

2. 予備実験

2. 1 実験計画（目的）

予備実験では、木3学の防火基準策定に向けて、

- ①在館者の避難安全性が確保できるかどうか
- ②周囲での延焼危険性が少ないかどうか
- ③消防活動上の障害となることが生じないかどうか

等といった課題を検出するために、まず、主要構造部を1時間準耐火構造とすると想定し、学校に適した仕様のうち基本的なものについて平成22、23年度に部材実験により防耐火性能を把握したもので構成し、教室実験で木質内装の初期火災性状を把握した実験建物を用いて、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
 - ・ 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
 - ・ 火の粉の飛散状況
 - ・ 屋根や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

2. 2 実験建物の計画

予備実験は、延べ床面積 2,260 m²の3階建て学校を、指定地域外に適用されている1時間準耐火建築物の主要構造部の仕様を想定して設計および建設した。

以下、実験建物の平面計画、断面計画、構造計画、各部の設計、各部位の要求耐火時間、建物外周部の延焼・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。

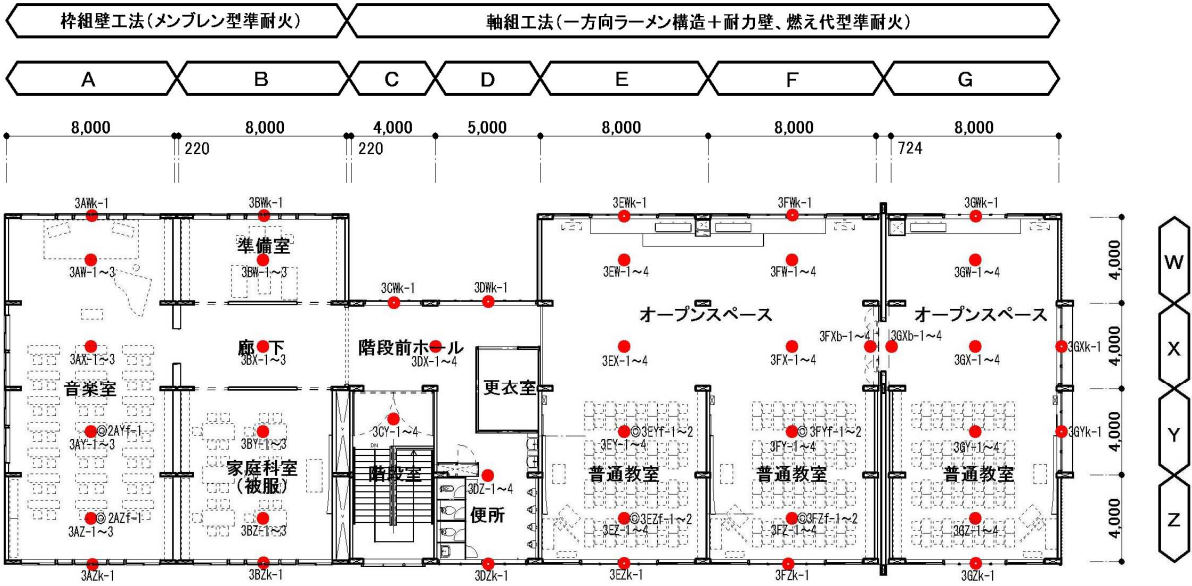
2. 2. 1 平面計画

実験建物の設計に当っては、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。

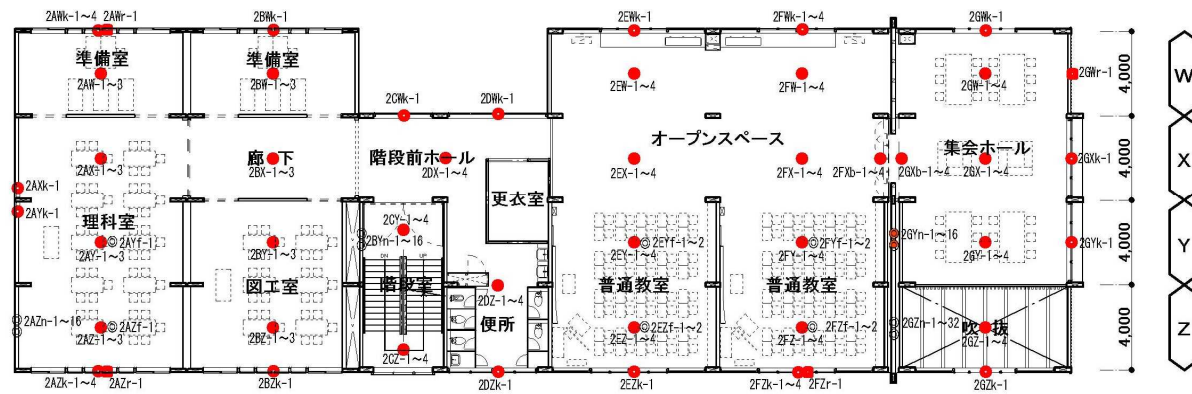
小学校は、学年ごとに3～4室の普通教室が並列される。図 2.2.1-1 に示すように、予備実験では水平方向への延焼性状を確認するため、建物東側3スパンに普通教室、西側2スパンに特別教室を再現することとし、その間に階段室、便所等を挟み込む7スパン構成による延べ面積 2,265 m²の実験建物とした。併せて、自立型木造防火壁による延焼拡大防止の有効性の確認のために、東側普通教室1～2スパン間に1時間耐火構造の木造防火壁を設けている。

各階の平面構成は、1階には収納可燃物の多い職員室、印刷室、事務室および昇降口を普通教室ゾーンに、図書室、コンピューター室を特別教室ゾーンに配置した。2、3階は、普通教室ゾーンには普通教室およびオープンスペース、特別教室ゾーンには2階は図工室、理科室および準備室、3階に音楽室、家庭科室、準備室を配置した。

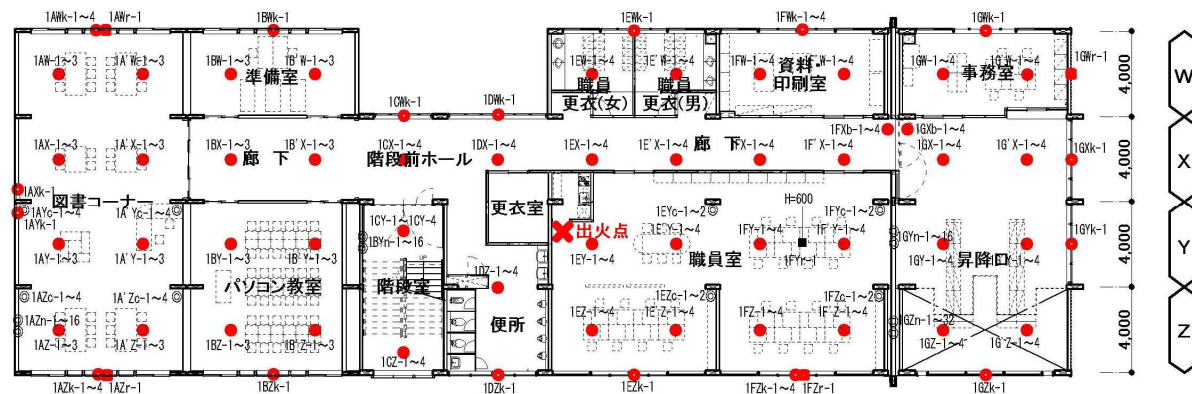
また、吹き抜けを介した火災性状についての検証を行うため、昇降口の上部に4m×8mの吹き抜けを設けた。



3階平面図



2階平面図



1階平面図

- 熱電対計タワー(延焼経路評価用)
- 熱電対計(屋外噴出火炎評価用)
- ◎ 熱電対計(部材内部温度評価用)

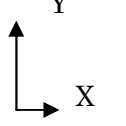


図 2.2.1-1 予備実験建物 平面図



図 2.2.1-2 予備実験建物 立面図

2. 2. 2 断面計画

教室の天井高を 2.73m、床構成は遮音を考慮し構造用合板 28mm、ALC 板 75mm、遮音置床 + 仕上材で床総厚 0.22m、構造躯体ゾーン 0.70m (集成材)、学校用ロスナイ等の換気機器およびダクト、天吊カセット型空調機器のための設備ゾーン 0.35m とし、標準の階高を 4.00m とした。3階は、3寸の勾配屋根を採用し、約 2.90~5.30m の天井高を想定し、換気ダクト等を妻面より抜く計画としている。

2. 2. 3 構造計画

学校として求められる南北のスパン一杯の開口を実現するため、X 方向を 8m スパンの集成材による木造一方向ラーメン構造とした。教室で黒板側となる Y 方向は、コスト的に優位となる 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、オープンスペース側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 7.9 倍)、2、3階：構造用合板 12mm 両面張り (壁倍率 2階 6.0 倍、3階 4.6 倍) を各スパン 2面以上確保している。特別教室ゾーン 2スパンは、枠組壁構造としている。

実験建物は、通常の学校における用途係数 1.25 を採用すると、部材断面が大きくなり防耐火上の余裕度が増してしまうことから採用していない。柱および梁の接合部は、評定等を用いず設計可能な「直通集成材を用いたラーメン構造の設計法」(公益財団法人日本住宅・木材技術センター) による鋼板挿入ドリフトピン接合の仕口としている。

2. 2. 4 各部の設計

図 2.2.4-1、2 に予備実験建物の矩形図を示す。

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。実験の進行に伴い外周部に可燃物が落下し、建物下部から火災拡大を防止するため、外周はフレキシブルボード、防火壁下部は耐火帯による被覆を行った。

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・750×220mm、梁 220×650mm、耐力壁方向は、梁 220×400 でカラマツ E 105-F300、小梁 220×350mm、垂木 150×250mm で共にスギ E65-F225 とした。

枠組壁構造部は、ラーメンの柱、梁共に 750×150mm のカラマツ E 95-F270 で、小梁は 8m スパン方向に 2×4 材の成 900mm のトラス構造を採用している。

外壁 (南・北・西) は、窯業系サイディング 16mm で、3m 以下にファイアストップを設置した通気工法とした。また、地震後の火災を想定し、出火室 (職員室西側開口部および図書室) の南面および北面における開口部の四隅に巾 1mm ほどのクラックを人工的に設けた。外壁東面は、木質系外壁の燃え広がりを確認する目的で強化せっこうボード 15mm の上に、スギ板 15mm 張りの真壁造とした。

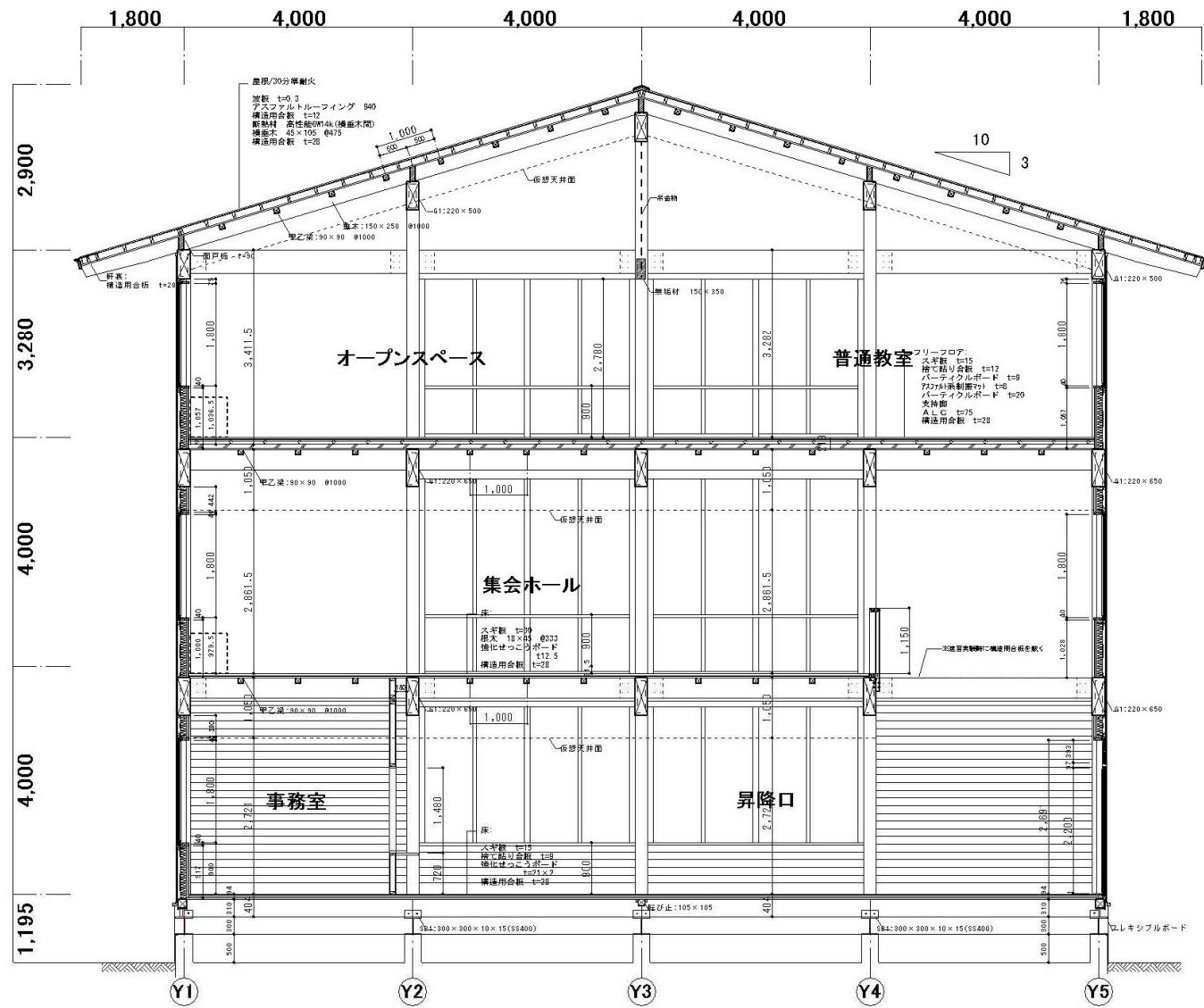


図 2.2.4-1 予備実験建物 矩形図

軸組工法部矩形図

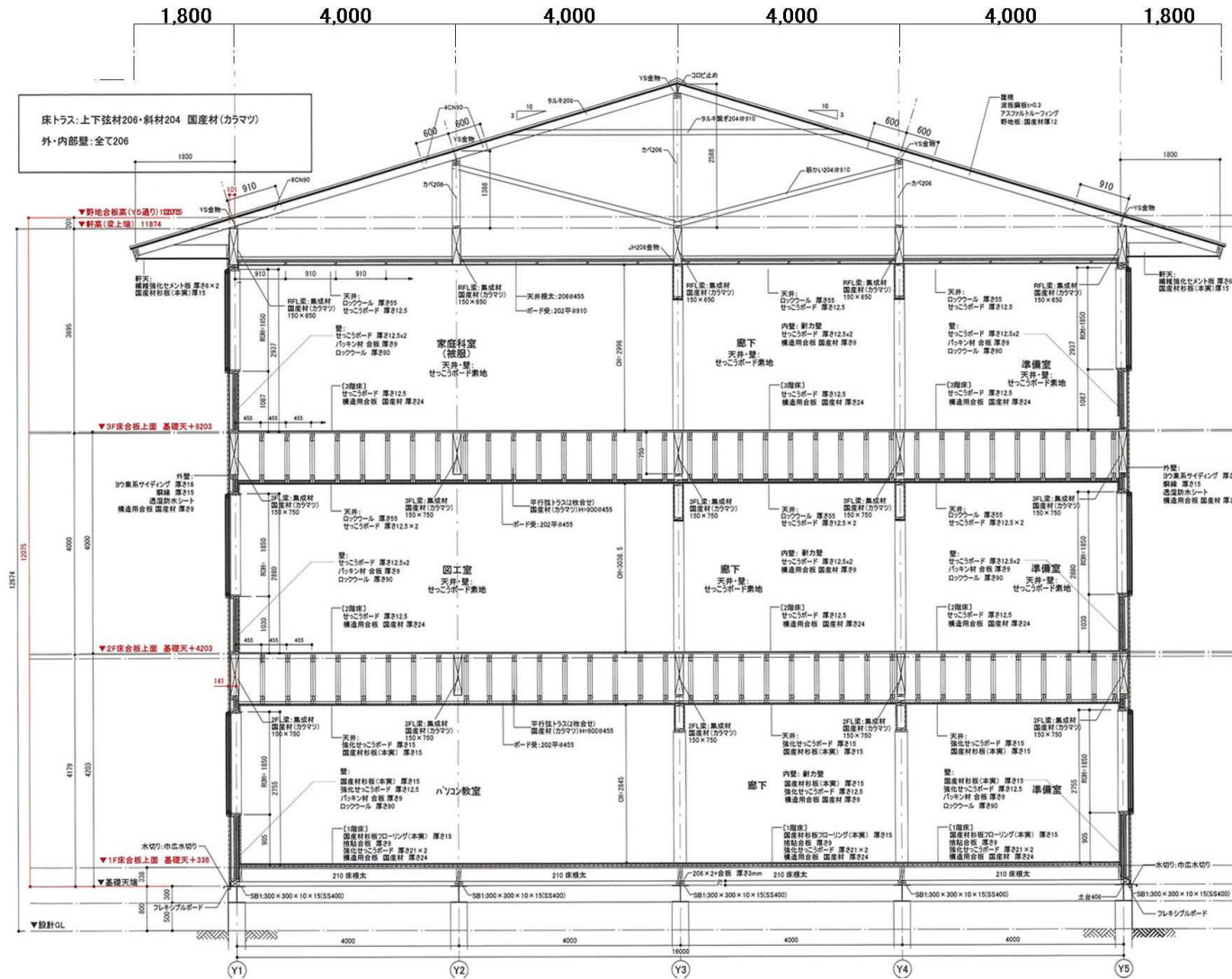


図 2.2.4-2 予備実験建物 矩形図

枠組壁工法部矩形図

屋根は構造用合板 28mm の上にグラスウール 14K105mm、野地板：構造用合板 12mm、アスファルトルーフィング 940 の構成とし、屋根仕上材は試験体としてのコストに配慮し、ガルバリウム鋼板 0.4mm（波板）とした。

2. 2. 5 各部位の要求耐火時間

木3学については、学校としての防災対策や地域の消防体制の負荷が現行法令による規制の状況から著しく増えないよう考える必要がある。このため、予備実験では、現行法令の耐火構造(3階の場合は1時間（屋根、階段は30分）)と、避難安全性、消防戦術、周辺市街地への影響の考え方が根本的に変わらないようにするために、表 2.2.5-1 に示すとおり、主要構造部のうち、建物の崩壊に大きく影響する外壁・間仕切壁・柱・梁・床・軒裏については、1時間準耐火構造を、また、建物全体の崩壊に直接影響しない屋根、階段については、30分準耐火構造を基本とした。1時間準耐火構造では、1時間までは主要構造部の非損傷性、遮熱性、遮炎性は、耐火構造と変わらないため、主要構造部を1時間準耐火構造とした建物の平面計画が同じであれば、建物内の避難や救助検索活動、周囲への延焼危険については、基本的に主要構造部を1時間耐火構造とした建物と同等になると考えられる。なお、火災による燃焼が終了した1時間以降については、準耐火建築物に倒壊防止性能は求められないのに対して、耐火建築物はその後も建物が倒壊しないことが必要となる点が大きく異なる。

また、既存木造学校における収納可燃物量調査の結果から、学校建築における盛期火災の継続時間は、収納可燃物量および開口条件を考慮すると、学校の教室など主たる部屋は1時間以内に収まると考えられ、主要構造部が1時間準耐火構造であれば、ほぼ収納可燃物が燃え尽きるまで

表 2.2.5-1 主要構造部の防耐火仕様

主要構造部		防耐火性能	
枠組壁工法	外壁	1時間準耐火構造	国土交通大臣認定仕様 部材実験(外壁の内壁)※
	軒裏	1時間準耐火構造	部材実験※※
	間仕切壁(縦穴区画の壁含む)	1時間準耐火構造	H12建設省告示第1380号 部材実験※
	床	1時間準耐火構造	部材実験※
	屋根	30分準耐火構造	部材実験※※
	外壁開口部		—※※※
軸組工法① 及び②	外壁	1時間準耐火構造	国土交通大臣認定仕様(南北面) 部材実験(東面・外壁の内壁)※
	軒裏	1時間準耐火構造	部材実験※
	間仕切壁(縦穴区画の壁含む)	1時間準耐火構造	H12建設省告示第1380号 部材実験※
	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	部材実験※
	屋根	30分準耐火構造	部材実験※※
	階段	30分準耐火構造	H12建設省告示第1358号
	外壁開口部		—※※※
	縦穴区画開口部	特定防火設備	H12建設省告示第1369号
防火壁	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	H12建設省告示第1369号

※ 部材実験から一時間を超える遮炎性能を確認した仕様

※※ 平成22年度建築基準整備促進事業において部材実験により一時間を超える遮炎性能を確認した仕様

※※※ 防火設備等ではないガラス戸

間が1時間を超える可能性はあるが、予備実験によって収納可燃物の燃焼時間が部材の準耐火性能を超えた場合の建物の崩壊性状等の挙動についても検証する。

2. 2. 6 建物外周部の延焼・類焼防止性能

建物外周部の延焼・類焼防止性能については、前述のように、外壁および屋根の準耐火性能を、耐火構造とした場合の耐火時間にならって設定することで、周辺からの建物内部への類焼、建物本体から外部への延焼危険については、通常の火災の継続時間中（1時間）は同等となるように考えた。外壁開口部については、学校建築が十分余裕のある敷地に建てられることも少なくないため、隣地境界線や道路中心からの距離が十分に大きく、延焼のおそれのある部分にないものとして、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。また、火災室の窓から火炎が噴出した場合に、上階延焼が起こる可能性があるが、バルコニーや庇のような突出物や高さ0.9mを超える腰壁（不燃材料仕上げ）等は噴出火炎による上階延焼の防止に有効であると考えられている。予備実験では建物形状に影響するバルコニー等による上階延焼の抑制方法ではなく、まずは基本的な不燃材料の腰壁による方法とした。

2. 2. 7 内装の燃焼拡大防止性能

建築基準法では学校に内装制限は適用されていなかったが、教室のような大規模空間の壁、天井を木質化した際の燃焼拡大性状については不明な点も多い。そこで、約8m四方の教室を模した教室実験で火災初期の内装の燃焼拡大性状を検証し、室規模が大きくなるに従って、また、天井を不燃化することにより火災の成長率が小さくなり、火源条件によっては燃焼が局所に留まることを確認した。予備実験では、市場において木質内装が望まれることも考慮して、出火室がある1階の壁および天井を木質内装とし、2階以上は一部を壁および天井を不燃化し、一部を壁のみ不燃化した内装を再現した。



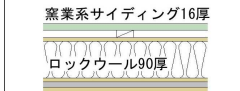

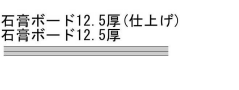
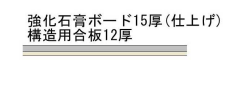
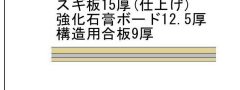
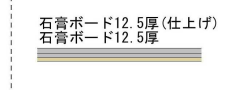
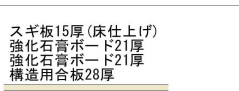
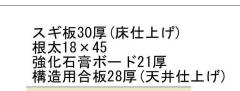
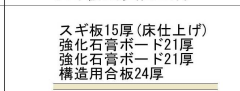
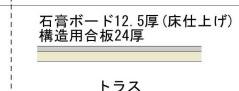


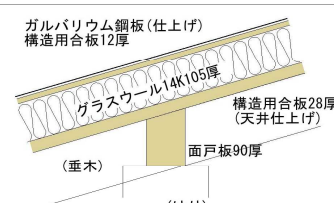
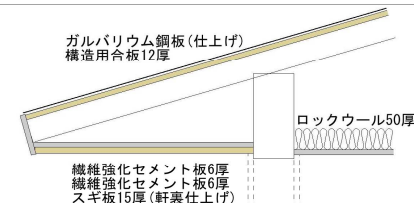
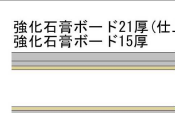

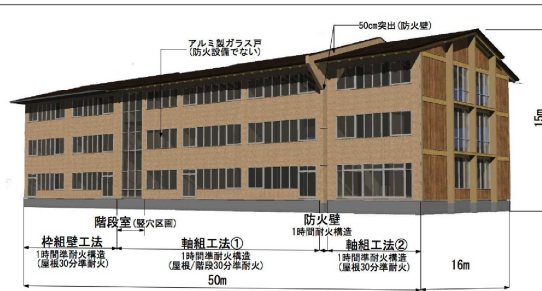
2. 2. 8 実験建物の防耐火設計

実験建物は、表2.2.8-1に示す仕様で、幅約50m×奥行16m×高さ約15mの総3階建て（建築面積：約830m²、延べ面積：約2,260m²）で、基本的に1時間準耐火構造の部材による各階防火区画、階段部分が堅穴区画、吹き抜け部は防火壁による1、2階の面積区画となっている。表2.2.8-1最下段右側の図の左から、「桝組壁工法」、「軸組工法①」、「防火壁（木造）」、「軸組工法②」の大きく4ブロックで構成し、それぞれ自立するように構造的に分棟として設計した。ここで、大きく4ブロックに分けたのは、「桝組壁工法」と「軸組工法①および②」において、工法の違いによる防耐火性能を検証するため、そして「軸組工法①および②」と「防火壁（木造）」において、防火壁による延焼遮断効果を検証するためである。また、「軸組工法①」内には収納可燃物量が教室等に比べて小さい階段室（階段室前廊下含む）を設け、水平方向への延焼遅延効果を検証することとした。建物各部位の防耐火設計については、主たる建物である、「桝組壁工法」と「軸組工法①および②」の3ブロックは、表2.2.5-1のように、外壁を軒裏・間仕切壁・柱・はり・床を1時間

準耐火構造、屋根および階段を 30 分準耐火構造とし、外壁開口部は防火設備でないガラス戸とした。防火区画は階段室の堅穴区画、各階床の水平区画とした。具体的な仕様を表 2.2.8-1 に示す。国土交通省告示の 1 時間準耐火構造、30 分準耐火構造の仕様に加えて、部材実験で 1 時間準耐火構造の要求性能を満足した仕様（1 時間を極端に超えない仕様）で建物を構成し、部材の断面等の寸法は、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。なお、これらの仕様には部材表面が木材のものとせっこうボード（不燃材料）のものがあるが、各ブロックの 1 階は、壁、天井、床が木材仕上げ（可燃材料）のもの（収納等の一部の壁はせっこうボード（不燃材料））とし、2、3 階については、「枠組壁工法」は、壁、天井、床がせっこうボード仕上げ（不燃材料）のもの、「軸組工法①および②」は、壁がせっこうボード（不燃材料）、天井および床が木材仕上げのものを基本とした。

防火壁は木造の軸組は、国土交通大臣の認定を取得した強化せっこうボードを重ね張り（総厚 36mm）した 1 時間耐火構造の仕様とし、防火壁の基準に従い、屋根上部および外壁から 0.5m 突出させた。この防火壁は基本的に自立することを目標に設計をしたが、3 層の木造の壁を完璧に自立させると通常の防火壁に比べて部材断面が大きくなりすぎることもあり、出火室と反対側の「軸組工法②」のほりから鋼製のプレートで振れ止めをとることとした。また、階段室（堅穴区画）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）。1 階の 2 箇所および 2 階の階段室は随時閉鎖式の鋼製扉、その他は常時閉鎖式の鋼製扉とし、実験時はすべて閉めた状態とした。

表 2.2.8-1 主要構造部仕様

		予備実験			
		軸組工法		枠組壁工法	
		1階	2-3階	1階	2-3階
外壁	1時間準耐火	窯業系サイディング16厚  グラスウール14K105厚 構造用合板28厚 スギ板15厚(仕上げ)	窯業系サイディング16厚  グラスウール14K105厚 構造用合板12厚 強化石膏ボード15厚(仕上げ)	窯業系サイディング16厚  ロックウール90厚 構造用合板9厚 強化石膏ボード12.5厚 スギ板15厚(仕上げ)	窯業系サイディング16厚  ロックウール90厚 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚(仕上げ)
	1時間準耐火	石膏ボード12.5厚(仕上げ) 石膏ボード12.5厚  構造用合板28厚 スギ板18厚(仕上げ)	強化石膏ボード15厚(仕上げ) 構造用合板12厚  構造用合板12厚 強化石膏ボード15厚(仕上げ)	スギ板15厚(仕上げ) 強化石膏ボード12.5厚 構造用合板9厚  構造用合板9厚 強化石膏ボード12.5厚 スギ板15厚(仕上げ)	石膏ボード12.5厚(仕上げ) 石膏ボード12.5厚  石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚(仕上げ)
床	1時間準耐火	スギ板15厚(床仕上げ) 強化石膏ボード21厚 強化石膏ボード21厚 構造用合板28厚  ※床下への燃え抜け防止のため1時間耐火構造	スギ板30厚(床仕上げ) 根太18×45 強化石膏ボード21厚 構造用合板28厚(天井仕上げ) 	スギ板15厚(床仕上げ) 強化石膏ボード21厚 強化石膏ボード21厚 構造用合板24厚  ※床下への燃え抜け防止のため1時間耐火構造	石膏ボード12.5厚(床仕上げ) 構造用合板24厚  トラス 強化石膏ボード12.5厚 スギ板15厚(天井仕上げ) or 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚(天井仕上げ)
	1時間準耐火	燃えしろ設計(燃えしろ45)  構造用集成材(カラマツ) E105-F300 650×220, 750×220			
はり	1時間準耐火	燃えしろ設計(燃えしろ45)  構造用集成材(カラマツ) E105-F300 220×650, 220×400(大梁) 構造用集成材(スギ) E65-F255 220×350(小梁) 150×250(垂木)			
	30分準耐火(屋根) 1時間準耐火(軒裏)	ガルバリウム鋼板(仕上げ) 構造用合板12厚  グラスウール14K105厚 構造用合板28厚(天井仕上げ) 面戸板90厚 (垂木) (はり)		ガルバリウム鋼板(仕上げ) 構造用合板12厚  ロックウール50厚 繊維強化セメント板6厚 繊維強化セメント板6厚 スギ板15厚(軒裏仕上げ)	
階段	30分準耐火	ささら桁・段板: スギ60厚			
防火壁	1時間準耐火	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 強化石膏ボード15厚 強化石膏ボード21厚(仕上げ)			
	開口部	鋼製防火戸(特定防火設備) ※縦穴区画の開口部も同仕様			
層間区画	層間スパンドレル 約2m				
外観					

2. 3 実験場および建物配置

木3学の予備実験における実験場および建物配置について示す。

2. 3. 1 実験場

実験場は、茨城県つくば市にある国土交通省国土技術政策総合研究所（茨城県つくば市旭1）敷地内の河川模型実験施設の一部であり、図2.3.1-1、2に示すとおり実大規模の実験建物を建設して実施した。

実験場内には、屋外消火栓設備の他に貯水場と池があり、消火用水として利用した。

2. 3. 2 建物配置

実験建物は、図2.3.1-1、2に示す位置に建設した。

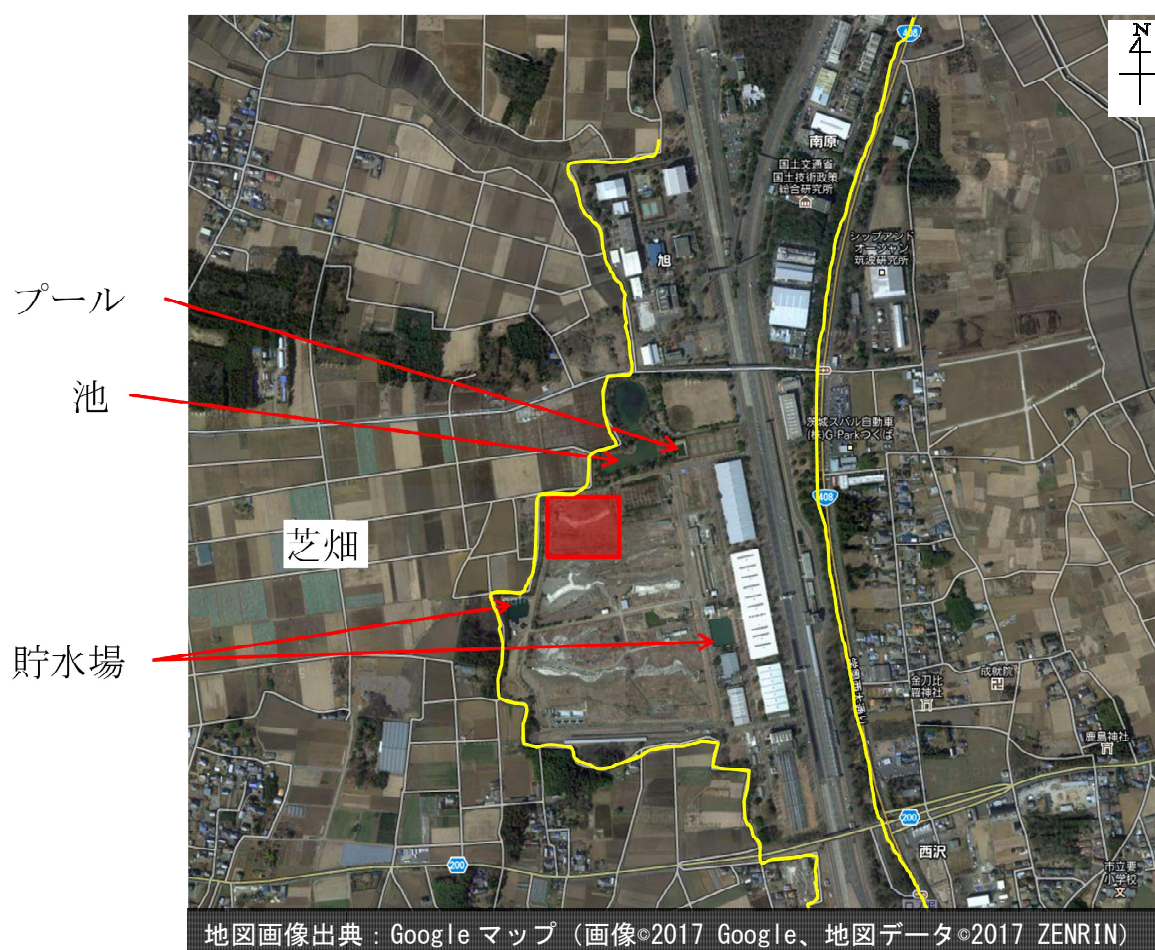


図 2.3.1-1 実験場の概要

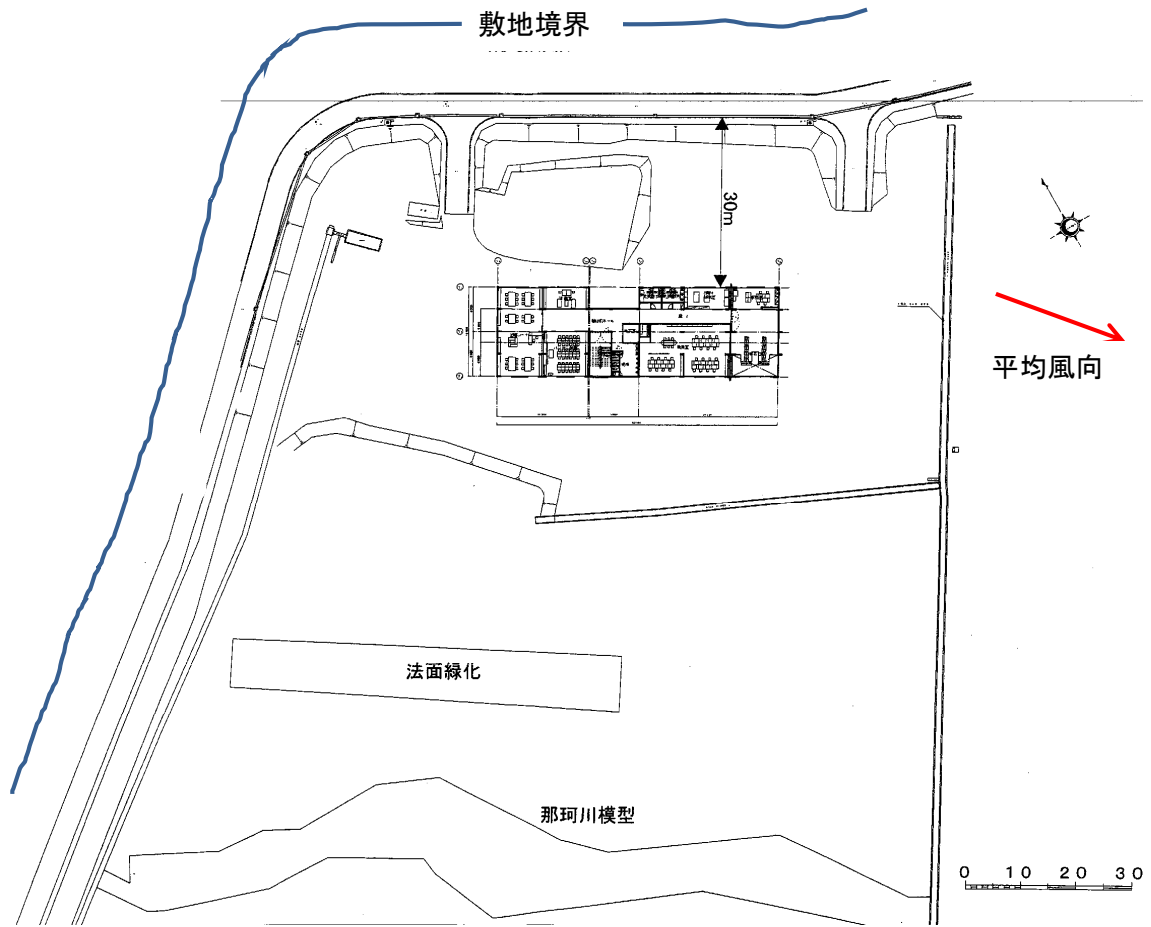


図 2.3.1-2 実験建物の配置 (図 2.3.1-1 の赤く囲まれた部分に相当)

2. 4 実験条件

予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、実験継続時間は以下のとおり設定した。

2. 4. 1 収納可燃物

収納可燃物については、小中高校の収納可燃物量調査の結果および平成 12 年建告 1433 号をもとに、表 2.4.1-1～3 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 階職員室とパソコン教室では、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、調査結果の発熱量をもとに、什器の発熱量（それぞれ 12,554MJ と 25,596MJ）を差し引いた発熱量に相当する木材重量を算出した。ただし、木材の発熱量を収納可燃物量調査の結果から 18MJ/kg と想定した。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 2.4.1-1 に示す。また、収納可燃物の単位重量あたりの表面積については、収納可燃物量調査の結果の範囲の中で、評価をする上では安全側になるよう表面積を設定した。

表 2.4.1-1 各室の収納可燃物(1 階)

1 階	発熱量 密度	木材換 算密度	室面積	木材 重量	クリブ(個)	
					一般型	書籍型
室名称	MJ/m ²	kg/m ²	m ²	kg		
昇降口	220	12.2	96	1173	66	0
事務室	560	31.1	32	996	54	0
資料印刷室	960	53.3	32	1707	0	95
職員室	700	38.9	151	5872	170	119
更衣室	720	40.0	42	1680	94	0
パソコン教室	400	22.2	64	1422	52	14
準備室	720	40.0	32	1280	72	0
図書コーナー	960	53.3	128	6827	120	260
廊下	32	1.8	141	251	14	0
階段室	32	1.8	32	57	4	0
便所	32	1.8	30	53	3	0

表 2.4.1-2 各室の収納可燃物(2階)

2階	発熱量 密度	木材換 算密度	室面積	木材 重量	ク립(個)	
室名称	MJ/m ²	kg/m ²	m ²	kg	一般型	書籍型
集会ホール	160	8.9	96	853	48	0
普通教室	400	22.2	128	2844	158	0
オープンスペース	200	11.1	128	1422	79	0
更衣室	720	40.0	10	400	23	0
図工室(美術室)	480	26.7	64	1707	95	0
理科室	560	31.1	96	2987	166	0
(理科)準備室	720	40.0	64	2560	48	95
廊下	32	1.8	68	121	7	0
階段室	32	1.8	32	57	4	0
便所	32	1.8	30	53	3	0

表 2.4.1-3 各室の収納可燃物(3階)

3階	発熱量 密度	木材換 算密度	室面積	木材 重量	ク립(個)	
室名称	MJ/m ²	kg/m ²	m ²	kg	一般型	書籍型
普通教室	400	22.2	64	1422	79	0
オープンスペース	200	11.1	64	711	33	0
普通教室	400	22.2	128	2844	158	0
オープンスペース	200	11.1	128	1422	116	0
更衣室	720	40.0	10	400	23	0
家庭科室	560	31.1	64	1991	111	0
音楽室	400	22.2	128	2844	158	0
(家庭科/音楽)準備室	900	50.0	32	1600	89	0
廊下	32	1.8	68	121	7	0
階段室	32	1.8	32	57	4	0
便所	32	1.8	30	53	3	0

