示す。非加熱側は極めて緩やかな温度上昇で20°C程度に留まり試験終了まで延焼しなかった。

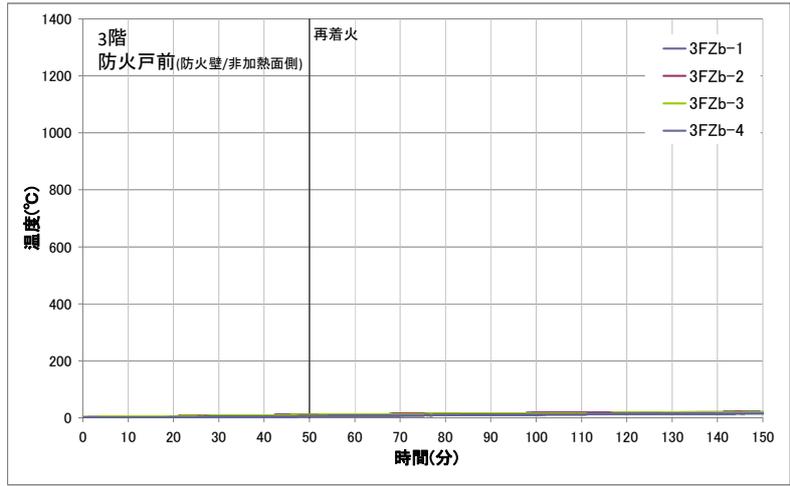


図 3.7.3-14 3階防火壁防火戸非加熱側 3FZb 温度

階段室3階 3AY の温度を図 3.7.3-15 に示す。90分(70分)頃より温度上昇が認められるが最高温度が 20°C程度に留まり試験終了まで延焼しなかった。

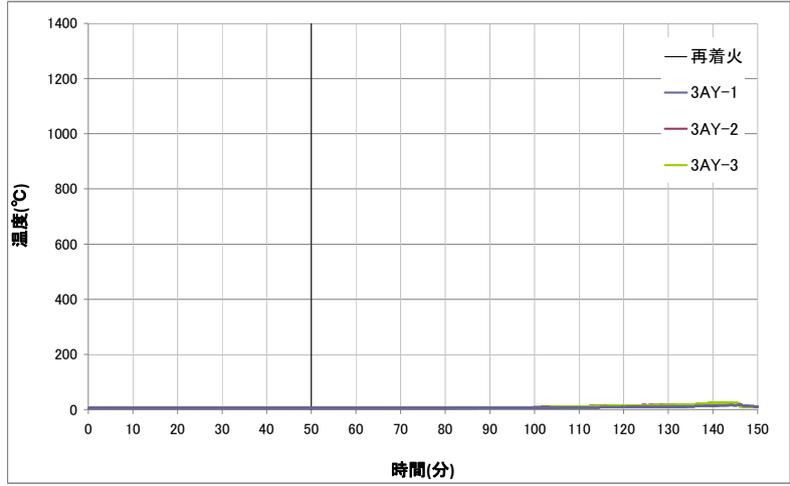


図 3.7.3-15 3階階段室 3AY 温度

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、50分に再着火し 76分(26分)に 450°Cに達し、89分(39分)にフラッシュオーバーが発生した。
- ・ 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°Cに達する時間は7分程度遅延した。
- ・ 2階で最初に 450°Cを記録したのは再着火点直上である2階普通教室(西)で、130分(80分)であった。
- ・ 3階で最初に 450°Cを記録したのは再着火点上方である3階普通教室(西)で、139分(89分)であ

った。

- ・実験終了まで防火壁東側の区画への延焼はなかった。
- ・実験終了まで階段室への延焼はなかった。

(2) 延焼の進展状況

建物室内で測定された温度データから、天井付近の温度が 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。

天井付近の温度が再点火から 450℃を超えた時間を、各部屋に設置した可燃物の発熱量密度、内装仕上げ(不:せっこうボードまたは強化せっこうボード、可:木材)とともに表 3.7.3-1 に示す。

表 3.7.3-1 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 (MJ/m ²)	内装			再点火から延 焼までの時間 (時:分:秒)
						壁	天井	床	
3階	-	階段室	3AY	-	32	不	不	可	-
	-	階段前ホール	3AZ	-	32	不	不	可	-
	34	教室西(南西)	3BX	3,4	400	不	不	可	1:28:56
	37	教室西(北西)	3BY	3	400	不	不	可	1:29:16
	-	オープンスペース(1)	3BZ	-	200	不	不	可	-
	33	教室西(南東)	3CX	3	400	不	不	可	1:28:34
	34	教室西(北東)	3CY	3	400	不	不	可	1:28:56
	-	オープンスペース(2)	3CZ	-	200	不	不	可	-
	32	教室東(南西)	3DX	3	400	不	不	可	1:28:20
	39	教室東(北西)	3DY	3	400	不	不	可	1:30:00
	-	オープンスペース(3)	3DZ	-	200	不	不	可	-
	37	教室東(南東)	3EX	3	400	不	不	可	1:29:16
	40	教室東(北東)	3EY	3	400	不	不	可	1:30:36
	-	オープンスペース(4)	3EZ	-	200	不	不	可	-
	-	防火戸前(防火壁/加熱面側)	3EZb	-	200	不	不	可	-
	-	防火戸前(防火壁/非加熱面側)	3FZb	-	0	不	不	可	-
10	バルコニー腰壁表面	3BXb-1	-	0	不	不	可	0:45:54	
36	バルコニー中央(教室西)	3BXb-2	-	0	不	不	可	1:29:02	
階数	延焼 順序	室名	タワー名	計測位置	発熱量 密度 (MJ/m ²)	内装			再点火から延 焼までの時間 (時:分:秒)
2階	-	階段室踊り場(2-3階)	2AX	-	32	不	不	可	-
	-	階段室	2AY	-	32	不	不	可	-
	29	階段前ホール	2AZ	3	32	不	不	可	1:26:06
	17	教室西(南西)	2BX	3	400	不	不	可	1:20:42
	19	教室西(北西)	2BY	3	400	不	不	可	1:21:12
	21	オープンスペース(1)	2BZ	3	200	不	不	可	1:22:02
	18	教室西(南東)	2CX	3	400	不	不	可	1:20:48
	19	教室西(北東)	2CY	3	400	不	不	可	1:21:12
	22	オープンスペース(2)	2CZ	3	200	不	不	可	1:22:04
	30	教室東(南西)	2DX	2	400	不	不	可	1:26:10
	27	教室東(北西)	2DY	3	400	不	不	可	1:25:46
	24	オープンスペース(3)	2DZ	3	200	不	不	可	1:24:36
	31	教室東(南東)	2EX	3	400	不	不	可	1:26:18
	28	教室東(北東)	2EY	2	400	不	不	可	1:25:52
	25	オープンスペース(4)	2EZ	3	200	不	不	可	1:24:44
	26	防火戸前(防火壁/加熱面側)	2EZb	2	200	不	不	可	1:24:50
-	防火戸前(防火壁/非加熱面側)	2FZb	-	0	不	不	可	-	
6	バルコニー腰壁表面	2BXb-1	-	0	不	不	可	0:41:04	
23	バルコニー中央(教室西)	2BXb-2	-	0	不	不	可	1:22:18	
階数	延焼 順序	室名	タワー名	計測位置	発熱量 密度 (MJ/m ²)	内装			再点火から延 焼までの時間 (時:分:秒)
1階	-	階段室踊り場(1-2階)	1AX	-	32	不	不	可	-
	-	階段室	1AY	-	32	不	不	可	-
	16	廊下(1)	1AZ	3	32	不	不	可	1:02:46
	1	職員室西(南西)	1BX	3	700	不	不	可	0:26:32
	3	職員室西(北西)	1BY	3	700	不	不	可	0:36:56
	13	廊下(2)	1BZ	3	32	不	不	可	0:56:20
	2	職員室西(南東)	1CX	3	700	不	不	可	0:36:42
	3	職員室西(北東)	1CY	3	700	不	不	可	0:36:56
	11	廊下(3)	1CZ	3	32	不	不	可	0:46:38
	9	職員室東(南西)	1DX	3	700	不	不	可	0:44:14
	7	職員室東(北西)	1DY	2	700	不	不	可	0:41:34
	15	廊下(4)	1DZ	3	32	不	不	可	1:00:18
	8	職員室東(南東)	1EX	3	700	不	不	可	0:43:44
	5	職員室東(北東)	1EY	3	700	不	不	可	0:41:02
	12	廊下(5)	1EZ	3	32	不	不	可	0:48:28
	14	防火戸前(防火壁/加熱面側)	1EZb	2	200	不	不	可	0:57:14
-	防火戸前(防火壁/非加熱面側)	1FZb	-	0	不	不	可	-	

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測定位置の天井面温度（測定高さ 4）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。天井面温度が 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 3.7.3-16～21 に示す。

点火から 86 分(36 分)の温度分布を図 3.7.3-16 に示す。火源が成長し 86 分(36 分)に再着火点天井面が初めて 450℃を超え、89 分(39 分)に職員室(西)空間でフラッシュオーバー(F.O)が発生した。

105 分(55 分)経過時の温度分布を図 3.7.3-17 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。

113 分(63 分)経過時の温度分布を図 3.7.3-18 に示す。防火区画で隔てられた防火壁の東側ゾーンと階段室を除く 1 階全体が 450℃を超えて延焼拡大している。この時点で職員室は 923.1～1067.8℃、直上の 2 階普通教室は 88.5℃～171.1℃、3 階普通教室は 9.3～30.3℃であり、熱気が次第に上階に伝わっているものの、床が効果的に上階延焼を抑制している。

131 分(81 分)経過時の温度分布を図 3.7.3-19 に示す。この時点で着火位置直上の 2 階への延焼が確認された。前項で述べたとおり延焼経路は 2 階の床の燃え抜けであった。

図 3.7.3-20 に示す 138 分(88 分)に 3 階に延焼した。前項より延焼経路は噴出火炎による外部開口経由であった。

実験終了時の 142 分(92 分)の状況を図 3.7.3-21 に示す。この時点で防火壁東側の区画は 15.0～30.6℃、階段室の竪穴区画は 14.8～28.1℃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 3.7.3-22 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。

室内温度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。

- ・内装不燃化の効果により初期の火災成長が緩慢であった。
 - ・バルコニーと庇の効果により開口噴出火炎による外部経由の上階延焼が抑制され、2 階への延焼は床の燃え抜けにより再着火から 1 時間 20 分を要した。
- 但し、1、2 階の噴出火炎が合流した大きな火炎により 3 階は外部経由で延焼した。
- ・実験終了時の 142 分(92 分)まで防火戸は突破されず、防火区画を越える延焼はなかった。

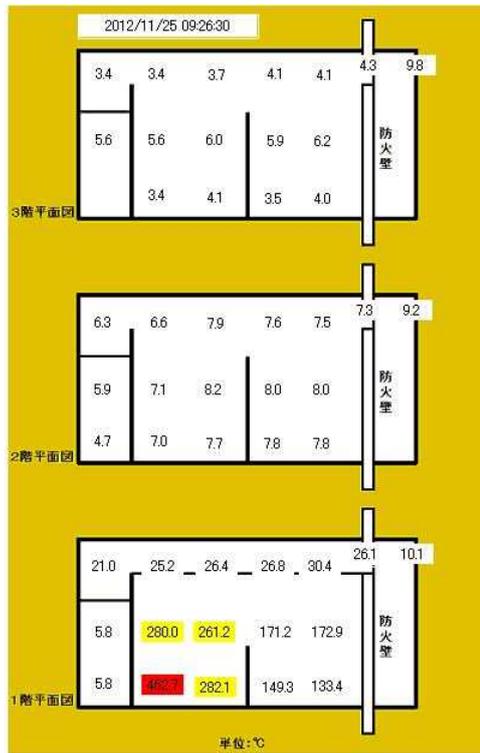


図 3.7.3-16 86分(36分)経過の温度分布

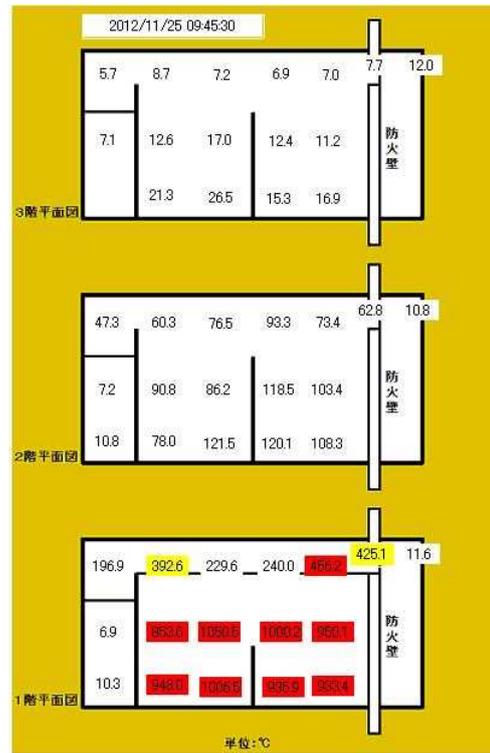


図 3.7.3-17 105分(55分)経過の温度分布

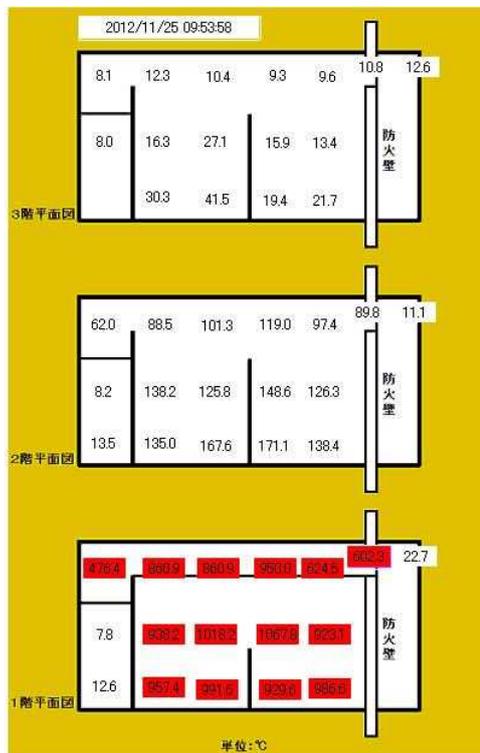


図 3.7.3-18 113分(63分)経過の温度分布

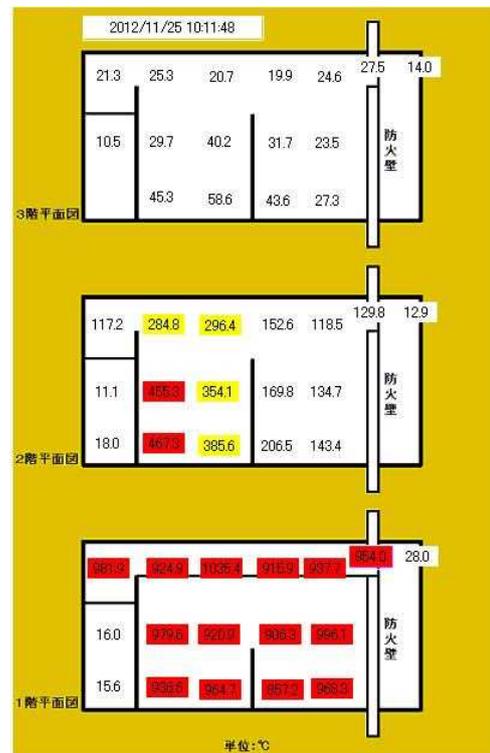


図 3.7.3-19 131分(81分)経過の温度分布

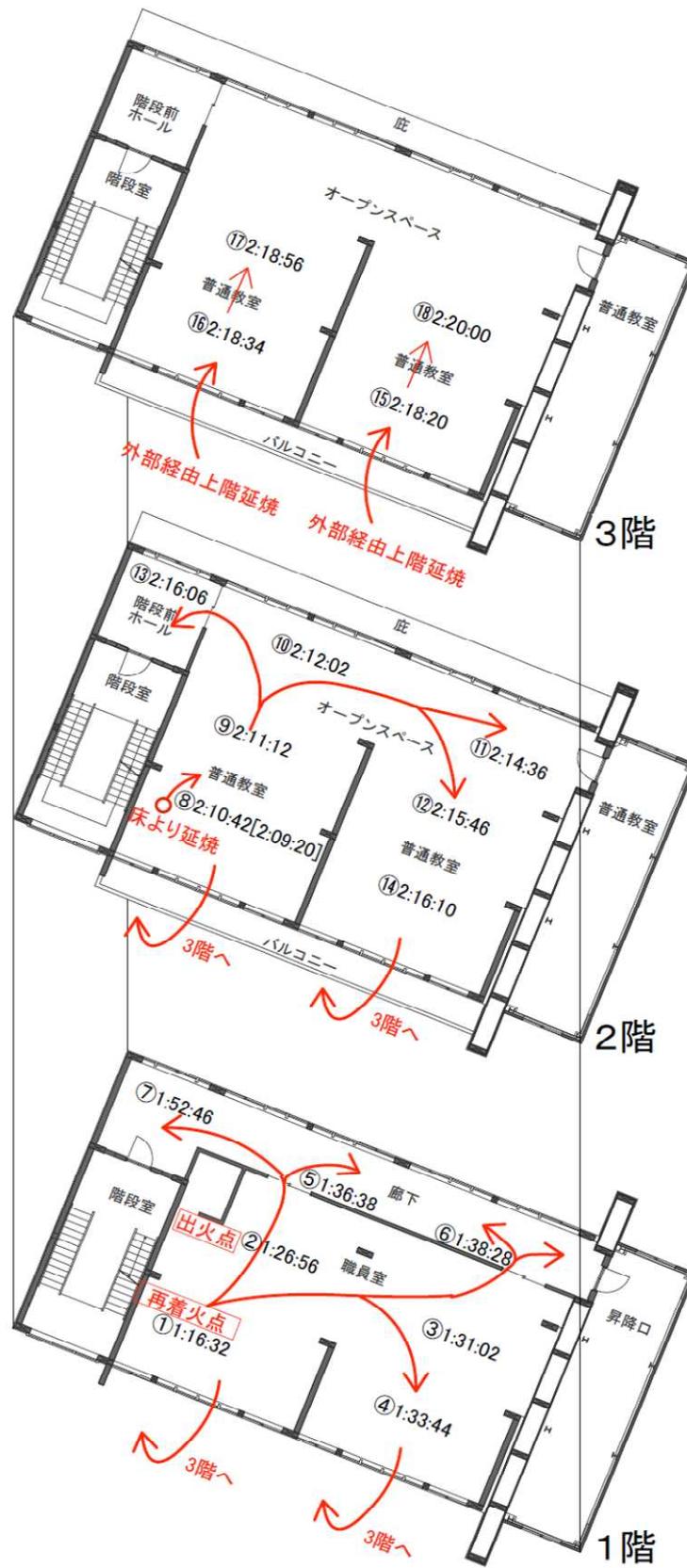


図 3.7.3-22 延焼拡大の推定経路

(3) 主要構造部等の温度

1) 柱

実験建物には図 3.4.1-1 に示すとおり、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 3.5.3-5 に示すような独立柱と同素材、同断面（対称異等級構造用カラマツ集成材 E105-F300、220×650mm）の柱（炭化深さ評価用柱と呼ぶ）を置き、その内部に設置した熱電対 56 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（そのため、図 3.4.1-1 には独立柱と炭化深さ評価用柱が計 2 本記載されている）。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、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 3.7.3-23、24 に柱内部温度変化、図 3.7.3-25 に消火時温度と最高履歴温度の分布、表 3.7.3-2 に 260℃を超えた時間と予測炭化速度を示す。炭化速度は近傍室温がフラッシュオーバー直前に 260℃を超えた時間を起点として、各部の柱表面からの距離をその点が 260℃を超えるまでにかかった時間で割ることにより算出した。図 3.7.3-25 中の炭化量予測線は既往の研究データ²³⁾をもとに、260℃を超えた部分と、100℃を超えた部分より 15mm 外側の位置が炭化したと想定して描いた。図 3.7.3-25 より消火 142 分時点の短手方向の炭化量は 50～60mm、長手方向の炭化量は 40～55mm となり、角部に燃えこみが多い傾向がみられた。最高履歴温度からの最終炭化量は短手方向で 50～60mm、角部を除く長手方向は 55mm 程度となり、鎮火まで柱は座屈することはなかった。文献²³⁾より、ISO834 標準加熱でのカラマツ材の炭化速度約 0.6mm/分で独立柱の最終的な炭化量 50～60mm を割ると、この柱は 80～100 分相当の ISO 加熱を受けたと推測できる。表 3.7.3-2 からは、炭化速度がだいたい 0.8～1.3mm/分で推移していたことがわかった。

表 3.7.3-2 260℃を超えた時間と予測炭化速度

	近傍室温	(A)=	表面からの離隔距離		
			25mm	40mm	50mm
260℃を超えた時間(分)	(B)= 82～87 (FO直前時)	(C)=	106～112	122～128	126～141
予測炭化速度* (mm/分)	—	(D)=	0.83～1.3	0.87～1.1	0.85～1.3

*炭化速度計算式: $D=A/(C-B)$

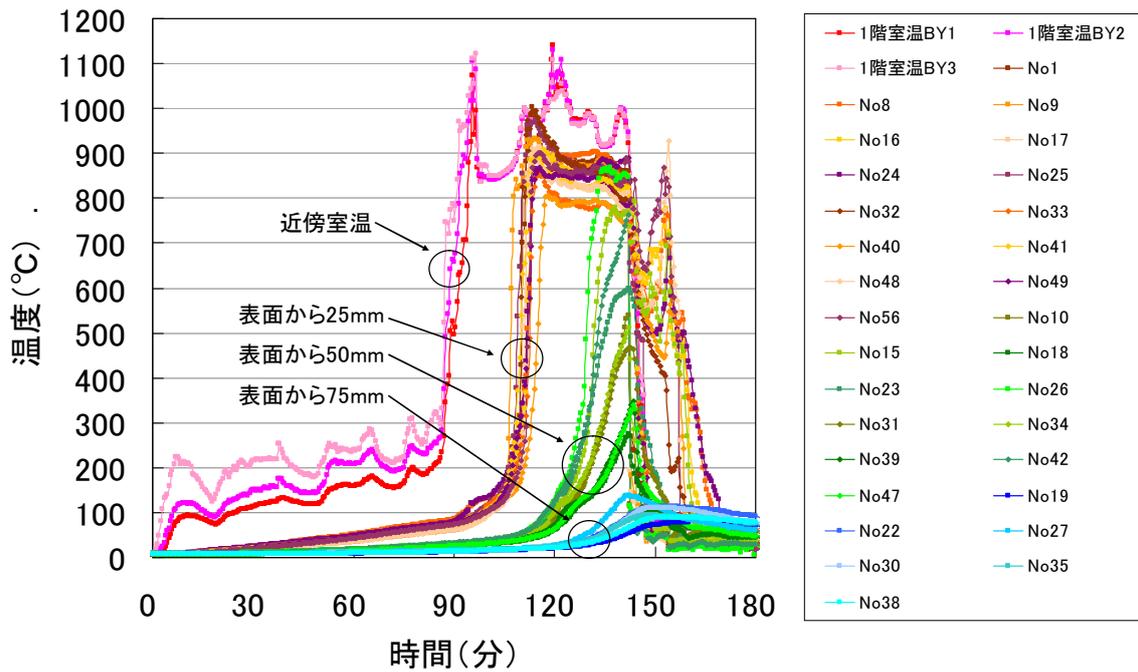


図 3.7.3-23 短辺方向の柱内部温度と炭化速度
(表面から 25、50、75mm)

