

ISSN 1346-7328
国総研資料 第970号
ISSN 0286-4630
建築研究資料 第186号
令和3年5月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management
No.970 May 2021

建築研究資料

Building Research Data
No.186 May 2021

木造3階建て学校の火災安全

～実大火災実験～

成瀬友宏・鍵屋浩司・鈴木淳一・水上点晴・林吉彦・萩原一郎・
仁井大策・長谷見雄二・安井昇・加藤詞史・稲垣淳哉・加來千紘・堀英祐・
板垣直行・石山智・泉潤一・小松弘昭・関真理子・蛇石貴宏・加来照彦・樋口祥一

Fire safety of 3-storey wooden school building
-Full-scale fire tests-

Tomohiro Naruse, Koji Kagiya, Jun-ichi Suzuki, Tensei Mizukami, Yoshihiko Hayashi,
Ichiro Hagiwara, Daisaku Nii, Yuji Hasemi, Noboru Yasui, Kotofumi Kato, Junya Inagaki,
Chihiro Kaku, Eisuke Hori, Naoyuki Itagaki, Satoru Ishiyama, Jun-ichi Izumi, Hiroaki Komatsu,
Mariko Seki, Takahiro Hebiishi, Teruhiko Kaku, Shoichi Higuchi

令和3年5月

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国立研究開発法人 建築研究所

Building Research Institute
National Research and Development Agency, Japan

はじめに

近年、木造建築は、木造そのものへの嗜好の高まりのほか、森林資源・林業の健全化、低炭素化等、様々な関心から注目されるようになった。平成22年10月には「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行され、国土交通省では、その対応として、木造3階建て学校建築(以下、「木3学」)や延べ面積3,000㎡を超える建築物の火災時の安全性に関する基準を整備する方針が表明された。

平成22年度から平成25年度に実施された研究の成果をもとに、平成26年6月4日に改正建築基準法が公布され、平成27年6月1日より施行された。

従来の建築基準法では、防火上、学校建築を3階建てとする場合は、耐火建築物としなければならない。また、延床面積3,000㎡を超える規模の建築物も主要構造部を耐火構造とする必要があった。この改正では、学校において現に取られている防災対策の考え方と一般的な消防体制のもとで、これらの規制の背後にある火災危険を低減するための方策を明確にするよう検討が行われ、木材の利用を促進するという観点からは、3階建て学校に要求される避難安全性能を満たすよう一定の防火措置を講ずることにより、3階建て学校を耐火構造に次ぐ耐火性能を有し、木材の利用範囲の広い準耐火構造による建設が可能になった。また、延べ面積3,000㎡を超える建築物では、「壁等」によって延べ面積3,000㎡以内に有効に区画できれば、延床面積3,000㎡を超える規模の建築物の主要構造部を木造とすることが可能となった。

本資料は、この改正における技術的根拠となった一連の研究成果のうちで、実大火災実験についての成果をとりまとめたものであり、3回実施した実大火災実験それぞれについて、実験計画(目的)、実験建物の計画、実験場および建物配置、実験条件、測定項目および測定方法、安全管理、測定結果、考察、まとめを記載した。

なお、本研究は、国立研究開発法人建築研究所、国土交通省国土技術政策総合研究所、国土交通省建築基準整備促進事業「木造3階建て学校の防火基準整備のための火災実験計画に関する調査」(平成22年度)および国土交通省補助事業「木造建築基準の高度化推進に対する検討を行う者に対する補助事業」(平成23～25年度)の事業主体(学校法人早稲田大学(代表者)、公立大学法人秋田県立大学、三井ホーム株式会社、住友林業株式会社、株式会社現代計画研究所)の共同研究により検討を実施した成果をとりまとめたものであり、調査、部材や室規模の実験等についての成果は別にとりまとめ報告する。

最後に、一連の実験の実施にあたり、ご指導、ご協力を戴いた関係各位に対し、厚くお礼申し上げる次第である。

令和3年5月

国土交通省国土技術政策総合研究所

副所長 安藤 恒次

国立研究開発法人 建築研究所

理事長 緑川 光正

木造 3 階建て学校の火災安全
～実大火災実験～

成瀬 友宏	*1
鍵屋 浩司	*1
鈴木 淳一	*2
水上 点晴	*2
林 吉彦	*3
萩原 一郎	*4
仁井 大策	*5
長谷見 雄二	*6
安井 昇	*6
加藤 詞史	*6
稲垣 淳哉	*6
加來 千紘	*6
堀 英祐	*7
板垣 直行	*8
石山 智	*8
泉 潤一	*9
小松 弘昭	*9
関 真理子	*10
蛇石 貴宏	*11
加来 照彦	*12
樋口 祥一	*12

Fire safety of 3-storey wooden school building

- Full-scale fire tests -

Tomohiro Naruse
Koji Kagiya
Jun-ichi Suzuki
Tensei Mizukami
Yoshihiko Hayashi
Ichiro Hagiwara
Daisaku Nii
Yuji Hasemi
Noboru Yasui
Kotofumi Kato
Junya Inagaki
Chihiro Kaku
Eisuke Hori
Naoyuki Itagaki
Satoru Ishiyama
Jun-ichi Izumi
Hiroaki Komatsu
Mariko Seki
Takahiro Hebiishi
Teruhiko Kaku
Shoichi Higuchi

概要

建築基準法では、3階建て学校のような特殊建築物は、在館者の避難安全および公設消防による検索・救助の観点から、耐火建築物とすることが要求されてきた。公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律（平成22年10月施行）では、二酸化炭素の排出削減および林業の持続的な発展のために、建築物における木材の利用を制限する基準を見直すための研究を促進することを定めている。このような背景のもとで、平成22年度から25年度にわたる4年間の研究プロジェクトが実施され、準耐火建築物に必要な措置を講ずることで、在館者の避難上および公設消防の検索・救助に支障がない耐火建築物と同等の水準が達成できるかどうかを検証するための実大火災実験を実施した。

本成果をもとに、平成26年6月4日に改正建築基準法が公布され、平成27年6月1日より施行された。

本資料では、実大火災実験により防火上の検討課題を明らかにし、その対策の有効性を確認することを主目的として以下の3回の実大火災実験を実施した結果を報告する。

1回目の実大火災実験（予備実験）は、1時間準耐火構造の主要構造部として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た実験建物を用い、教室実験で木質内装の初期火災性状を把握した上で、木3学の避難安全・延焼防止・消火活動支援の観点からの課題を検出するため、平成23年度に予備実験として位置づける実大火災実験を実施した。

2回目の実大火災実験（準備実験）は、予備実験により防火基準策定に向けた課題を抽出し、再び部材、教室規模実験により技術的な検討を進めて、平成24年度にその効果を検証するために実施した。

3回目の実大火災実験（本実験）は、これらの結果に基づいて防火基準案を検討し、その妥当性を確認するために平成25年度に実施した。

これらの3回の実大火災実験の結果から、火災初期における外壁開口部を通じた早期の上階延焼防止および防火壁による延焼防止に関する防火基準案の妥当性が確認された。

キーワード : 3階建て学校、大規模木造、実大火災実験

Synopsis

In the Building standard law of Japan, a special building, such as a 3-storey school building, was required to be fire-resistive from the viewpoint of safe egress of the occupants, as well as search and rescue by the fire brigades. The promotion of the use of wood in public buildings (enacted October 2010), requires the promotion of research to review building regulations which may have been limiting

the use of wood in buildings, because of the need to reduce carbonation and to encourage sustainable forest management. With this background, a research project was undertaken from the fiscal year 2010 to 2013. Full-scale fire tests were conducted to assess whether a quasi-fire-resistive wooden building with supplemental fire safety measures if necessary, is able to reach the equivalent level of a fire-resistive building, to facilitate safe occupant egress, and fire brigade search and rescue.

Based on these results, the Building standard law of Japan was revised and enacted June 1 2015.

In this research data, the results of following 3 full-scale fire tests were reported, which were conducted to find and understand important fire phenomena not reproducible by laboratory tests and to verify the effectiveness of fire safety measures for the solution of fire risks.

The first test (preliminary test) was conducted in the fiscal year 2011 to clarify fire risk and significant fire phenomena not known or understood in fire research field. The test building was designed according to the Building standard law of Japan on school buildings without any special fire safety measures except for the use of 1 hour quasi-fireproof construction for load bearing and fire separation parts, which are suitable for schools and fire performance was evaluated by furnace tests. Wood interior linings were used in full-scale fire test building, and also they were tested in class room scale fire tests to measure fire spread in the early stage of fire quantitatively.

The second fire test (preparatory test) was conducted in the fiscal year 2012 to verify the effectiveness of countermeasure against fire risks found in the first test to make building standard. Also furnace tests for building parts and class room scale fire test for interior linings were conducted for safety egress.

The last test (final test) was conducted in the fiscal year 2013 to validate the draft fire safety standard for 3-storey wooden school building.

As the result of three full-scale fire tests, the validity of the draft standard to prevent fire spread to the upper floor through the external opening in the early stage of fire and to prevent fire spread by fire wall was confirmed.

Key Words : 3-Story School Building, Large-Scale Wooden Structure, Full-Scale Fire Test

*1	国立研究開発法人 建築研究所	Building Research Institute
*2	国土交通省 国土技術政策総合研究所	National Institute for Land, Infrastructure and Management
*3	元 国立研究開発法人 建築研究所	Former Building Research Institute
*4	東京理科大学 (元 国立研究開発法人 建築研究所)	Tokyo University of Science (Former Building Research Institute)

*5	京都大学 (元 国立研究開発法人 建築研究所)	Kyoto University (Former Building Research Institute)
*6	早稲田大学	Waseda University
*7	近畿大学 (元 早稲田大学)	Kindai University (Former Waseda University)
*8	秋田県立大学	Akita Prefectural University
*9	三井ホーム株式会社	Mitsui Home Co., Ltd
*10	住友林業株式会社	Sumitomo Forestry Co., Ltd.
*11	株式会社竹中工務店 (元 住友林業株式会社)	Takenaka Corporation (Former Sumitomo Forestry Co.,Ltd.)
*12	株式会社現代計画研究所	Gendaikeikaku Kenkyujo Architects and Associates

目 次

1.	実験の概要.....	1
2.	予備実験.....	4
2. 1	実験計画（目的）.....	4
2. 2	実験建物の計画.....	5
2. 2. 1	平面計画.....	5
2. 2. 2	断面計画.....	8
2. 2. 3	構造計画.....	8
2. 2. 4	各部の設計.....	8
2. 2. 5	各部位の要求耐火時間.....	11
2. 2. 6	建物外周部の延焼・類焼防止性能.....	12
2. 2. 7	内装の燃焼拡大防止性能.....	12
2. 2. 8	実験建物の防耐火設計.....	12
2. 3	実験場および建物配置.....	15
2. 3. 1	実験場.....	15
2. 3. 2	建物配置.....	15
2. 4	実験条件.....	17
2. 4. 1	収納可燃物.....	17
2. 4. 2	開口条件.....	20
2. 4. 3	点火源および点火方法.....	20
2. 4. 4	実験継続時間の設定.....	21
2. 5	測定項目および測定方法.....	22
2. 5. 1	気象.....	22
2. 5. 2	目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像.....	24
2. 5. 3	温度.....	26
2. 5. 4	熱流束.....	34
2. 5. 5	感知器、スプリンクラーヘッド.....	36
2. 5. 6	火の粉.....	37
2. 5. 7	主要構造部および区画の焼毀状況.....	37
2. 5. 8	計測体制.....	37
2. 6	安全管理.....	38
2. 6. 1	安全管理の目的と対象となる火災の概要.....	38
2. 6. 2	安全管理の枠組.....	39
2. 6. 3	実験の実施・中止の判断.....	44
2. 6. 4	安全管理の実施.....	44
2. 7	測定結果.....	45
2. 7. 1	気象.....	45

2. 7. 2	目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像.....	46
2. 7. 3	温度.....	53
2. 7. 4	熱流束.....	85
2. 7. 5	感知器、スプリンクラーヘッド.....	92
2. 7. 6	火の粉.....	94
2. 7. 7	主要構造部および区画の焼毀状況.....	99
2. 8	考察.....	104
2. 8. 1	建物内部の火災の拡大性状.....	104
2. 8. 2	建物内部の煙の流動性状.....	105
2. 8. 3	建物周囲への火災による影響.....	105
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.....	106
2. 8. 5	安全管理上の課題と対策.....	106
2. 9	まとめ.....	108
3.	準備実験.....	109
3. 1	実験計画（目的）.....	109
3. 2	供試建物の計画.....	111
3. 2. 1	平面計画.....	111
3. 2. 2	断面計画.....	114
3. 2. 3	構造計画.....	114
3. 2. 4	各部の設計.....	114
3. 2. 5	各部位の要求耐火時間.....	116
3. 2. 6	建物外周部の延焼・類焼防止性能.....	117
3. 2. 7	内装の燃焼拡大防止性能.....	117
3. 2. 8	実験建物の防耐火設計.....	117
3. 3	実験場および建物配置.....	120
3. 3. 1	実験場.....	120
3. 3. 2	建物配置.....	121
3. 4	実験条件.....	123
3. 4. 1	収納可燃物.....	123
3. 4. 2	開口条件.....	125
3. 4. 3	点火源および点火方法.....	125
3. 4. 4	実験継続時間の設定.....	125
3. 5	測定項目および測定方法.....	126
3. 5. 1	気象.....	126
3. 5. 2	目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像.....	127
3. 5. 3	温度.....	129
3. 5. 4	熱流束.....	137
3. 5. 5	感知器、スプリンクラーヘッド.....	140

3. 5. 6	火の粉	141
3. 5. 7	主要構造部および区画の焼毀状況	142
3. 5. 8	建物内部の圧力	142
3. 5. 9	計測体制	143
3. 5. 10	建物消火水量	144
3. 6	安全管理	145
3. 6. 1	安全管理の目的と対象となる火災の概要	145
3. 6. 2	安全管理の枠組	146
3. 6. 3	実験の実施・中止の判断	161
3. 6. 4	安全管理の実施	163
3. 7	測定結果	164
3. 7. 1	気象	164
3. 7. 2	目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像	165
3. 7. 3	温度	174
3. 7. 4	熱流束	203
3. 7. 5	感知器、スプリンクラーヘッド	213
3. 7. 6	火の粉	215
3. 7. 7	主要構造部および区画の焼毀状況	216
3. 7. 8	圧力	242
3. 7. 9	庇・バルコニーの効果	244
3. 7. 10	建物消火水量	248
3. 8	考察	249
3. 8. 1	建物内部の火災の拡大性状	249
3. 8. 2	建物内部の煙の流動性状	249
3. 8. 3	建物周囲への火災による影響	250
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	250
3. 8. 5	安全管理上の課題と対策	250
3. 9	まとめ	251
4.	本実験	253
4. 1	実験計画（目的）	253
4. 2	実験建物の計画	255
4. 2. 1	平面計画	255
4. 2. 2	断面計画	258
4. 2. 3	構造計画	258
4. 2. 4	各部の設計	258
4. 2. 5	各部位の要求耐火時間	260
4. 2. 6	建物外周部の延焼および類焼防止性能	261

4. 2. 7	内装の燃焼拡大防止性能	261
4. 2. 8	実験建物の防耐火設計	262
4. 3	実験場および建物配置	264
4. 3. 1	実験場	264
4. 3. 2	建物配置	265
4. 4	実験条件	267
4. 4. 1	想定火災シナリオ	267
4. 4. 2	収納可燃物	270
4. 4. 3	開口条件	273
4. 4. 4	点火源および点火方法	273
4. 4. 5	実験継続時間の設定	273
4. 5	測定項目および測定方法	274
4. 5. 1	気象	274
4. 5. 2	目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像	275
4. 5. 3	温度	277
4. 5. 4	熱流束	288
4. 5. 5	感知器、スプリンクラーヘッド	291
4. 5. 6	火の粉	293
4. 5. 7	主要構造部および区画の焼毀状況	294
4. 5. 8	圧力	294
4. 5. 9	計測体制	296
4. 5. 10	建物消火水量	296
4. 6	安全管理	297
4. 6. 1	安全管理の目的と対象となる火災の概要	297
4. 6. 2	安全管理の枠組	298
4. 6. 3	実験の実施・中止の判断	315
4. 6. 4	実験立会い者	318
4. 6. 5	安全管理の実施	319
4. 7	測定結果	320
4. 7. 1	気象	320
4. 7. 2	目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像	321
4. 7. 3	温度	330
4. 7. 4	熱流束	370
4. 7. 5	感知器、スプリンクラーヘッド	380
4. 7. 6	火の粉	382
4. 7. 7	主要構造部および区画の焼毀状況	383
4. 7. 8	圧力	406
4. 7. 9	スパンドレル・そで壁の効果	408
4. 7. 10	建物消火水量	412

4. 8	考察.....	414
4. 8. 1	防火壁による延焼防止性能および倒壊防止性能の検証.....	414
4. 8. 2	天井の不燃化により在館者の避難・救助が完了するまで他の 区画への延焼防止性能・他の区画への遮煙性能・主要構造部 の倒壊防止性能の検証.....	415
4. 8. 3	建物周囲への火災による影響.....	415
4. 8. 4	長時間の火災が継続した場合の建物の構造躯体への影響.....	416
4. 8. 5	安全管理上の課題.....	416
4. 9	まとめ.....	417
5.	まとめ.....	418

参考文献

謝辞

1. 実験の概要

建築基準法では、耐火建築物や準耐火建築物の主要構造部は耐火構造や準耐火構造としたものと規定している。このように部材等のレベルで試験により防火性能を把握した主要構造部により3階建て学校を建設した場合、建物として期待する性能が達成できるかどうかは明確でない。例えば、外壁の開口部を通じた上階延焼の危険や部材の接合部など、実大規模の建物でなければ確認できない事項については実大火災実験により性状を把握する必要がある。本研究では、実大火災実験により防火上の検討課題を明らかにし、その対策の有効性を確認することを主目的として表 1.1.1 および以下に示すとおり、3回の実大火災実験を実施した。

1回目の実大火災実験（予備実験）は、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た実験建物を用いた。教室実験で木質内装の初期火災性状を把握した上で、木3学の避難安全・延焼防止・消火活動支援の観点からの課題を検出するために平成 23 年度に予備実験として位置づける実大火災実験を実施した。

2回目の実大火災実験（準備実験）は、予備実験により防火基準策定に向けた課題を抽出し、再び部材、教室規模実験により技術的な検討を進めて、平成 24 年度にその効果を検証するために実施した。

3回目の実大火災実験（本実験）は、これらの結果に基づいて防火基準案を検討し、その妥当性を確認するために平成 25 年度に実施した。その結果、防火基準案の妥当性が確認された。

以下、各実大火災実験について、実験計画、実験建物の計画、実験場および建物配置、実験条件、測定項目及び測定方法、安全管理、測定結果、考察、まとめを示す。

表 1.1.1 実大火災実験の概要

	予備実験	準備実験	本実験	
実施年月日	平成 24 年 2 月 22 日	平成 24 年 11 月 25 日	平成 25 年 10 月 20 日	
実験目的	学校の実態に即した木造 3 階建て学校の防火上の 問題点の明確化	基準化を念頭に予備 実験での問題点への 対策の有効性の確認	基準化を想定した仕様 (上階延焼・防火壁) の確認	
実験 条件	1) 建物の条件 (躯体等)			
	工法	2 種	1 種 ^{※1}	1 種 ^{※2}
	規模	上階・防火壁・水平方向への延焼が確認できる程度	上階・防火壁の延焼が確認できる規模	上階・防火壁の延焼が確認できる規模
	躯体	大断面木造・2×4	大断面木造	大断面木造
	教室	オープンプラン形式		
	2) 建物の条件 (防火対策・内装)			
	躯体耐火性	準耐火 1 時間の部材		
	上階延焼対策	無し	バルコニー・庇の設置	無し
	区画開口部	特定防火設備(鉄扉)	特定防火設備 (認定)	特定防火設備(鉄扉)
	防火壁	完全には自立せず(0.5m)	自立する(2.0m)	自立する(0.5m)
	内装	木材現し(1 階) 壁部は不燃材料、軸組は木材現し(2,3 階)	壁部は不燃材料、軸組は木材現し	軸組は木材現し、壁部は木材 (一部省略)、天井は準不燃材料
	3) 収納可燃物			
	可燃物重量	告示及び実態調査に基づく値 (単位床面積あたりの可燃物重量)		
	可燃物単位重量あたりの表面積	実態に即して防火上の危険性の明確化のため、調査の範囲で危険側の想定 ^{※3}	基準化を念頭に平均値を元に想定	基準化を念頭に平均値を元に想定 ^{※4}
	4) 他の条件			
	火源条件	火源 1	火源 2	火源 3 [シナリオ想定]
	出火室の開口	廊下側：開放 外壁側：閉鎖	廊下側：閉鎖 外壁側：閉鎖	廊下側：閉鎖 外壁側：火源側開放
	他室の開口部	カーテン：有 外壁側：閉鎖	カーテン：無 外壁側：閉鎖	カーテン無 外壁側：閉鎖
	気象条件	晴れ・北東約 5m/s	晴れ・ほぼ無風	雨・ほぼ無風
	実験結果から明確になった主な問題点	・外壁開口部を通じた早期の上階延焼 ・防火戸を通じた延焼 ・防火壁を越えた延焼	・1 階から 2 階への延焼に対し外壁開口部を通じた 3 階への延焼が早く起きた	

※1 開口部を通じた上階延焼危険は、部材が健全な時期に問題となることから、工法の違いによる影響はあまり大きくない。

- ※2 開口部を通じた上階延焼が早期に起こらなければ、部材の性能により建物の耐火性能が検討できる。
- ※3 建物の火災性状に関する実験条件としての収納可燃物は、(単位床面積あたりの可燃物重量) × (可燃物単位重量あたりの表面積) で示される。告示等では、単位床面積あたりの可燃物重量に平均値に標準偏差を加えて安全率を見込んでいる。この値に、学校の実態調査結果の範囲で危険側になる可燃物単位重量あたりの表面積を用いて条件とした。これは、単位床面積あたりの可燃物重量で安全率を見込んだ上でさらに可燃物単位重量あたりの表面積で安全率を見込むことになるが、実験目的の木造3階建て学校の防火上の問題点の明確化のためである。準備実験および本実験では、単位床面積あたりの可燃物重量で安全率を見込み、可燃物単位重量あたりの表面積では平均値をとることで、実験条件としての収納可燃物としては学校の実態の範囲がカバーできる。
- ※4 3階収納可燃物は、開口部周辺の延焼評価部分を除いて、土嚢に置換(重量は調整済み)

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
 - ・ 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
 - ・ 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。

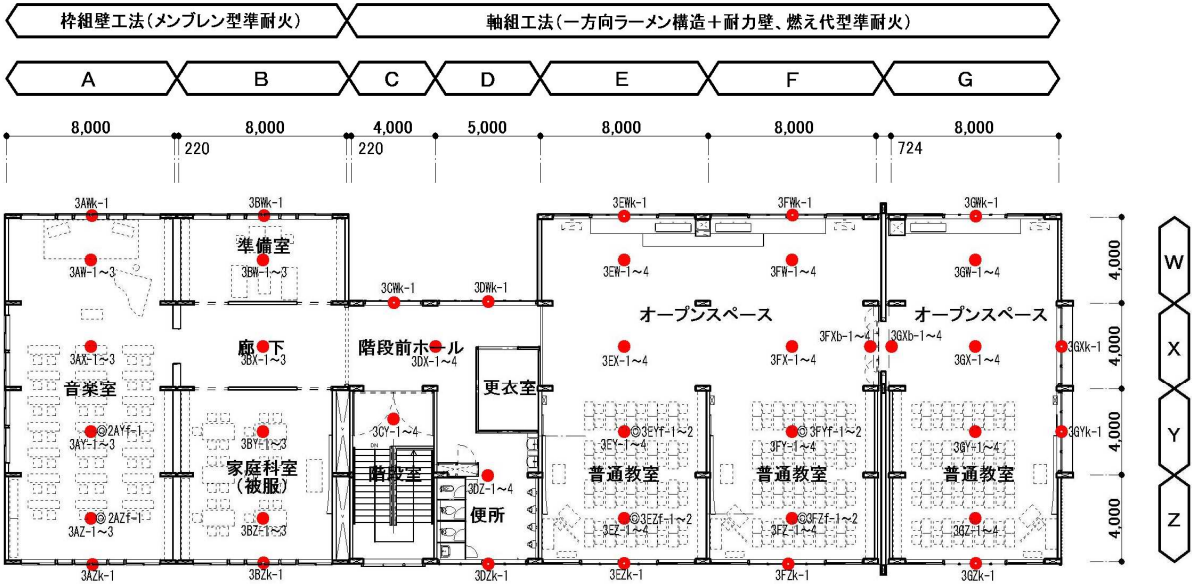
2. 2. 1 平面計画

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。

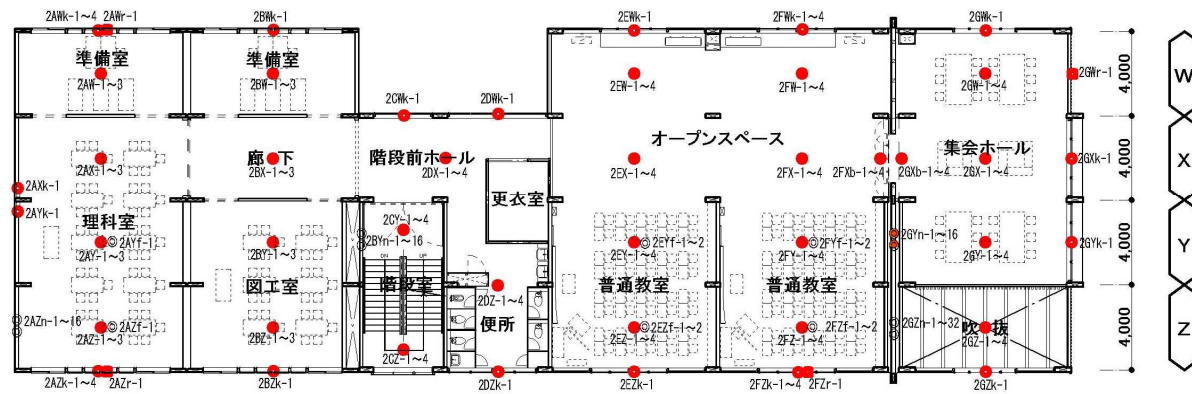
小学校は、学年ごとに3～4室の普通教室が並列される。図 2.2.1-1 に示すように、予備実験では水平方向への延焼性状を確認するため、建物東側3スパンに普通教室、西側2スパンに特別教室を再現することとし、その間に階段室、便所等を挟み込む7スパン構成による延べ面積 2,265 m²の実験建物とした。併せて、自立型木造防火壁による延焼拡大防止の有効性の確認のために、東側普通教室1～2スパン間に1時間耐火構造の木造防火壁を設けている。

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。

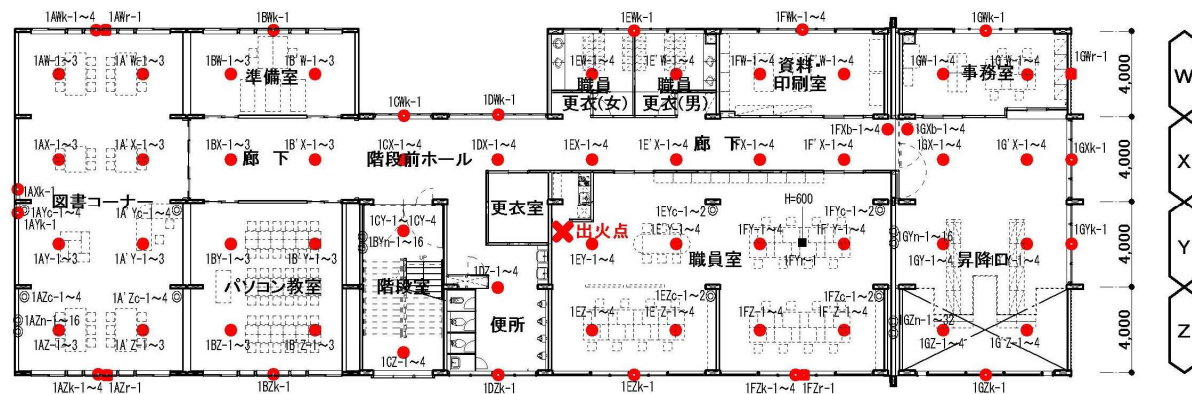
また、吹き抜けを介した火災性状についての検証を行うため、昇降口の上部に4m×8mの吹き抜けを設けた。



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)

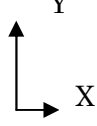


図 2.2.1-1 予備実験建物 平面図



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。

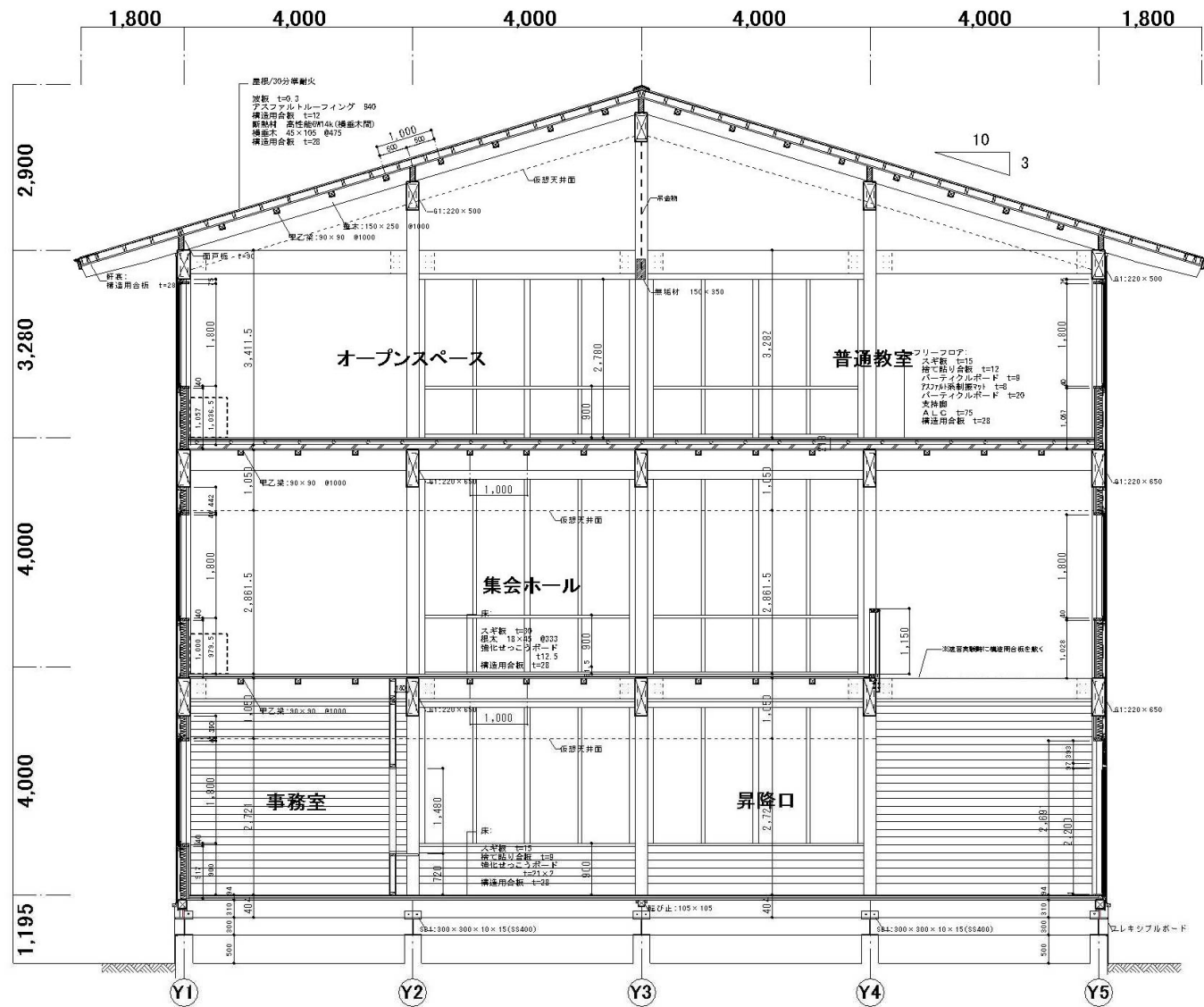


図 2.2.4-1 予備実験建物 矩形図

軸組工法部矩形図

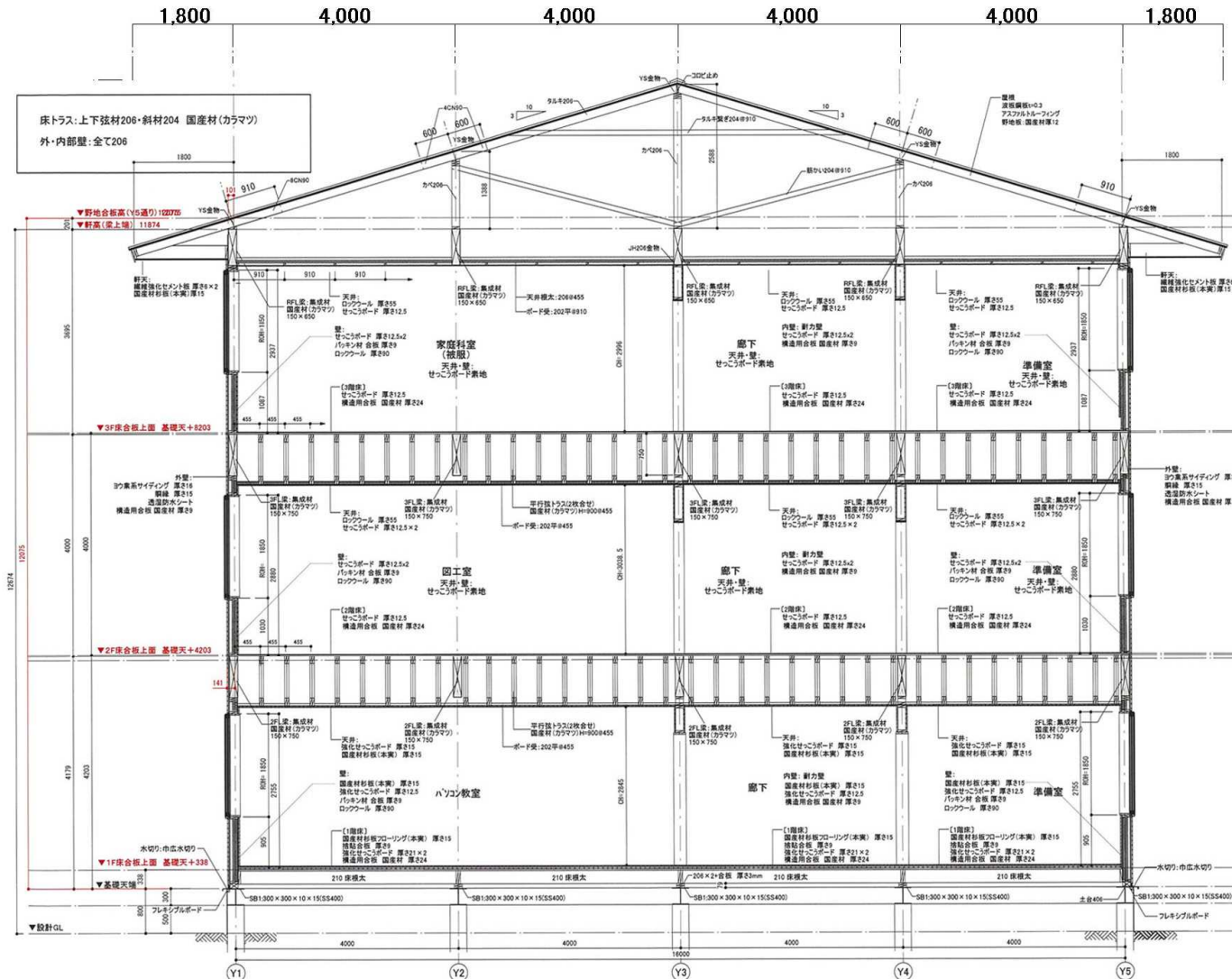


図 2.2.4-2 予備実験建物 矩形図

桎組壁工法部矩形図

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。



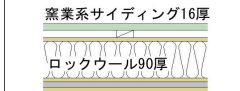

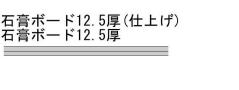
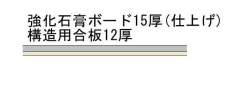
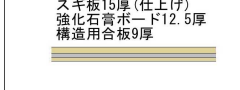
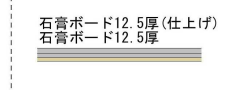
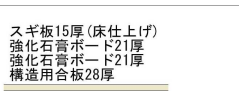
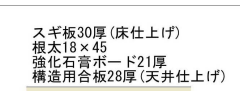
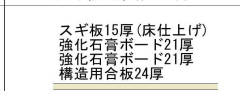
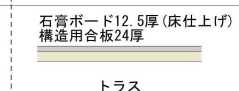


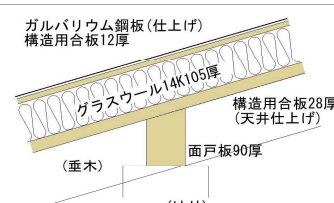
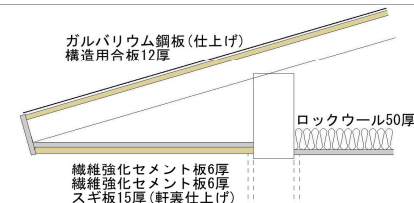
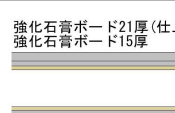

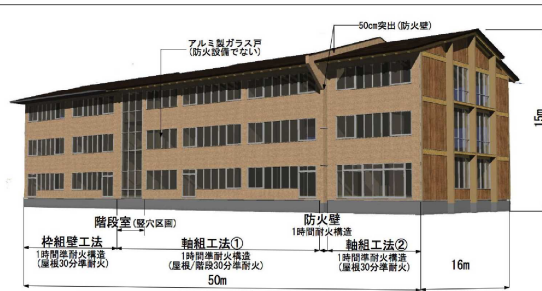
2. 2. 8 実験建物の防耐火設計

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			 <p>アルミ製ガラス戸(防火設備でない) 50cm突出(防火壁) 15m 16m 50m 階段室(壁穴区画) 防火壁 1時間耐火構造 枠組壁工法 軸組工法① 1時間準耐火構造(屋根/階段の準耐火) 軸組工法② 1時間準耐火構造(屋根30分準耐火)</p>		