2. 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。予備実験では、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、延べ床面積が約 2,260m²あり、建物内の気積が大きいことから、屋外に面する開口部は閉鎖し、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、1階図書コーナーと職員室（南西）の南側外壁の開口部とその上階の開口部には、延焼要因となるカーテン（ドレープ（防災製品）およびレース共にポリエステル製）を設け、写真 2.4.2-1 に示すように、実験前に2階と3階の西側のサッシュ 2 枚分のカーテンを閉めた状態とし、その他は、タッセルによりカーテンを束ねた状態とした。



写真 2.4.2-1 開口部のカーテンの開閉状況

2. 4. 3 点火源および点火方法

予備実験では、確実に火災を室内に拡大させるため、別途行った火源周りの実験から火源となるクリブの燃焼により形成される火炎が天井に到達するように井桁状のクリブを3段に重ねた。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は、写真 2.4.3-1、2 に示すとおりである。



写真 2.4.3-1 実験前の火源周辺の様子

写真 2.4.3-2 実験前のクリブ設置の様子

2. 4. 4 実験継続時間の設定

予備実験では、主要構造部を1時間準耐火構造としたため、防火被覆のせっこうボードの下地に使用された構造用合板や軸材料等の木材の燃焼や、火災室内に面する部材は軸組の木材が炭化するまで燃焼が継続することが想定できる。また、その燃焼の仕方は一様ではなく、実際の火災現象を予測する上で厳密に耐火性能検証が適用できる訳ではないものの、収納可燃物および燃えしろを含む内装の燃焼の継続時間を、2. 4. 1をもとに耐火性能検証法に基づいて火災継続時間を計算した。

その結果、収納可燃物および内装の燃焼の継続時間1階職員室で32分程度、1階図書室で37分程度燃焼が継続することが予測でき、これらの可燃物が燃焼中に軸材料や構造用合板が燃焼し始め、新たな開口部の形成とともに室内温度は低下しながら火災が継続することが予想できる。

2. 5 測定項目および測定方法

予備実験における、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および測定体制について以下に示す。

2. 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・降水量について、図 2.5.1-1 に示す実験建物周辺の3点と、建物から南に 150m 離れたタワー（観測点高さ 30m）に気象観測装置を設置して測定した。測定に使用した気象観測装置は写真 2.5.1-1 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 2 ヶ月前から 5 分間隔で継続的に測定し、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や実験建物の影響が小さいと考えられる本部観測点とタワー観測点（写真 2.5.1-2）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。

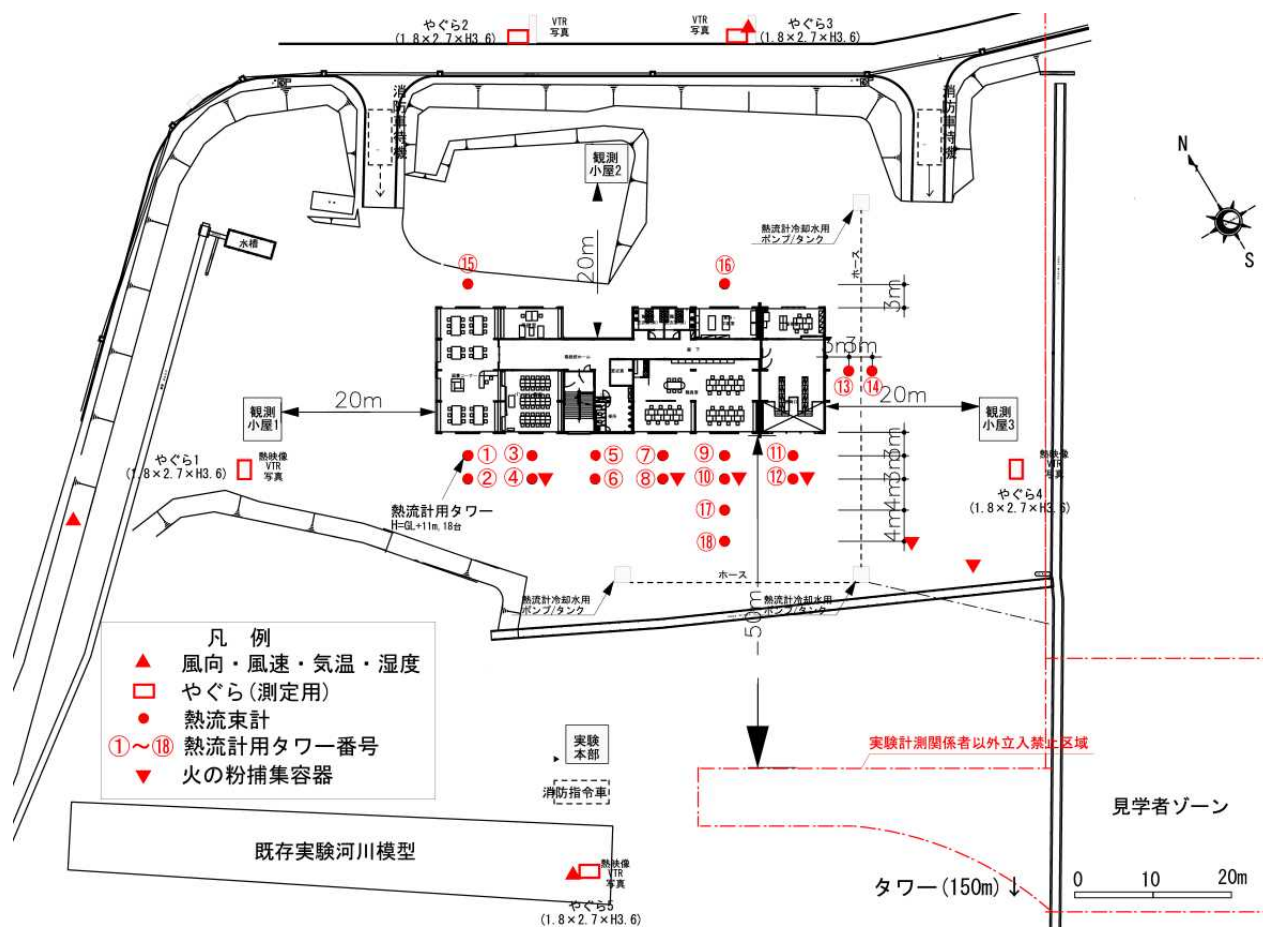


図 2.5.1-1 実験敷地と測定項目の概要



写真 2.5.1-1 気象観測装置



写真 2.5.1-2 気象観測点(左：本部観測点、右：タワー観測点)

2. 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 2.5.1-1 および図 2.5.2-1 に示す 5 台のやぐら（高さ 3.6m（やぐら 5 は 5 m））タワー上部でデジタルビデオによる定点撮影を行い、加えて観察者 2 名による移動撮影を随時行った。

また、図 2.5.2-2 に示すとおり、1 階の職員室 2 箇所、昇降口、廊下(西)、廊下(東)、図書室、2、3 階のオープンスペース(西)の各 1 箇所、一部のものには写真 2.5.2-1 に示す耐熱加工を施した CCD カメラにより定点撮影を行いケーブルを通じて観測小屋内で録画した。

図 2.5.1-1 および図 2.5.2-2 に示す 5 台のやぐらからは、デジタルカメラによる 1 分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 名による移動撮影および目視観察を随時行った。

図 2.5.1-1 および図 2.5.2-1 に示す 5 台のやぐらからは、外壁面付近の温度分布を熱映像として、サーモビューアにより測定を行った。使用したサーモビューアの仕様を表 2.5.2-1 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 学の窓面の温度変化や開口部からの噴出火炎の温度分布等を測定できるように視野を固定して点火時刻の 10 分前から 1 分間隔で熱映像を撮影した。



写真 2.5.2-1 建物内撮影用 CCD カメラ（耐熱加工したもの）

表 2.5.2-1 測定に用いたサーモビューアの仕様と測定時間

計測点	計測対象	機種名	表示レンジ	計測時間	その他
やぐら1	西側	日本アビオニクス TVS-700	0-1200℃	点火後37分まで	高温測定対応(2000℃ まで)、広角レンズ付き
やぐら2	北西側	NEC Avio赤外線テクノロジー TVS-500EX	0-500℃	点火後27分まで	高温測定非対応 (500℃まで)
やぐら3	北東側	NEC Avio赤外線テクノロジー H2640	0-1200℃	点火後20分まで	高温測定対応(2000℃ まで)、広角レンズ付き
やぐら4	東側	NEC Avio赤外線テクノロジー H2640	0-1200℃	点火後48分で中断後、 移動して断続的に計測	高温測定対応(2000℃ まで)、広角レンズ付き
やぐら5	南側	日本アビオニクス TVS-700	0-1200℃	点火から実験終了まで	高温測定対応(2000℃ まで)、広角レンズ付き

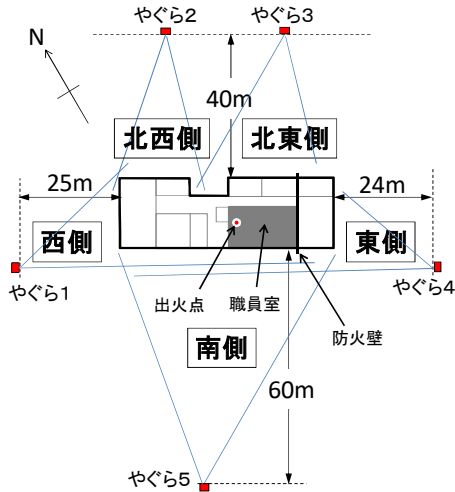


図 2.5.2-1 屋外におけるデジタルカメラ測定位置

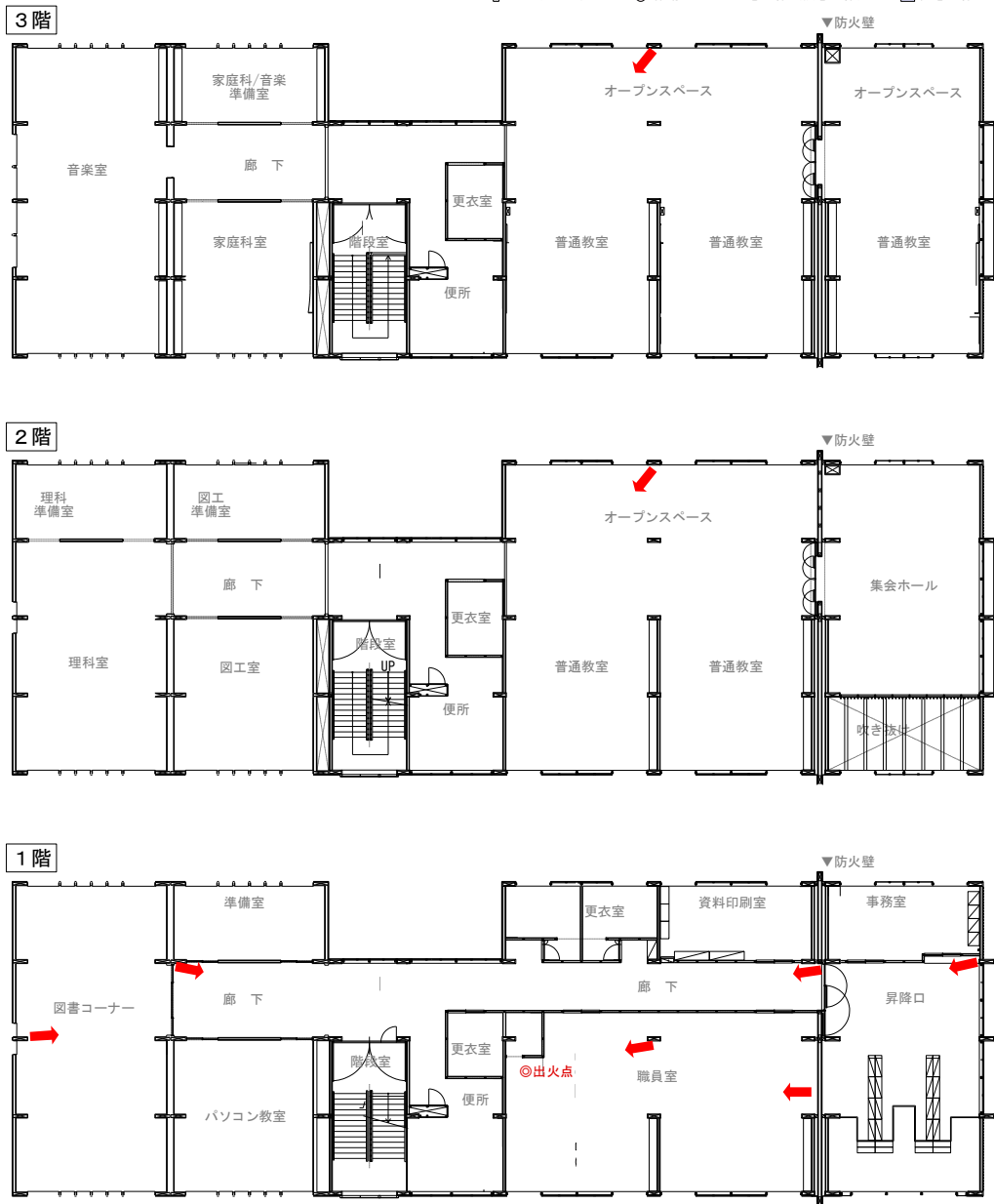


図 2.5.2-2 内部 CCD カメラの設置位置

2. 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、熱電対（JIS K 型 0.65mm 径）を、

- ・室内空間および部材表面に合計 360 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 210 点
- ・上階への延焼拡大性状を検討するために、建物外壁面に合計 73 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 2.5.3-1~3 に示す位置で、写真 2.5.3-1、2 に示すとおりセラミックファイバーで被覆した熱電対タワーに設置した熱電対を用いて行った。軸組工法部分 1、2 階における測定高さは、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。天井高さの高い 3 階については、北側および南側は FL+1.8m、FL+2.621m、FL+3.442m、天井面、棟木に近い側は FL+1.8m、FL+3.021m、FL+4.242m、天井面において測定した。枠組壁工法部分は床上 1.8m、2.4m の高さで天井下面で測定した。

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、写真 2.5.3-3、4 に示すとおり、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 2.5.3-1 熱電対タワー



写真 2.5.3-2 熱電対設置の様子



写真 2.5.3-3 壁表面熱電対様子



写真 2.5.3-4 熱電対配線様子

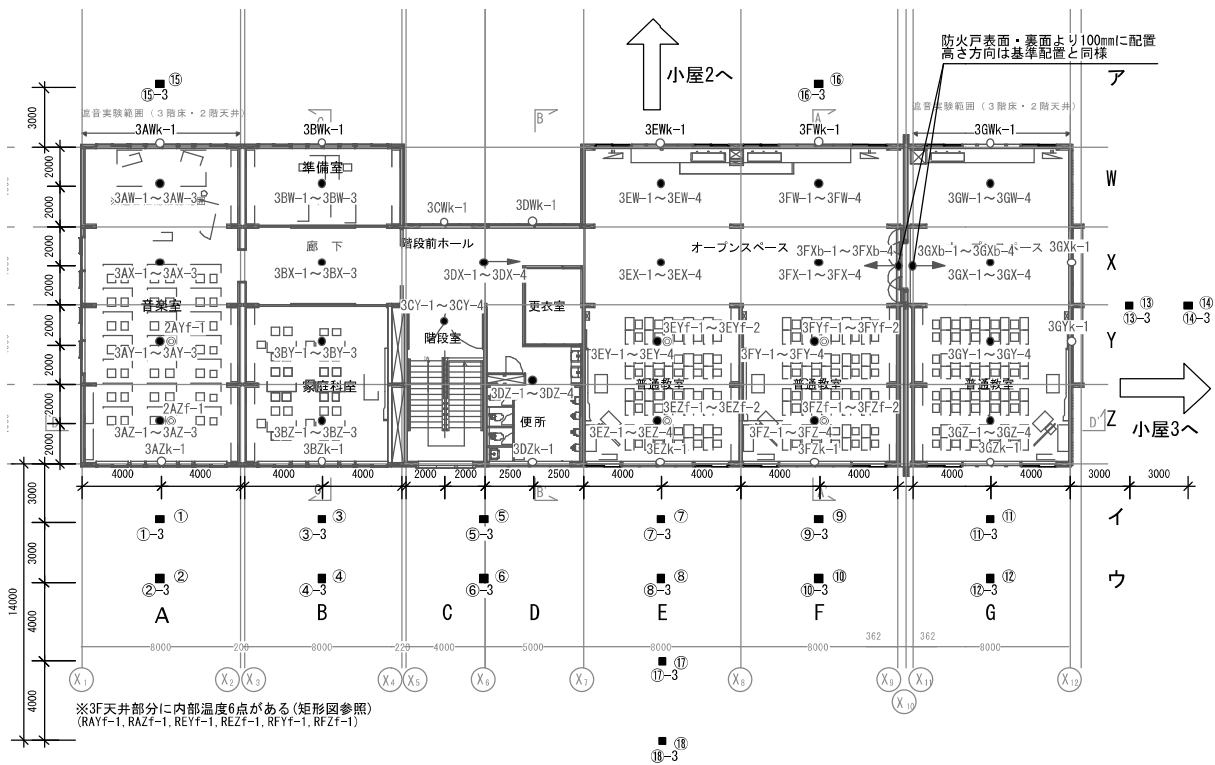


図 2.5.3-1 3階温度および熱流束測定位置

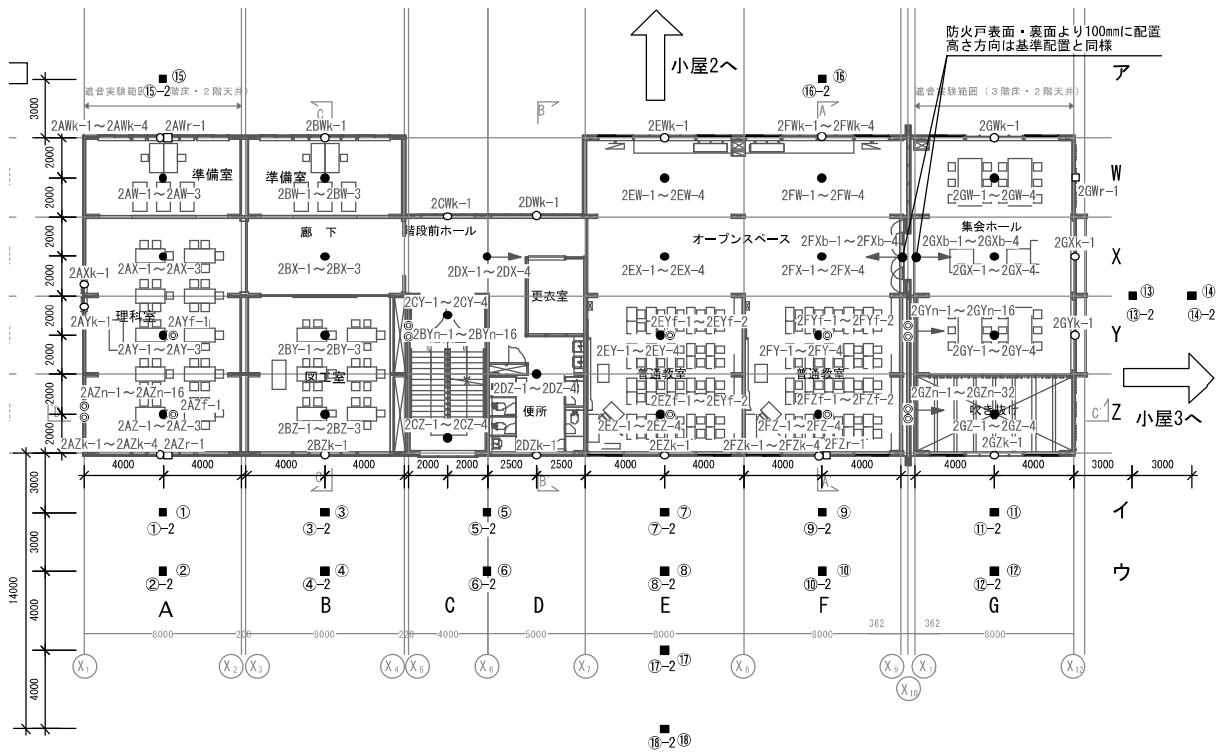


図 2.5.3-2 2階温度および熱流束測定位置

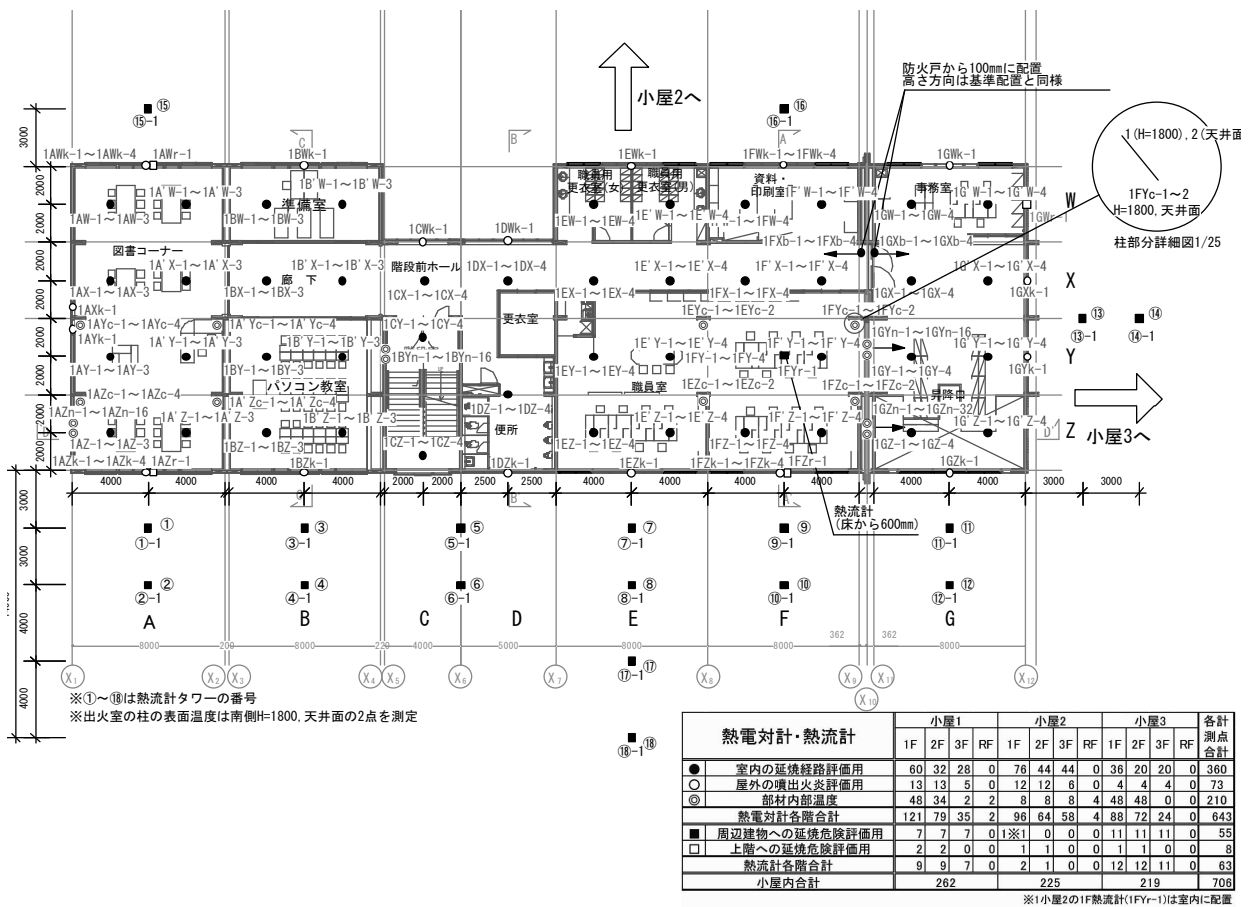


図 2.5.3-3 1階温度および熱流束測定位置

熱電対計・熱流計	小屋1			小屋2			小屋3			各計測点合計			
	1F	2F	RF	1F	2F	RF	1F	2F	RF				
● 室内の延焼経路評価用	60	32	28	0	76	44	44	0	36	20	20	0	360
○ 屋外の噴出火炎評価用	13	13	5	0	12	12	6	0	4	4	4	0	73
◎ 部材内部温度	48	34	2	2	8	8	8	4	48	48	0	0	210
熱電対計各階合計	121	79	35	2	96	64	58	4	88	72	24	0	643
■ 周辺建物への延焼危険評価用	7	7	7	0	1	0	0	1	11	11	11	0	55
□ 上階への延焼危険評価用	2	2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	8
熱流計各階合計	9	9	7	0	2	1	0	0	12	12	11	0	63
小屋内合計	262			225			219			706			

※1小屋2の1F熱流計(1FYr-1)は室内に配置

(2) 部材温度測定位置

建物各部材の温度測定位置を図 2.5.3-4 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 2.5.3-5～9 に示す。

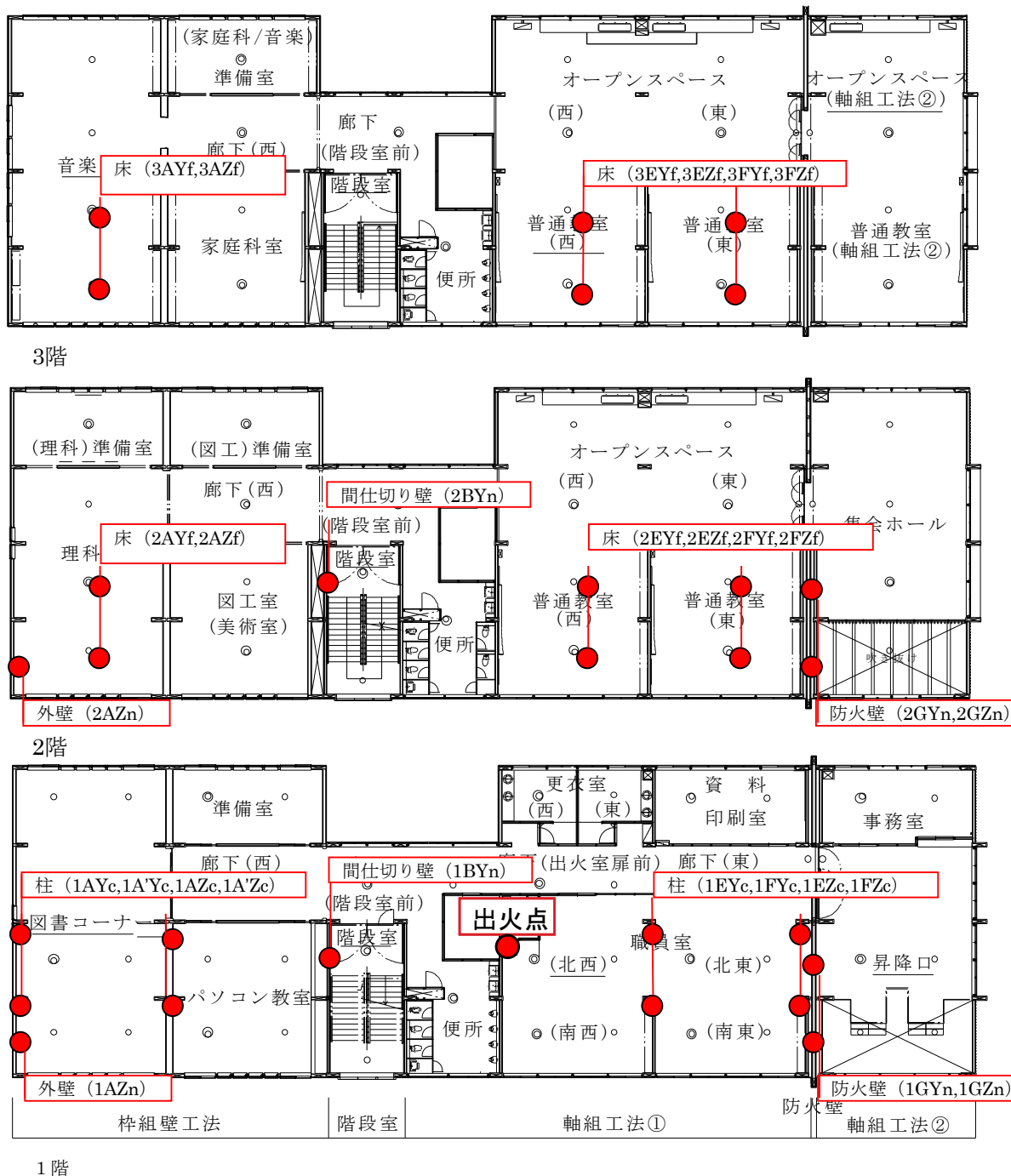


図 2.5.3-4 部材温度測定位置 平面図

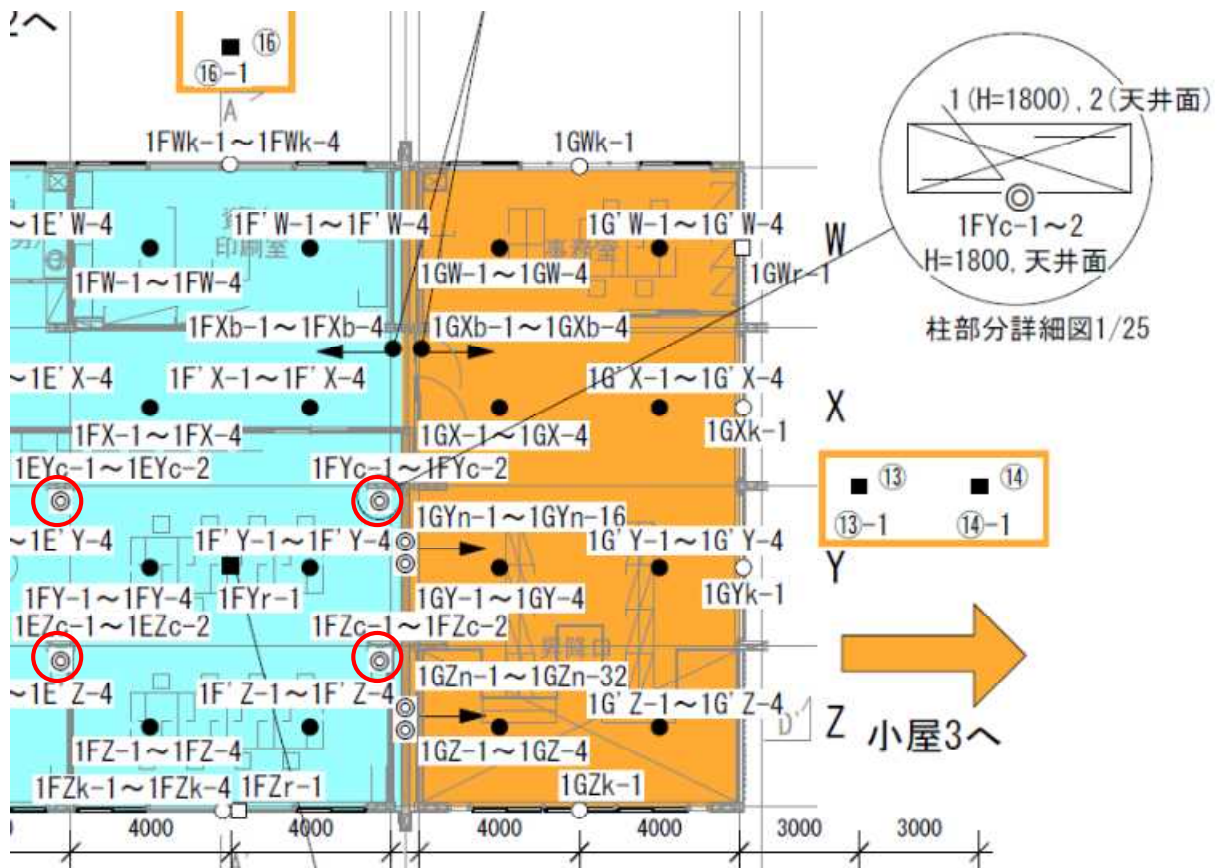
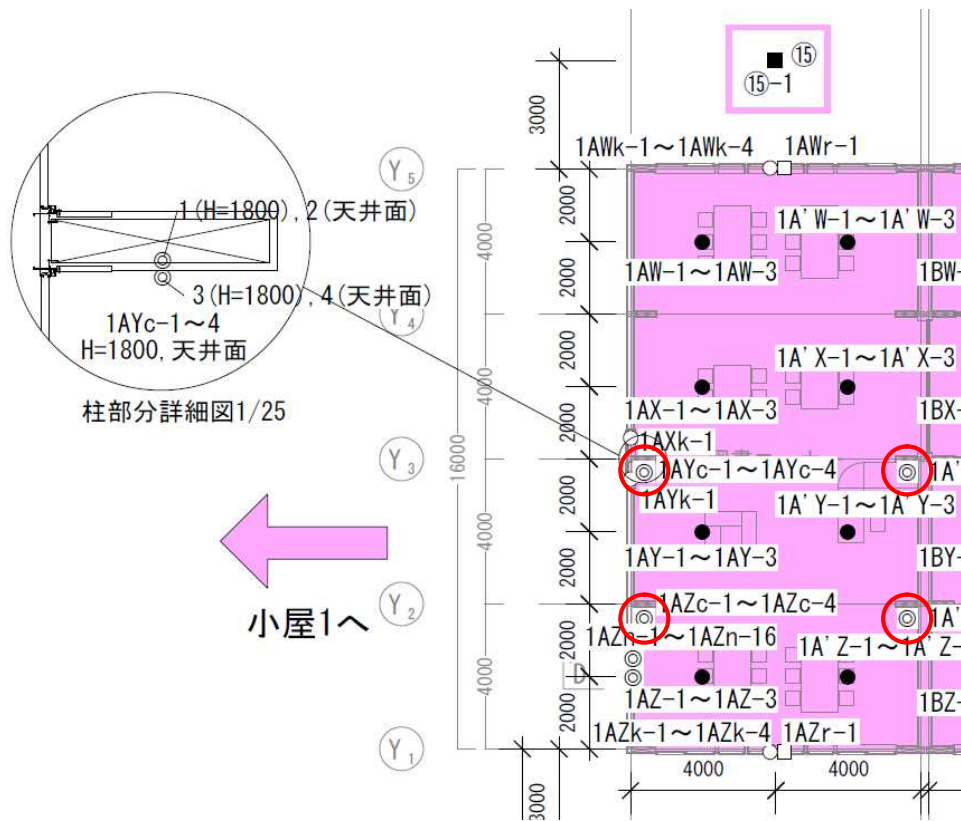