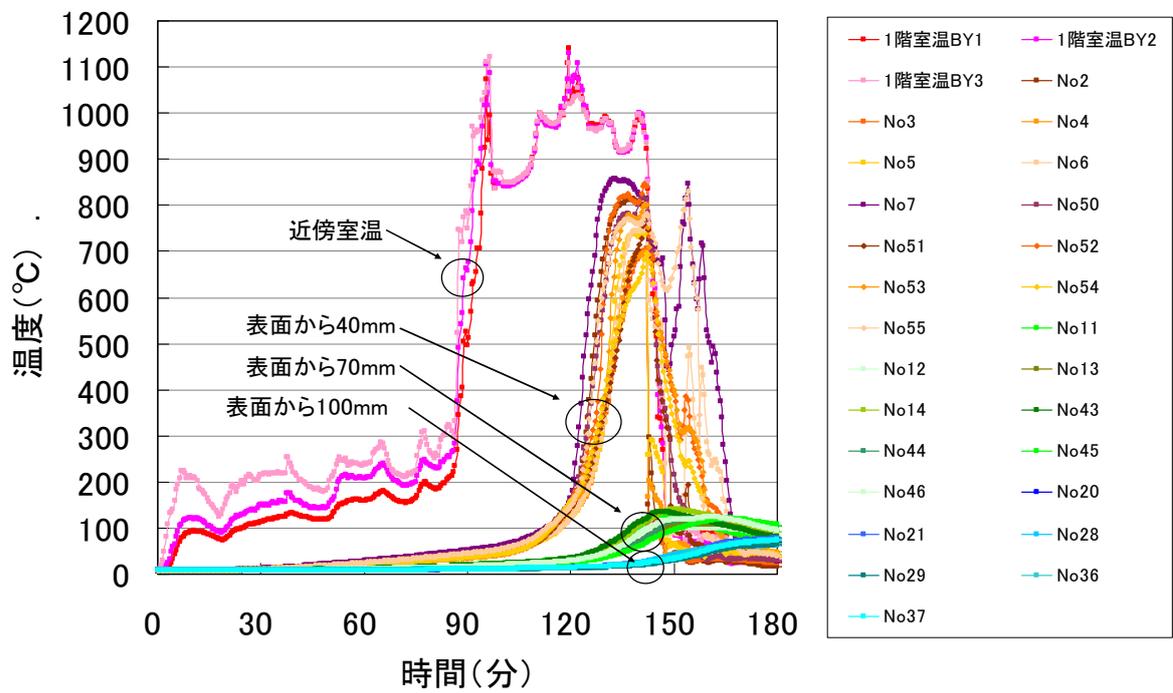
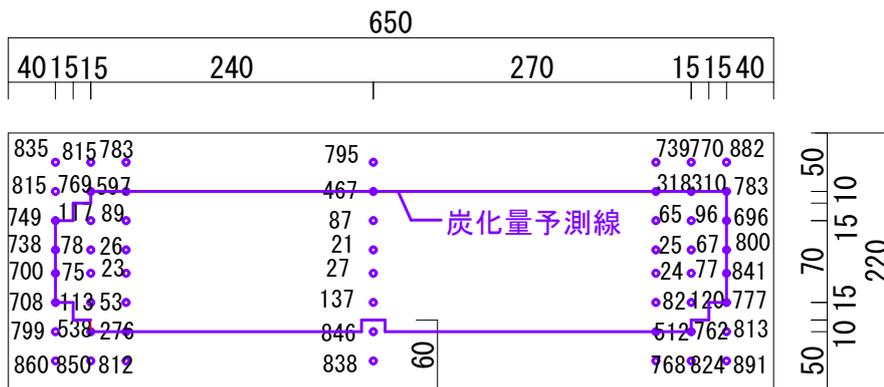
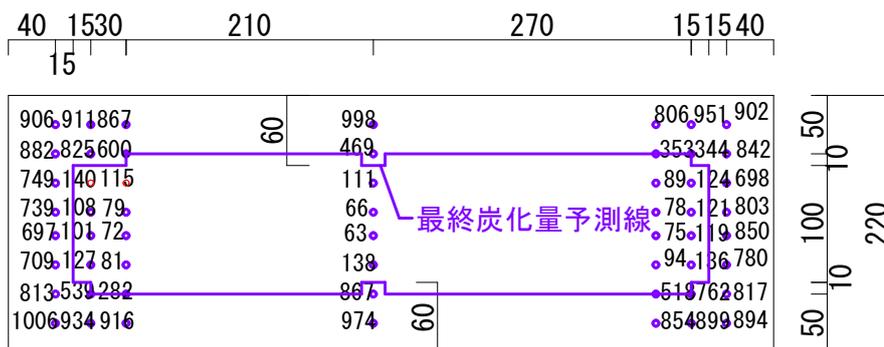


図 3.7.3-24 長辺方向の柱内部温度と炭化速度
(表面から 40、70、100mm)



▲消火142分時の各部の温度 (°C)



▲各部の最高履歴温度 (°C)

図 3.7.3-25 柱断面内温度分布と炭化量予測線

独立柱の支持能力の検証（残存断面の解析）

独立柱の残存耐力の予測を文献⁴⁵⁾をもとに下式を用いて行った。残存断面は安全側をみて簡易的に柱の四周の炭化量が60mmであったとし、偏心はなかったと想定した。予測座屈荷重を P_k とすると、(3.1)式により算出できる。

$$P_k = k^2 (\pi^2 EI / \ell^2) \quad (3.1)$$

k=端末条件係数 1*

E=ヤング係数 80t/cm² **

I=等価断面二次モーメント 32,057,975mm⁴ ***

ℓ=座屈長さ 3,350mm

* 両端ピンで偏心がない条件として1を採用

** 試験体の対称異等級材 E105-F300 は、燃焼前のみかけのヤング係数は E105 だが、燃焼すると周囲の強度の高いラミナがなくなり内層ラミナ E80 の割合が多くなるため E80 を採用した

*** 220×650mm の元断面から周囲 60mm を炭化した分として削って熱劣化で補正した値

(3.1)式により、予測座屈荷重 P_k は約 220kN となり、独立柱にかかる初期軸力 133kN を上回っていた。このことから、消火が終わっても座屈しなかった理由は残存断面に余裕があったためと推定できた。

2) 床

着火点である職員室上部にある 2 階普通教室床の温度を示す図 3.7.3-26、27 をみると、火源からの熱気流の影響で天井表面(2BYf-1,2DYf-1)は 100℃～200℃の余熱を約 80 分間受け、職員室(西)(1BY,1EY)が 450℃となる 90 分頃から急激に温度上昇した。

着火点を含む職員室(西)の上部 2 階普通教室(西)床の温度を示す図 3.7.3-26 から、117 分 (67 分)に強化せつこうボード 2 枚目裏 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)の上部 2 階普通教室(東)床の温度を示す図 3.7.3-27 から、138 分 (88 分)に強化せつこうボード 2 枚目裏 2DYf-2 および床面構造用合板下 2DYf-3 が 450℃を超え、天井内部への延焼が確認された。

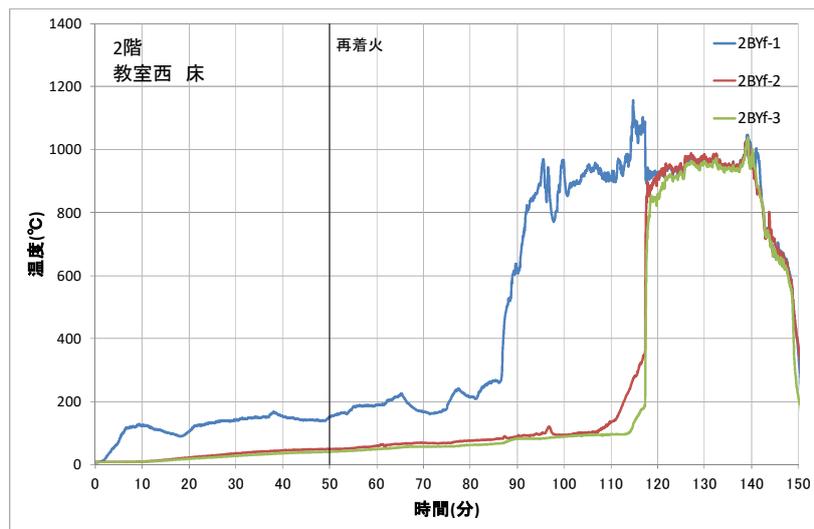


図 3.7.3-26 2 階普通教室(西)床温度

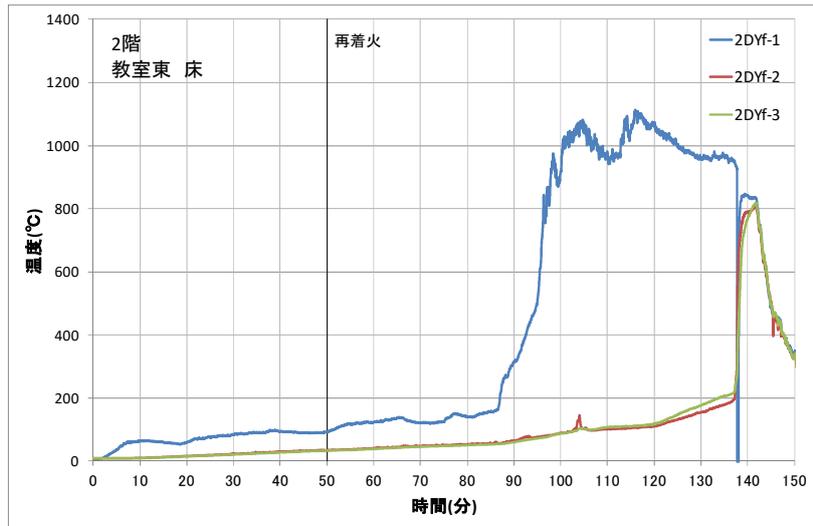


図 3.7.3-27 2階普通教室(東)床温度

3階普通教室(西)床の温度を示す図 3.7.3-28 をみると、職員室 1BX が 450°C となった 90 分頃から天井表面 3BYf-1 の温度が上昇し始め、2階普通教室(西)2BX が 450°C となる 130 分頃から急激に温度上昇した。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 100°C 以下で、天井内部への延焼はなかった。

3階普通教室(東)床の温度を示す図 3.7.3-29 をみると、職員室 1BX が 450°C となった 90 分頃から天井表面 3DYf-1 の温度が上昇し始め、2階普通教室(東)2DY が 450°C となる 136 分頃から急激に温度昇した。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 100°C 以下で、天井内部への延焼はなかった。

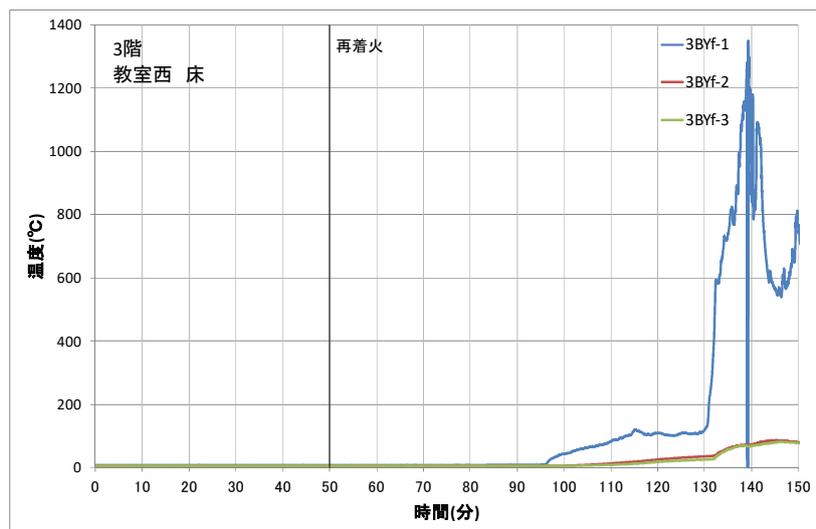


図 3.7.3-28 3階普通教室(西)床温度

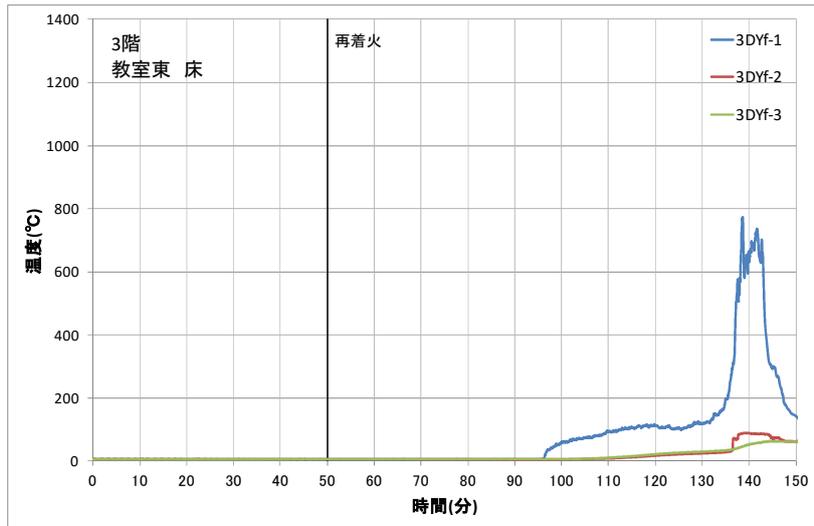


図 3.7.3-29 3階普通教室(東)床温度

3) 腰壁

1階職員室南側腰壁の温度を示す図 3.7.3-30 から、火源成長に伴い室内側ボード裏温度が上昇し始め、職員室 1BX が 450°C となった 90 分頃には、窓からの噴出火炎によって両面加熱となりサイディング表面温度 1BXn-3 が上昇し始めた。105 分(55 分)頃には腰壁内部は急激に温度上昇し、腰壁内部へ延焼した。

2階普通教室南側腰壁の温度を示す図 3.7.3-31 から、職員室 1BX が 450°C となった 90 分頃から噴出火炎によりサイディング表面温度 2BXn-3 が上昇した。2階普通教室 2BX が 130 分に 450°C になるとその約 10 分後の 138 分(88 分)には壁内部(2BXn-1、2)へ燃えこみを確認した。

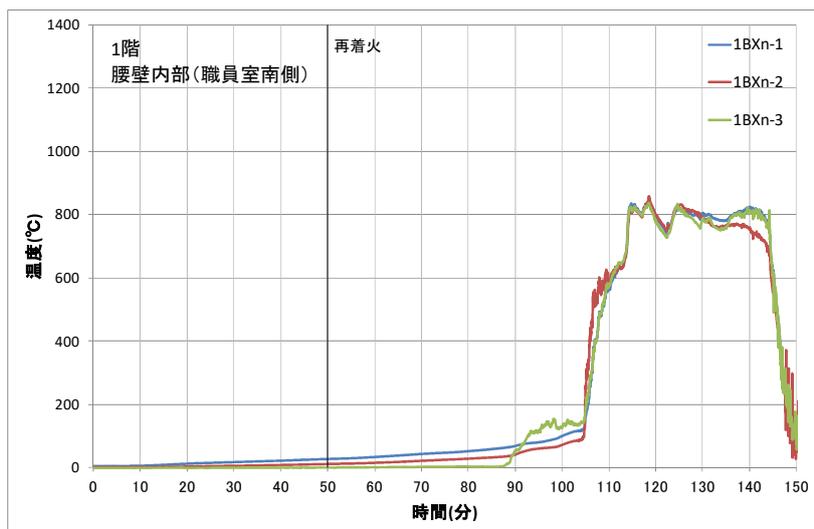


図 3.7.3-30 1階腰壁内部 (職員室南側) 温度

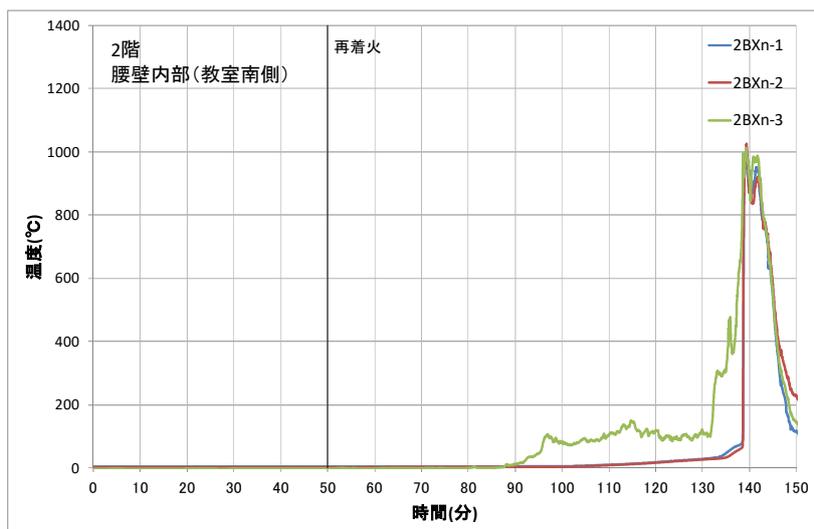


図 3.7.3-31 2階腰壁内部（普通教室南側）温度

3階普通教室南側腰壁の温度を示す図 3.7.3-32 から、職員室 1BX が 450°C となった 90 分頃から噴出火炎によりサイディング表面温度 3BXn-3 が上昇した。2階普通教室 2BX が 130 分に 450°C となると 1階と 2階の噴出火炎を受け 140 分頃にはサイディング表面温度 3BXn-3 が約 600°C に達した。内部温度(3BXn-1、2)は 100°C 以下であった。

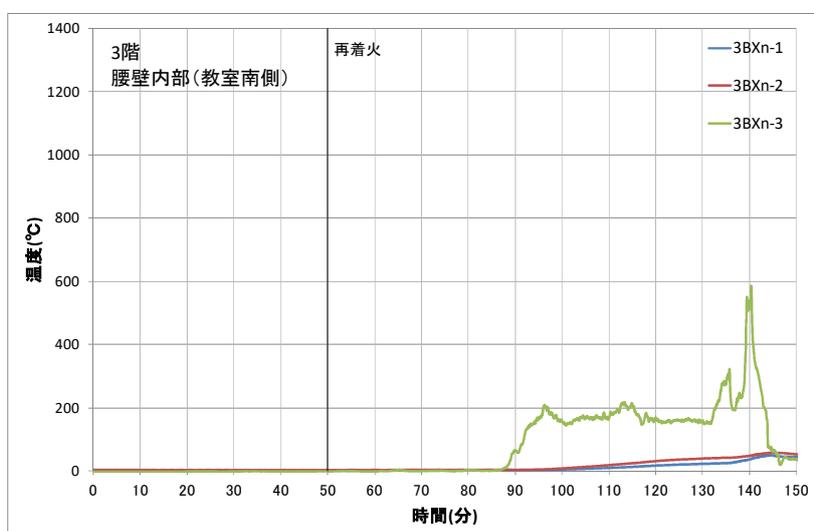


図 3.7.3-32 3階腰壁内部（普通教室南側）温度

4) 防火区画壁

1階防火区画壁内部の温度を示す図 3.7.3-33 から、着火源に近い表面温度は火源の影響を受け温度上昇降下を繰り返し、職員室 1BY が 450°C となる 87 分頃に急激に温度上昇した。高さ 1.5m の合板表面温度 1AYn-3 は 115 分(65 分)頃、高さ 3m の合板表面温度 1AYn-4 は 135 分(85 分)頃 450°C に達したが、裏面最高温度は高さ 1.5m の合板表面温度 1AYn-5 は 93°C、高さ 3m の

合板表面温度 1AYn-6 は 76°Cであったことから、裏面への燃えぬけはなかった。

2階防火区画壁内部の温度を示す図 3.7.3-34 から、2階バルコニー腰壁表面 2BXb-1 が 450°C に達する 96分(46分)頃から温度上昇が始まり、2階普通教室 2BY が 450°Cになる 130分(80分)頃から急激に温度が上昇した。内部温度の最大値は合板表面 2AYn-3 が 99°C、裏面 2AYn-6 が 35°C であり、燃えぬけはなかった。

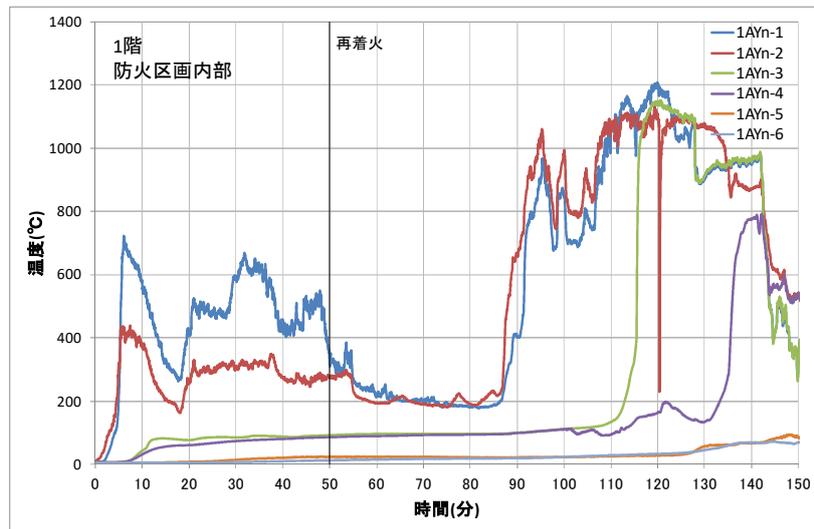


図 3.7.3-33 1階防火区画内部温度

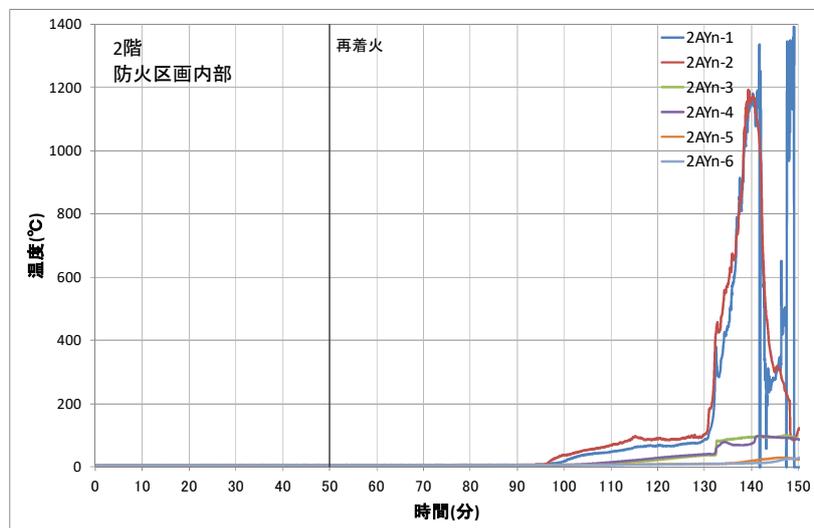


図 3.7.3-34 2階防火区画内部温度

3階防火区画壁内部の温度を示す図 3.7.3-35 から、3階バルコニー腰壁表面 3BXb-1 が 450°C に達する 96分(46分)頃から温度上昇が始まり、3階普通教室(西)3BX が 450°Cとなる 139分(89分)に表面温度(3AYn-1、2)が急激に上昇したものの、内部温度および裏面温度は 100°C以下であり燃えぬけはなかった。