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。

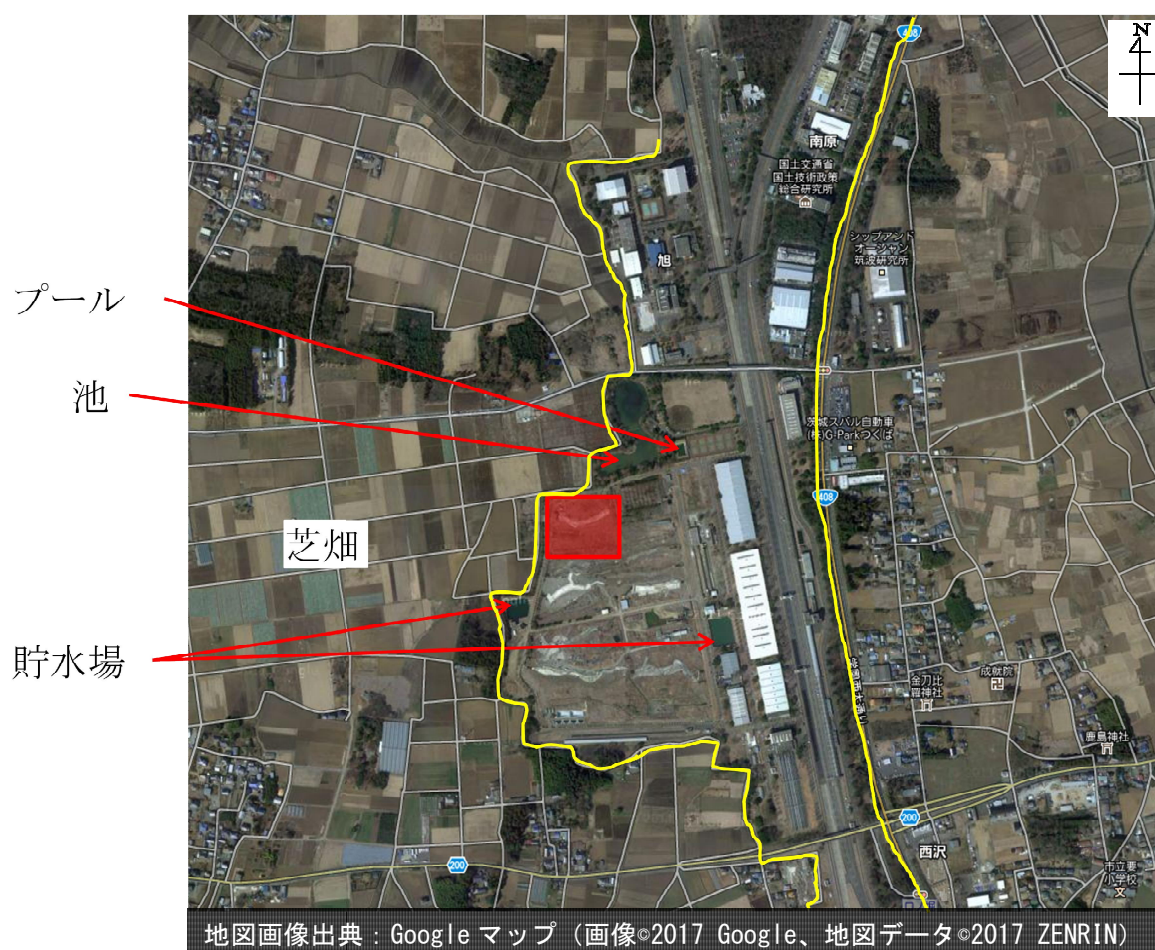


図 2.3.1-1 実験場の概要

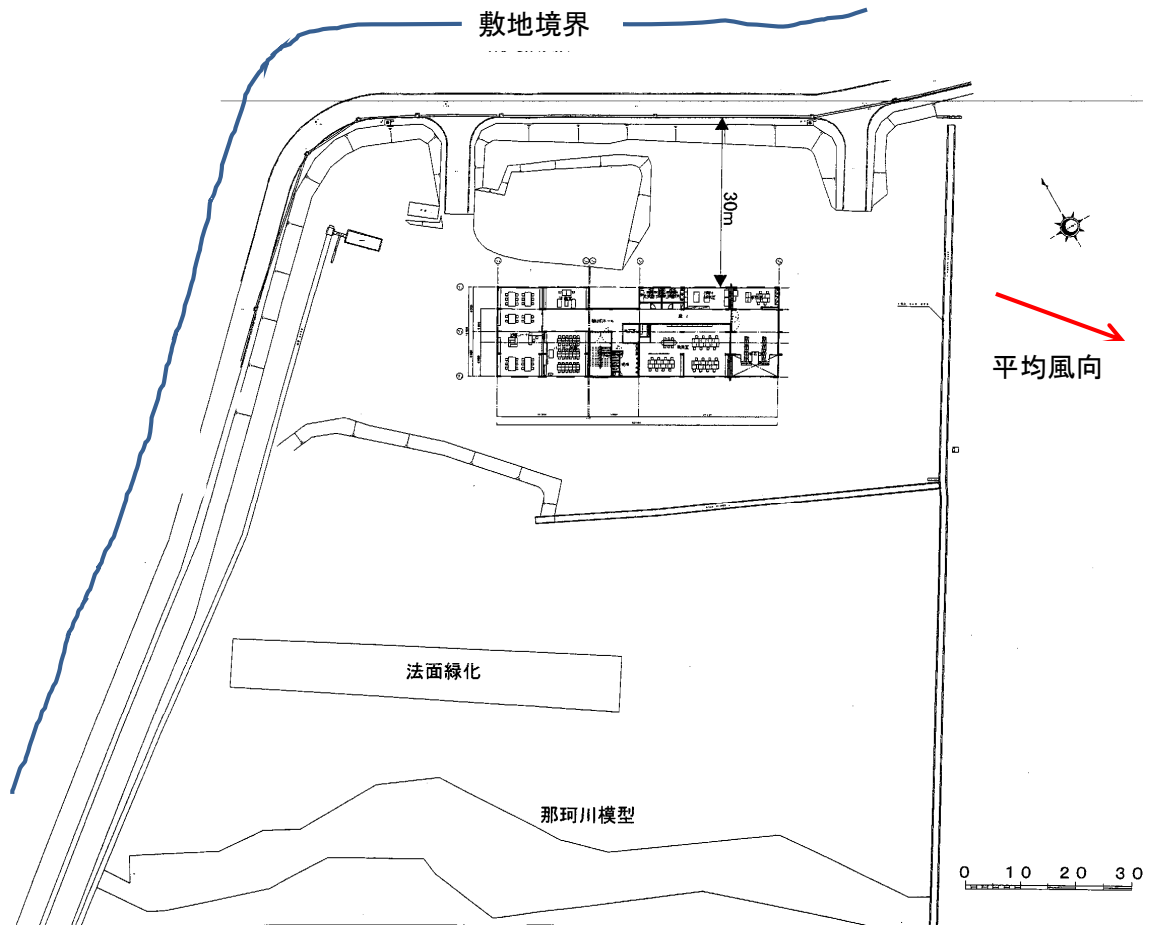


図 2.3.1-2 実験建物の配置 (図 2.3.1-1 の赤く囲まれた部分に相当)

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

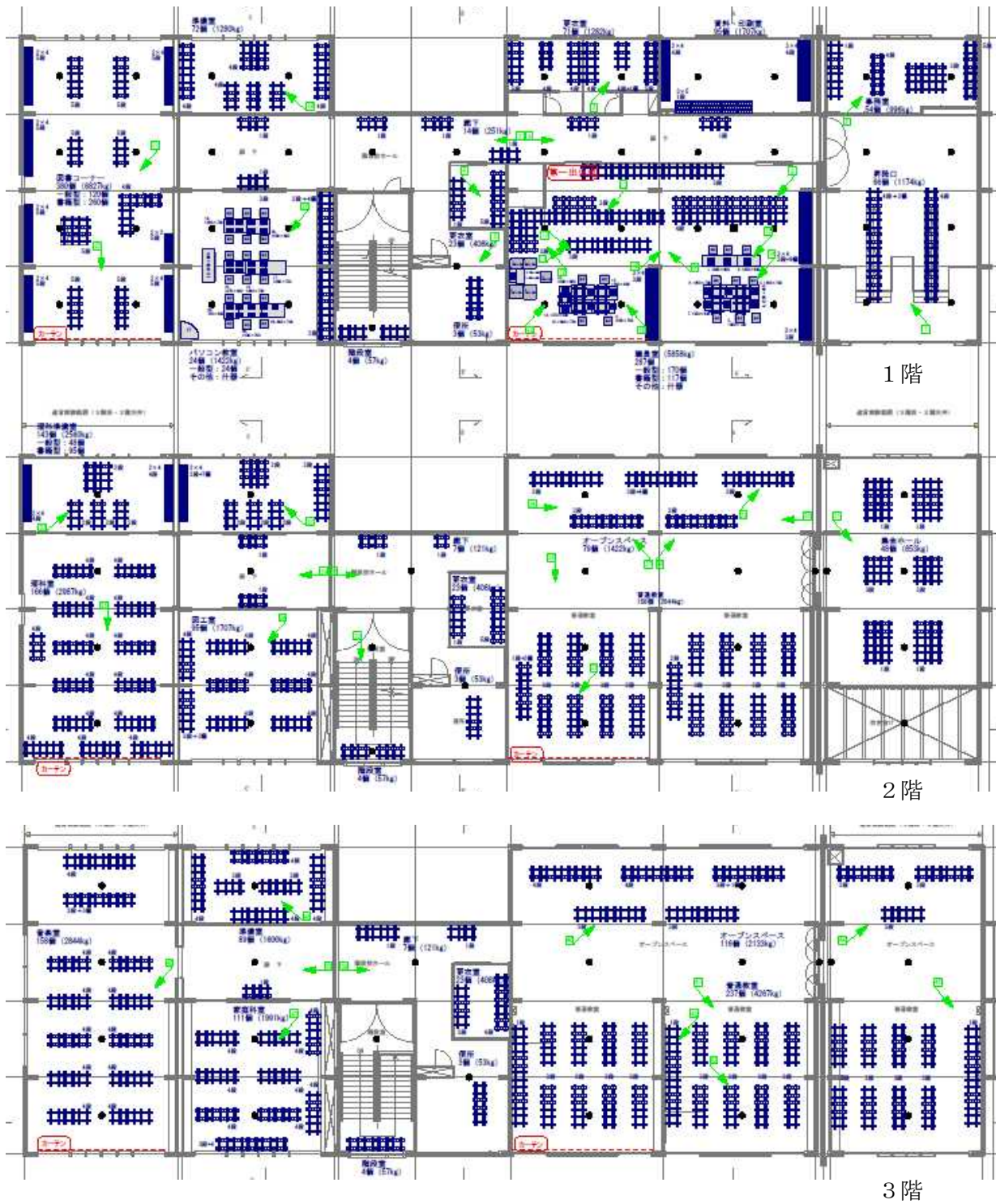


図 2.4.1-1 各室の収納可燃物の配置

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。

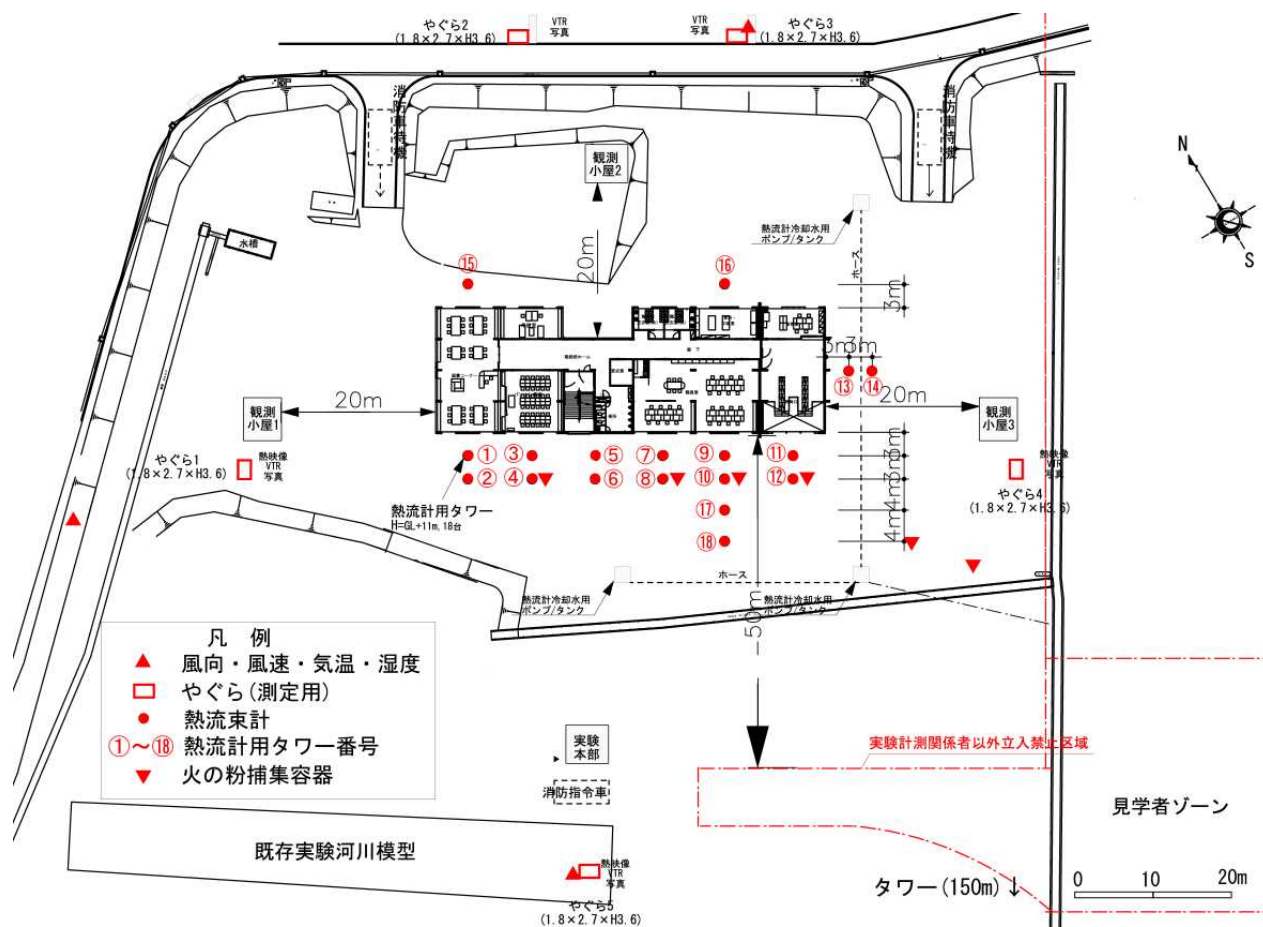


図 2.5.1-1 実験敷地と測定項目の概要



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

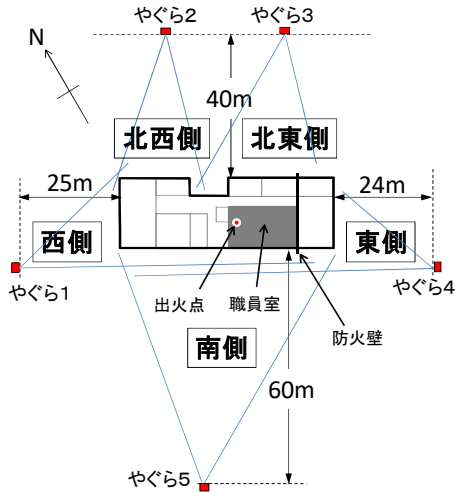


図 2.5.2-1 屋外におけるデジタルカメラ測定位置

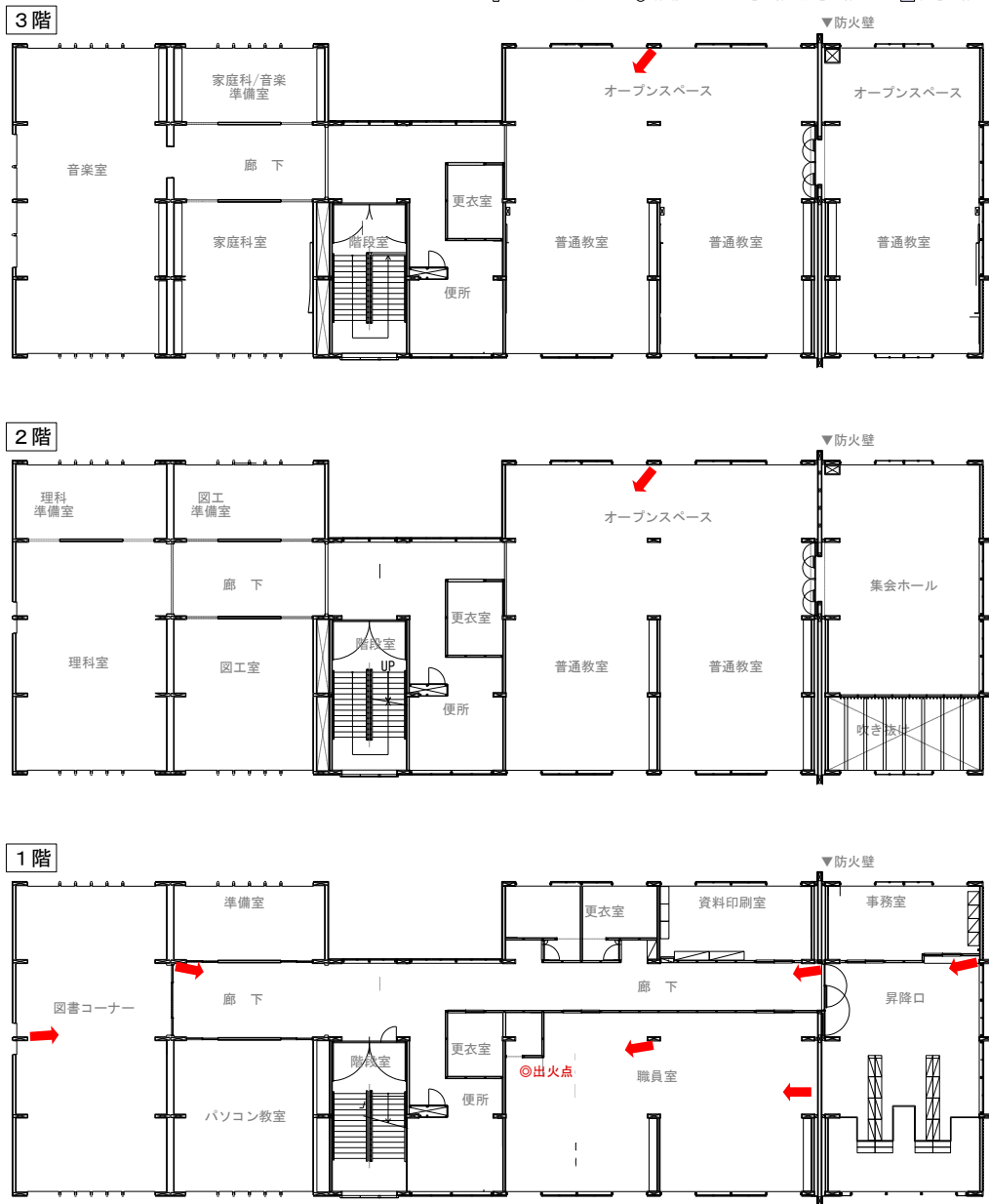


図 2.5.2-2 内部 CCD カメラの設置位置

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

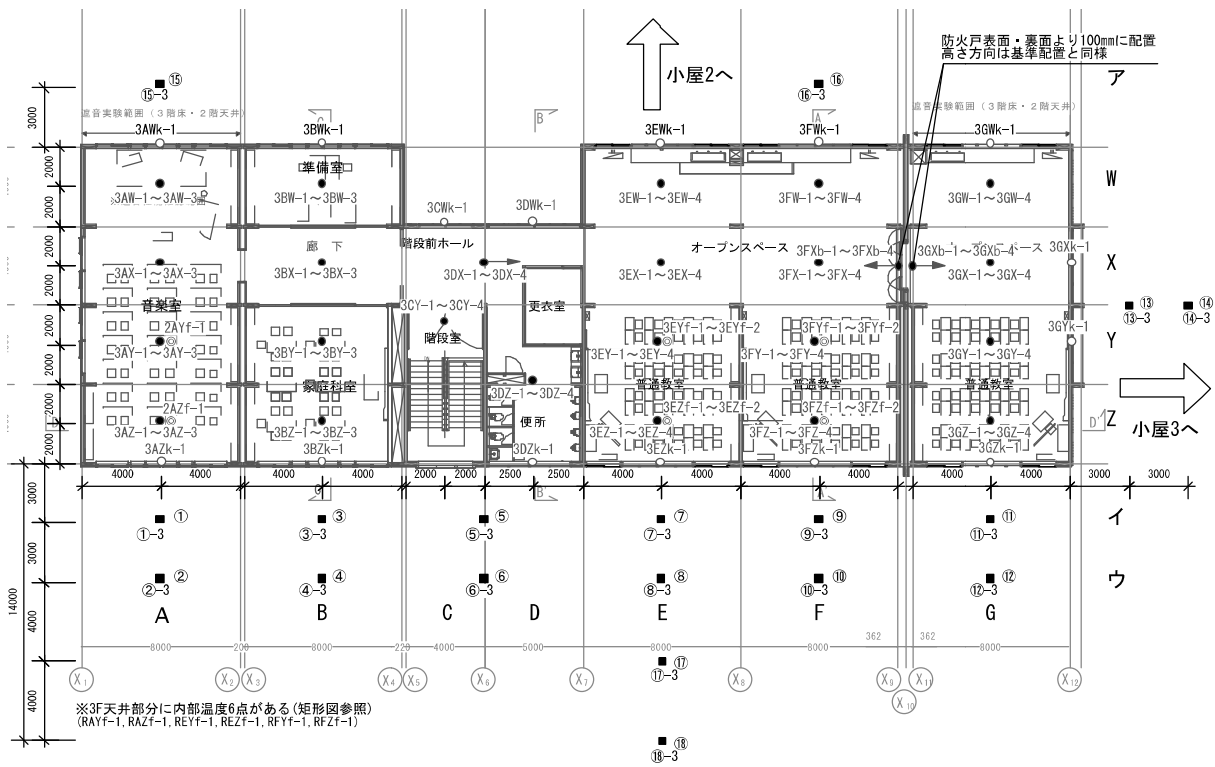


図 2.5.3-1 3階温度および熱流束測定位置

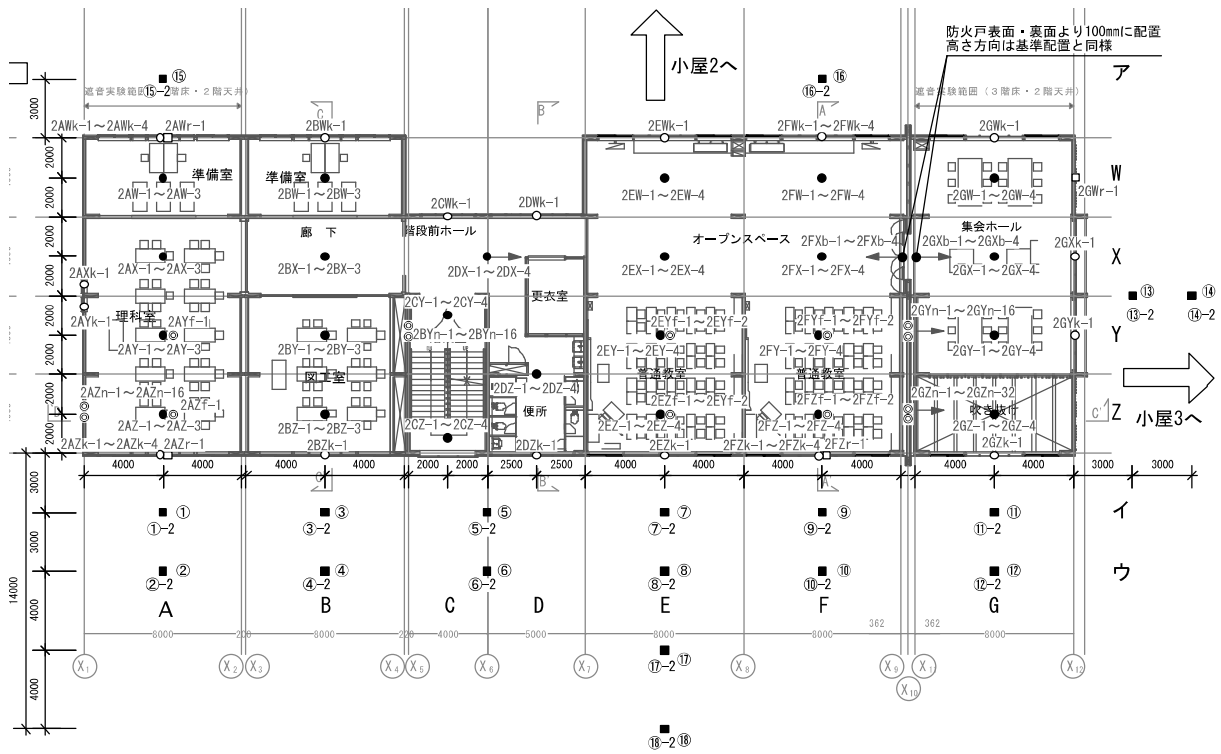
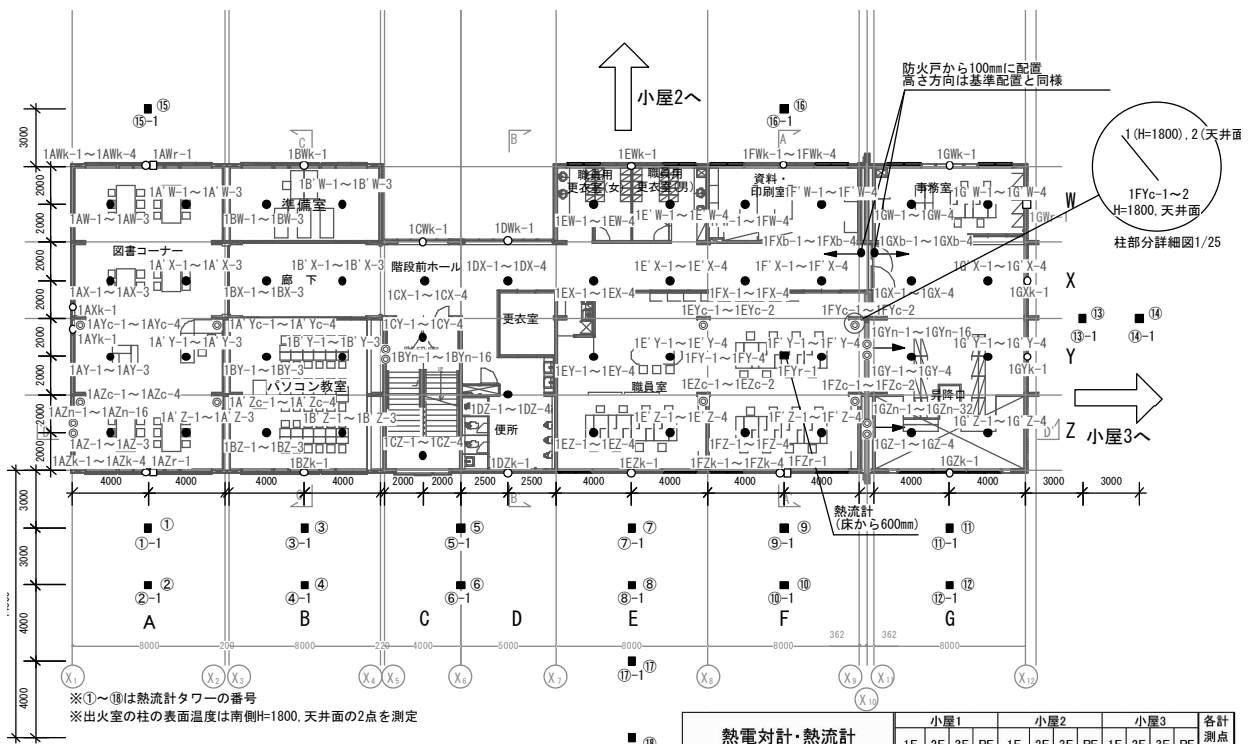


図 2.5.3-2 2階温度および熱流束測定位置



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

図 2.5.3-3 1階温度および熱流束測定位置

(2) 部材温度測定位置

建物各部材の温度測定位置を図 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。

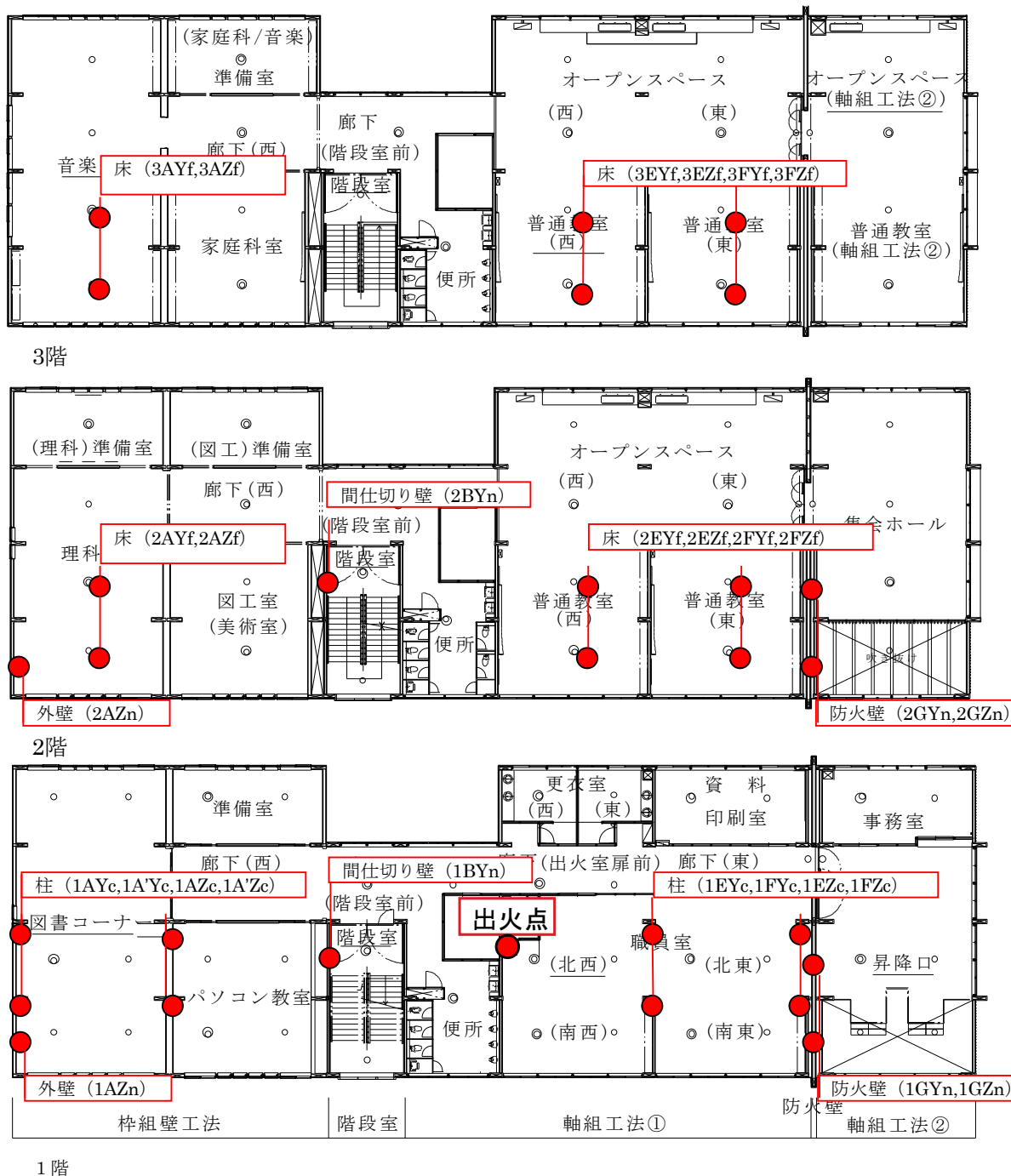


図 2.5.3-4 部材温度測定位置 平面図

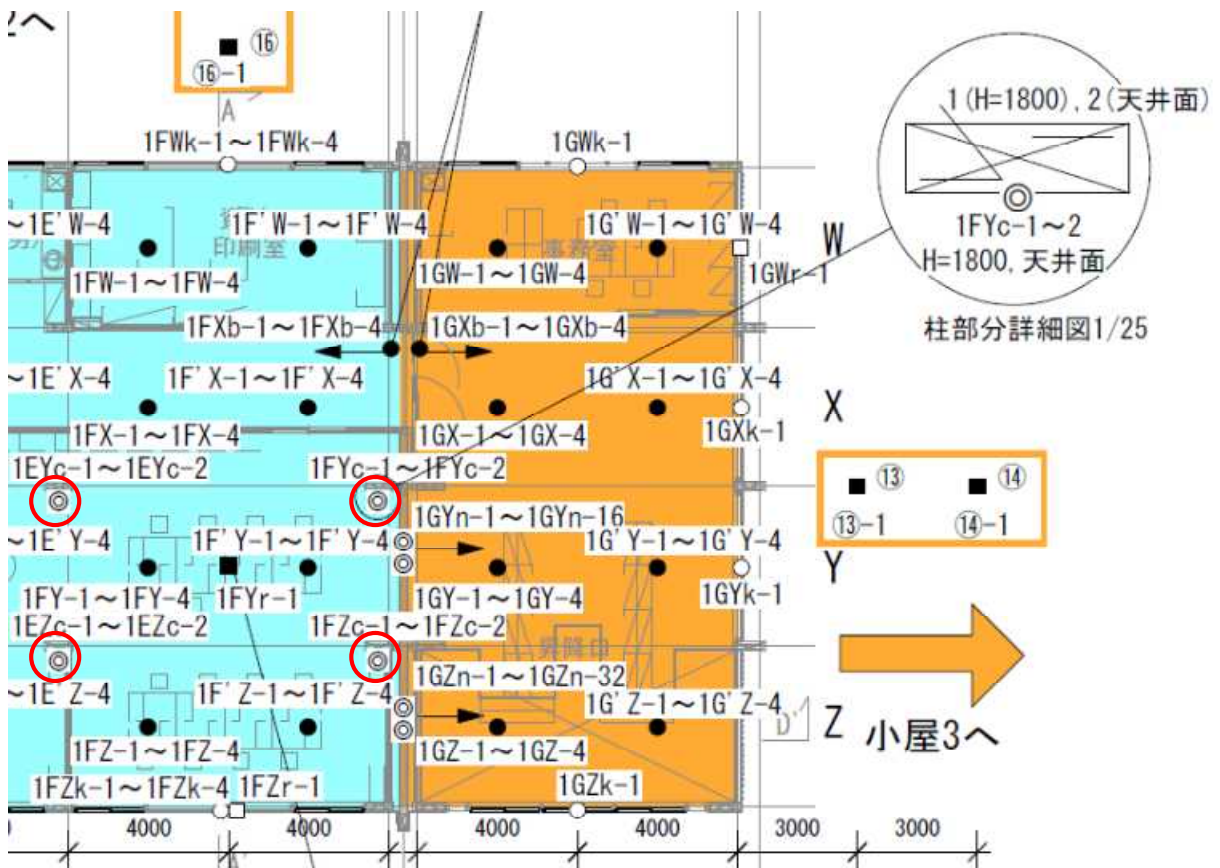
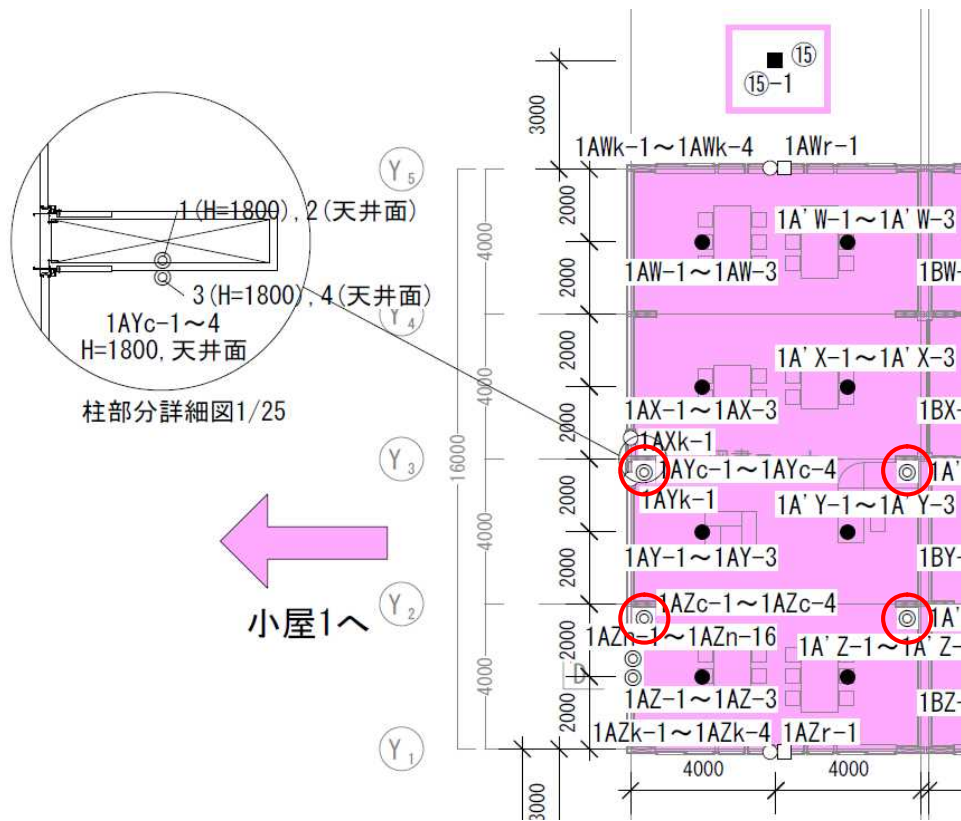