图 2.5.3-5 柱温度测定点

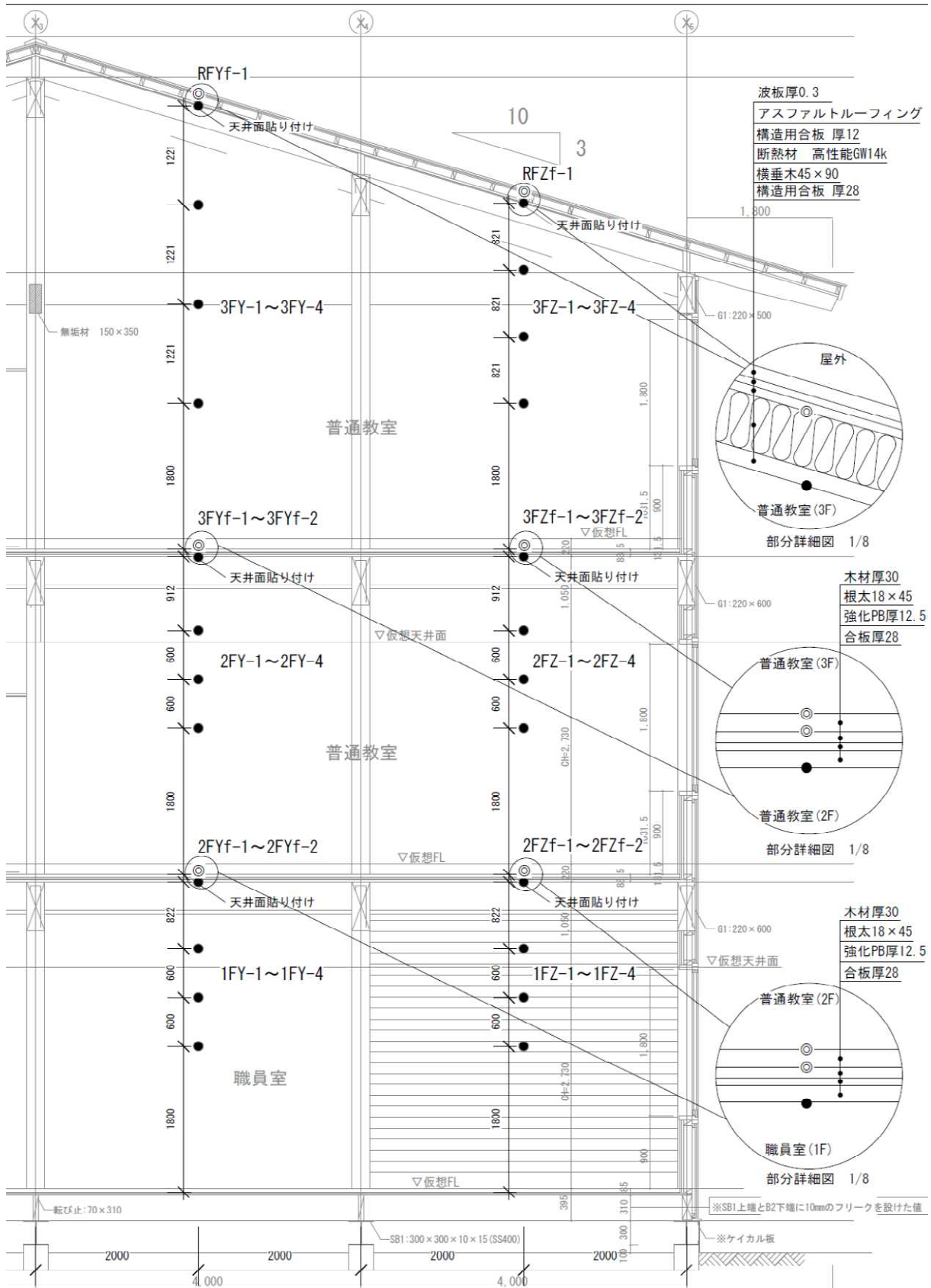


図 2.5.3-6 2、3階床および屋根温度測定点 鉛直断面

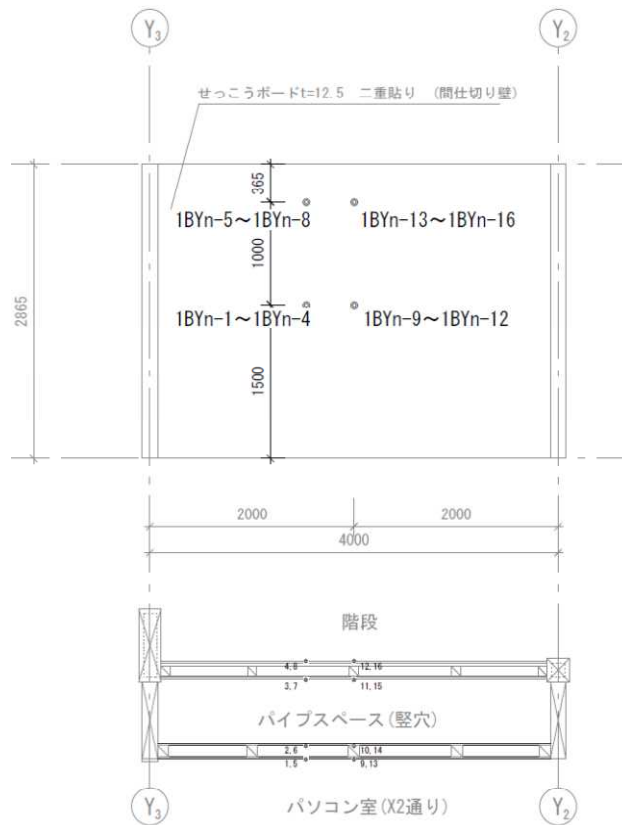


図 2.5.3-7 間仕切り壁温度測定点

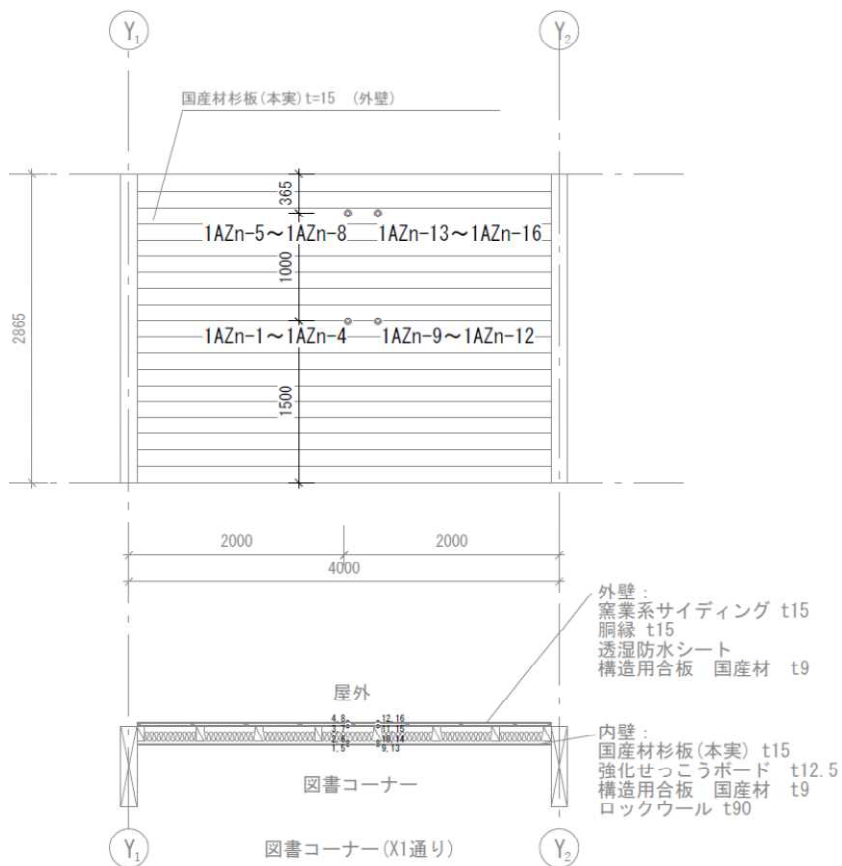


図 2.5.3-8 外壁温度測定点

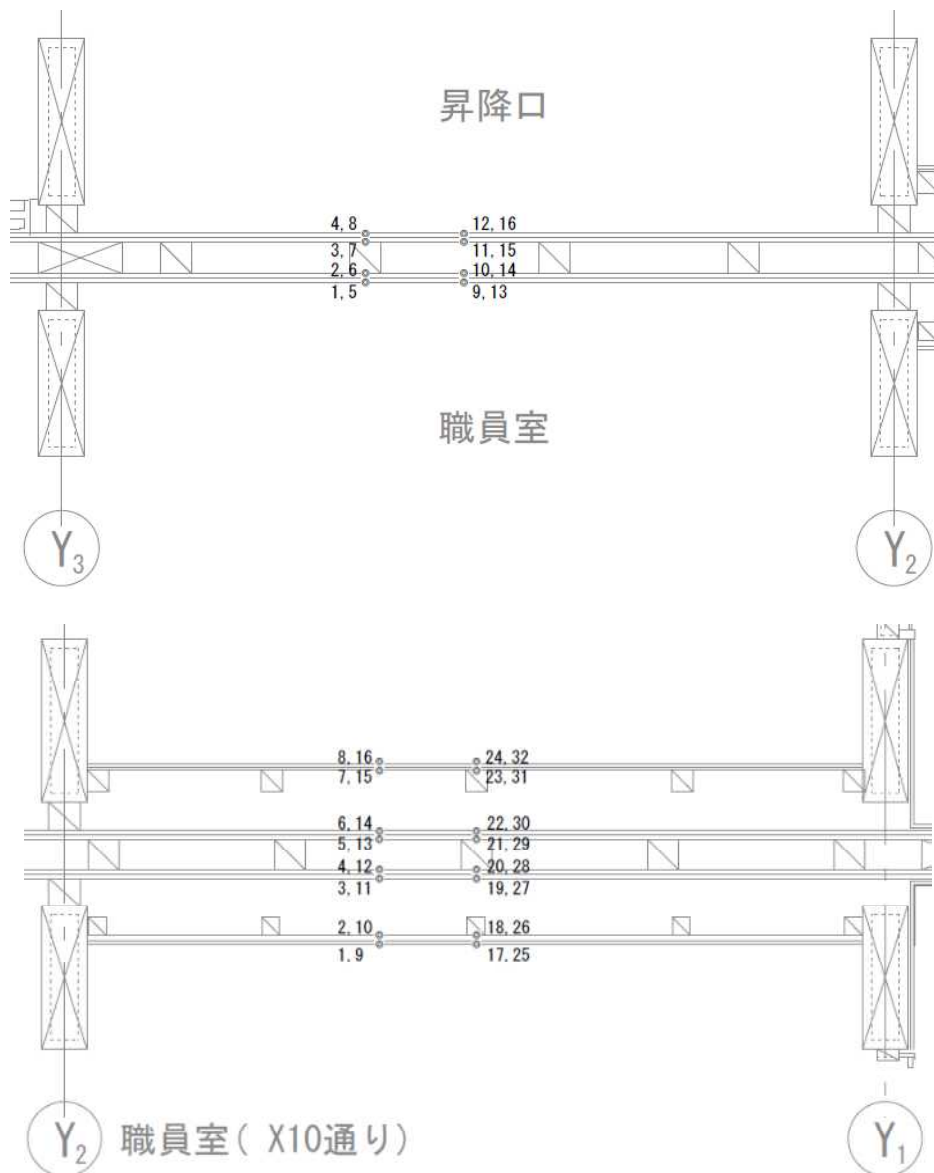
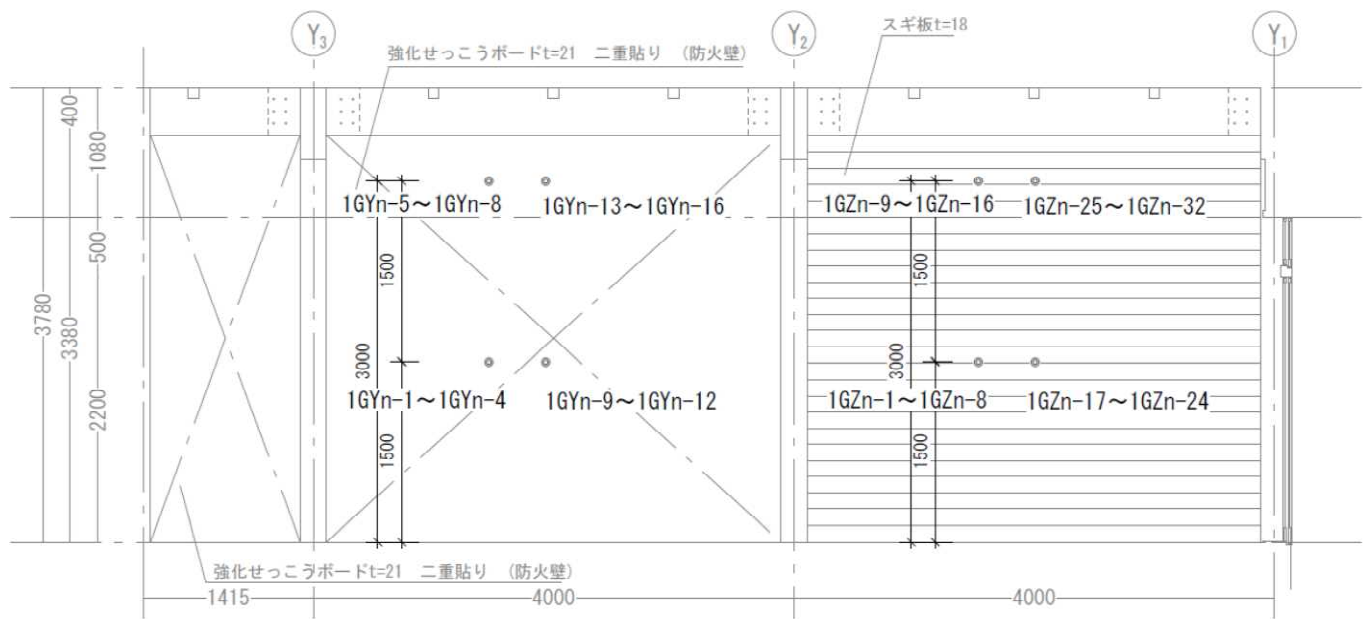


図 2.5.3-9 防火壁温度測定点

(3) 建物外部の温度測定位置

建物外部の温度は、図 2.2.1-1、図 2.5.3-1～3 および写真 2.5.4-4 に示す外壁面で測定した。

2. 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 2.5.3-3 に示すとおり、職員室内の机天板レベル(H=0.6m、1点)に上向きに設置した熱流束計で測定した。熱流束計は、写真 2.5.4-1 に示す水冷式熱流束計(フランジ無しタイプのシュミッド・ボエルター型、Hukseflux 社製、型番：CHF-SBG03-200)を用いた。熱流束計の測定レンジは、常用測定レンジ 0～200 kW/m²、最高測定レンジ 300 kW/m²である。熱流束計は、写真 2.5.4-2 に示すとおり受熱部分を除き、セラミックファイバース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。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)を各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 2.5.4-1 熱流束計



写真 2.5.4-2 熱流束計

(2) 建物外部の熱流束

建物外部の入射熱流束は、図 2.5.1-1 および写真 2.5.4-4 に示す熱流束計タワー①～⑱(54 点)、外壁面(8 点)に設置した水冷式入射熱流束計(常用測定レンジ 0～200kW/m²、最高測定レンジ 300kW/m²)を用いて測定した。また、実験建物からの離隔距離が大きい場所には、写真 2.5.4-3 に示す常用測定レンジ 100kW/m²の水冷式熱流束計(ガードン型、Medtherm 社製)を設置した。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。なお、ABCD ゾーンの熱流束計①～⑥、⑮)、EFG ゾーンの熱流束計⑦～⑫、⑰、⑱)、FG ゾーン北側および東側の熱流束計の冷却水は、それぞれ約 26、27、23 分後に放射熱、火の粉等の影響により循環を停止した。

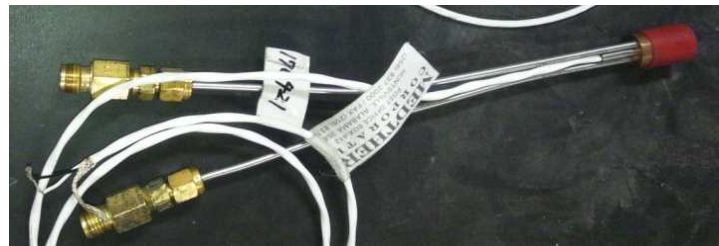


写真 2.5.4-3 ガードン型の熱流束計



a) 熱流束計タワー



b) 外壁面の熱流束計設置状況

写真 2.5.4-4 屋外の熱流束計

2. 5. 5 感知器、スプリンクラーヘッド

図 2.5.5-1 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、図 2.5.5-1 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。

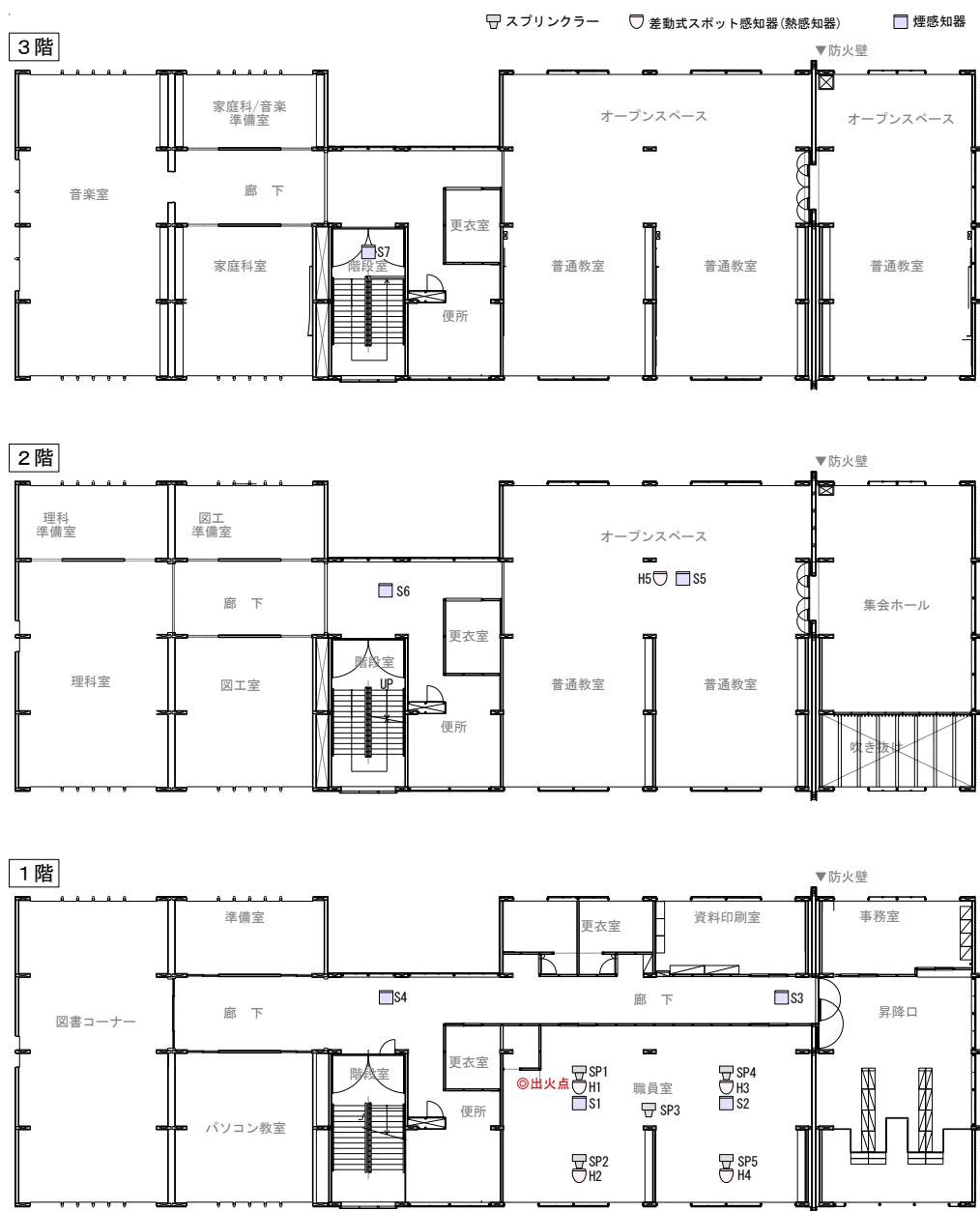


図 2.5.5-1 火災感知器およびスプリンクラーヘッド設置位置

2. 5. 6 火の粉

火の粉は、実験中確認されたものを収集し、時刻と場所を記録した。また、実験後に火の粉と想定できたものについては、場所を記録した。火の粉の個数、実験建物からの距離、飛散範囲、密度を算出した。

2. 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。

2. 5. 8 計測体制

予備実験における計測の体制を、図 2.5.8-1 に示す。計測体制は実験本部の下に、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した。また、本部では風向および風速や火災状況の記録要員を配置した。これらの計測スタッフとして 120 名程度を動員した。

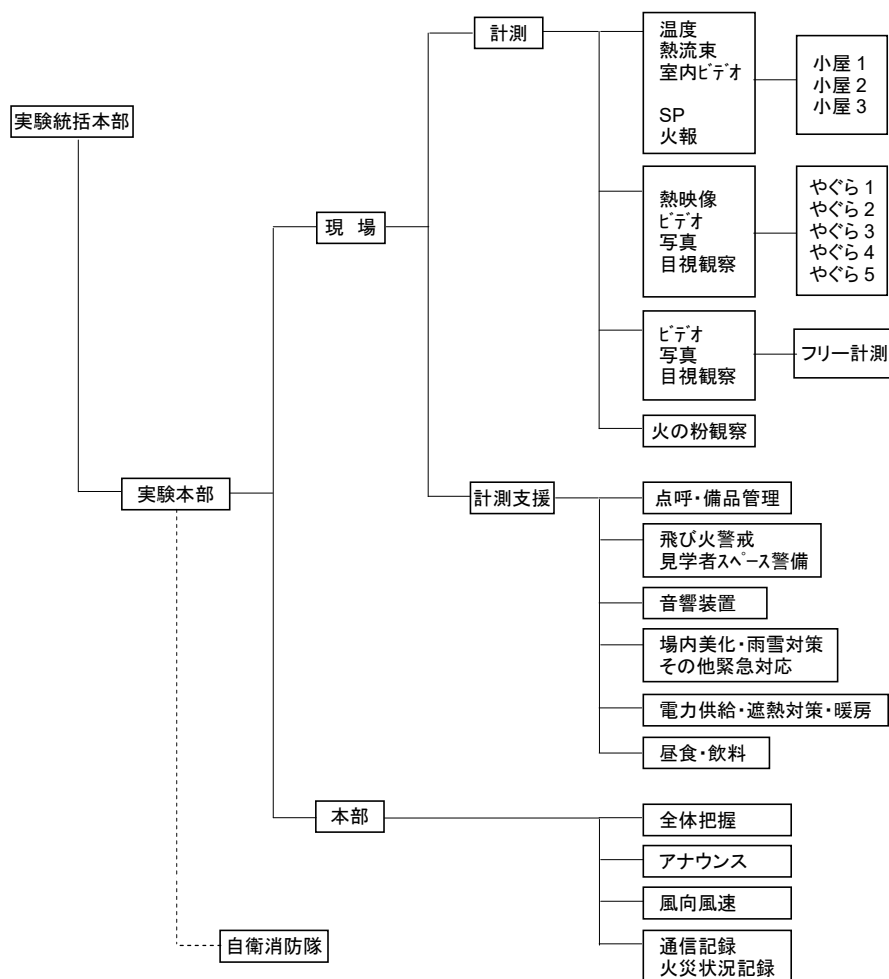


図 2.5.8-1 予備実験における計測の体制

2. 6 安全管理

予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。

2. 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

予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に警戒等を含めて、つくば市消防本部と連携しながら計画した。

また、実験には一般見学者があり、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

実験建物および実験敷地の概要は以下のとおりである。

- ・敷地：国土交通省国土技術政策総合研究所内河川模型実験施設(つくば市旭1番地)
- ・構造：木造3階建て1時間準耐火構造
- ・建築面積：830 m²程度
- ・延べ面積：2,260m²程度
- ・実施予定：平成24年2月22日(水)実験予定日(平成24年2月23日(木)第一予備日、平成24年2月28日(火)第二予備日)
- ・実験関係者：延べ200名(その他、一般見学者800名、ロジ関係者60名)
- ・実験を実施する敷地の北側および西側に隣接する市道および実験建物からおおよそ500m東側に国道が通っており、実験建物南側敷地は河川模型実験施設が点在している原野状の実験敷地である。なお、屋外消火栓が実験建物より150m南に設置されている。

(3) 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優先し、火の粉の飛散については、従来の実大火災実験の経験から、散水や火の粉の飛散状況を確認して消火するという対応を行ってきた。

そこで、建物を長さ50mで奥行き20mで高さ15mとして、これが全体に燃えたと仮定して、乾燥した木材へ着火しないこと、倒壊により高さの2倍の範囲に影響があると想定して、130m x 100mの範囲に加害性があるとした。

(4) 実験敷地の条件

木3学実大火災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（130m x 100m以上の広さ）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容易であること
- ・周囲（一般の住民）に対して影響が少ないといえること

実験敷地については、国土交通省、関東地方整備局経由で茨城県、千葉県、埼玉県、東京都、神奈川県に対して確認し、UR都市機構、事業主体、独立行政法人（現 国立研究開発法人）建築研究所の敷地等を検討したが、適当な敷地がないことから、国土交通省国土技術政策総合研究所内河川模型実験施設において実施することとなった。

2. 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：公開とする。
- ・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・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および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：「全体会議」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、誤報対策のための市役所（支所を含む）および警察署、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。
- ・見学者対策：公開であるが、特に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：実験に先立ち実験の趣旨、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、図2.6.2-1のとおりである。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。

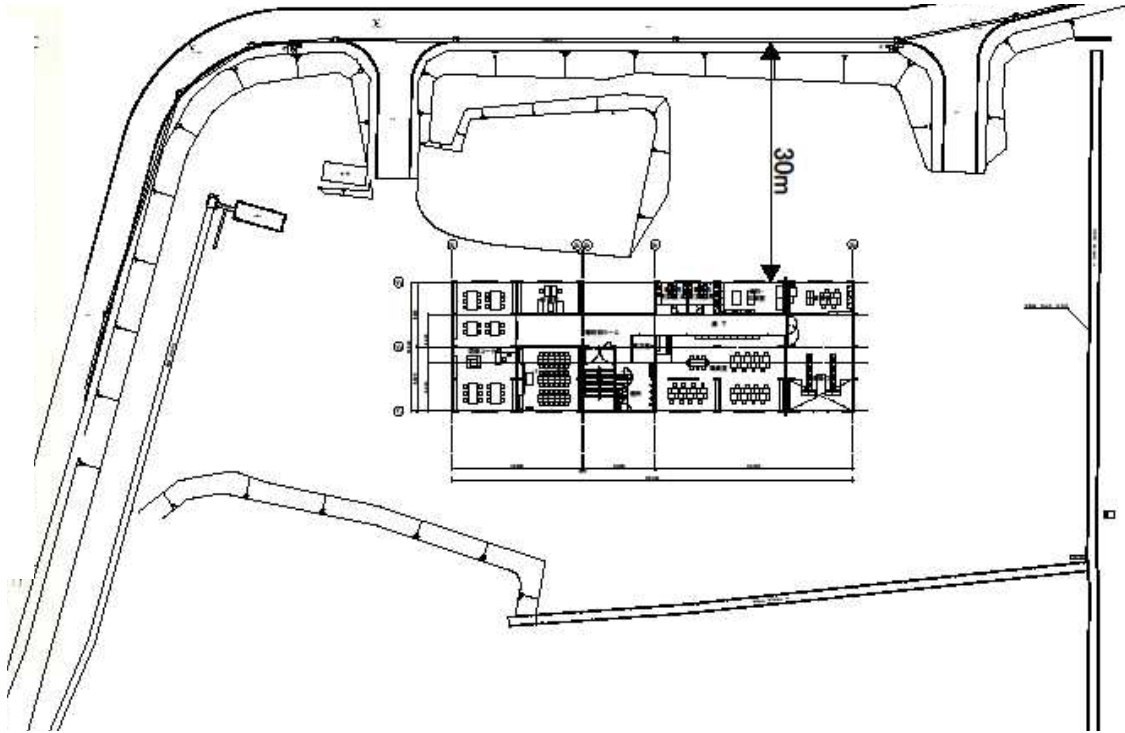


図 2.6.2-1 火災実験予定建物の配置および周囲の位置関係

(3) 消防消火体制

1) 実験時における想定と対応方法

実験時に想定される状況に対応し、必要となる消火体制を以下のように想定し準備した。

0.実験前の事前放水(必須)

1.理想的に実験が進んだ場合

- 1.1 骨組みも含め全て炭化消失(残火処理)
- 1.2 骨組みを残して他の部位が炭化消失(残火処理)(破壊+残火処理)
- 1.3 骨組み・外壁・間仕切り壁等が一部残る場合(破壊+残火処理)

2.延焼拡大が予想以上に起きた場合(破壊+残火処理含む)

- 2.1 建物へ放水せずに実験が継続できる場合(周囲への延焼防止)
- 2.2 建物への放水が必要な場合(建物への放水+破壊+局囲への延焼防止)

3.部分的な放水の可能性について(破壊+残火処理含む)

- 3.1 風向・風速によっては周囲への延焼防止部分が変わる
(北側や西側の土手への延焼、離れたところへの飛び火)
- 3.2 延焼拡大が予想以上に起きた場合への放水のシナリオの想定
(建物全てに放水すればよいか・部分的に優先順位を指示するか)

4.緊急対応(破壊+残火処理含む)

- 4.1 地震等により継続困難な場合(停電・安全確保上の問題等)
(建物への放水+破壊+周囲への延焼防止)

※破壊活動には重機が必要である。

※消火水の確保

2) 消防による消火警戒体制

つくば消防の協力による消火警戒体制は以下のとおりとして、実験実施者と連携して行った。

- ①警戒指揮本部（5名）
- ②実験区域内配備車両（5隊）
- ③実験区域外配備車両(外周道路)（2隊）

3) 消防による警戒実施

準備を含め点火から日没まで、警戒を実施する。

4) 警戒要領

- ・各隊は待機位置にて飛び火警戒を行う。
- ・軽微な飛び火事象についてはジェットシューターを有効に活用する。
- ・中継送水は指揮本部の指示によるものとする。
- ・可搬ポンプ部署位置に2つの予備車隊からそれぞれ1名(携帯無線配備)を配置する。
- ・各隊の活動等については、随時、警戒指揮本部へ報告する。

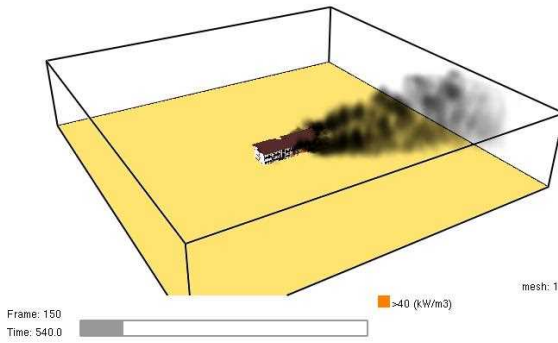
5) その他の事項

- ・実験中の災害等については原則として通常の出場とし、実験敷地の西門からの出場する。
- ・実験建物の消火については警戒指揮本部の指示による。
- ・各隊（予備車は除く）は警戒開始前にジェットシューターに充水しておく。
- ・実験の実施・延期等の連絡は、消防指令課から当日6時まで各課・各署へ連絡する。
- ・各隊は準備が完了したら、無線にて警戒指揮本部へ「部署完了」を報告する。

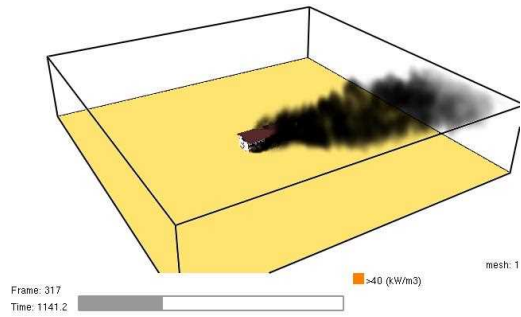
(4) 機器および人員配置

1) 水源・可搬ポンプ・消防ホース・人員等

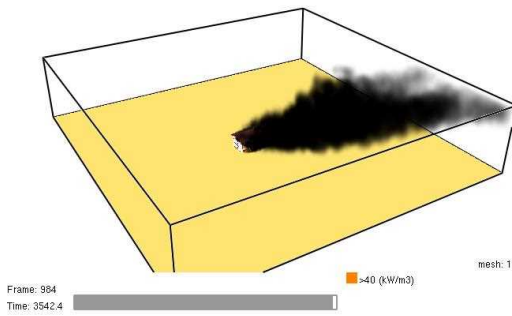
- ・消防は、実験による近隣住民への被害を防止することが第一であり、そのために実験による不慮の事故又は緊急時の対応のために実験に協力する。
- ・消防の協力は午前8時から午後5時までとし、事前散水および残火処理は実験実施者が行う。
- ・地域住民への事前広報は、国土技術政策総合研究所が実施する。
- ・実験は北西の風の場合に実施する。強風時は実験中止する。
- ・火災実験の責任所在は実験実施者とする。
- ・住民対応(周知・広報・問合せ・説明・苦情)は国土技術政策総合研究所が実施する。
- ・新聞社やテレビ局等の取材に関する対応等は国土技術政策総合研究所が対応する。
- ・実験にあたっての火炎と煙等の周辺(国道)への影響を、図2.6.2-2に示すとおり、シミュレーションにより煙の降下による交通障害等の問題がないこと確認した。図は北西からの外気風により、延焼建物から煙が流れる様子を示している。



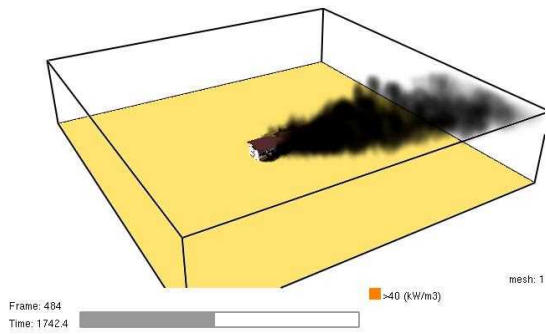
9 分後



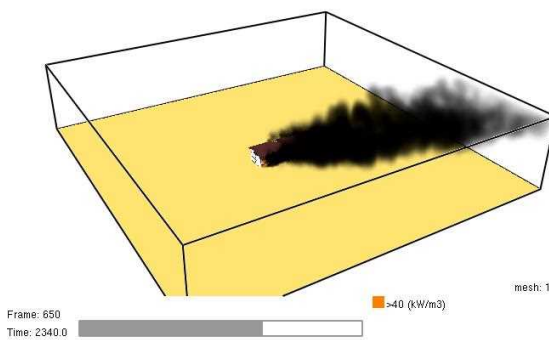
19 分後



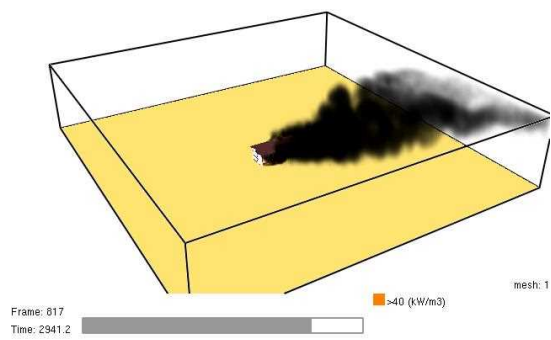
29 分後



39 分後



49 分後



59 分後

図 2.6.2-2 火災盛期を想定した煙の拡散シミュレーションの結果

- 2) 交通・飛び火・健康・環境・灰・家畜・農作物・病院・学校等
- ・実験に際して想定外が発生しないよう万全の準備を行う。
 - ・可搬ポンプ2台とホース等を確保する。
 - ・風向・風速・雨(小雨以外)により順延の可能性がある。当日午前6時に判断する。
 - ・周辺地域への具体的な周知・説明(看板・回覧・説明会等)を実施する。

- ・消防本部および消防団は、スピーカー等による広報活動は行わないが、実験中および実験後の警戒は実施する。
- ・消防は、実験中消防車2台と警戒に必要な人員を現場に配備し、緊急時対応に備える。

(8:00~17:00)

- ・実験実施者は、実験中敷地内外の警戒に当たる。
- ・残火処理は、原則実験実施者が対応する。消防は緊急対応である。
- ・消防は、災害通知メールおよびテレホンサービスを活用して広報する。
- ・実験実施者は、水利周りも含め可能な限りの除草を行う。
- ・国土技術政策総合研究所・建築研究所は、見学者等の避難経路を確保する。
- ・炎の高さは、屋根から最大で4m、建物と合わせて地上19mと想定する。
- ・50m離れれば放射熱の影響は少ないことから安全と考えている。
- ・バイクや自転車に消火器を積んで、敷地内の飛び火警戒を検討する。
- ・実験実施者は、総務省消防庁を通じ全国消防長会への案内を予定する。

(5) 実験関係者、消防関係者の安全体制

保安警戒マニュアルを作成し、以下について準備および周知を行う。

- ・ 予め非常時の対応方法の指示と各役割の分担
- ・ 避難路の整備と確保
- ・ 非常時の誘導（見学者とも）
- ・ 安全器具および救急器具の準備

救急箱、ヘルメット、現地消防署によるポンプ車の待機、自衛消防隊、救急班を用意する。

- ・ 一般時、非常時の通報手段の確保

場内放送設備、主要観測位置の観測員を待機させ連絡を十分に行う。

(6) 点火までに行う安全計画

1) 枯草の除去

実験敷地およびその周辺の枯草を除去する。概ね建物から50mの距離を目安として、実験当日風下となることが想定される建物南側および南東側について、見学席等も含めて行う。

2) 周辺への実験周知

実験に先立ち、非火災報や混乱をまねかないこと、不安を与えないことなどから、敷地周辺への周知を行う。方法は以下のとおり。

- ・ 主要な道路における立看板の設置
- ・ 自治会協力による回覧板の回覧
- ・ つくば市報掲載
- ・ 店舗等事業所への個別訪問による説明

(7) 消火終了後の安全計画

1) 鎮火の確認

十分に消火が行われ、再燃の恐れのないことを消防本部および実験実施者が確認する。

2) 残火体制

鎮火確認後、自衛消防隊により残火による再燃警戒を行う。期間は一昼夜を目安として、可搬ポンプにより消火可能な体制をとる。

敷地周辺の警戒については、つくば消防が定期的に巡回を行い警戒とともに周辺住民の安心に寄与する。

(8) 総合的な安全体制

消防および火災に関する専門家の助言および指導体制として、地元であるつくば消防本部の助言および連携作業のほか、消防ポンプ協会の協力を得て、機材の確保、整備、自衛消防隊の操作等を習熟して実験を実施する。

2. 6. 3 実験の実施・中止の判断

実験は、以下の条件を実施/中止の判断基準とした。

風速（風速7m/s以下）、風向（西～北）降水量1mm/h以下の場合のみ実験を実施する。条件に合わない場合は延期する。

また、実験中に危険発生の兆候が認められると判断された場合（地震、突風・風向の急変を想定）には、実験を中止して消防隊により消火する。

2. 6. 4 安全管理の実施

実験実施までに、2. 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。

2. 7 測定結果

2. 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。点火時刻の2月22日午前9時から午前11時30分までの、写真2.5.1-2に示す本部観測点（地上10m）とタワー観測点（地上30m）における5分ごとの観測データを表2.7.1-1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) 気温および湿度

気温は実験開始時点で5.8℃でその後徐々に上昇し、実験終了時は8.2℃であった。湿度は47%前後を推移した。

(2) 風速および風向

本部観測点での風速は5m/s前後で推移した。タワー観測点では5m/s前後で推移した。着火から10分、30分、60分の時点では一時的に7~8m/s程度の風速が観測されたが、継続して、実験中止の判断基準である7m/sを超える風速とはならなかった。風向は概ね東北東から東であった。

(3) 降水量

実験を通じて晴天で降雨はなかった。

表 2.7.1-1 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 (タワー)	風速 (タワー)
9:00	0	5.8	47	0.0	東北東	4.9	東北東	5.4
9:05	5	5.8	46	0.0	東北東	4.9	東北東	4.5
9:10	10	5.9	47	0.0	東北東	4.9	東北東	7.6
9:15	15	6.3	47	0.0	東	3.6	東北東	6.7
9:20	20	6.5	45	0.0	東	4.9	東北東	6.7
9:25	25	6.4	47	0.0	東北東	6.3	東北東	3.1
9:30	30	6.6	47	0.0	東	4.9	東北東	6.7
9:35	35	6.5	45	0.0	東	4.5	東北東	8.0
9:40	40	6.6	46	0.0	東北東	5.4	東北東	6.3
9:45	45	6.6	46	0.0	東	5.4	東北東	6.3
9:50	50	6.7	47	0.0	東北東	4.9	東北東	4.5
9:55	55	6.6	47	0.0	東	4.0	東	4.9
10:00	60	6.8	46	0.0	東	4.9	東北東	7.6
10:05	65	6.7	47	0.0	東	4.9	東北東	6.7
10:10	70	7.1	46	0.0	東南東	4.9	東北東	6.3
10:15	75	6.8	48	0.0	東北東	4.0	東北東	6.3
10:20	80	6.9	47	0.0	東	5.4	東	4.9
10:25	85	7.2	47	0.0	東北東	6.3	東北東	4.0
10:30	90	7.2	47	0.0	東北東	3.1	東北東	2.7
10:35	95	7.7	46	0.0	東	3.6	東北東	6.3
10:40	100	7.7	46	0.0	東北東	4.5	北東	4.9
10:45	105	7.4	46	0.0	東	4.0	東	4.9
10:50	110	7.6	45	0.0	東北東	3.1	東北東	4.0
10:55	115	7.7	45	0.0	東	5.8	東	5.8
11:00	120	7.6	45	0.0	東	4.9	東	4.0
11:05	125	7.6	47	0.0	東南東	3.6	東	4.5
11:10	130	7.8	44	0.0	東	5.8	東北東	5.8
11:15	135	7.8	46	0.0	東	4.5	東北東	4.9
11:20	140	7.8	45	0.0	東北東	4.0	東北東	4.9
11:25	145	8.0	46	0.0	東北東	3.6	東北東	4.5
11:30	150	8.2	46	0.0	東	3.6	東	3.6

2. 7. 2 目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像

(1) 目視観測

目視観察による延焼状況について以下に示す。文中の建物部位を示す符号は図 2.7.2-1 に対応している。また、図 2.7.2-2 に建物部位別の延焼性状を、図 2.7.2-3 に目視観察による実験経過を示す。



図 2.7.2-1 開口部およびスパンなどの識別記号

1) 出火室内の延焼および煙の拡大

クリブに点火後、約 2 分（以下、点火後の時間を示す。）で火炎が天井に達した。木の内装仕上げの天井と壁に着火するとともに、天井面に沿って火炎が急激に広がり、2 分 20 秒後には出火室の床に置かれたクリブの上面に次々と着火した。

2 分 45 秒には、出火室の窓ガラス E1、F1 が割れ、火炎が大きく噴出し、職員室全体 EF に延焼が広がった。

階段室 C の 1 階防火戸は 1 分 40 秒から開き始め、最大で 30cm 程度開いたが、2 分 45 秒には閉鎖した。出火室で大きく窓が破れた時間と一致する。

2) 出火室から上階への延焼

出火室 E1 からの噴出火炎は継続して 2 階天井付近まで達した。4 分には 2 階のガラス E2 が割れ、5 分には出火室の直上部分の軒裏に着火した。6 分後には F1 から火炎が噴出し、軒裏まで火炎が達した。

2 階の内部カメラの映像では、2 分 30 秒頃から DE 間の間仕切り壁辺りから煙が侵入し、その直後に下階からの噴出火炎が窓の外に見えた。火炎で窓ガラス E2 が割れ、室内に火炎が侵入し、4 分後には内装材に着火している。同様に 3 階の内部カメラでも、2 分 45 秒に窓 E3 から煙と火炎が見え始め、6 分 20 秒にガラス E3 が大きく破損し、火炎が室内に侵入した。

北側への延焼は少し遅れ9分にd1から火炎噴出、10分後e2から火炎が噴出し、軒裏まで到達した。11分にe1、f2と続けて火炎が噴出し、12分後には1～3階e、f全ての窓から火炎が噴出し、c、dにも延焼した。

南側では、ほぼ3層EFから同時に火炎が噴出する状況が継続し、14分に軒裏に沿って火炎が西側へ伸び、14分30秒に窓D3が割れて、内部に延焼が認められた。25分には階段室C2に延焼が認められる。30分には屋根EFの一部が燃抜け、火炎が金属板の隙間から噴出し、その後次第に金属板がめくりあがる。40分過ぎからはE3、F3の梁が落下するなど、50分頃にはほぼ軸組みだけが残り、EFの収納可燃物はほぼ燃えつきた状態となった。

3) 防火壁を越えた延焼

1分30秒から1階昇降口の防火戸が少し開き、最大20cm程度の隙間から大量の煙が流入した。その後防火戸は元の位置に戻ったが、室内の煙が徐々に濃くなる。15分に、3階防火戸の上端の隙間から火炎が見えた。

17分に防火壁を越えて噴出火炎が軒裏を覆い、軒先に着火した。一度は消えたが、その後も再着火し、25分頃から継続的に燃焼が認められた。

19分にX1のガラスが壊れ白煙が大量に流出した。26分にX1のガラスが全面的に落下し火炎が噴出、1分もたたないうちにG2、X2、G1から次々と火炎が噴出した。27分以降は、全ての階の開口部から火炎が噴出し、3層が同時に燃焼する状態となった。

4) 枠組壁工法部分への延焼と屋根の燃抜け

3分には廊下のb1まで煙が広がり、5分には濃煙のために見通しが利かない状態となる。図書コーナーは開放された扉にも濃煙が流入し、6分には天井下1mほどの煙層を形成した。

12分頃には廊下が既に延焼しており、14分にb1から火炎が噴出した。

また、18分にB1から大きな火炎が噴出し、軒裏まで達した。23分後A1、Y1からも火炎が噴出し、28分にY2、Y3にも火炎が確認された。3層が同時に燃焼していることが分かる。

32分に階段室Cが激しく燃焼すると、隣接する屋根Bが燃抜け、火炎が噴出した。その後、屋根Aにも燃抜けが拡大し、45分頃には屋根上に大きな火炎を形成、屋根に空いた開口から火の粉を大量に噴出させた。

5) 倒壊

軸組工法部分C-Fは40分頃にE3、F3の梁が落下したが、50分過ぎには収納可燃物はほぼ燃えつきてしまい、一部を除き構造部材の燃焼が中心となった。76分に軸組工法部分C-Fの範囲が北側に傾き、フレームの形状をほぼ保持したまま、北側へ倒れこむように倒壊した。