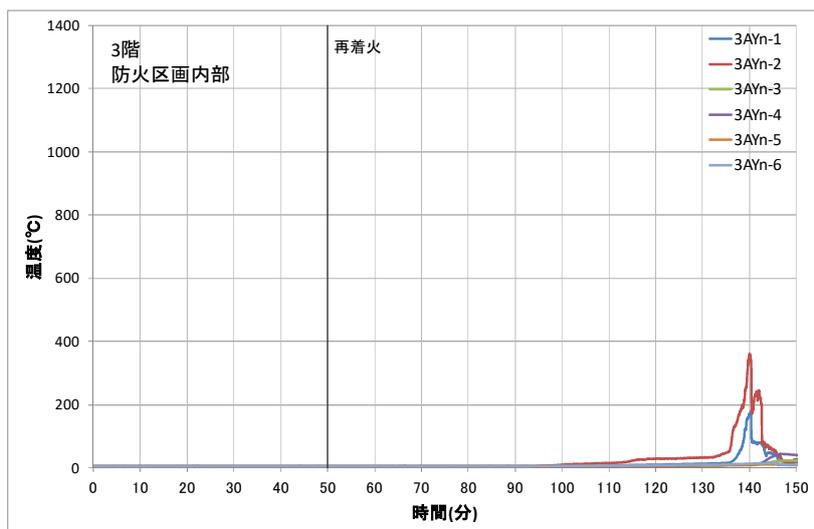


図 3.7.3-35 3階防火区画内部温度

5) 屋根

3階バルコニー腰壁表面 3BXb-1 が下階からの噴出火炎により 96分(46分)に 450°Cに達すると、その1分後の 97分(47分)に3階普通教室(西)の南側窓が割れ始め煙が流入し、屋根西の温度を示す図3.7.3-36のとおり、3階天井表面温度 RCYf-1が上昇し始めた。3階普通教室(西)3BXが 450°Cとなる 139分(89分)には天井表面温度は 336°Cに達した。天井内部の温度は強化せっこうボード裏 RCYf-2 が最大で 45°Cであった。

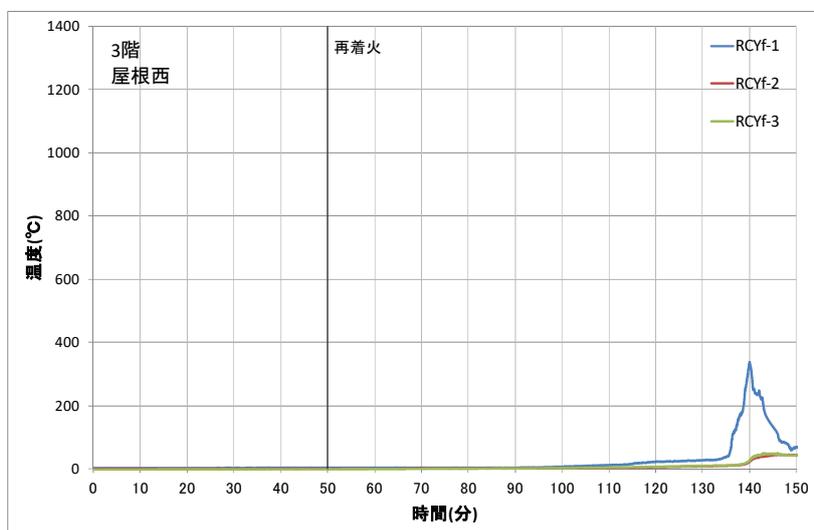


図 3.7.3-36 3階屋根(西)温度

3階普通教室(西)の南側窓が割れ始め煙が流入した 97分頃から、3階天井表面温度 RDYf-1も上昇し始めた。3階普通教室 3BXが 139分(89分)に 450°Cとなり、屋根東の温度を示す図 3.7.3-37のとおり、消火する 142分には天井表面温度は 436°Cに達した。天井内部の温度は最大で強化せっこうボード裏 RDYf-2 の 62°Cであった。

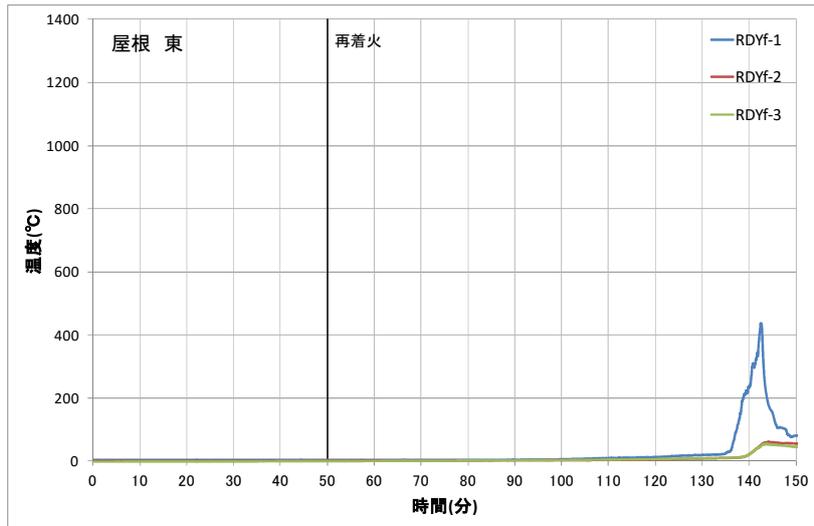


図 3.7.3-37 3階屋根(東)温度

6) 防火壁

1階防火壁内部の温度を示す図 3.7.3-38、39 より、1階職員室(東)1EYが450°Cとなる90分(40分)頃まで強化せっこうボード表面温度(1FXn-1、2、1FYn-1、2)は緩やかに上昇し、その後急激に温度上昇して95分(45分)に強化せっこうボード表面温度1FYn-2が450°Cに達した。しかし、最高温度は1枚目強化せっこうボード裏1FYn-4で114°C、強化せっこうボード2枚目以降の内部温度は全て100°C以下であったことから、防火壁内部への延焼はなかった。

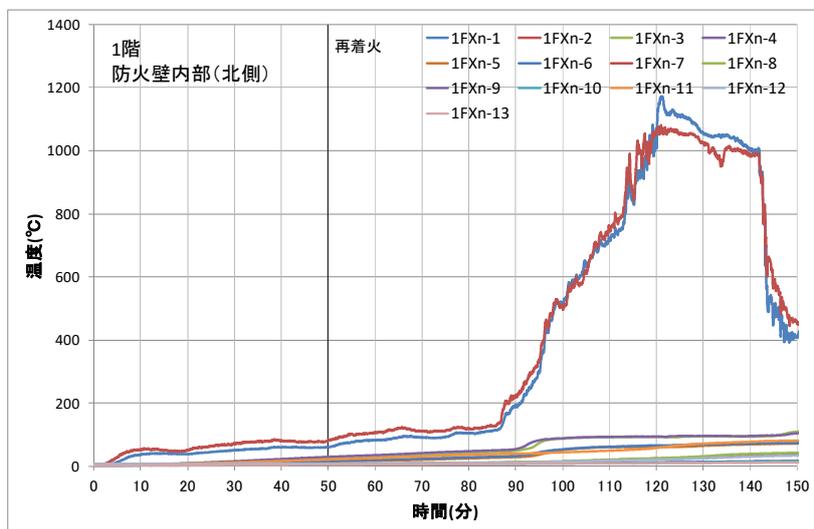


図 3.7.3-38 1階防火壁内部(南側)温度

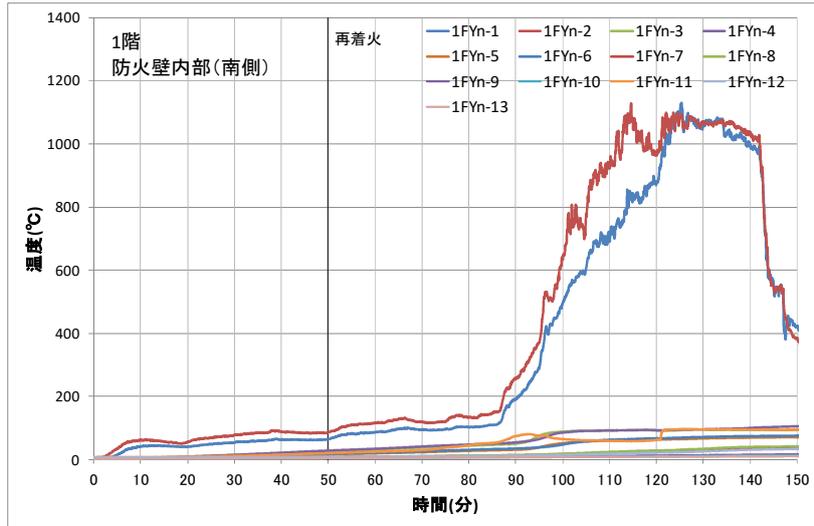


図 3.7.3-39 1階防火壁内部（北側）温度

2階防火壁内部の温度を示す図 3.7.3-40、41 より、95分(45分)頃から強化せっこうボード表面温度(2FXn-1、2、2FYn-1、2)が緩やかに上昇し、2階普通教室(東)2DYが450°Cとなる136分(86分)頃に急激に温度上昇して141分(91分)には強化せっこうボード表面温度2FYn-1が670°Cに達した。

強化せっこうボード2枚目以降の内部温度は全て100°C以下であったことから、防火壁内部への延焼はなかった。

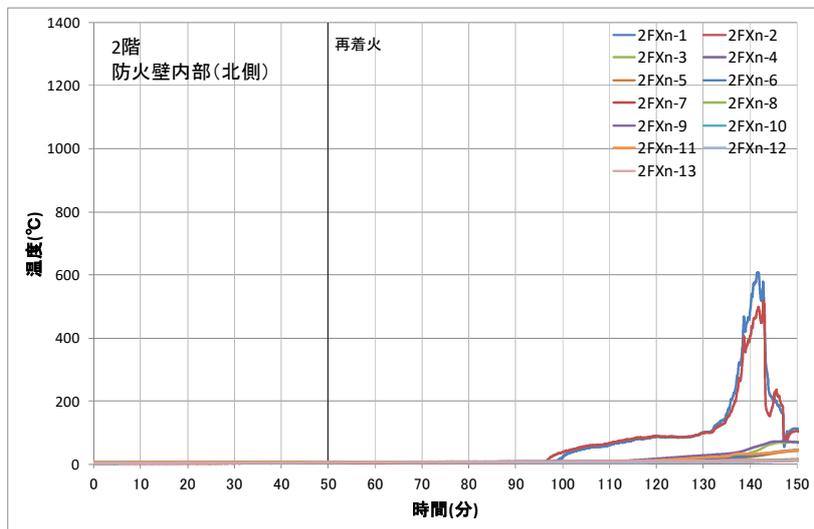


図 3.7.3-40 2階防火壁内部（南側）温度

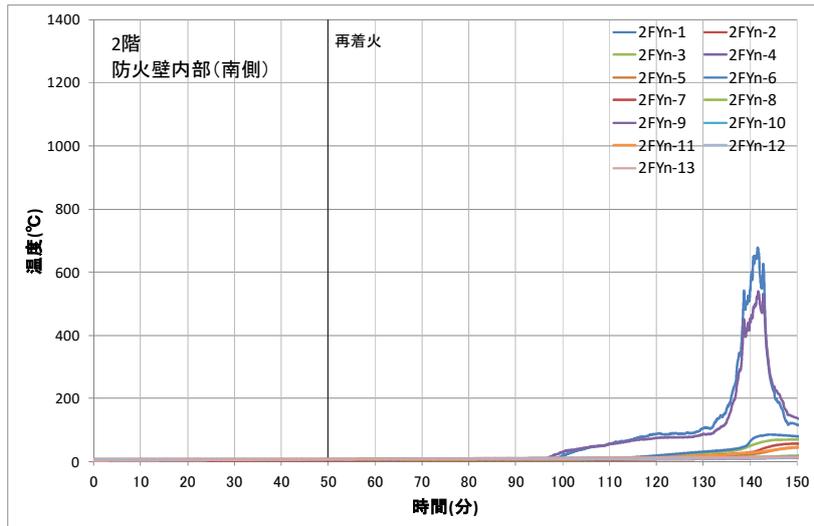


図 3.7.3-41 2階防火壁内部(北側)温度

3階防火壁内部の温度を示す図 3.7.3-42, 図 3.7.3-43 より、97分(47分)に3階普通教室(西)の南側窓が割れ始め煙が流入することで、強化せっこうボード表面(3FXn-1、2、3FYn-1、2)でわずかに温度上昇が始まり、3階普通教室(西)3BX が 450°Cとなる 139分(89分)には急激に温度上昇し 142分には強化せっこうボード表面温度 3FYn-2 が 296°Cに達した。

強化せっこうボード 2枚目以降の内部温度は全て 100°C以下であったことから、防火壁内部への延焼はなかった。

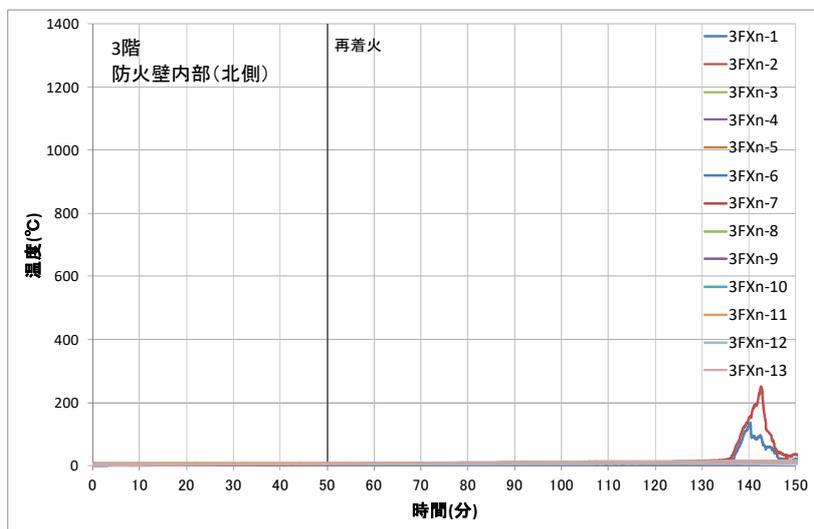


図 3.7.3-42 3階防火壁内部(南側)温度

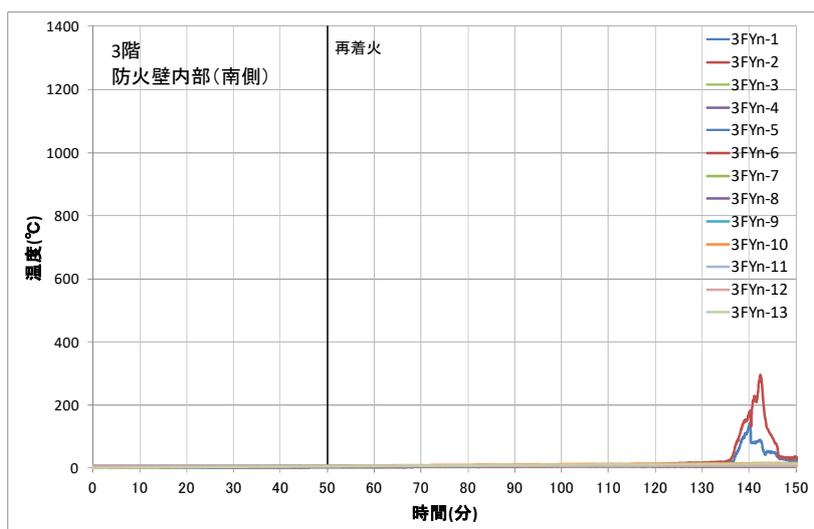


図 3.7.3-43 3階防火壁内部(北側)温度

7) 防火戸

1階階段室側防火戸の温度を示す図 3.7.3-44 から、防火戸近傍の室 1AZ は 450°Cに達する 110分(60分)頃から温度上昇が始まり、最高温度は鋼製枠 1AYd-3 が 245°C、防火戸裏面 1AYd-5 が 66°Cとなり、燃えぬけはなかった。

2階階段室側防火戸の温度を示す図 3.7.3-45 から、防火戸近傍の室 2AZ が 450°Cに達する 136分(86分)頃から温度上昇が始まり、最高温度は鋼製枠 2AYd-2 が 91°C、防火戸裏面 2AYd-5 が 24°Cとなり、燃えぬけはなかった。

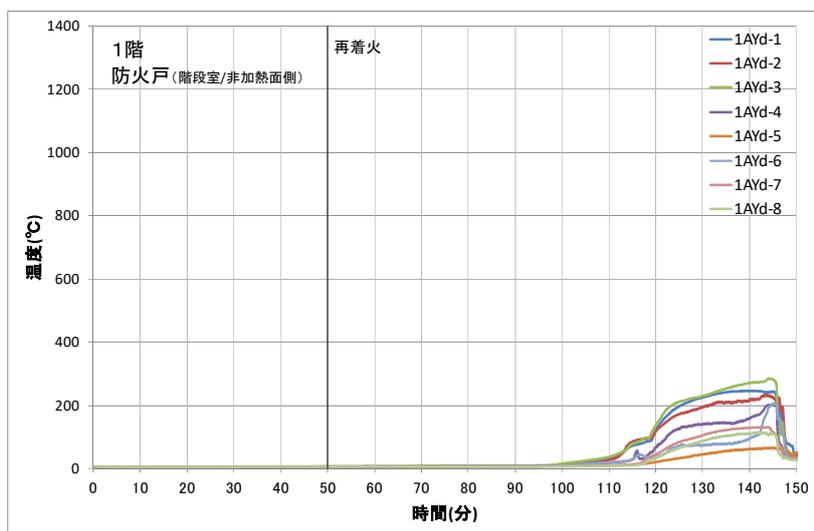


図 3.7.3-44 1階防火戸(階段室/非加熱面側)温度

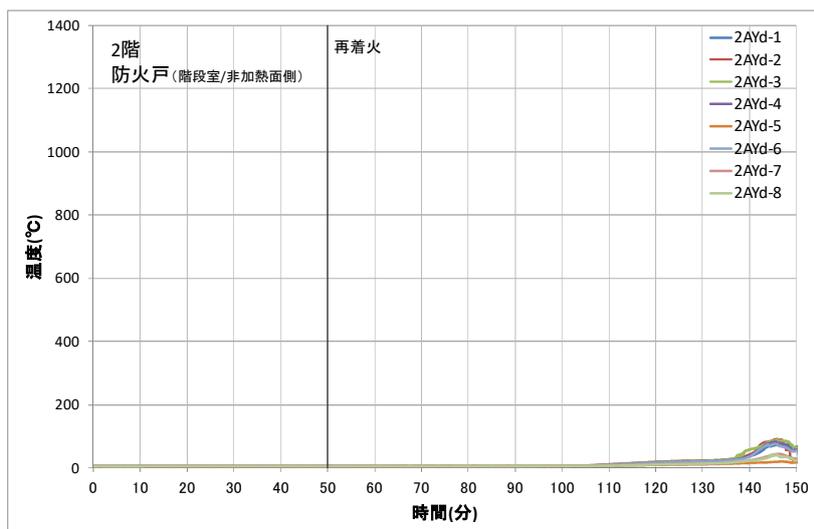


図 3.7.3-45 2階防火戸（階段室/非加熱面側）温度

3階階段室側防火戸の温度を示す図 3.7.3-46 から、普通教室(西)3BX は 450°Cに達する 138 分(88分)頃からわずかに温度上昇し、最高温度は鋼製枠 3AYd-2 が 20°C、防火戸裏面 3AYd-5 が 14°C となり、燃えぬけははなかった。

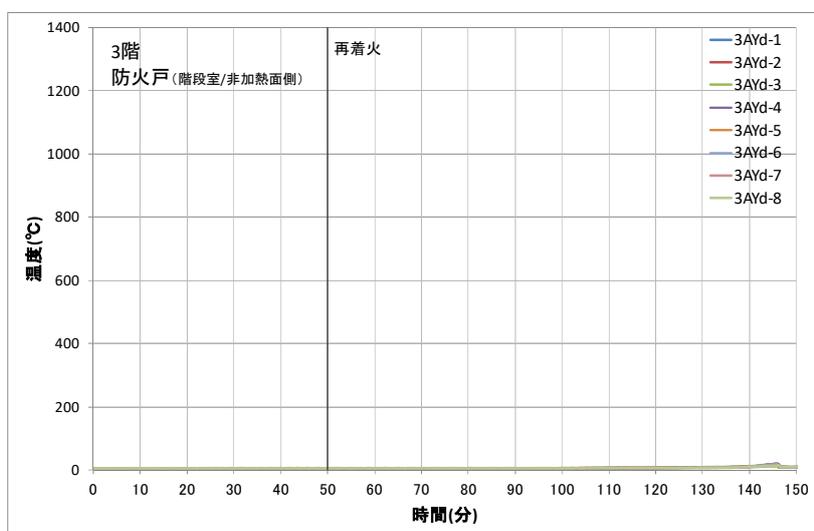


図 3.7.3-46 3階防火戸（階段室/非加熱面側）温度

1階防火壁側防火戸の温度を示す図 3.7.3-47 から、防火戸近傍の室 1EZb は 450°Cに達する 107 分(57分)頃から温度上昇が始まり、最高温度は鋼製枠 1FZd-2 が 259°C、防火戸裏面 1FZd-5 が 74°Cであり、燃えぬけはなかった。

2階防火壁側防火戸の温度を示す図 3.7.3-48 から、防火戸近傍の室 2EZb は 450°Cに達する 134 分(84分)頃から温度上昇が始まり、最高温度は鋼製枠 2FZd-3 が 119°C、防火戸裏面 2FZd-5 が 44°Cであり、燃えぬけはなかった。

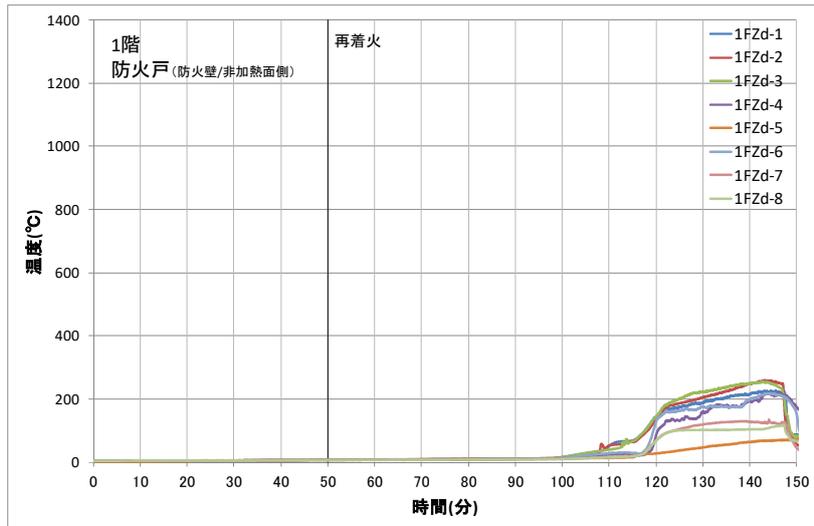


図 3.7.3-47 1階防火戸（防火壁/非加熱面側）温度

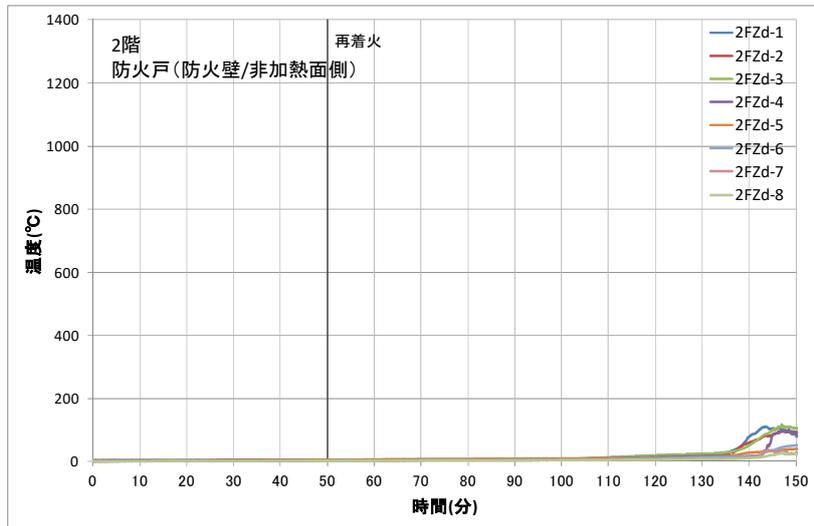


図 3.7.3-48 2階防火戸（防火壁/非加熱面側）温度

3階防火壁側防火戸の温度を示す図 3.7.3-49 から、普通教室(西)3BX は 450°Cに達する 138 分 (88 分)頃からわずかに温度上昇、最高温度は鋼製枠 3FZd-1 が 25°C、防火戸裏面 3FZd-5 が 23°C であり、燃えぬけはなかった。