图 2.5.3-5 柱温度測定点

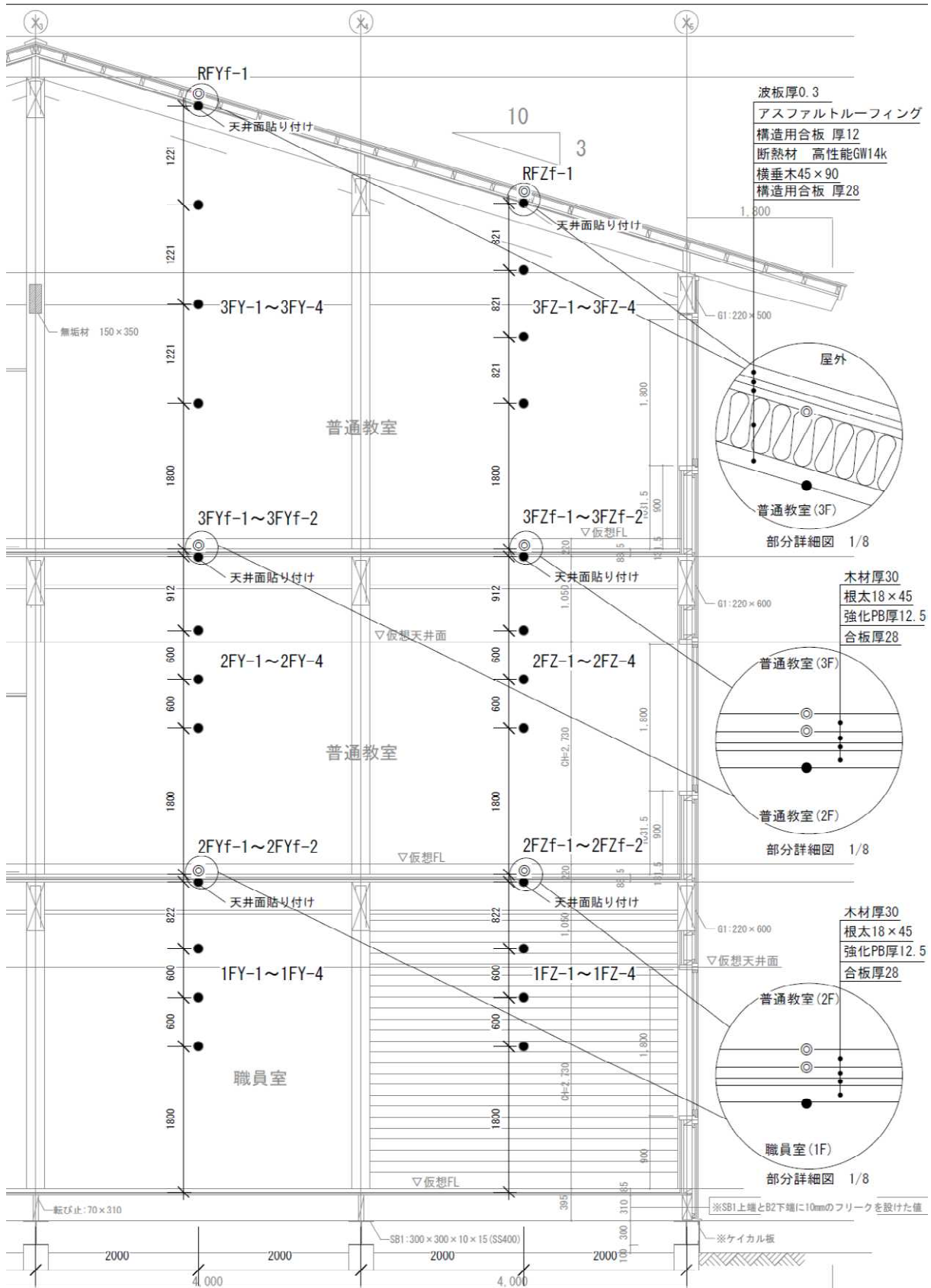


図 2.5.3-6 2、3階床および屋根温度測定点 鉛直断面

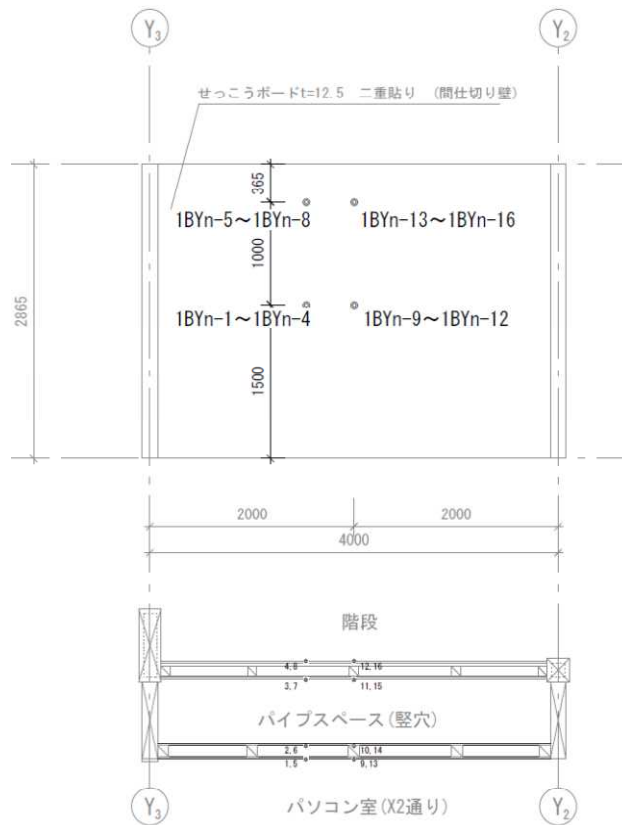


図 2.5.3-7 間仕切り壁温度測定点

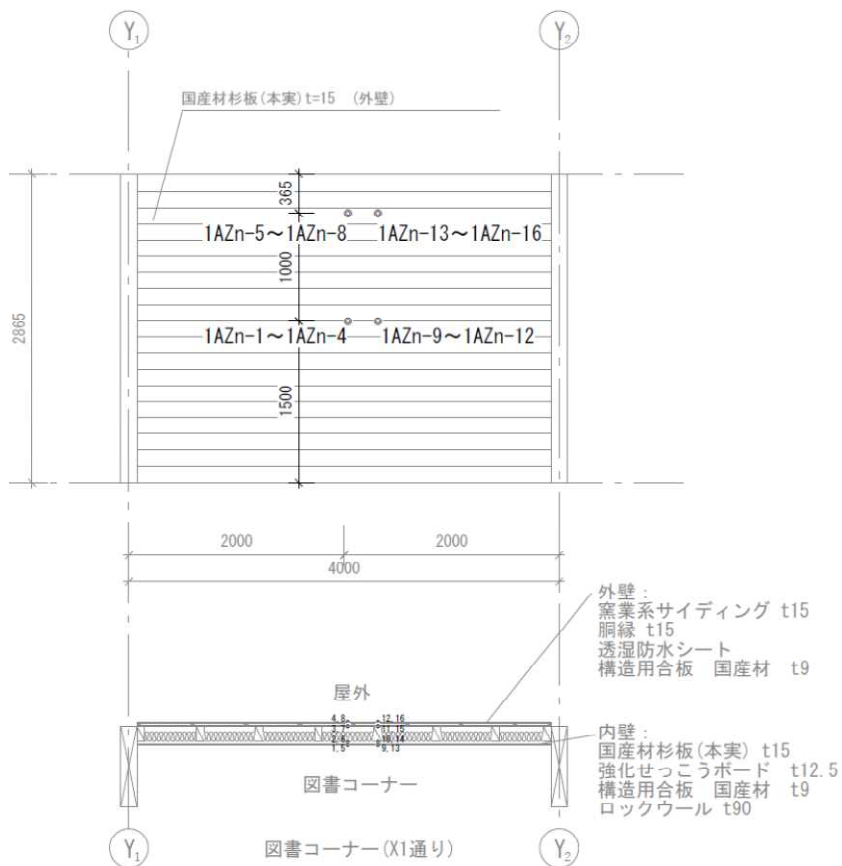


図 2.5.3-8 外壁温度測定点

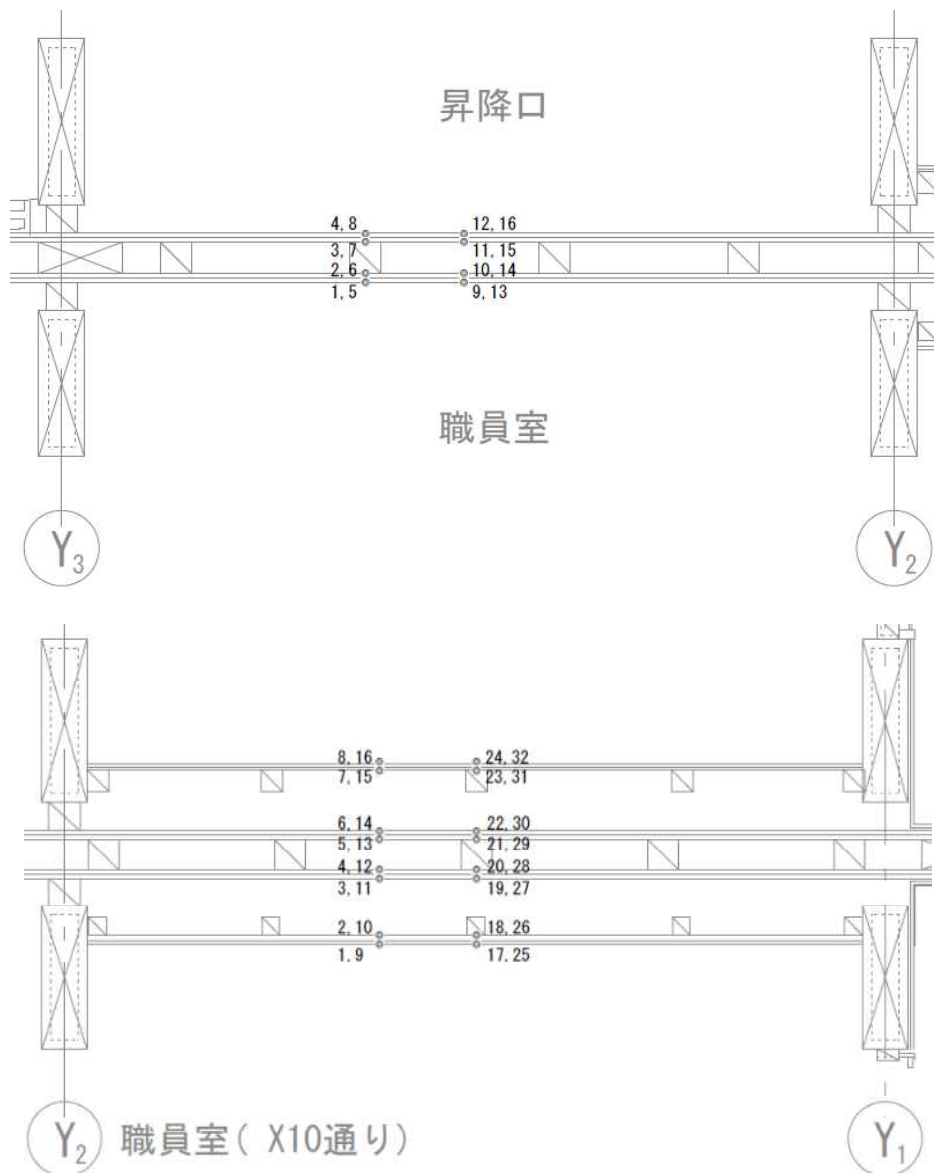
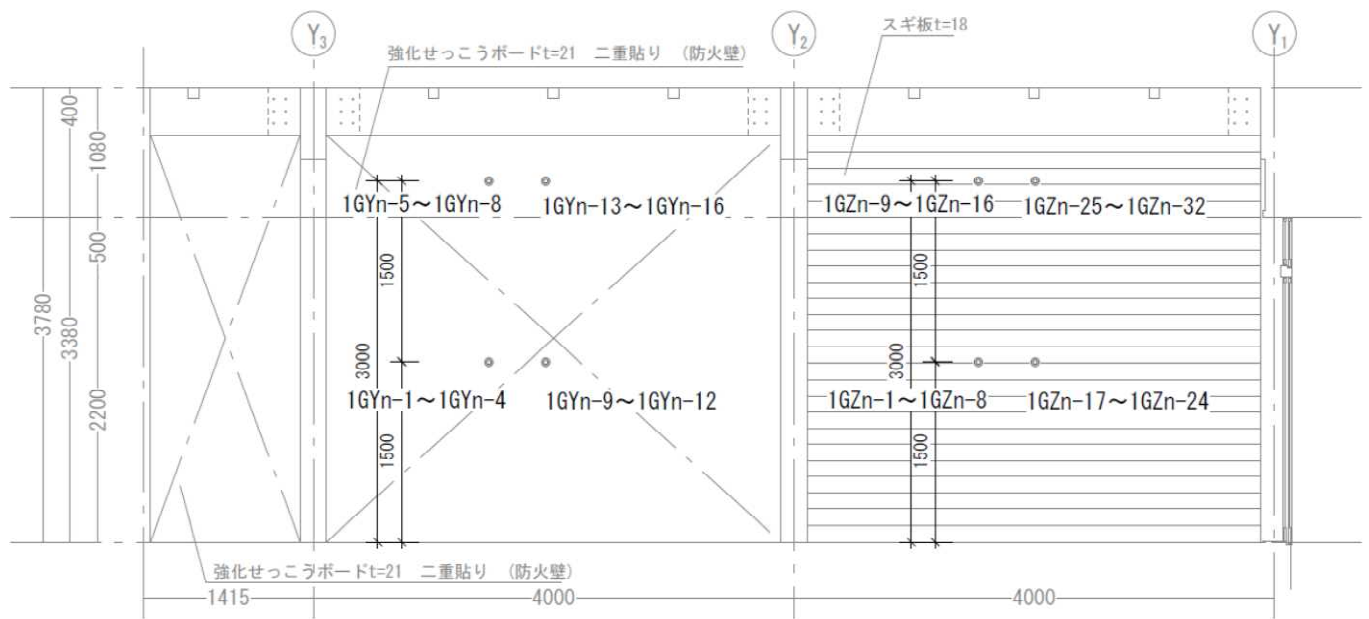


図 2.5.3-9 防火壁温度測定点

(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。

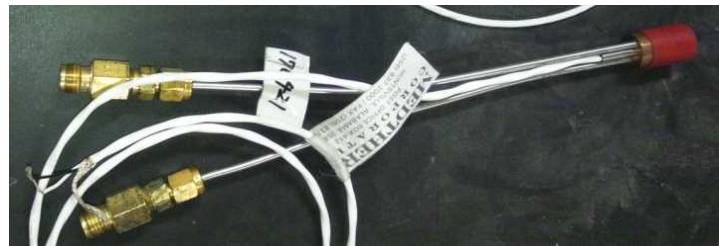


写真 2.5.4-3 ガードン型の熱流束計



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。

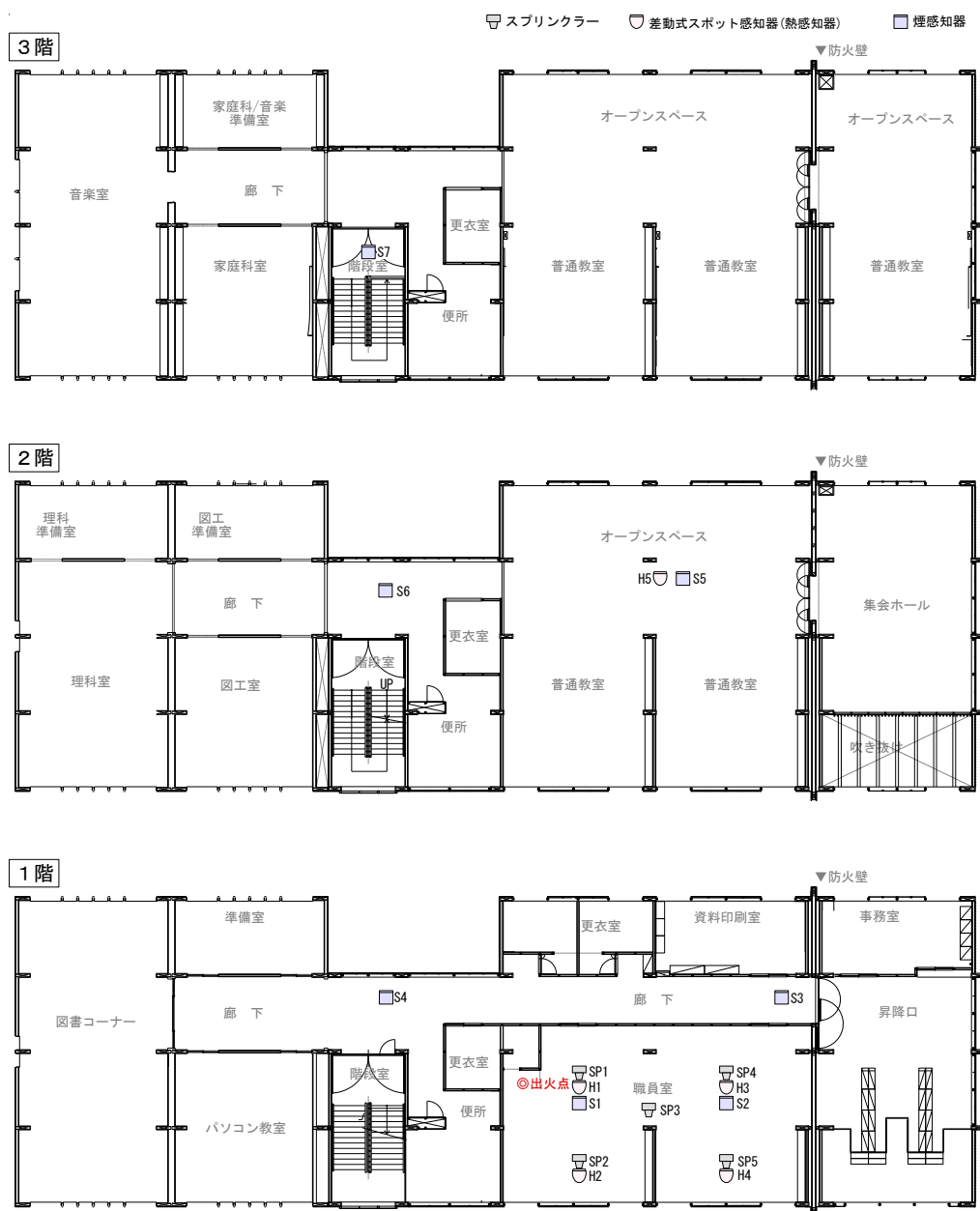


図 2.5.5-1 火災感知器およびスプリンクラーヘッド設置位置

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。

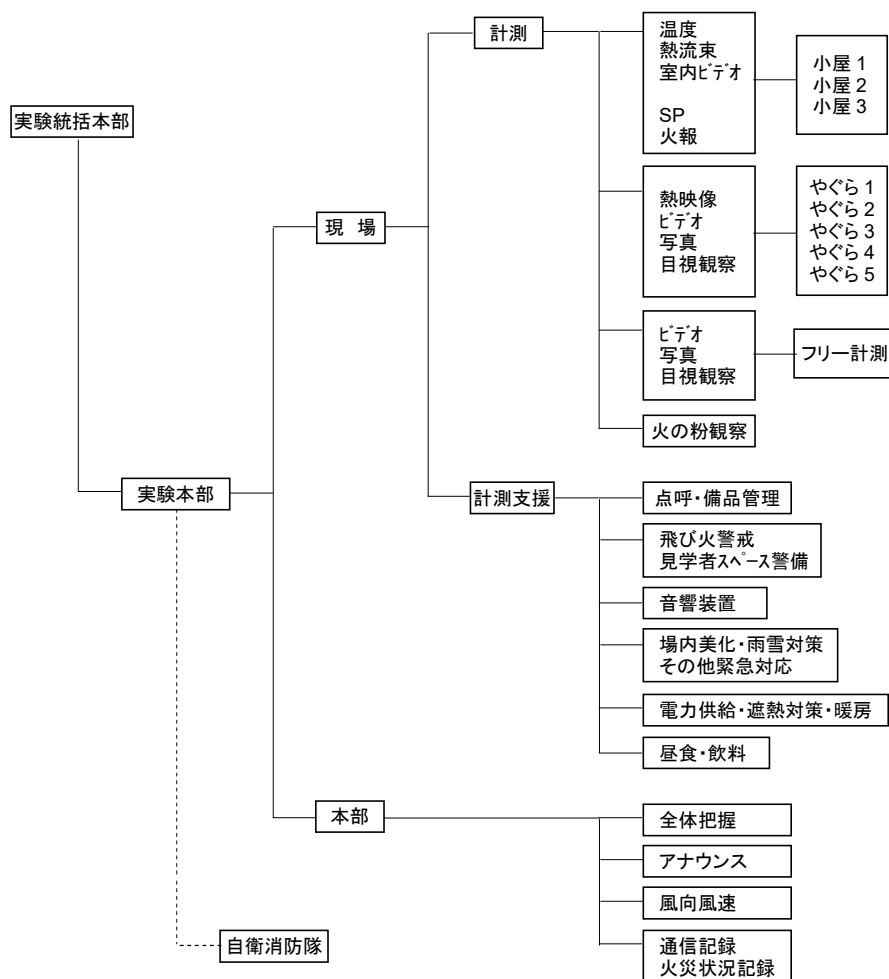


図 2.5.8-1 予備実験における計測の体制

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。

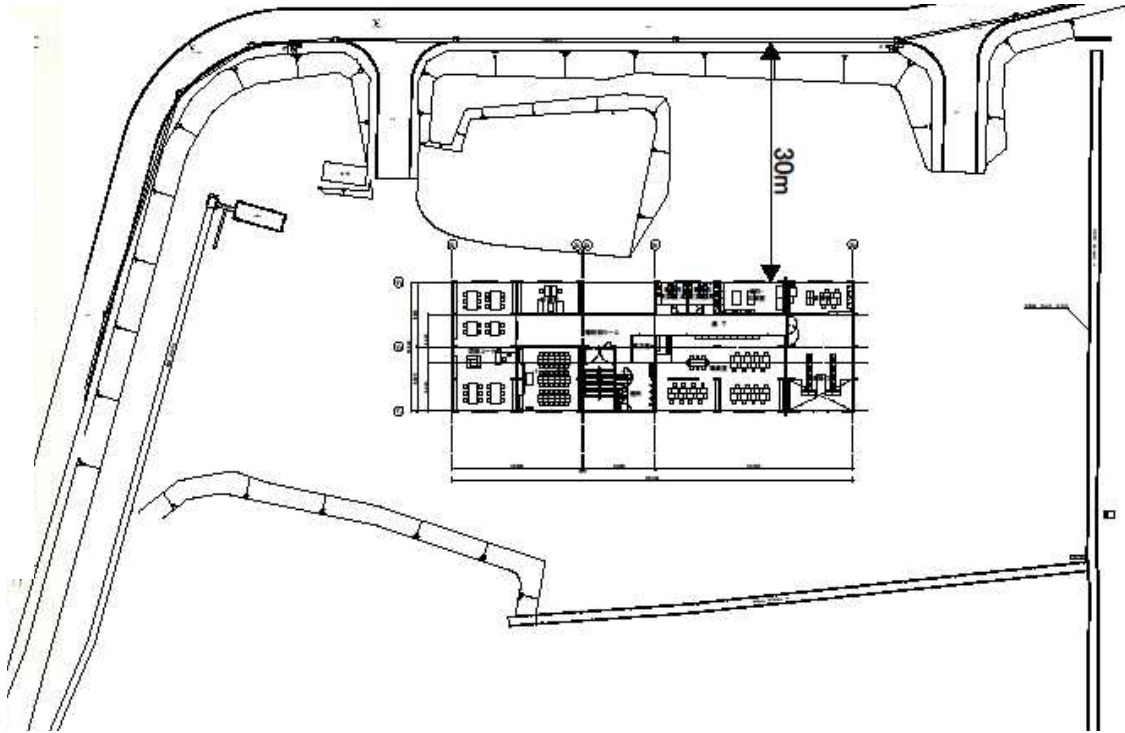


図 2.6.2-1 火災実験予定建物の配置および周囲の位置関係

(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。

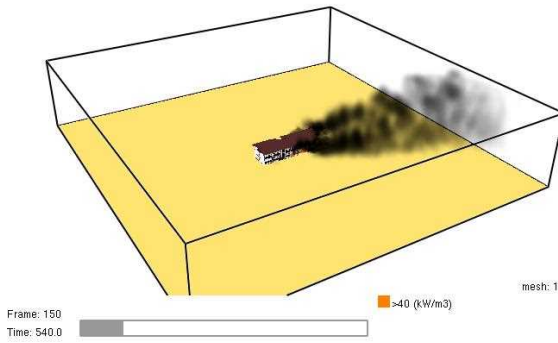
5) その他の事項

- ・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。

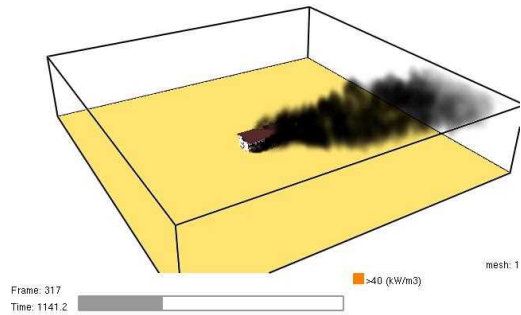
(4) 機器および人員配置

1) 水源・可搬ポンプ・消防ホース・人員等

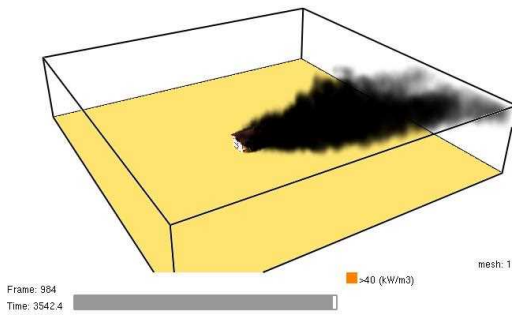
- ・消防は、実験による近隣住民への被害を防止することが第一であり、そのために実験による不慮の事故又は緊急時の対応のために実験に協力する。
- ・消防の協力は午前8時から午後5時までとし、事前散水および残火処理は実験実施者が行う。
- ・地域住民への事前広報は、国土技術政策総合研究所が実施する。
- ・実験は北西の風の場合に実施する。強風時は実験中止する。
- ・火災実験の責任所在は実験実施者とする。
- ・住民対応(周知・広報・問合せ・説明・苦情)は国土技術政策総合研究所が実施する。
- ・新聞社やテレビ局等の取材に関する対応等は国土技術政策総合研究所が対応する。
- ・実験にあたっての火炎と煙等の周辺(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。



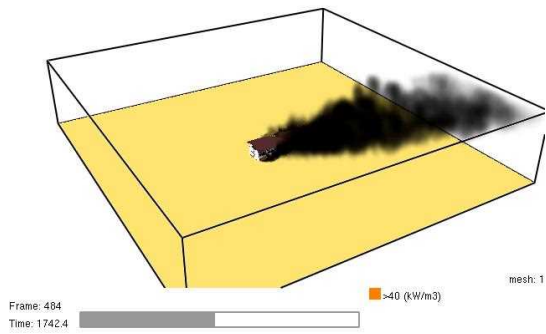
9 分後



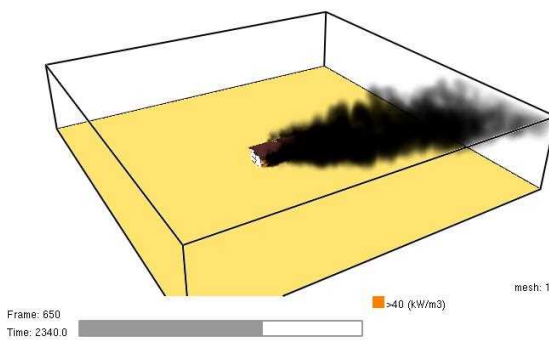
19 分後



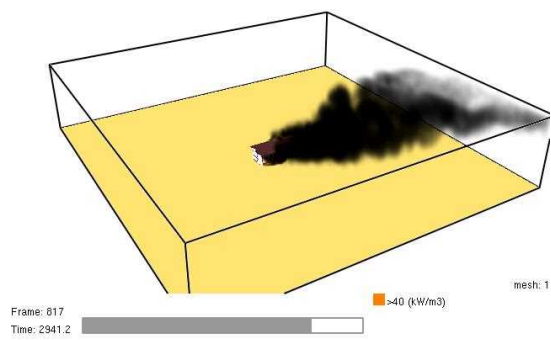
29 分後



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に、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。

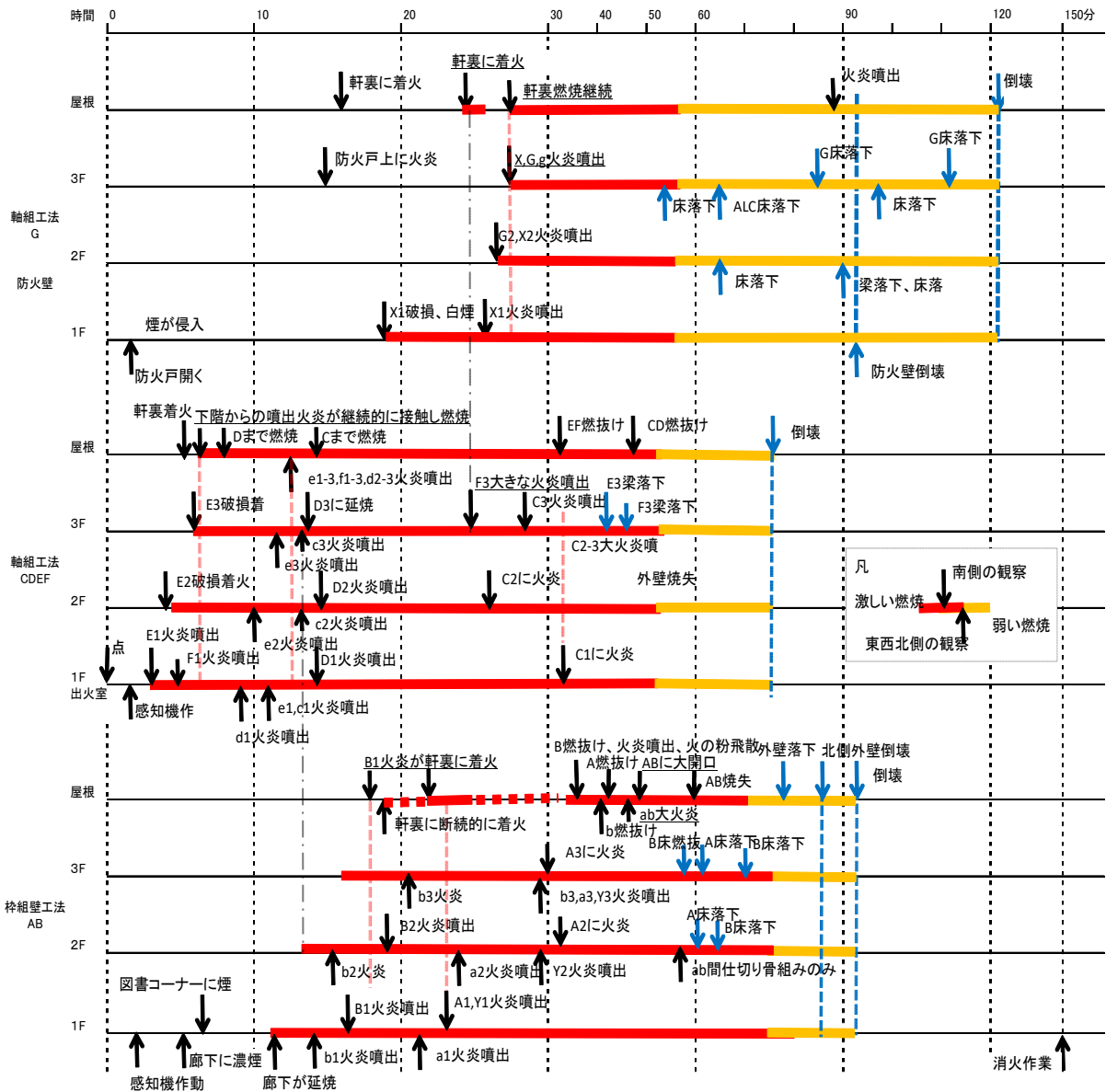


図 2.7.2-2 建物部位別の延焼性状

(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。






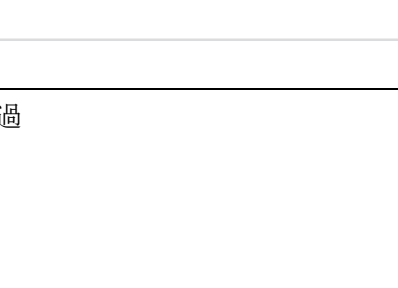

経過時間 (分)	経過時間 (分)	主な事象	
0	0	点火	
	3	出火室南側窓から火炎が噴出し、フラッシュオーバー	
	3.5	2階普通教室に延焼	
	6.5	3階普通教室に延焼	
10			
	18	防火壁を通じた延焼が発生	
20			
	21	1階北側窓から煙が流出	
30	28	階段室へ延焼	
	30	全館延焼(軸組部分の屋根の一部が燃え抜け)	
40			
	45	枠組壁工法部分の屋根の一部が燃え抜け	
50			
60			
70			
	76	防火壁西側の軸組工法部分(出火室含む)が倒壊	
80			
90	95	枠組壁工法部分が倒壊	
	96	防火壁が倒壊	
100			
110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

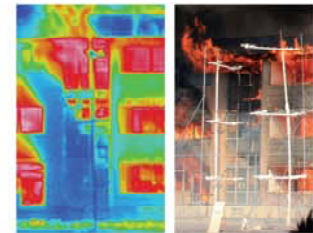
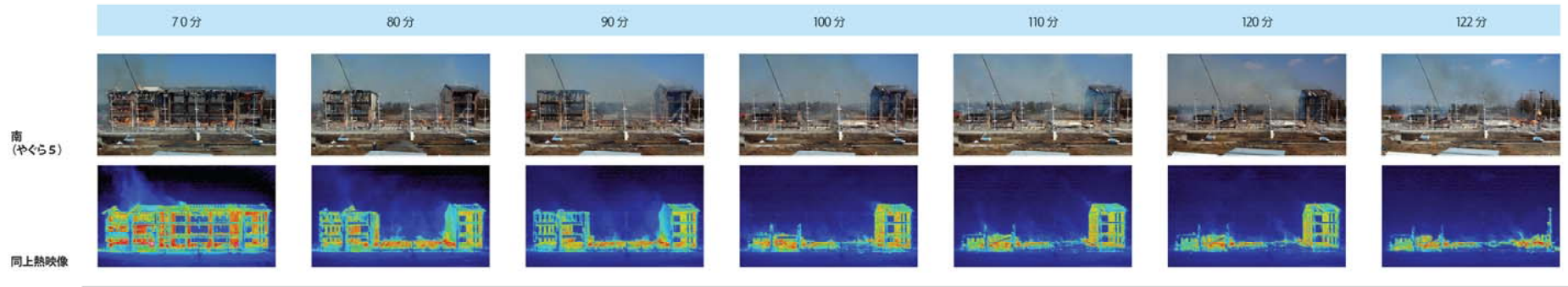


図 2.7.2-5 火災進展の状況2 (点火後70分~120分)