枠組工法部分ABは60分頃から床が燃抜けて落下し、ほぼ集成材のフレームだけが残る形となり、84分には北側のフレームが、95分には残り全体が倒壊した。

軸組工法部分Gは、50分過ぎに3階床の落下、60分過ぎから90分頃までに小屋組みの梁、3階ALC床、2階床と続けて落下した。96分には、FG間の防火壁が面の形状を保ったまま、西側にはがれるように倒れた。そして、123分には残りの部分が全て倒壊した。

6) まとめ

軸組工法 EF3 層は噴出火炎による上階延焼となり、ほぼ同じ時期に CD へ水平に延焼したことで、枠組壁工法 AB および防火壁を越えた G にも早期に延焼し、建物全体が同時に燃焼する経過となった。

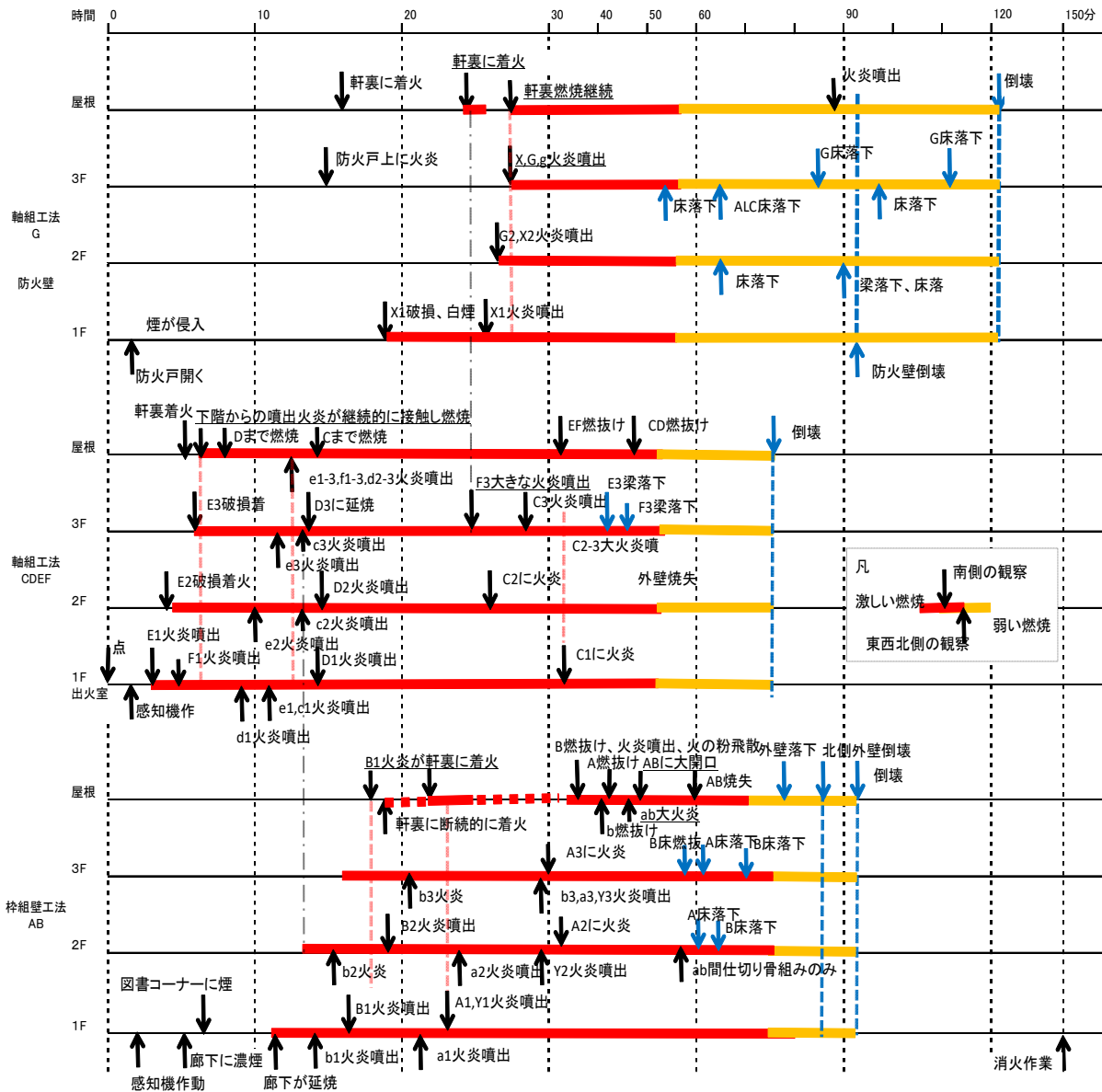


図 2.7.2-2 建物部位別の延焼性状

(2) ビデオ映像、写真記録

各やぐらおよびタワー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図 2.7.2-4、5 に示す。また、屋内 CCD カメラによる火災進展の状況の概要を、図 2.7.2-6 に時系列に示す。

(3) 熱映像

やぐら 5 から定点撮影した熱映像を時系列に整理したものを図 2.7.2-4、5 に示す。






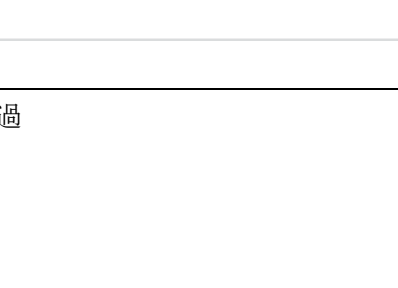

経過時間 (分)	経過時間 (分)	主な事象	
0	0	点火	
	3	出火室南側窓から火炎が噴出し、フラッシュオーバー	
	3.5	2階普通教室に延焼	
	6.5	3階普通教室に延焼	
10			
	18	防火壁を通じた延焼が発生	
20			
	21	1階北側窓から煙が流出	
30	28	階段室へ延焼	
	30	全館延焼(軸組部分の屋根の一部が燃え抜け)	
40			
	45	枠組壁工法部分の屋根の一部が燃え抜け	
50			
60			
70			
	76	防火壁西側の軸組工法部分(出火室含む)が倒壊	
80			
90	95	枠組壁工法部分が倒壊	
	96	防火壁が倒壊	
100			
110			
120	122	全館倒壊	
130			
140			
150	150	消火開始	

図 2.7.2-3 目視観察による実験経過



図 2.7.2-4 火災進展の状況 1 (点火後 0 分～60 分)

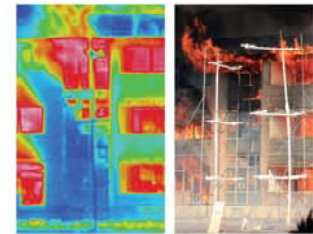
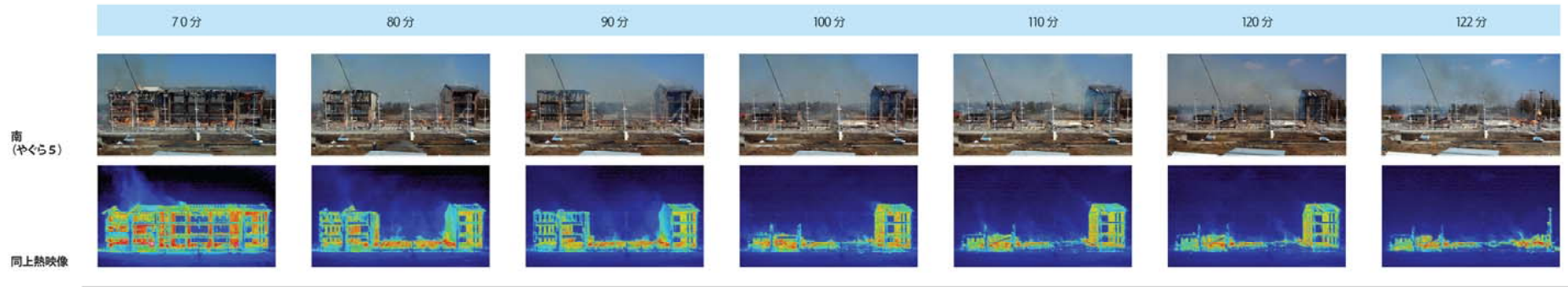


図 2.7.2-5 火災進展の状況 2 (点火後 70 分～120 分)

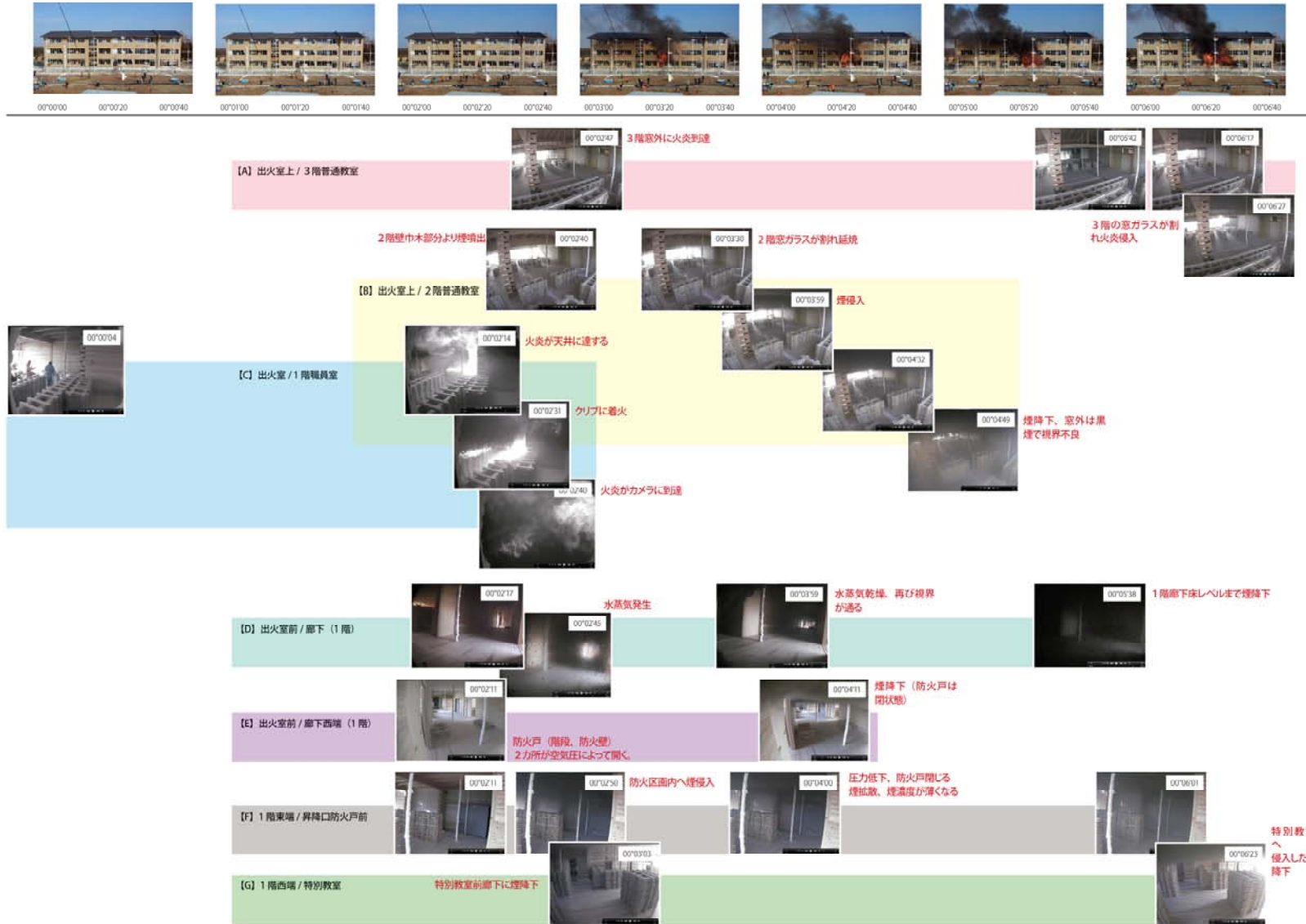


図 2.7.2-6 屋内 CCD カメラによる火災進展の状況

2. 7. 3 温度

(1) 室内の温度

1) 1階室内温度

a.職員室(出火室)

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、パソコンおよび杉材クリブを発熱量密度 $700\text{MJ}/\text{m}^2$ となるように配置し、内装を床：スギ 30mm 、天井：構造用合板 28mm 、壁：スギ 15mm としている。

着火点近傍の測定点 1EY の温度を図 2.7.3-1 に示す。点火から 2 分（以下、点火からの時間を示す。）で 450°C に達し、3 分頃フラッシュオーバー(F.O)が発生した。フラッシュオーバー以降 6～9 分頃まで $1,200^\circ\text{C}$ 前後の温度を記録し徐々に下降しながら 20 分頃には 700°C となり、その後軸組みが崩壊する 76 分まで火災は継続した。職員室天井付近の 450°C 到達時間は北西 1EY で 2 分 16 秒、南西で 2 分 46 秒、北東で 5 分 16 秒、南東 1F'Z で 6 分 16 秒となり 4 分間で順次延焼した。着火点から対角に位置する 1F'Z の温度を図 2.7.3-2 に示す。1EY とほぼ似た推移を辿っている。

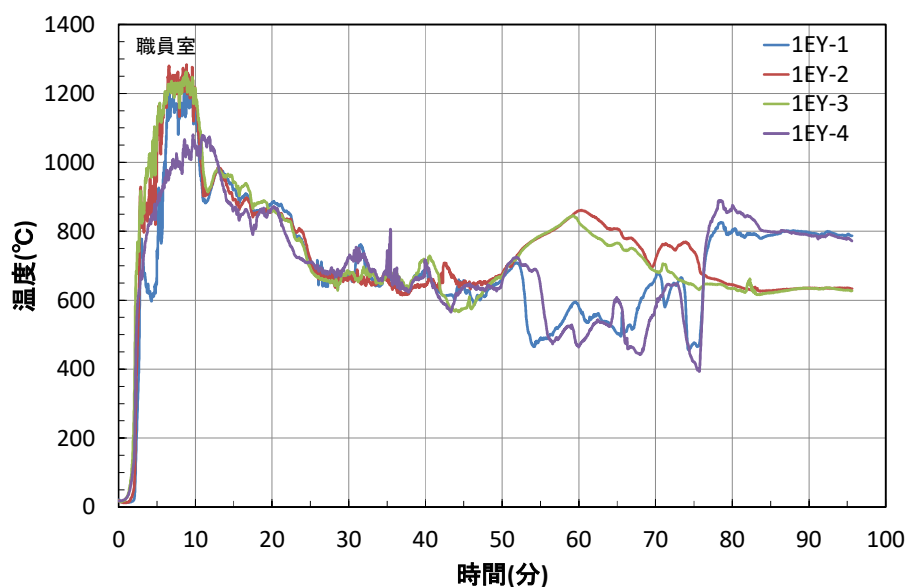


図 2.7.3-1 1階職員室北西 1EY の温度

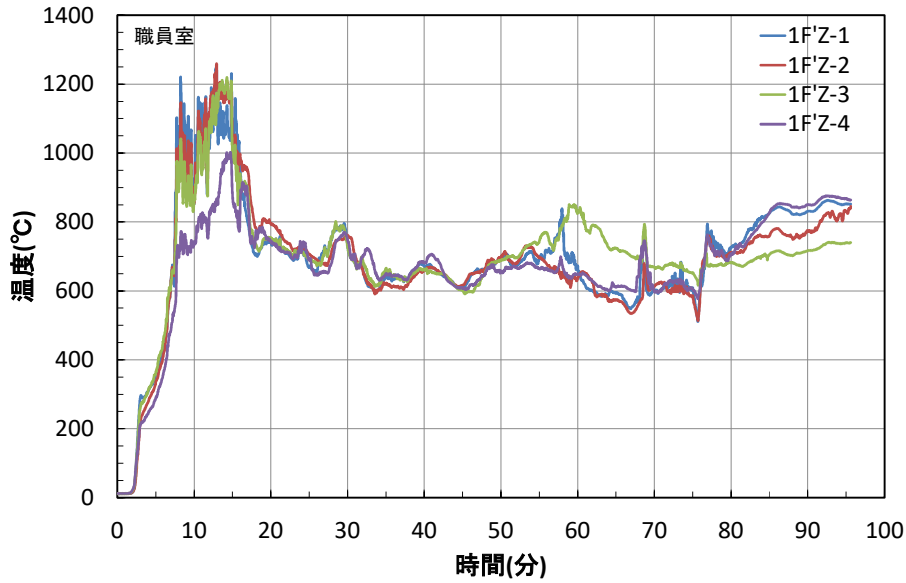


図 2.7.3-2 1階職員室南東 1F'Z の温度

b.廊下

職員室から廊下に延焼したのは着火点近傍の木製フラッシュ戸の燃え抜けである。この扉の廊下側に位置する測定点 1EX の温度を図 2.7.3-3 に示す。着火点近傍から約 6 分遅れた 7 分に 450°C となり、以降は職員室と似た推移となっている。

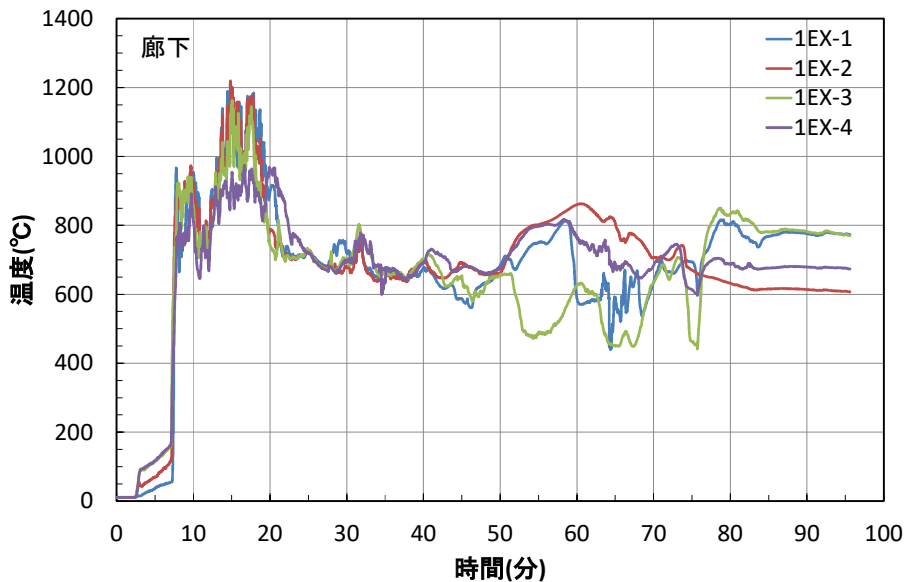


図 2.7.3-3 1階廊下出火室扉前 1EX の温度

廊下西端の図書コーナー前 1BX の温度を図 2.7.3-4 に示す。11 分で 450°C に達しており、出火室扉前の温度が上昇してから 4 分を要した。15 分頃 1,000°C に達すると、それ以降は約 1,300°C を最高に 1,000°C 前後で推移した。外気風と開口部の大きさ、可燃物が多くある条件から、約 1,300°C の高温が記録されたと想定される。40 分以降 1,000°C を越える温度が記録された。

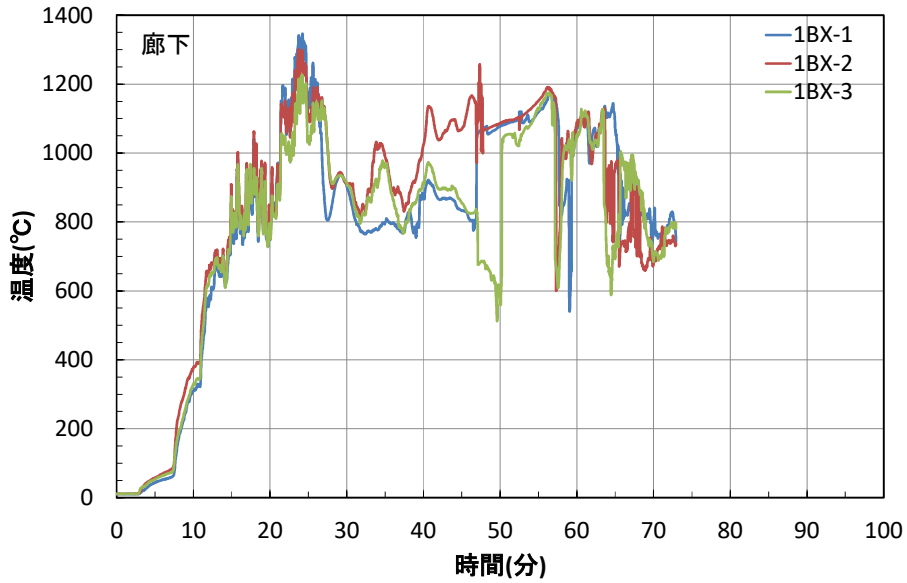


図 2.7.3-4 1階廊下西 1BX の温度

c. 資料印刷室、更衣室東、更衣室西、便所

職員室とは廊下で隔てられた北側諸室が 450°C となったのは更衣室西 10 分、更衣室東 13 分、資料印刷室 14 分の順であった。資料印刷室 1F'W の温度を図 2.7.3-5 に示す。13 分頃より約 10 分間 1,000°C を超え最高温度約 1,300°C を記録した後 600~800°C で推移した。外気風と開口部の大きさ、可燃物が多くある条件から、約 1,300°C の高温が記録されたと想定される。また南側便所は 13 分に 450°C に達した。

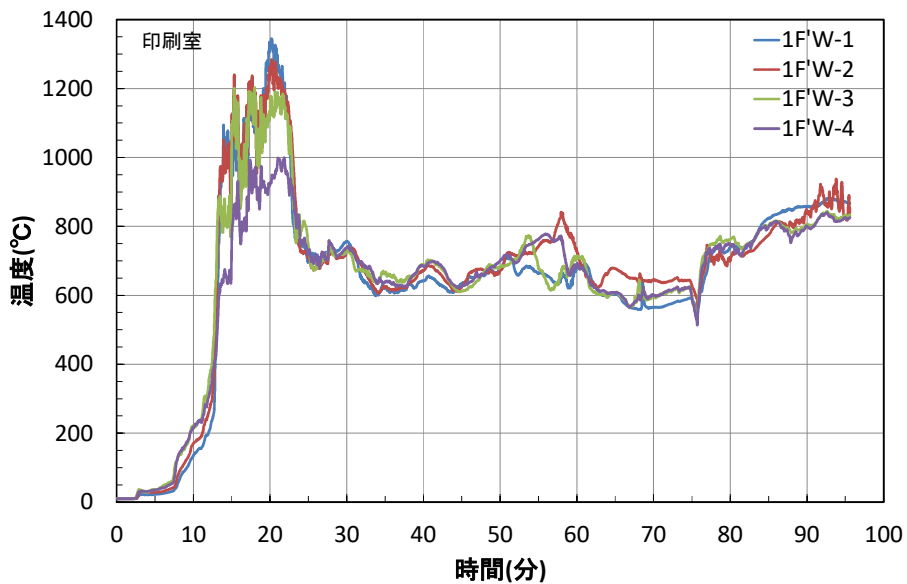


図 2.7.3-5 1階資料印刷室 1F'W の温度

d. 準備室

北側準備室 1B'W の温度を図 2.7.3-6 に示す。14 分に 450°C に達した以降 15 分間程度 1000°C を超えて最高温度約 1,200°C に到達した。30 分以降 800°C 前後を維持した後、47 分頃より再び 1,000°C を超える温度で推移した。

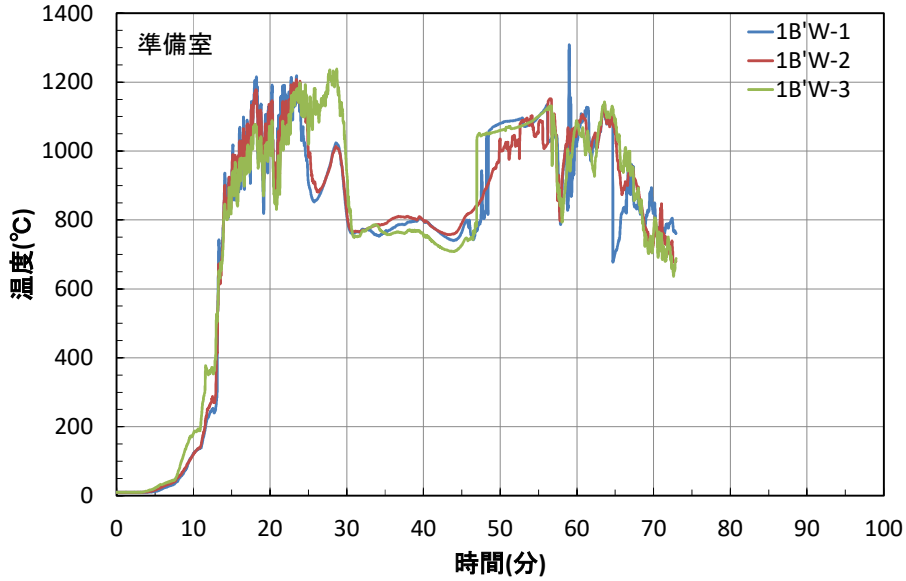


図 2.7.3-6 1階準備室 1B'W の温度

e. パソコン教室

パソコン教室 1B'Y の温度を図 2.7.3-7 に示す。17分に 450°Cに達した以降 20分から 10分間程度 1,000°Cを超えて最高温度約 1,300°Cに到達した後下降し、50分過ぎより再び 1,000°Cを超える温度で推移した。外気風と開口部の大きさ、可燃物が多くある条件から、約 1,300°Cの高温が記録されたと想定される。

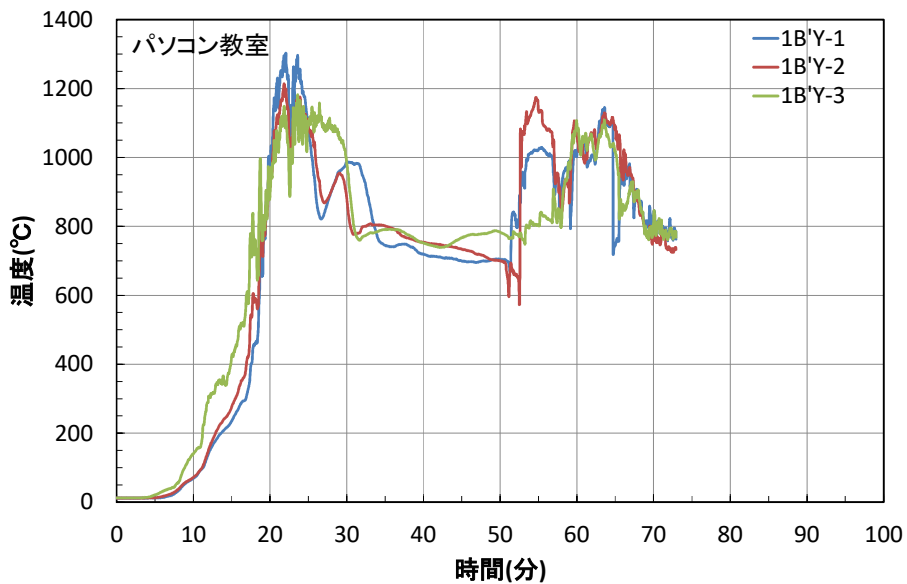


図 2.7.3-7 1階パソコン教室 1B'Y の温度

f. 図書コーナー

図書コーナー1A'X の温度を図 2.7.3-8 に示す。22分に 450°Cに達した以降 24分頃から 10分間程度 1,000°Cを超えて最高温度約 1,300°Cに到達した後下降し、1,000°C前後で推移した。60分付

近のデータに不具合が見られるが、そのまま記載した。

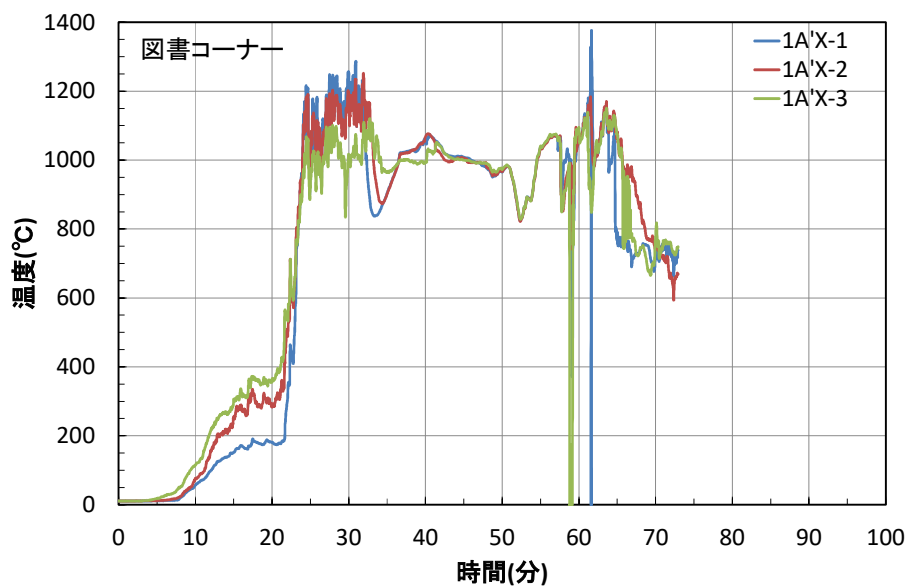


図 2.7.3-8 1階図書コーナー1A'X の温度

g.昇降口

昇降口 1GX の温度を図 2.7.3-9 に示す。昇降口は防火壁により出火室側と隔てられた東側の区画になる。また当測定点は防火壁に設けられた防火戸非加熱側の近傍である。職員室がフラッシュオーバーとなった 3 分頃一旦 50°C を超えるが再び初期温度に戻り、防火戸加熱側の廊下が 450°C を超えた 12 分頃から急激な温度上昇があり 18 分に当測定点も 450°C に達した。その後 28 分に最高温度が 1,300°C を超えた後下降して 800°C 前後で推移し、再び 60 分頃に 1,000°C を超える温度を記録した。

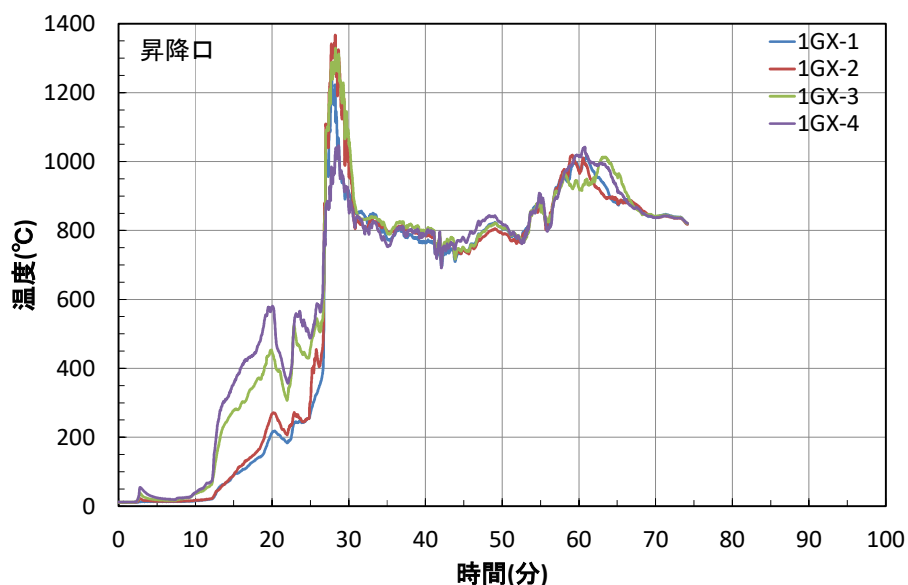


図 2.7.3-9 1階昇降口 1GX の温度

h. 階段室

階段室防火戸非加熱側 1CY の温度を図 2.7.3-10 に示す。防火戸正面廊下温度が 450℃に達した 10 分から 21 分間を要して 31 分に当測定点も 450℃に達し、その後 800~1,200℃の間で推移した。

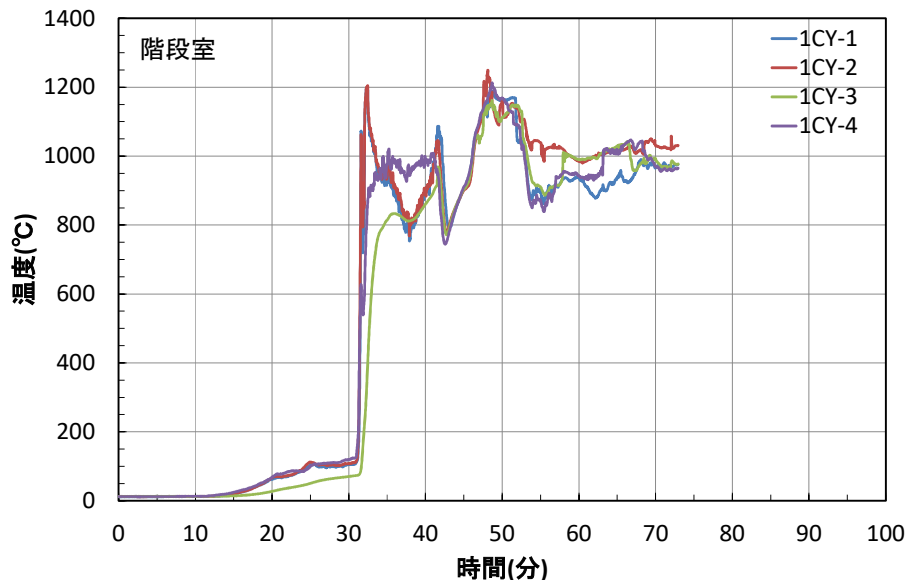


図 2.7.3-10 1 階階段室 1CY の温度

2) 2 階室内温度

a. 普通教室(西)

普通教室(西)南 2EZ の温度を図 4.7.2-11 に示す。当測定点は 2 階で最初に 450℃を記録した位置であり、6 分 30 秒に到達した。直下の職員室南東が 6 分 16 秒に 450℃を記録したことから、南面開口からの噴出火炎により瞬く間に 2 階に延焼したことが分かる。その後 8 分頃から 10 分間程度 1,000℃を超える温度を記録し、その後 600~800℃で推移した。

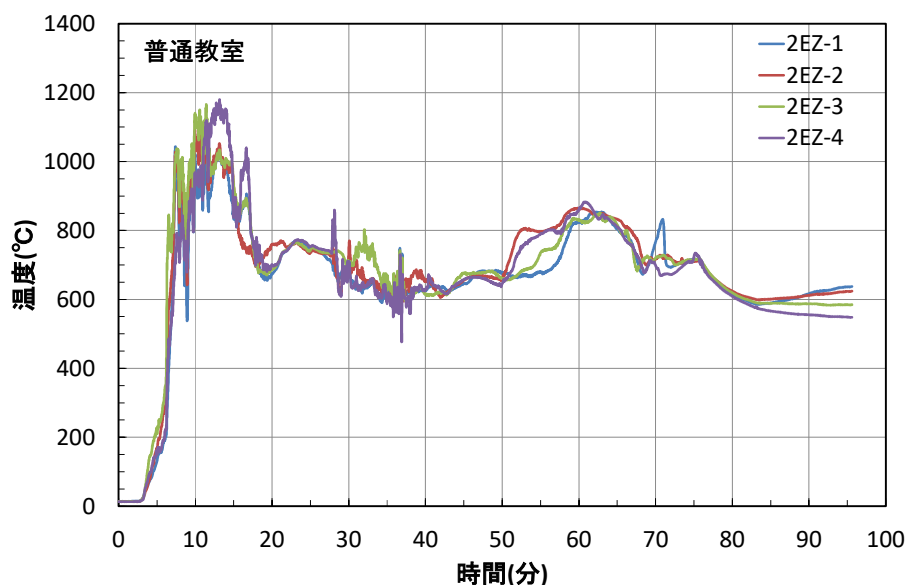


図 2.7.3-11 2 階普通教室 (西) 2EZ の温度

b. オープンスペース東

2階オープンスペース（東）2FWの温度を図2.7.3-12に示す。当測定点は2階で最初に450℃に到達した普通教室(西)南の対角に位置する。当測定点は10分に450℃に達しており、直下の資料印刷室が14分であることから、外部開口経由ではなく南から北へ4分間程度で延焼したことが読み取れる。11分頃より約12分間1,000℃を超える温度を記録し、その後600～800℃で推移した。

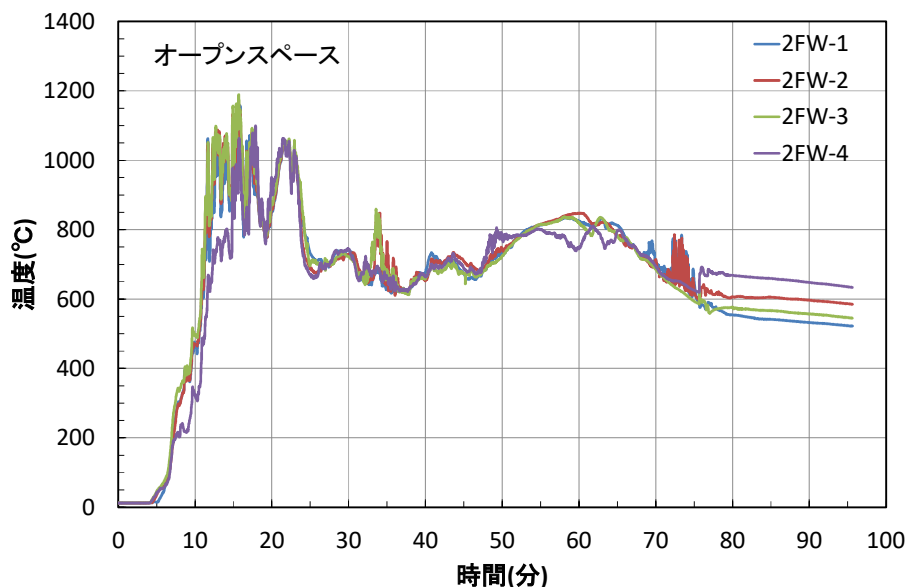


図 2.7.3-12 2階オープンスペース（東）2FW 温度

c. 便所

便所 2DZの温度を図2.7.3-13に示す。当計測点は17分に450℃に達してから800℃前後で推移したが、34分から4分間程度1,000℃を超え1,400℃近い最高温度を記録した。その後再び600～900℃で推移した。

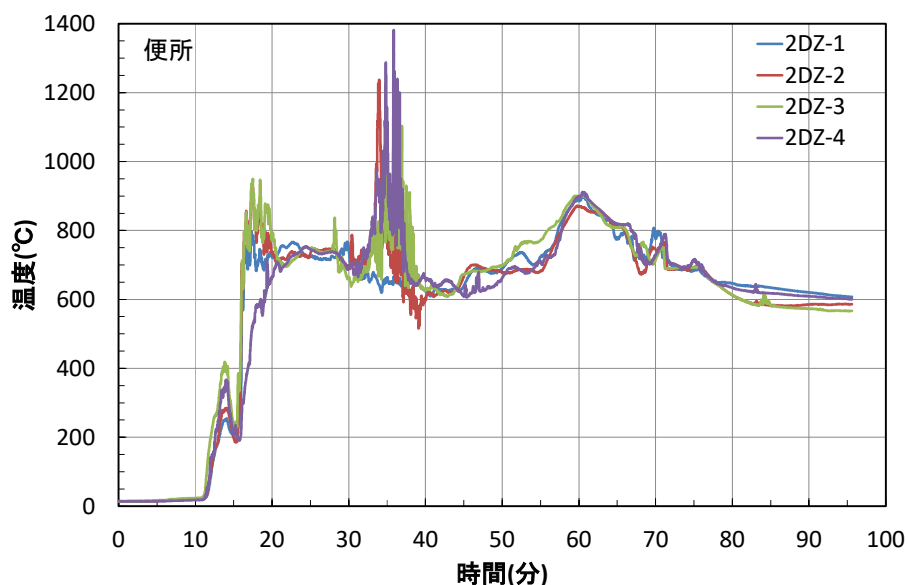


図 2.7.3-13 2階便所 2DZ の温度

d.廊下

廊下西側 2BX の温度を図 2.7.3-14 に示す。13 分に 450℃に達しており、23 分頃から約 20 分間 1,000℃前後を維持し、その後 800℃程度に下降して 60 分頃から再び 1,000℃前後を記録した。