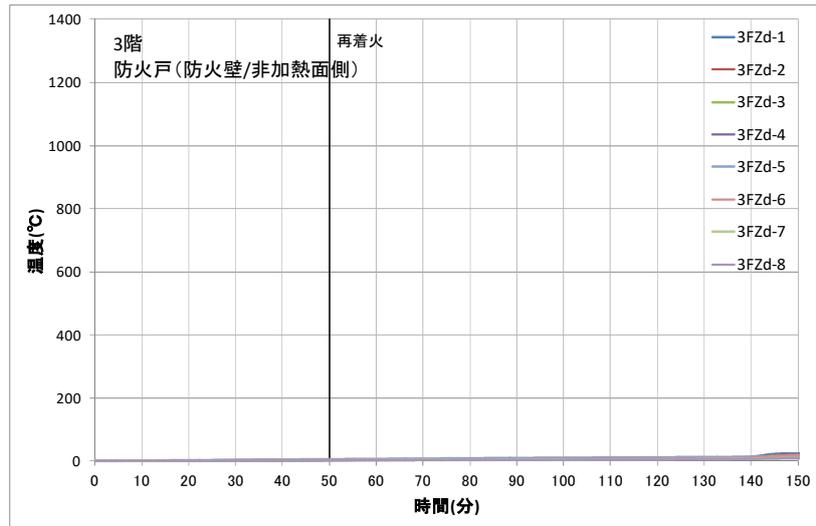


図 3.7.3-49 3階防火戸（防火壁/非加熱面側）温度

8) まとめ

部材温度より確認した部材内部裏面への延焼状況等は下記のとおりである。

- ・柱は、最終炭化量は短手方向で 50～60mm、角を除く長手方向は 55mm 程度となり、鎮火まで柱は座屈することはなかった。
- ・2階普通教室(西)床は再着火から 67 分、2階普通教室(東)床は再着火から 88 分で天井内部へ延焼した。3階普通教室床内部への延焼はなかった。
- ・屋根内部への延焼はなかった。
- ・1階職員室南側腰壁は再着火から 55 分、2階普通教室南側腰壁は再着火から 88 分に壁内部へ延焼した。3階普通教室南側腰壁内部への延焼はなかった。
- ・1階防火区画（階段室壁）は合板表面で 135 分(85 分)に 450°Cとなるが、裏面への燃えぬけはなかった。2、3階防火区画は壁内部への延焼・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 114°C、2、3階含め2枚目の強化せっこうボード内部は全て 100°C以下で、内部・裏面への延焼・燃えぬけはなかった。
- ・防火戸の燃えぬけはなかった。

3. 7. 4 熱流束

(1) 建物内部の熱流束

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。室内に設置された熱電対で測定された温度 $T(K)$ を(2.1)式に代入して算出される放射熱流束 q_r'' kW/m²を火災の進展状況の指標として用いる。

1) 職員室(出火室)の熱流束

図 3.7.4-1 は、職員室 CD-Y ゾーンの机上面レベルに上向きに設置した熱流束計⑪と職員室の室内温度($T-1CY1\sim 4$ 、 $T-1DY1\sim 4$ ツリーのそれぞれの最高温度の平均値)を用いて(2.1)式により算出した放射熱流束 q_r'' kW/m²を示している。

CD-Y ゾーンでは着火から 5 分弱は入射熱流束に変化はないが、5 分以後に 100~200℃の煙が熱流束計を設置した天井付近まで達すると約 1~2kW/m²に上昇する。この状況が 50 分に B-X ゾーンのクリブに再着火するまで継続する。再着火後、徐々に熱流束が増加し 65 分に約 4 kW/m²になるが、約 86 分まで大きな変化はない。その後、室内の温度上昇に伴って熱流束は増加し、約 10 kW/m²に達する。約 94 分(44 分)まで約 10 kW/m²の値を保つが、フラッシュオーバー(F.O)に至り、温度が 1,100℃超に達すると約 290 kW/m²まで上昇する。熱流束計の指示値と q_r'' の変化を比較すると、 q_r'' は約 100 分(50 分)まで机上面レベルの熱流束の傾向を捉えられている。両者の差は対流成分と考えられ、105~115 分(55~65 分)における差は 38~129 kW/m² (平均 78 kW/m²) となり、熱流束の対流成分も大きいことがわかる。

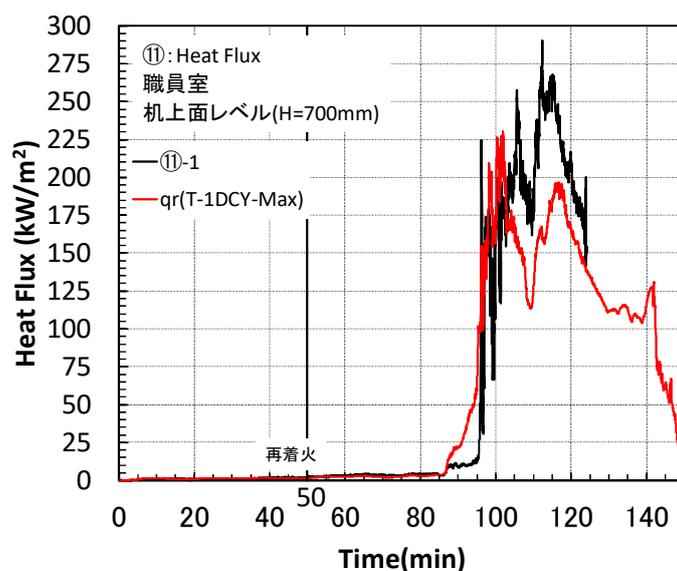


図 3.7.4-1 職員室内の机天板レベルへの入射熱流束

2) 2階、3階普通教室、オープンスペース

図 3.7.4-2 に BC ゾーン 2、3 階の南北開口部へ外向きに設置した熱流束計(⑬、⑭)の測定結果、バルコニーの温度を用いて(2.1)式により計算した放射熱流束を示す。BC ゾーン 2 階の熱流束は、90 分(40 分)過ぎから徐々に増加するが、約 112 分(65 分)までは 5 kW/m^2 以下となる。その後、約 130 分(80 分)まで $5 \sim 15 \text{ kW/m}^2$ 程度となる。130 分(80 分)以降で熱流束が急増するのは、BC-X ゾーンの床の燃え抜けにより 2 階 BC ゾーンも盛期火災に至ったためである。95~132 分(45~82 分)の間、バルコニーの温度 2Bxb-2 による q_r' kW/m^2 よりも実測値が大きくなるが、北側から炎が噴出する 113 分(63 分)以前にも熱流束⑭-2F が約 5 kW/m^2 を示すことから、2 階 BC ゾーンの室内温度の上昇も影響していると考えられる。

3 階 BC ゾーンで、136 分(86 分)に熱流束が急増するのは、床の燃え抜けたことと 1、2 階が同時に盛期火災に至ったことにより、噴出火炎が増大したためである。3 階バルコニーの温度 3Bxb-2 に基づく q_r' もそのとき急増していることがわかる。2、3 階延焼前の 90~130 分(40~80 分)における各階の開口部の熱流束を比較すると、その差は 2 階で $0.1 \sim 14.1 \text{ kW/m}^2$ (平均 1.6 kW/m^2)、3 階で $0.1 \sim 2.79 \text{ kW/m}^2$ (平均 0.7 kW/m^2) となる。南・北ではバルコニー・庇の違いがあるが、その影響よりも室内温度の影響を大きく受けていることが分かる。

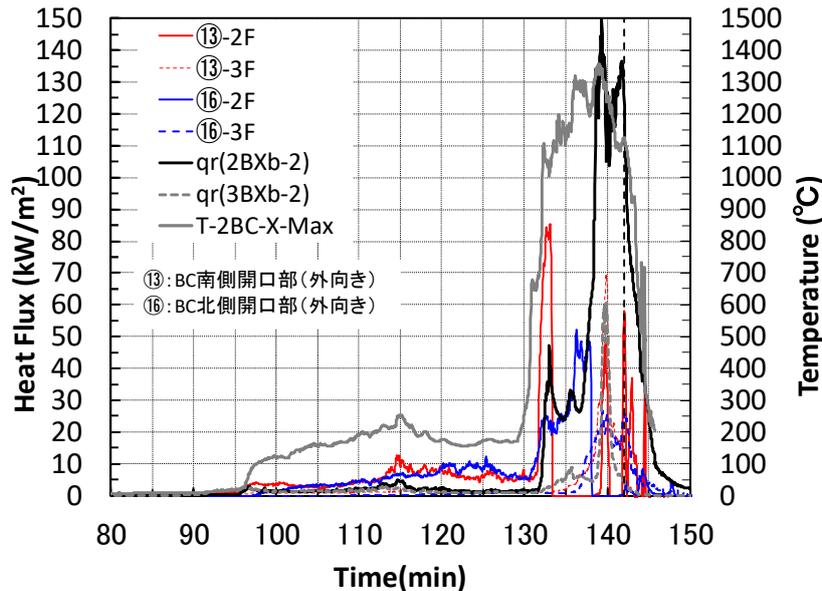


図 3.7.4-2 BC ゾーン開口部の熱流束

3) 階段室

図 3.7.4-3 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、⑬、⑭)の測定結果を示す。図より、A ゾーンの室内における熱流束は非常に小さく、フラッシュオーバー以降も 1.5 kW/m^2 以下となる。

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 138 分(88 分)に最大 1.4 kW/m^2 、141 分(91 分)に 1.5 kW/m^2 の熱流束となった。

4) 防火壁により区画された部分

図 3.7.4-3 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(⑫、⑭、⑮)の測定結果を併せて示す。図より、F ゾーンの室内における熱流束は非常に小さく、フラッシュオーバー以降も 1.5 kW/m^2 以下となる。

F ゾーンの 2 階(⑭、⑮-2F)ではそれぞれ 145 分(95 分)に 0.35 kW/m^2 、142 分(92 分)に 0.21 kW/m^2 、3 階(⑫、⑮-3F)ではそれぞれ 142 分(92 分)に 0.35 kW/m^2 と 0.17 kW/m^2 となった。

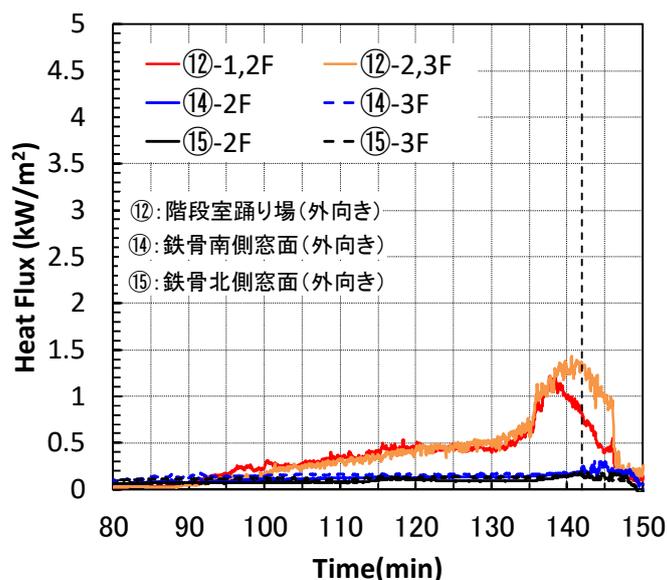


図 3.7.4-3 A、F ゾーン開口部の熱流束(階段室、鉄骨側)

(2) 建物外部の熱流束

1) A ゾーン(南側)

図 3.7.4-4、5 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 3.7.4-4 より離隔距離 3m、1 階開口レベルの熱流束は 90 分以降、 5 kW/m^2 前後で推移し、南側で 3 層全体に火炎が確認された 130~140 分(80~90 分)には、約 9 kW/m^2 に達する。2 階開口レベルの熱流束は 130 分(80 分)までは 1 階よりも小さいが、3 層全体に火炎が確認されると約 14 kW/m^2 となり、2 階開口レベルのほうが大きくなる。3 階開口レベルは 1、2 階に比べて小さく、離隔距離 3m、6m でそれぞれ、 3.4 kW/m^2 、約 4 kW/m^2 の熱流束となった。雰囲気温度も最高で約 40°C であった。

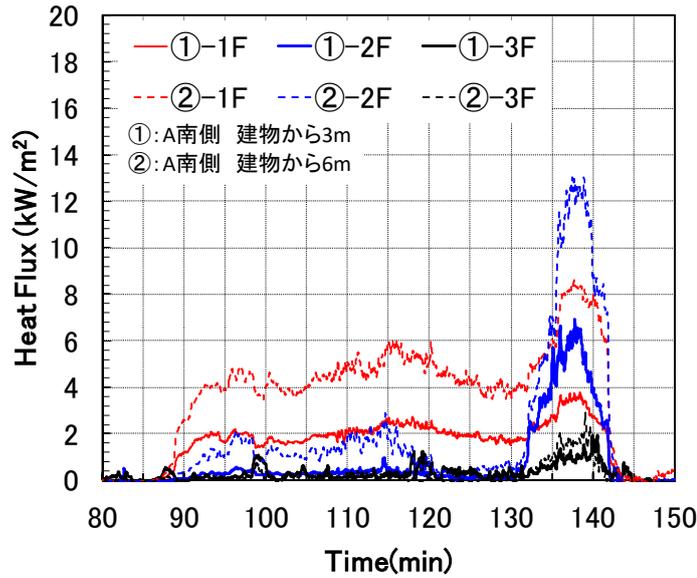


図 3.7.4-4 A ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

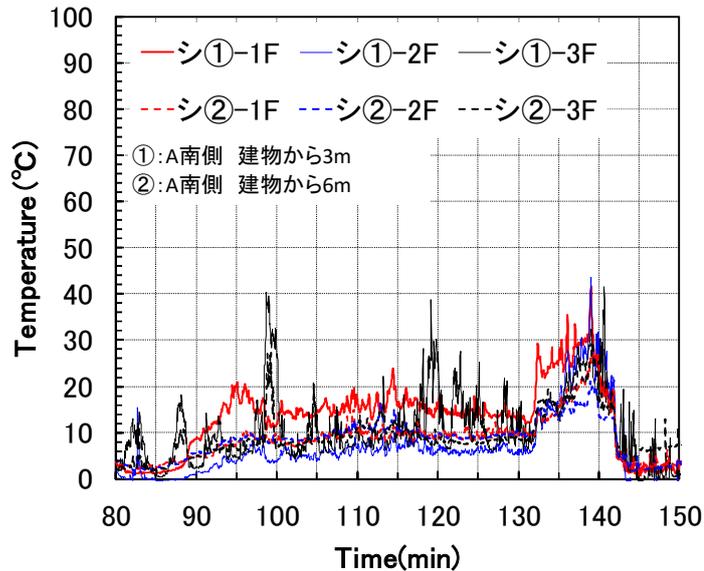


図 3.7.4-5 A ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

2) BC ゾーン(南側)

図 3.7.4-6～9 は BC ゾーン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 3.7.4-6 より離隔距離 3m、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 95 分(45 分)以降、消火まで 80 kW/m² 前後で推移する。離隔距離 3m、2
 階開口レベルの熱流束は、95 分(45 分)以降 20～60 kW/m² で推移するが、130 分(80 分)過ぎから
 上昇し、最大 209 kW/m² に達する。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
 と同様の挙動を示し、最高で 133 kW/m² を示す。図 3.7.4-7 より雰囲気温度は、離隔距離 3m の
 2、3 階開口レベルが高く、火災の進展に伴って、100℃から 600℃程度まで上昇する。また離隔
 距離 3m の 1 階開口レベルの雰囲気温度は最高でも 100℃である。

図 3.7.4-8 より、離隔距離 10m、14m の位置での熱流束は、95～130 分(45～80 分)の間は、それぞれ、13kW/m² 程度以下、7kW/m² 程度以下となる。上階延焼後は増加するが、最大でも 29.3kW/m² 程度である。図 3.7.4-9 のとおり雰囲気温度はほぼ増加せず、20℃以下程度となった。

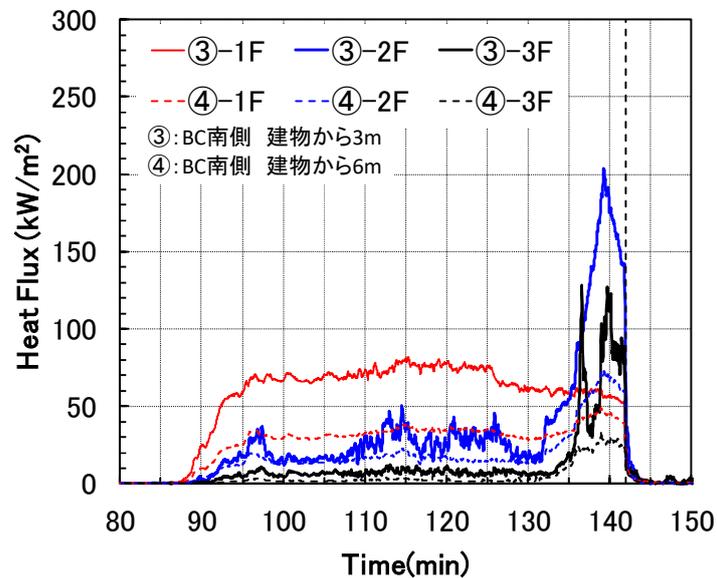


図 3.7.4-6 BC ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

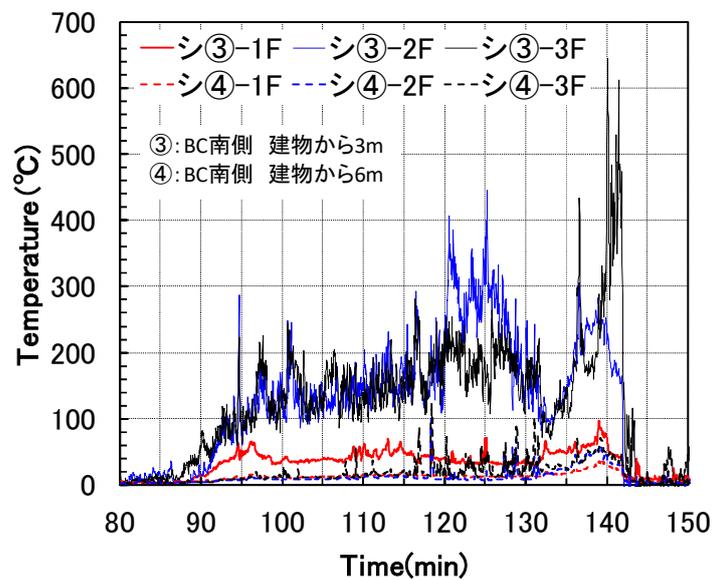


図 3.7.4-7 BC ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

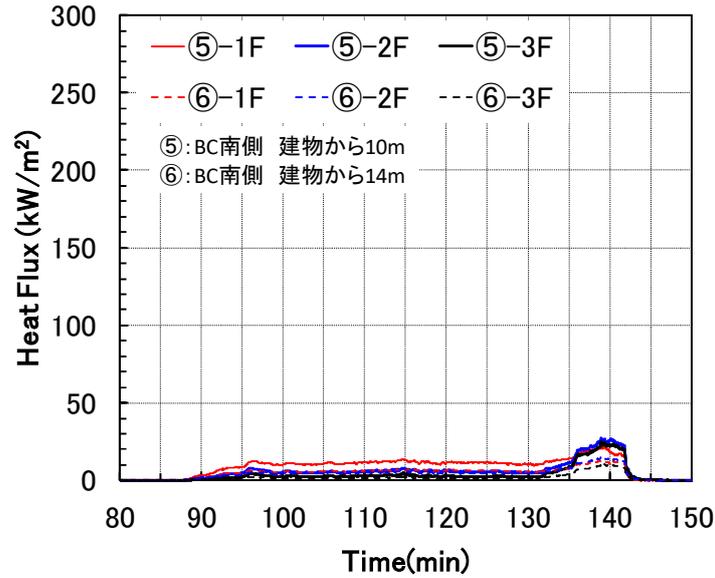


図 3.7.4-8 BC ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

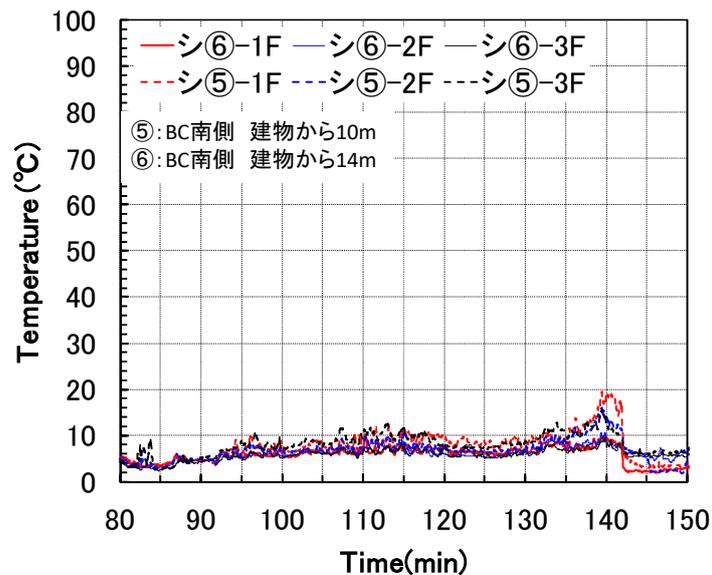


図 3.7.4-9 BC ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

3) DE ゾーン (南側)

図 3.7.4-10、11 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 3.7.4-10 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 95分(45分)以降、消火まで 50～70kW/m² 前後で推移する。離隔距離 3m、2階開口レベルの熱流束は、95分(45分)以降 10～20kW/m² で推移するが、130分(80分)過ぎから上昇し、最大 45 kW/m² に達する。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挙動を示すが、5～10kW/m² 程度小さな値を示す。また、離隔距離 6m の 1階開口レベルで 20～30kW/m² 程度で推移する。2、3階開口レベルの熱流束は

130分(80分)以前は、それぞれ4 kW/m²、1kW/m²程度であるが、130分(80分)以降は急増し、それぞれ約35kW/m²、約20kW/m²に達する。

雰囲気温度は、離隔距離3mの3階開口レベルが最も高く、130分(80分)以前は、60~120℃程度、130分(80分)以後は、約240℃に達する。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100℃に至っていない。

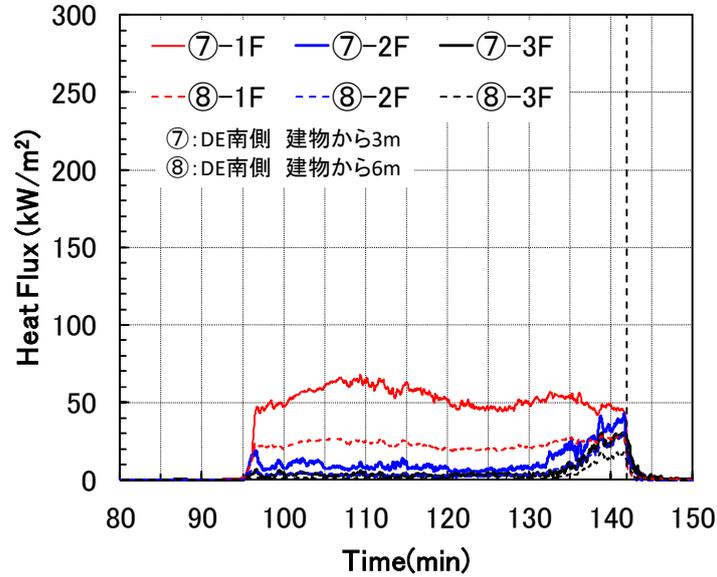


図 3.7.4-10 DE ゾーン南側の熱流束(1~3階、 $L=3$ 、6m)