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。

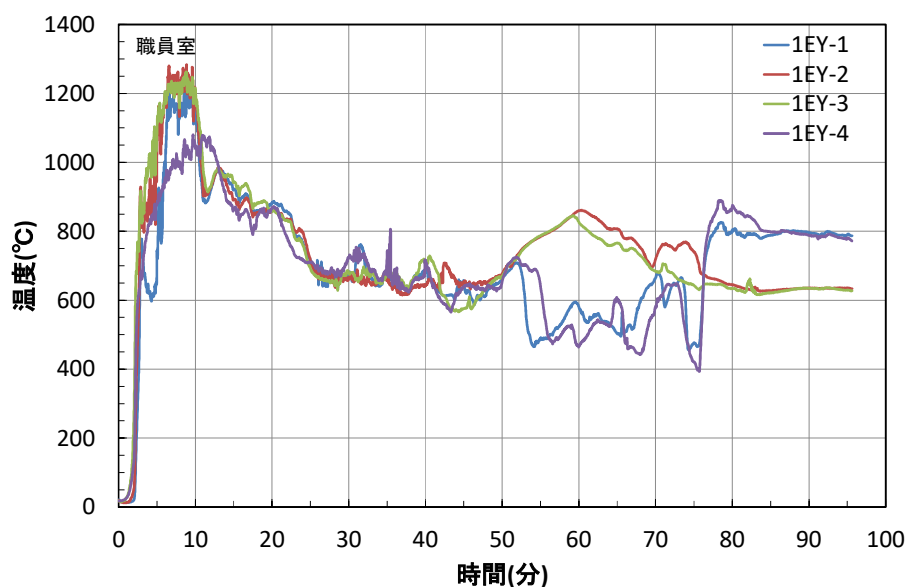


図 2.7.3-1 1階職員室北西 1EY の温度

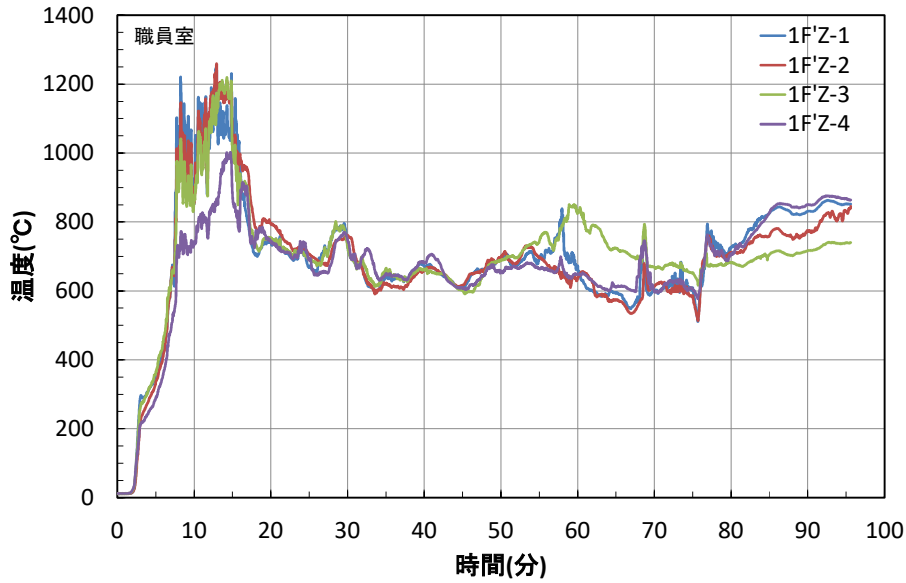


図 2.7.3-2 1階職員室南東 1F'Z の温度

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。

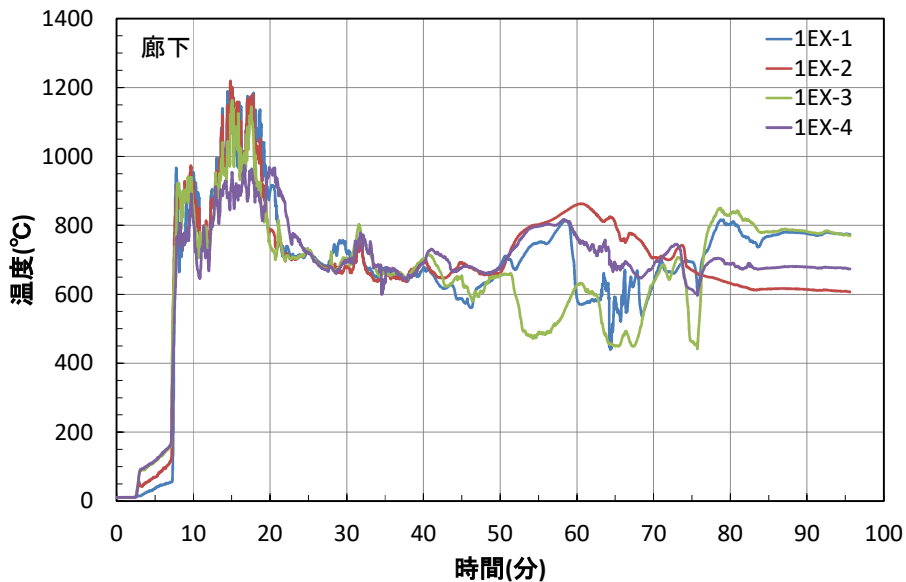


図 2.7.3-3 1階廊下出火室扉前 1EX の温度

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。

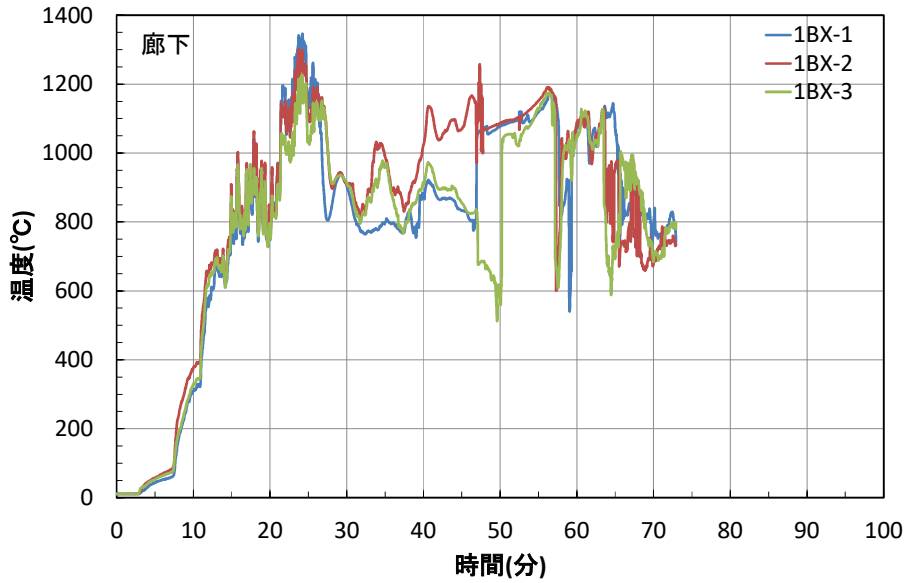


図 2.7.3-4 1階廊下西 1BX の温度

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。

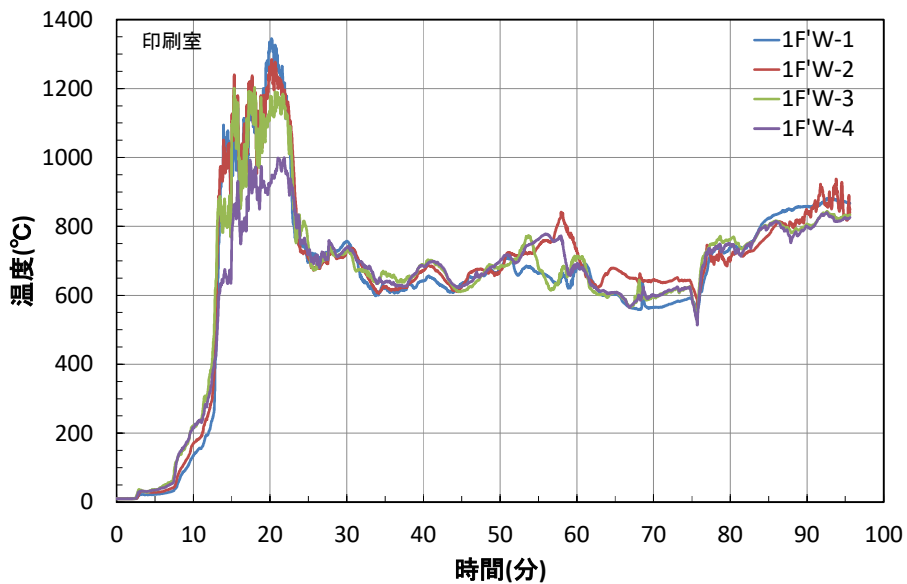


図 2.7.3-5 1階資料印刷室 1F'W の温度

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。

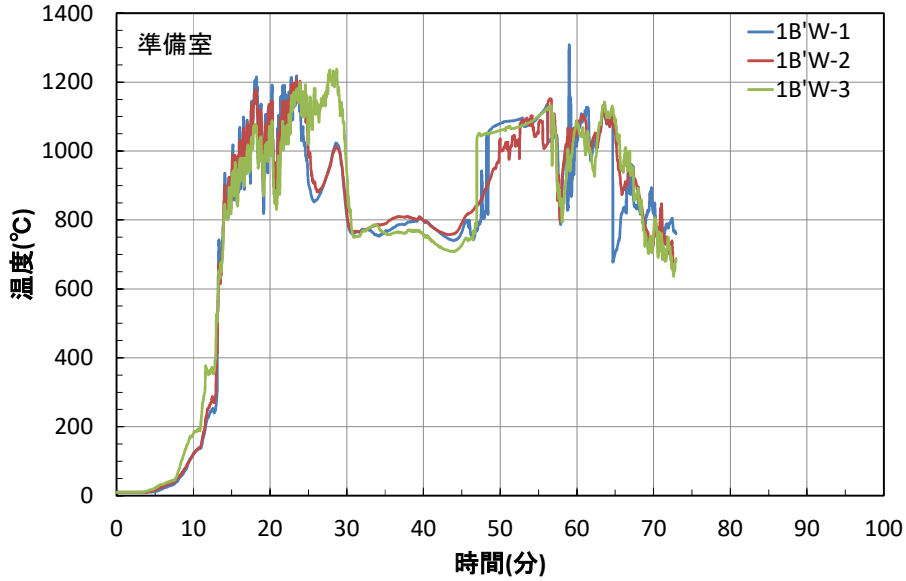


図 2.7.3-6 1階準備室 1B'W の温度

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。

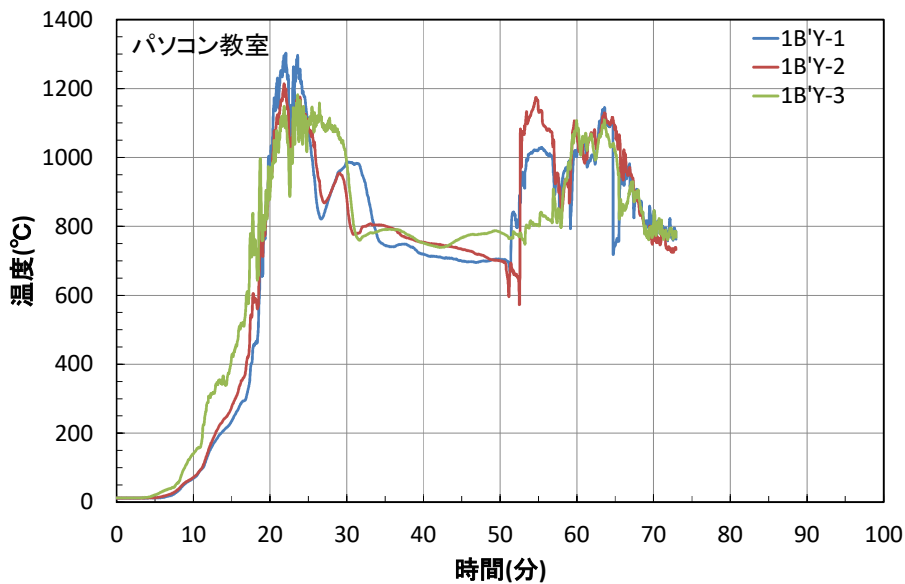


図 2.7.3-7 1階パソコン教室 1B'Y の温度

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。

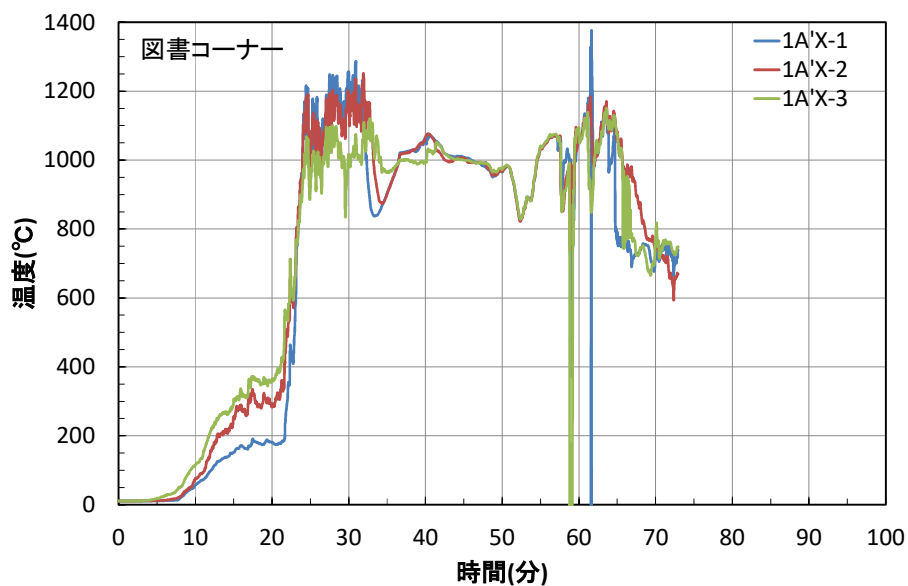


図 2.7.3-8 1階図書コーナー1A'X の温度

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。

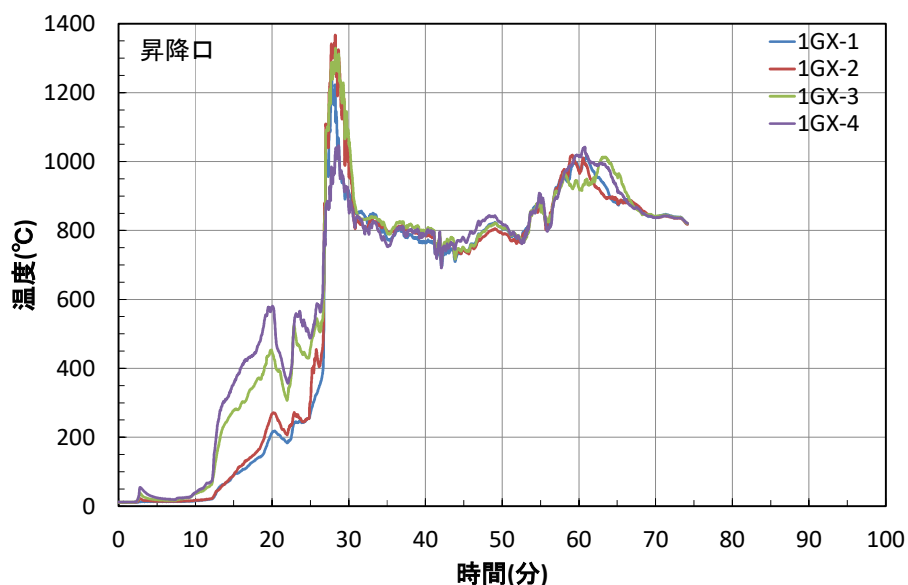


図 2.7.3-9 1階昇降口 1GX の温度

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。

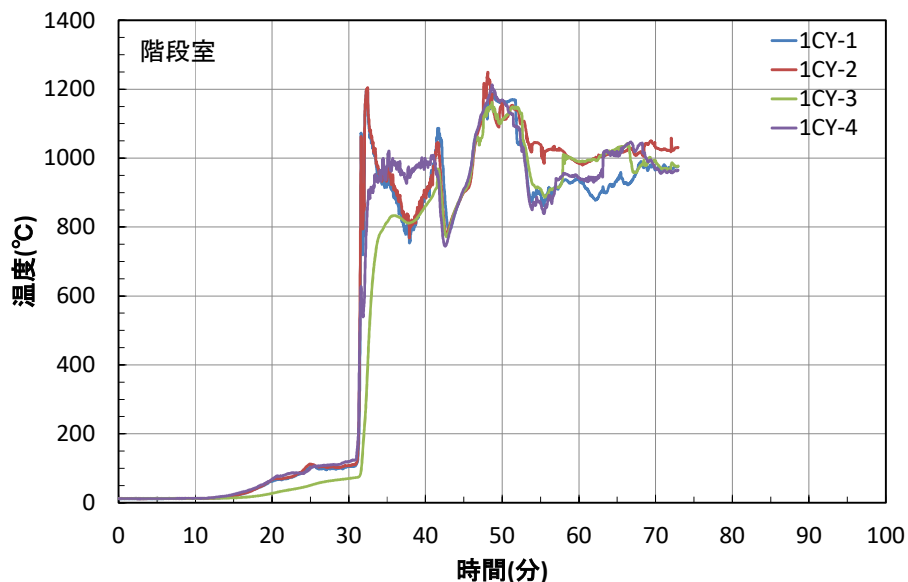


図 2.7.3-10 1 階階段室 1CY の温度

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。

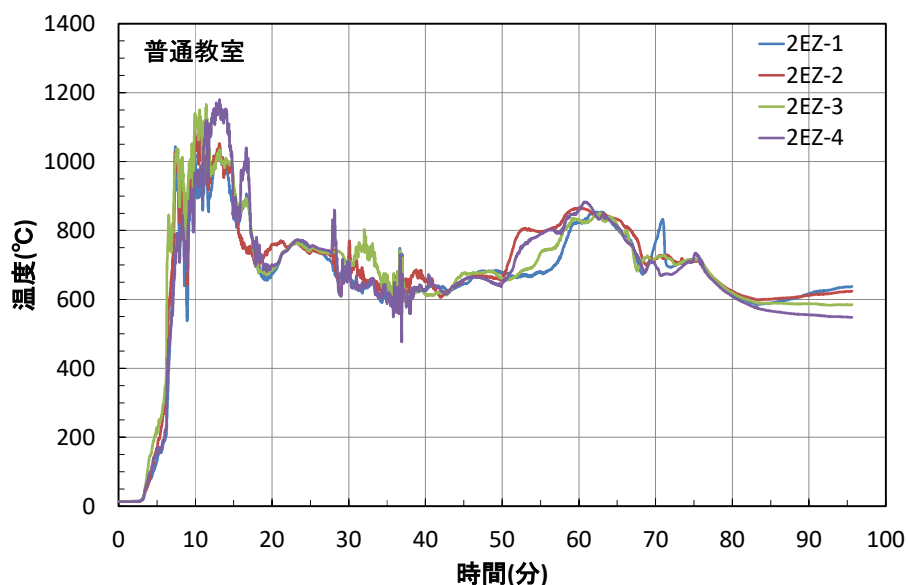


図 2.7.3-11 2 階普通教室 (西) 2EZ の温度

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。

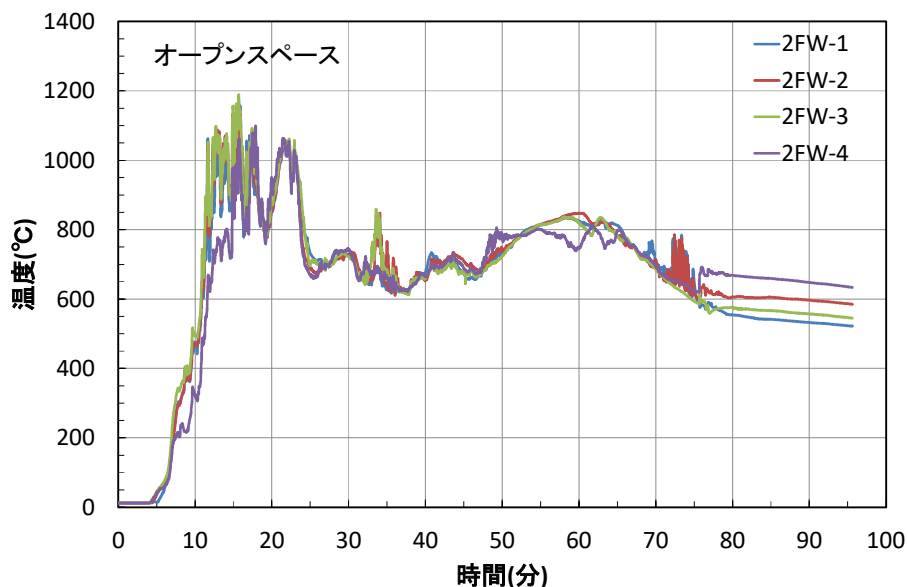


図 2.7.3-12 2階オープンスペース（東）2FW 温度

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。

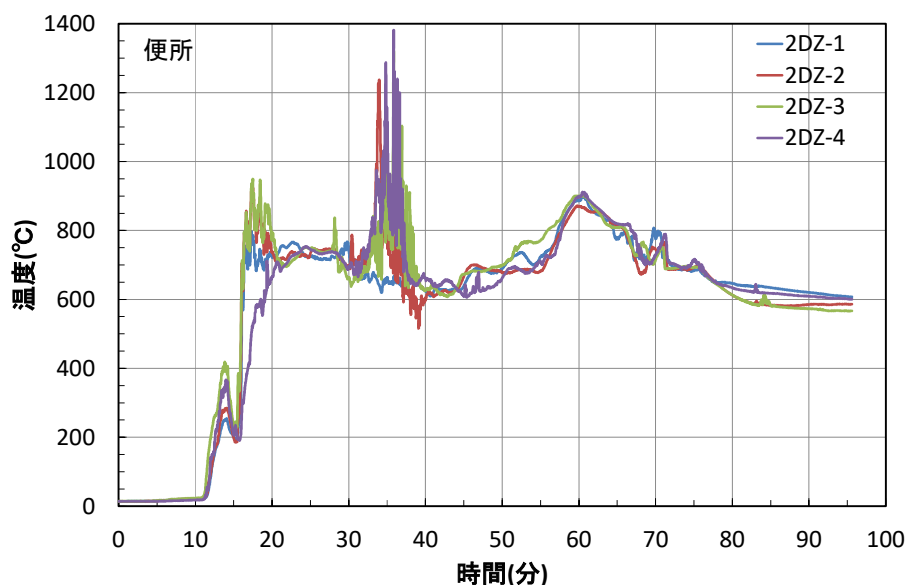


図 2.7.3-13 2階便所 2DZ の温度

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。

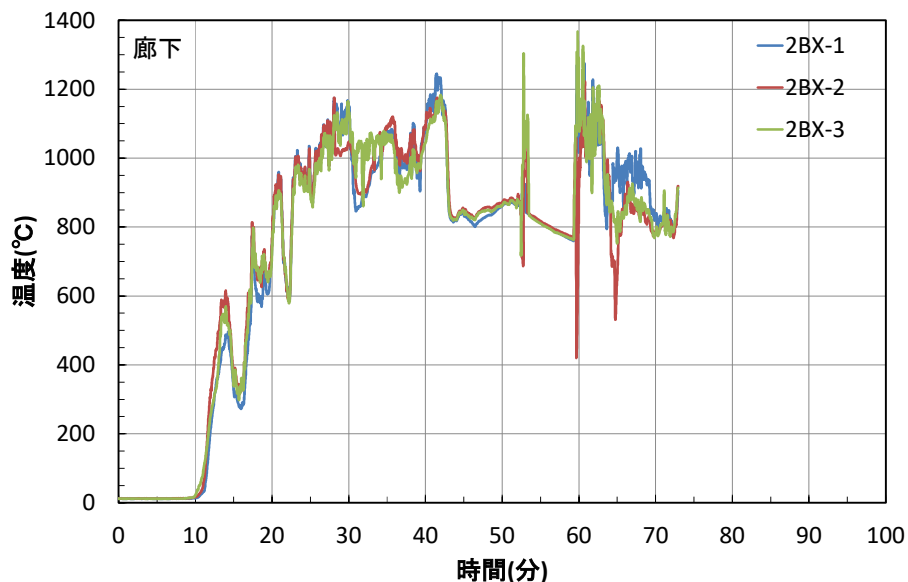


図 2.7.3-14 2階廊下（西）2BX の温度

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。

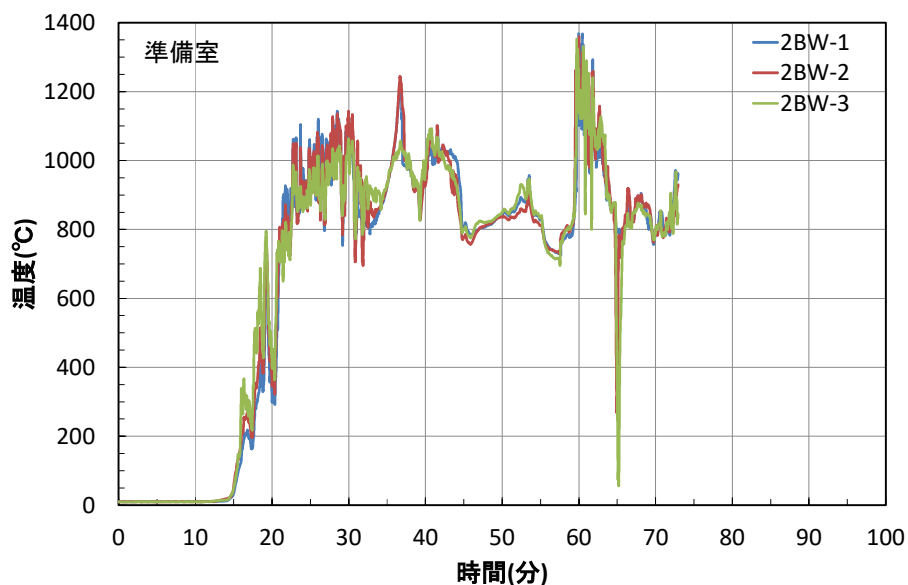


図 2.7.3-15 2階図工準備室 2BW の温度

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。

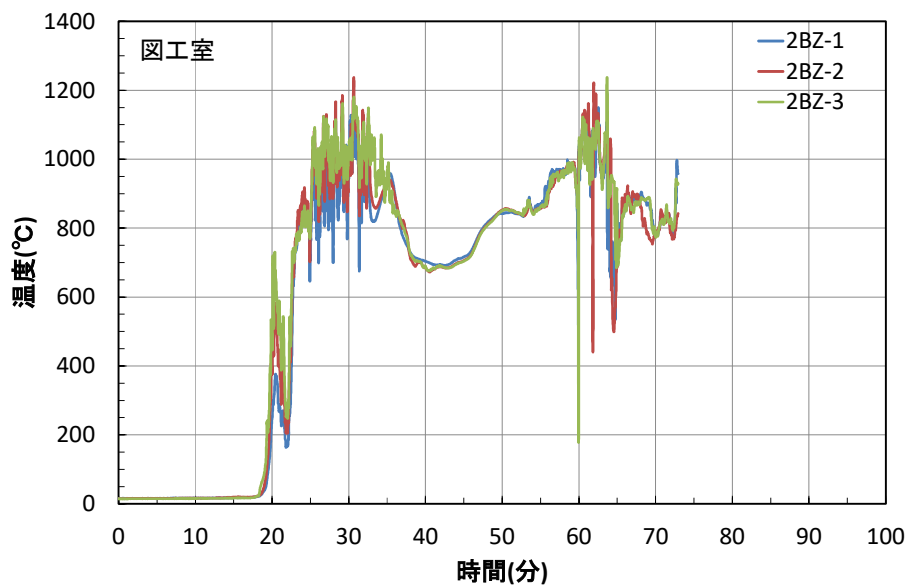


図 2.7.3-16 2階図工室 2BZ の温度

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。

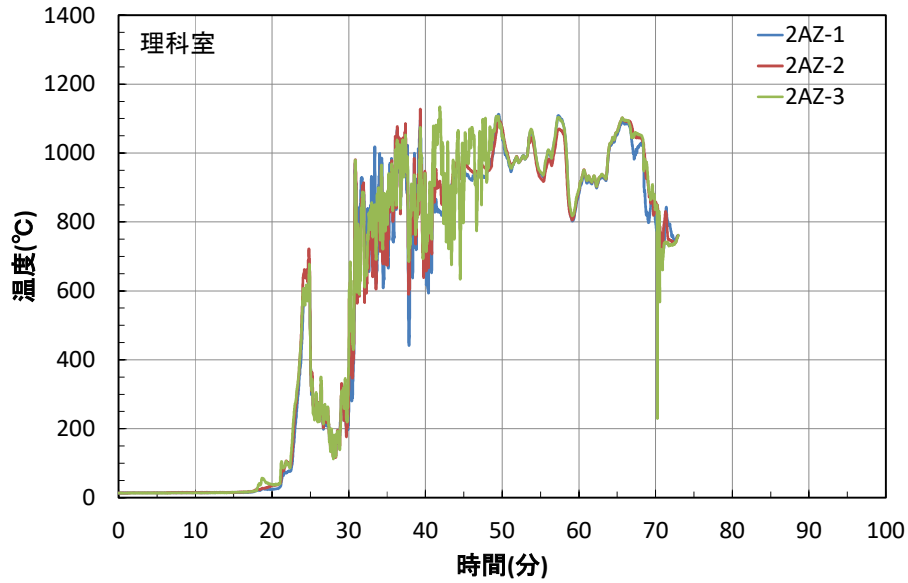


図 2.7.3-17 2階理科室 2AZ の温度

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。

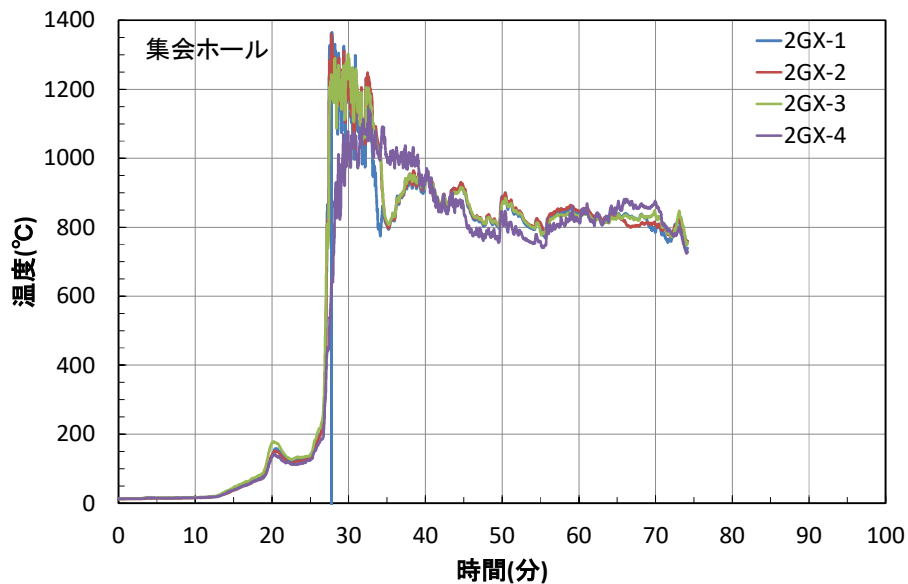


図 2.7.3-18 2階集会ホール 2GX の温度

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。

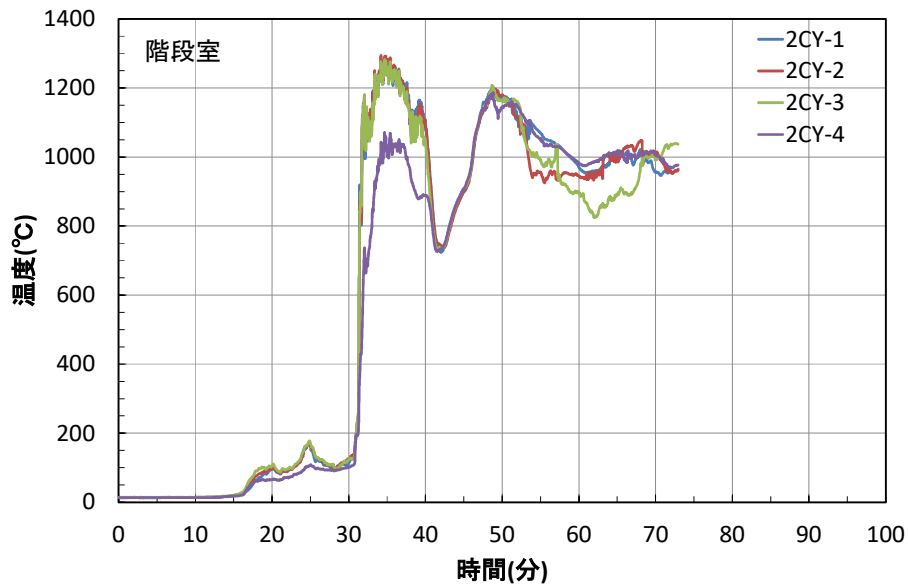


図 2.7.3-19 2階階段室 2CY の温度

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。

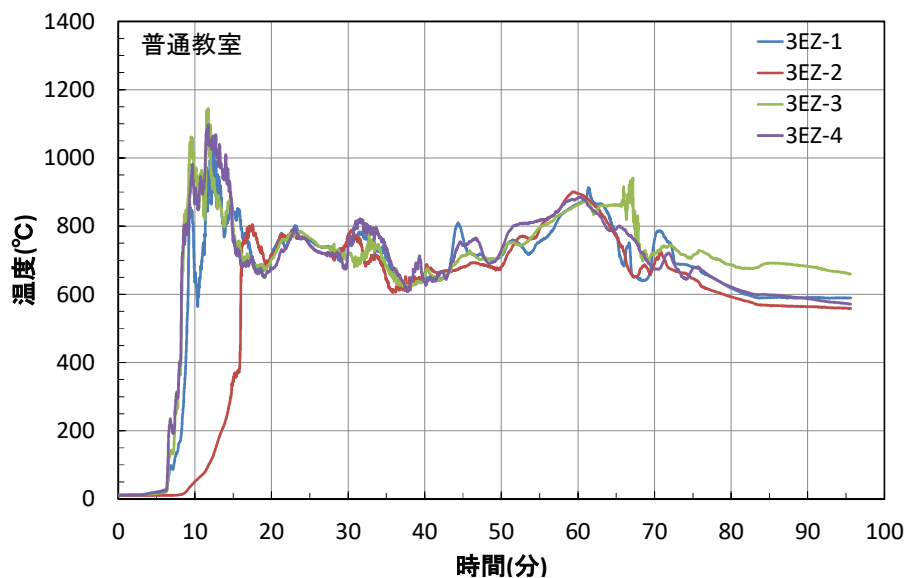


図 2.7.3-20 3階普通教室(西) 3EZ の温度

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。

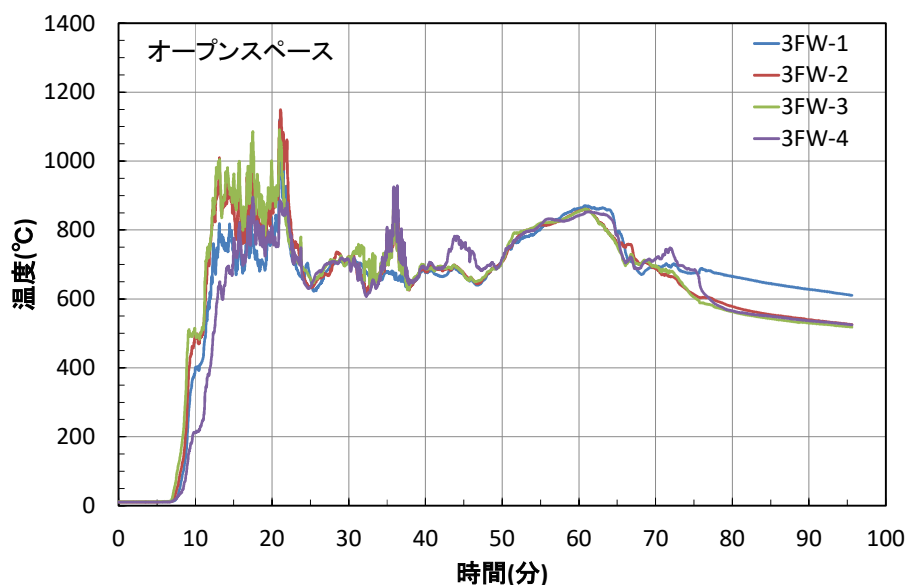


図 2.7.3-21 3階オープンスペース (東) 3FW の温度

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。

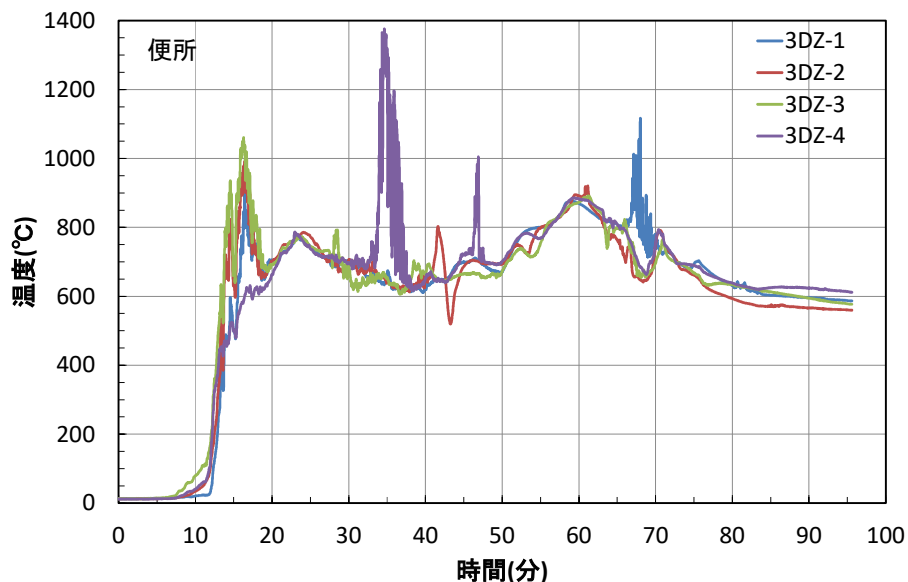


図 2.7.3-22 3階便所 3DZ の温度

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。

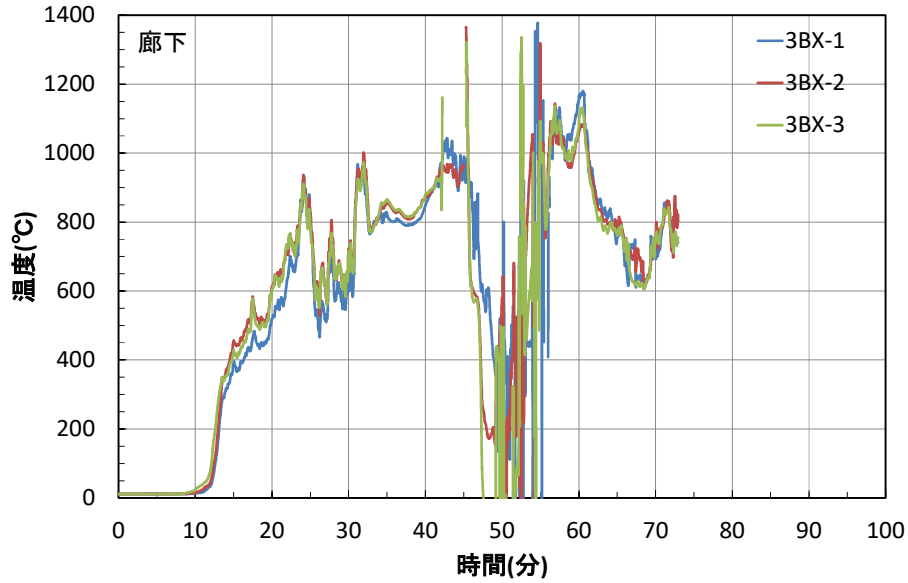


図 2.7.3-23 3階廊下西 3BX の温度

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。

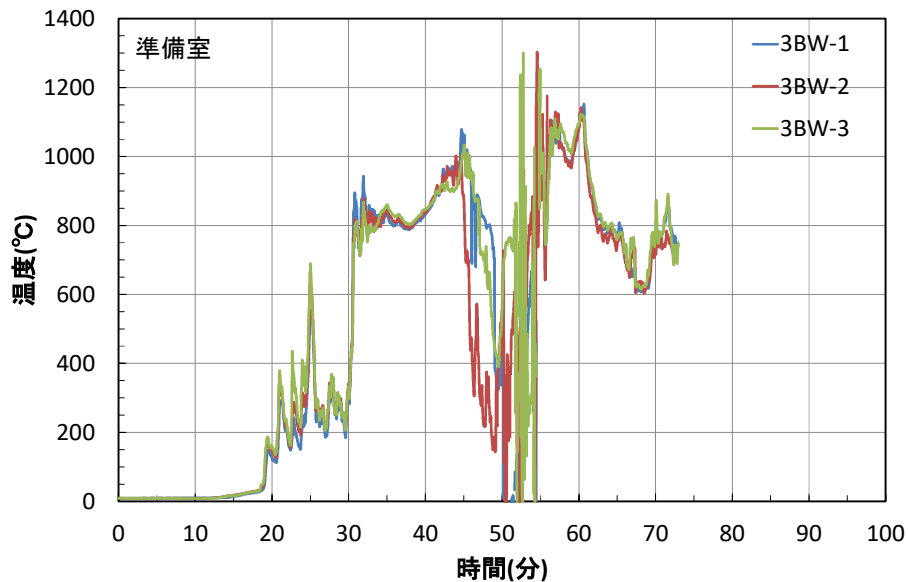


図 2.7.3-24 3階図工準備室 3BW の温度

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。

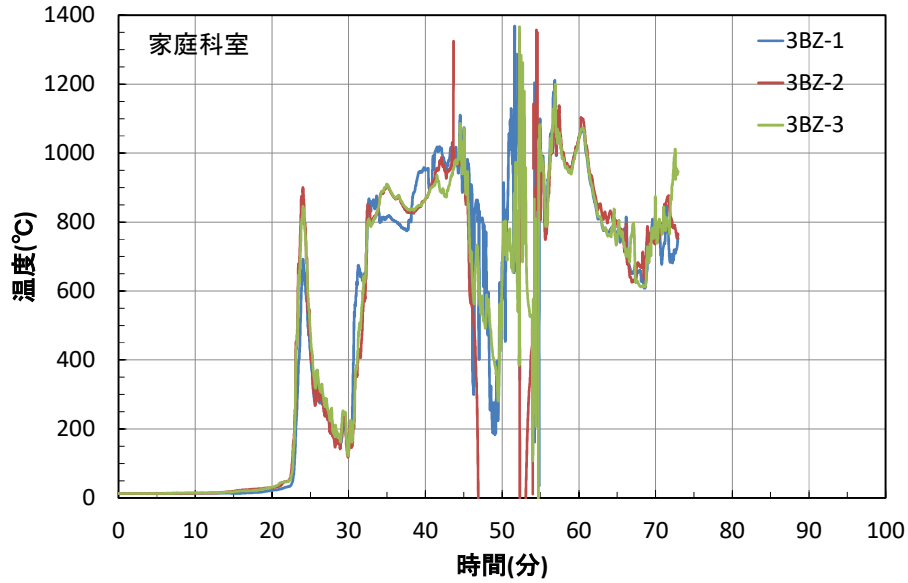