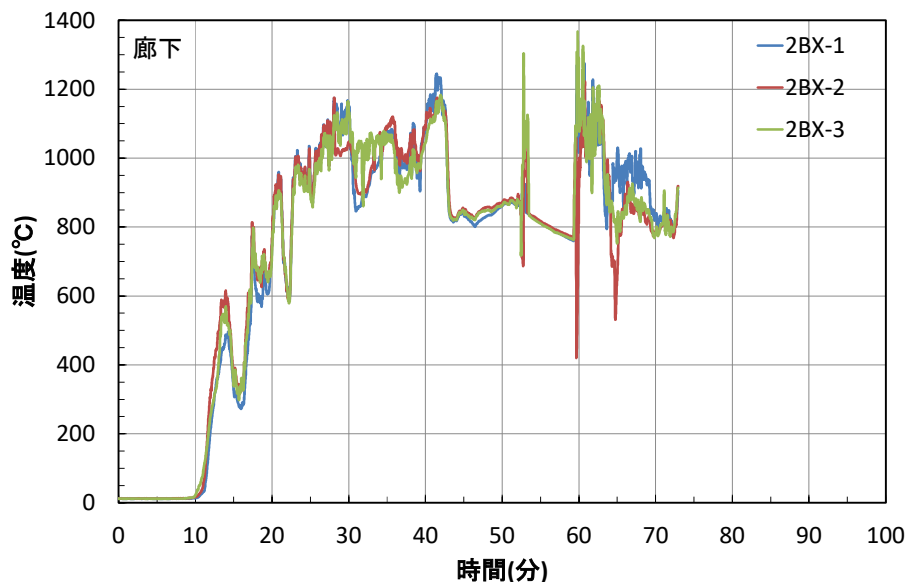


図 2.7.3-14 2階廊下（西）2BX の温度

e.(図工)準備室

北側図工準備室 2BW の温度を図 2.7.3-15 に示す。17 分に 450℃に達しており、23 分頃から約 20 分間 1,000℃前後を維持し、その後 800℃程度に下降して 60 分頃から再び 1,000℃を超える温度を記録した。隣接する廊下 2BX より 4 分遅れて 450℃に達しているが、その後はよく似た温度推移を辿っている。

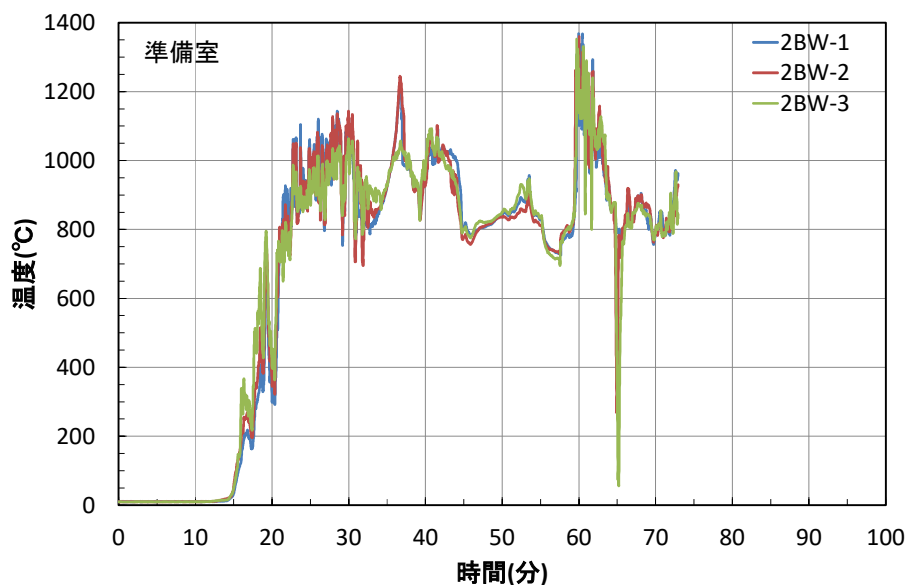


図 2.7.3-15 2階図工準備室 2BW の温度

f. 図工室(美術室)

図工室(美術室) 2BZ の温度を図 2.7.3-16 に示す。19 分に 450℃に達しており、25 分頃から約 10 分間 1,000℃を超える温度を記録し、その後 800℃前後に下降して 60 分頃から再び 1000℃を超える温度を記録した。17 分頃より直下のパソコン教室から大きな噴出火炎が観察されていることと、隣接する廊下 2BX も 13 分に 450℃に達していることから、ほぼ同時期に外部開口経由の垂直方向と内部経由の水平方向から延焼したものと推察される。

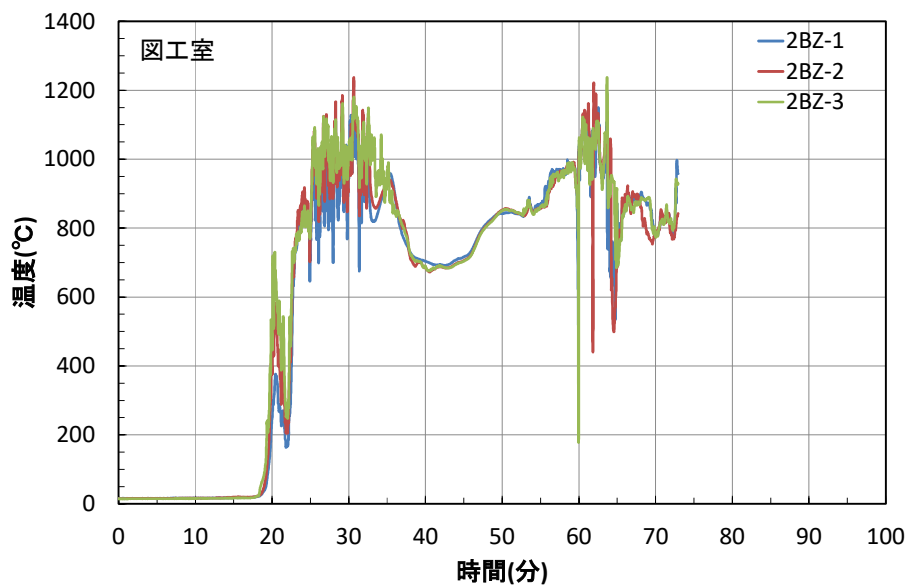


図 2.7.3-16 2階図工室 2BZ の温度

g. 理科室

理科室南開口近傍 2AZ の温度を図 2.7.3-17 に示す。23 分に 450℃に達しており、30 分頃から実験終了まで殆ど下降することなく 1,000℃前後の温度で推移した。また理科室出入口近傍測定点も 23 分に 450℃に達しており、17 分頃より直下の図書コーナーから大きな噴出火炎が観察されていることと、隣接する廊下 2BX も 13 分に 450℃に達していることから、ほぼ同時期に外部開口経由の垂直方向と内部経由の水平方向から延焼したものと推察される。また北側理科準備室も 25 分に 450℃到達以降似た推移を辿った。

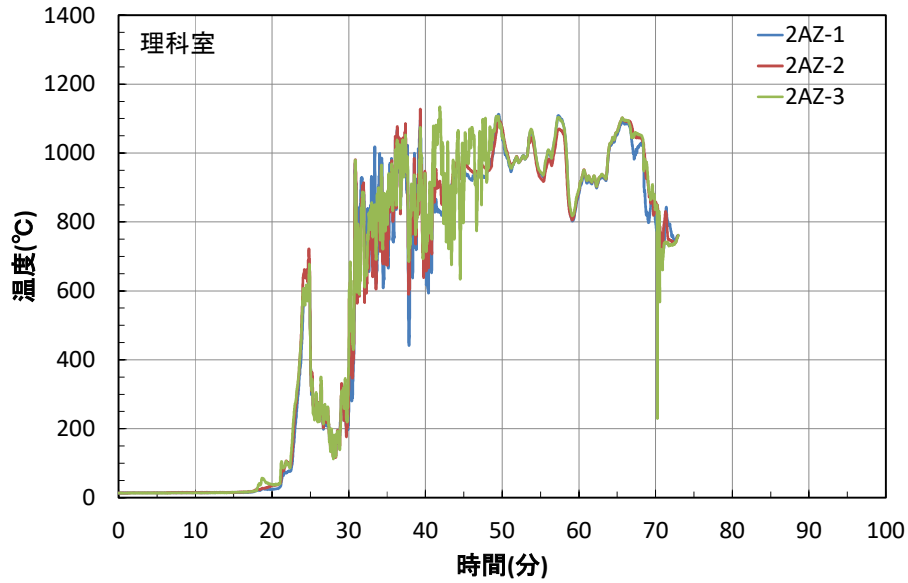


図 2.7.3-17 2階理科室 2AZ の温度

h.集会ホール

集会ホール 2GX の温度を図 2.7.3-18 に示す。集会ホールは防火壁東側の区画になる。また当測定点は防火壁に設けられた防火戸非加熱側の近傍である。また 1 階昇降口とは吹き抜けにより空間が繋がっている。昇降口が 450°C となった 18 分から 9 分を要し 27 分に当測定点も 450°C に達した。その後、約 5 分間 1200°C を超える温度を記録した後下降して 800°C 前後で推移した。

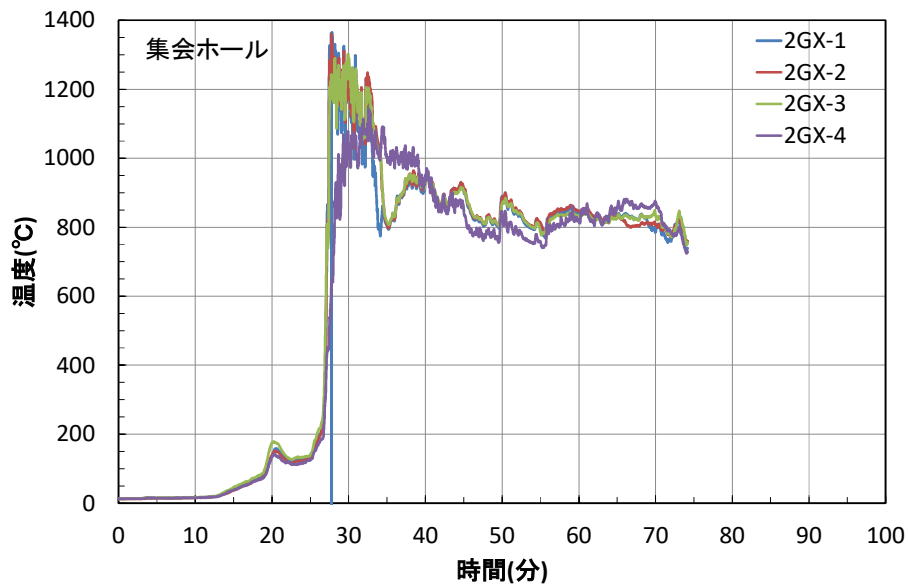


図 2.7.3-18 2階集会ホール 2GX の温度

i.階段室

階段室防火戸非加熱側 2CY の温度を図 4.7.2-19 に示す。1 階階段室が 450°C に達した時間と同じ 31 分に当測定点も 450°C に達し、その後約 10 分間 1,200°C 前後に達し、一旦 800°C 程度まで下降した後、再び 46 分以降 1,000~1,200°C の間で推移した。

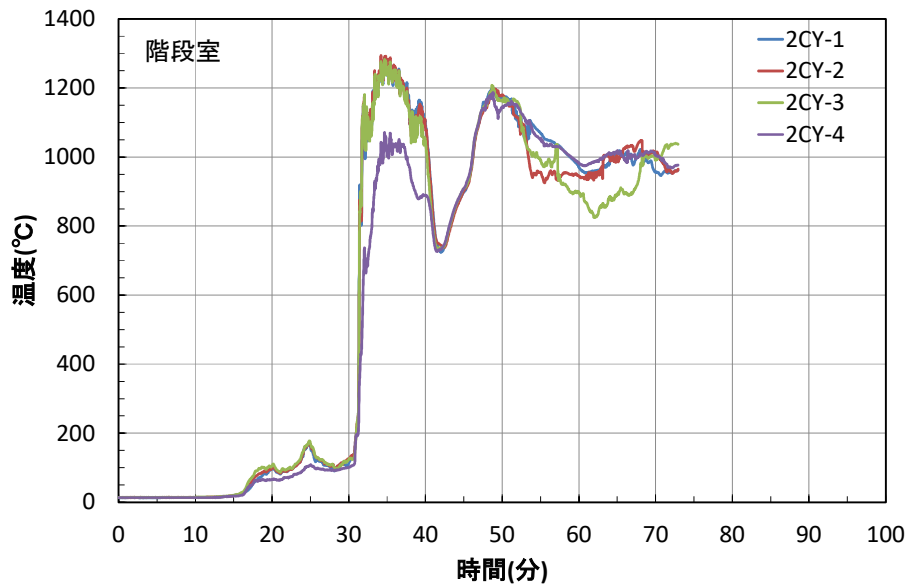


図 2.7.3-19 2階階段室 2CY の温度

3) 3階室内温度

a. 普通教室(西)

普通教室(西)3EZ の温度を図 2.7.3-20 に示す。当測定点は3階で最初に 450°Cを記録した位置であり、8分14秒に到達した。1階職員室南東が6分16秒に450°Cを記録したことから、南面開口からの噴出火炎により約2分の間に3階に延焼した。9分過ぎから5分間程度1,000°Cを超える温度を記録し、その後600~800°Cで推移した。3EZ-2の温度については、他の温度と10分ほど遅れて上昇した。

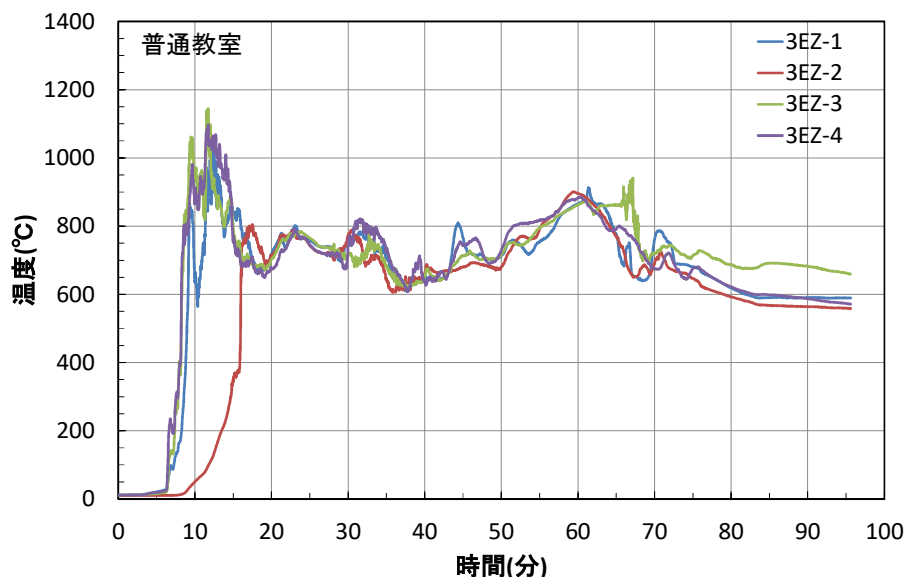


図 2.7.3-20 3階普通教室(西) 3EZ の温度

b. オープンスペース東

3階オープンスペース(東)3FWの温度を図 2.7.3-21 に示す。当測定点は3階で最初に450°Cに到達した普通教室(西)南の対角に位置する。当測定点は10分に450°Cに達しており、11分頃よ

り約 12 分間 1,000°C 近い温度を記録し、その後 600~800°C で推移した。

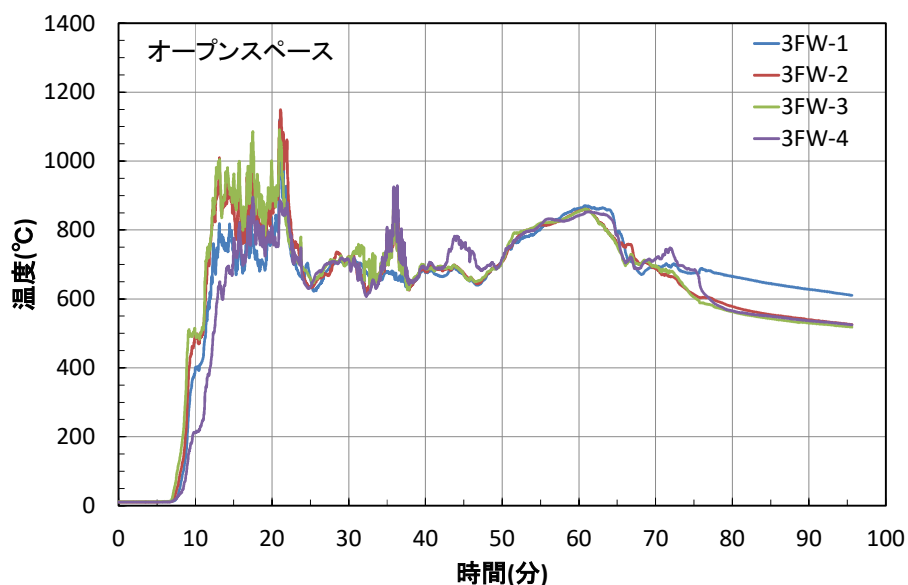


図 2.7.3-21 3階オープンスペース（東）3FW の温度

c. 便所

便所 3DZ の温度を図 2.7.3-22 に示す。当測定点は 13 分に 450°C に達してから約 1,000°C まで一旦温度が上昇した後、600~800°C で推移し、34 分頃 1,400°C 近い最高温度を記録した。その後再び 600~900°C で推移した。

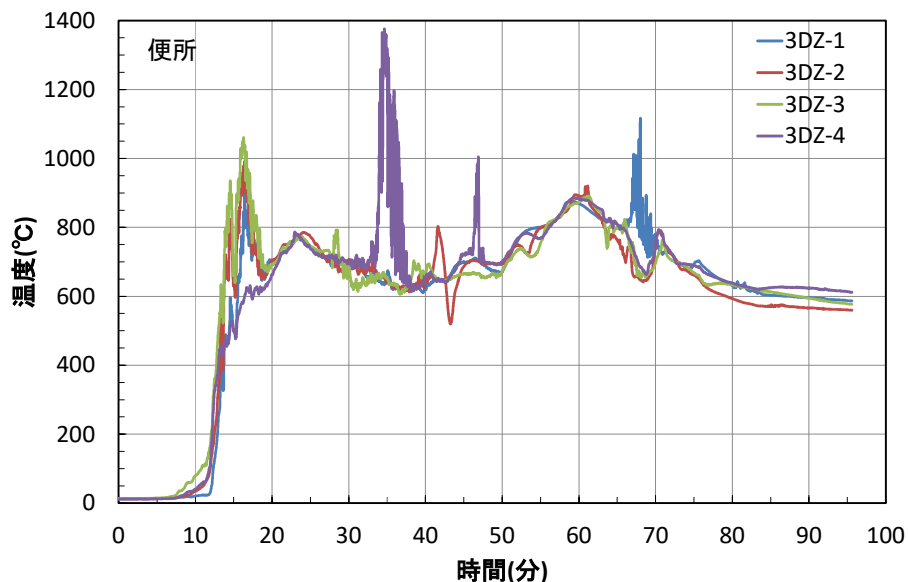


図 2.7.3-22 3階便所 3DZ の温度

d. 廊下

廊下西側 3BX の温度を図 2.7.3-23 に示す。16 分に 450°C に達した後、45~57 分頃まで温度が激しく乱れ、その後上昇して 60 分過ぎに最高温度 1,200°C 前後を記録した後、下降した。熱電対の素線の接触等が考えられるが、理由は明確にはできなかった。

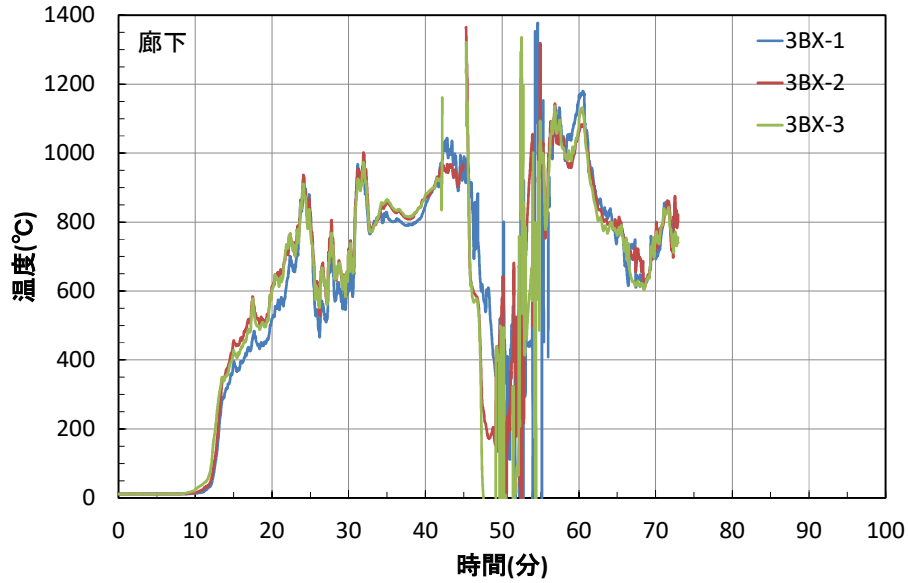


図 2.7.3-23 3階廊下西 3BX の温度

e.(家庭科および音楽)準備室

北側図工準備室 3BW の温度を図 2.7.3-24 に示す。25 分に 450°C に達し、45 分頃に 1,000°C を超えてからから 55 分頃まで温度が激しく乱れ、その後 60 分頃に 1,100°C を超える温度を記録した後、下降した。熱電対の素線の接触等が考えられるが、理由は明確にはできなかった。

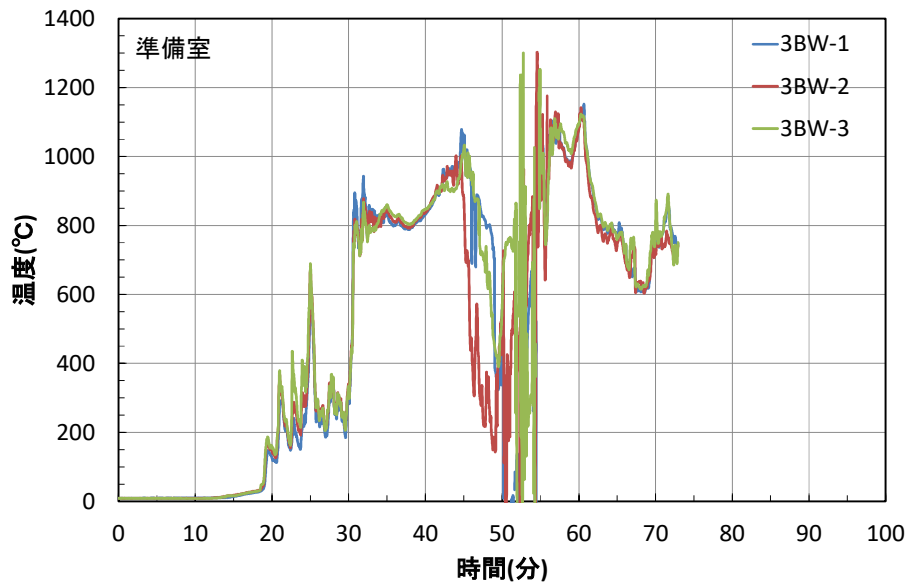


図 2.7.3-24 3階図工準備室 3BW の温度

f.家庭科室

家庭科室 3BZ の温度を図 2.7.3-25 に示す。23 分に 450°C に達し、45 分頃に 1,000°C を超えてからから 55 分頃まで温度が激しく乱れ、その後 1,200°C を超える温度を記録した後、下降した。熱電対の素線の接触等が考えられるが、理由は明確にはできなかった。

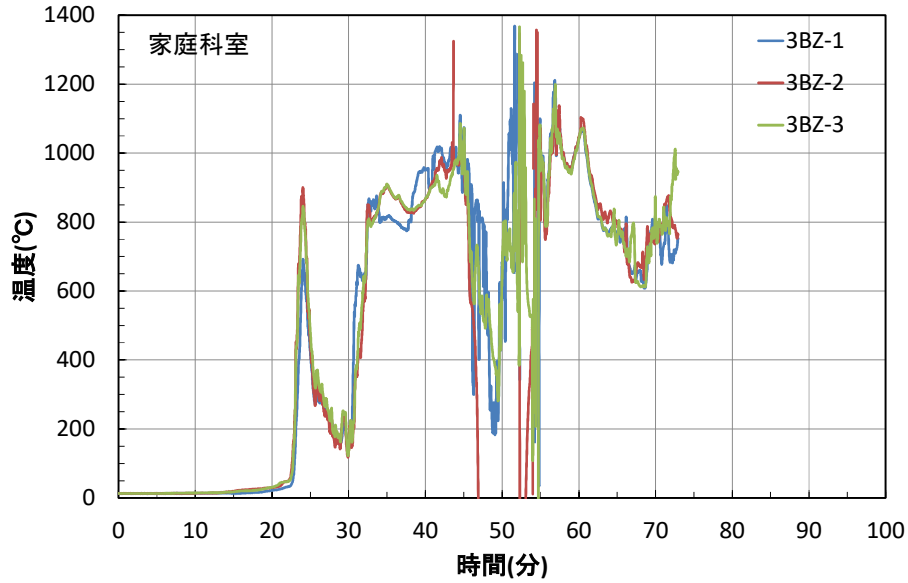


図 2.7.3-25 3階家庭科室 3BZ の温度

g. 理科室

理科室南開口近傍 3AZ の温度を図 2.7.3-26 に示す。23 分に 450°C に達し、32 分頃から約 20 分間 1000°C 前後で推移し、その後下降し 400~600°C で推移した。また理科室出入口近傍測定点も 24 分に 450°C に達しており、17 分頃より 1 階図書コーナーから軒に達する大きな噴出火炎が観察されていることと、隣接する廊下 2BX も 16 分に 450°C に達していることから、ほぼ同時期に外部開口経由の垂直方向と内部経由の水平方向から延焼したものと推察される。

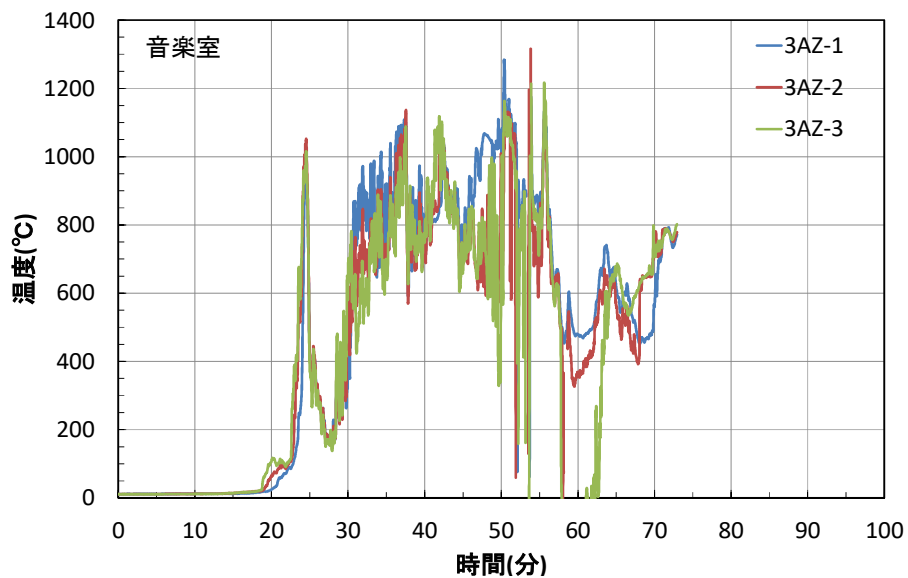


図 2.7.3-26 3階理科室 3AZ の温度

h. 防火壁東側オープンスペース

オープンスペース 3GX の温度を図 2.7.3-27 に示す。当該オープンスペースは防火壁の東側の区画である。また当測定点は防火壁に設けられた防火戸非加熱側の近傍である。27 分に 450°C に達し、そのまま 1200°C 近くまで上昇し約 10 分間後、徐々に下降して 700°C 前後で推移した。

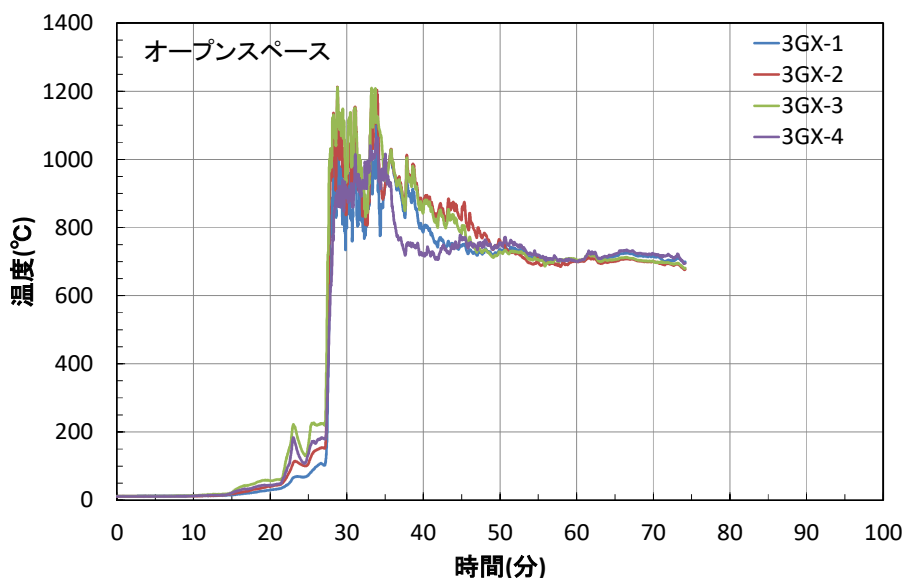


図 2.7.3-27 3階オープンスペース 3GX の温度

i.階段室

階段室防火戸非加熱側 3CY の温度を図 2.7.3-28 に示す。1 階、2 階階段室が 450°C に達した 31 分より早い 28 分に当測定点は 450°C に達した。その理由として熱気が最上階から溜まったことが考えられる。その後 30 分以降の約 10 分間 800~1,000°C で推移し、86 分以降 1,000°C を超える温度を記録した。

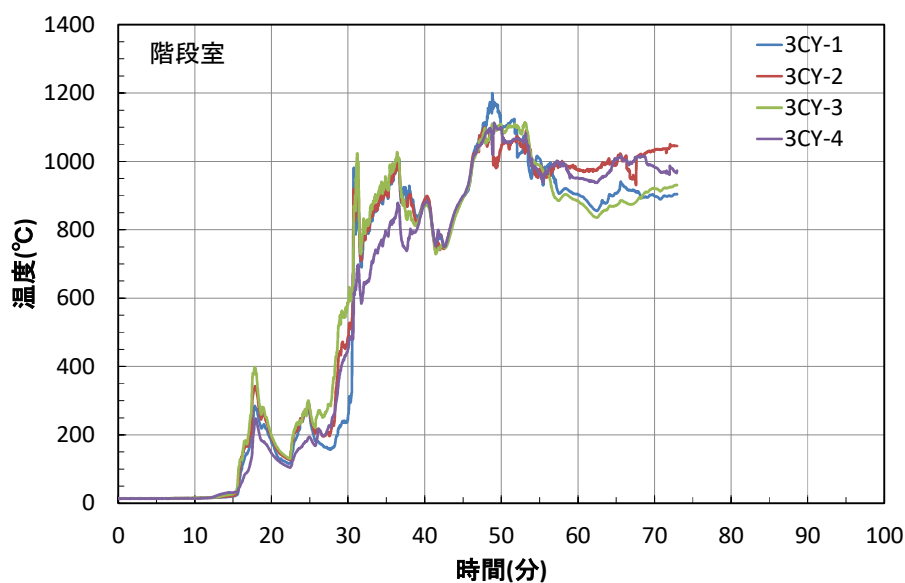


図 2.7.3-28 3階階段室 3CY の温度

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。

- ① 出火室の初期の火災成長は急激であり、着火点近傍は 2 分に 450°C に達し 3 分頃フラッシュオーバーした。
- ② 出火室南面開口部からの噴出火炎により 2 階へは 6 分、3 階へは 8 分で上階延焼した。

- ③ 防火壁東側の区画への延焼は防火戸経由で起こり 1 階では 18 分、2 階と 3 階では 27 分に防火戸正面温度が 450℃に達した。
- ④ 階段室への延焼が起こり、1 階と 2 階は 31 分、3 階は 28 分に 450℃を記録した。

(2) 延焼の進展状況

各部屋の天井付近の温度に着目し、最初に 450℃を超えた時間を当該空間の延焼時間と定義し、供試建物内の延焼経路の推定を行った。

2. 5. 3 で示した室温測定位置において 2 秒間隔で温度が測定されている。天井付近温度を測定時間ごとに平面図に記入して当該温度が 260℃を超え 450℃以下である場合、当該測定点が代表するゾーンを黄色、450℃を超えた場合は赤色で示して各ゾーンの温度推移を把握した。延焼拡大を推定する代表的な事象が現れている例を図 2.7.3-29~34 に示す。

図 2.7.3-29 は職員室(点火室)からの上階延焼時点の 8 分 12 秒経過時の温度分布である。この時間に初めて 3 階で 450℃を超える温度が記録されており、2、3 階の点火直上室は南面窓付近の温度が早く上昇している。これは 1 階点火室の外部開口部からの噴出火炎により外部経由で上階延焼したことを示すものであり、上階室内に設置されたビデオ映像でもこのことが確認されている。

図 2.7.3-30 に 12 分 40 秒の温度分布を示す。各階最初に延焼した部分から横方向に拡大している段階を表しており、廊下を経由して西側の特別教室へ拡大しつつあることが見て取れる。また 1 階点火室北側の廊下を挟んだ更衣室と資料および印刷室にはまだ延焼拡大していない部分がある。廊下との境には木製間仕切壁と合板フラッシュ戸の木製建具が設けられており、この延焼遅延効果が確認できる。

図 2.7.3-31 に 17 分 58 秒の温度分布を示す。各階の横方向の拡大が更に進んでいる。この時、防火壁(1 時間耐火構造)の東側で最初に 450℃を超える温度が記録されており、ここで注目するのは延焼が防火戸(特定防火設備)経由であることである。

図 2.7.3-32 に 22 分 18 秒の温度分布を示す。2 階図工室で最初に 450℃を超えたのは南面窓付近であり、17 分頃より直下のパソコン教室の窓から大きな火炎が噴出していることから外部経由の上階延焼と推察され、同様に図 2.7.3-33 に示す 23 分 48 秒には 2 階理科室、3 階音楽室でも南面窓付近の温度が早く上昇しており、外部経由上階延焼の特長が視える。但し、2 階廊下は 13 分過ぎ、3 階廊下は 16 分過ぎには 450℃に達していることから、外部経由と前後して同時期に廊下経由でも延焼したものと推察される。

図 2.7.3-34 に 30 分 00 秒の温度分布を示す。階段室 3 階天井付近が 450℃を超えた時点である。当該室は 3 層竪穴空間であるが 1、2 階天井付近の温度を見ると 3 階から延焼したものと推定される。以降 31 分に全空間の天井付近温度が 450℃を超えた。

各部屋に延焼した時間および推定延焼経路を図 2.7.3-35 に示す。室内温度測定結果から確認された供試建物内の延焼拡大の特徴は以下のとおりである。

- ① 上階延焼は開口部からの噴出火炎による外部経由の延焼であった。
- ② オープンスペースと比べ仕切られた空間では延焼が遅れており、間仕切壁と木製建具の延焼遅延効果が確認された。