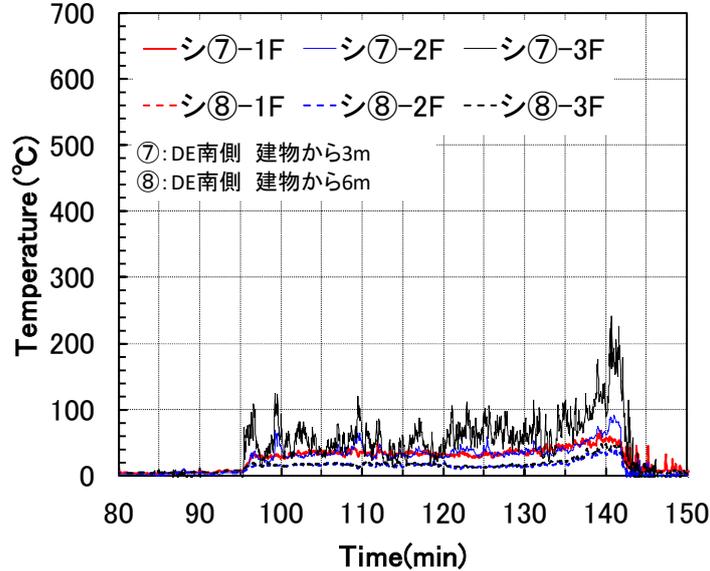


図 3.7.4-11 DE ゾーン南側の温度 (1~3階、 $L=3$ 、6m)

4) BC、DE ゾーン(北側)

図 3.7.4-12、13 は BC ゾーンと DE 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(⑨、⑩)および雰囲気温度を示している。図 3.7.4-12 より離隔距離 3m、1階開口レベルの熱流束⑨-1F、⑩-1F(1階、 $L=3$ m)は北側開口部からの噴出火炎が発生し始める 112分(65分)以降、

消火まで、 50kW/m^2 前後で推移する。

離隔距離 3m、2階開口レベルの熱流束(⑨-2F、⑩-2F(2階、 $L=3\text{m}$)は、112分(62分)以降 10～20 kW/m^2 で推移するが、130分(80分)過ぎから上昇し、最大 150kW/m^2 に達する。離隔距離 3m、3階開口レベルの熱流束(⑨-3F、⑩-3F(3階、 $L=3\text{m}$))も 2 開口部レベルと同様の挙動を示し、最高で 87kW/m^2 を示す。

BCゾーンとDEゾーンの熱流束(③⑦、⑨⑩)を比較すると、南北ともにBCゾーン2階床の燃え抜け後にBCゾーン2・3階の熱流束がDEゾーンよりも増加している。これは床の燃え抜けによりBCゾーン2階開口から大規模な火炎が噴出したためである。

図 3.7.4-13 のとおり、雰囲気温度は、離隔距離 3m の3階開口レベルが最も高く、130分(80分)以前は、 $60\sim 150^\circ\text{C}$ 程度、130分(80分)以後は、約 580°C に達する。また離隔距離 3m の1階開口レベルの雰囲気温度は最高でも 50°C である。

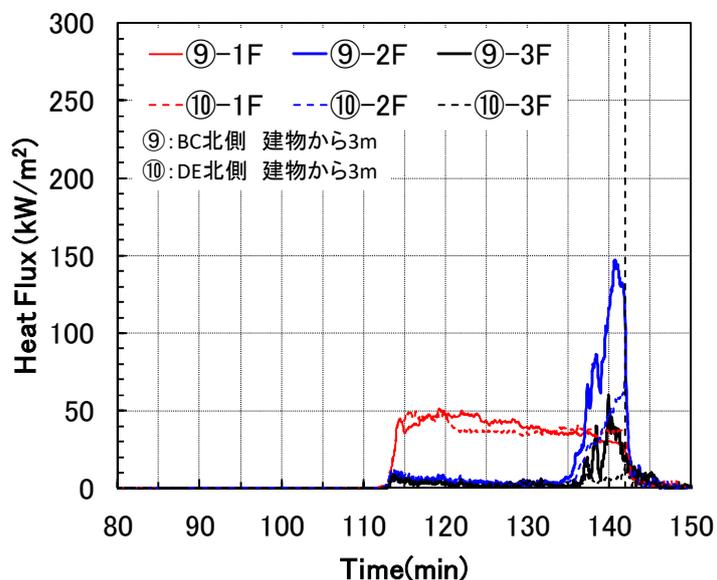


図 3.7.4-12 BC、DE ゾーン北側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

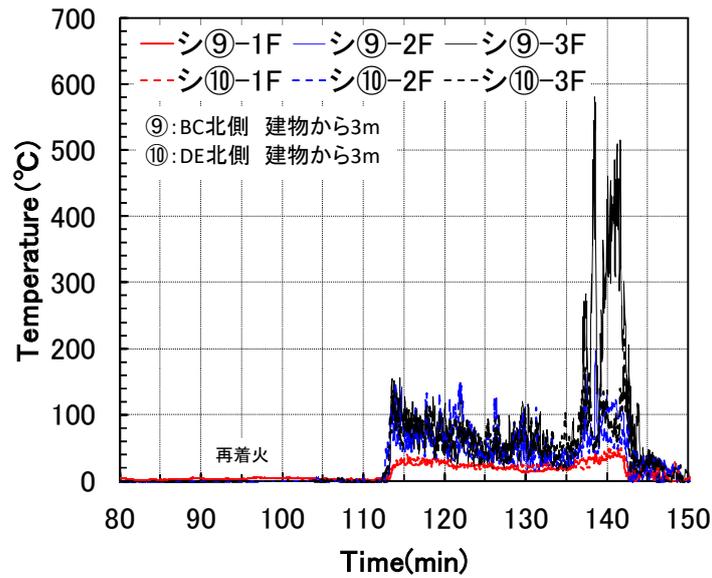
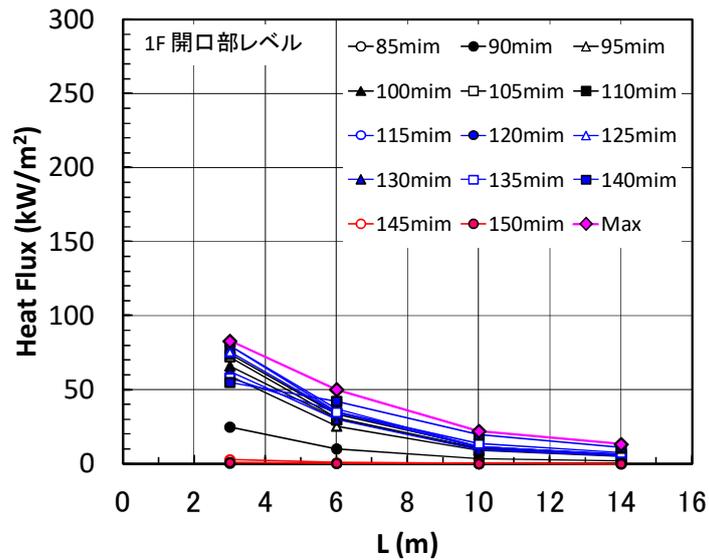


図 3.7.4-13 BC、DE ゾーン北側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

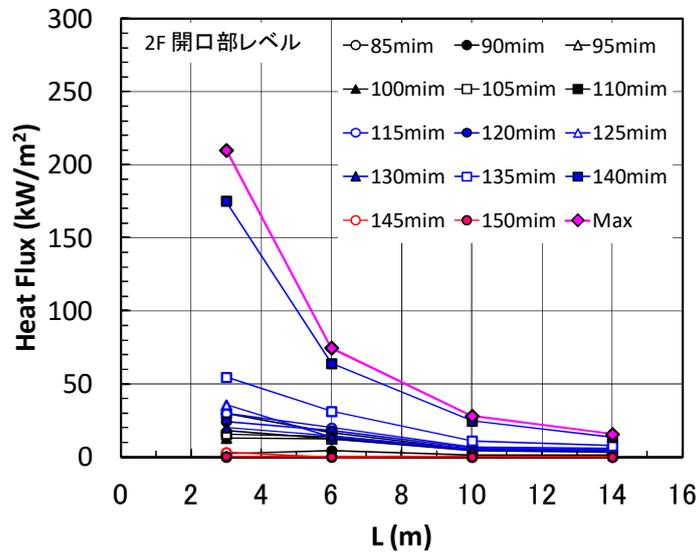
5) 離隔距離 L と入射熱流束

図 3.7.4-14a)～c)は離隔距離 L と熱流束の関係を 85 分(35 分)以降、5 分毎に示したものである。図には熱流束の最大値も示している。いずれの時間においても $L=3\sim 14\text{m}$ の熱流束は L が大きいほど小さくなることがわかる。準備実験では、大きな火炎が水平方向に噴出することはなかった。熱流束が大きくなるのは、予備実験で観測された水平に噴出した火炎が熱流束計に到達したのではなく、上階延焼等の発生により放射面が大きくなることで生じたと考えられる。

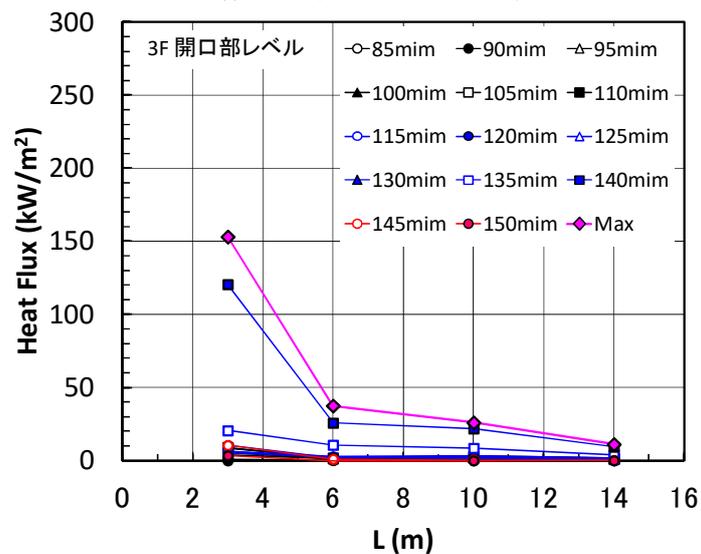
図 3.7.4-14 より 2 階の熱流束が最も大きく、離隔距離 $L=3$ 、6、10、14m でそれぞれ、約 209、75、28、16kW/m² となった。



a) 1階開口中央高さの熱流束



b) 2階開口中央高さの熱流束



c) 3階開口中央高さの熱流束

図 3.7.4-14 離隔距離と入射熱流

3. 7. 5 感知器、スプリンクラーヘッド

火災感知器とスプリンクラーの発報時間の測定結果を、表 3.7.5-1 と図 3.7.5-1、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、1 分 43 秒から 3 分で作動した。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 7 分 40 秒、階段室前が 22 分 10 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 3 分 51 秒、その他は 5 分 47 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 3.7.5-1 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	
準備 実験	1 分 43 秒 (熱) 2 分 46 秒 ~ 3 分 0 秒 (煙) 3 分 51 秒 ~ 5 分 47 秒 (SP)	7 分 40 秒 (煙)	22 分 10 秒 (煙)	1 時間 36 分 53 秒 (熱) 1 時間 35 分 10 秒 (煙)	1 時間 36 分 30 秒 (煙)	1 時間 32 分 10 秒 (煙)

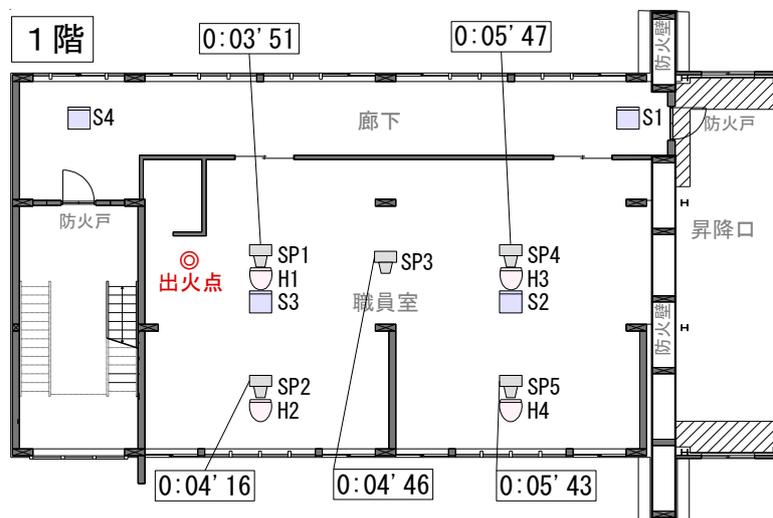


図 3.7.5-1 スプリンクラーヘッド発報時間

スプリンクラー
 作動式スポット感知器 (熱感知器)
 煙感知器



図 3.7.5-2 火災感知器発報時間

3. 7. 6 火の粉

御厩野からの観察（観察地点は図 3.5.6-1 中の×地点）では、写真 3.7.6-1 に示すとおり、実験開始 38 分頃、火源からほぼ真北の山中を白煙が漂ったが、煙は人家まで降りることはなかった。写真 3.7.6-2 に示すとおり、86 分(36 分)には揚煙が目立ち始めた。煙の色はすぐに褐色となった。写真 3.7.6-3 に示すとおり 139 分(89 分)には、煙は火源からほぼ北西に向かって流れていた。150 分(100 分)以降、煙の上昇は徐々に弱まっていった。終始、火の粉が煙とともに移流されてくることは認められなかった。

準備実験では、火の粉の飛散、着床、飛び火に備え、測定、監視を行った。安全面から火の粉の発生防止に配慮したため、結果的に火の粉は観察されなかった。



写真 3.7.6-1 山中の煙 (38 分)

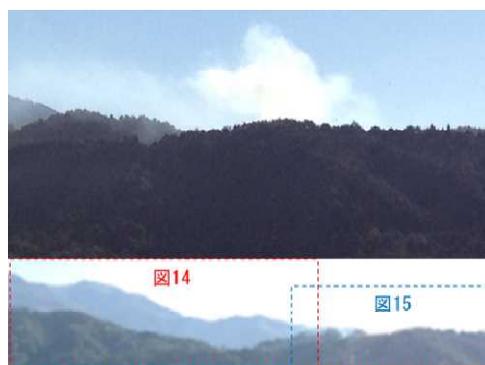


写真 3.7.6-2 揚煙 (86 分(36 分))



写真 3.7.6-3 揚煙 (139 分(89 分))

3. 7. 7 主要構造部および区画の焼毀状況

準備実験においては、142分(92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、2階全体に延焼したものの、3階においては開口部が損傷して火炎が内部に延焼してすぐの時点(3分程度)であった。鎮火後の実験建物を確認したところ、防火壁東側には全く損傷はなく、西側の階段室も袖壁から回りこんだ火炎により若干黒ずんだ部分はあるもののガラスの破損もなく、内部への影響はなかった。一方、燃焼した1階出火室近傍では、構造部材の損傷が著しく、X3-Y3近傍に設置した炭化深さ評価用柱にもかなりの炭化が想定された。

このことより、建物内部に入っの作業は危険と判断されたため、写真3.7.7-1~2に示すとおり解体重機と高所作業車により、建物中央南側上部から順次建物を解体し、部材を採取した。採取された部材には、写真3.7.7-3に示す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、断面サンプルを採取した(写真3.7.7-4)。



写真 3.7.7-1 建物南側上階からの解体の様子



写真 3.7.7-2 構造部材解体・採取の様子



写真 3.7.7-3 解体部材のナンバリング



写真 3.7.7-4 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142分(92分)頃であり、階段室、防火壁東側を除く1、2階全体に延焼し、噴出火炎から3階開口部が損傷して火炎が内部に侵入し、普通教室南側の天井付近温度が450℃を超えた状況であった。

消火は南北それぞれよりから放水銃3基、筒先4本により一斉に放水を行った。放水はおよそ20分間にわたり行われ、表面的な炎はほぼ消火された。しかしながら、その後も梁上側など直接放水できない部分では残火が発生した。実験翌日(2012年11月26日)には、3階床組、3階屋根垂木、棟木上の面止材における残火が確認され、これらへの部分的な放水を行った。さらに、天井仕上げと屋根仕上との間で残火が燃え進んでいたようで、その翌日(2012年11月27日)の19時頃にも再燃したため、放水を行った。最終的にはこの放水で鎮火した。



写真 3.7.7-5 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3.7.7-6、7に示す。防火壁東側には全く損傷は無く、西側の階段室も袖壁から回りこんだ火炎により若干黒ずんだ部分はあるもののガラスの破損も無く、内部への影響はなかった。燃焼のあった部分では、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。

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階ではかろうじてサッシュの残骸が残っていた。また、2階バルコニーには外装の剥落がかなり見られるが、3階バルコニーはわずかであった。ただし、下地の合板はかなり炭化している。一方、1階南側の腰壁は燃え抜けているところも存在したが、1階北側腰壁の外装側はほとんど健全であった。

南側屋根のCブロック付近では軒先のせっこうボードが剥落し、屋根メンブレン内の垂木が炭化している様子が確認された。



写真 3.7.7-6 実験後の実験建物（南面）



写真 3.7.7-7 実験後の実験建物（北面）

2) 1階

1階出火源となる B ブロックおよび C ブロックの状況を写真 3.7.7-8 に示す。職員室側では天井および2階床がほとんど燃えぬけて、梁および柱もかなり炭化して断面が減少している。しかしながら、北側廊下上部の天井はせっこうボードが燃え落ちているものの、せっこうボードの受け材下面が炭化しているのみで、床合板もほとんど炭化していない。また D・E ブロックでは、写真 3.7.7-9 に示すとおり、天井のせっこうボードおよび受け材が燃え落ち、床合板がある程度炭化しているものの、燃え抜けはほとんど見られなかった。



写真 3.7.7-8 1階 B・Cブロック（職員室南側）内部の状況



写真 3.7.7-9 1階 D・Eブロック（職員室南側）内部の状況

壁に関しては写真 3.7.7-10 のように、階段室との区画壁は、出火室側の被覆せっこうボードが剥落し、壁内部の管柱および間柱がかなり炭化したものの、かろうじて非加熱側のせっこうボードが留まっており、燃え抜けなかった。一方、CブロックとDブロックの境界の耐力壁は両面加熱されたため、写真 3.7.7-11 に示すとおり、せっこうボードおよび構造用合板が燃え落ち、管柱および受け材がかろうじて残った。防火壁に接する耐力壁では、写真 3.7.7-12 に示すとおり、内部の管柱等が炭化しているものの、炭化した合板なども残っていることから、Dブロックではやや損傷程度が軽かった。

収納可燃物は、写真 3.7.7-13 に示すとおり、一般形（井桁型に組んだ）クリブはほとんど燃え尽きたが、書籍型のクリブは炭化した塊として残った。



写真 3.7.7-10 1階階段室側耐力壁の様子



写真 3.7.7-11 1階中央耐力壁の様子



写真 3.7.7-12 1階防火壁側耐力壁の様子



写真 3.7.7-13 1階クリブの燃え残り

3) 2階

B・Cブロックは床が燃えぬけているため、写真 3.7.7-14 に示すとおり柱、梁の炭化がそれなりに進展している状況が見られるものの、写真 3.7.7-15 に示すとおり天井は表面側のせっこうボード1枚が脱落している程度で、メンブレン内に火炎は進入していないようであった。



写真 3.7.7-14 2階 B・C ブロック 普通教室の様子 写真 3.7.7-15 2階 B・C ブロック 天井の様子

壁に関しても、写真 3.7.7-16、17 に示すとおり、B・C ブロックでは、階段室側耐力壁、中央間仕切り壁とも、表面側のせっこうボード1枚が部分的に剥落している程度で済んでいる。一方、D・E ブロックでは、写真 3.7.7-18 に示すとおりほぼ剥落は生じていない。

収納可燃物に関しては、床が燃えぬけていない D・E ブロックでは普通教室の机の上に設置した一般型クリブも写真 3.7.7-19 に示すとおり形を残したまま燃え残っていた。



写真 3.7.7-16 2階階段室側耐力壁の様子

写真 3.7.7-17 2階中央間仕切り壁の様子



写真 3.7.7-18 2階防火壁側耐力壁の様子



写真 3.7.7-19 2階クリブの燃え残り

4) 3階

3階の B・C ブロックの状況を写真 3.7.7-20a に、D・E ブロックの状況を写真 3.7.7-20b に示す。開口部はかなり損傷を受けているが、室内は壁や柱の上側半分が黒ずんでいる程度で、机の上に載せた一般型クリブも窓側の上部のものが多少炭化している程度である。

屋根に関しては、写真 3.7.7-21a、21b に示すとおり、軒先の一部が損傷し、垂木部分から天井裏への燃焼が生じた。なお、これらについては、消火活動時も石こうボード等による被覆により保護されていたことにより、残火としてしばらく燃え続けていたと考えられる。



写真 3.7.7-20a 3階 B・C ブロック教室の様子



写真 3.7.7-20b 3階 D・E ブロック教室の様子



写真 3.7.7-21a 南側軒先の損傷と垂木の燃焼状況 写真 3.7.7-21b 南側軒先の損傷の様子

(3) 防火設備の残存状況

防火設備として階段室と防火壁の防火戸の状況を写真 3.7.7-22～25 に示す。1、2階の防火戸は、表層の木質仕上げ部分が焼失して、内部の不燃層が露出していたが、燃え抜け、転倒・脱落などはなかった。また、3階の防火戸はほぼ健全であった。



写真 3.7.7-22 1階階段室防火戸の残存状況



写真 3.7.7-23 1階防火壁防火戸の残存状況



写真 3.7.7-24 防火壁と防火戸の残存状況



写真 3.7.7-25 防火壁防火戸の残存状況

(4) 防火壁の自立性能と残存状況

防火壁の構造は建築基準法施行令第 113 条第一号「耐火構造とし、かつ自立する構造とすること」とあるため、構造的に自重および水平力に対して、自立するよう計画した。図 3.7.7-1 における X4-X5 通り間が防火壁の位置となる。

防火壁の構造は防火壁軸組図(図 3.7.7-2) 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 $t=9\text{mm}$ を張った構造となっている。

構造形式は、壁方向 (Y 方向) は防火戸以外は無開口の耐力壁となっている。面外方向 (X 方向) については $H=15,000\text{mm}$ の片持ち柱として自立する構造として計画した。片持ち柱は途中にジョイントがない 1 本の集成材であるが、柱脚について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) 接合を採用し、構造計算においては柱脚に回転バネを設定した。地震時水平力は柱の負担幅分の重量に $C_0=0.2$ として、 A_i 分布による外力を想定した (図 3.7.7-3 参照)。柱脚接合部の詳細は図 3.7.7-4 のとおりである。計算結果より面外方向 (X 方向) の柱頭の最大変位は $\delta=86.6\text{mm}$ で変形角は $86.6/15000=1/173 < 1/150\text{rad}$ である。部材応力については、変形がクリティカルであるため接合部の耐力の 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 枚貼り (下貼り 15mm 厚、上貼り 21mm 厚) の 1 時間耐火構造である。