図 2.7.3-25 3階家庭科室 3BZ の温度

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。

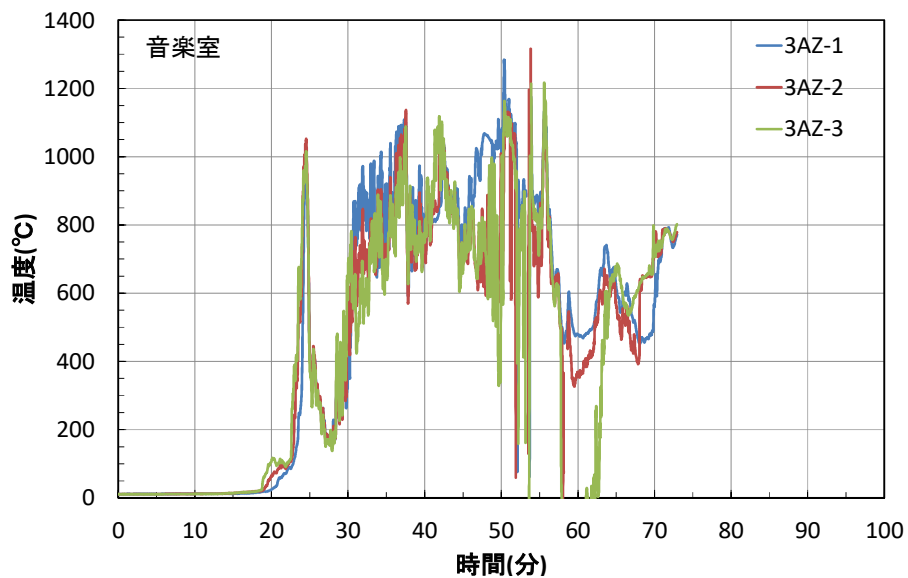


図 2.7.3-26 3階理科室 3AZ の温度

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。

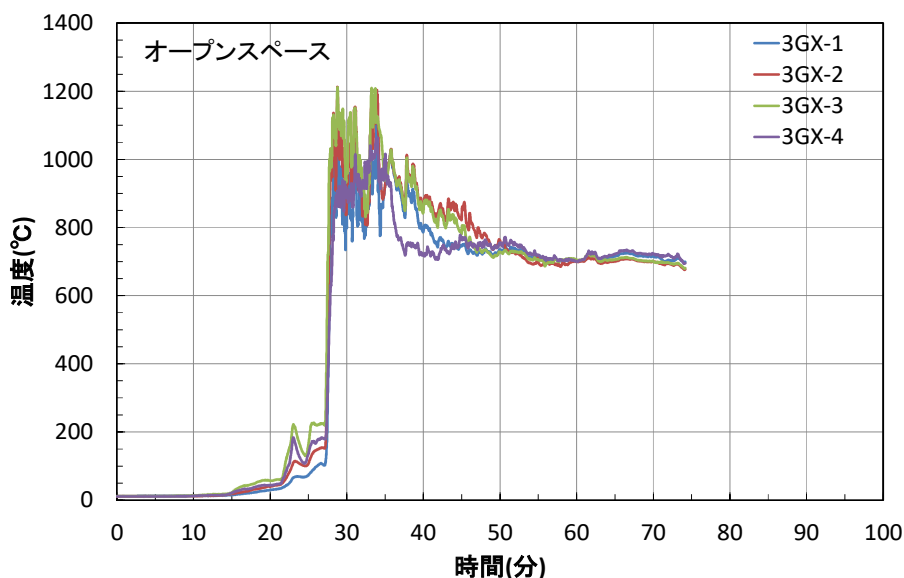


図 2.7.3-27 3階オープンスペース 3GX の温度

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。

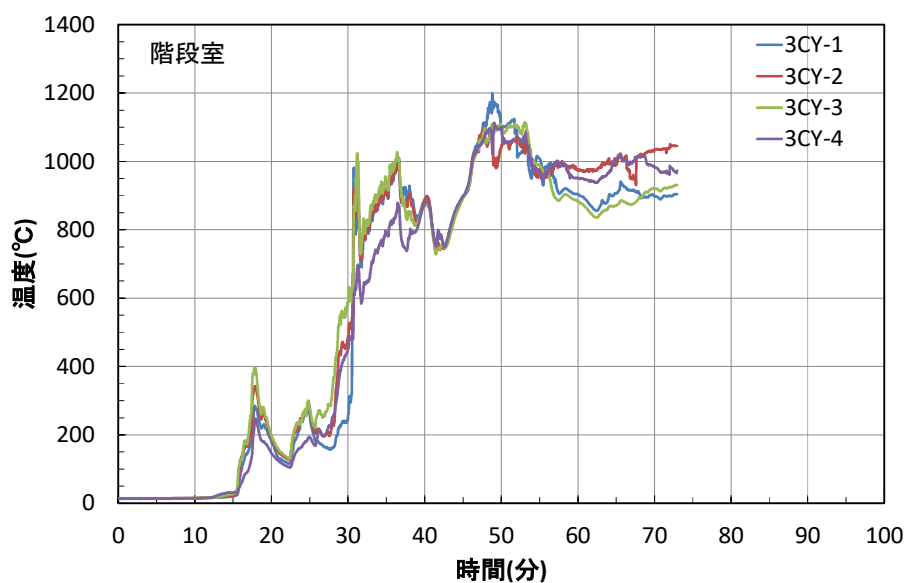


図 2.7.3-28 3階階段室 3CY の温度

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。

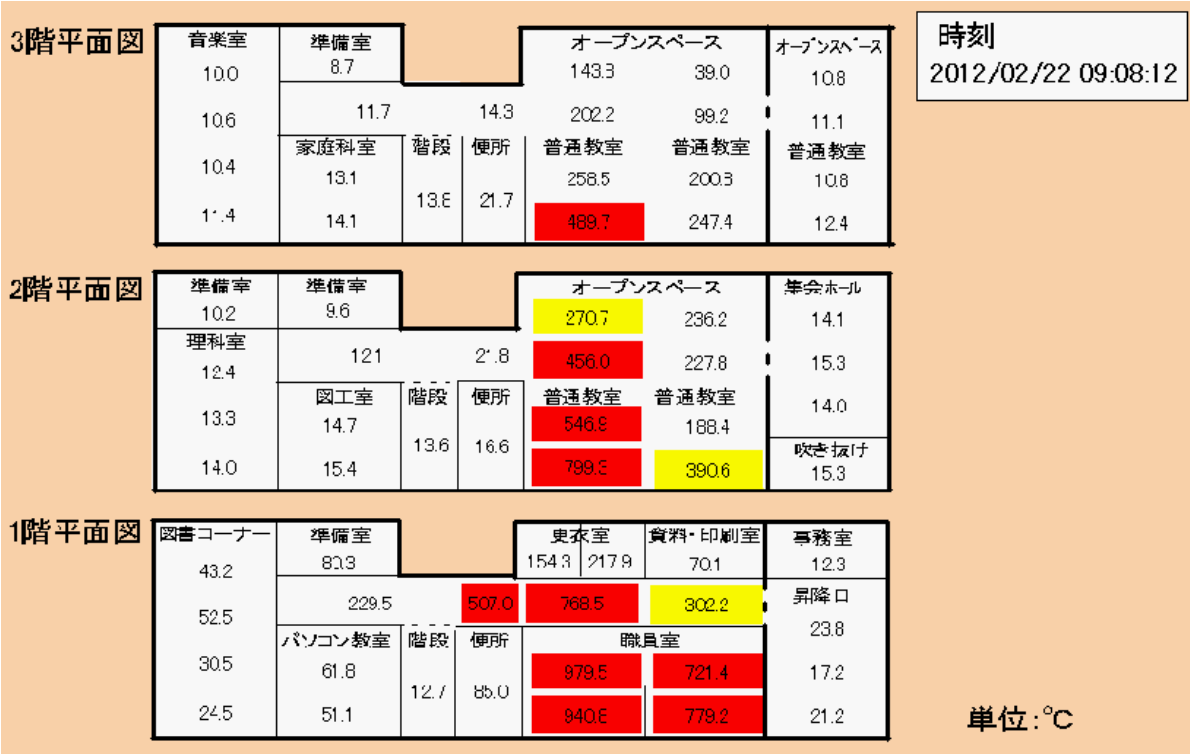


図 2.7.3-29 8分12秒経過時の温度分布

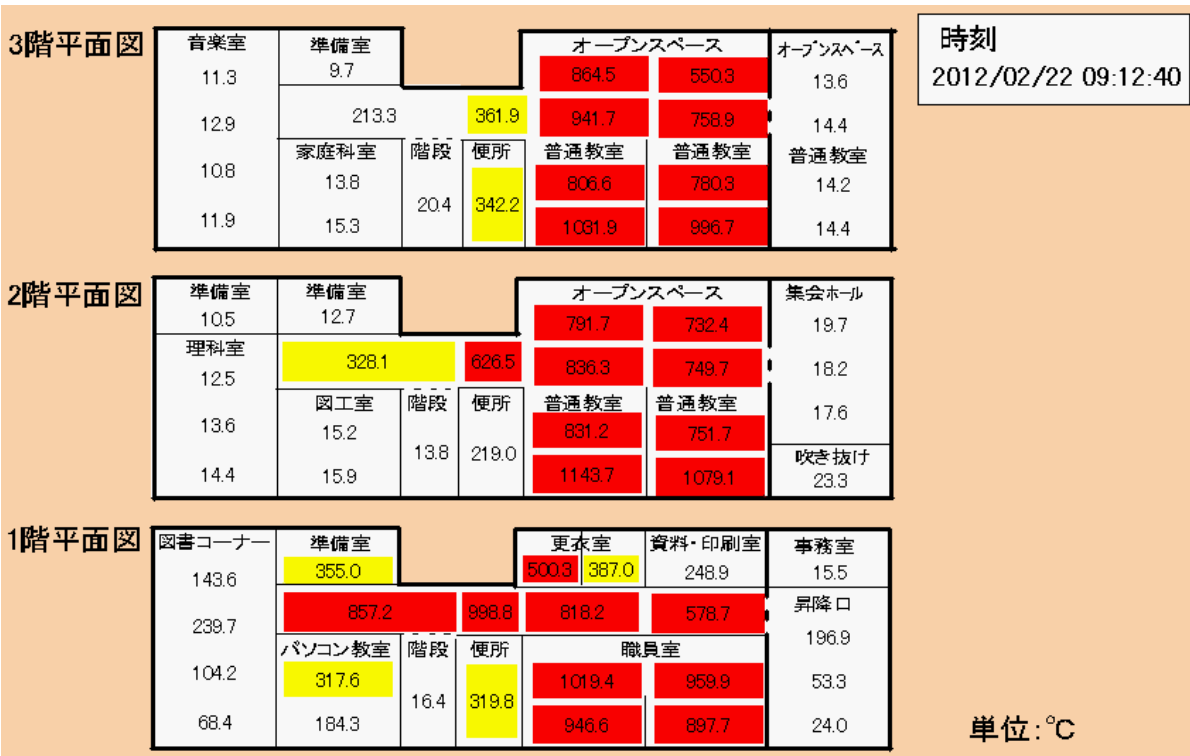


図 2.7.3-30 12分40秒経過時の温度分布

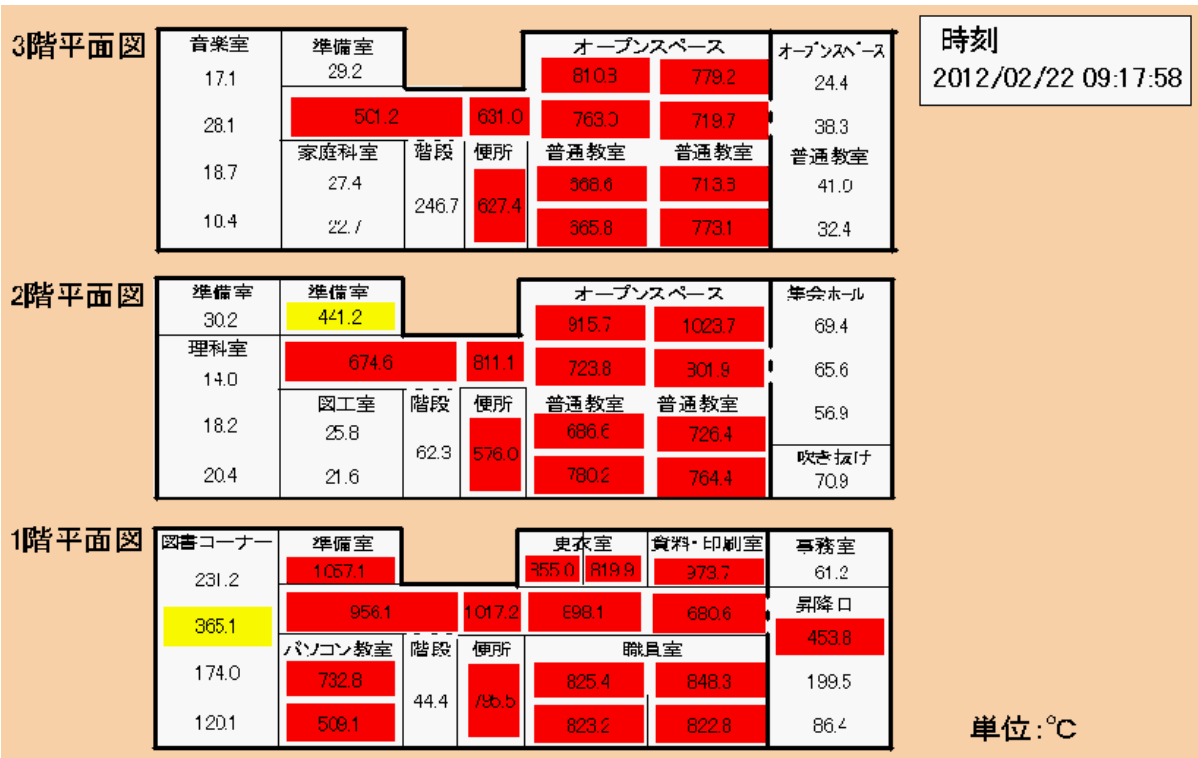


図 2.7.3-31 17分58秒経過時の温度分布

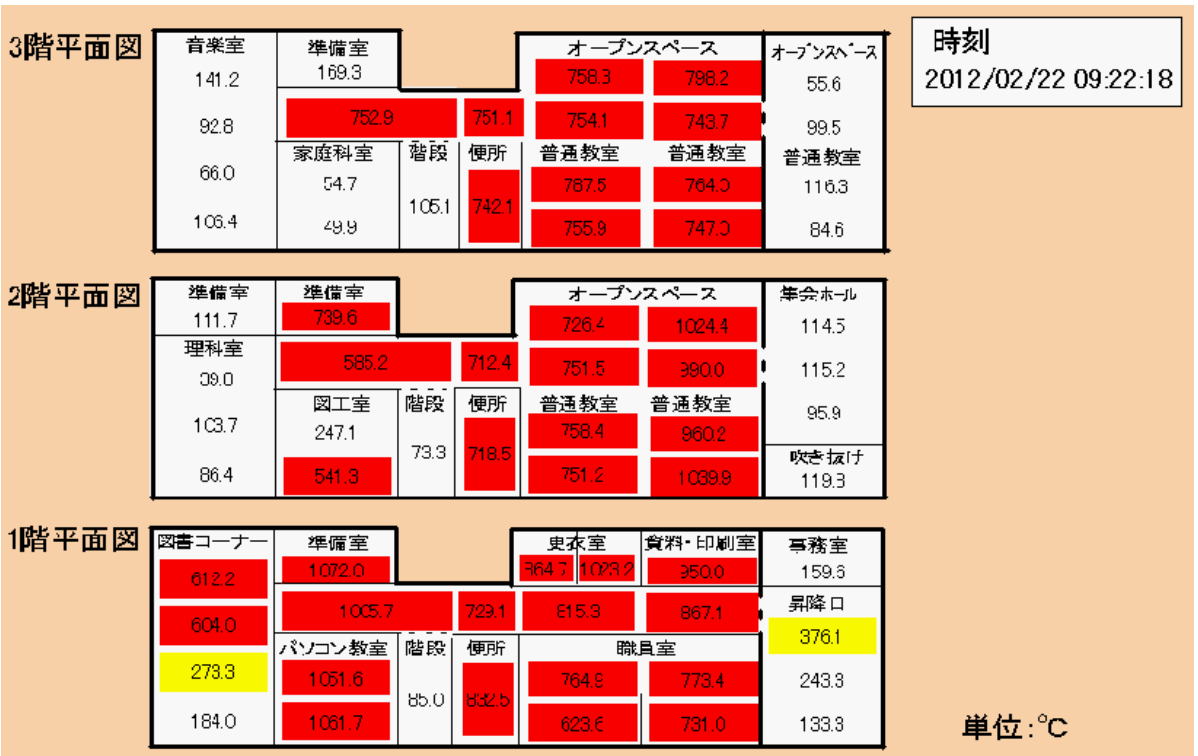


図 2.7.3-32 22分18秒経過時の温度分布

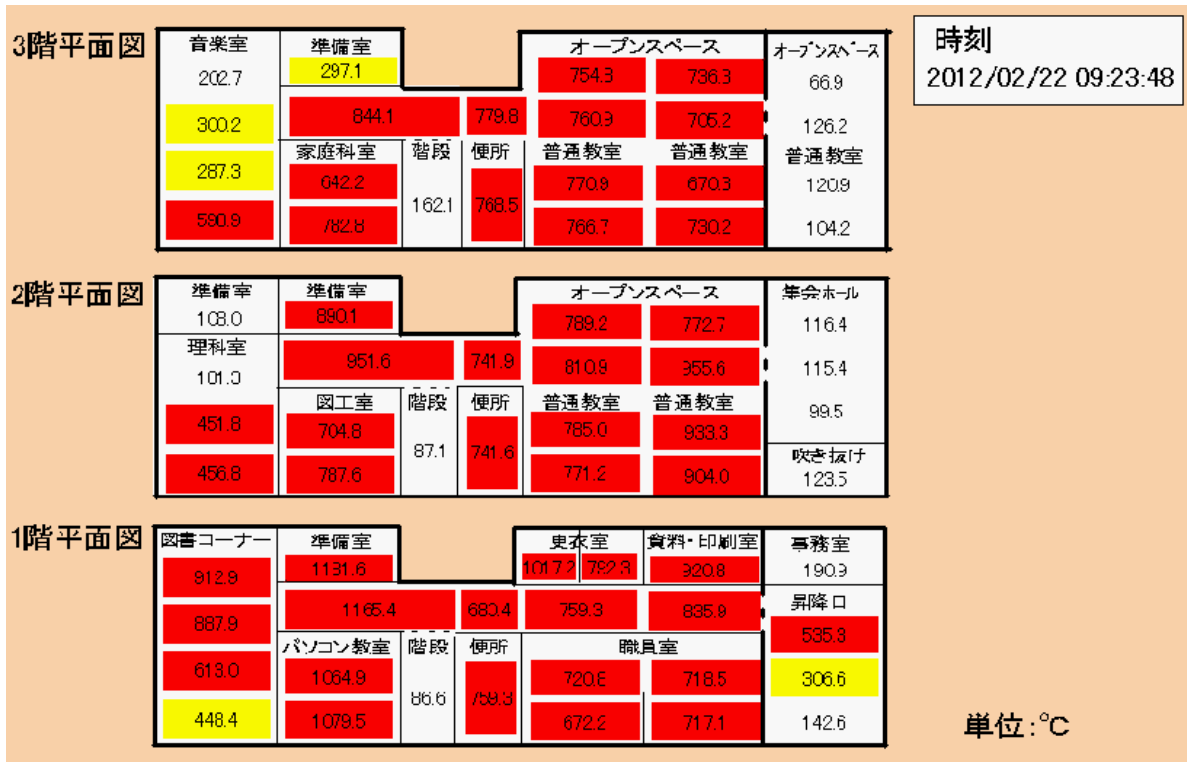


図 2.7.3-33 23分48秒経過時の温度分布

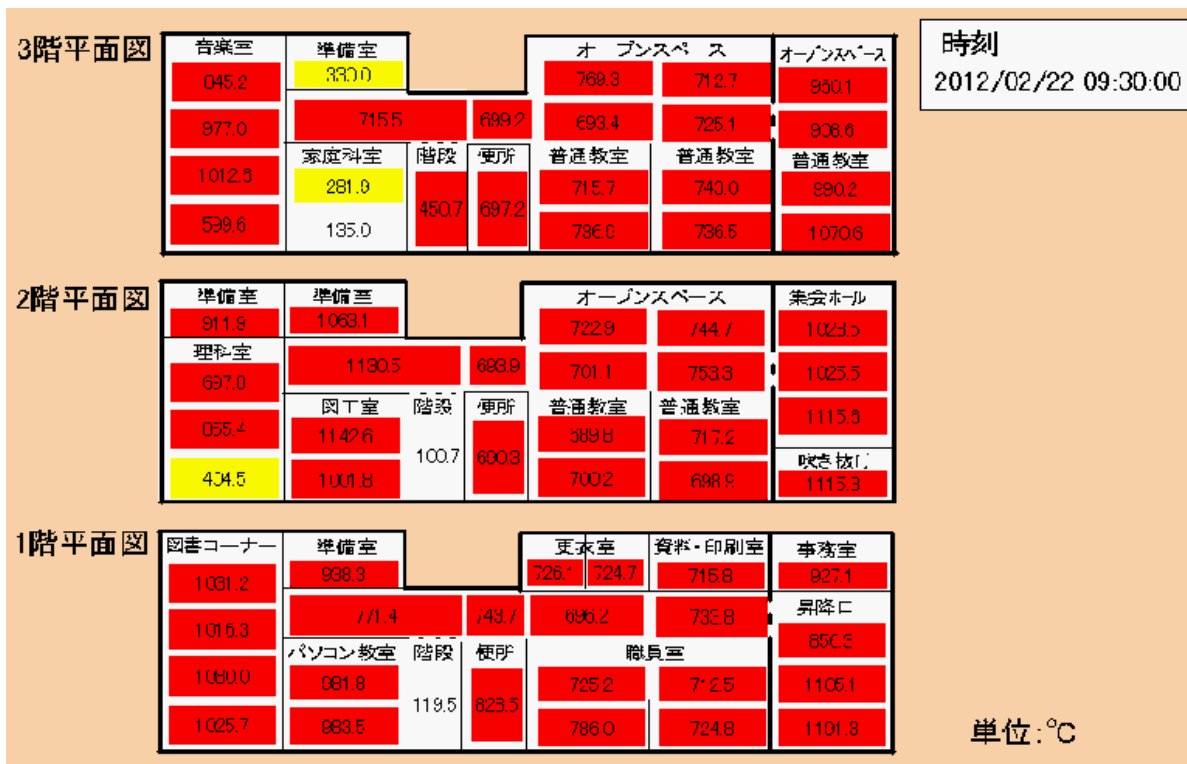


図 2.7.3-34 30分経過時の温度分布

(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。

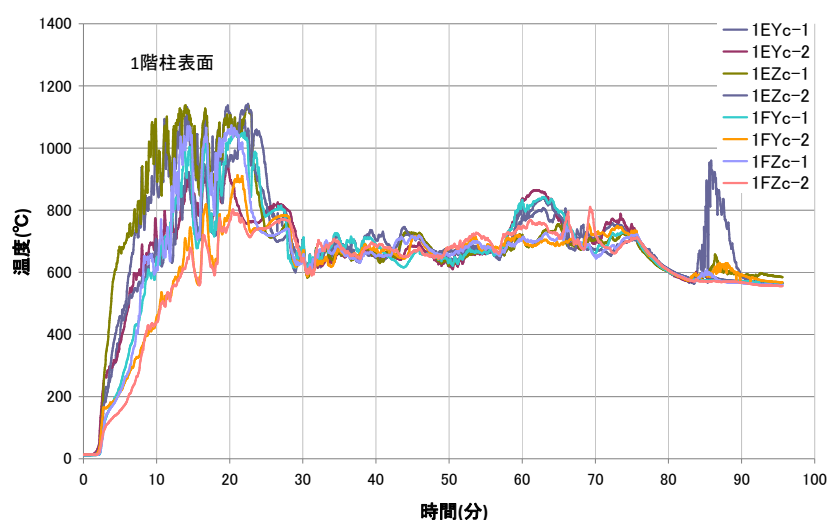


図 2.7.3-36 職員室柱の温度

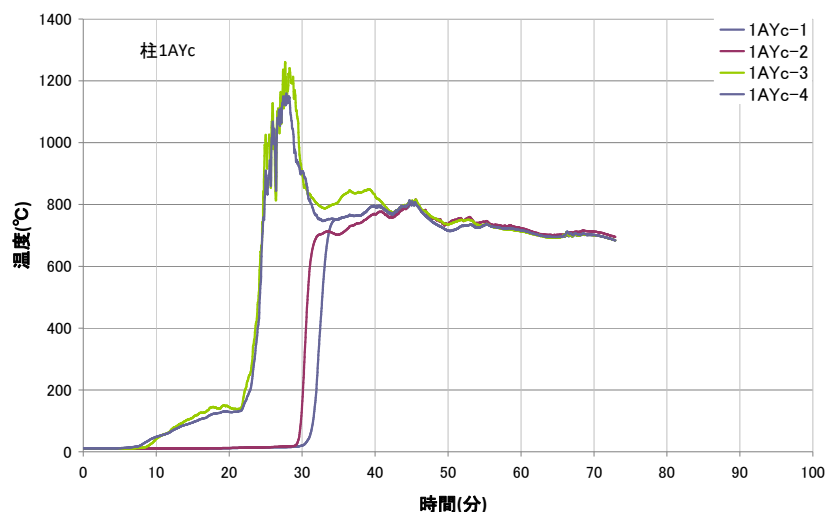


図 2.7.3-37 図書コーナー柱 1AYc の温度

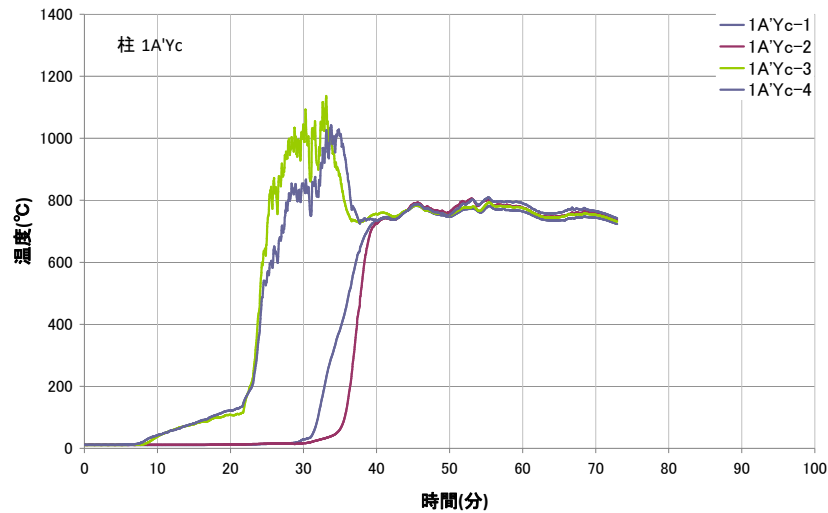


図 2.7.3-38 図書コーナー柱 1A'Yc の温度

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。

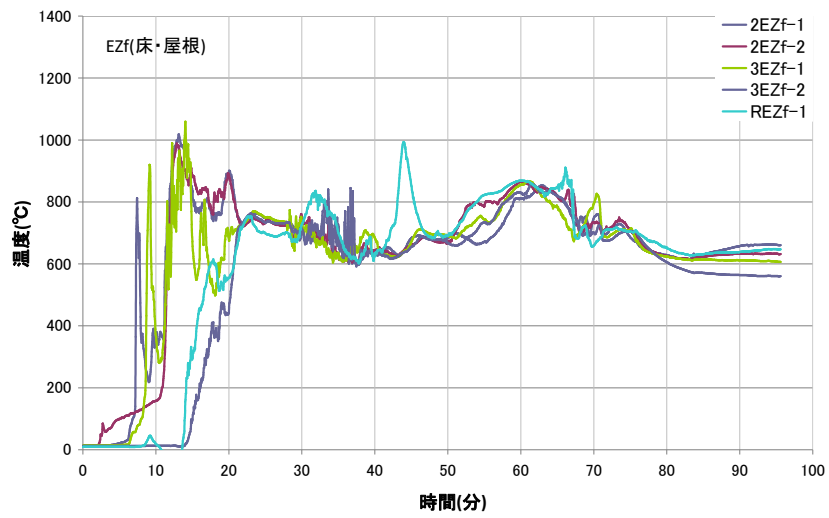


図 2.7.3-39 2、3階普通教室床 EZf および屋根 REZf の温度

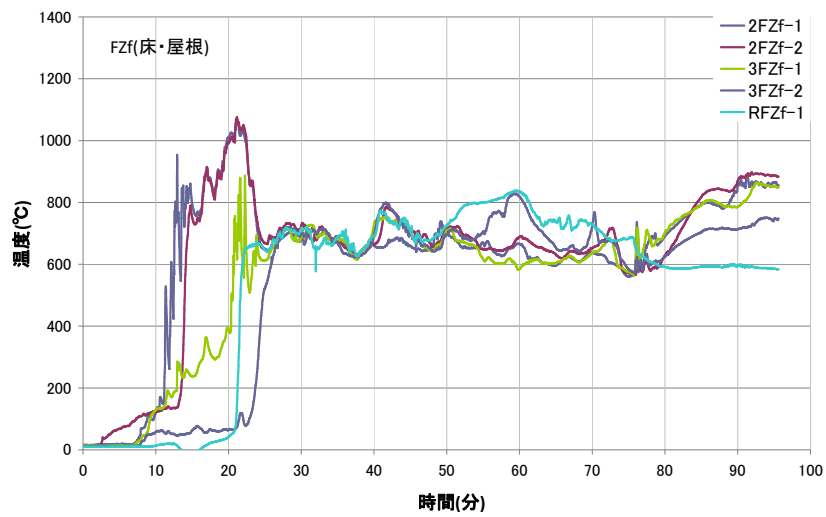


図 2.7.3-40 2、3階普通教室床 FZf および屋根 RFZf の温度

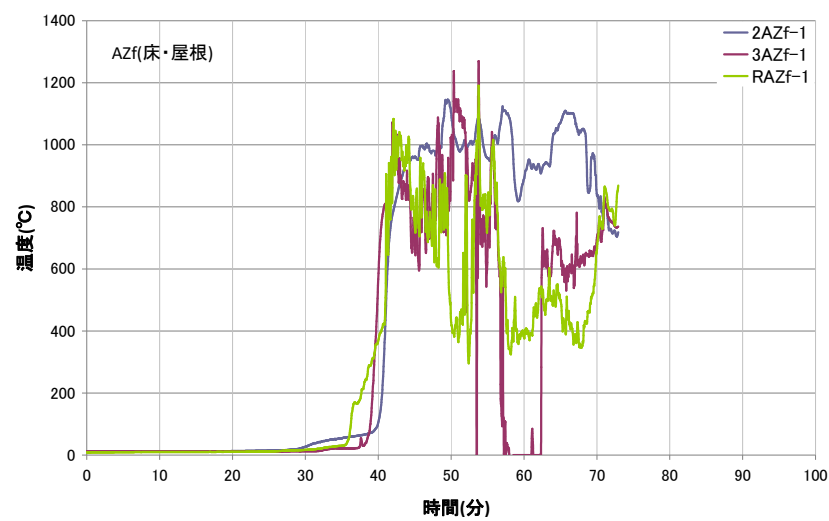


図 2.7.3-41 2、3階音楽室・理科室側床 AZf および屋根 RAZf の温度

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。

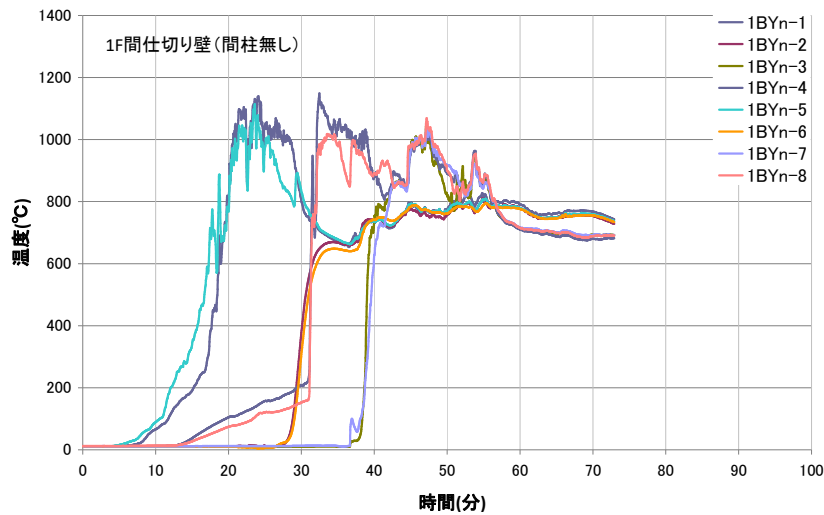


図 2.7.3-42 1階防火区画壁 1BYn の温度

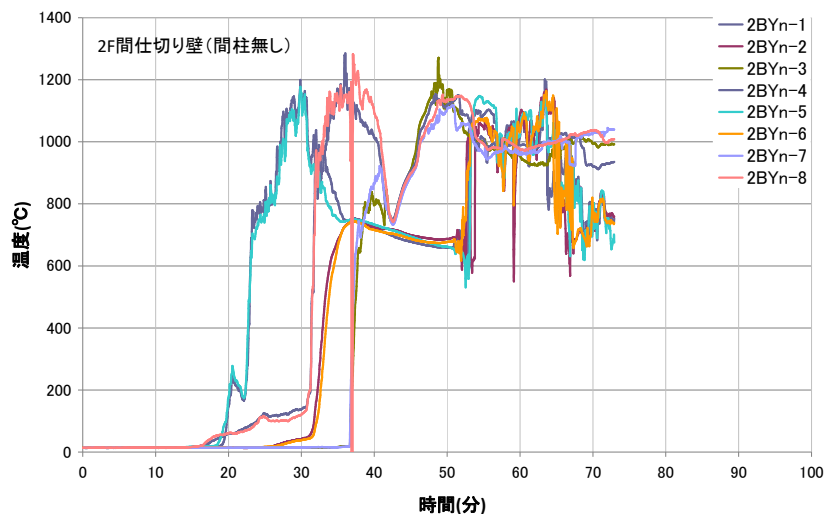


図 2.7.3-43 2階防火区画壁 2BYn の温度

4) 外壁

図 2.7.3-44 より、1 階外壁は、出火室扉前廊下が 450℃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℃に達する 23 分には表面温度が 450℃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℃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℃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℃に達する 27 分頃には表面温度も 450℃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℃に達し、壁内部への延焼を確認した。

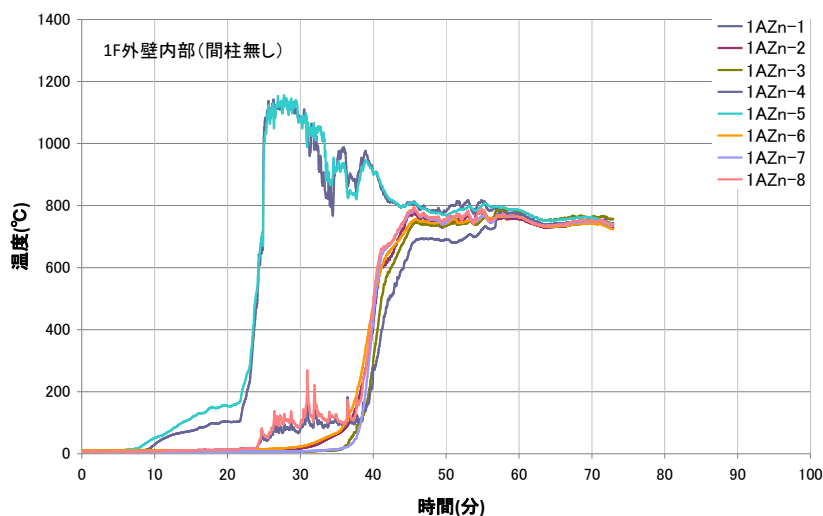


図 2.7.3-44 1 階外壁 1AZn の温度

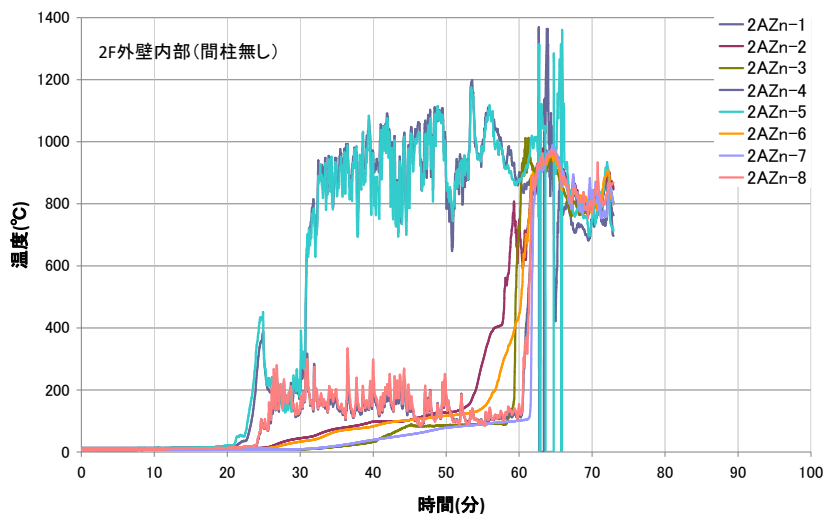


図 2.7.3-45 2 階外壁 2AZn の温度

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。

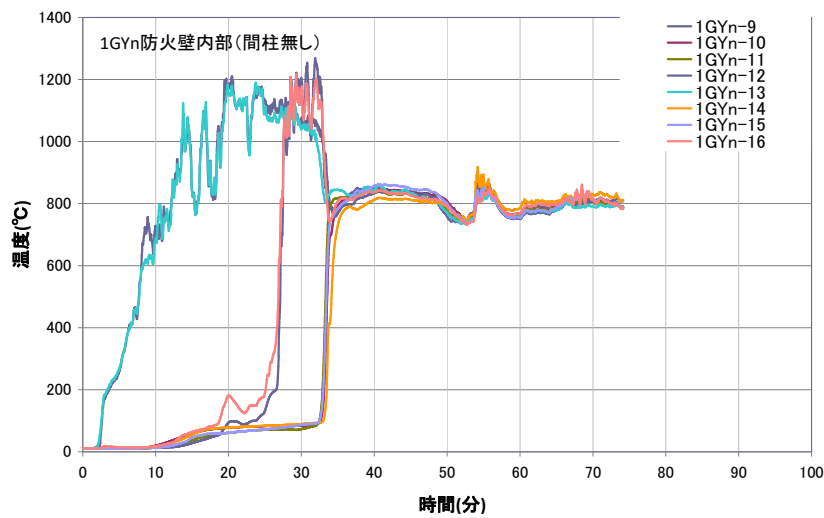


図 2.7.3-46 1 階防火壁 1GYn の温度

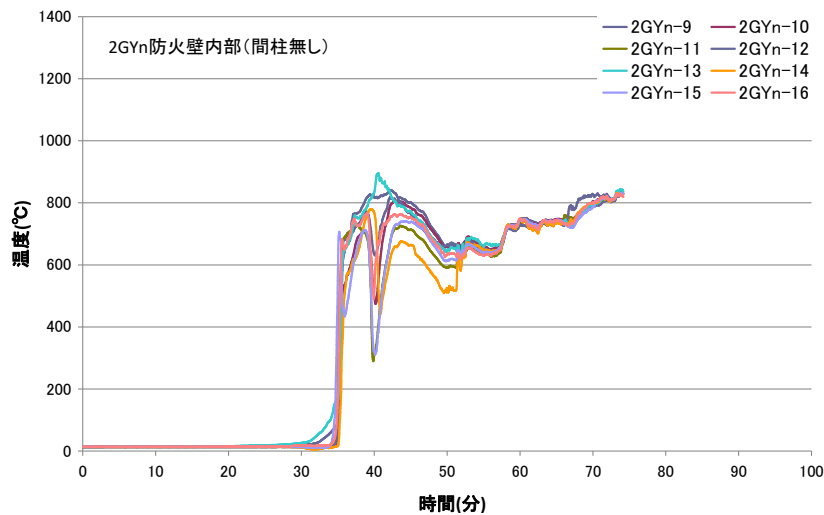


図 2.7.3-47 2 階防火壁 2GYn の温度

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。

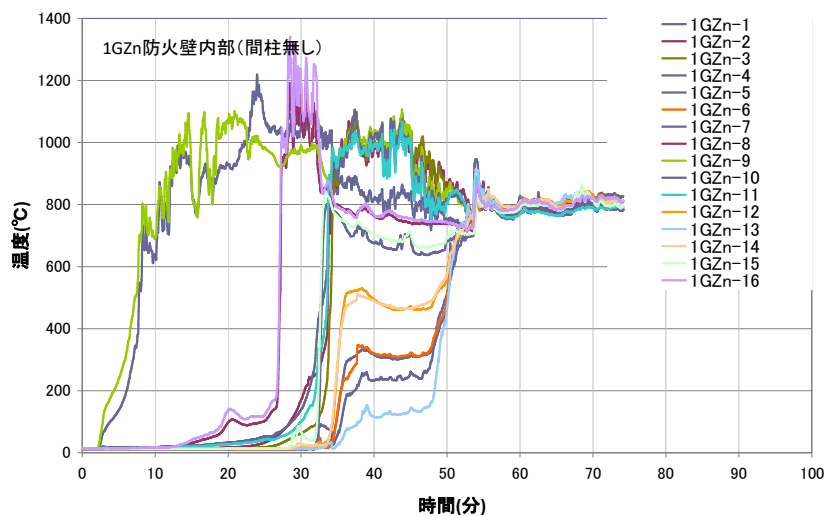


図 2.7.3-48 スギ板張り側 1 階防火壁 1GZn の温度

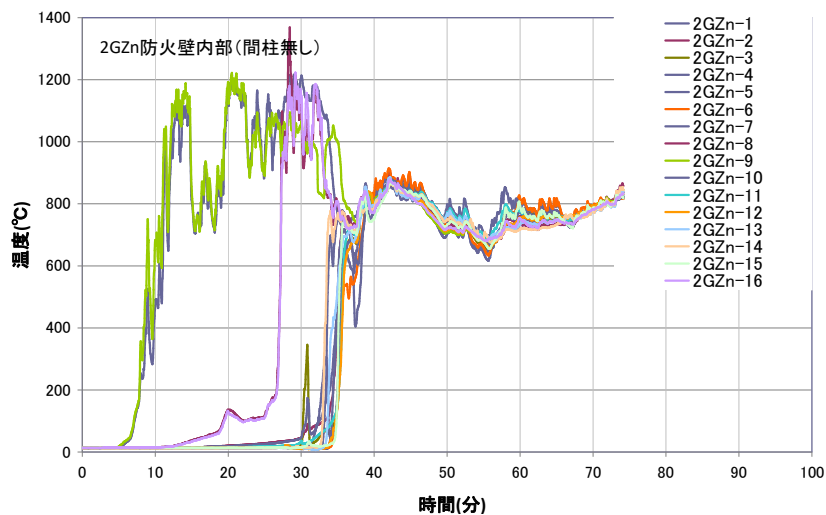


図 2.7.3-49 スギ板張り側 2 階防火壁 2GZn の温度

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

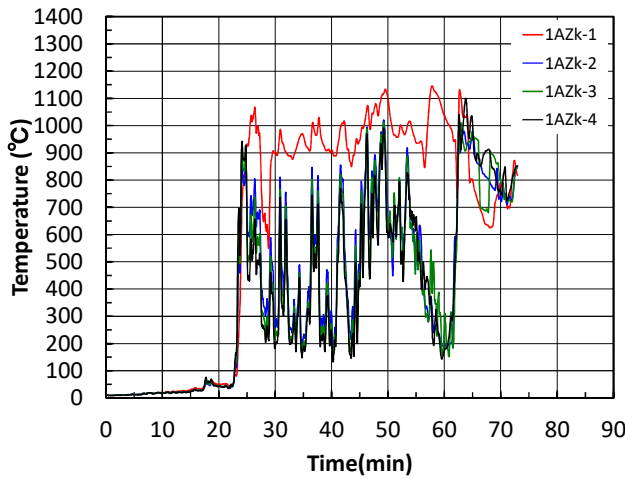
1) 外壁表面温度

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。

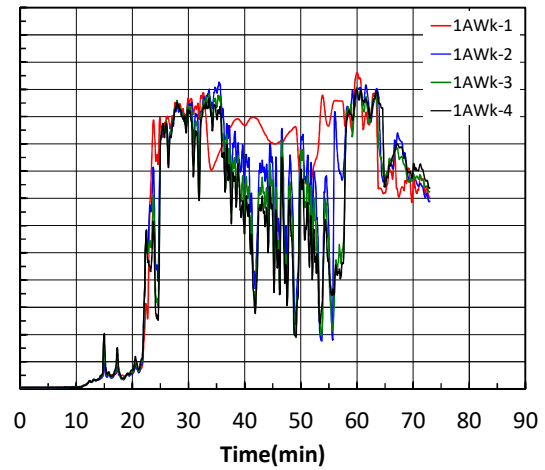
着火点のある E ゾーン南側の外壁表面温度が最も早期に上昇した。着火後約3分には開口部が破損し、大規模な噴出火炎が発生したため、壁面温度も急激に上昇し、950℃程度に達した。

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。

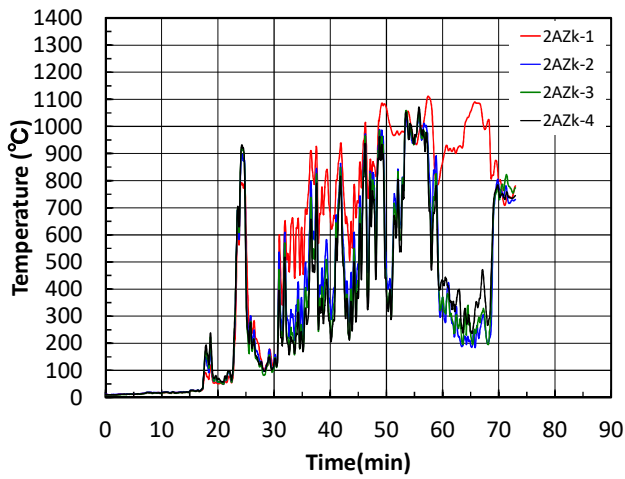
外壁温度の上昇は、開口から噴出する火炎の状況に大きく依存するとともに、外気風の影響を大きく受けている。特に A ゾーンで外気風の影響の大きい2階、3階の外壁温度は南東よりの風の影響を受けて、北側面の温度のほうが高くなる傾向となった。