防火壁の東側区画へは防火戸経由で延焼した。

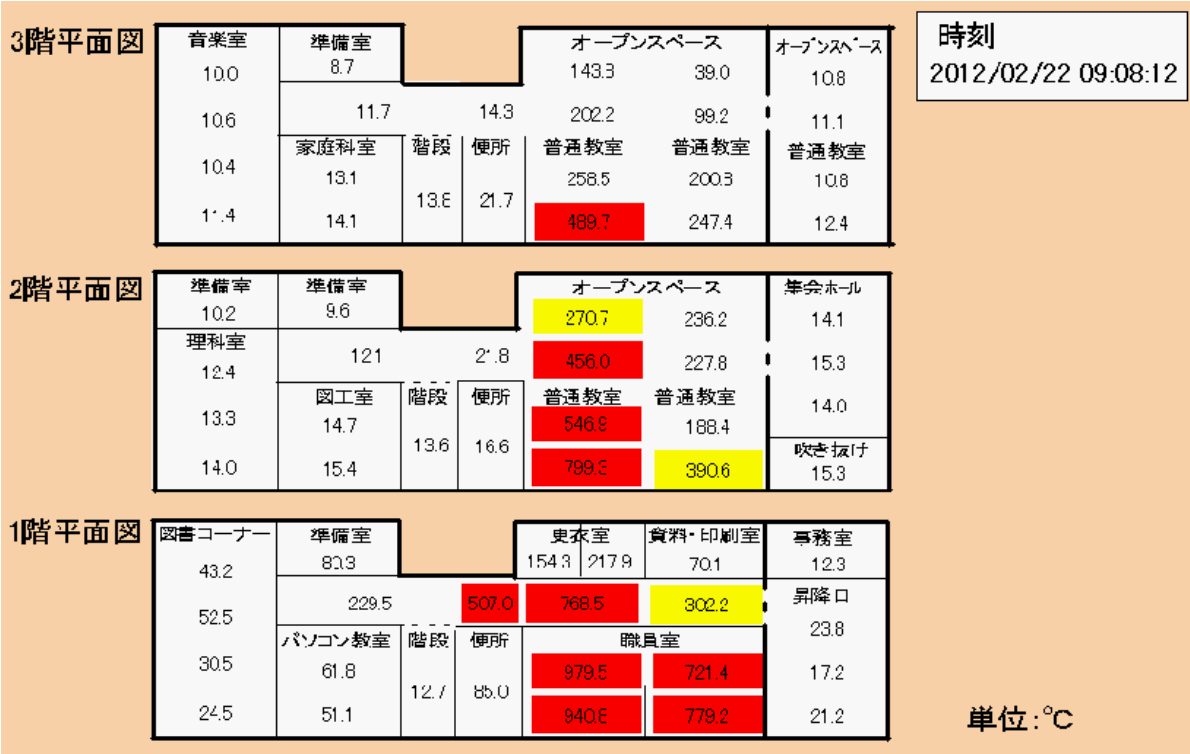


図 2.7.3-29 8分12秒経過時の温度分布

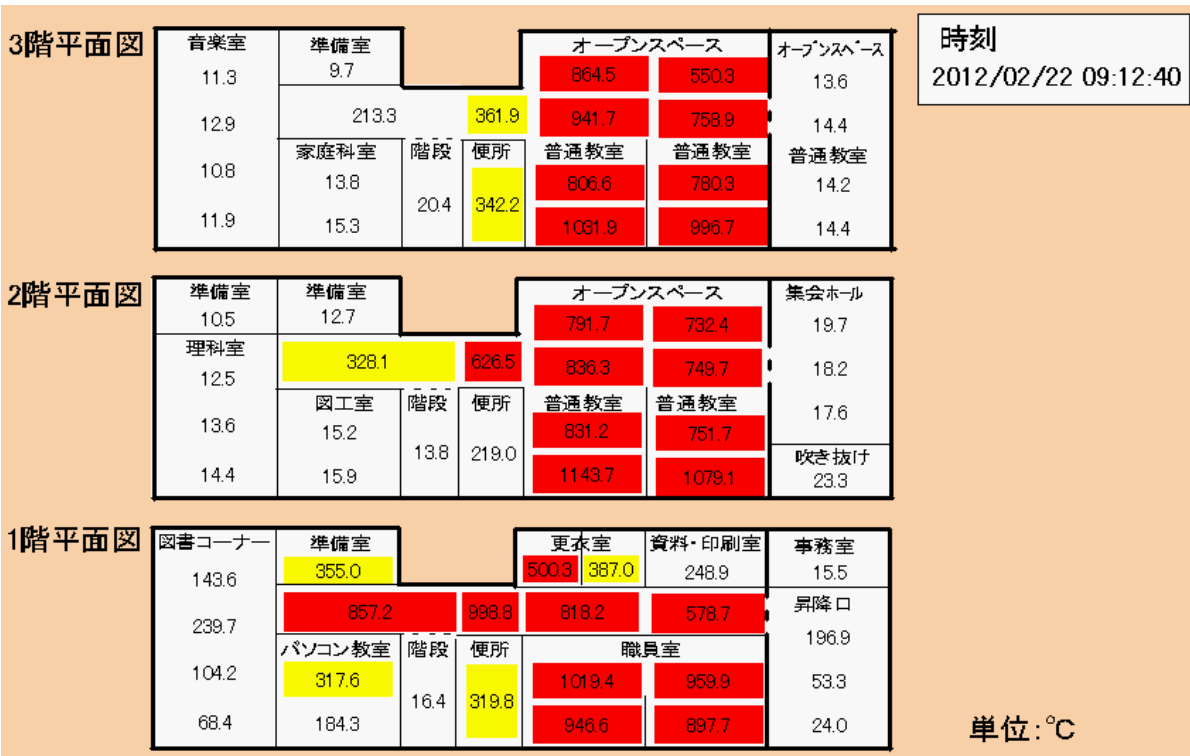


図 2.7.3-30 12分40秒経過時の温度分布

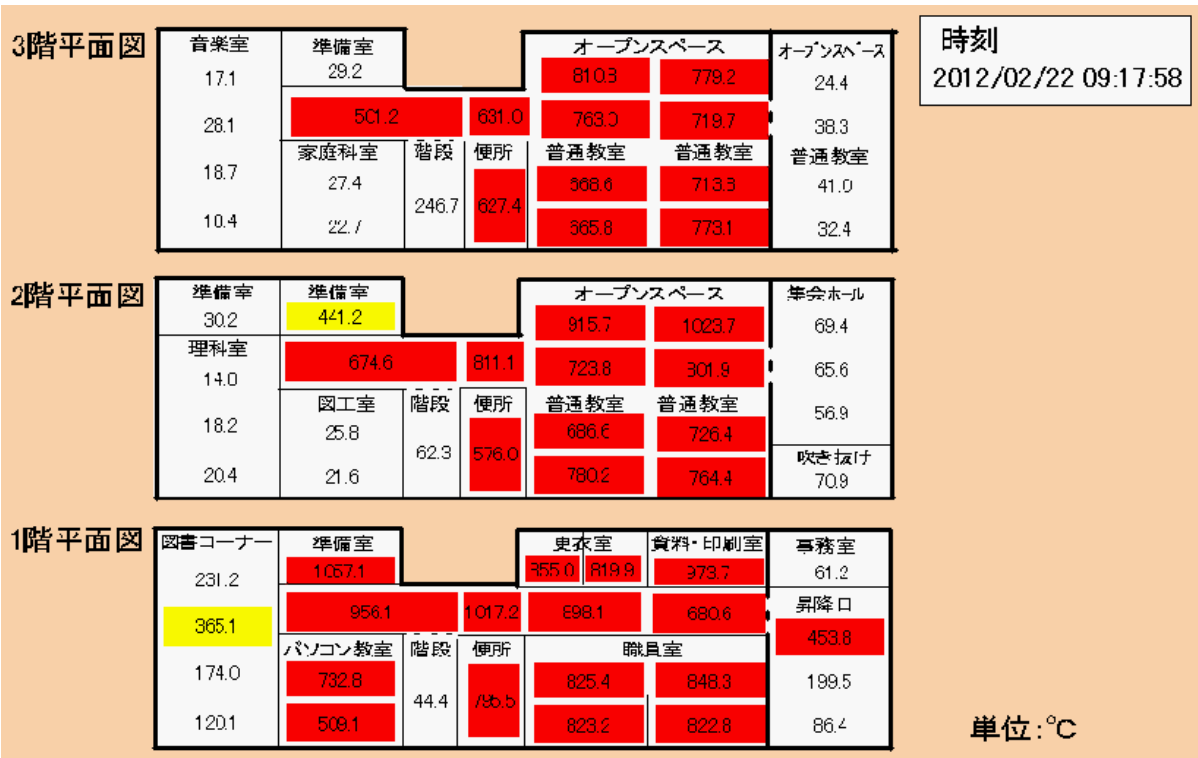


図 2.7.3-31 17分58秒経過時の温度分布

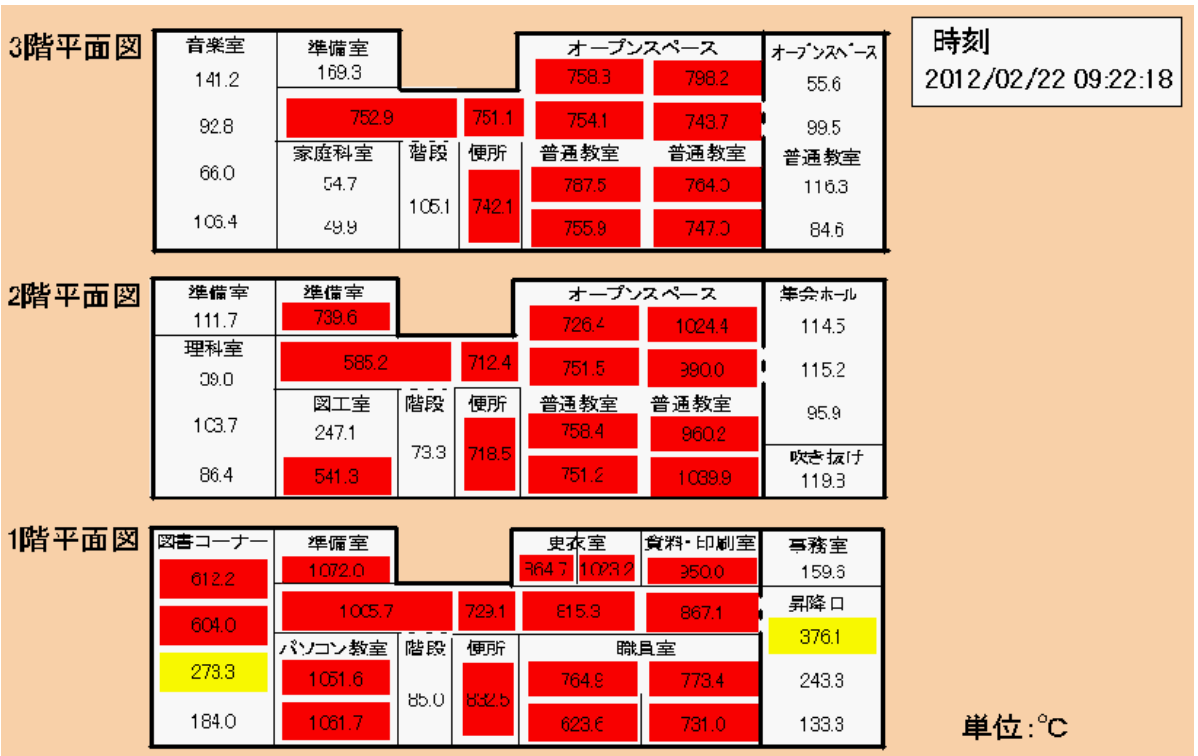


図 2.7.3-32 22分18秒経過時の温度分布

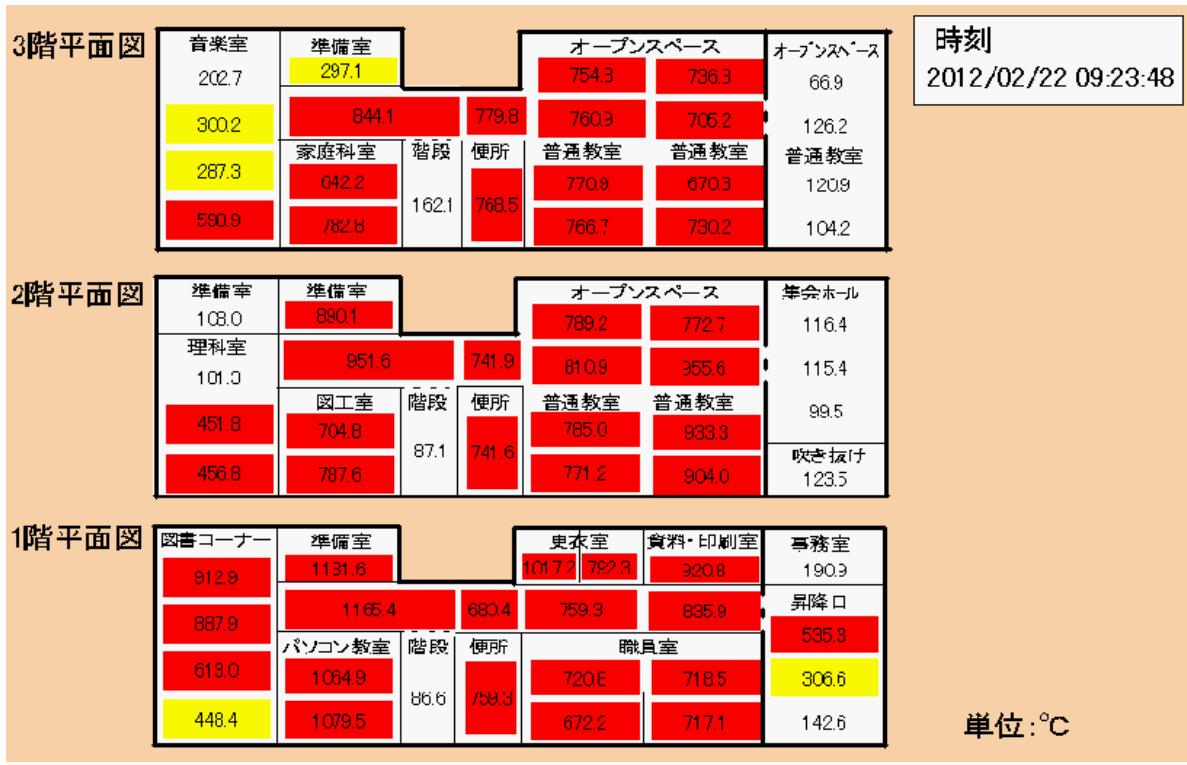


図 2.7.3-33 23分48秒経過時の温度分布

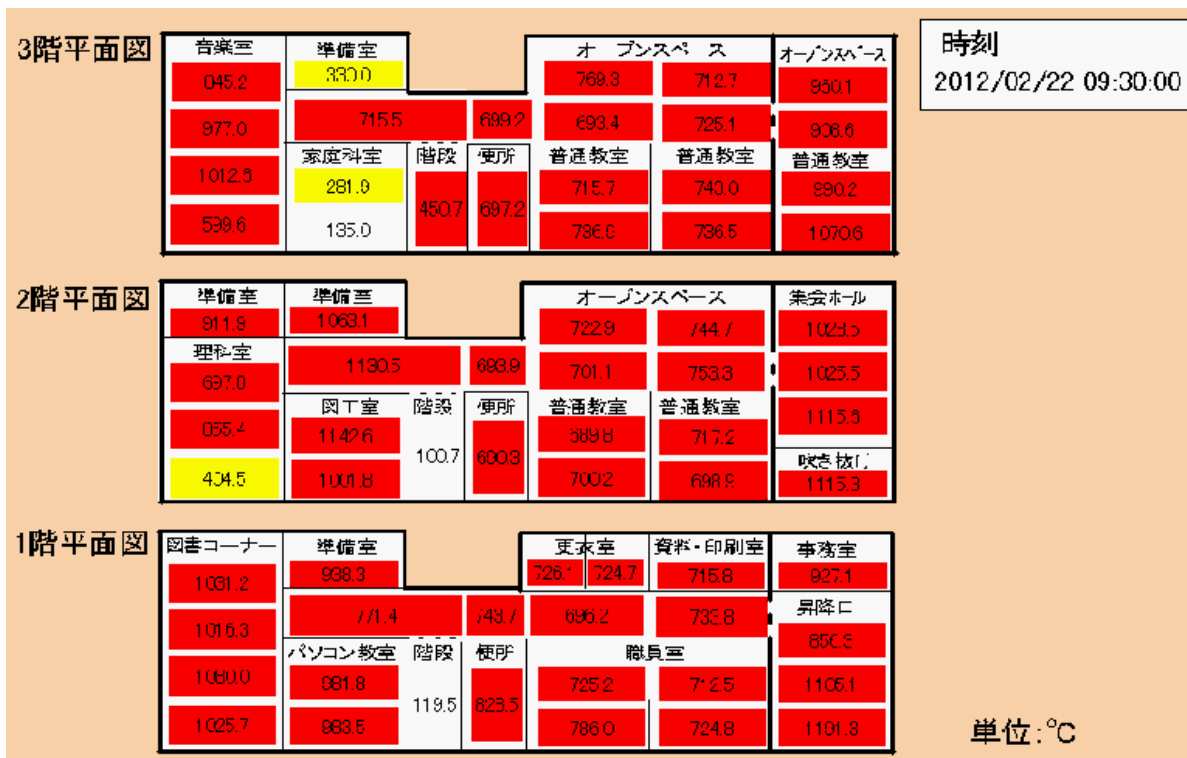


図 2.7.3-34 30分経過時の温度分布

(3) 主要構造部等の温度

1) 柱

図 2.7.3-36 に着火点である職員室にある柱表面の温度を示す。職員室が 450℃に達する 3 分頃から急激に表面温度も上昇し 450℃に達した。その後は 25 分頃まで 700℃を超える加熱を受け、75 分の軸組中央部分倒壊までの間 700℃程度の加熱を受け続けた。

図 2.7.3-37、38 に示す図書コーナーにある壁内部の柱の温度から、出火室扉前の廊下が 450℃に達する 7 分頃から柱の被覆表面 (1AYc-3、4、1A'Yc-3、4) の温度が上昇し始め、図書コーナーが 450℃に達する 23 分には 450℃となった。30 分頃には壁内部の柱表面 (1AYc-1、2) の温度が、35 分頃には壁内部の柱表面 (1A'Yc-1、2) の温度も 450℃に達し、ボード内へ燃え込みを確認した。その後は 700℃程度の加熱を受け続けた。

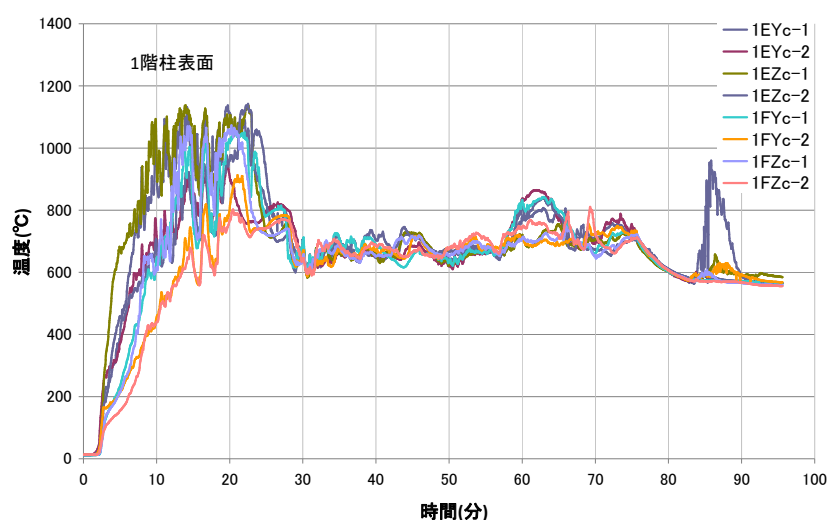


図 2.7.3-36 職員室柱の温度

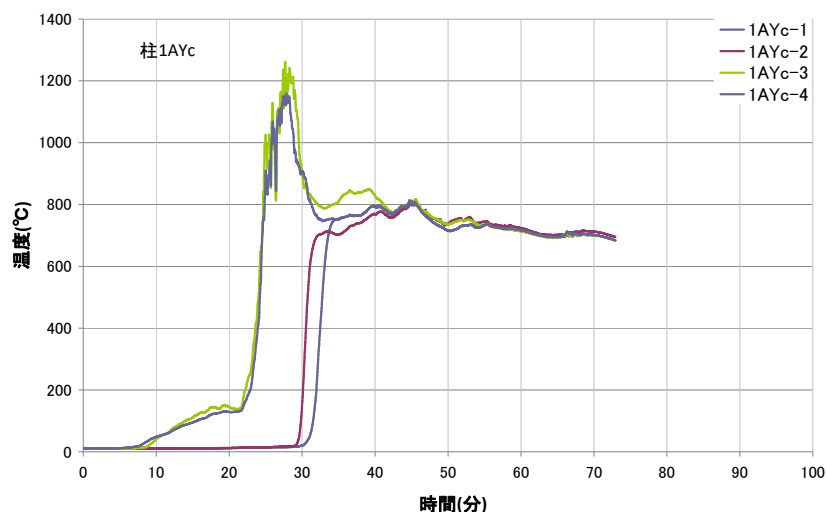


図 2.7.3-37 図書コーナー柱 1AYc の温度

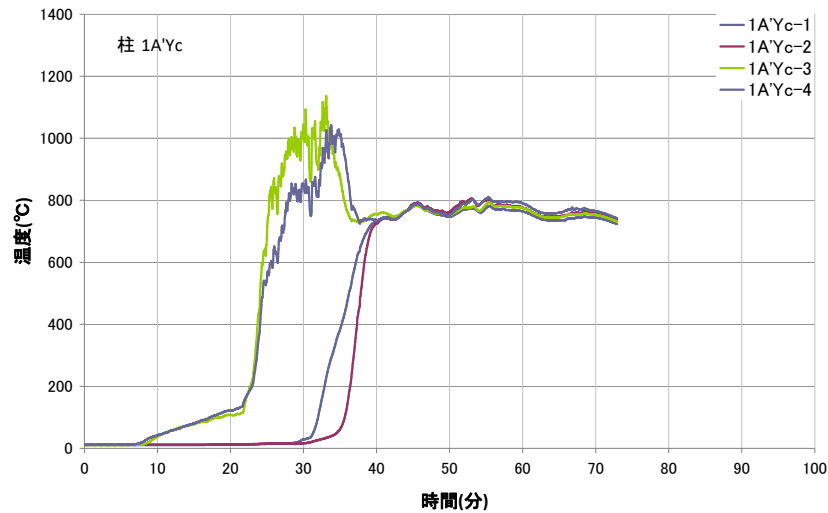


図 2.7.3-38 図書コーナー柱 1A'Yc の温度

2) 床および屋根

図 2.7.3-39 より、着火点である職員室上部にある 2 階教室床の温度をみると、1 階職員室が 450°C となる 3 分頃から、2 階床 2EZf-2 の温度が上昇し始め、噴出火炎により 2 階普通教室 (西) が 6 分頃に 450°C となると 10 分頃には 450°C に達し延焼を確認した。その後 15 分過ぎには 2 階床表面 2EZf-1、3 階床表面 3EZf-1 の温度が 450°C を超えた。8 分には噴出火炎により 3 階普通教室も 450°C に達し、13 分頃から屋根内部 REZf-1 の温度も上昇し始め、16 分頃には 450°C となった。

図 2.7.3-40 より、職員室東の上部 2 階教室 (西) の床は 1 階職員室が 450°C となる 3 分頃から、2 階床 2FZf-2 の温度が上昇し始め、噴出火炎により 2 階普通教室東が 8 分頃に 450°C となると、床表面 2FZf-1、3 階床 3FZf-1 の温度は 12 分頃 450°C を超え延焼を確認した。約 10 分には噴出火炎により 3 階普通教室 (東) も 450°C に達した。その後 22 分頃に屋根内部 RFZf-1 の温度も 450°C を超え、延焼を確認した。

図 2.7.3-41 より、理科室および音楽室側は、音楽室が 24 分、理科室が 27 分に 450°C を超え、2、3 階がほぼ同時刻に延焼したため、2、3 階床および屋根内部の温度はほとんど同じ時間の 40 分頃に 450°C に達し、延焼を確認した。

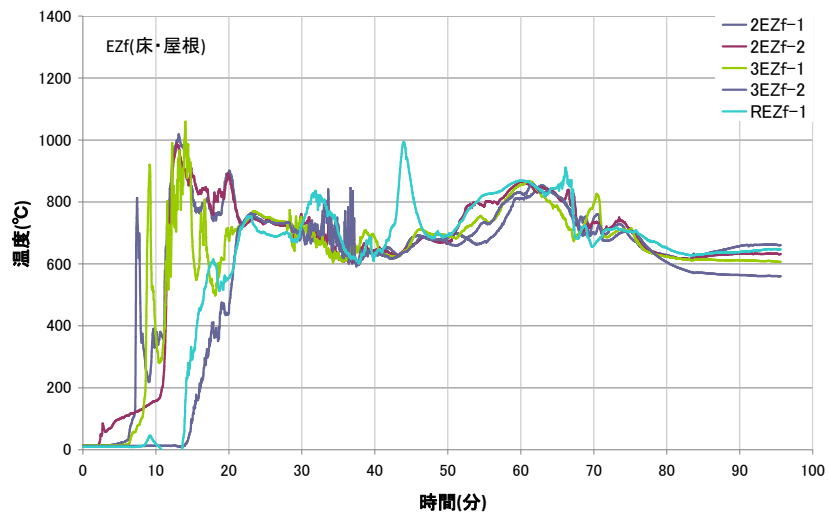


図 2.7.3-39 2、3階普通教室床 EZf および屋根 REZf の温度

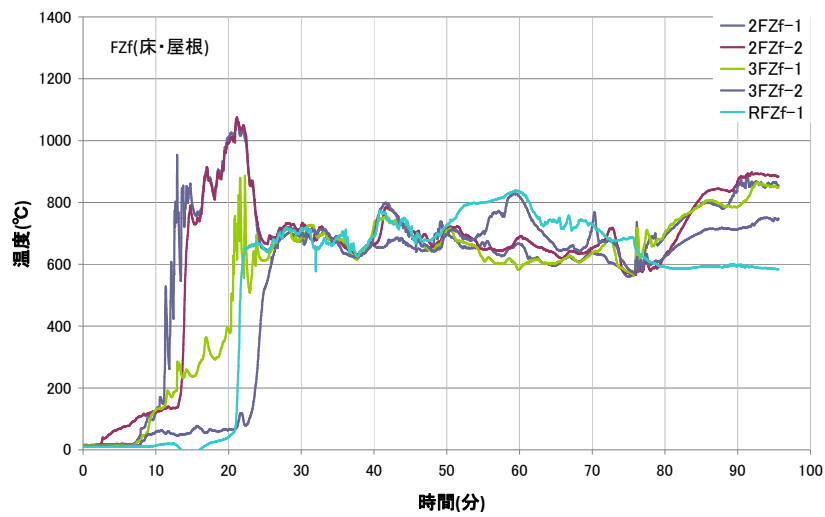


図 2.7.3-40 2、3階普通教室床 FZf および屋根 RFZf の温度

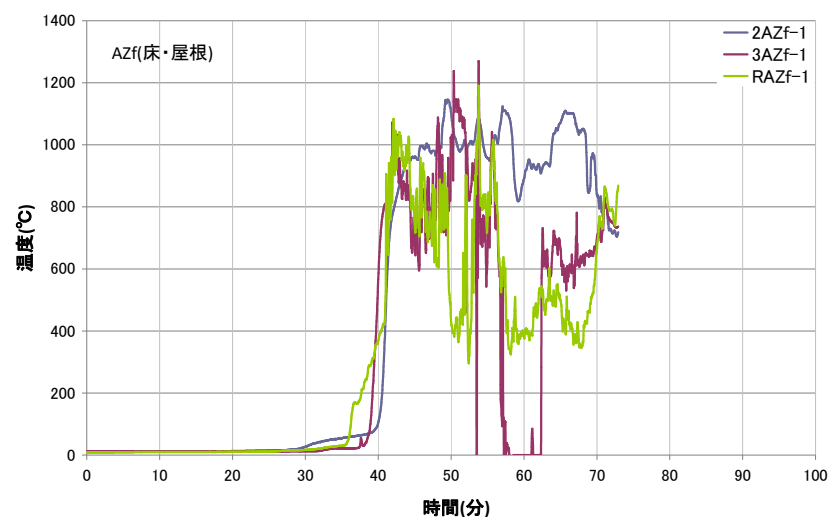


図 2.7.3-41 2、3階音楽室・理科室側床 AZf および屋根 RAZf の温度

3) 防火区画壁

図 2.7.3-42 より、1階防火区画壁は、出火室前の廊下が 450℃となる 7 分頃からパソコン室側表面(1BYn1、1BYn-5)の温度が上昇し始め、パソコン教室が 450℃に達する 18 分頃には表面温度は 450℃に達した。10 分頃から階段室側表面 (1BYn4、1BYn-8)の温度が上昇し始め、階段室が 450℃となる 31 分頃にはパソコン室側内部 (1BYn2、1BYn-6)の温度も 450℃に達した。その後、38 分にはパイプスペース内 (1BYn-3、1BYn-7)の温度も 450℃に達した。

図 2.7.3-43 より、2階防火区画壁は、図工室 (美術室) が 450℃となる 20 分頃から図工室側表面 (2BYn1、2BYn-5)の温度上昇が始まり、23 分頃には 450℃に達した。階段室側表面 (2BYn4、2BYn-8)の温度は 15 分頃から上昇し始め、階段室が 450℃となる 32 分頃に表面温度も 450℃に達した。その後、36 分にはパイプスペース内 (2BYn-3、2BYn-7)の温度も 450℃に達し内部への延焼を確認した。

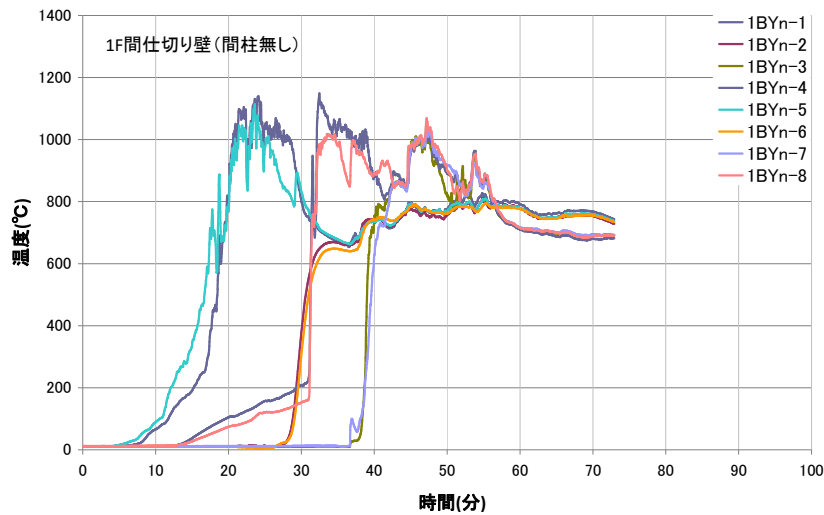


図 2.7.3-42 1階防火区画壁 1BYn の温度

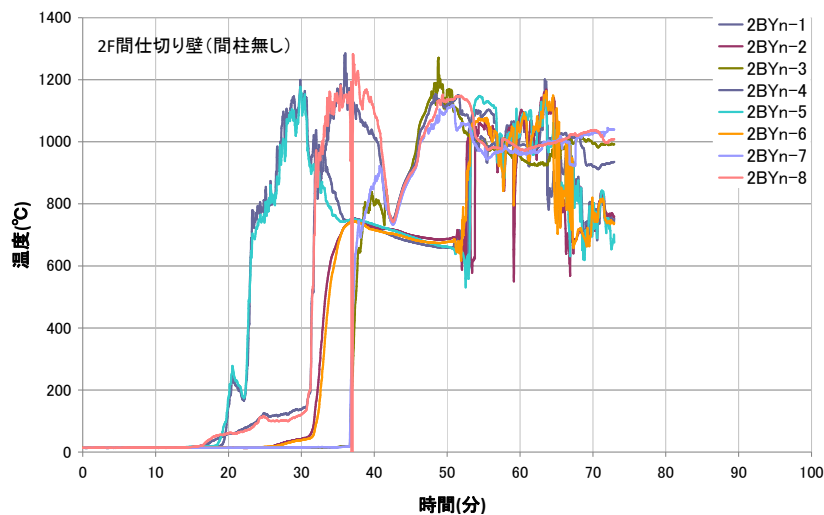


図 2.7.3-43 2階防火区画壁 2BYn の温度

4) 外壁

図 2.7.3-44 より、1 階外壁は、出火室扉前廊下が 450°C に達する 7 分頃から室内側表面 (1AZn-1、1AZn-5) の温度が上昇し始め、図書コーナーが 450°C に達する 23 分には表面温度が 450°C となった。図書コーナーからの噴出火炎により外壁側表面 (1AZn-4、1AZn-8) の温度が 23 分頃から上昇し、40 分には壁内部の温度も 450°C に達し、壁内部への延焼を確認した。

図 2.7.3-45 より、2 階外壁は、図工室(美術室)が 450°C に達する 20 分頃から室内側表面 (2AZn-1、2AZn-5) の温度が上昇し始め、理科室が 450°C に達する 27 分頃には表面温度も 450°C となった。図書コーナー、理科室からの噴出火炎により外壁側表面 (2AZn-4、2AZn-8) の温度が 23 分頃から上昇し、58 分頃には壁内部 2AZn-2 の温度も 450°C に達し、壁内部への延焼を確認した。

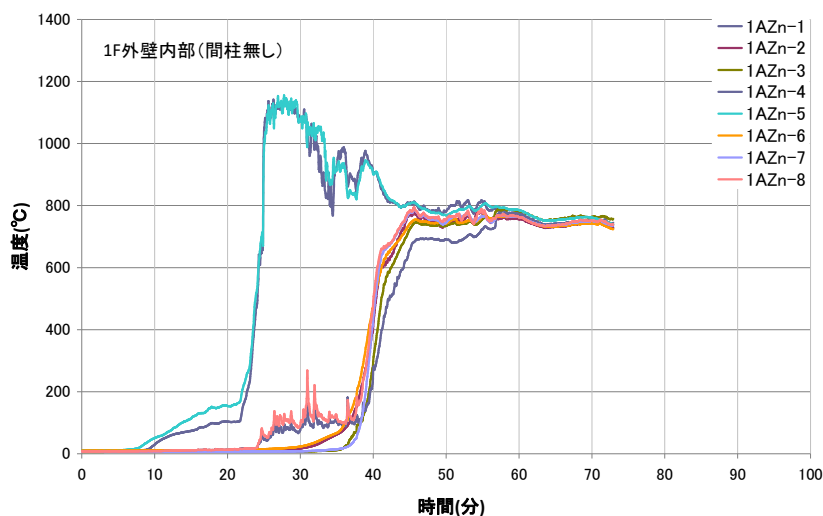


図 2.7.3-44 1 階外壁 1AZn の温度

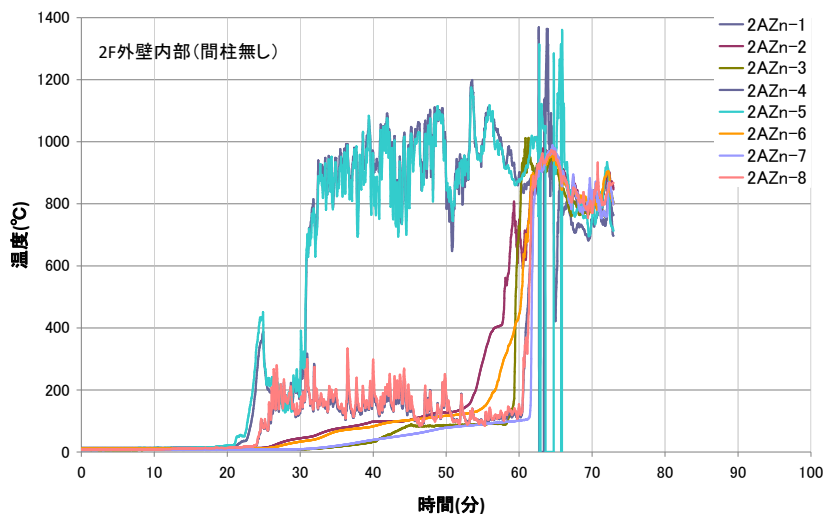


図 2.7.3-45 2 階外壁 2AZn の温度

5) 防火壁

図 2.7.3-46 より、1 階防火壁は、職員室北西が 450℃になる 3 分頃から温度上昇が始まり職員室北東が 5 分に 450℃となると 8 分頃には防火壁表面 (1GYn-9、1GYn-13) の温度が 450℃を超えた。昇降口側表面 (1GYn-12、1GYn-16) の温度が 10 分頃から上昇し始め、昇降口が 26 分頃 450℃に達すると昇降口側表面も 450℃に達した。26 分頃から防火壁は両面加熱となり、33 分頃には壁内部も 450℃を超え、防火壁内部への延焼を確認した。

図 2.7.3-47 より、2 階防火壁は、2 階普通教室 (東) が 8 分頃 450℃になるが、普通教室側表面 (2GYn-9、2GYn-13) の温度はわずかに上昇した程度である。1 階昇降口が 26 分に 450℃に達すると、吹き抜けでつながった 2 階集会ホールは 27 分に 450℃に達し、急激に温度が上昇し始めた。その後 35 分には壁内部まで 450℃に達し、防火壁内部への延焼を確認した。

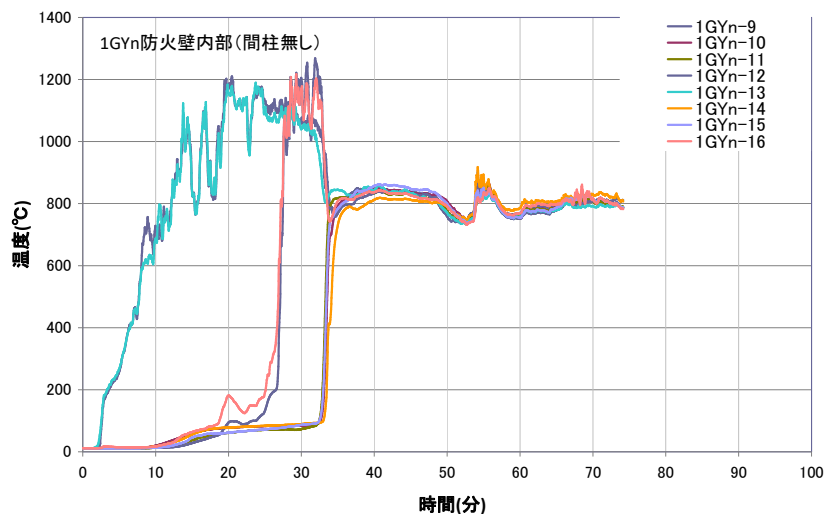


図 2.7.3-46 1 階防火壁 1GYn の温度

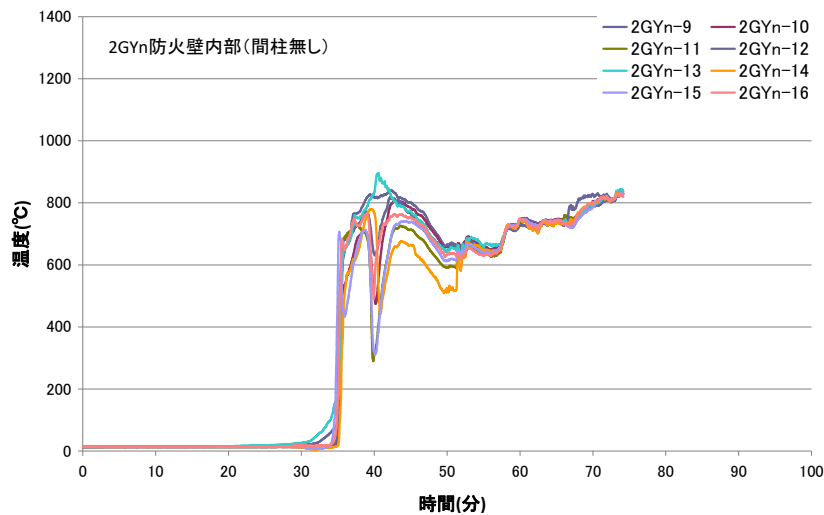


図 2.7.3-47 2 階防火壁 2GYn の温度

図 2.7.3-48 より、1 階防火壁スギ板張り側は、職員室北西が 450℃になる 3 分頃からスギ板表面 (1GZn-1、1GZn-9) の温度上昇が始まり、職員室北東が 5 分に 450℃となると、8 分頃には表面温度は 450℃を超えた。昇降口側表面 (1GZn-8、1GZn-16) の温度が 10 分頃から上昇を始め

昇降口が 26 分頃 450°Cに達すると昇降口側表面温度も 450°Cに達した。33 分頃にはスギ板裏面（1GZn-2、1GZn-10）の温度が 450°Cを超え、36 分には壁内部 1GZn-12 も 450°Cを超え、防火壁内部への延焼を確認した。

図 2.7.3-49 より、2 階防火壁スギ板張り側は、2 階普通教室東が 8 分頃 450°Cに達すると、スギ板表面（2GZn-1、2GZn-9）の温度が急上昇し 450°Cに達した。昇降口側表面温度は 10 分頃から温度上昇が始まり、1 階昇降口が 26 分に 450°Cに達すると、吹き抜けでつながった 2 階集会ホールは 27 分に 450°Cに達し、昇降口側表面（2GZn-8、2GZn-16）の温度も 450°Cに達した。その後 35 分には壁内部まで 450°Cに達し、防火壁内部への延焼を確認した。

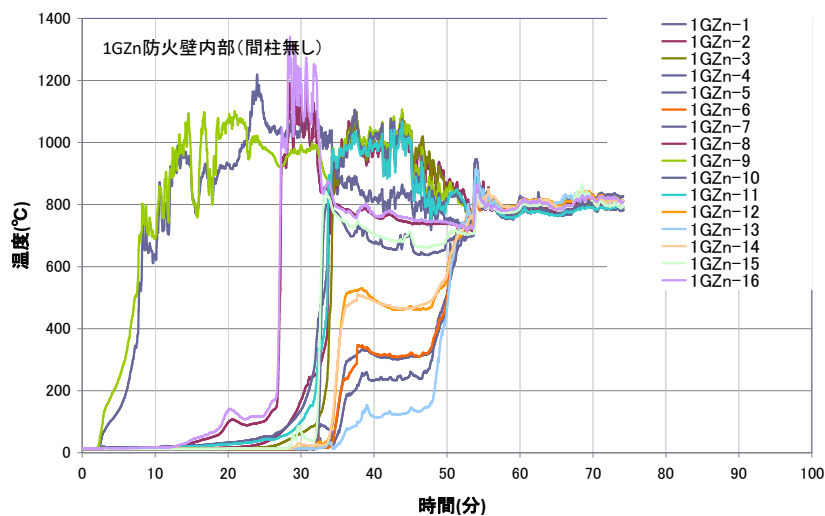


図 2.7.3-48 スギ板張り側 1 階防火壁 1GZn の温度

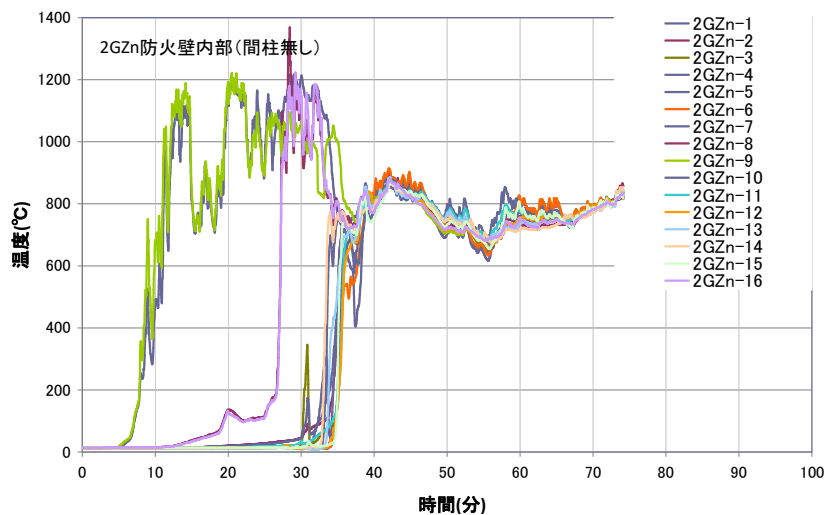


図 2.7.3-49 スギ板張り側 2 階防火壁 2GZn の温度

6) 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。

- ①軸組部分の柱は、5分頃から75分の軸組中央部分倒壊までの間700℃程度の加熱を受け続けた。
枠組み壁工法部分の柱は、30分頃には柱表面温度が450℃に達し、700℃程度の加熱を受け続けた。
- ②軸組部分の床は、10分頃に2階床内部が450℃に達し延焼を確認した。
枠組壁工法部分床は、2、3階がほぼ同時刻に延焼したため、2、3階床および屋根内部はほとんど同じ時間の40分頃に450℃に達し、延焼を確認した。
- ③屋根内部は、16分頃に450℃に達し、屋根内部への延焼を確認した。
- ④1階防火区画壁は、31分頃に内部温度が450℃に達し、壁内部へ延焼を確認した。
- ⑤1階外壁は、40分に壁内部の温度が450℃に達し、壁内部への延焼を確認した。
2階外壁は、58分頃に壁内部の温度が450℃に達し、壁内部への延焼を確認した。
- ⑥1階防火壁は、33分頃に壁内部が450℃を超え、防火壁内部への延焼を確認した。
2階防火壁は、35分に壁内部が450℃に達し、防火壁内部への延焼を確認した。
1階防火壁スギ板張り側は、36分に壁内部が450℃を超え、防火壁内部への延焼を確認した。
2階防火壁スギ板張り側は、35分に壁内部が450℃に達し、防火壁内部への延焼を確認した。

(4) 建物外部の温度

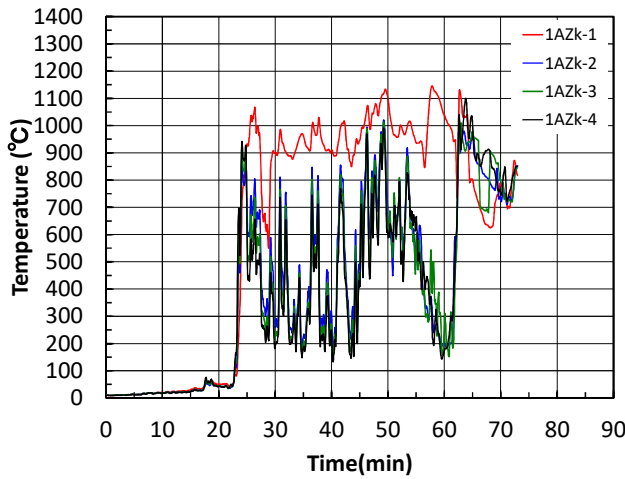
1) 外壁表面温度

図 2.7.2-50～図 2.7.2-56 に実験建物の外壁面に設置した熱電対による温度測定結果を示す。いずれの温度も噴出火炎の発生に伴って上昇した。開口下端からの距離が小さいほど、高温となる傾向が見られるが、開口下端以外の温度はほぼ類似の推移をとる。