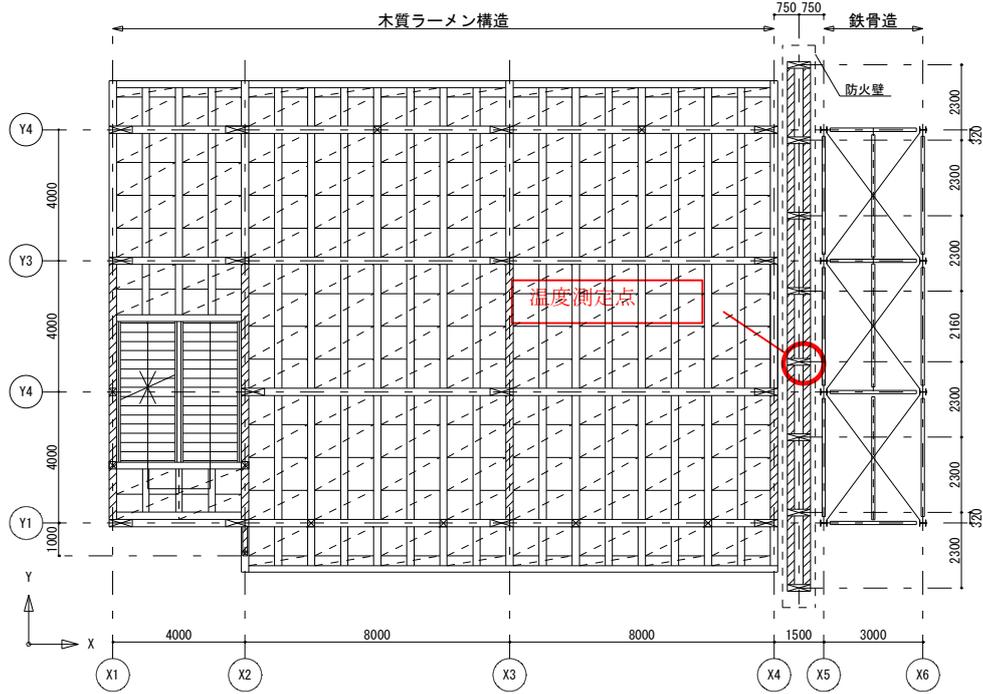


図 3.7.7-1 平面図における防火壁の位置および温度測定点

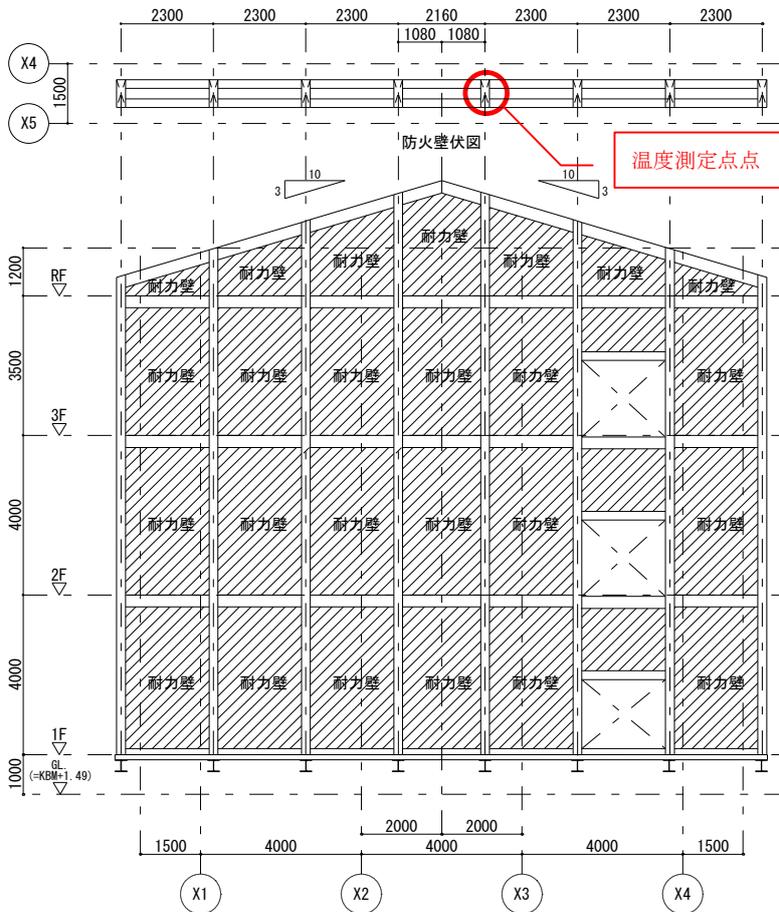


図 3.7.7-2 防火壁軸組み図

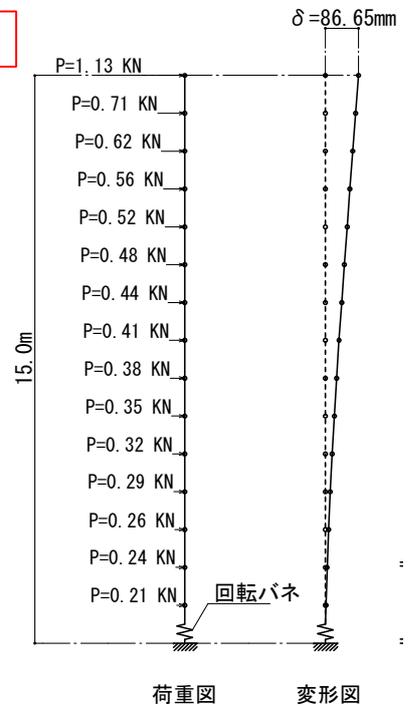


図 3.7.7-3 A_i 分布による外力と変形

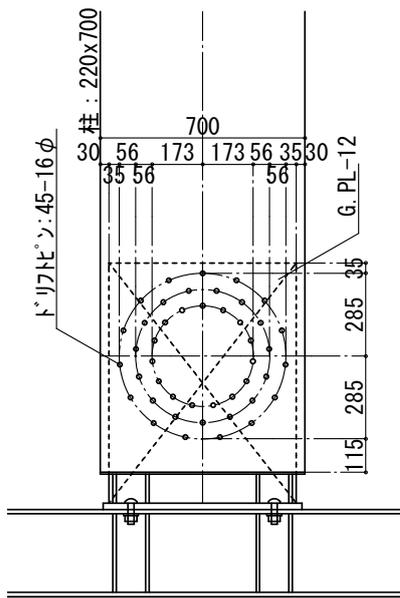


図 3.7.7-4 柱脚接合部詳細図

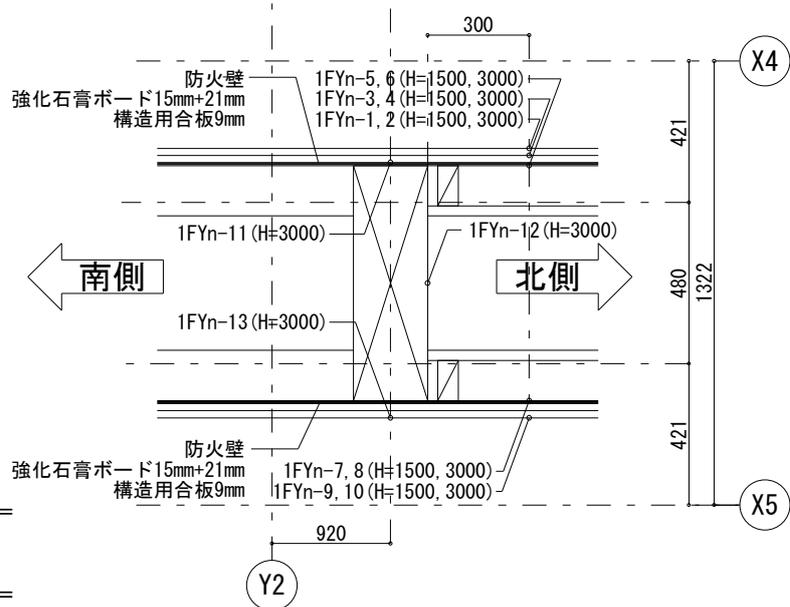


図 3.7.7-5 温度測定点詳細図

試験体における、防火壁の主な温度測定点は図 3.7.7-1 および図 3.7.7-2 の丸印部分で、図 3.7.7-5 に示すとおり、高さH=1.5m と 3.0m の 2 種類の高さで 1FYn-1~13 まで 13 点の温度測定を行った。測定点の温度測定結果を図 3.7.7-6 に示す。

図 3.7.7-6 より、測定点 1FYn-1、1FYn-2 は再着火から 38 分後のフラッシュオーバー (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、これは 1FYn-1、1FYn-2 の測定点が X4 通り側 (出火室側) のせっこうボードの表面温度であるため、直接強い加熱にさらされたためである。しかし、その他の 11 点の壁体内部測定点の温度は、せっこうボードによる被覆のため、いずれも 100°C 程度までしか上がっておらず、木材の炭化温度約 260°C にはまだ充分に余裕がある。故に防火壁内部構造体は、今回の実験の範囲においては、せっこうボードにより火炎のみならず熱も遮られており、火災による損傷はなかったと考えられる。

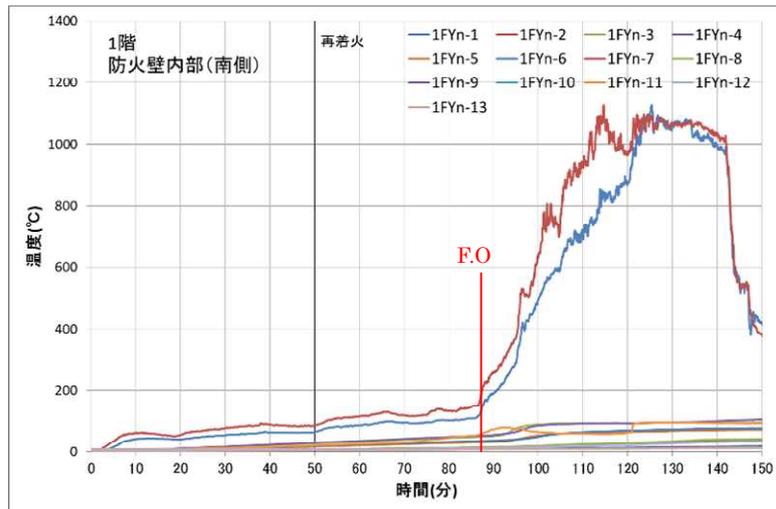


図 3.7.7-6 防火壁における測定温度

実験後、試験体は部材断面サンプル等を採取し、延焼状況を観察ながら、慎重に解体を行った。

写真 3.7.7-26 の赤丸部分は実験直後の防火壁の X4 側の面であるが、放水によりせこうボードが剥落しているものの、防火壁構造体の合板に炭化痕は見られなかった。また、写真 3.7.7-27 は防火壁の X4 側の合板まで解体した全景、および、写真 3.7.7-28 は柱脚部分の状況である。共に、まったく炭化痕は見られず、損傷は見当たらない。また、写真 3.7.7-27 の左上部の左から 3 本目と 4 本目の柱の柱頭部分に一部炭化痕があるが、これは実験後（消火後）も燻っていた残火によるものであり、片持ち柱の柱頭部分であるため、構造的には問題はないと考えられる。



写真 3.7.7-26 防火壁の温度測定における損傷状況



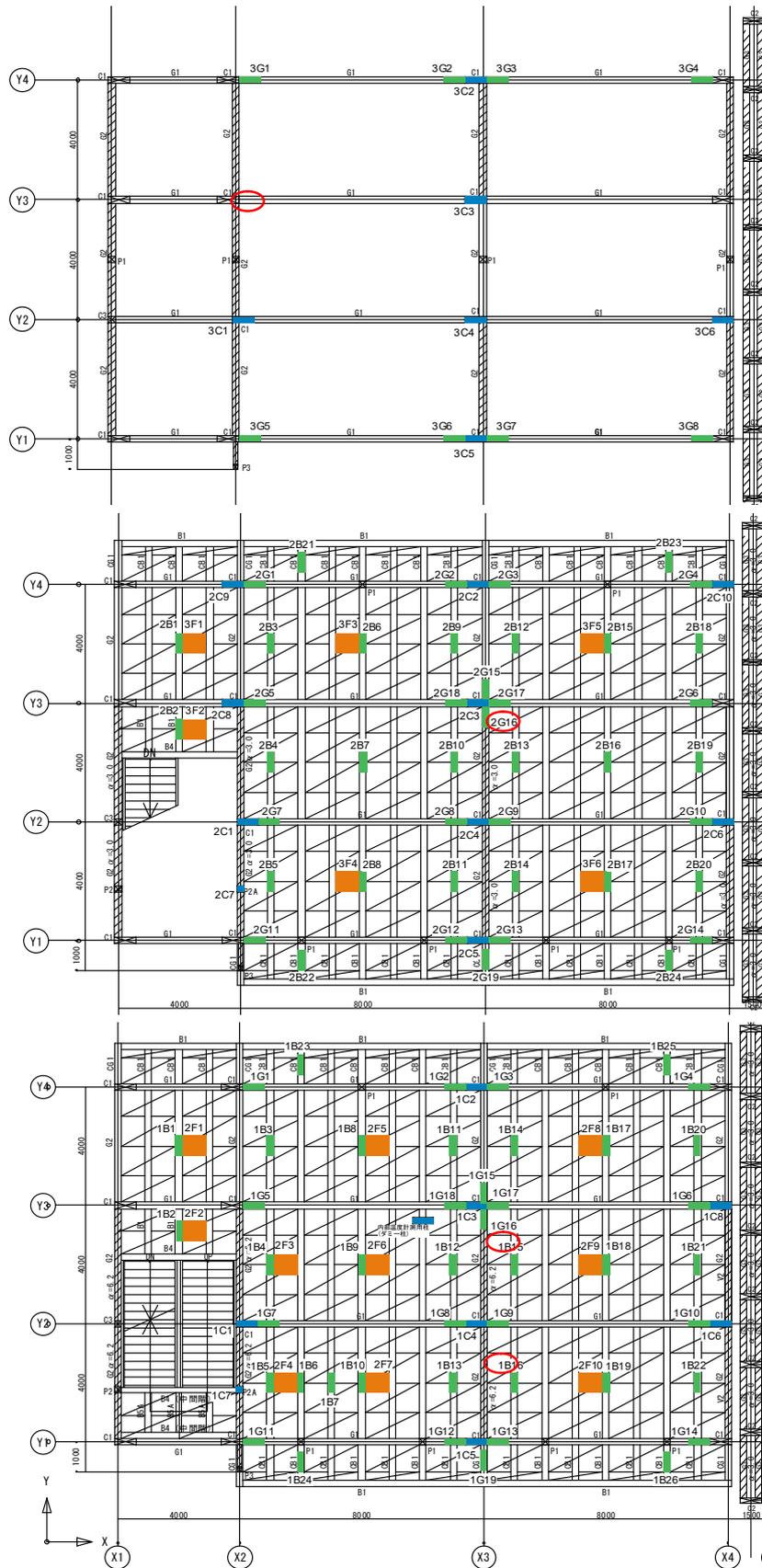
写真 3.7.7-27 合板撤去後の防火壁の状況



写真 3.7.7-28 柱脚接合部の状況

(5) 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 3.7.7-7 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、以下に示す。



採取位置: 梁 柱 床合板 接合部

図 3.7.7-7 解体部材におけるサンプル採取位置

1) 軸組材の残存・炭化状況

木3学の準備実験の解体調査から、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 220×650mm、大梁 220×650mm(3階部分 220×500mm)、小梁 220×350mm 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である。

解体後の実験建物から採取した断面サンプル(写真 3.7.7-29)を用いて、室ごとの軸組材の炭化状況および燃焼時間を把握する(表 3.7.7-1)。



柱 (1C1)



大梁 (1G2)



小梁 (1B7)

写真 3.7.7-29 断面サンプル写真例

準備実験は、実験開始 142 分(92 分)で消火活動が開始され、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測定用の熱電対の温度が 450℃を超えた時間を燃焼の開始時間とし、消火活動が開始された 142 分(92 分)までの時間を「燃焼時間」と定義する。各室の室内温度推移を図 3.7.7-8 に示す。

出火室の 1 階職員室およびその直上に位置する 2 階普通教室では、点火から燃焼開始までに室温が長時間(1 階: 約 72 分間、2 階: 約 35 分間)にわたり 100~450℃程度となった。そのため、1 階職員室の出火源(再点火)付近の軸組材は、100~200℃で約 46 分間、さらにその後 200

～450℃で約 26 分間の予熱を、出火源（再点火）直上の 2 階普通教室では、1 階職員室でフラッシュオーバーが発生した後、100～250℃で 35 分間の予熱を受けたと考えられる。このことから準備実験の 1、2 階の軸組材は、長時間予熱を受けたことにより、燃焼開始前に軸組材含水率の低下や熱分解など、炭化性状へ影響を与える現象が生じていた可能性がある。

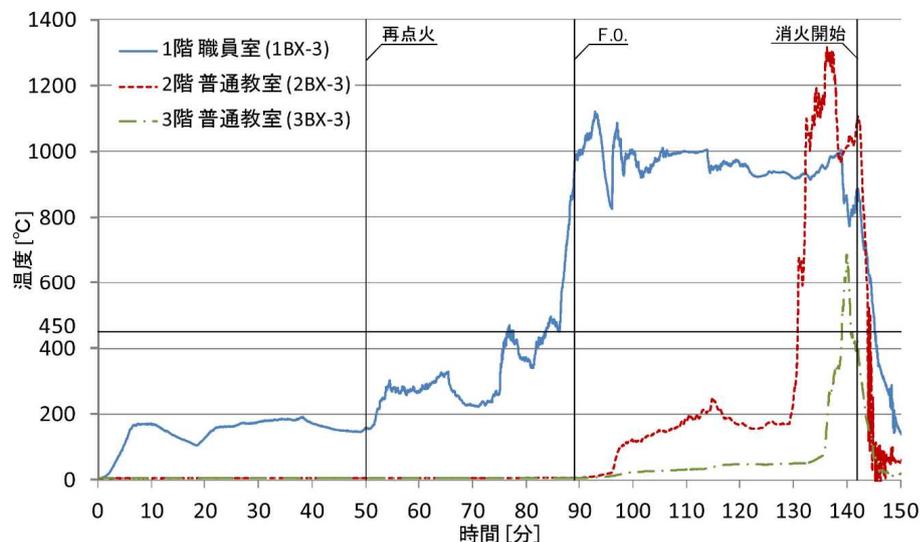


図 3.7.7-8 各階室内温度推移（1、2 階：FL+3.00m、3 階：FL+3.77m）

a. 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 1C3 の断面欠損が最も大きく、56 分間 4 面加熱を受け、4 面全てが 50～55mm 炭化した。1 階の柱は全てが 50～70mm 程度炭化したが、一部壁と接している部分は他の面と比べ炭化が進行していない。特に建物南面、北面に位置する柱 1C5 および 1C2 の屋外側は、噴出火炎を受けたが外装材が残存していたため、20mm 程度の炭化に止まっている。

大梁および小梁は、現しとなる下面に 40～60mm 程度の炭化がみられ、梁側面は天井の燃え抜けにより炭化状況が異なる傾向にある。1 階全体で燃え落ちた小梁はなく、噴出火炎を受けた建物南面、北面の桁梁 1G13 および 1G2 の屋外側は、バルコニーの床や庇と接していたため、20mm 以下と比較的炭化が少なかった。現しではないバルコニー部分の小梁 1B24 が炭化しているのは、周辺の燃焼が進行するに伴い、軒のせっこうボードが脱落し、3 面加熱を受けたためだと考えられる。

b. 2 階軸組材の残存炭化状況

2 階は部材の燃焼時間が 10 分程度と 1 階に比べて少なかった。そのため、2 階の普通教室およびオープンスペースでは、1 階と比べ断面形状が大きく変化するほど炭化した軸組材はなかった。比較的断面欠損の大きい普通教室(北)の柱 2C3 や床の燃えぬけにより延焼した普通教室(南)の柱 2C1、大梁 2G7、小梁 2B5 の炭化は、最大 30mm 程度であった。

c. 3階軸組材の残存炭化状況

3階の普通教室は、2階開口部からの噴出火炎により上階延焼したため、建物南面に位置する大梁 3G5 に 5mm 程度の炭化がみられた。しかし、3階は内外装材のせっこうボードへの損傷が少なく、階全体を通して軸組材における炭化による断面減少は軽微であった。建物北側のオープンスペースの軸組材は、全く炭化しなかった。

表 3.7.7-1 軸組材の炭化状況と燃焼時間

階	室名	部材名			燃焼時間(分)
		柱	大梁	小梁	
1階	職員室 出火源付近 (再点火)	1C1 	1G7 	1B5 	66
	職員室 (南)	1C5 	1G13 	1B24 	1C5:56 1G13:48 1B24:54
	職員室 (北)	1C3 	1G16 	1B12 	56
	廊下	1C2 	1G2 	1B11 	46
2階	普通教室 (南)	2C1 	2G7 	2B5 	12
	普通教室 (北)	2C3 	2G16 	2B10 	11
	オープンスペース	2C2 	2G2 	2B9 	10
3階	普通教室 (南)	3C1 	3G5 		4
	普通教室 (北)	3C3 			4
	オープンスペース	3C2 	3G2 		燃焼なし

2) 接合部の残存・炭化状況

図 3.7.7-9 に準備実験に用いた接合部の詳細を示す。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した。なお、ドリフトピン頂部は現しとなっているため、直接火炎にさらされる形となる（写真 3.7.7-30）。同様に、鋼板を挿入したスリットにおいても木栓は使用しなかった。このようなことから、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などに起因する接合部の耐力低下が懸念された。これら进行评估するため、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。

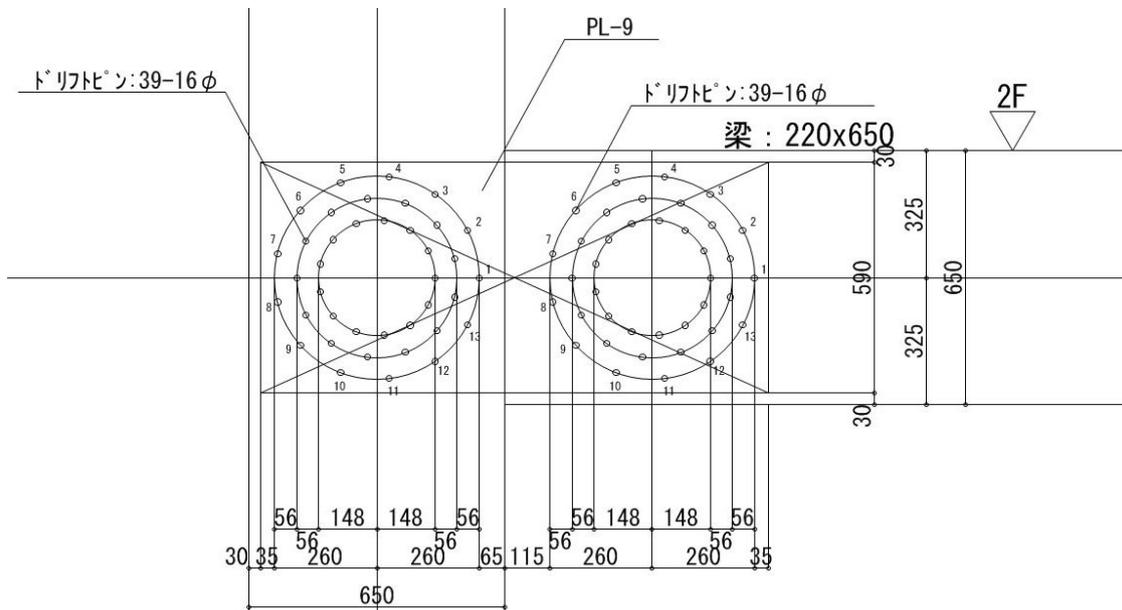


図 3.7.7-9 接合部詳細



写真 3.7.7-30 ドリフトピンの施工状況

写真 3.7.7-31～34 に解体直後の柱梁接合部分の状況を示す。写真 3.7.7-31 は 1 階の独立柱である 1C3 の接合部の状況であるが、到達温度が 1,100℃前後と高い温度に晒されたため梁表層が炭化により欠損し、ドリフトピンが 30～40mm 露出している状態であった。ここで、梁上部の断面が中央部、下部に比べて残存しているのは、せっこうボードで被覆された天井および床が取りついていたことで、火炎にさらされた時間が短かったためと考えられる。ただし、当該接合部近傍では火災途中で 1 階天井が燃え抜けたため、梁上部も炭化したものと思われる。