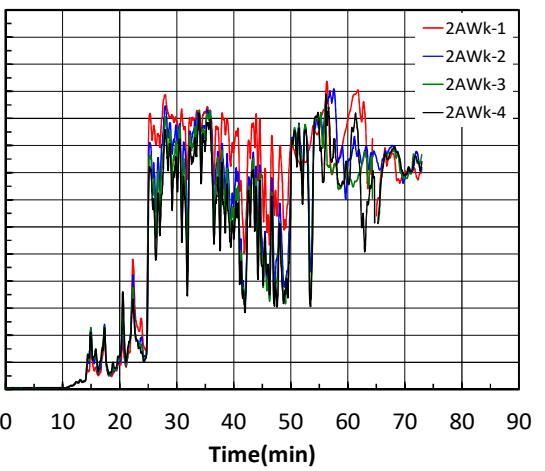
a) 1階 南側壁面



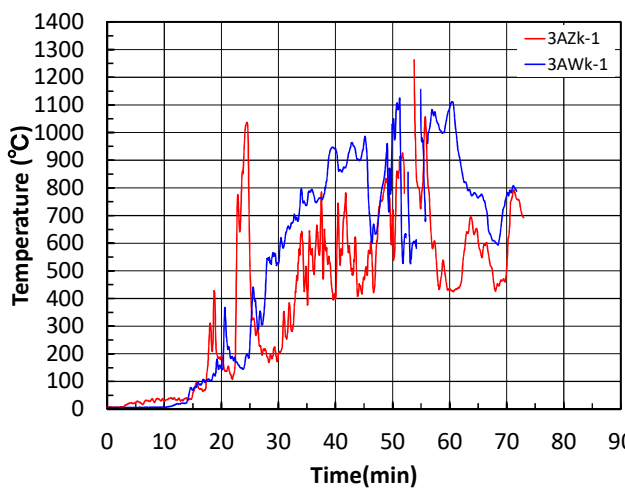
b) 1階 北側壁面



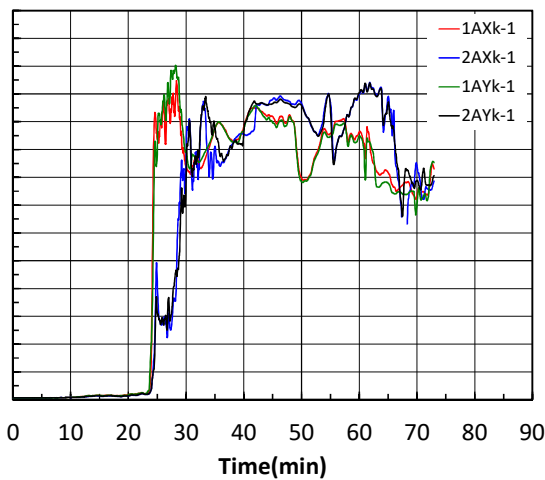
c) 2階 南側壁面



d) 2階 北側壁面

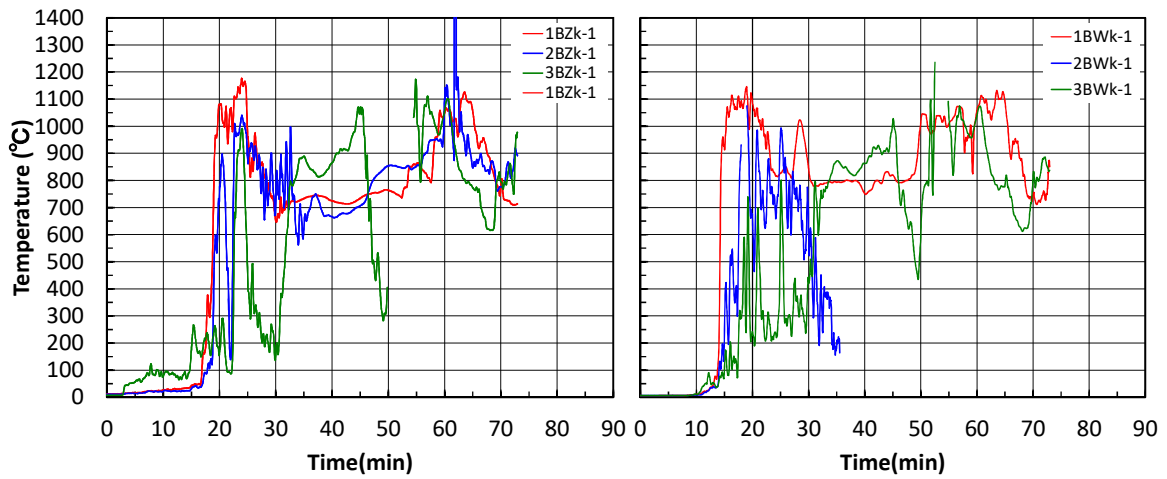


e) 3階 南北壁面



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

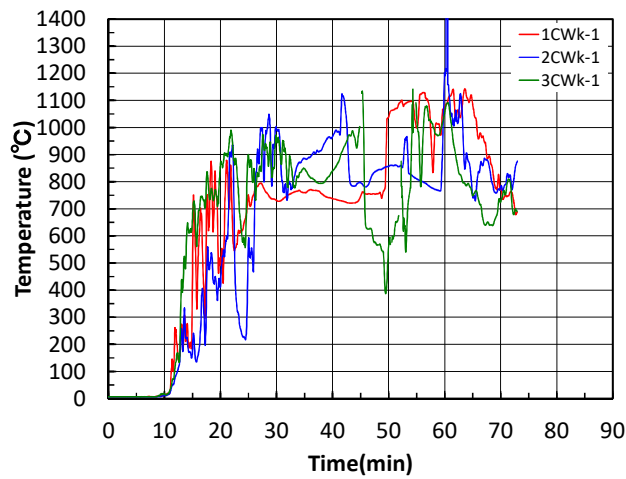
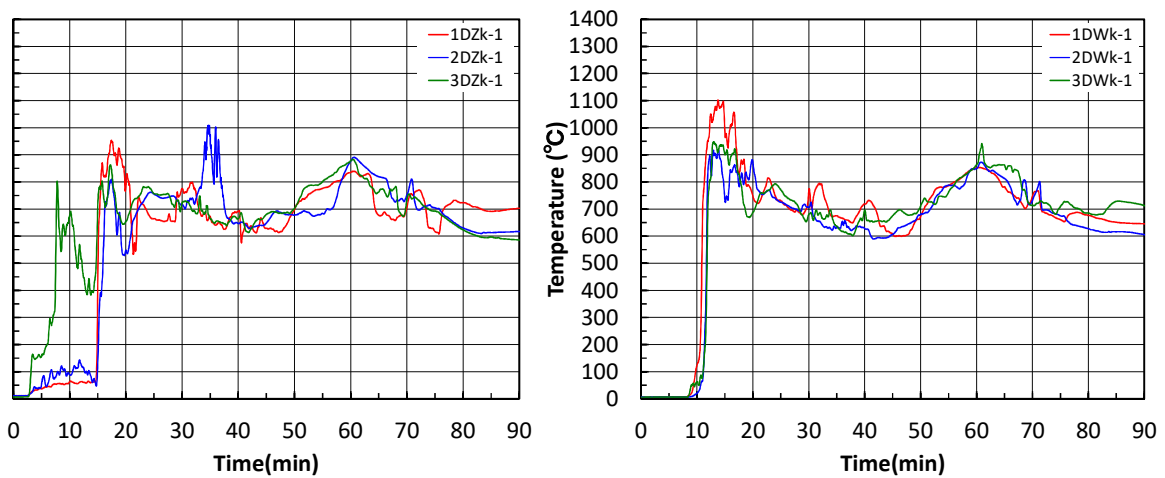


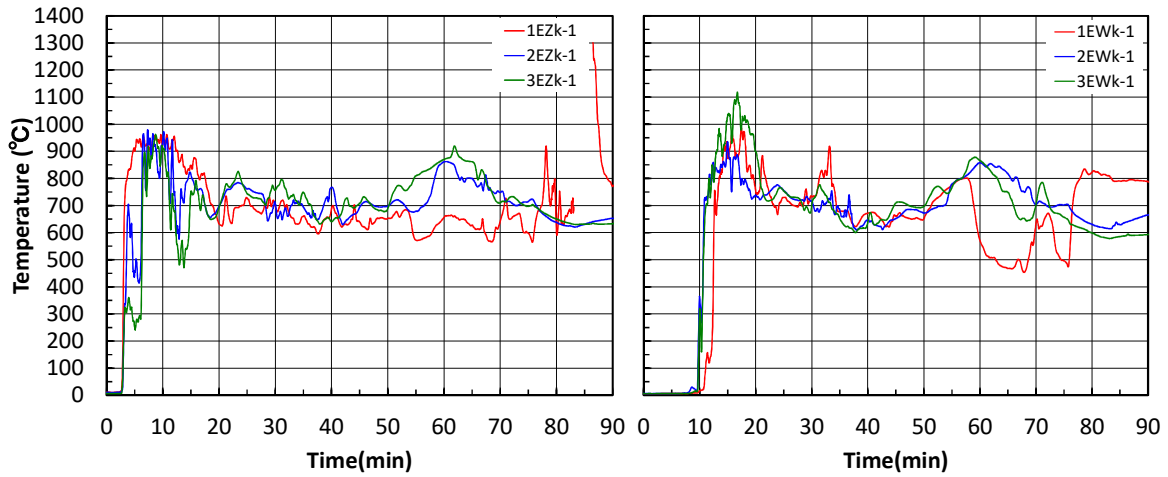
図 2.7.3-52 Cゾーン 北側外壁面 CW の温度



a) 南側壁面

b) 北側壁面

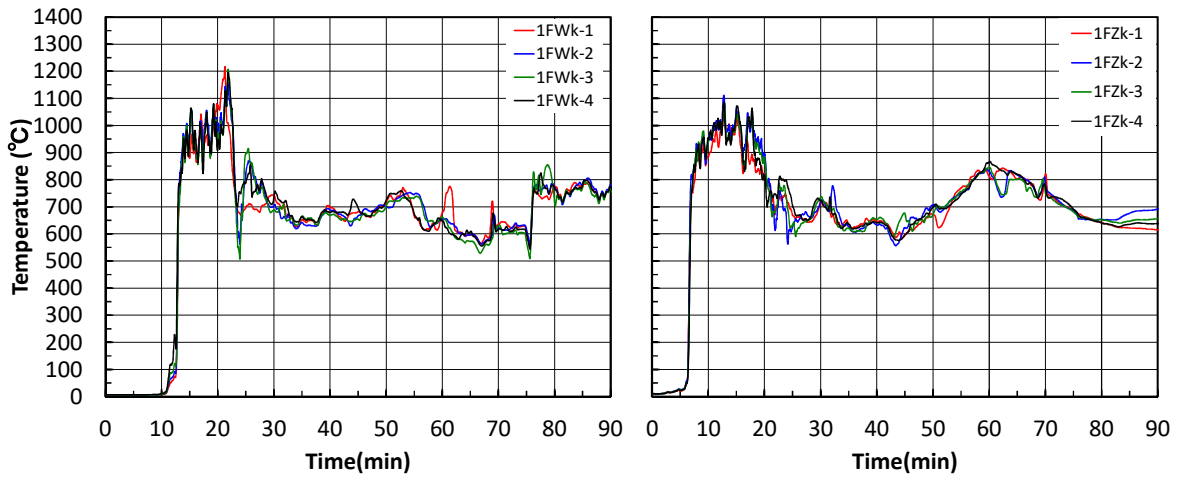
図 2.7.3-53 Dゾーン 北側外壁面 CW の温度



a) 南側壁面

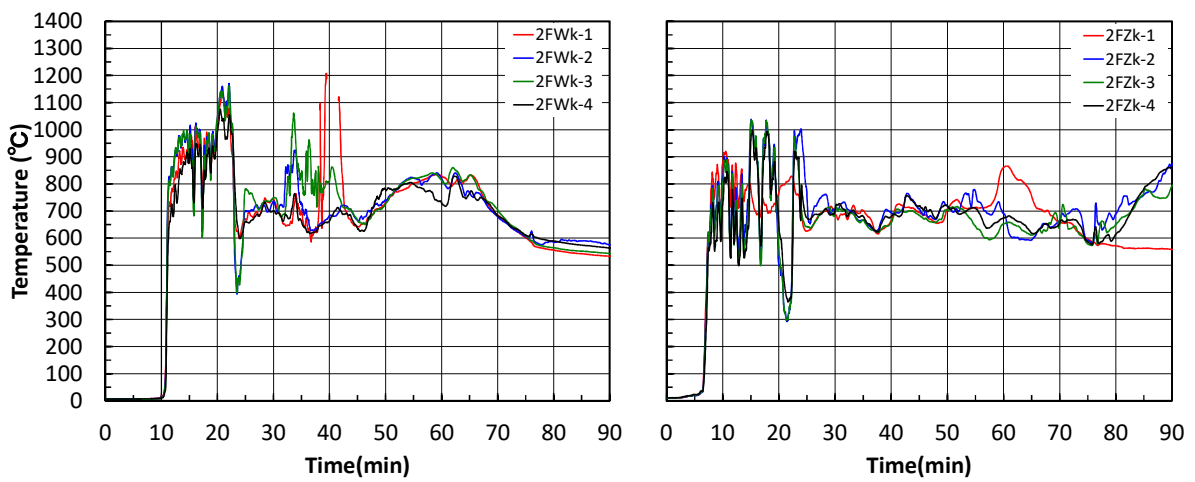
b) 北側壁面

図 2.7.3-54 Eゾーン外壁面の温度



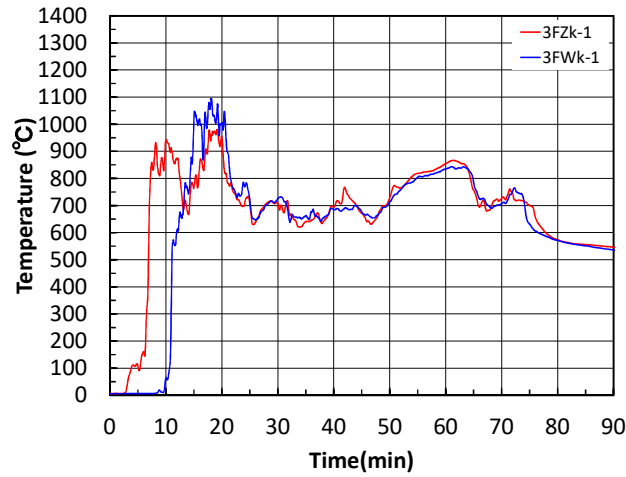
a) 1階 南側壁面

b) 1階 北側壁面



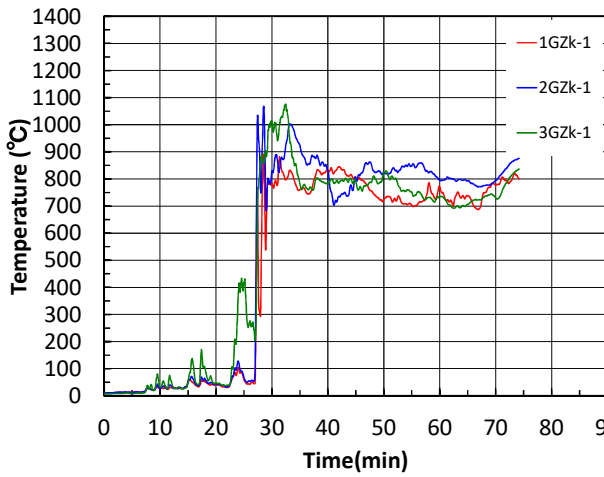
c) 2階 南側壁面

d) 2階 北側壁面

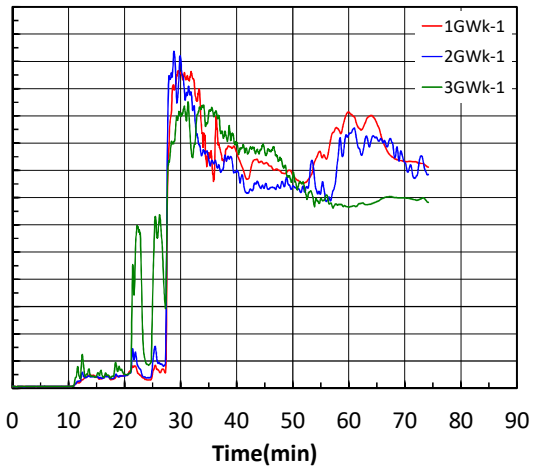


e) 3階 南北壁面

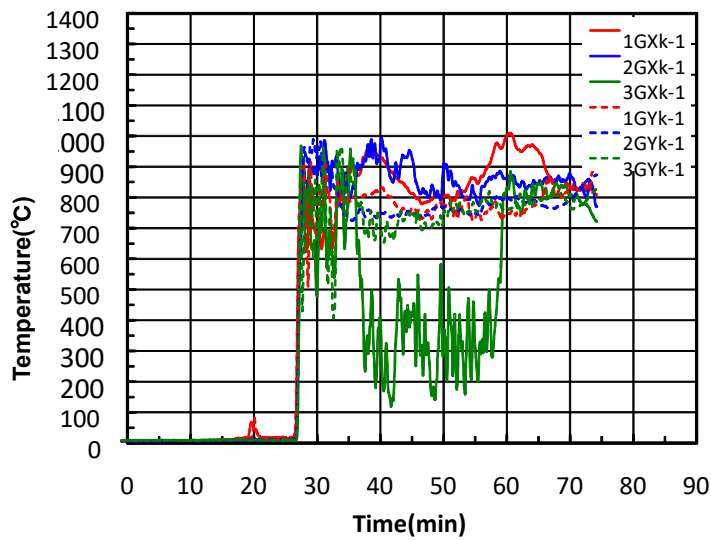
図 2.7.3-55 Fゾーン外壁面の温度



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。

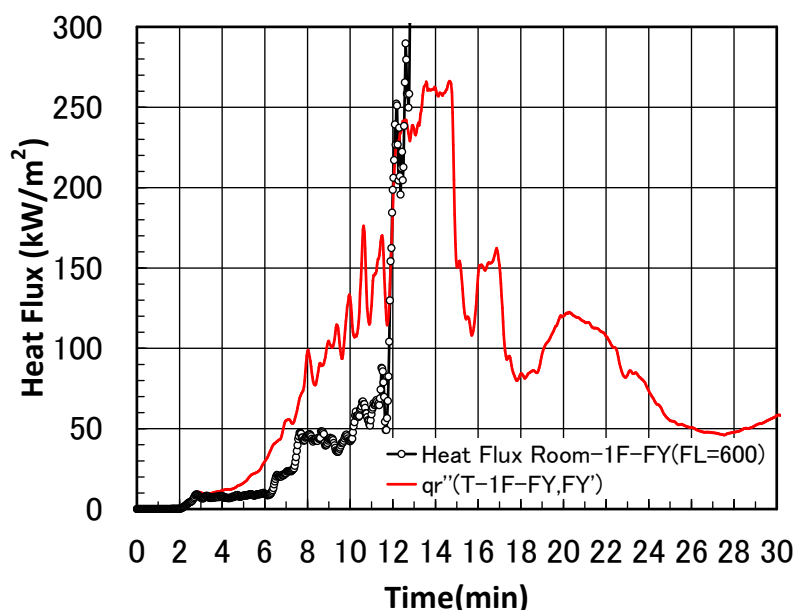


図 2.7.4-1 職員室内の机天板レベルで測定された熱流束と q_r''

(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。

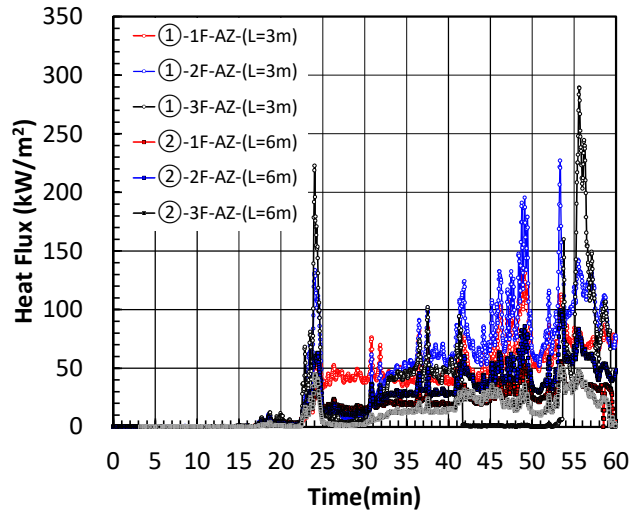


図 2.7.4-2 A ゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

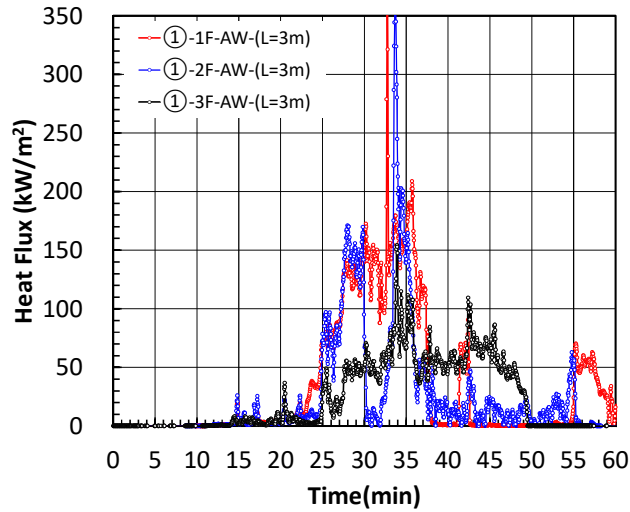


図 2.7.4-3 A ゾーン北側で測定された熱流束(L=3m)

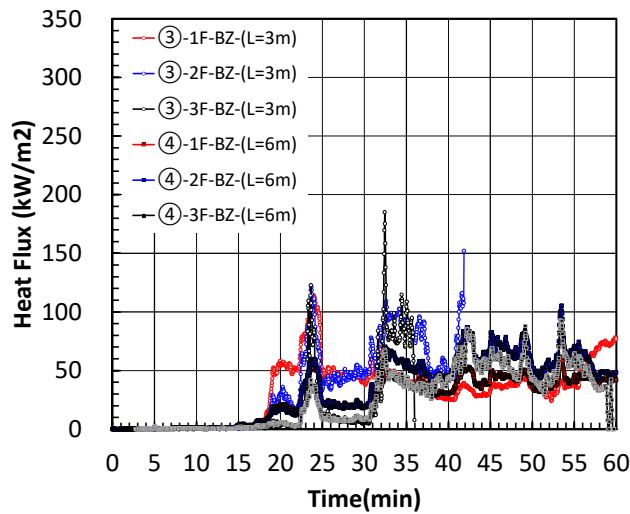


図 2.7.4-4 B ゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

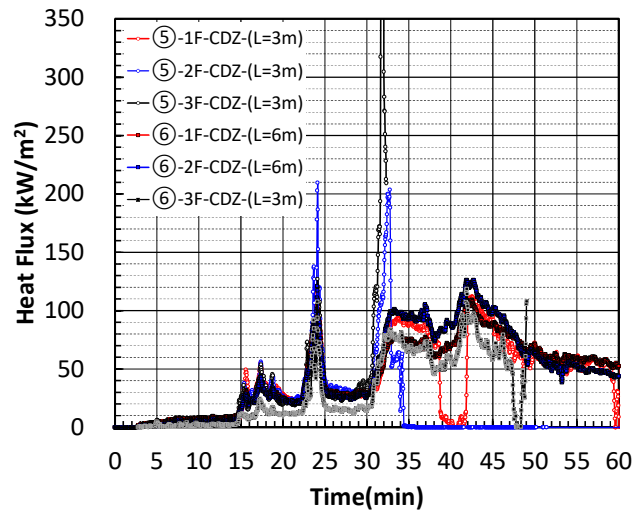


図 2.7.4-5 Cゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

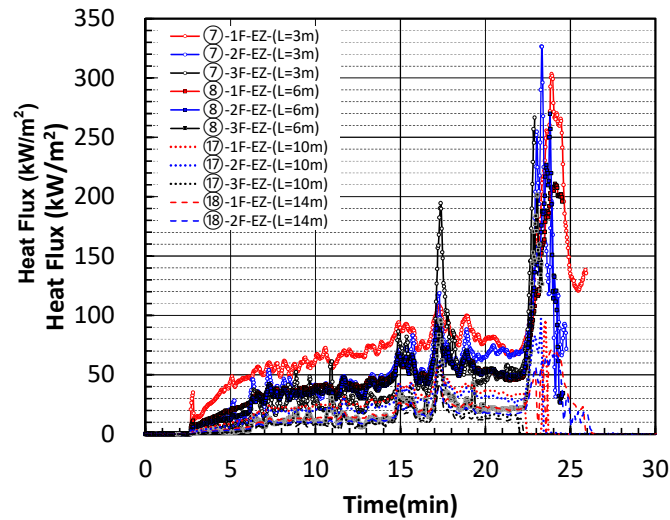


図 2.7.4-6 Eゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m、10m、14m)

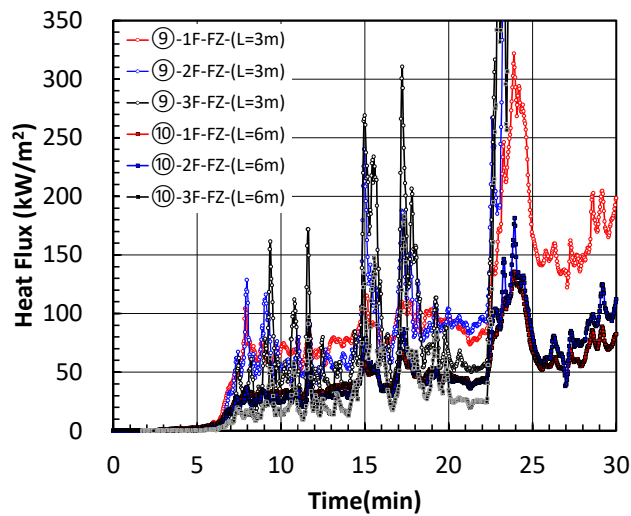


図 2.7.4-7 Fゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

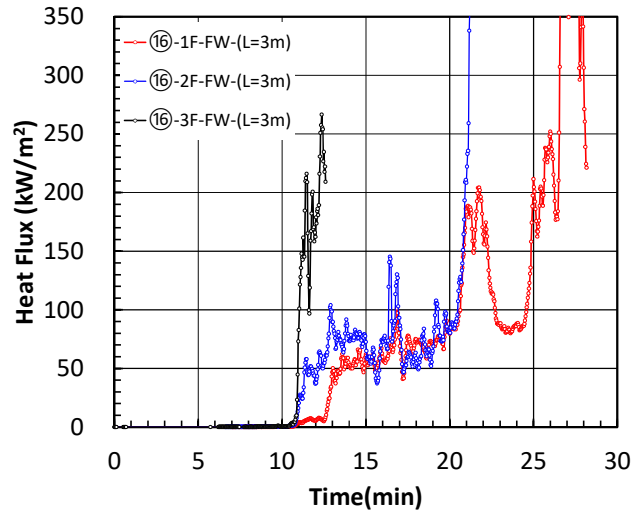


図 2.7.4-8 Fゾーン北側で測定された熱流束(L=3m、6m)

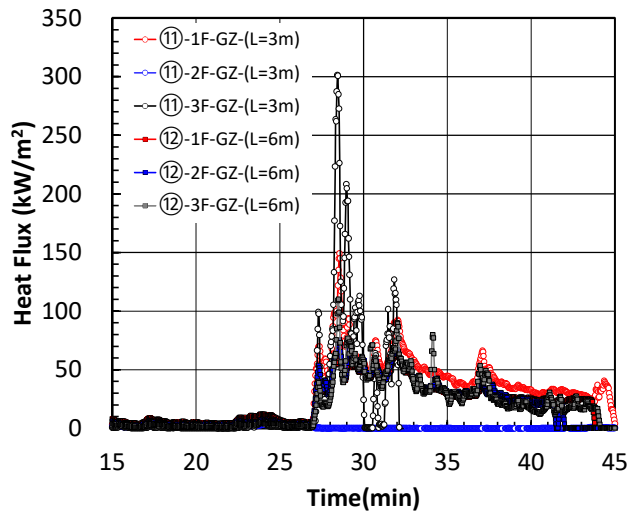


図 2.7.4-9 Gゾーン南側で測定された熱流束(L=3m、6m)

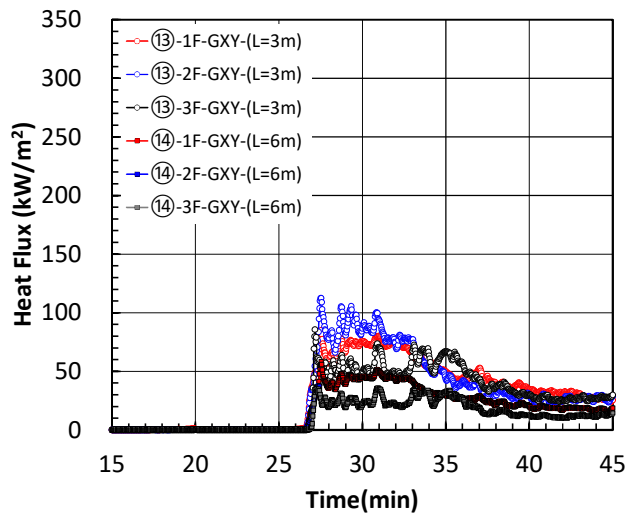


図 2.7.4-10 Gゾーン東側で測定された熱流束(L=3m、6m)

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。

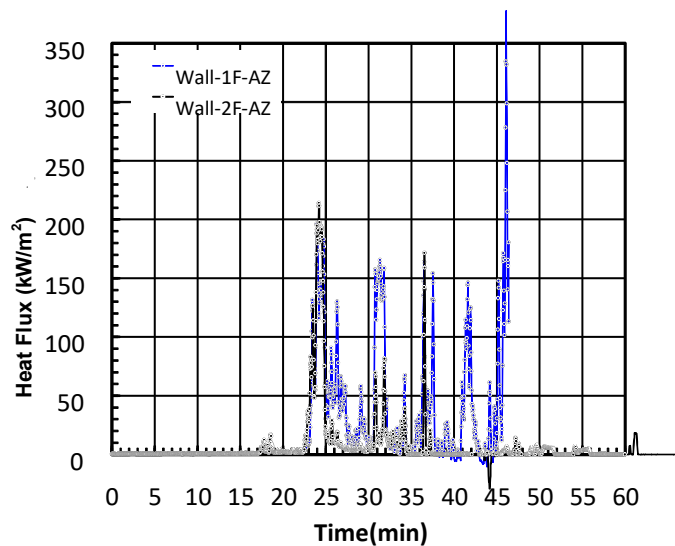


図 2.7.4-11 外壁面 Wall-1F-AZ で測定された熱流束

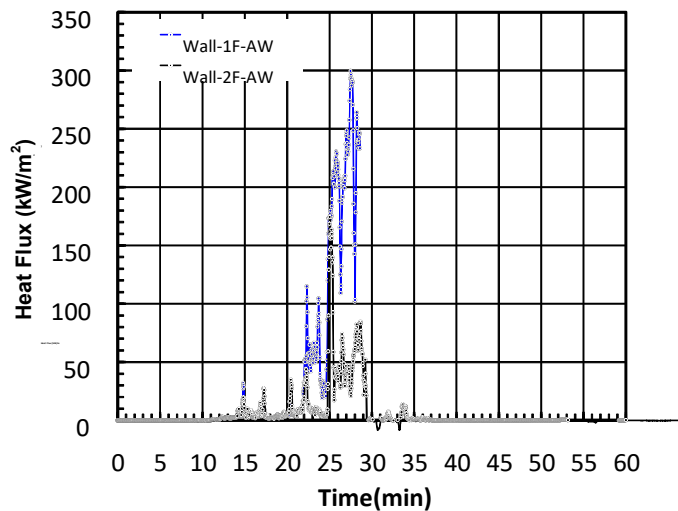


図 2.7.4-12 外壁面 Wall-AW で測定された熱流束

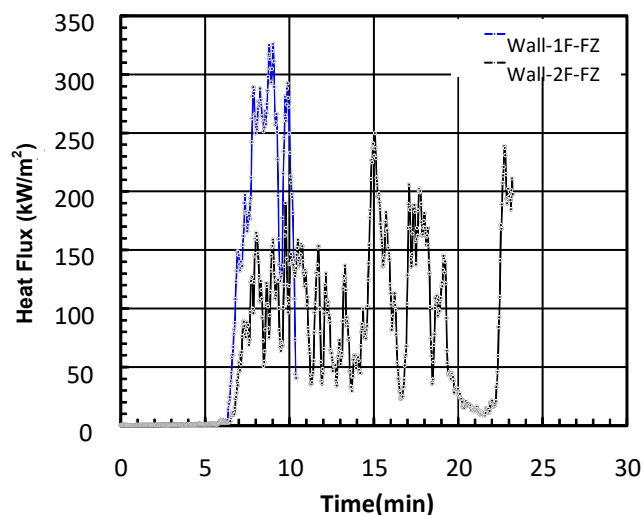


図 2.7.4-13 外壁面 Wall-FZ で測定された熱流束

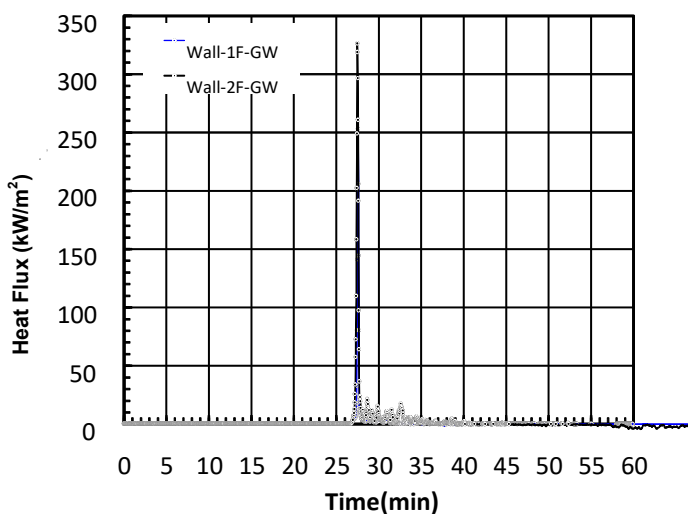


図 2.7.4-14 外壁面 Wall-GW で測定された熱流束

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。

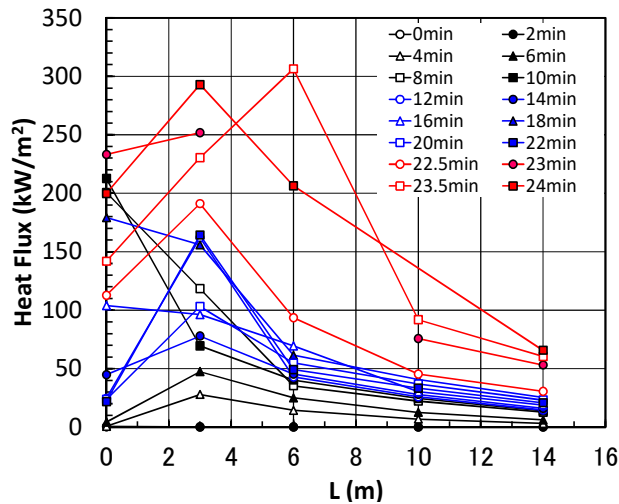


図 2.7.4-15 離隔距離と測定された熱流束の関係

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)

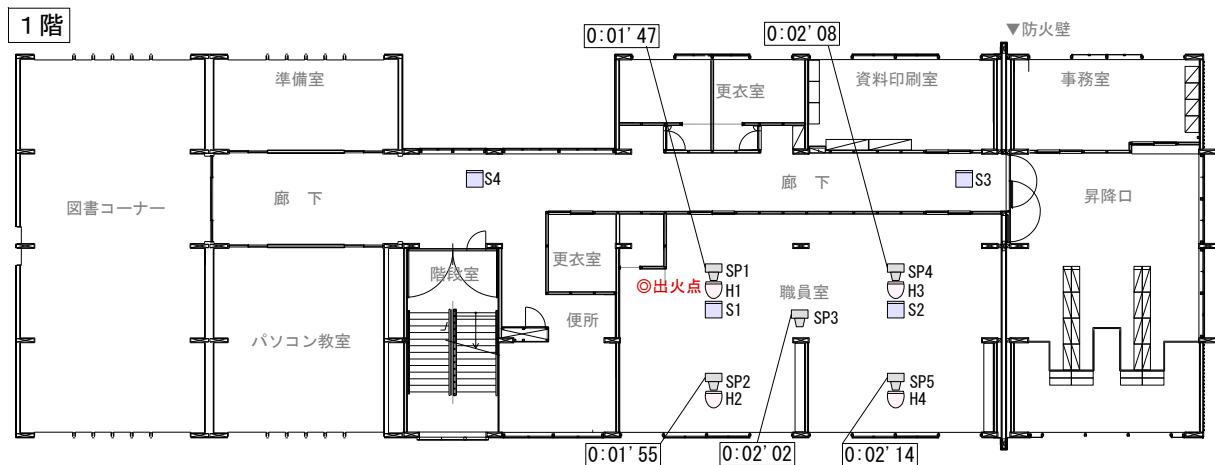


図 2.7.5-1 スプリンクラーヘッド発報時間

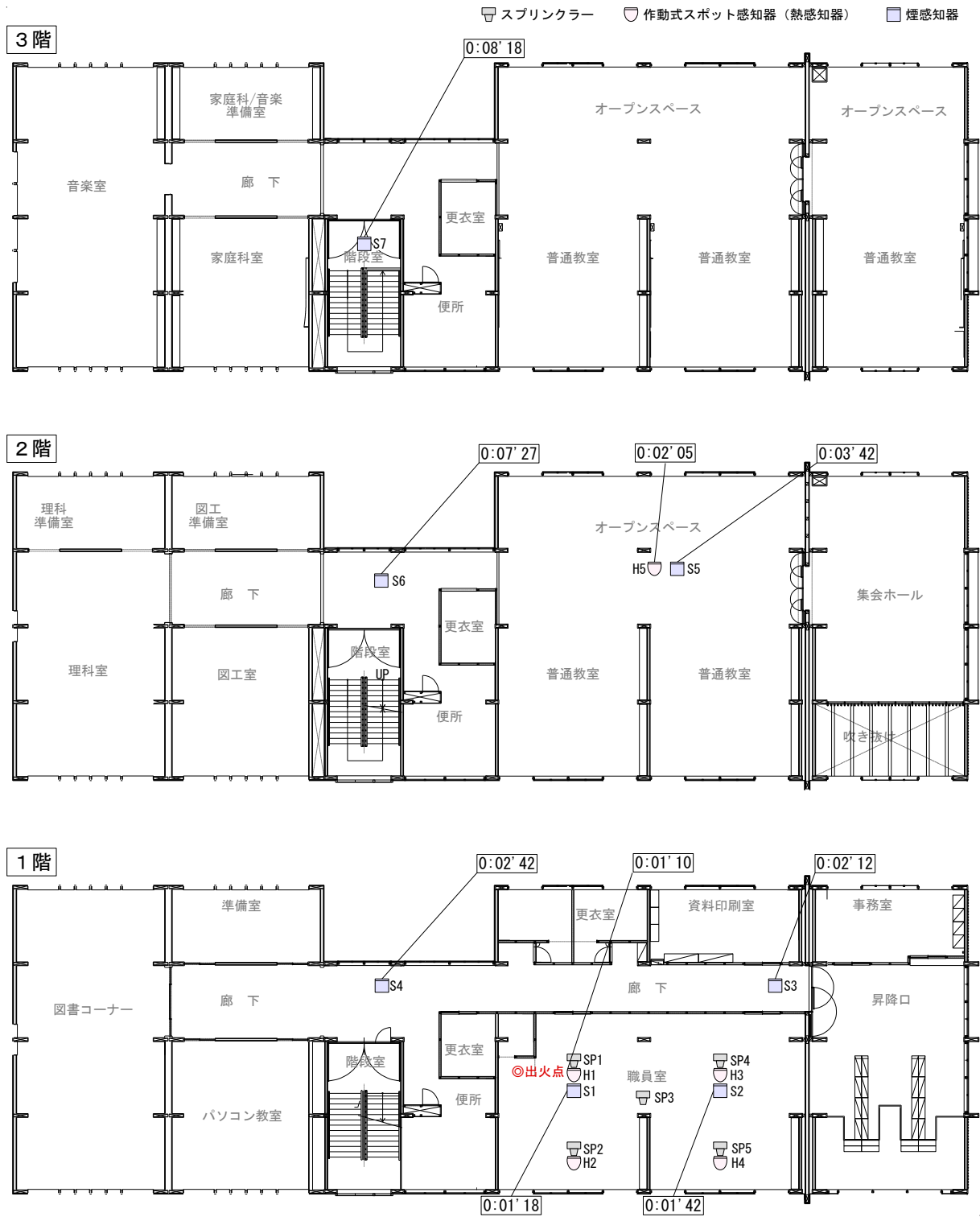


図 2.7.5-2 火災感知器発報時間

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。

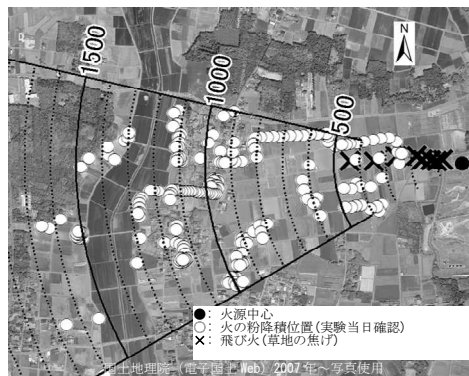


図 2.7.6-1 火の粉の飛散、降積範囲

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。

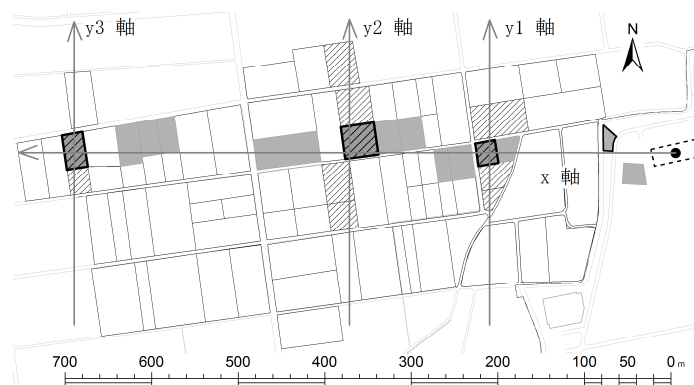


図 2.7.6-2 火の粉を収集した区画

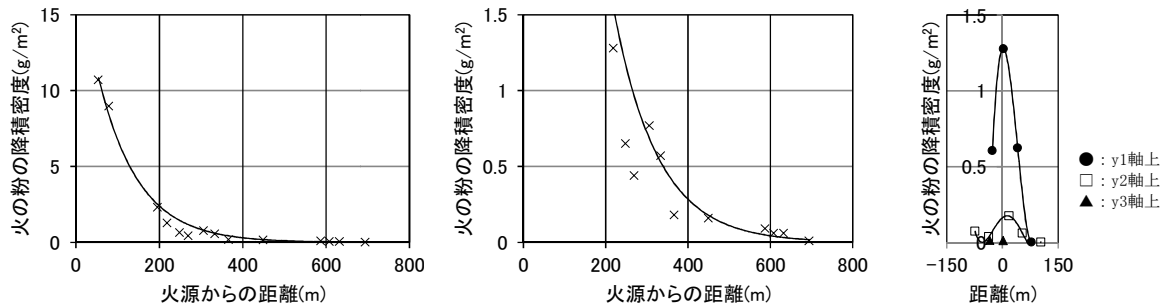
区画の中には畑地もあり、数 mm 以下の火の粉の降積を確認するのは困難であった。おおよそ 5mm 以上の火の粉を対象に収集した。収集した火の粉は、混入した小石や泥などを除くため、開き目 5mm のふるいにかけた。残ったものを質量の変化がなくなるまで乾燥機内で十分に乾燥させ (104°C12 時間乾燥させ)、総質量を測定した。計量には、秤量 33kg、最小表示 0.1g の台はかりを使用した。区画内で収集した火の粉の総質量を区画面積で除して火の粉の降積密度を算出した。降積密度の代表点は区画中心とすべきであるが、x 軸 (東→西方向、卓越風向) にほぼ沿う区画 (図 2.7.6-2 のグレーの区画) 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