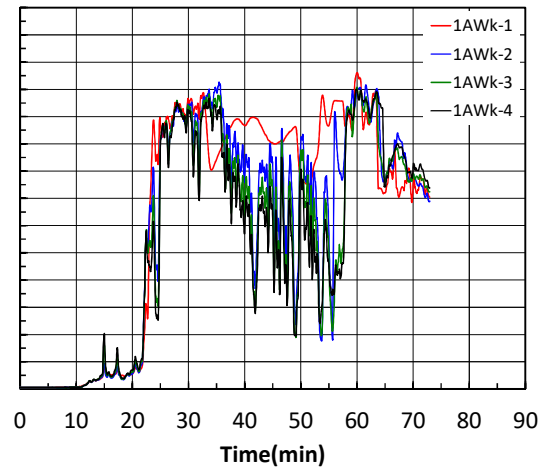
着火点のある E ゾーン南側の外壁表面温度が最も早期に上昇した。着火後約3分には開口部が破損し、大規模な噴出火炎が発生したため、壁面温度も急激に上昇し、950℃程度に達した。

D,F ゾーンの3階南側の外壁温度が他の3階部分の温度よりも早期に温度上昇しているのは、E ゾーン開口部から噴出した火炎が軒下で水平方向に広がったためである。

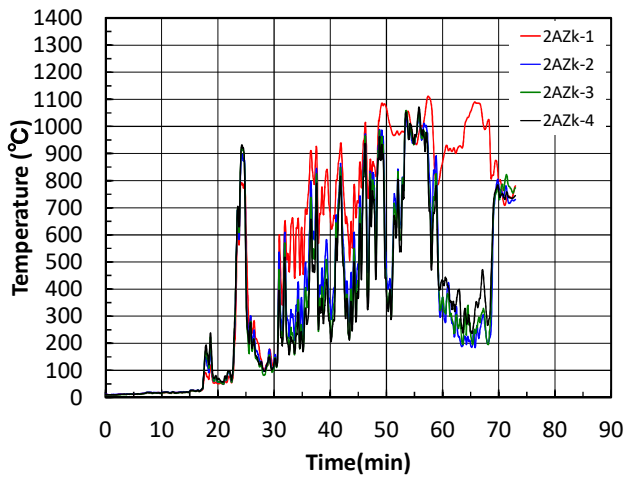
外壁温度の上昇は、開口から噴出する火炎の状況に大きく依存するとともに、外気風の影響を大きく受けている。特に A ゾーンで外気風の影響の大きい2階、3階の外壁温度は南東よりの風の影響を受けて、北側面の温度のほうが高くなる傾向となった。



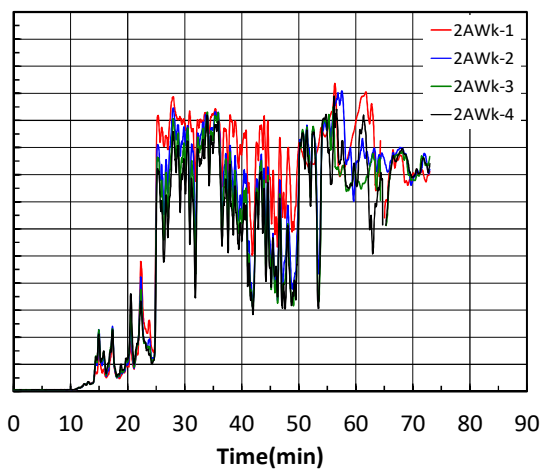
a) 1階 南側壁面



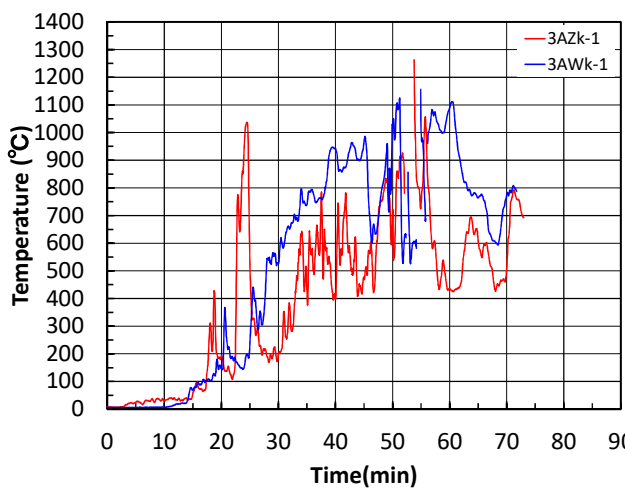
b) 1階 北側壁面



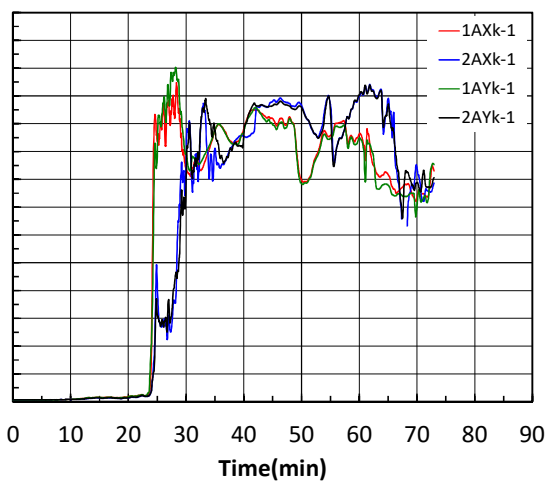
c) 2階 南側壁面



d) 2階 北側壁面

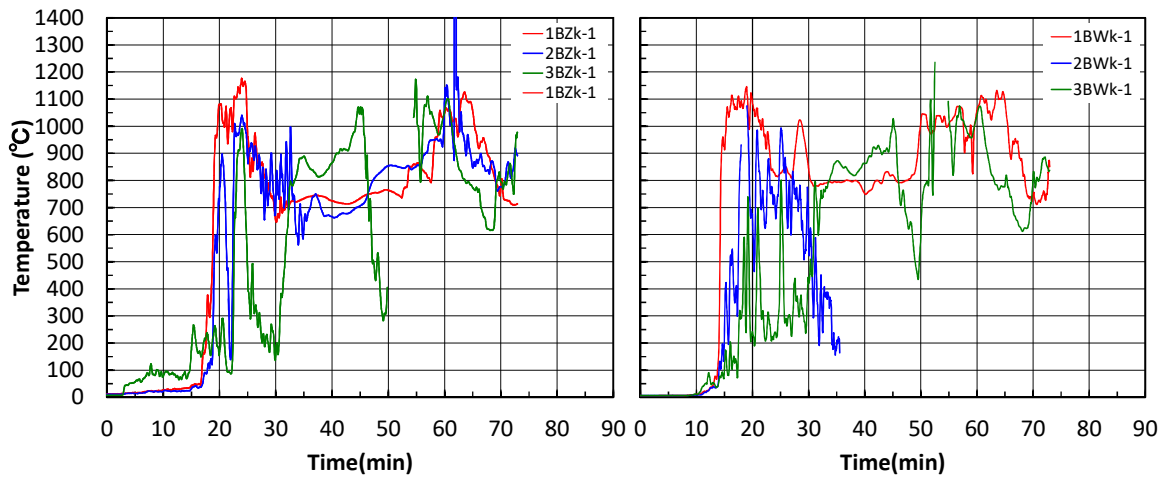


e) 3階 南北壁面



f) 西側壁面

図 2.7.3-50 Aゾーン外壁面 (AW、AZ) の温度



a) 南側壁面

b) 北側壁面

図 2.7.3-51 Bゾーン外壁面 (BW、BZ) の温度

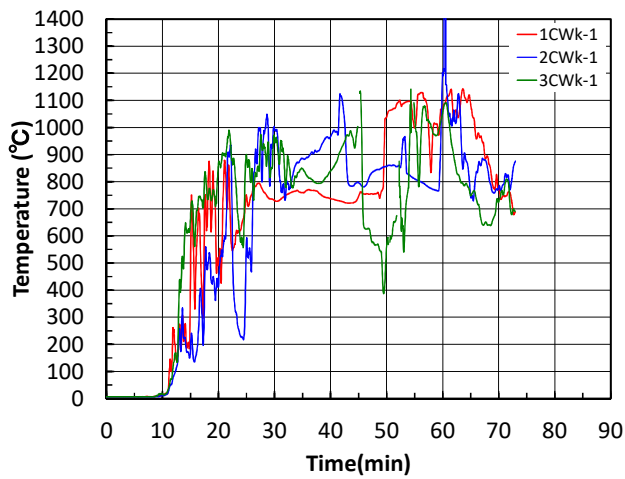
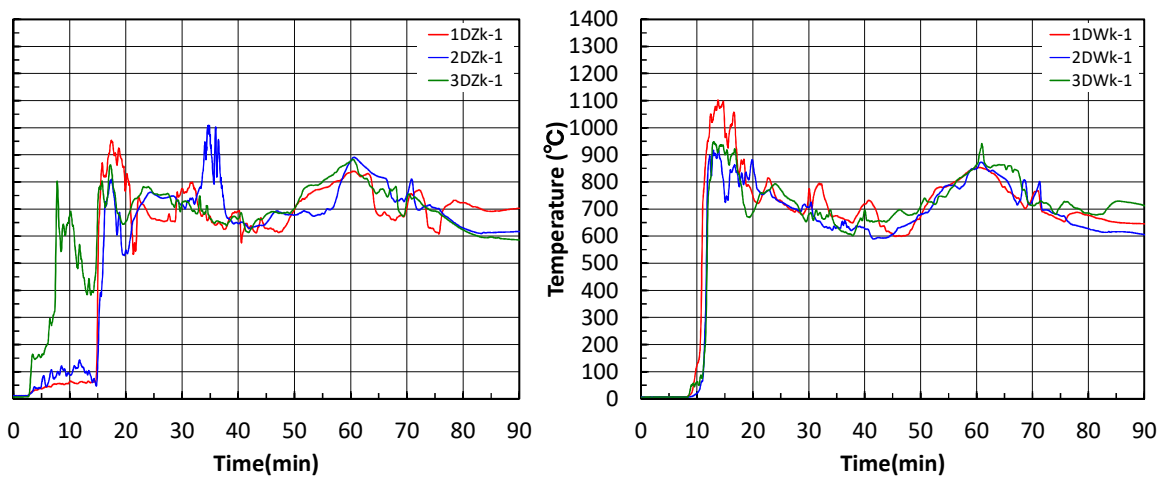


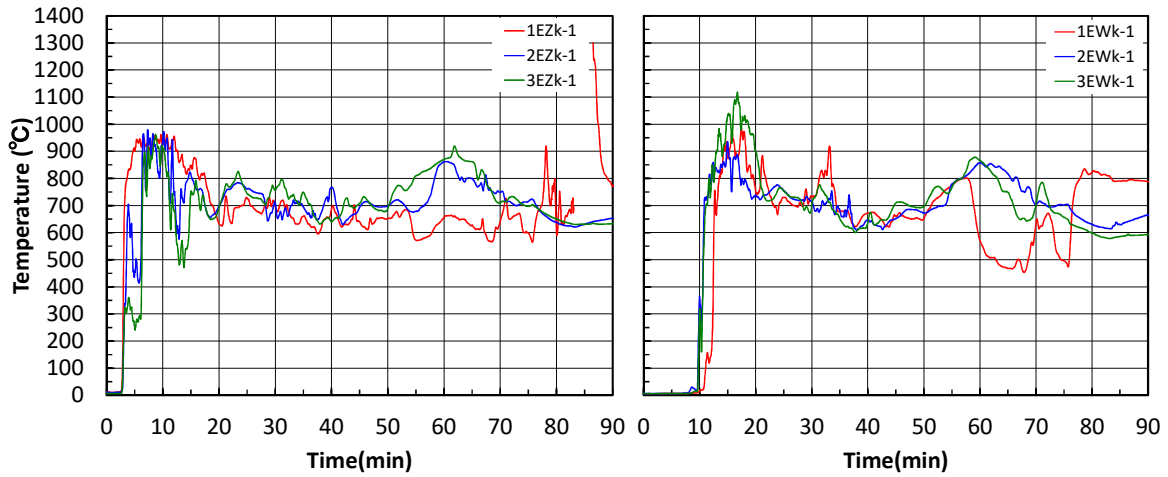
図 2.7.3-52 Cゾーン 北側外壁面 CW の温度



a) 南側壁面

b) 北側壁面

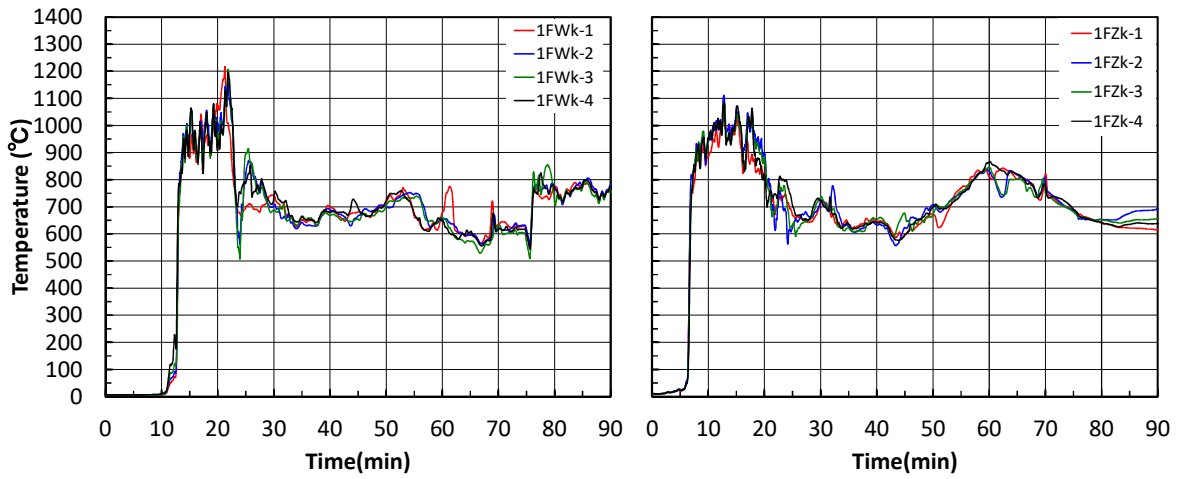
図 2.7.3-53 Dゾーン 北側外壁面 CW の温度



a) 南側壁面

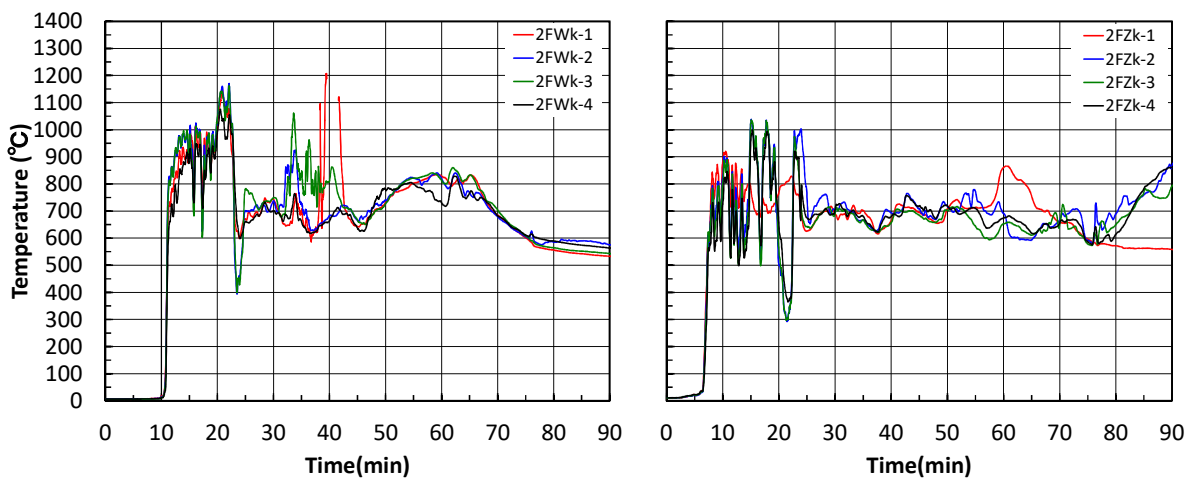
b) 北側壁面

図 2.7.3-54 Eゾーン外壁面の温度



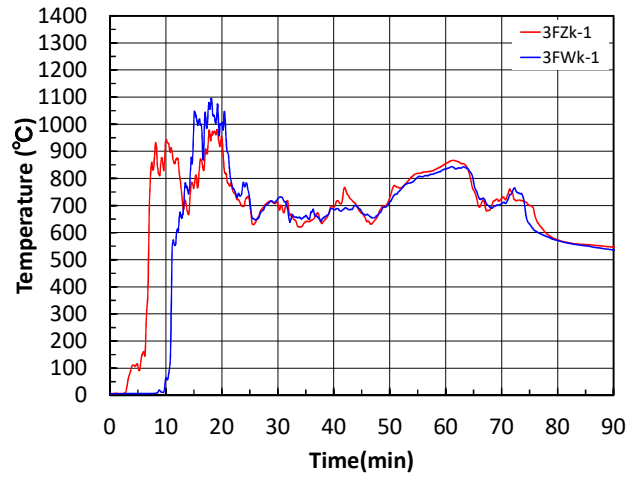
a) 1階 南側壁面

b) 1階 北側壁面



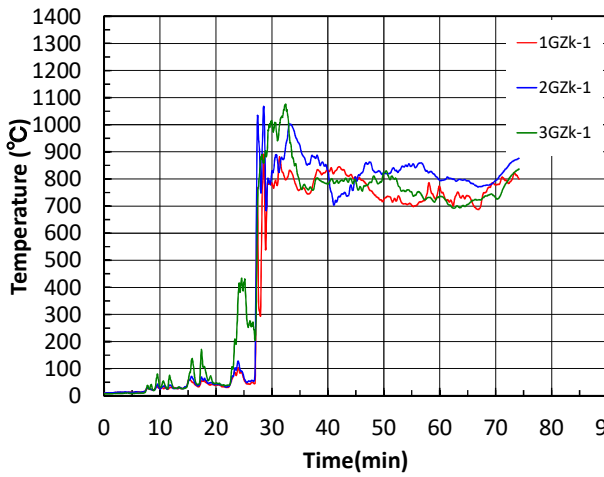
c) 2階 南側壁面

d) 2階 北側壁面

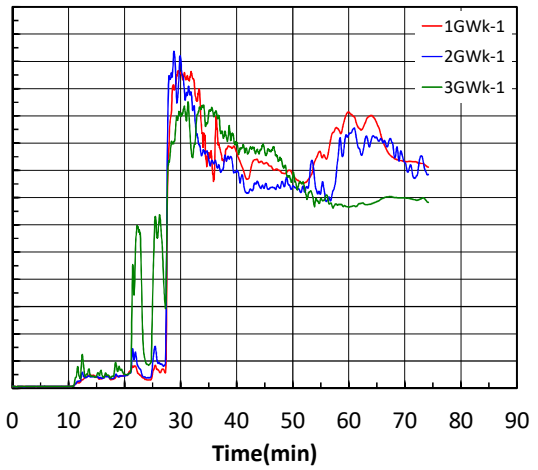


e) 3階 南北壁面

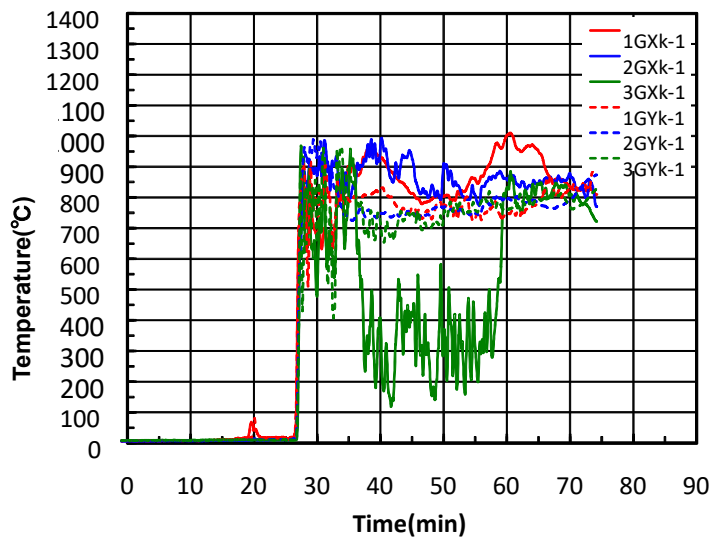
図 2.7.3-55 Fゾーン外壁面の温度



a) 南側壁面



b) 北側壁面



c) 東側壁面

図 2.7.3-56 Gゾーン外壁面の温度

2. 7. 4 熱流束

(1) 建物内部（職員室(出火室)）の熱流束

ここで示す熱流束は、測定値の前後 4 秒間の移動平均をとり平滑化したものである。室内に設置した熱電対による温度の測定結果 T_f (K)を用いて式(2.1)によって算出される放射熱流束 q_r'' kW/m²を比較のために示す。簡単のため、放射率 ε と形態係数 F は 1 とし、ステファンボルツマン定数 σ 、火災室温度 T_f (K)とする。

$$q_r''(T_f) = \sigma \varepsilon F T_f^4 \quad (2.1)$$

図 2.7.4-1 は、職員室内（出火室 FY ゾーン）の机天板レベルに上向きに設置した熱流束計と職員室(北東)の室内温度から式(2.1)によって算出した q_r'' の経時変化を示している。FY ゾーンでは着火から 2 分までは入射熱流束に変化はないが、2 分以後に火源からの炎が天井に達し天井面下に火炎が伝播すると約 10kW/m²まで上昇する。2 分 42 秒に E ゾーン 1 階南の開口が割れて火炎が噴出するが、測定した熱流束には大きな変化はなく、6 分過ぎに F ゾーン 1 階南側のガラス全面がほぼ割れ、開口から新鮮空気が流入すると火勢が増し、測定した熱流束は 50kW/m²まで上昇する。10 分過ぎに北側 1 階 DE ゾーンガラスが割れ、DEF ブロック全体が炎に包まれ始めると、測定した熱流束も再度増加する。約 12 分に職員室(北東)の室内温度約 1,200℃に達した際に、測定した熱流束も 300kW/m²に達する急激な増加を示し、測定不能となった。測定した熱流束と q_r'' の変化を比較すると 8 分程度までは同様の傾向を示す。8～11 分付近で q_r'' のほうが大きな値を示しているのは、図 2.7.3-1、2 の温度から、天井付近の温度 (1EY-1～3、1FZ-1～3) に比べ、下部の 1EY-4 と 1FZ-4 の温度が 200℃程度低いことから、開口周辺、上部層では燃焼が盛んであるが、それらと熱流束計との間に溜まった黒煙により放射熱が遮られた可能性が考えられる。

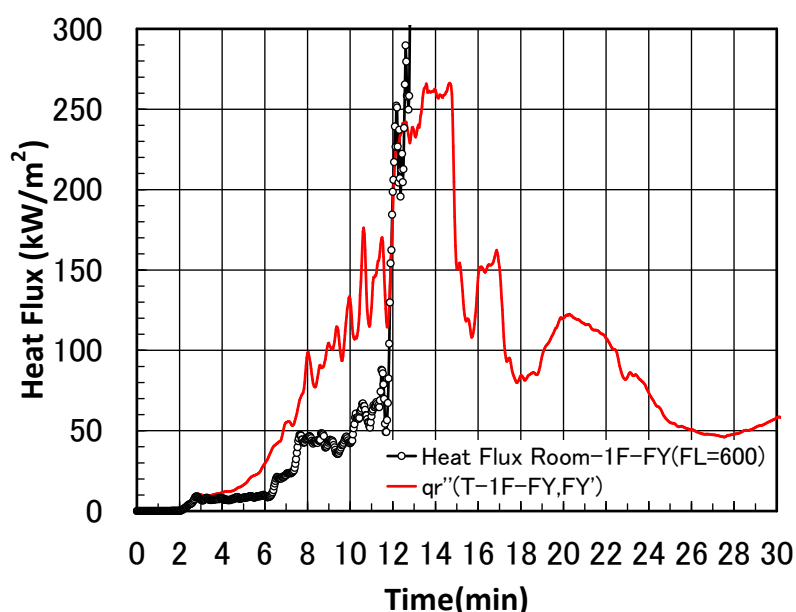


図 2.7.4-1 職員室内の机天板レベルで測定された熱流束と q_r''

(2) 建物外部の熱流束

ABCD ゾーンの熱流束計(①～⑥、⑮)、EFG ゾーンの熱流束計(⑦～⑫、⑰、⑱)、F・G ゾーン北側および東側の熱流束計の冷却水は、それぞれ約 26、27、23 分後に放射熱および火の粉等により配線の溶融で起きた短絡やポンプの過加熱、配管の溶融等により循環を停止した。

1) ABC ゾーン

図 2.7.4-2～5 に ABC ゾーンの熱流束計タワー(①～⑥)に設置された熱流束計による測定結果を示す。A ゾーンから C ゾーンの測定結果から、約 25 分、30 分頃に熱流束が急増することがわかる。熱流束の測定値は、開口からの噴出火炎の発生の有無に大きな影響を受ける。また、一般に外壁からの離隔距離が大きいほど、その値は小さくなることがわかる。

2) EFG ゾーン

図 2.7.4-6～10 に EFG ゾーンの熱流束計タワー(⑦、⑨、⑪、⑬、⑯、⑱)に設置された熱流束計による測定結果を示す。各ゾーンで測定された熱流束を比較すると、2 分 42 秒に E ゾーンガラスが割れ、火炎が爆発的に噴出した際にタワー⑦1F で測定された熱流束が 35kW/m^2 となった。一旦、 15kW/m^2 程度に低下するが、延焼拡大と噴出火炎の増大とともに増加し、6 分過ぎに 50kW/m^2 に達した。このとき、F ゾーンで測定された熱流束も急増しており、8 分前後には約 130kW/m^2 に達した。その後は、大規模な噴出火炎の発生する度に 2、3 階開口部に設置した熱流束計が火炎に巻き込まれ 200kW/m^2 を超える熱流束が測定された。測定された熱流束を高さ方向に比較すると、噴出火炎に巻き込まれない限り、高さが低いほど熱流束は小さくなっている。G ゾーンで測定された熱流束をみると、防火壁を越えて延焼拡大する約 27.5 分までは、測定された熱流束はほぼ 0kW/m^2 である。しかし、G ゾーンにおいても噴出火炎の発生とともに熱流束が急増する結果となった。

図 2.7.4-6 において、E ゾーン南側の離隔距離 $L=3\text{m}$ と $L=14\text{m}$ の位置で測定された熱流束を比較すると、 $L=3\text{m}$ では噴出火炎の影響を受け、比較的大きな振幅で熱流束が変動するが、距離が離れるに従って影響は小さくなっている。

図 2.7.4-8 において、F ゾーン北側の離隔距離 $L=3\text{m}$ の位置の測定された熱流束をみると、1 階よりも 2、3 階(教室およびオープンスペース)での延焼拡大や噴出火炎発生の影響が大きく、11 分過ぎに 3 階開口部に設置した熱流束計が火炎に巻き込まれ 266kW/m^2 の熱流束を測定している。図 2.7.4-10 に示す G ゾーン東側で測定された熱流束は、図 2.7.4-9 の南側と同様に約 27 分後に急増するが、最大でも約 110kW/m^2 に留まっている。また、熱流束計の設置高さや測定された熱流束の関係も南側と異なる。東面の開口は床面から梁下まで連続しており、南北と立面が大きく異なっており、定量的な評価には形態計数等を算出して分析することを要する。

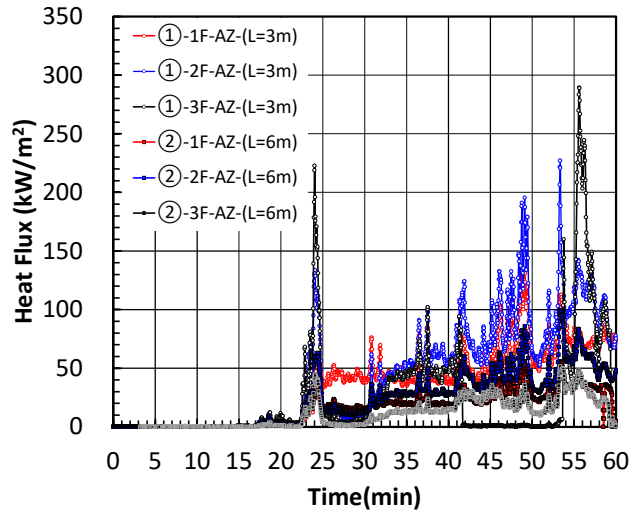


図 2.7.4-2 A ゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

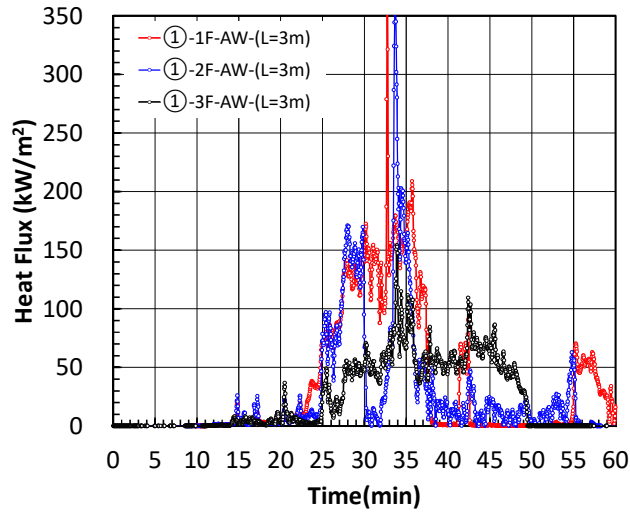


図 2.7.4-3 A ゾーン北側で測定された熱流束(L=3m)

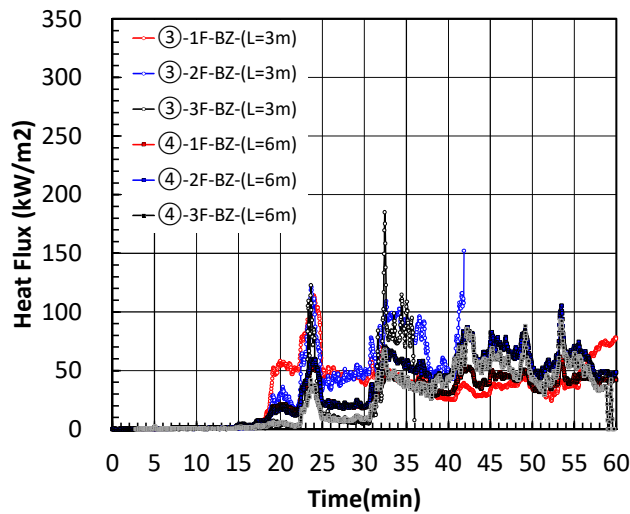


図 2.7.4-4 B ゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

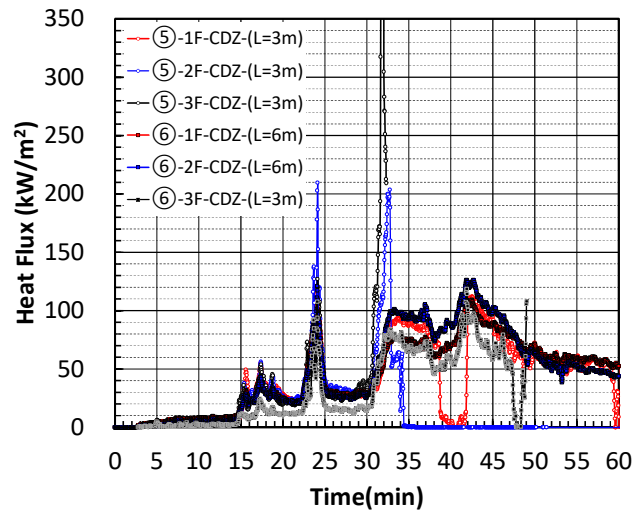


図 2.7.4-5 Cゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

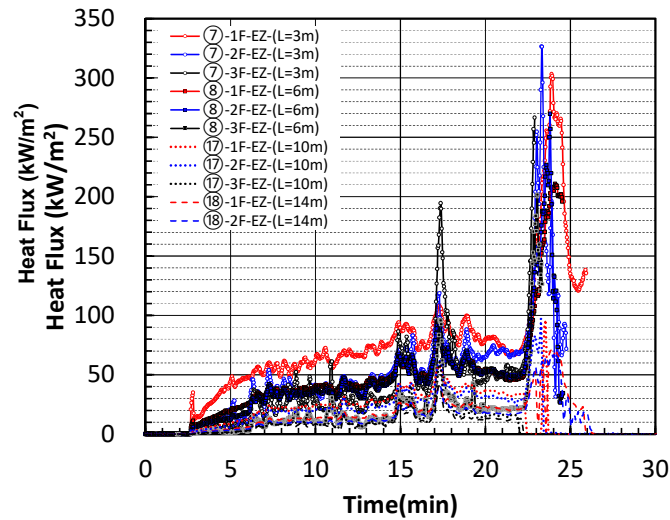


図 2.7.4-6 Eゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m、10m、14m)

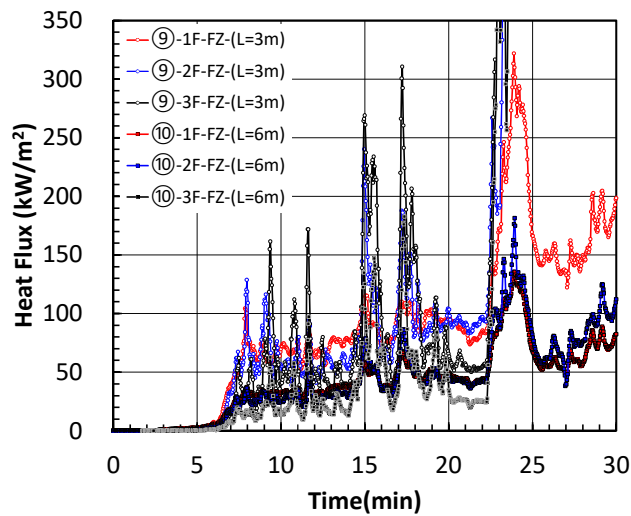


図 2.7.4-7 Fゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

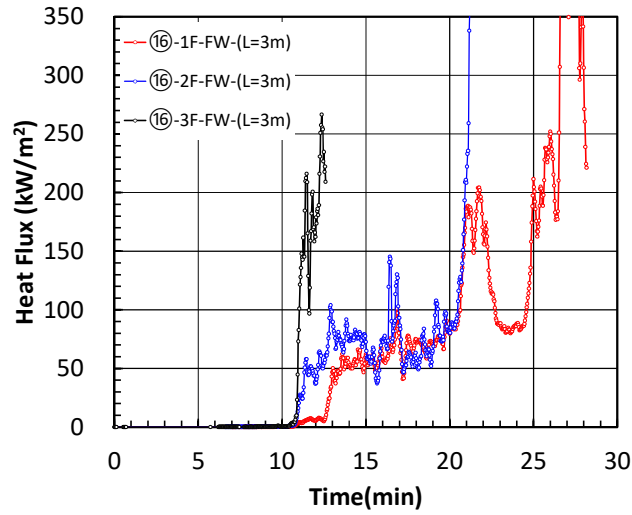


図 2.7.4-8 Fゾーン北側で測定された熱流束(L=3m、6m)

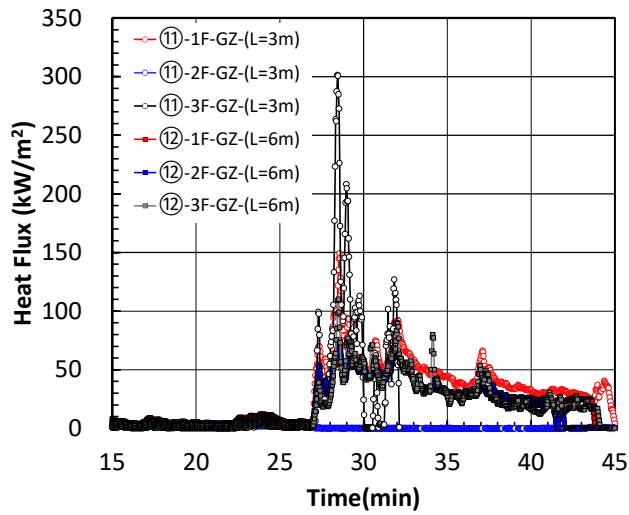


図 2.7.4-9 Gゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

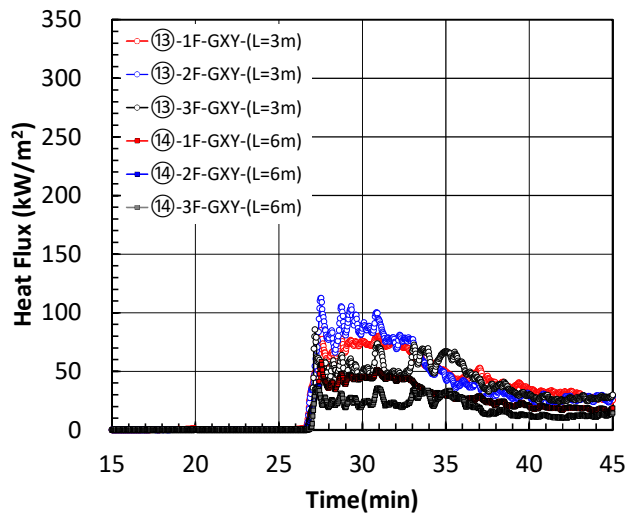


図 2.7.4-10 Gゾーン東側で測定された熱流束(L=3m、6m)

3) 外壁への入射熱流束

図 2.7.4-11～14 は、AFG ゾーンの外壁に設置された熱流束の測定結果である。

A ゾーンでは、約 23 分ごろに噴出火炎が発生し、 200kW/m^2 を超える熱流束が測定されている。その後も断続的な噴出火炎の発生により、 150kW/m^2 を超える熱流束が測定されている。

F ゾーンでは前述のとおり 6 分過ぎの噴出火炎の発生により、1 階外壁 Wall-1F-FZ に設置された熱流束が約 300kW/m^2 に達した。その際 2 階外壁 Wall-2F-FZ は約 150kW/m^2 であったが、噴出火炎の発生によって 200kW/m^2 を超える熱流束を受けていることがわかる。

G ゾーンの外壁には約 27.5 分に東面開口部から大規模の火炎が噴出し、外壁面に接炎したため外壁面 Wall-GW で 300kW/m^2 を超える熱流束を測定した。しかし、それ以降は、 30kW/m^2 以下の熱流束となっていることがわかる。これは東面では柱が袖壁のように外壁から突出していたため、熱流束計が設置されている部分への火炎伸展が遮られたことが一つの要因である。