次にドリフトピン孔の炭化状況であるが、孔頂部で若干の燃え込みが見られた。また、火炎の侵入ではなくピンからの熱伝達が原因と思われる接触面での若干の炭化も見られたが、炭化層は薄く、ピンの緩みなどが発生するほどの孔周りの炭化欠損は確認されなかった。同様に、鋼板周りでの炭化の進行はほとんど見られなかった。なお、ドリフトピンおよび挿入鋼板双方において変形などは見られず、概ね健全といえる状態であった。

写真 3.7.7-32 に 2 階の状況の一例を示す。写真の接合部は写真 3.7.7-31 の直上の柱である 2C3 の状況である。到達温度は 1 階と同様であったが 450℃を超えていた時間が 10 分程度であったため 1 階ほどの炭化欠損は発生していなかった。そのため断面形状もほぼ矩形のままであり、局所的な燃え込みなども確認されなかった。また、2 階天井は燃え抜けが発生せずせっこうボードが残存していたため、梁上部は炭化していない。1 階において確認されたドリフトピン周りの炭化も特に見られず、露出も顕著には見られなかった。挿入鋼板も健全であった。

写真 3.7.7-33 に 3 階の状況の一例を示す。写真の接合部は階段室防火戸脇の柱の状況である。炭化欠損の状況は 2 階とほぼ同様であり、最高到達温度も 260℃前後であった。梁側をすべて取り除き、挿入鋼板の変形を確認したが、反りやゆがみなどは見られず、健全であった。また、梁が取り付けいていた柱表面も炭化は見られなかった。

写真 3.7.7-34 に小梁の接合金物の状況を示す。接合金物が取り付けいた部分では炭化が進行しておらず、小梁の残存状況によっては取り付け部分でほとんど炭化が発生していない状況も確認された。なお、解体時小梁は特に保護しなかったため、接合金物の変形や損傷、ボルトの緩みなどについては検討しなかった。



写真 3.7.7-31 1 階接合部の状況例



写真 3.7.7-32 2階接合部の状況例



写真 3.7.7-33 3階接合部の状況例

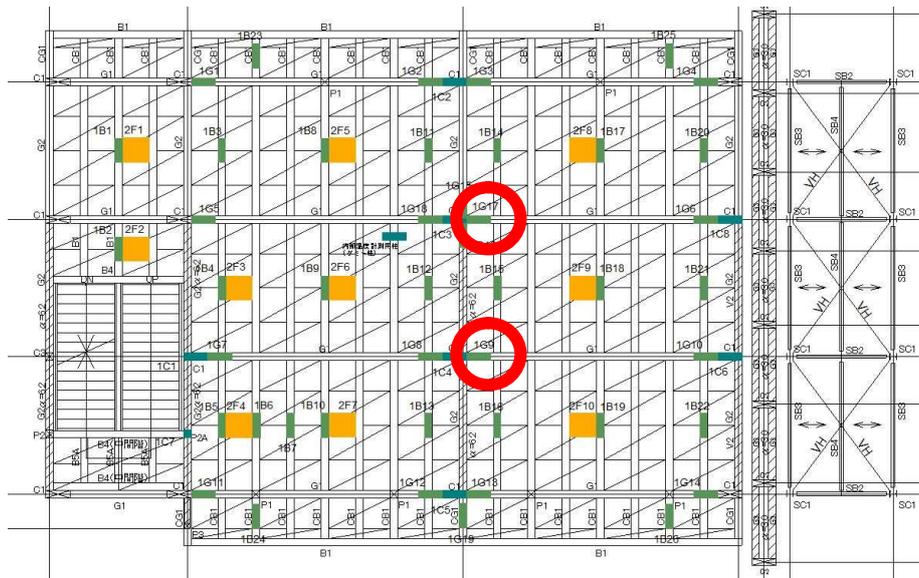


写真 3.7.7-34 小梁用接合金具取り付け部の状況例

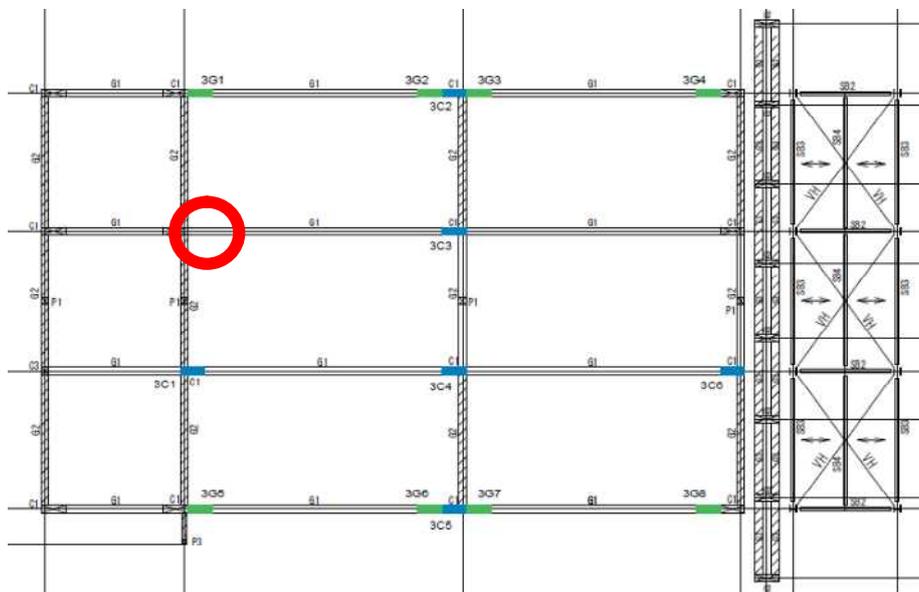


解体後の接合部から梁側の集成材サンプルを採取し、詳細に検討を行った。接合部サンプルの採取位置を図 3.7.7-10 に示す。サンプルは、燃焼が激しかった1階と温度があまり上昇しなかつ

た3階から採取し、比較検討を行った。1階の接合部サンプル採取位置は、燃焼が激しかった1階出火源近傍の独立柱（1C3）に接合された1J3および出火源に対して耐力壁の裏側となる1J4の2カ所とした。3階のサンプル採取位置は、温度が260℃前後であった階段室脇から1カ所（3J0）とした。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および断面欠損の状況を把握するため、切断後の断面から炭化厚さについて評価を行った。なお、サンプルは柱突き合わせから700mm程度の位置で切断したものを使用した。



a) 1階サンプル採取位置



b) 3階サンプル採取位置

図 3.7.7-10 サンプル採取位置

採取した接合部分サンプルの状況を写真 3.7.7-35～38 に示す。接合部断面の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る評価を行った。1階において、炭化による

断面欠損が著しかった柱 1C3 との接合部である 1J3 は、表層がすべて炭化しており、特にドリフトピンで囲われた円中心付近（梁せい中央部）の炭化が進行していた。鋼板周りとなる内部の状況を見ると、ピン孔周りに炭化もしくは変色した領域が見られたが、欠損しているような状況は見られない。1J4 では表層部に一部炭化していない領域が見られた。1J4 は天井仕上げのせっこうボードが脱落せず最後まで残存した場所にあり、炭化していない領域はそのせっこうボードとの突き合わせ面であると考えられる。内部の状況については、1J3 と同様にドリフトピン孔周りおよび梁せい下部に炭化が見られ、それ以外は若干の変色がある程度で健全であった。3階については、梁表し面全体が炭化している状況であったが、天井が崩落しなかったため梁上部の天井仕上げに隠れた部分は健全であった。また梁内部においてもピン孔周りの炭化などはほとんど確認できなかった。

採取したサンプルの状況により、ピン孔や鋼板位置からの直接的な火炎の侵入は発生しなかったものと思われることから本接合部の妥当性に関する有用なデータが得られたが、ドリフトピン周りの燃焼および炭化特性について、いくつか特徴的な状況が見られた。一例を写真 3.7.7-38 に示す。写真 3.7.7-31 や写真 3.7.7-36 で示したとおり、多くのドリフトピン頂部で隅角部における 2 面加熱と思われる要因により燃え込みが確認されたが、一部でドリフトピン周りが逆に炭化していない状況も見られた。これらは燃焼が余り進んでいない部分でいくつか見られたことから、ドリフトピンの熱伝導が木材よりも大きいことに起因する現象であると考えられる。



写真 3.7.7-35 1J3 (1階 Y3X3)



写真 3.7.7-36 1J4 (1階 Y2X3)

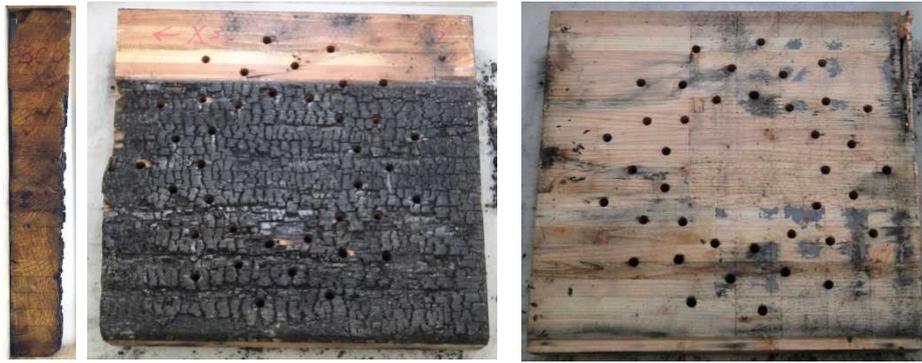


写真 3.7.7-37 3J0 (3階 Y3X2)

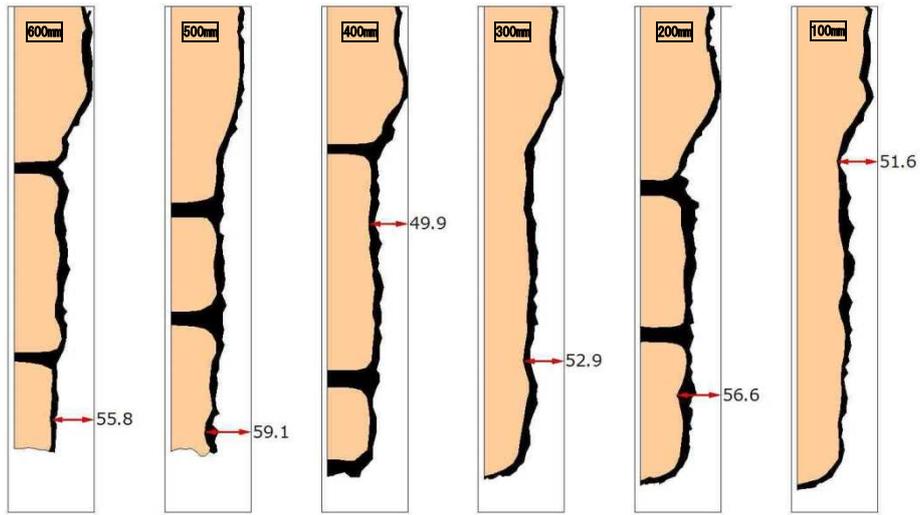


写真 3.7.7-38 ドリフトピン周りの状況

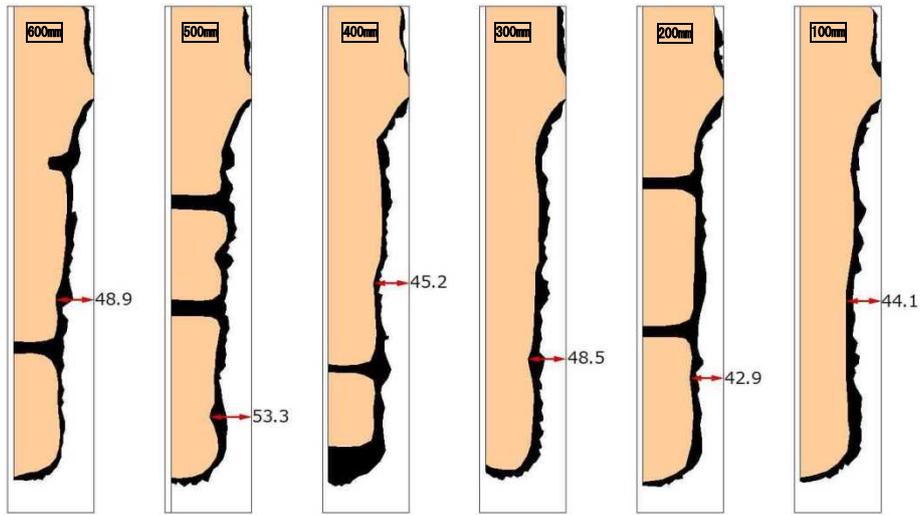
次に、炭化状況評価に使用したサンプルを柱突き合わせ部から 100mm 毎に切断し、その断面から炭化状況を測定した。その結果を図 3.7.7-11 に示す。黒色は炭化層として残存した部分を表しており、全サンプルを通して 10~15mm 程度の厚さであった。ここで、炭化層厚さと断面欠損をあわせたものを炭化深さとして、各サンプルにおける最大炭化深さの測定結果を表 3.7.7-2 に示す。なお、この結果には 2 面からの燃焼を受ける隅角部は含めていない。表より、1J3 の全断面で概ね 50mm を超えており、接合している柱と同様の炭化状況が確認できた。1J4 においてもほとんどが 45mm を超えており、1 階接合部は断面の欠損が著しいことが明らかとなった。これに対して 3J0 は概ね 15mm 程度の炭化深さであった。ドリフトピン孔においては、表層付近で孔径が炭化により大きくなるものの、内部ではほぼ変化は見られなかった。

表 3.7.7-2 最大炭化深さ

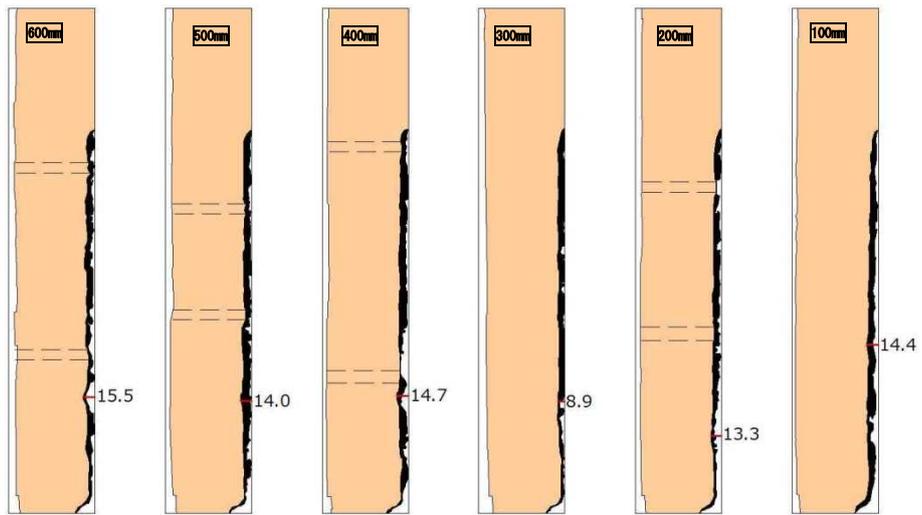
柱からの距離(mm)		600	500	400	300	200	100	Ave.
最大炭化深さ (mm)	1J3	55.8	59.1	49.9	52.9	56.6	51.6	54.3
	1J4	48.9	53.3	45.2	48.5	42.9	44.1	47.2
	3J0	15.5	14.0	14.7	8.9	13.3	14.4	13.5



a) 1J3 (1階 Y3X3)



b) 1J4 (1階 Y2X3)



c) 3J0 (3階 Y3X2)

図 3.7.7-11 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）に従い算定した。表 3.7.7-2 の炭化深さを参考に、残存断面の幅を半分の 110mm として、ドリフトピンの挿入長さを設定すると、ドリフトピンの径長比が小さくなり、ドリフトピンの曲げ変形より主材木材のめり込みが先行する破壊モードになる。このため、算定される降伏せん断耐力は、燃焼前（梁幅が 220mm）から約 3%低下する程度であった。これより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 261.5 kN となり、梁に掛かる設計せん断荷重に対して約 2.3 倍の耐力であった。加熱後集成材の弾性係数変化など考慮しなければならない点があるが、ラーメンフレームの接合部が水平荷重に対するモーメント抵抗を含めた耐力を設定して設計されていることを考えれば、火災後の鉛直荷重に対しては十分に余裕のある耐力が確保されると考えられる。

3. 7. 8 圧力

図 3.5.2-1 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 3.7.8-1、2 に示す。

階段室側および防火壁側ともに、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。この現象は図 3.5.2-1 の 1 階廊下の CCD カメラによるビデオ映像で、点火 2 分後から隙間風音が聞こえ始め、5 分 30 秒後でその音が大きくなり、6 分後に小さくなったこととほぼ一致することから、出火室の収納可燃物の燃焼の盛衰に伴う圧力変化と考えられる。

また着火 17 分後に負圧から突然ほぼ 0 となったのは、出火室内の燃焼を促進するために出火室の掃き出し窓を全開したことで、内部の圧力が解放されたと考えられる。

その後、点火 50 分後の再着火を経て出火室がフラッシュオーバーをするまで各階の差圧に大きな変化はなかったが、1、2 階については、出火室からの噴出火炎により 2 階普通教室の窓が割れて煙が普通教室内に侵入し始めた 97 分(47 分)後をピークに階段室側、防火壁側ともに 10Pa 程度まで上昇し、その後徐々に低下して -20Pa 程度になった。

3 階については、出火室に近い階段室側は点火から約 115 分 (65 分) 後から最大 15Pa 程度の圧力変動が見られる。防火壁側では 2 階普通教室の窓が割れて煙が侵入した 97 分(47 分)後あたりから正圧と負圧の間で小刻みに変動し、135 分(85 分)後から 3 階普通教室に延焼する 139 分(89 分)前後で急速に負圧になった。

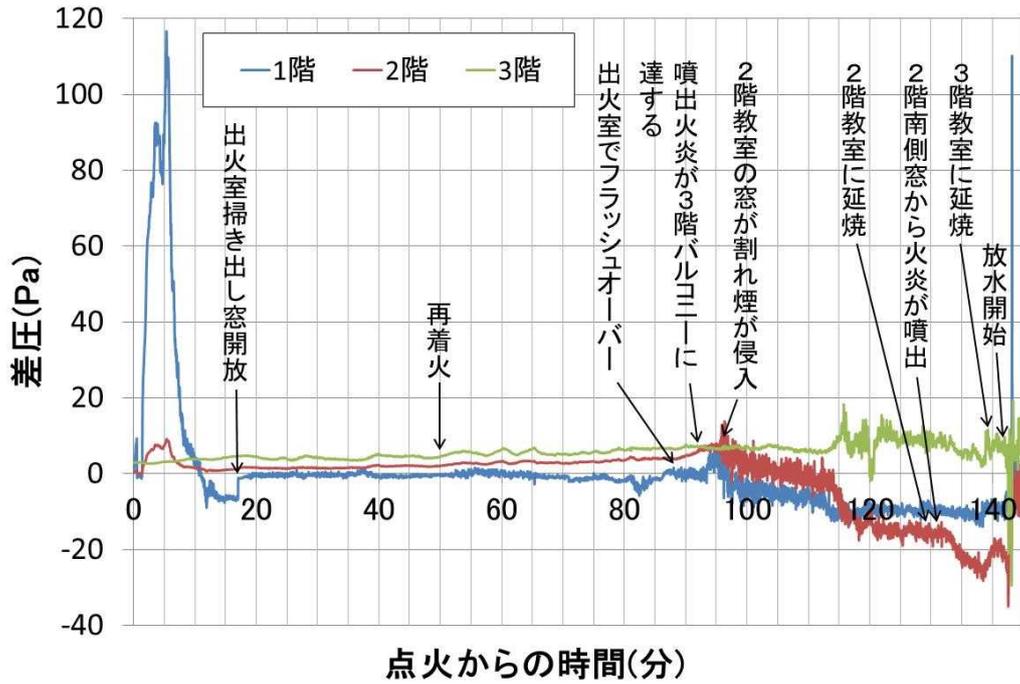


図 3.7.8-1 微差圧計による測定結果 (階段室側)

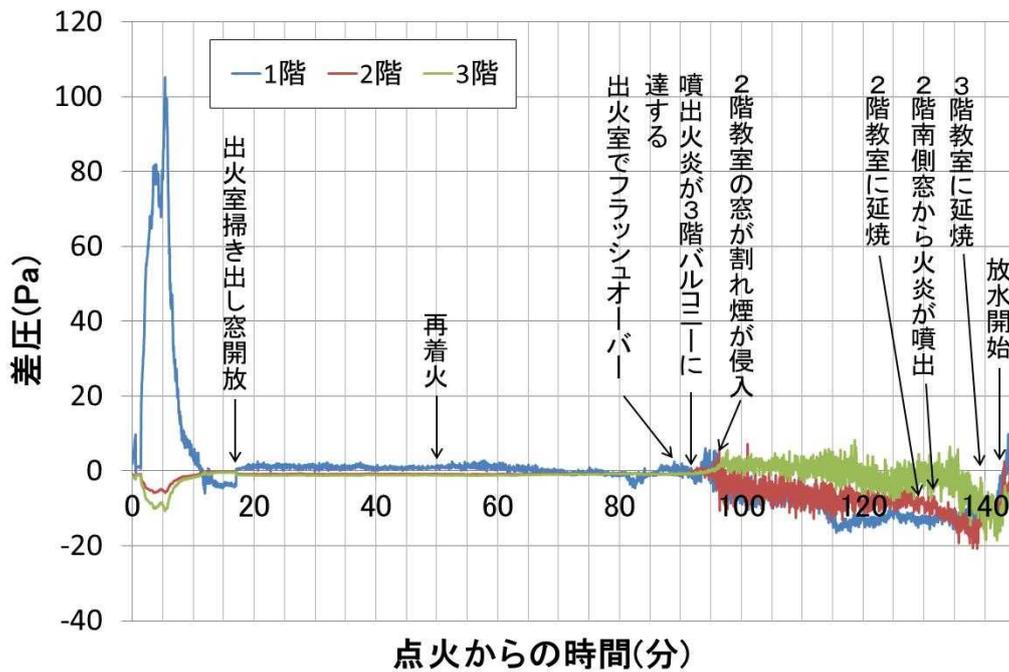


図 3.7.8-2 微差圧計による測定結果 (防火壁側)

3. 7. 9 庇・バルコニーの効果

(1) 庇・バルコニーの構造

試験体は北面に庇、南面にバルコニーを設置しており、共に出寸法は外壁芯より 1.5m である。バルコニー床と庇の裏面は告示の 1 時間準耐火の軒裏の防火被覆である厚さ 8mm の繊維混入ケイ酸カルシウム板の二重張りとした。バルコニー手すり壁の防火被覆は外壁の屋外側と同様に厚さ 16mm の窯業系サイディングとした。断面図を図 3.7.9-1 に示す。また、各部の温度測定位置も図中に示す。