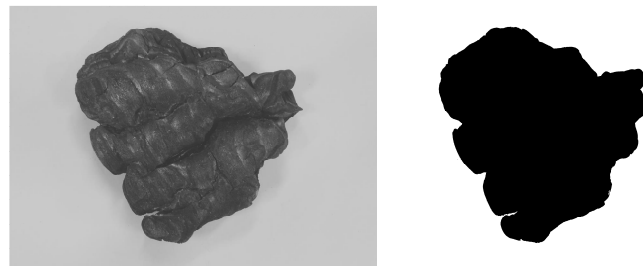


図 2.7.6-4 火の粉の画像の二値化

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。

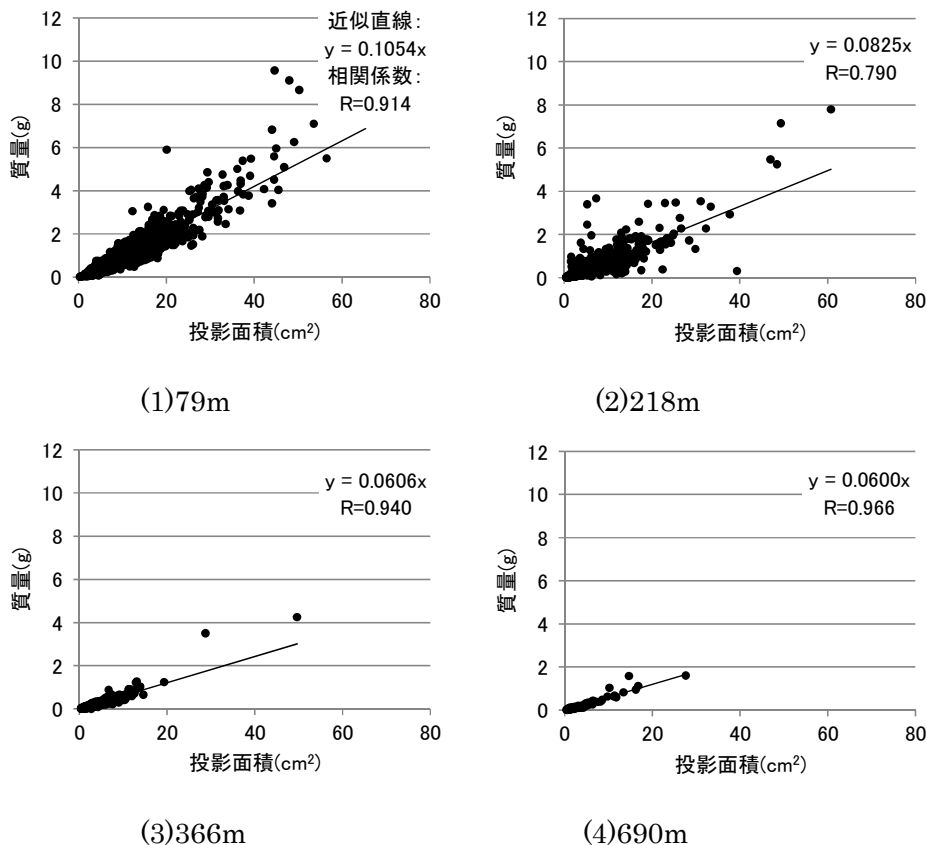
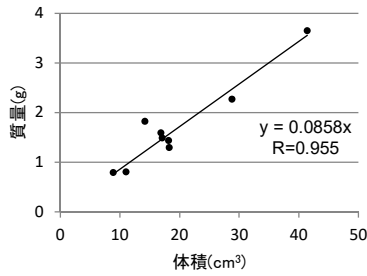


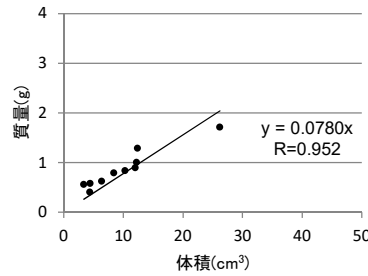
図 2.7.6-5 火の粉の投影面積と質量

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。

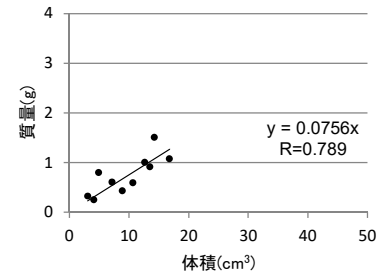
体積と乾燥質量の関係を図 2.7.6-6 に示す。図中に最小二乗法による原点を通る近似直線を示す。傾きは密度を表す。密度は、0.086g/cm³（79m 区画）、0.078g/cm³（218m 区画）、0.076g/cm³（366m 区画）と変化する。



(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。

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。

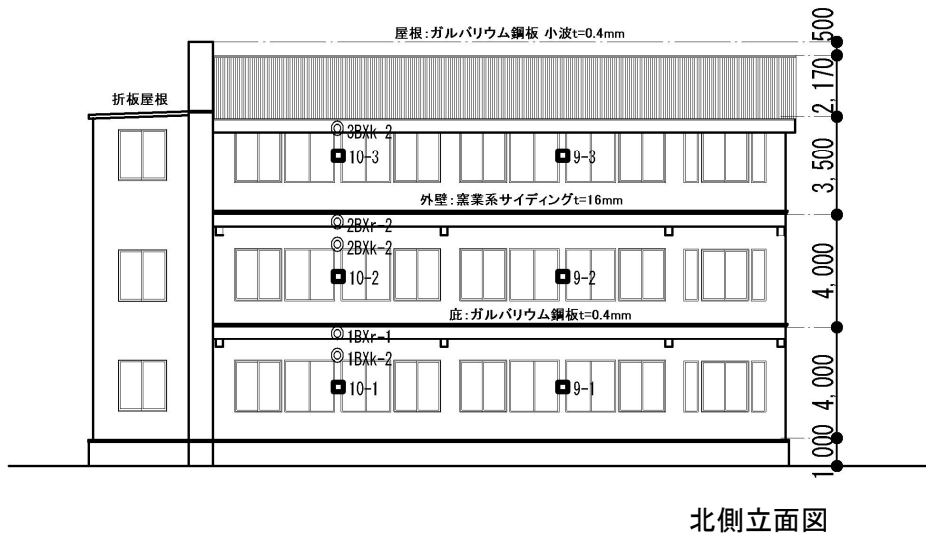
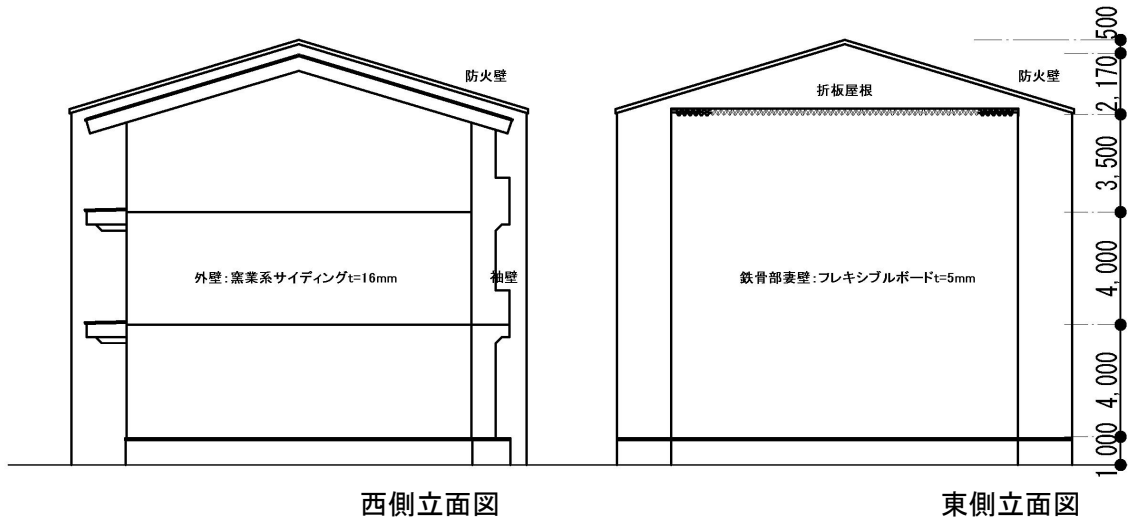
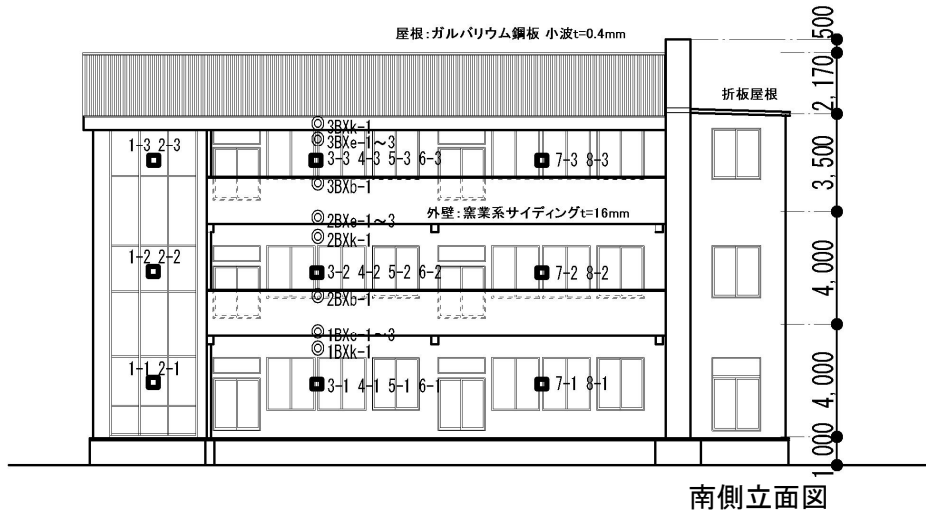


図 3.2.1-2 準備実験の実験建物 立面図

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。

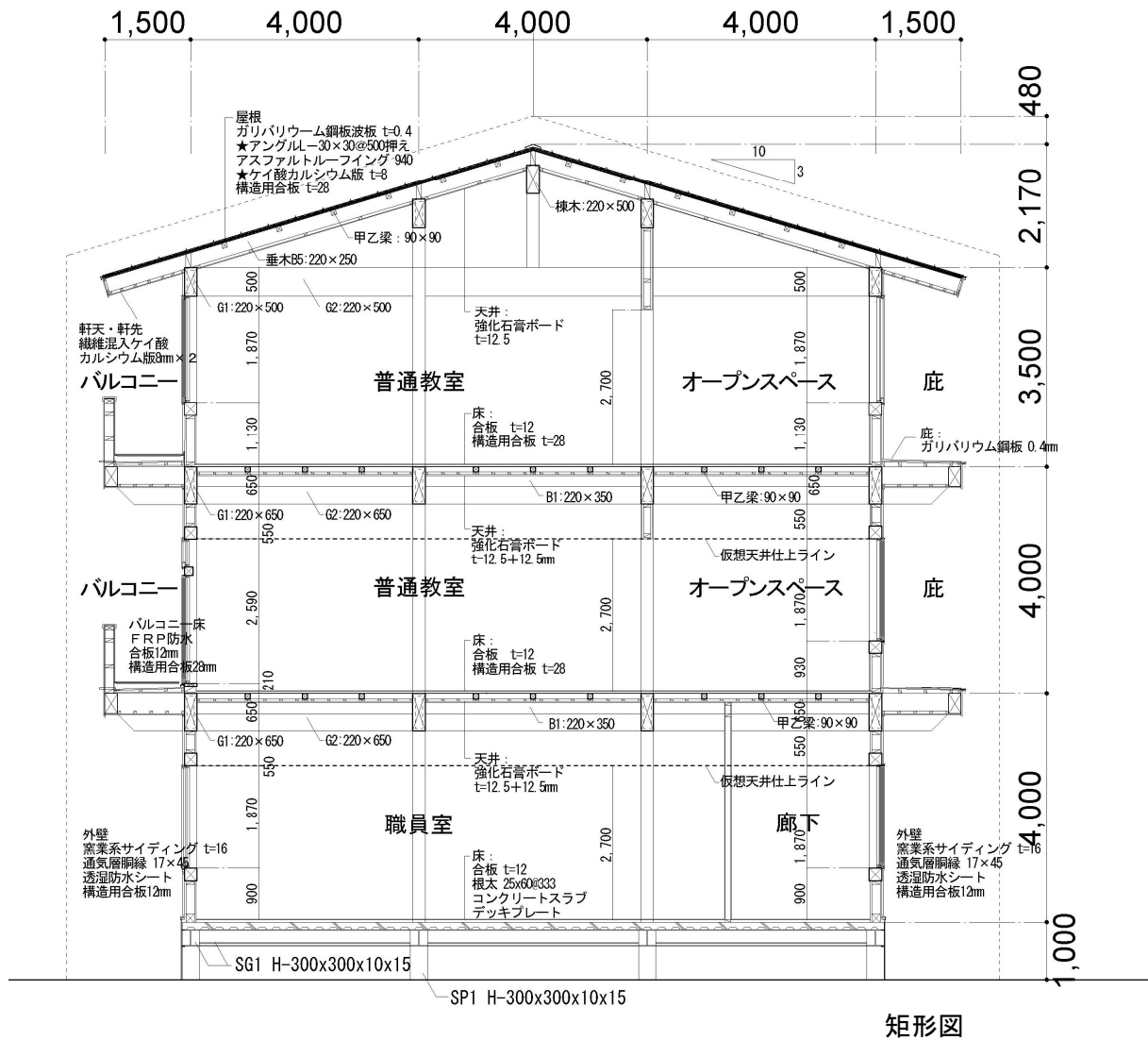
基礎は、実験場所の地層と実験後の整地並びに処分を考慮し、中間支持層に H 鋼（350×350mm）を圧入しその上部を H 鋼（300×300mm）で繋ぐ形式を採用した。1 階床部については、建築基準法で遮熱性は要求されず、予備実験では内部の可燃物が落下して 1 階床が延焼し、床下が燻火状態になり、構造体に悪影響を及ぼしたと判断されるため、デッキプレートの上にコンクリートを打ち、床下の燻火状態からの保護を行った。また、予備実験の構造フレームの崩壊の一つの要因として、加熱後の柱脚金物の強度保持にあると考えられるため、1 階柱脚についても、強度を確保するため板厚の増加（9→12mm）を行った。

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ない、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 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚(仕上げ)
	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 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚(仕上げ)
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 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚(仕上げ)
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 強化石膏ボード15厚 強化石膏ボード21厚(仕上げ)
	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。

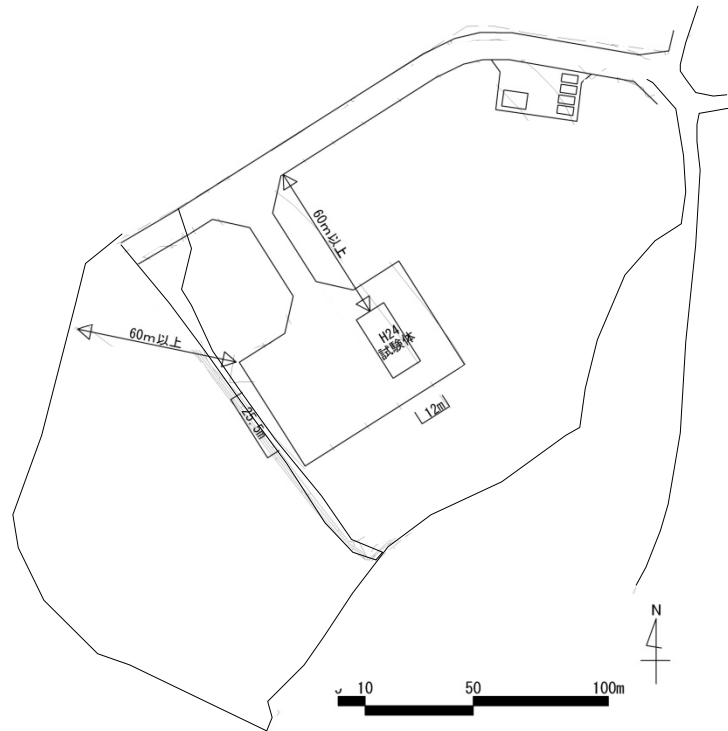


図 3.3.2-1 実験建物の配置

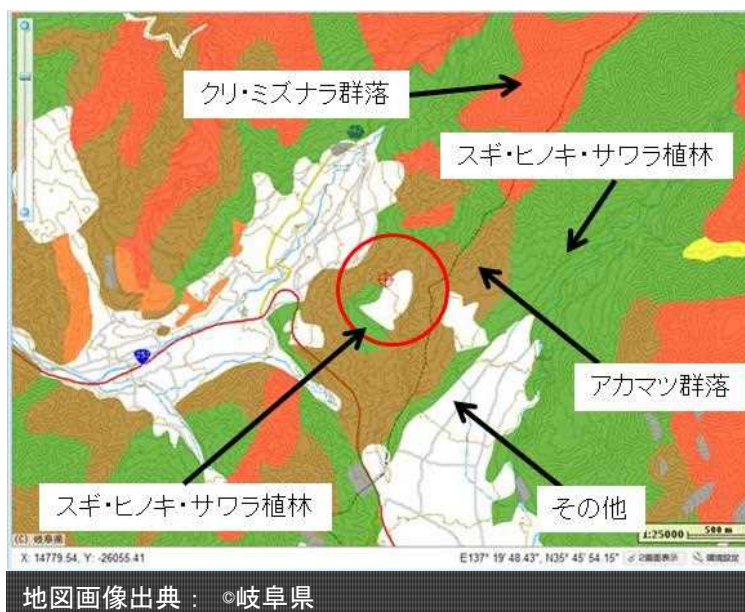


図 3.3.2-2 実験場周辺部の植生

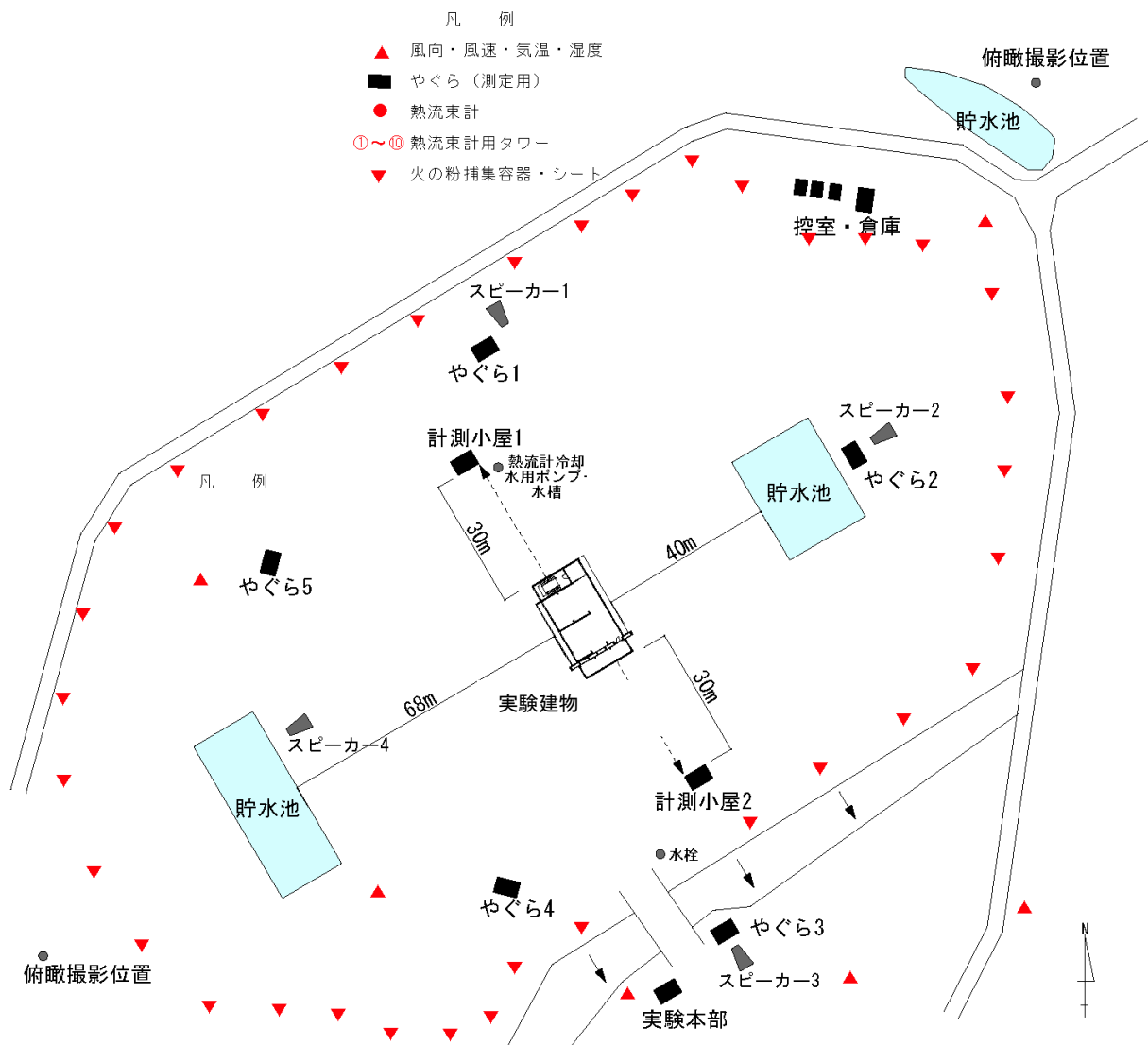


図 3.3.2-3 実験建物および観測小屋・やぐら・貯水池の配置

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

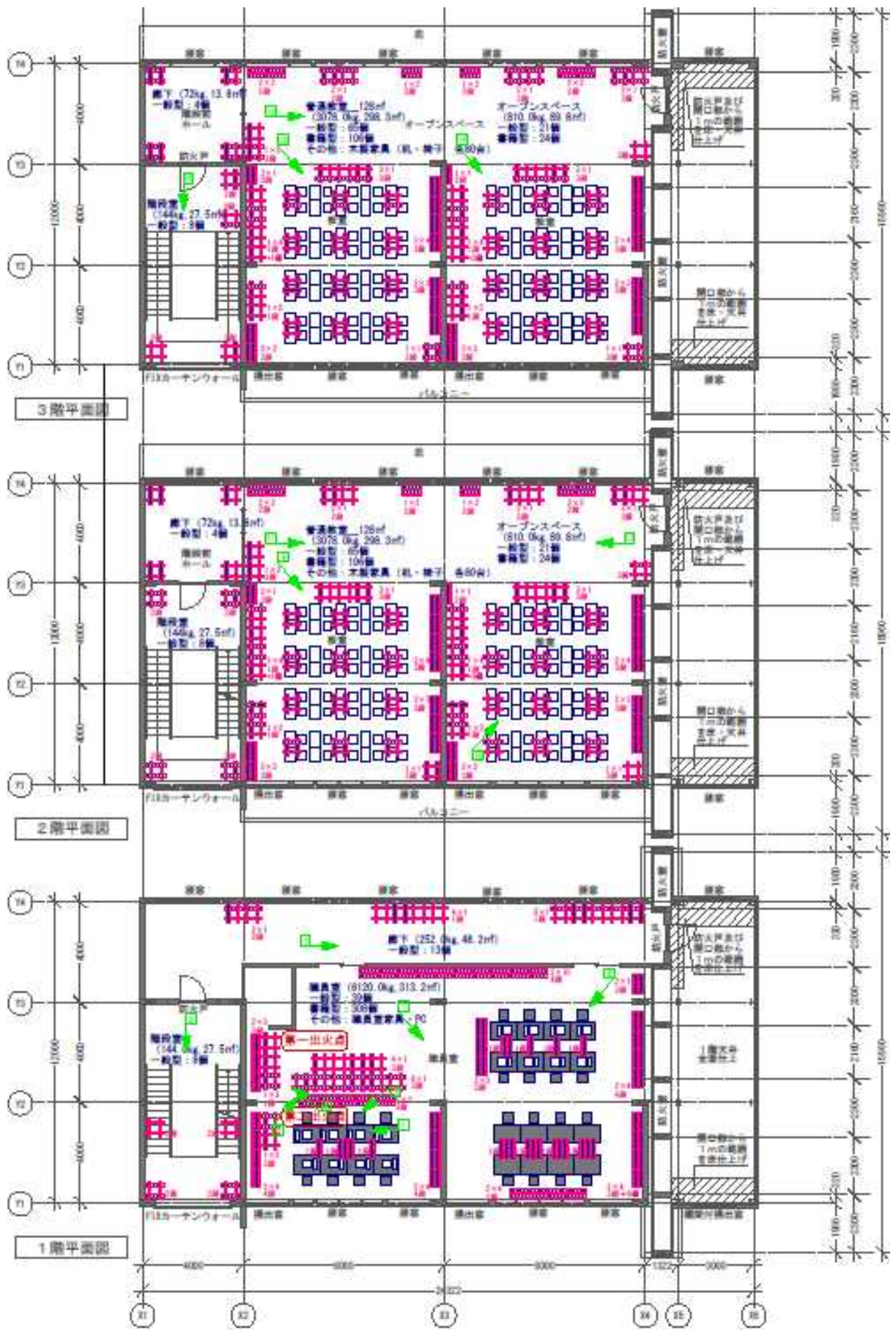


図 3.4.1-1 各室の収納可燃物の配置

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

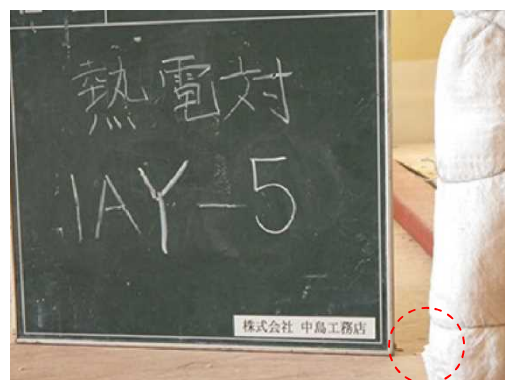


写真 3.5.3-2 熱電対の設置状況



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

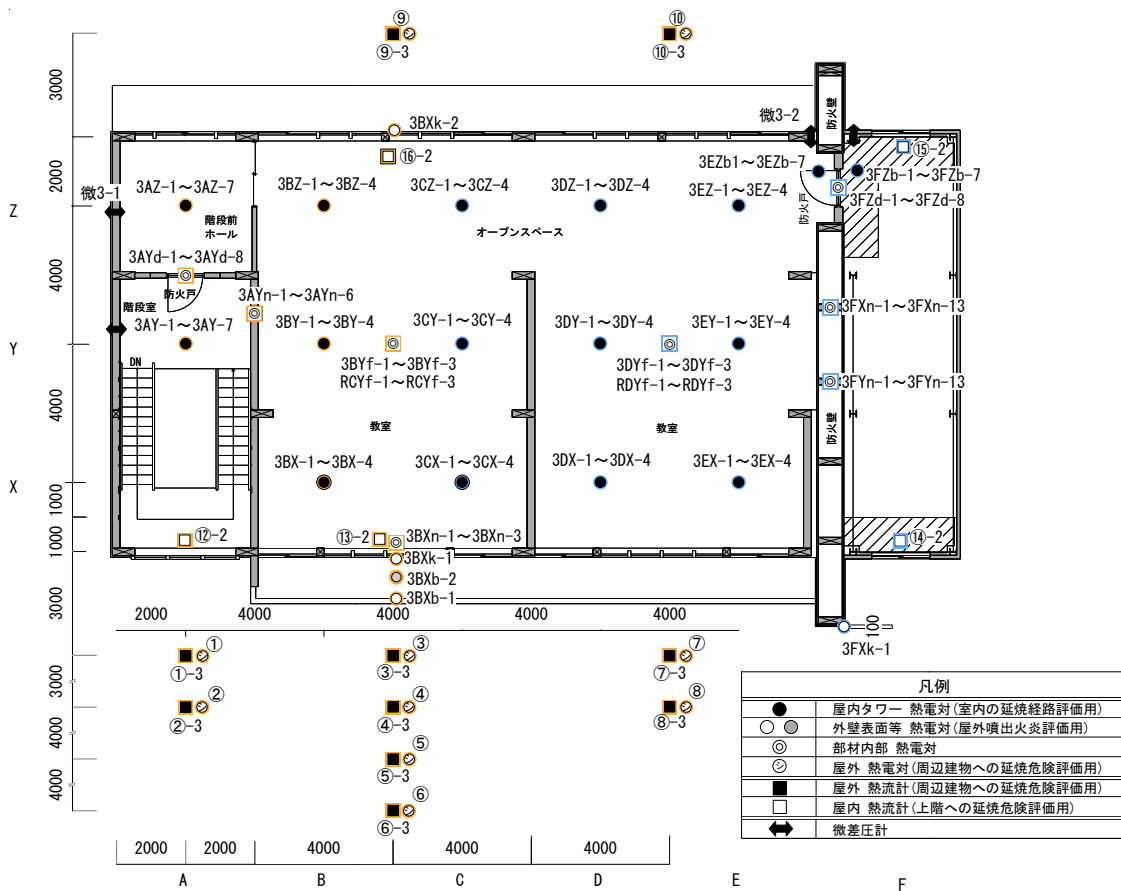


図 3.5.3-1 3階温度および熱流束測定位置

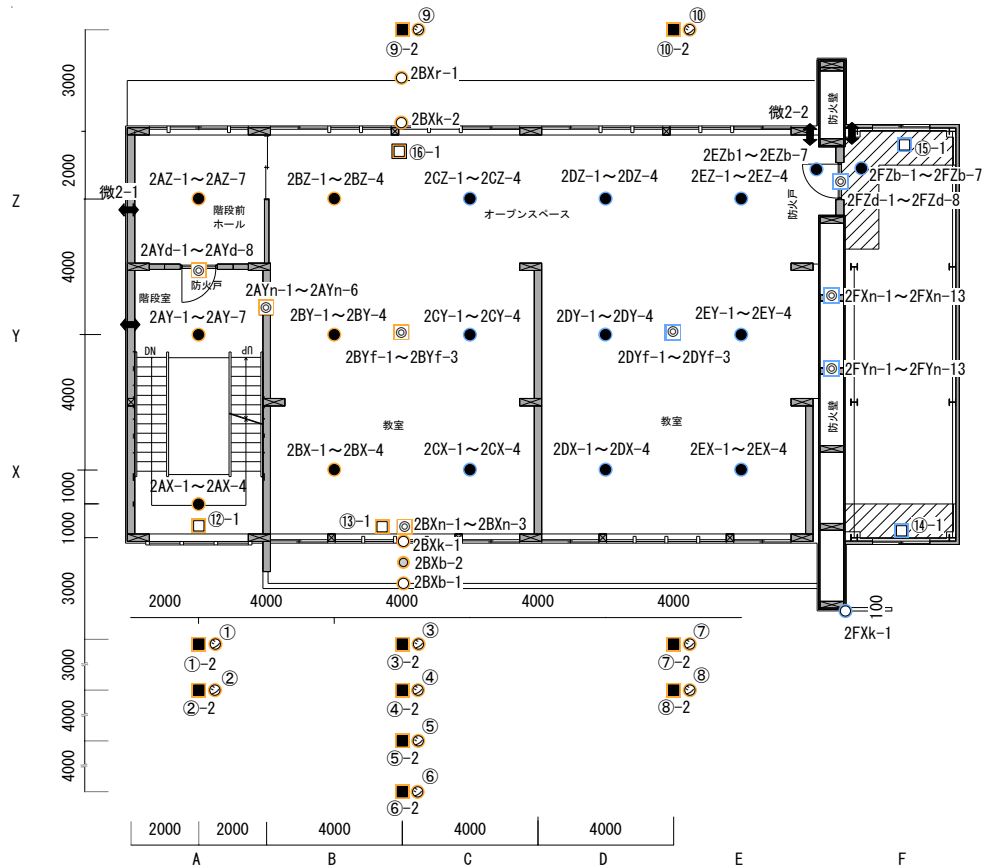


図 3.5.3-2 2階温度および熱流束測定位置

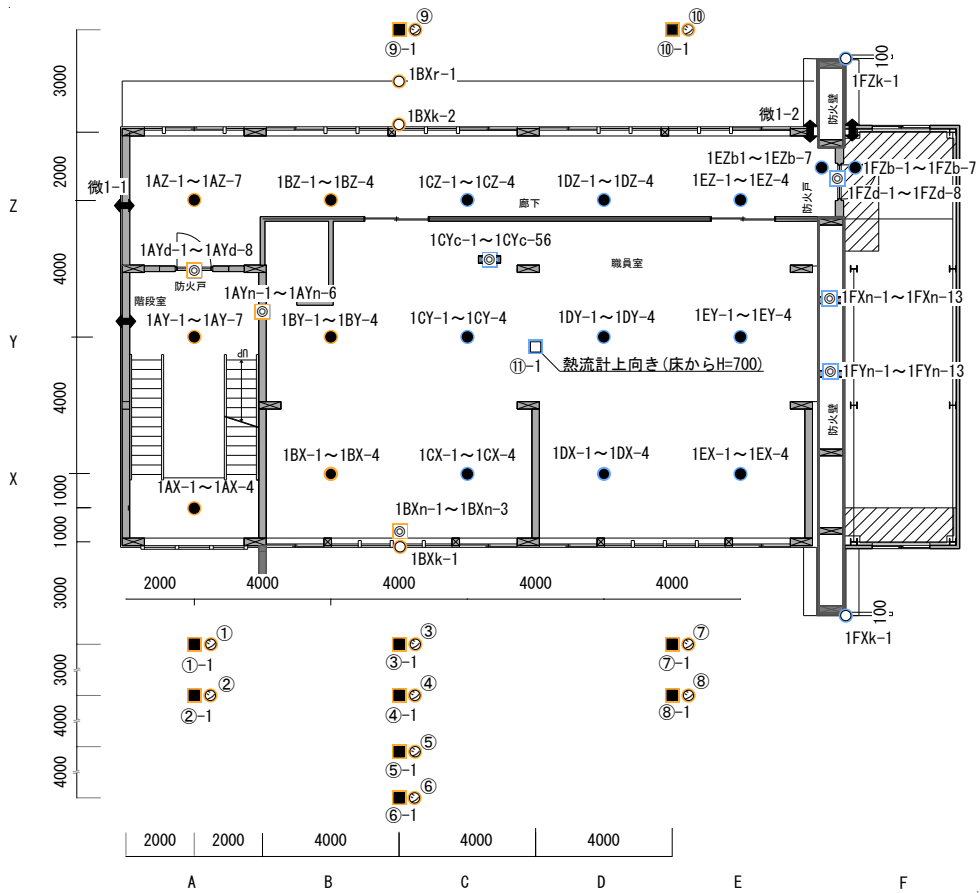


図 3.5.3-3 1階温度および熱流束測定位置

(2) 部材温度測定位置

建物各部材の温度測定位置を図 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。

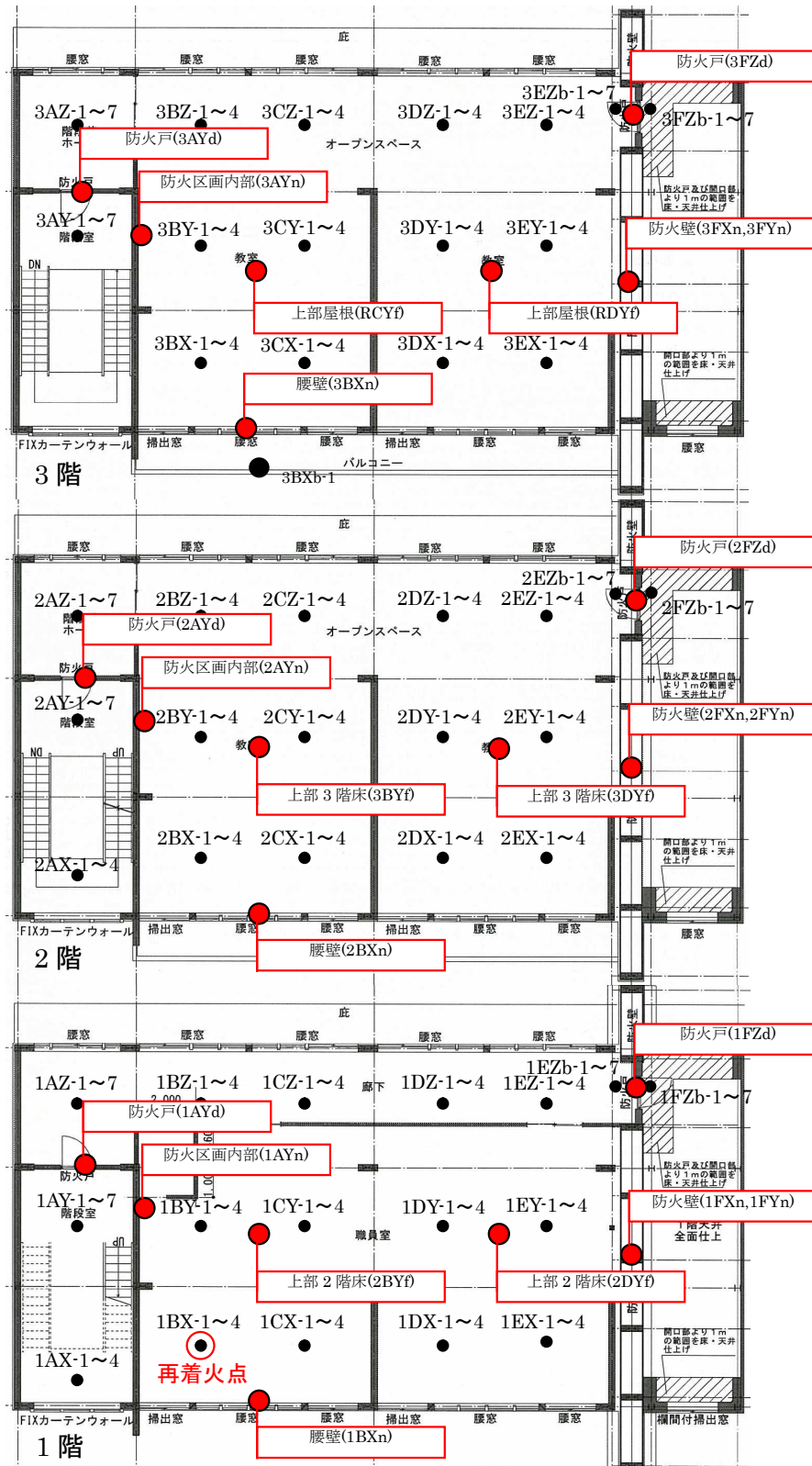


図 3.5.3-4 部材温度測定位置平面図

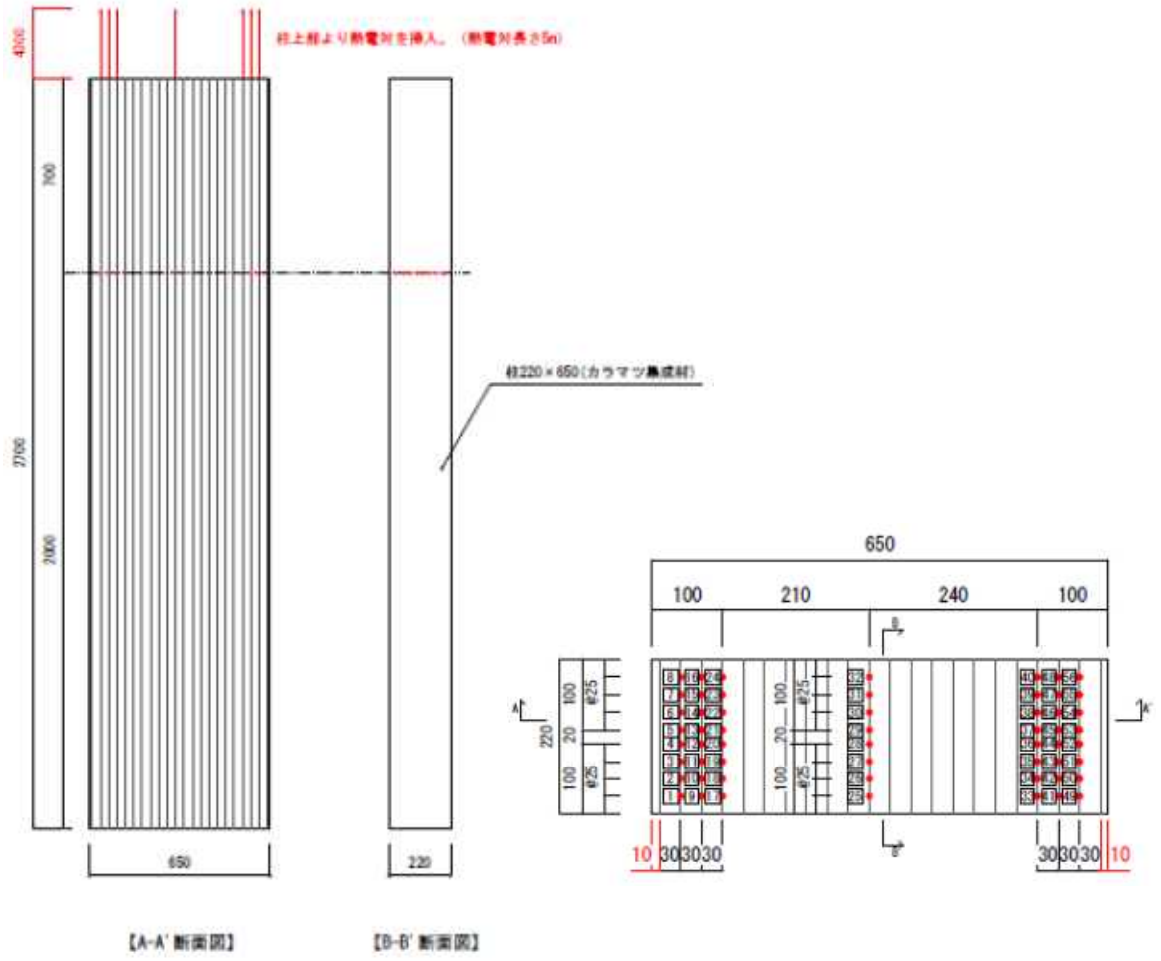


図 3.5.3-5 炭化深さ評価用柱温度測定点

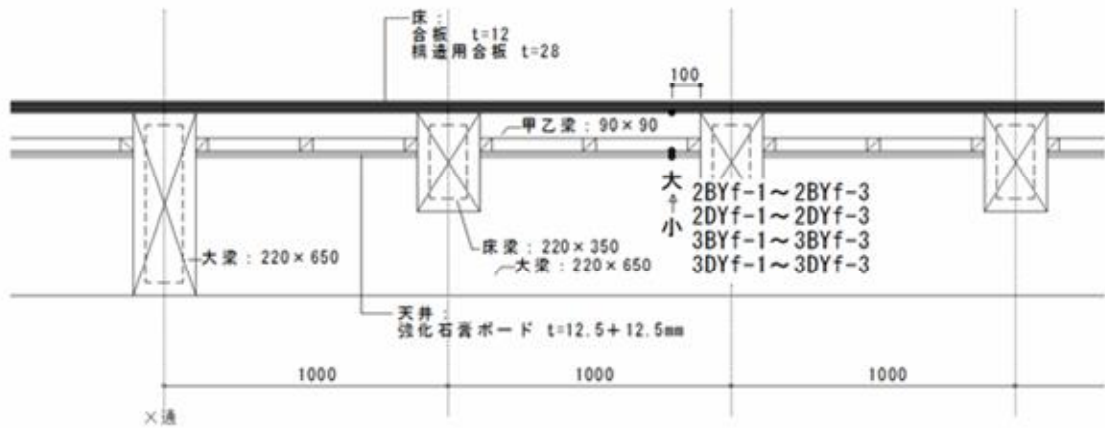


図 3.5.3-6 2、3階床温度測定点 (鉛直断面)