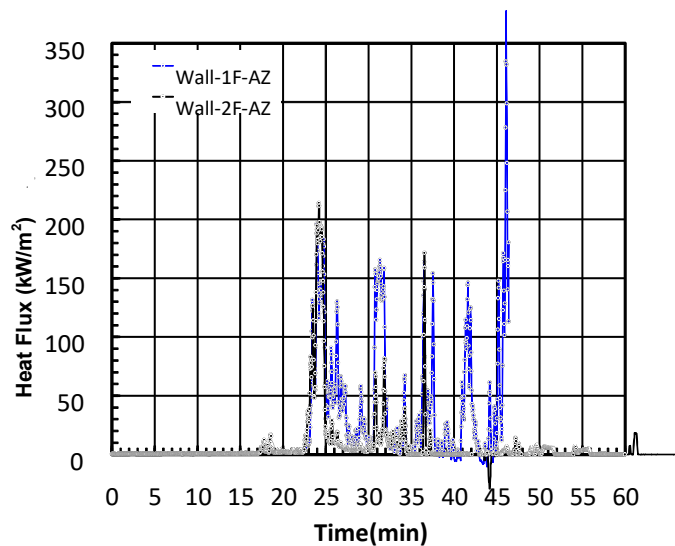


図 2.7.4-11 外壁面 Wall-1F-AZ で測定された熱流束

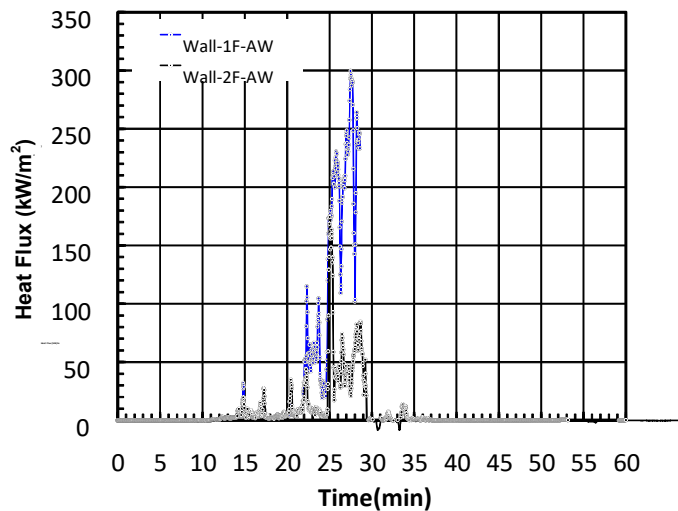


図 2.7.4-12 外壁面 Wall-AW で測定された熱流束

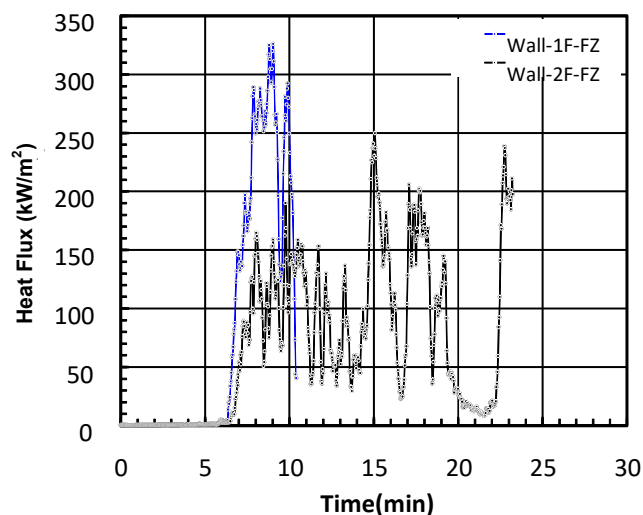


図 2.7.4-13 外壁面 Wall-FZ で測定された熱流束

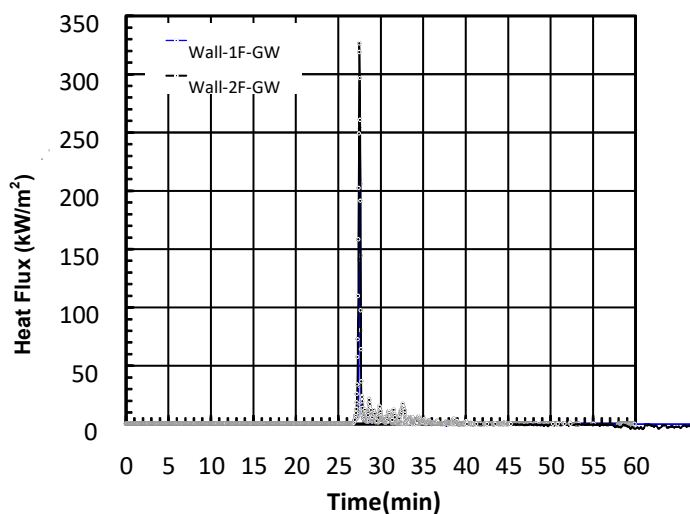


図 2.7.4-14 外壁面 Wall-GW で測定された熱流束

4) 離隔距離 L と測定された熱流束との関係

図 2.7.4-15 は、離隔距離 L と入射熱流束の関係を 2 分毎(22 分以後は 0.5 分毎)に示したものである。プロットは同一隔離距離にある熱流束計で測定された熱流束の最大値を示している。なお、L=0m のプロットは外壁面で測定されたの熱流束である。大規模な噴出火炎が発生した 23、23.5 分を除き、L=3~14m の距離で測定された熱流束は、L が大きいほど小さくなる。しかし、噴出火炎発生時には L=14m であっても約 70kW/m² に達する。

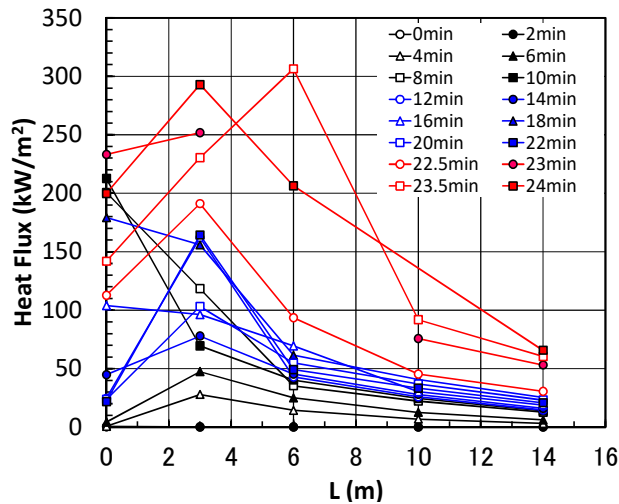


図 2.7.4-15 離隔距離と測定された熱流束の関係

2. 7. 5 感知器、スプリンクラーヘッド

火災感知器およびスプリンクラーヘッドが発報した時間を、表 2.7.5-1 と図 2.7.5-1、2 に示す。

点火後、火災で発生した煙は天井面から急速に降下し、出火室は煙で充満した。出火室の天井に設置された熱および煙感知器は、1分10秒から1分42秒で作動した。その他の煙感知器は1階出火室前の廊下部分では2分12秒から42秒、2階オープンスペースが3分42秒、階段前ホールが7分27秒、3階階段室が8分18秒で作動した。また、SPヘッドは出火源に最も近い天井に設置されたものが1分47秒、その他は1分55秒から2分14秒で作動した。

表 2.7.5-1 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	
予備	1分10秒(熱)					
実験	1分18秒～ 1分42秒(煙) 1分47秒～ 2分14秒(SP)	2分12秒(煙)	2分42秒(煙)	2分05秒(熱) 3分42秒(煙)	7分27秒(煙)	8分18秒(煙)

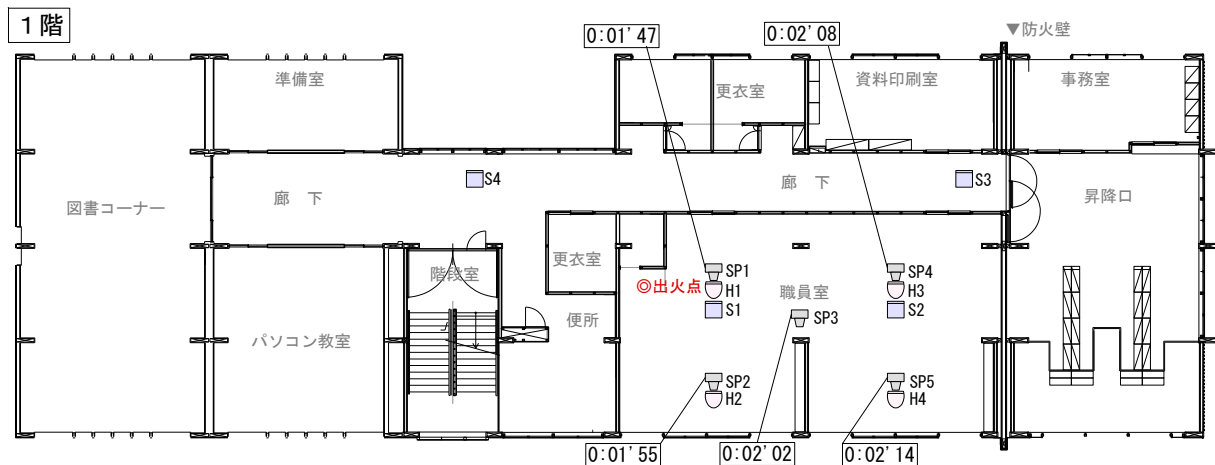


図 2.7.5-1 スプリンクラーヘッド発報時間

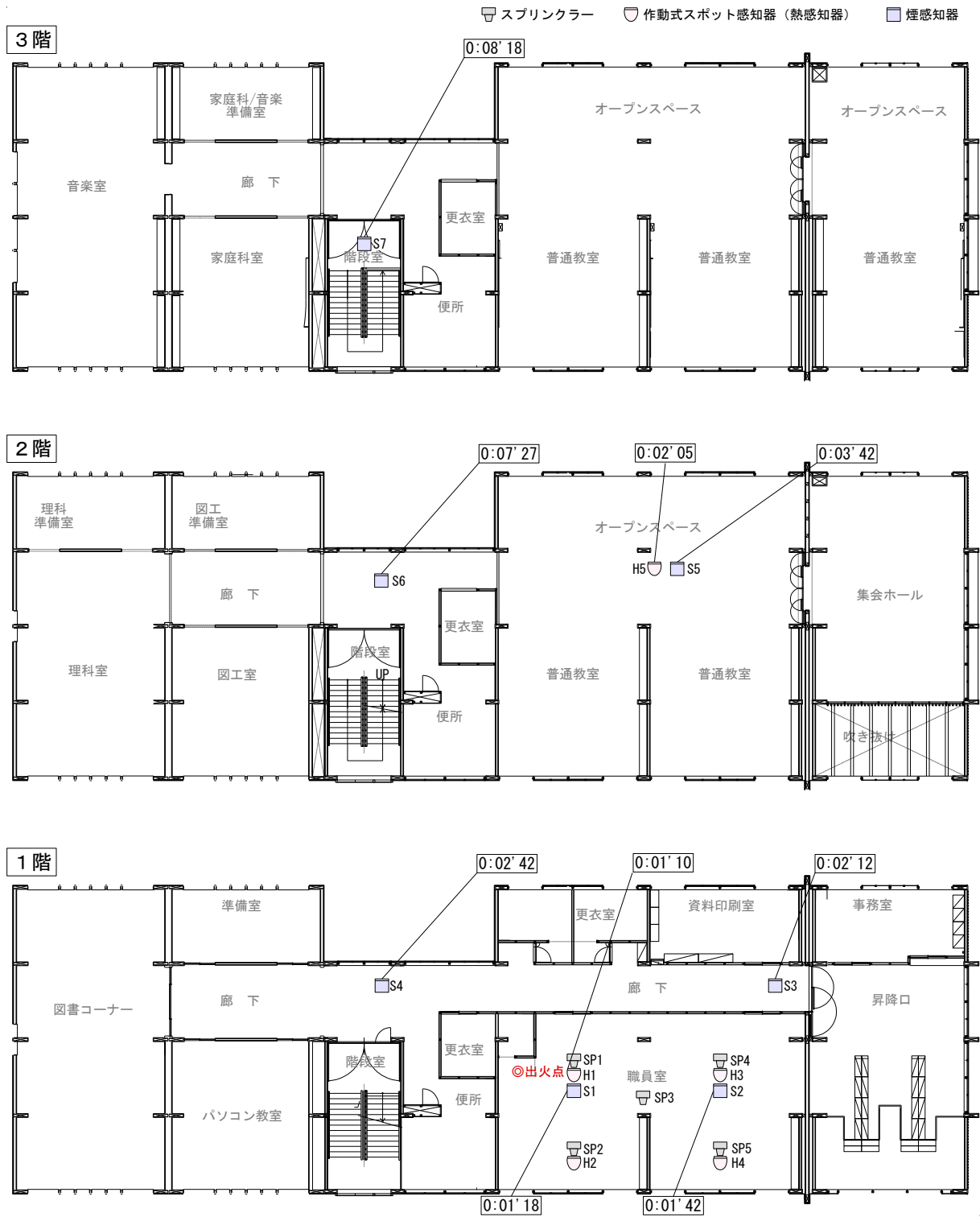


図 2.7.5-2 火災感知器発報時間

2. 7. 6 火の粉

実験では、1階出火室の窓から大規模な噴出火炎が発生し、短時間で2、3階の教室に延焼した。3層が同時に炎上し、屋根の燃え抜けが発生したため、写真2.7.6-1に示すとおり、大量の火の粉が上空に舞い上がり、風に乗って風下の広範囲に飛散、降積した。その飛散、降積した火の粉を収集して分析を行った。なお、収集した火の粉は消し炭状のものが圧倒的に多かった。繊維、金属箔もごく少数見られたが、木材に由来する火の粉を対象にする。本来、火の粉は赤熱した状態を指すが、ここでは、燃え残りも火の粉と称している。大きさによらず火の粉と称す。



写真 2.7.6-1 上空に舞い上がる火の粉

(1) 火の粉の飛散、降積範囲

実験終了直後、火の粉の飛散、降積範囲を明らかにするために、周辺を踏査した。実験建物から200～300m離れた位置においても多数の降積が確認された。また、500～600m離れた位置においても数cmの大きさの火の粉が見られた。形は様々であるが、サイコロを押し潰したようなものが多い。1,000mを超える範囲においても火の粉の降積を確認した。最長は、1,655m地点であり、この周辺で火の粉の飛来について住民の証言も得ている。1,000m以遠の火の粉は1cm以下の板状である。遠方に飛散した火の粉は、実験建物の屋根の燃え抜けから噴出した火炎によって上空に吹き上げられ、風に移流されてきたものと考えられる。踏査した結果を基に、火の粉の飛散、降積範囲を図2.7.6-1に示す。降積位置は火源を中心とする扇形の中にほぼ収まる。中心角は約44度である。

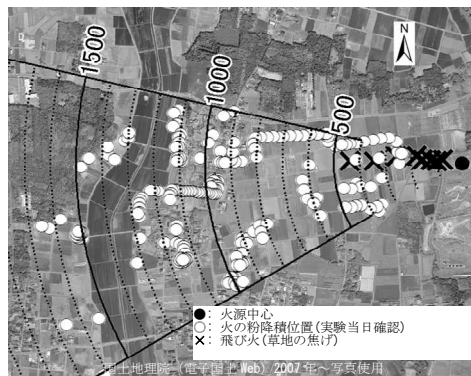


図 2.7.6-1 火の粉の飛散、降積範囲

実験直後の周辺踏査で、火源から 700m ほどの範囲で大量の火の粉が降積していることを確認した。火の粉がほぼ均一に降積する範囲を一つの区画とし、図 2.7.6-2 に示すように、このような区画を 83 箇所設定して区画ごとに火の粉を収集した。

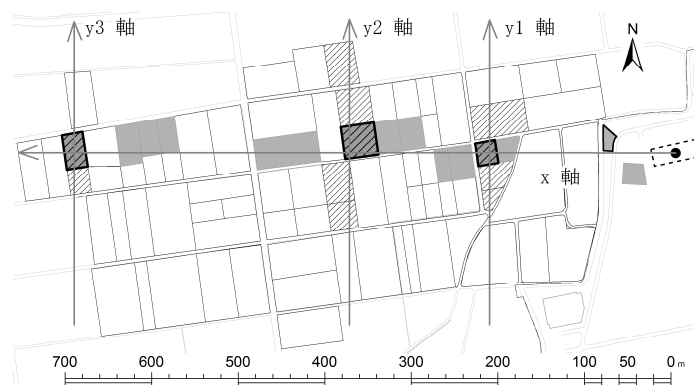


図 2.7.6-2 火の粉を収集した区画

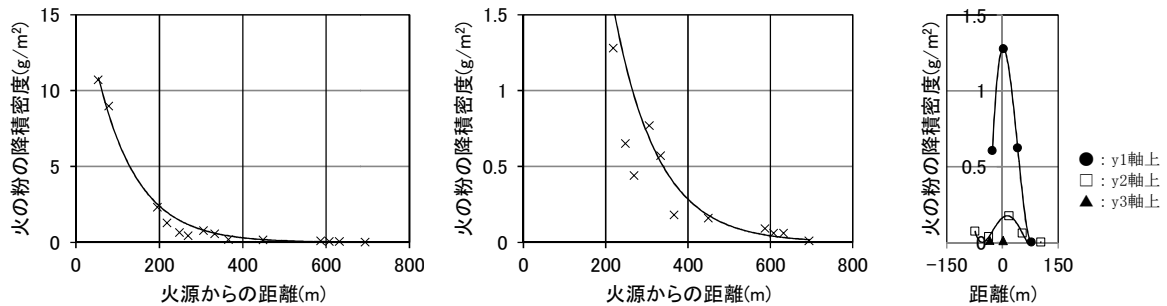
区画の中には畑地もあり、数 mm 以下の火の粉の降積を確認するのは困難であった。おおよそ 5mm 以上の火の粉を対象に収集した。収集した火の粉は、混入した小石や泥などを除くため、開き目 5mm のふるいにかけた。残ったものを質量の変化がなくなるまで乾燥機内で十分に乾燥させ (104°C12 時間乾燥させ)、総質量を測定した。計量には、秤量 33kg、最小表示 0.1g の台はかりを使用した。区画内で収集した火の粉の総質量を区画面積で除して火の粉の降積密度を算出した。降積密度の代表点は区画中心とすべきであるが、x 軸 (東→西方向、卓越風向) にほぼ沿う区画 (図 2.7.6-2 のグレーの区画) では、代表点を x 軸上に移す。座標値は、軸原点 (木 3 学中心) から区画中心までの直線距離とする。x 軸と直交する y1, y2, y3 軸 (南→北方向) においても、それらが交わる区画 (図 2.7.6-3 の斜線の区画) の降積密度の値を各軸上に移す。座標値は、y1~y3 各軸と x 軸の交点を原点とし、原点と区画中心までの直線距離とする。対象とした区画の平均面積は 1,194m² である。

図 2.7.6-3 に x 軸、y1~y3 軸上の火の粉の降積密度を示す。x 軸上の降積密度は、原点から 200~300m 付近までは急激に、その後は緩やかに減少する (図 2.7.6-3(1)、(2))。減少傾向はおおよそ指数分布曲線で表すことができる。実験中、数箇所飛び火 (草地の焦げ) が見られた (図 2.7.6-1)。最遠の 450m 付近の降積密度は 0.15~0.2g/m² 程度である (図 2.7.6-3(2))。y1~y3 軸上では、原点付近をピークとする山形の分布を示す (図 2.7.6-3(3))。原点付近を外れると急激に減少する。その傾向は火源に近いほど顕著である。

図 2.7.6-2 に示す x 軸と交わる 79m 地点の区画で収集した火の粉の中から無作為に 576 個を抽出し、それぞれの投影面積と質量を測定した。218、366、690m の区画で収集した火の粉についても同様の作業を行った。それぞれの抽出数は 385、384、112 個である。対象にした 4 区画を図 2.7.6-2 に太枠で示す。各区画において、抽出した火の粉の総質量は、区画内で収集した火の粉の総質量の約 20%、約 28%、約 35%、100% である。区画面積は、順に 308、621、1469、739m² である。

火の粉の投影面積の測定は、火の粉が安定するように机の上に置き、図 2.7.6-4 に示すとおり三脚

で固定したデジタルカメラで真上から撮影し、画像を XnView（フリーウェア）でモノクロ二値化し、GIMP2（フリーウェア）でノイズ除去を行った。その後、ピクセルカウンター（フリーウェア）で画素数を調べ、面積が既知の図形の画素数を基準に面積を算出した。質量測定は、火の粉を乾燥機内で十分に乾燥させ（104°Cで12時間乾燥させ）、秤量1200g、最小表示0.001gの電子天秤を用いて行った。



(1)x 軸上（縦軸最大値：15） (2)x 軸上（縦軸最大値：1.5） (3)y1, y2, y3 軸上

図 2.7.6-3 火の粉の降積密度

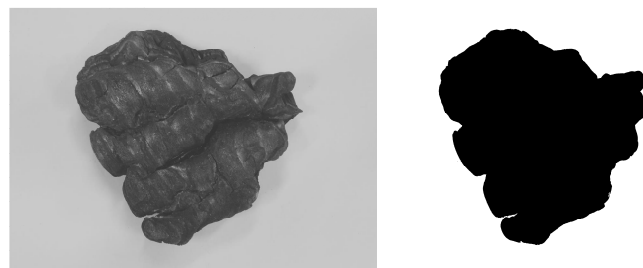


図 2.7.6-4 火の粉の画像の二値化

火の粉の投影面積と質量を図 2.7.6-5 に散布図で示す。いずれの区画でもプロットの分布範囲は右上がりであり、投影面積と質量は相関する。分布範囲は火源に近いほど広く、火の粉の最大投影面積または最大質量は飛距離と負に相関することが読み取れる。図中に最小二乗法による原点を通る近似直線を示す。近似直線の傾き（火の粉の投影面積あたりの質量）は飛距離と負に相関している。概して、質量も投影面積も飛距離に伴って小さくなるが、質量の減少の方が大きい。79m、218m の区画では、質量値は近似直線を挟んで上下にばらつきを見せる（図 2.7.6-5(1)、(2)）。火の粉の質量の違いは火の粉の厚さ、密度の違いに起因する。比較的火源に近い区画ほど、火の粉の形状、燃焼状態の違いは大きくなる。

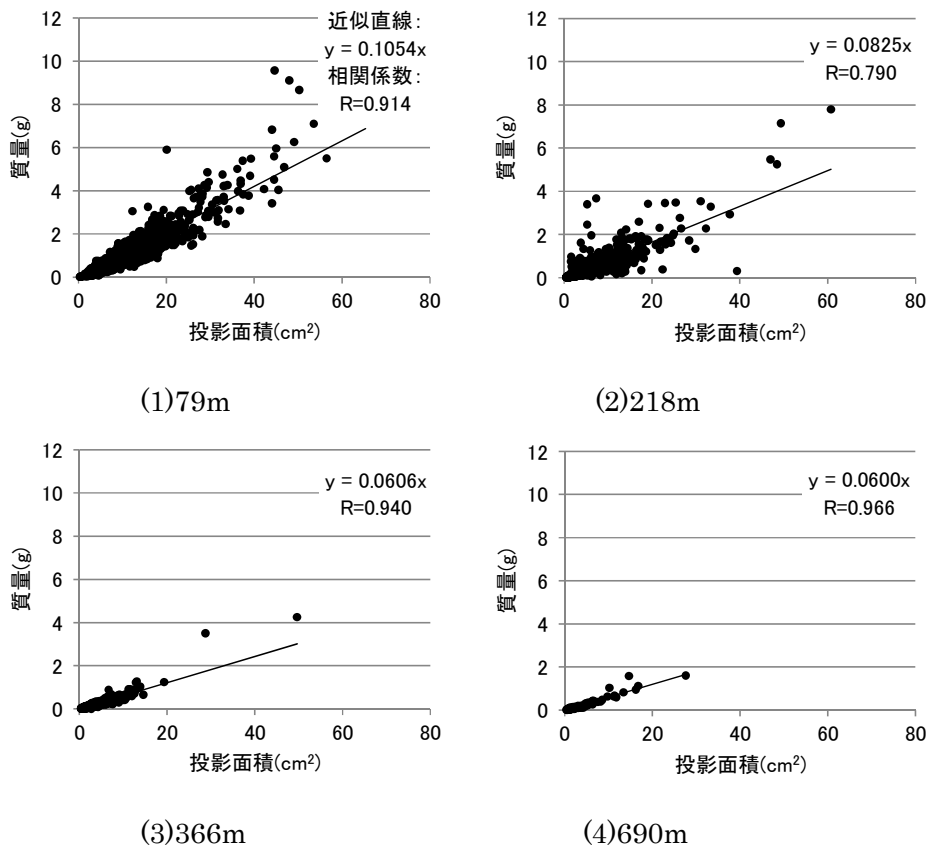
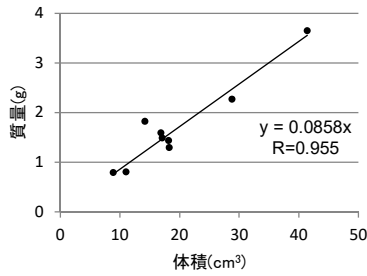


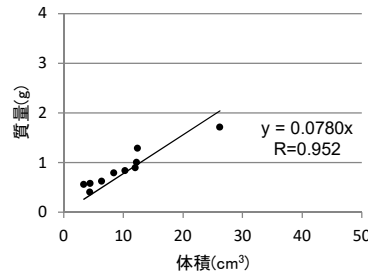
図 2.7.6-5 火の粉の投影面積と質量

火の粉の密度を把握するため、体積の測定を行った。火の粉の体積を砂で置き換える方法を用いた。珪砂（粒度：0.15～0.85mm、中心粒度：0.43mm）を用い、火の粉の体積に相当する乾燥珪砂の質量（ガラス容器に乾燥珪砂だけを満たした状態の質量－火の粉と乾燥珪砂を満たした状態の質量＋火の粉の質量）を測定し、乾燥珪砂の密度から算出した。乾燥珪砂の容器への注入は、堆積の締め固まり具合が毎回同じになるように時間をかけて慎重に行った。測定の精度を確保するには、ある程度の体積を有する火の粉を対象とする必要がある。5cm 以上の大きさの火の粉は火源近くを離れると数が少なかったため、3～5cm の火の粉について測定を行うことにした。サンプル数は、9 個（79m の区画）、10 個（218、366m の区画）である。明らかに合板に由来する火の粉は除いた。

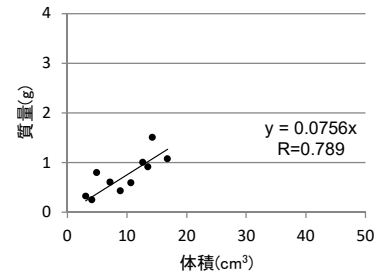
体積と乾燥質量の関係を図 2.7.6-6 に示す。図中に最小二乗法による原点を通る近似直線を示す。傾きは密度を表す。密度は、0.086g/cm³（79m 区画）、0.078g/cm³（218m 区画）、0.076g/cm³（366m 区画）と変化する。



(1) 79m



(2) 218m



(3) 366m

図 2.7.6-6 火の粉の体積と質量

(2) まとめ

炎上に伴い大量に発生し、風に乗って広範囲に飛散、降積した火の粉を燃え尽き状態ではあるが悉皆的に収集し、測定を行い、火の粉に関わる新たな知見を示した。

- ①大量の火の粉が発生したのは、建物の3層が同時に炎上し、屋根が燃え抜けた時である。
- ②ほぼ一定の風向、風速（東北東～東、平均風速は4.6m/s）のもとで、火の粉の飛散、降積範囲は火源を中心とする扇形で近似できた。中心角は約44度である。最長飛散距離は1,655mであった。
- ③火の粉の降積密度は、火源から54～79m付近では10g/m²程度、218m付近では1～1.5g/m²程度、366～449m付近では0.15～0.2g/m²程度、694m付近では0.01g/m²程度であった。指数関数的に減少している。0.15～0.2g/m²以上の範囲で飛び火（草地の焦げ）が起きた。
- ④火の粉の投影面積と質量を個別測定した。概して、質量も投影面積も飛距離に伴って小さくなるが、質量の減少の方が大きく、火の粉の投影面積あたりの質量は飛距離とともに小さくなる。
- ⑤3～5cm程度の大きさの火の粉の体積を、珪砂で置き換えることにより測定した。質量の測定結果と併せ、火の粉の密度を明らかにした。火の粉の密度は、0.086g/cm³（火源から79m付近）、0.078g/cm³（218m付近）、0.076g/cm³（366m付近）であった。

2. 7. 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の危険性を把握するために、実験建物の主要構造部の焼損状況を調べた。予備実験においては、最終的に建物が倒壊しており、それに至る過程での構造要素の焼失がどの段階で生じているかを把握する。

点火から 150 分後に消火を開始するまでの主な出来事を表 2.7.7-1 に一覧する。表 2.7.7-1 に示すように、出火源となる職員室からの噴出火炎により 2、3 階へと延焼していったため、まず軸組工法①部分（防火壁より西側）が 1～3 階に燃え広がり、それから枠組壁工法部分、軸組工法②部分（防火壁より東側）という順で燃え広がった。以下に、それぞれの構造要素の損傷の様子を述べる。

表 2.7.7-1 火災の進展と主要構造の損傷

経過 (分)	軸組工法部分	枠組壁工法部分
0	職員室に点火	
2	出火室フラッシュオーバー	
6	2 階着火	
8	3 階着火	
11		1 階廊下に着火
13		2 階廊下に着火
17	防火壁東側着火	
22		教室に延焼
27	防火壁東側フラッシュオーバー	
76	防火壁西側軸組倒壊	
84		北側一部フレーム倒壊
95		全体倒壊
96	防火壁倒壊	
122	防火壁東側倒壊	
150	消火開始	

(1) 各部の焼損状況

1) 軸組構法部分

軸組構法①部分では、約 25 分から外周の腰壁が燃え落ちはじめ、45 分頃にはほぼ全ての腰壁が焼失した。梁間方向の耐力壁は、火炎のため正確な状況は把握できていないが、写真 2.7.7-1 から 30 分で、出火室周辺の耐力壁面材が燃え落ちていることが確認でき、写真 2.7.7-2 から 140 分にはトイレ西側の耐力壁を除き、軸組だけの状態となった。トイレ西側の耐力壁は比較的遅くまで燃え残っていたが、65 分ぐらいまでに 1～3 階までのすべての面材が燃え落ちた。その頃には、写真 2.7.7-3 に示すとおり軸組構法①部分では、壁がほぼ消失しており、76 分でこの部分が倒壊に至った（写真 2.7.7-4）。

軸組構法②部分では、40 分頃から外周の腰壁が焼失しはじめ、65 分にはほぼ全て焼失した。その後 96 分に防火壁が倒壊して西側の壁は全く無くなってしまったが、写真 2.7.7-5 のとおり東側妻面 2～3 階の脇の壁は 122 分に倒壊するまで残存していた。



写真 2.7.7-1 南面における 30 分の様子



写真 2.7.7-2 トイレ部分両側の壁



写真 2.7.7-3 北東面における 65 分の様子



写真 2.7.7-4 軸組構法①部分倒壊の様子 (76 分)



写真 2.7.7-5 軸組構法②部分倒壊の様子 (123 分)

2) 枠組壁工法部分

枠組壁工法部分では、40分を経過したあたりで小屋が激しく燃え、写真2.7.7-6が示すとおり屋根から火炎が噴出する様子が確認でき、55分ぐらいから床のトラスが燃え落ちる様子が確認された。またこの頃から腰壁が焼失しはじめ、85分では1階西側を除きほとんどの腰壁が焼失した。耐力壁はやはり火炎のため正確な状況はわからないが、60分では、かなり燃え落ちているところも見られ、80分にはほとんどの壁、床、屋根が焼失し、写真2.7.7-7のとおりラーメン架構のみとなった。その後、84分に北側のラーメン架構の一部が倒壊し、95分にほとんどの架構が倒壊した(写真2.7.7-8)。



写真 2.7.7-6 屋根の燃え抜け

写真 2.7.7-7 枠組壁工法部分壁、床、屋根の消失



写真 2.7.7-8 枠組壁工法部分ラーメン架構の倒壊

(2) 消火後の状況

予備実験においては、建物が全て倒壊するまで実験を行ったため、各部材の位置が不明確になり、また消火活動後も倒壊した瓦礫の中で残火が燃焼し続けたところもあり、写真2.7.7-9～11のように正確な残存断面の把握は困難であった。しかし、柱脚部などは基礎の鉄骨に固定されていたため、残存状況などを測定することができた。

消火後に確認したところ、写真2.7.7-12～14のように柱脚接合部パネルゾーン上側の境界部分で曲げ破壊により折損しているケースが多く見られた。また倒壊した方向に鋼板が大きく変形している様子も確認された(写真2.7.7-10)。脚部の鋼板は厚さ9mmと薄く、ベースプレートへの溶接により立ち上がっているだけであるため、高温で軟化していた状況でラーメン架構がバランスを崩した際に、容易に変形したと考えられる。また、柱の折損した断面を見ると(写真2.7.7-11)、接合部の要素実験同様、ドリフトピンや鋼板により燃焼が促進された様子は見られなかった。



写真 2.7.7-9 消火直後の実験建物の様子



写真 2.7.7-10 残存した柱脚部の様子



写真 2.7.7-11 残存した断面の測定



写真 2.7.7-12 脚部での曲げ破壊



写真 2.7.7-13 変形した柱脚鋼板



写真 2.7.7-14 柱の曲げ破壊部分断面

(3) 区画性能

先述したように、開口部からの噴出火炎により上階や隣室に延焼してしまったため、床構面による水平区画や階段部分の堅穴区画がどの程度の燃え抜け防止性能を有していたかは確認できなかった。防火壁においても、防火戸の閉鎖機能が十分に働かず、また変形による防火戸の納まり部の隙間等から火炎が侵入し、建物区画を超えて延焼してしまった。しかし防火壁自体は、写真 2.7.7-15 からわかるとおり倒壊するまで燃え抜けた形跡はなく、防火性能を有していたと考えられる。



写真 2.7.7-15 倒壊前の防火壁

2. 8 考察

2012年2月22日、国土技術政策総合研究所敷地において木3学の予備実験を実施し、得られたデータから以下の事項が確認できた。

2. 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、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、点火後約2分50秒（以降、点火後の時間を示す。）で開口から火炎が噴出し、約5分20秒で室内全体に延焼拡大した。

出火階から2階へは約3分30秒で上階延焼が外部開口を通じて起き、3階へは約6分20秒で2階と同様に上階延焼が外部開口を通じて起きた。

出火階では、出火室から西端にある1階図書コーナーへ約21分30秒で延焼した。

防火壁を通じた延焼が1階で約18分に起きた。

階段室への延焼は、廊下および外壁開口部からの延焼と考えられ、32分には3階に火炎が見られ、32～36分にかけて火炎が大きく噴き出した。

以上の結果から、出火室内での火災の拡大が早く、その後、上階へ外壁開口部を通じた延焼が早期に起きていることから避難および救護の観点からの対策と、防火壁を越えた延焼防止の観点からの対策が必要である。

避難および救護の観点からの対策としては、

- ・内装制限、あるいは、スプリンクラー等の設備による火災室内の火災拡大の抑制
- ・庇、バルコニー、あるいは、防火設備による外壁開口部を通じた早期における上階への延焼防止
- ・隣接区画の屋外開口部の噴出熱気流の火熱の影響を抑制するため、外壁を突出させるか、外壁を設けることによる階段室への延焼防止

が考えられる。

防火壁を越えた延焼防止の観点からの対策としては、

- ・防火壁の屋内開口部に設けた防火戸が、火災により生じる圧力によって開放しないようラッチの設置
- ・防火壁の屋内開口部に設けた防火戸が、一般的にRC等の学校に用いられている鋼製扉であり、木造の躯体および下地との取り付け部分が弱点とならないような仕様とすること
- ・また、屋内の延焼防止と併せて、防火壁の外壁からの出寸法を増加して屋外側の延焼を防止すること

が必要と考えられる。

これらの個々の対策の効果については、予備実験に用いた実験建物の部分的な建物を用いた火災実験を実施すれば確認できるが、これらの対策が1つで十分効果が得られるのか、あるいは、組み合わせる必要があるのかについては、最終的に実大規模の実験建物を用いて確認する必

要がある。

2. 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 2 分 40 秒で、床まで煙層が降下した。

出火階の廊下における煙層は、出火室直前の廊下で 5 分 38 秒に床まで降下し、廊下を介した建物の西側にある図書室では 6 分 23 秒で高さ 2 m まで降下した。

廊下につながる防火壁に設けた防火戸が、1 分 30 秒から少し開き、最大 20cm 程度の間隙から大量の煙が非出火室側の室内に流入した。その後、防火戸は閉まったが、非出火室側の室内の煙は徐々に濃くなり、15 分で、外壁開口部を通じて 3 階防火戸の非火災側の上端の間隙から火炎が確認できた。これは、出火室内の火災初期の圧力上昇によってラッチのない防火戸が開いたと考えられ、出火室の外壁の開口部ガラスの破損により圧力が開放されて閉鎖したと考えられる。

廊下につながる階段室に設けた防火戸も、1 分 40 秒から開き始め、最大で 30cm 程度開いたが、2 分 45 秒に閉鎖した。理由は、防火壁の防火戸と同様である。

16 分 40 秒で、防火壁を越えた煙が防火壁東側の建物部分に侵入し、建物東面の外壁開口部ガラスが割れて白煙が流出し始めた。点火後 20 分に白煙の流出が最大となり、1 階ガラスが割れ、26 分 40 秒で火炎が噴出し、上階へと延焼した。防火壁を越えて煙が伝播した経路については、室内は、防火壁の開口部に設けた防火戸を通じて伝播した、または延焼したことにより発煙したと考えられる。

出火室直上の教室の一部で、2 階に延焼する前に室内に煙が侵入したことが確認できたが、直後に外壁開口部を通じて延焼したために、階段室等の堅穴を経由した煙拡大に関しては明らかでない。

以上の結果から、2. 8. 1 と同様に、出火室内および出火階での煙の拡大が早く、その後、上階へ外壁開口部を通じた延焼が早期に起きていることから、階段室等への煙流入を防止することが必要であり、避難および救護の観点から、2. 8. 1 と同様な対策と防火壁を越えた延焼防止の観点からの対策が必要である。

2. 8. 3 建物周囲への火災による影響

周囲への放射熱量、火の粉の飛散状況、屋根や外壁の燃え抜けの発生プロセスについて、以下の知見が得られた。

建物 3 層が同時に燃焼し、開口部から大規模な噴出火炎が発生する時間では、平均風速 4.6m/s の外気条件では、建物から 14m 離れた位置においても、30 秒間の平均で約 70 kW/m² の熱流束、2 分間の平均でも 50 kW/m² 以上の熱流束を受けた。

火の粉は、建物が 3 層同時に炎上し、屋根が燃え抜けた時点で大量に発生し、ほぼ一定の気象

条件のもとでは、火源を中心とし風下方向に扇形に飛散した。最長飛散距離は 1,655m であった。火の粉は、火源付近では 10g/m² 程度、200m 付近で 1~1.5g/m² 程度、400m 付近で 0.15~0.2g/m² 程度、700m 付近では 0.01g/m² 程度で、指数的に減少した。0.15~0.2g/m² 以上の範囲で飛び火（草地の焦げ）が起きたことから、広範囲に飛び火出火の危険がある。

屋根の燃え抜けは、30 分以降に火炎が屋根葺き材の金属板の隙間から噴出し始め、その後次第に金属板がめくりあがり火炎の噴出が増した。外壁については、南側外壁の 2、3 階のスパンドレル部分で、22 分の段階で屋外側の一部のサイディング材が落下し始め、27 分の時点で一部が燃え抜け、以降次第に燃え抜けた範囲が増した。

以上の結果から、周囲に対しては、強い放射熱が生じる可能性があり、消防活動により建物に有効に消火するためには、早期に消火活動を開始して、3 層同時燃焼が発生しないような対策（延焼遅延等）が必要である。

また、外壁については、耐火炉による加熱試験では 1 時間の準耐火性能が確認されていることから、開口部の間柱やサッシの取り合い部分の仕様について、防火上支障がないようにする必要がある。

2. 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。

軸組工法部分（防火壁より非出火室側を除く）の一部の梁が点火後 40 分過ぎに落下し、50 分頃にはほぼ軸組みだけが残る状態となり、約 72 分で、出火室のある軸組工法部分（防火壁より非出火室側を除く）が倒壊した。

枠組工法部分は 60 分頃から床が燃抜けて落下し、ほぼ集成材のフレームだけが残る形となり、84 分に北側のフレームが、95 分後には残り全体が倒壊した。

約 96 分に防火壁が倒壊し、約 122 分で防火壁より非出火室側にある軸組工法部分が倒壊した。

防火壁は、点火前の状態で、自立はするものの構造計算されたものではなかったため、火災による防火壁の片側の建物の倒壊の後に倒壊した。そのため、防火壁に接する建物とは構造的に独立し、自立する構造とする必要がある。

2. 8. 5 安全管理上の課題と対策

実験実施後、安全管理上、以下の課題が明らかとなった。

（1）安全管理上の課題

1) 飛び火の発生

実験敷地周辺（最長 1.5~2km の範囲）で飛び火が発生した。

2) 放射熱による着火および消火活動への影響

木3学全体が同時に燃焼すると、放射熱による周囲の可燃物へ着火し、放射熱により燃焼建物に近づくことが容易でなく、有効な注水が難しいといった消火活動への支障が明らかとなった。

(2) 課題への対策

今後実大火災実験を実施する上で、予備実験の結果から得られた課題への対策は以下のとおりである。

- ①飛び火を防止するために、火の粉の飛散防止あるいは抑制、周辺への事前散水や実験中の飛び火警戒および早期の消火のための警戒・人員配置を行う必要がある。
- ②消火用水を十分確保し、事前警戒、消火中、残火処理の際に放水が継続できるようにする必要がある。
- ③放射熱により燃焼建物に近づくことが容易でないことが想定できることに対しては、放水銃等の放水距離が長い機材を装備する必要がある。
- ④盛期火災時に、緊急に消火する必要がある場合に備え、消火機材を整備する必要がある。

これら前提として安全管理体制を見直し、今後の実大火災実験のに向けた体制の構築が必要である。

2. 9 まとめ

2012年2月22日、国土技術政策総合研究所敷地において木3学の予備実験を実施し、以下の知見が得られた。

- (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
 - ・ 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
- (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
 - ・ 火の粉の飛散状況
 - ・ 屋根や外壁の燃え抜けの発生プロセス
- (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プロセス

また、木3学の防火基準策定上、予備実験の結果から、以下の課題が明らかとなった。

- ・ 1階出火室から外部開口を通じた早期の上階延焼（2階へは点火後約4分、3階へは点火後約6分）
 - ・ 防火壁を通じた早期の延焼（1階で点火後約18分）
 - ・ 防火壁が自立できずに倒壊（点火後96分）
- これらの課題の対策を検討し、その有効性を確認する必要がある。