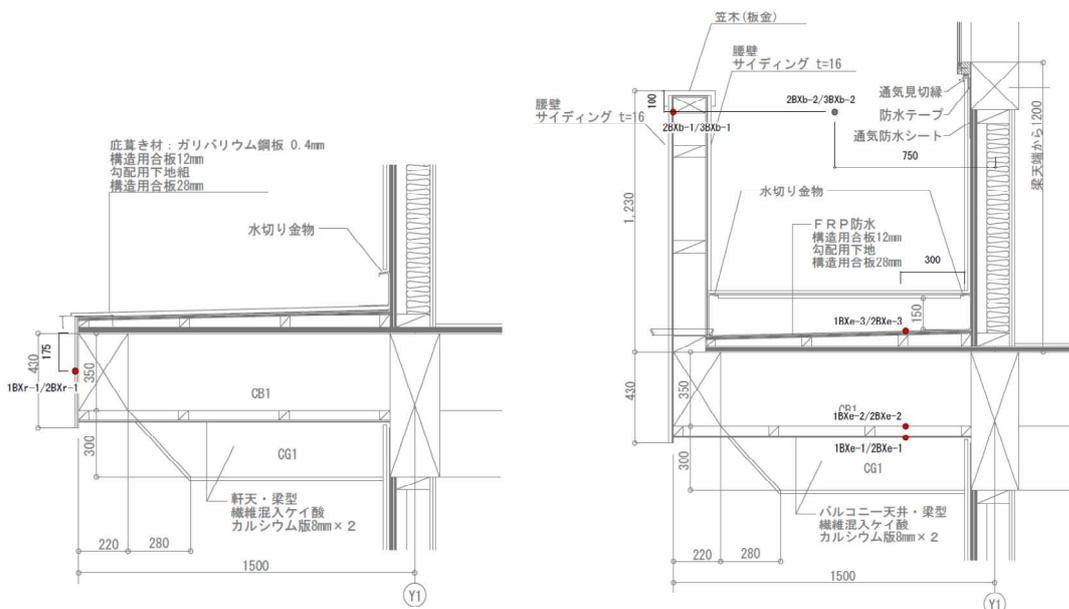


図 3.7.9-1 庇およびバルコニー断面図

(2) 上階延焼抑制効果

庇・バルコニーを設置しなかった予備実験では、フラッシュオーバー(以降、F.O)後 2 分で、1 階開口部からの噴出火炎が 3 階開口部下端にまで達し、同時に 2 階へ延焼した。それに対し準備実験では、試験開始 89 分にフラッシュオーバーが起こり(以降、フラッシュオーバー後の経過時間を [] 内に示す)、94 分[5 分]に 2 階バルコニー手すり高さ、99 分[10 分]に 3 階バルコニー下端まで連続火炎域が達し、間歇火炎先端は軒先にまで達した。97 分[8 分]に 2 階開口部ガラスの一部が割れ、室内へ煙が侵入したが、129 分[30 分]に 2 階床の燃え抜けによって上階延焼するまで、フラッシュオーバー後約 50 分間噴出火炎による外部からの上階延焼を抑制した。北面については、113 分[24 分]で 1 階開口部から火炎が噴出し、連続火炎域が 2 階開口部下端、間歇火炎先端が 2 階庇まで達したが、134 分[44 分]に 2 階開口部から火炎が噴出するまで外部からの上階延焼は見られなかった。庇・バルコニーの上階延焼抑制効果が明確に見られた。出火階(1 階)から直上階(2 階)への延焼は、2 階床の燃え抜けが原因であるが、3 階への延焼は噴出火炎による。3 階の延焼時間は 2 階延焼後 8 分で、2 階への延焼に比べバルコニーの延焼抑制効果はあまり見られなかった。これは、図 3.7.9-2 の噴出火炎の熱画像からわかるように、1 階の噴出火炎の連続火炎部の高

さが開口部上端から約5mであったのに対し、2階の噴出火炎高さは約7mと大きく、バルコニーの抑制効果を上回ったためと考えられる。図 3.7.9-3~10 から外部熱流束や外壁温度等が2階開口部から火炎が噴出した131分[42分]以降、急激に上がっていることがわかる。

(3) 噴出火炎の形状

庇とバルコニーの違いによる噴出火炎の形状を把握するために、北面庇側の様子を写真 3.7.9-1、2 に、南面バルコニー側の噴出火炎の様子を写真 3.7.9-3、4 に示す。写真は噴出火炎の最盛期に出現頻度の高い形状のものを選択した。バルコニー側ではバルコニーを巻き込む様に、手すり壁に沿って火炎が立ち上がっており、それに対し庇側では斜め上方に直線的に火炎が伸びているのが見て取れる。



写真 3.7.9-1 138 分時北面



写真 3.7.9-2 130 分時北面



写真 3.7.9-3 130 分時南面



写真 3.7.9-4 130 分時南面

(4) バルコニーの焼損状況

121分[32分]B-2の2Fバルコニー手すり壁の外装目地から火炎が確認された。図 3.7.6-3の2階バルコニー部材温度からも約120分[31分]にバルコニーの下地合板に着火したことがわかる。123分[35分]に2階バルコニー床裏面の防火被覆材が脱落し始めたが、試験終了までバルコニー床の燃え抜けは見られなかった。また手すり壁は、試験終了時にはB-2部の外壁サイディングが脱落し、下地合板は完全に炭化していた。

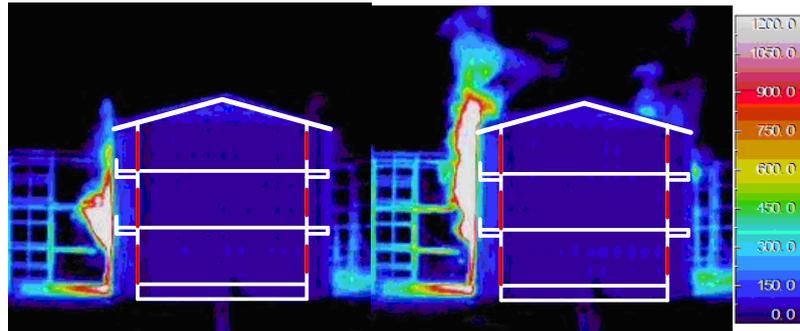


図 3.7.9-2 東立面噴出火炎の熱画像(左 130 分、右 138 分)

(5) 各部の温度推移

各部の温度と熱流束の推移を図 3.7.9-3~10 に示す。測定位置については 3. 5. 3 を参照。南面の 2 階バルコニー手すり温度は 99 分[10 分]に 800℃に達し、その後消火まで 600℃から 900℃の間で推移しており、火炎に包まれているのがわかる。手すり高さにおけるバルコニー内の空間温度は、2 階開口部から火炎が噴出するまでの約 30 分間は 200℃程度の低温で推移している。2 階開口部まぐさ位置の外壁面温度は、99 分[10 分]で 600℃、その後 30 分間は 400℃と 600℃の間を推移している。北面の庇先の温度は、113 分(24 分)に 1 階開口部から火炎が噴出し 1 階庇の高さを越える噴出火炎となるが、庇先端の温度は 300℃前後で推移しており、バルコニー手すりよりも低い温度となっている。これは前項で報告したように、バルコニー側では手すり壁に沿って火炎が伸びているのに対し、庇側では斜め上方に直線的に火炎が伸び、庇先端が完全には火炎に包まれていないためと考えられる。北面の開口部まぐさ位置の外壁面温度も庇先と同じ 300℃前後で推移しており、南面に比べ低温となっている。

既往の研究で、模型レベルの実験で庇よりもバルコニーの方が火災階上階への熱流束が増加傾向にあり、火災階上階の外壁外部温度が高いという結果が報告されており、今回の実大火災実験でも同様の傾向が確認されたが、図 3.7.9-3、4 の外部熱流束からわかるように、可燃物量や開口寸法の違い等から南面に対し北面の噴出火炎が小さく、バルコニーと庇の形状の違いの影響について直接比較することはできなかった。

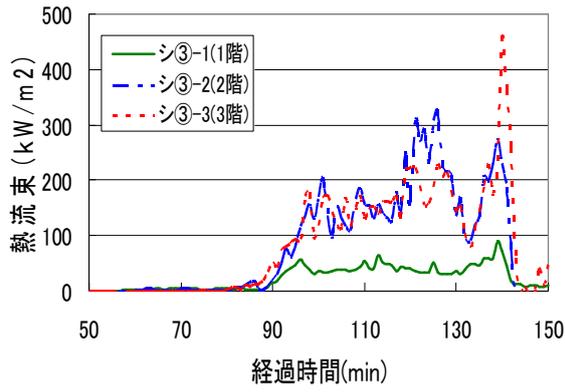


図 3.7.9-3 底側外部熱流束

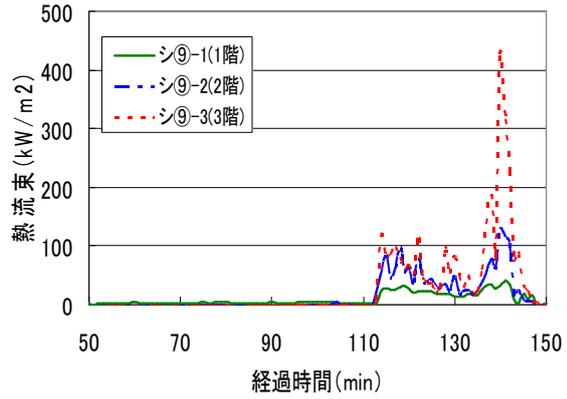


図 3.7.9-4 バルコニー側外部熱流束

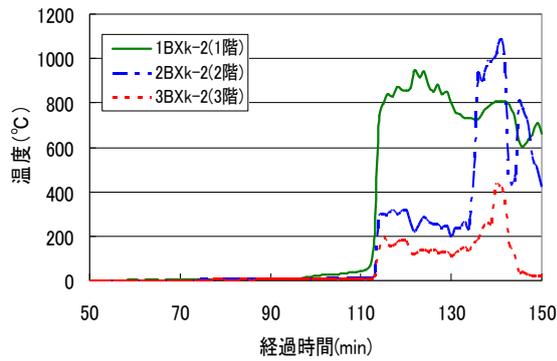


図 3.7.9-5 底先温度

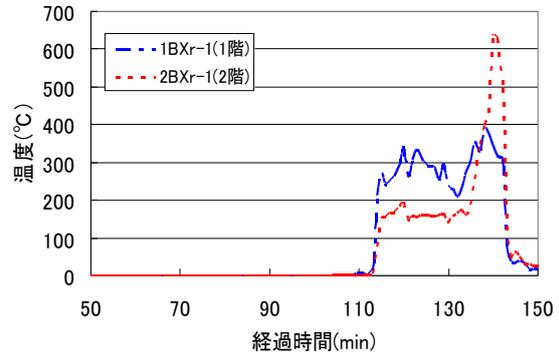


図 3.7.9-6 底側まぐさ外部温度

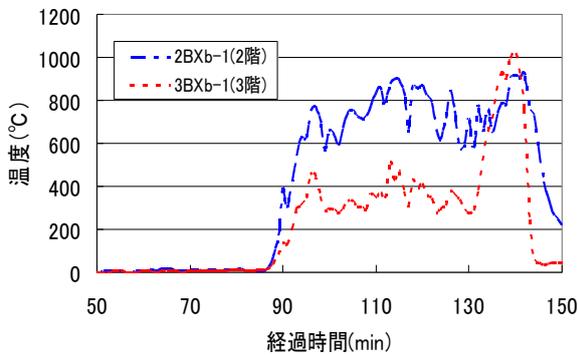


図 3.7.9-7 バルコニー手すり温度

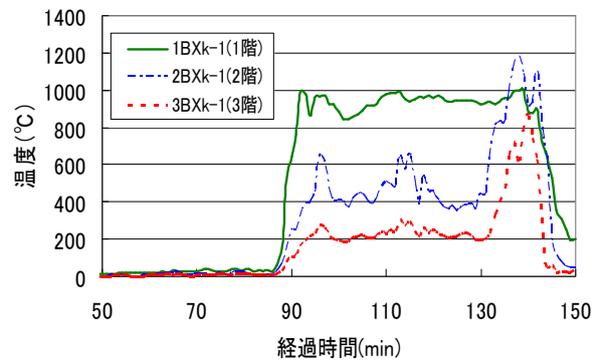


図 3.7.9-8 バルコニー側まぐさ外部温度

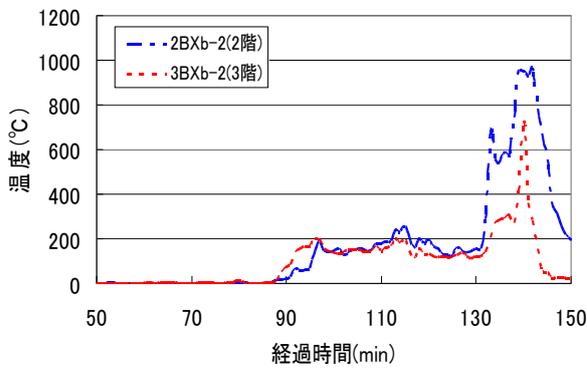


図 3.7.9-9 2階バルコニー部材温度

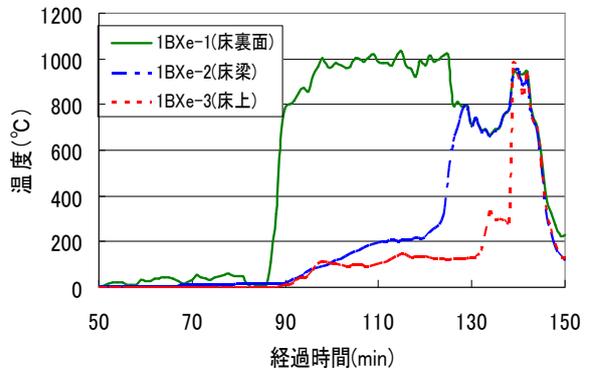


図 3.7.9-10 2階バルコニー部材温度

3. 7. 10 建物消火

建物消火は、炭化深さ評価用柱の残存値および3階への延焼が観察される直前に準備が開始され、建物消火用とは別に、この段階で3階教室と階段室への散水装置による散水が開始された。直後の141分(91分)、飛散防止の金網の落下が確認され消火が開始された。消火時間、消火機器、およびポンプ圧力、使用水量を表3.7.10-1に示す。

使用可能な貯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準備実験の消火体制、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、各協会など)、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。図3.7.10-1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 3.7.10-1 消火時間、消火機器、およびポンプ圧力、使用水量

	ポンプ					ポンプ使用条件		放水量		ノズル
	位置	No.	接続先	ポンプメーカー	機種	使用時間 min	圧 Mpa	放水量 m ³ /min	使用水量 m ³	
建物消火用 9台	北	18 ▲右		1 IHIシバウラ	SF756	8	1	1.3	10.4	A
		19 ▲中		2 ラビット	Fi8000	8	1	1.3	10.4	A
		20 △中右 △中左		3 IHIシバウラ	SF756	8	0.6	1.5	12	C
		21 ▲左		4 ラビット	Fi8000	8	1	1.3	10.4	C
		27 △左		5 ウスイ消防	VC40(B3)	15	0.6	1.5	22.5	C
	南	22 SP		6 トーハツ	VC72PRO(B2)	15	0.9	1.16	17.4	
		23 ▲		7 トーハツ	VC72BS(B2)	30	0.7	1.38	41.4	B
		24 ▲主		8 トーハツ	VC85BS(B2)	60	1	1.3	78	B
		25 ▲		9 トーハツ	VC72BS(B2)	30	0.8	1.28	38.4	B
		26 △ △								
								合計	252.9	

* _ 以外のポンプは同等性能として放水量を算出した。
* _ はモニタリングできなかった。

▲:放水銃 ブリッツファイア

A ヨネ(株) デュアルフォース 360lpm~1150lpm 0.7Mpa
B ヨネ(株) マウスフォース 400lpm~1900lpm 0.7Mpa

△:手持ち筒先

C ヨネ(株) 準一定流ヴァリアブルノズル NV-65・23
C ヨネ(株) プロコンベ21 NV-65PCX

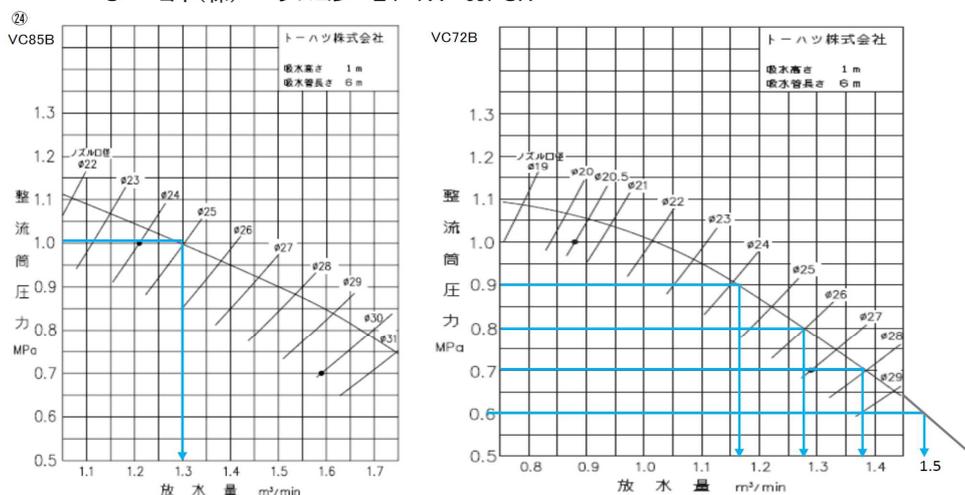


図 3.7.10-1 放水量・整流筒圧力の関係

3. 8 考察

2012年11月25日に下呂市において木3学の準備実験を実施し、得られたデータから以下の事項が確認できた。

3. 8. 1 建物内部の火災の拡大性状

出火室、出火階、上階各室での火災の拡大性状、床等を貫通した上階への延焼の有無、発生プロセス、開口部から外壁さらに上階への延焼の発生プロセス、防火区画された階段室を超えた水平方向への延焼の発生プロセス、防火壁を超えた延焼の発生プロセスについて、以下の知見が得られた。

- ・出火室は、点火後火源は成長するものの局所に止まり、室全体の火災に成長しなかった。そのため、出火室の窓ガラスを割り松明を投げ入れ、50分に収納可燃物に再着火した。
- ・その後、火源は徐々に成長し、約76分(26分)で室内温度が450℃に到達し、約89分(39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階床を通じて約129分(79分)に起き、3階への延焼は約139分(89分)に外部開口を通じて起きた。
- ・出火室から階段室への延焼と防火壁を通じた東側の室への延焼は起きなかった。

以上の結果から、内装を不燃化することで出火室内での火災の拡大が抑制され、火災が室全体に拡大し開口部から噴出する火炎による、上階へ外壁開口部を通じた延焼も抑制されたことから、避難および救護の観点から、有効な対策であることが確認できた。

また、防火壁を越えた延焼および倒壊もなかったことから、延焼拡大防止の観点から、有効な対策であることが確認できた。

3. 8. 2 建物内部の煙の流動性状

出火階における煙の流動性状、堅穴区画（階段室）、床の亀裂、貫通部等を経由した上階への煙の流動性状について、以下の知見が得られた。

- ・出火室では約37分に、床まで煙層が降下し、出火室に近い1階廊下では点火後暫くして全体に薄い煙が拡がり、次第に煙濃度が濃くなった。
- ・2階普通教室では、出火室が火災盛期を迎えた後、出火階からの開口噴出火炎により外部開口のガラスが脱落して室内に煙が流入し、約102分(52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。

以上の結果から、煙拡大防止の観点からも、対策の有効性が確認できた。

3. 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。

- ・ 離隔距離 10m、14m の位置での熱流束は、95～130 分(45～80 分)は、それぞれ、13kW/m² 程度以下、7 kW/m² 程度以下となる。上階延焼後は増加するが、最大でも 29.3 kW/m² 程度である。
- ・ ISO 11613 防火服の性能では、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 14kW/m² に対して、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。
- ・ 139 分(89 分)で、2 階バルコニーの外側のサイディング材が一部で落下しているものの、外壁の燃え抜け等は確認されなかった。

なお、準備実験では、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。

3. 8. 4 長時間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、火の粉の発生を防止するため、試験体倒壊前（142 分(92 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、消火終了後、表面から 5～6cm の深さまで炭化していたものの、試験体の倒壊はなかった。

3. 8. 5 安全管理上の課題と対策

安全管理上の課題と対策について、以下の知見が得られた。

- ・ 建物消火は、炭化深さ評価用柱の残存値および 3 階への延焼が観察される直前に準備が開始され、この段階で 3 階教室および階段室への散水設備による散水が開始された。直後の 141 分(91 分)、飛散防止の金網の落下が確認され本格的な建物消火が開始された。
- ・ 準備実験では、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。
- ・ 本実験を実施する上で、火の粉の飛散防止金網が早期に落下しないよう対策する必要がある。

3. 9 まとめ

2012年11月25日に下呂市において木3学の準備実験を実施し、得られたデータから以下の事項が確認できた。

木3学の予備実験で短時間の火災拡大の原因となった開口噴出火炎による上階延焼抑制のために、

①噴出火炎自体の制御を目的として内装不燃化

②噴出火炎による上階開口部への火炎の侵入対策として庇・バルコニーの設置を行い、区画部材・特定防火設備の脱落が起こり難い一般的な対策を講じたところ、避難および救助の観点から、出火室における火災の拡大が十分抑制され、室全体に火災が拡大して、開口部に形成された噴出火炎による上階への延焼も抑制され、対策の有効性が確認できた。

また、防火壁による火災拡大抑制のために、

③防火壁を他の構造部分とは構造的に独立させ自立化

④防火壁をバルコニー立ち上がり壁より外側に0.5m（外壁より2m）突出

⑤防火壁の屋内開口部に設ける特定防火設備の仕様を変更

させたところ、強制消火するまでの間、防火壁の倒壊はなく、防火壁を越えた延焼もなかったことから、対策の有効性が確認できた。

さらに、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以下の項目を中心として、実験データを収集することができた。

(1) 建物内部の火災の拡大性状

- ・ 出火室、出火階、上階各室での火災の拡大性状
- ・ 床等を貫通した上階への延焼の有無、発生プロセス
- ・ 開口部から外壁さらに上階への延焼の有無、発生プロセス
- ・ 防火区画された階段室を超えた水平方向への延焼の有無、発生プロセス
- ・ 防火壁を超えた延焼の有無、発生プロセス

(2) 建物内部の煙の流動性状

- ・ 出火階における煙の流動性状
- ・ 堅穴区画（階段室）、床の亀裂、貫通部等を経由した上階への煙の流動性状

(3) 建物周囲への火災による影響

- ・ 周囲への放射熱量
- ・ 外壁の燃え抜けの有無、発生プロセス

(4) 長時間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の有無、発生プロセス

準備実験の結果のうち主な内容は、下記のとおりである。

建物内部の火災の拡大性状については、内装を不燃化することにより、出火室内での火災の拡大が抑制され、火災が室全体に拡大し開口部から噴出する火炎による上階へ外壁開口部を通じた

延焼も抑制されたことから、避難および救護の観点から、有効な対策であることが確認できた。また、防火壁を越えた延焼・倒壊もなかったことから、延焼拡大防止の観点から、有効な対策であることが確認できた。

建物内部の煙の流動性状については、出火室では点火後約 37 分に、床まで煙層が降下し、出火室に近い 1 階廊下では点火後暫くして全体に薄い煙が拡がり、次第に煙濃度が濃くなったこと、2 階普通教室では、出火室が火災盛期を迎えた後、出火階からの開口噴出火炎により外部開口のガラスが脱落して室内に煙が流入し、点火後約 102 分（再着火後約 52 分）で床まで煙層が降下したこと、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とから、煙拡大防止の観点からも、対策の有効性が確認できた。

建物周囲への火災による影響については、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、準備実験では、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ことが示された。また、建物倒壊はなかった。消火時間、消火機器、およびポンプ圧力、使用水量等の知見が得られた。

今後は、内装不燃化による出火室内の火災拡大抑制性能やバルコニー・庇による上階延焼抑制性能の要求時間を想定し、それぞれの対策で十分か、あるいは、どちらの対策も必要かといった検討が必要である。

また、防火壁による火災拡大抑制についても、防火壁の外壁からの出寸法や屋内開口部に設ける特定防火設備に、学校で一般的に用いられている鉄扉が適用可能かどうかの検討を行う必要がある。