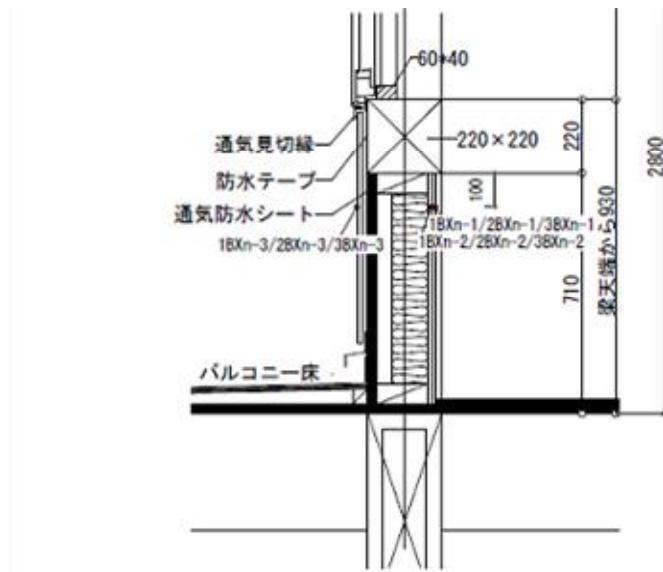


図 3.5.3-7 腰壁温度測定点（鉛直断面）

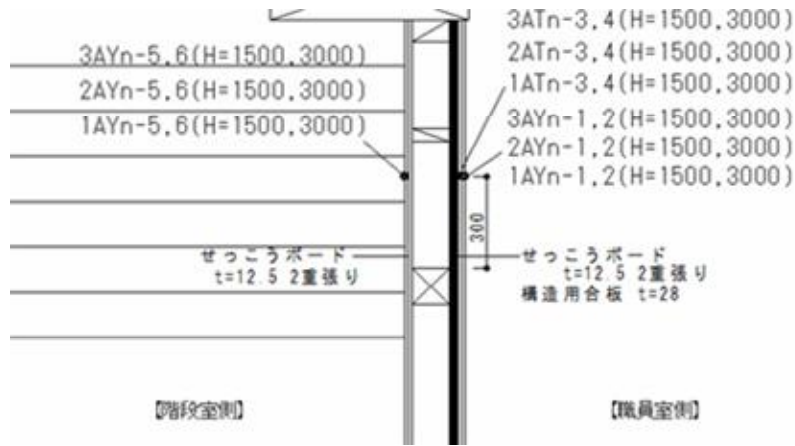


図 3.5.3-8 防火区画壁内部温度測定点（水平断面）

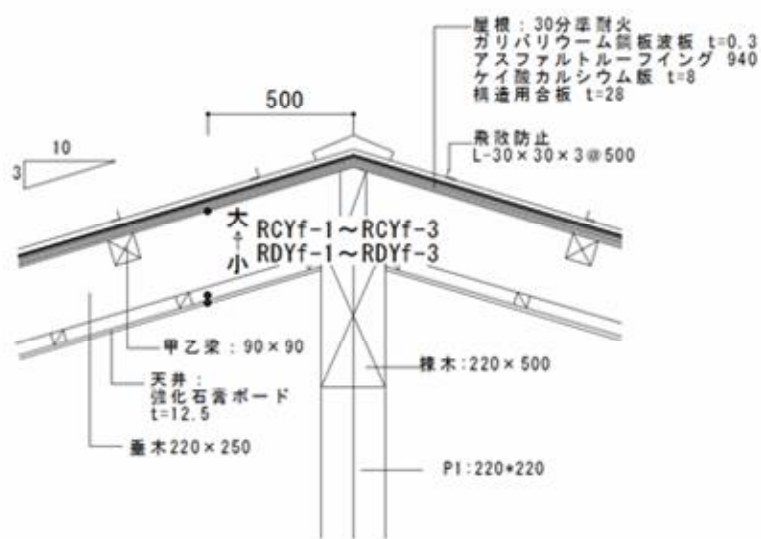


図 3.5.3-9 屋根温度測定点（鉛直断面）

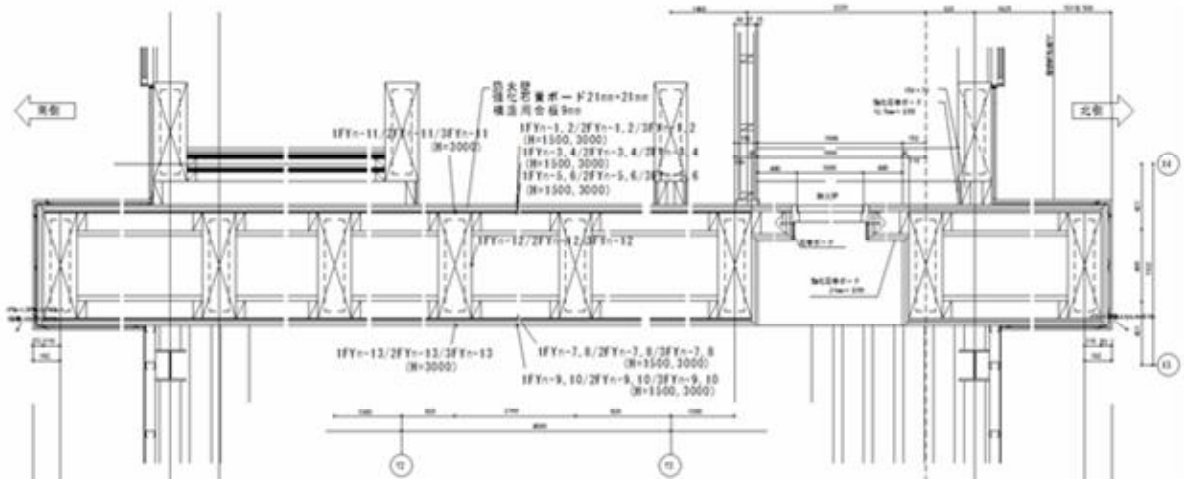


図 3.5.3-10 防火壁温度測定点 (水平断面)

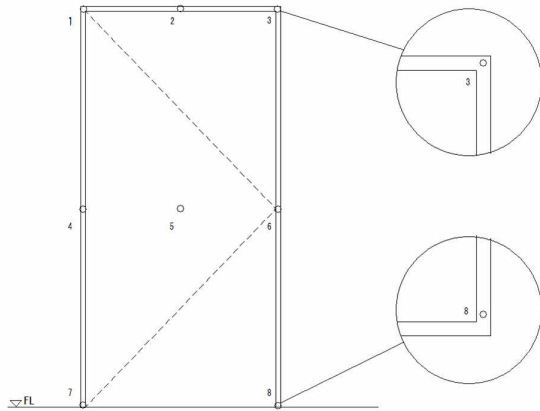


図 3.5.3-11 防火壁部 1階防火戸
2、3階段室防火戸温度測定点

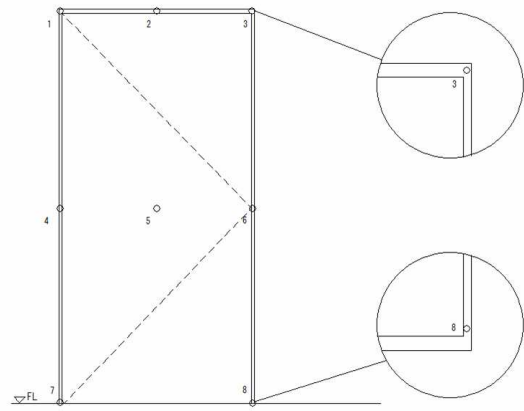


図 3.5.3-12 防火壁部 2、3階防火戸
1階段室防火戸温度測定点

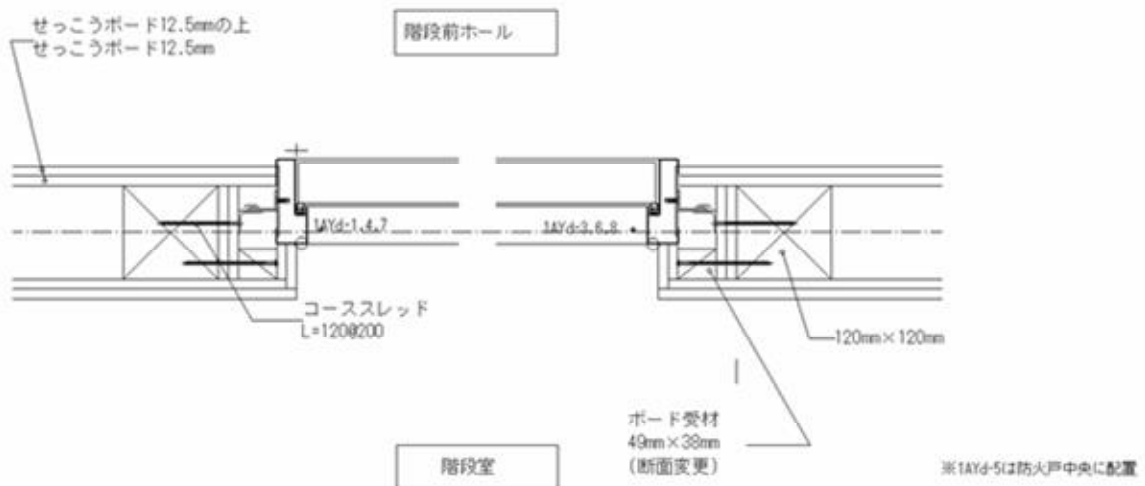


図 3.5.3-13 1階階段室防火戸温度測定点 (水平断面)

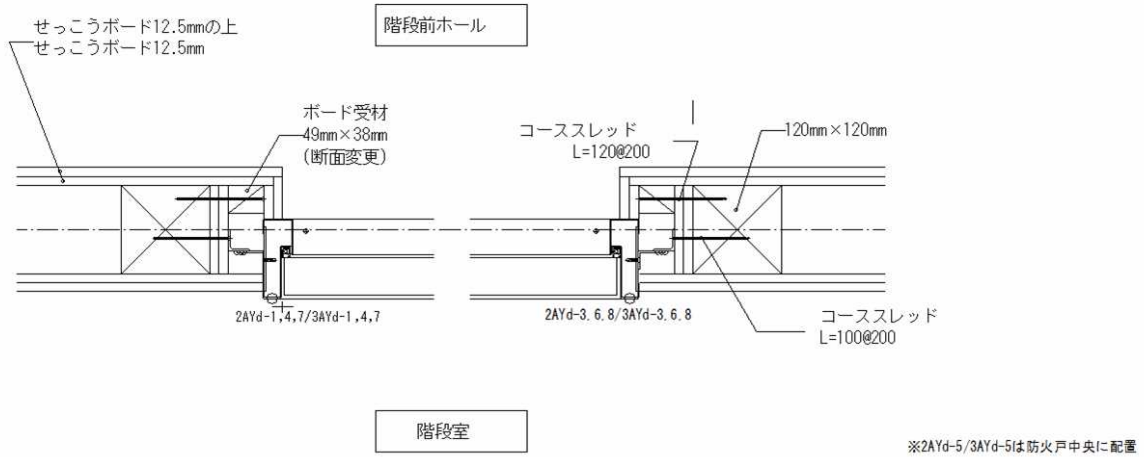


図 3.5.3-14 2、3階階段室防火戸温度測定点（水平断面）

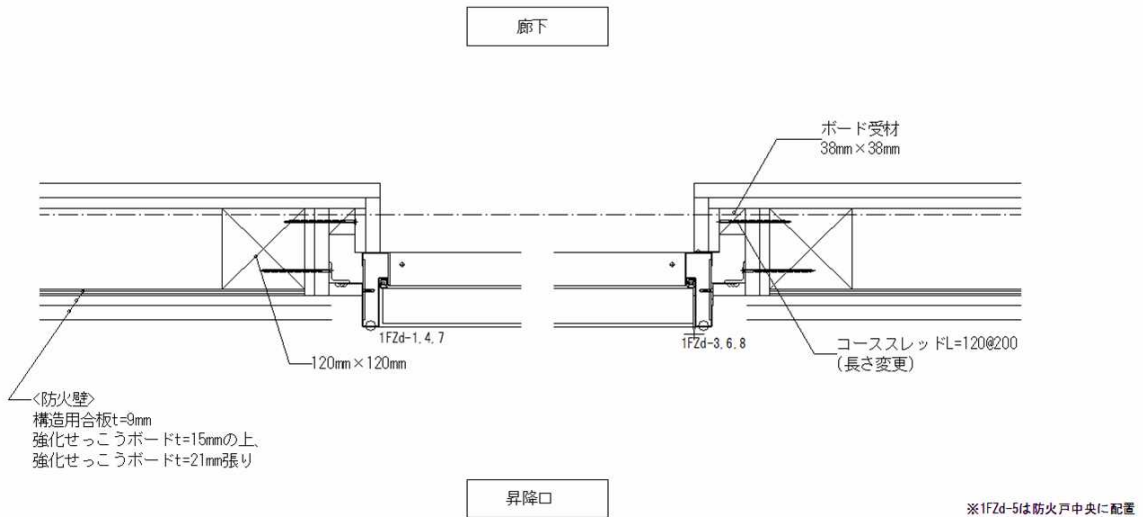


図 3.5.3-15 防火壁部 1階防火戸温度測定点（水平断面）

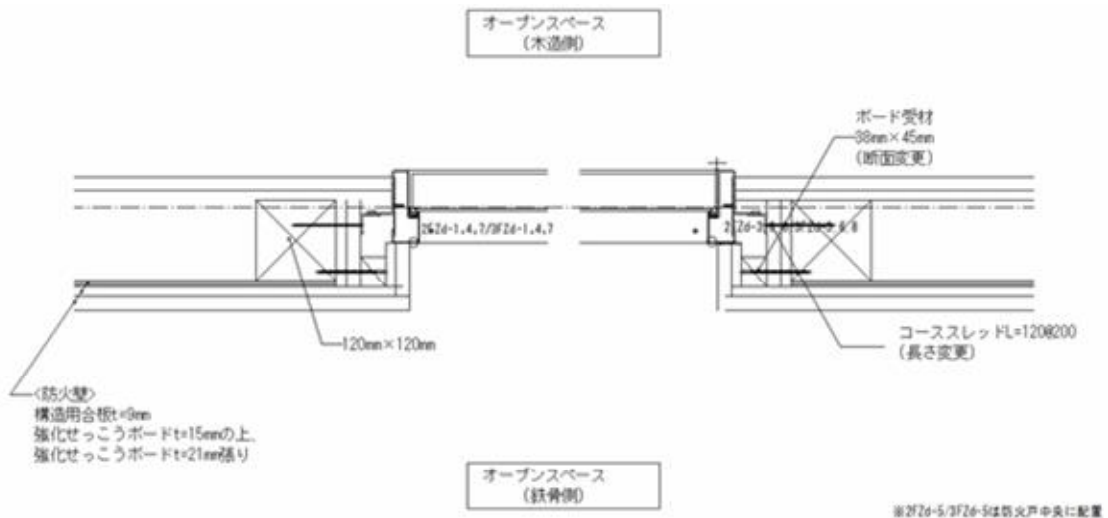


図 3.5.3-16 防火壁部 2、3階防火戸温度測定点（水平断面）

(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。

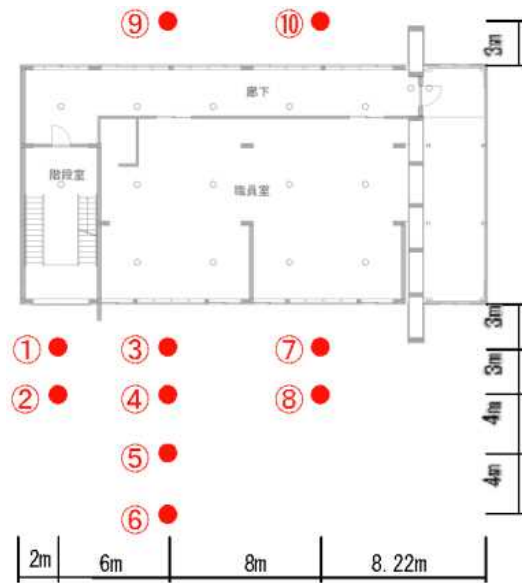


図 3.5.4-1 建物周辺における熱流束計と熱電対の設置位置



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。

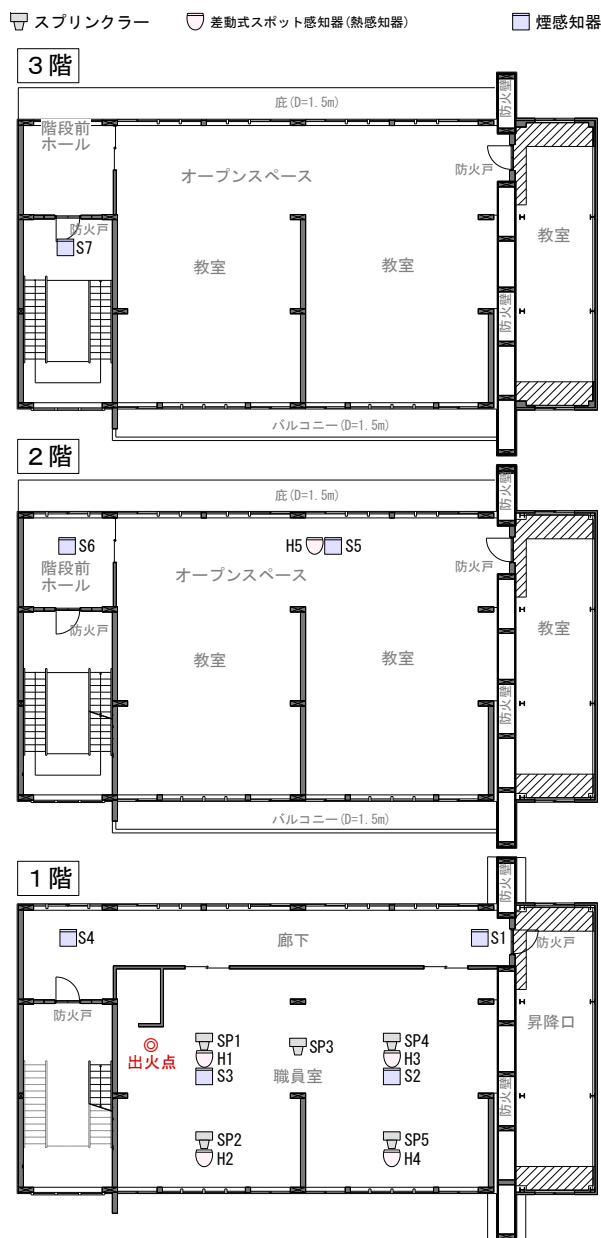


図 3.5.5-1 火災感知器およびスプリンクラーヘッド設置位置

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）

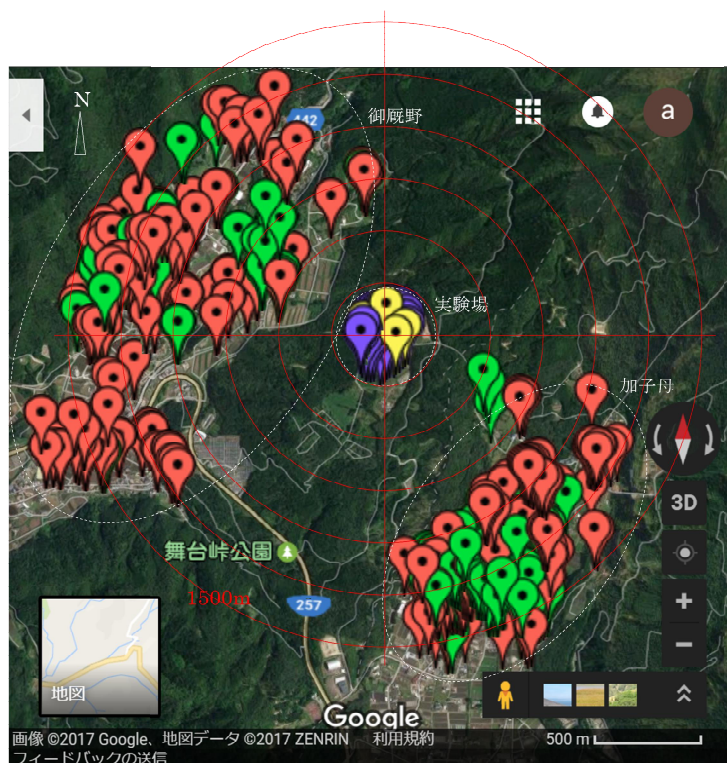


図 3.5.6-1 ビニールハウス位置（赤ピン：ビニールハウス、緑ピン：骨組みのみ）



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。

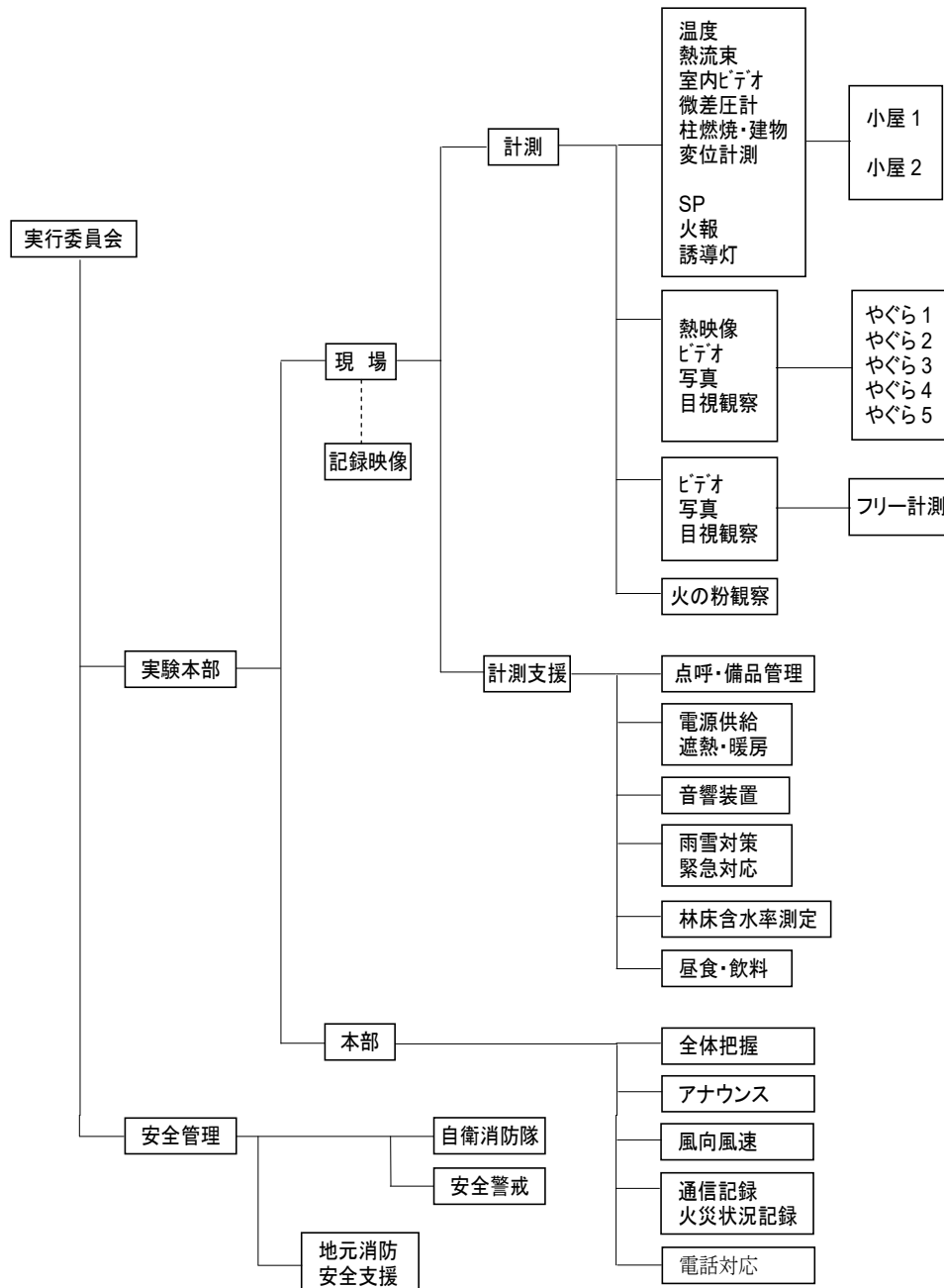


図 3.5.9-1 準備実験における計測の体制

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列に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。

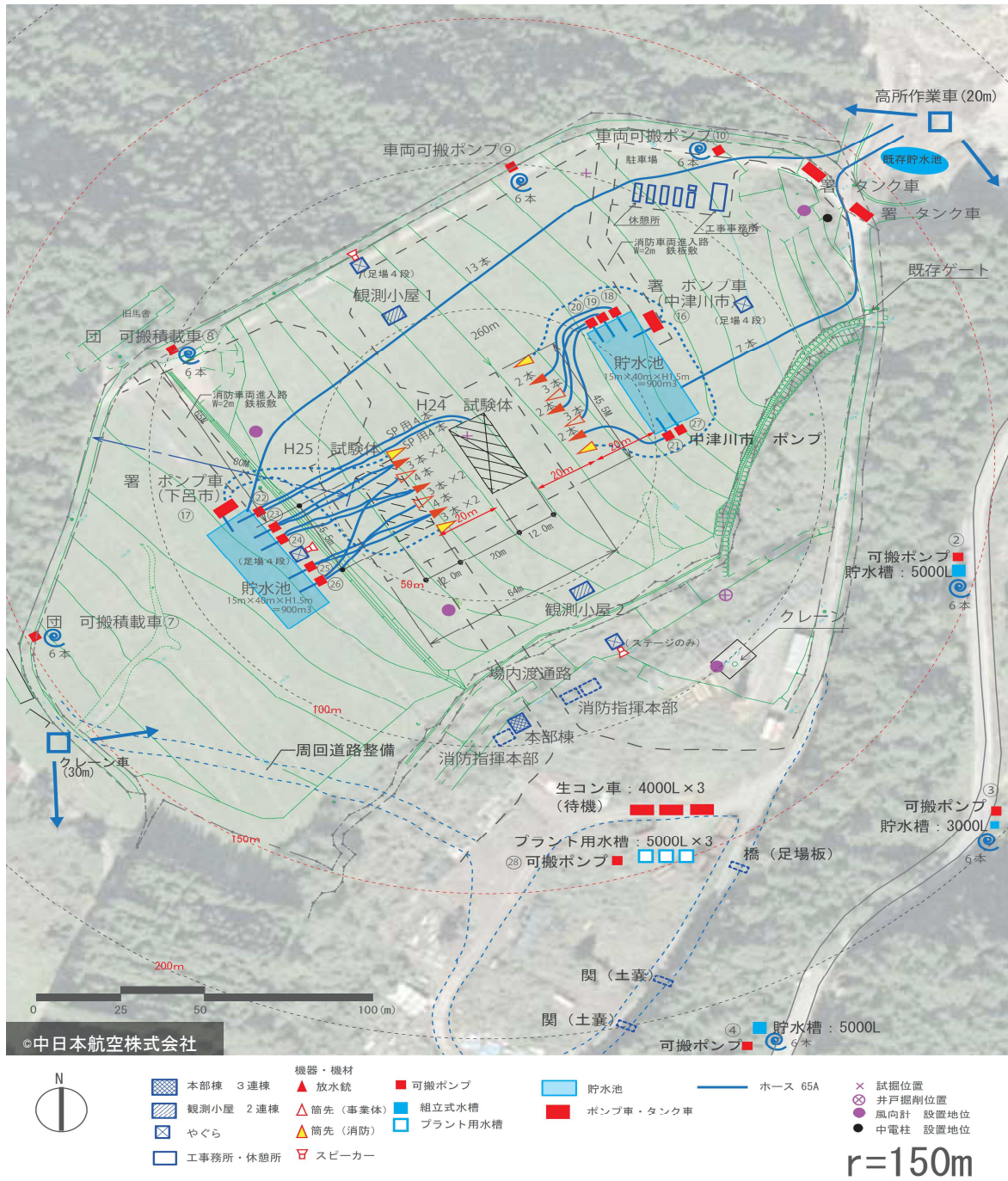


図 3.6.2-1 実験建物消火体制配置図 150m 範囲

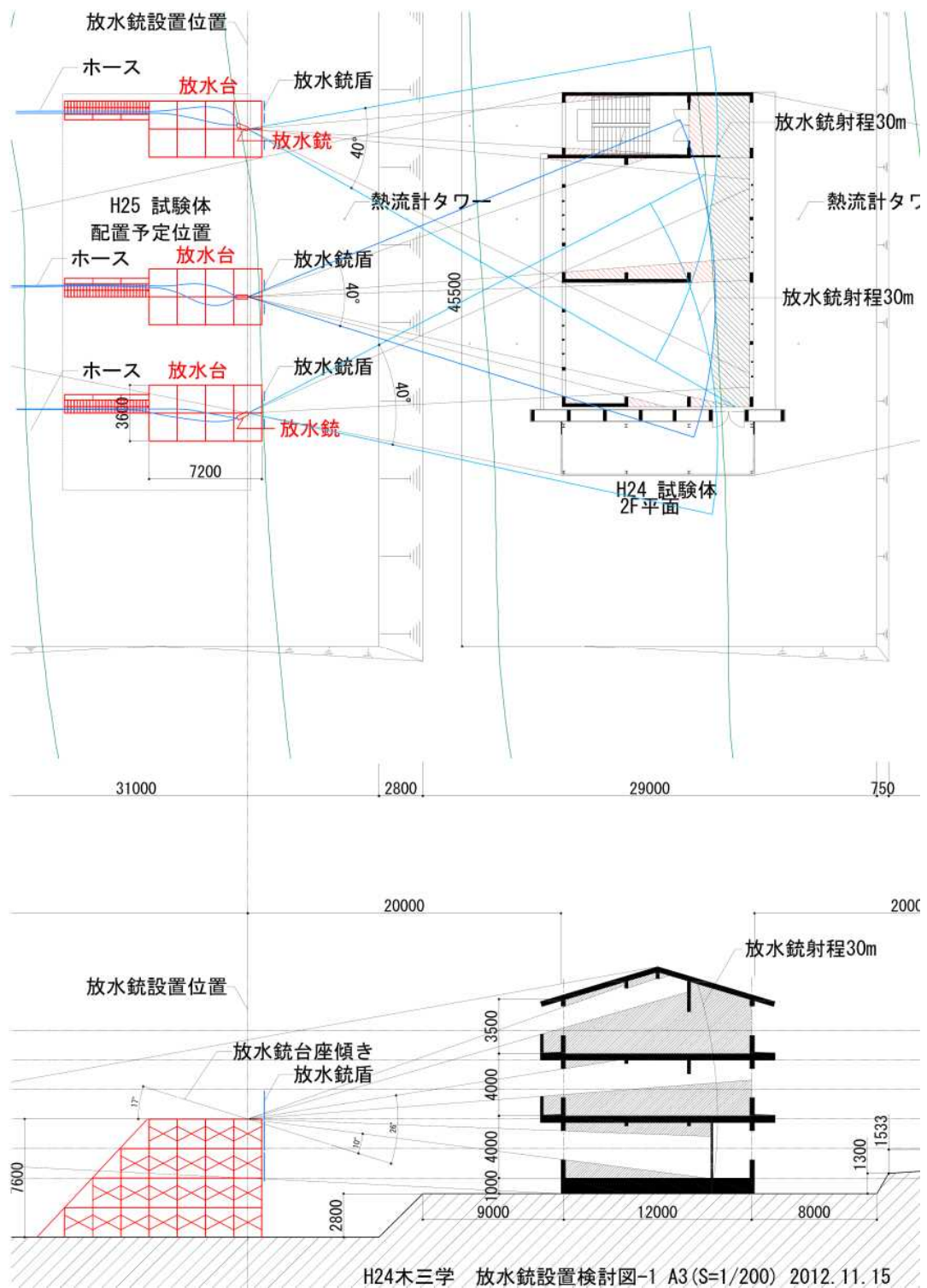


図 3.6.2-2 実験建物消火用足場図

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。

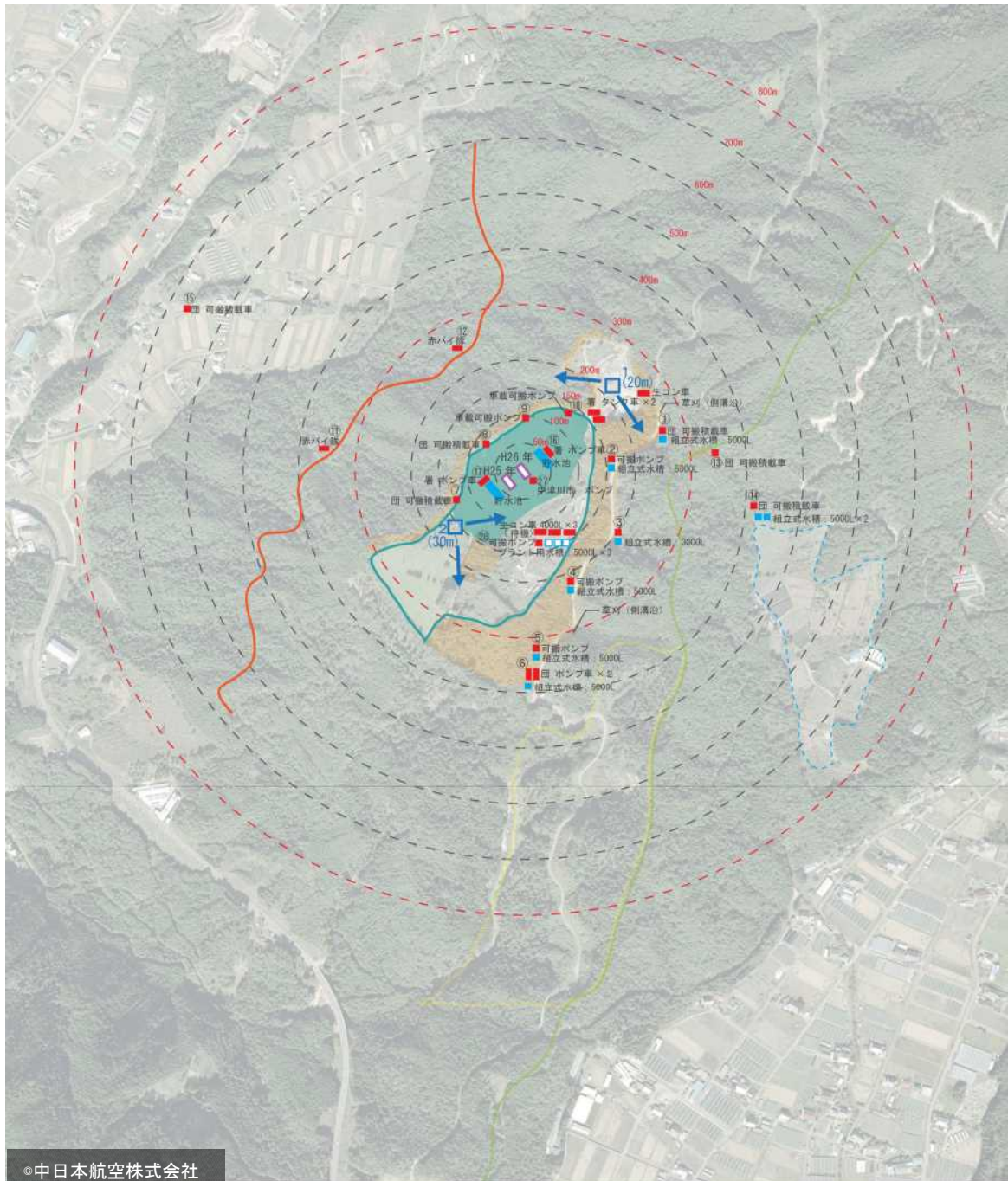
建物消火：消防+実験実施者(技術者など)

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。



©中日本航空株式会社

- | | | | |
|---|---|--|--|
| <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。

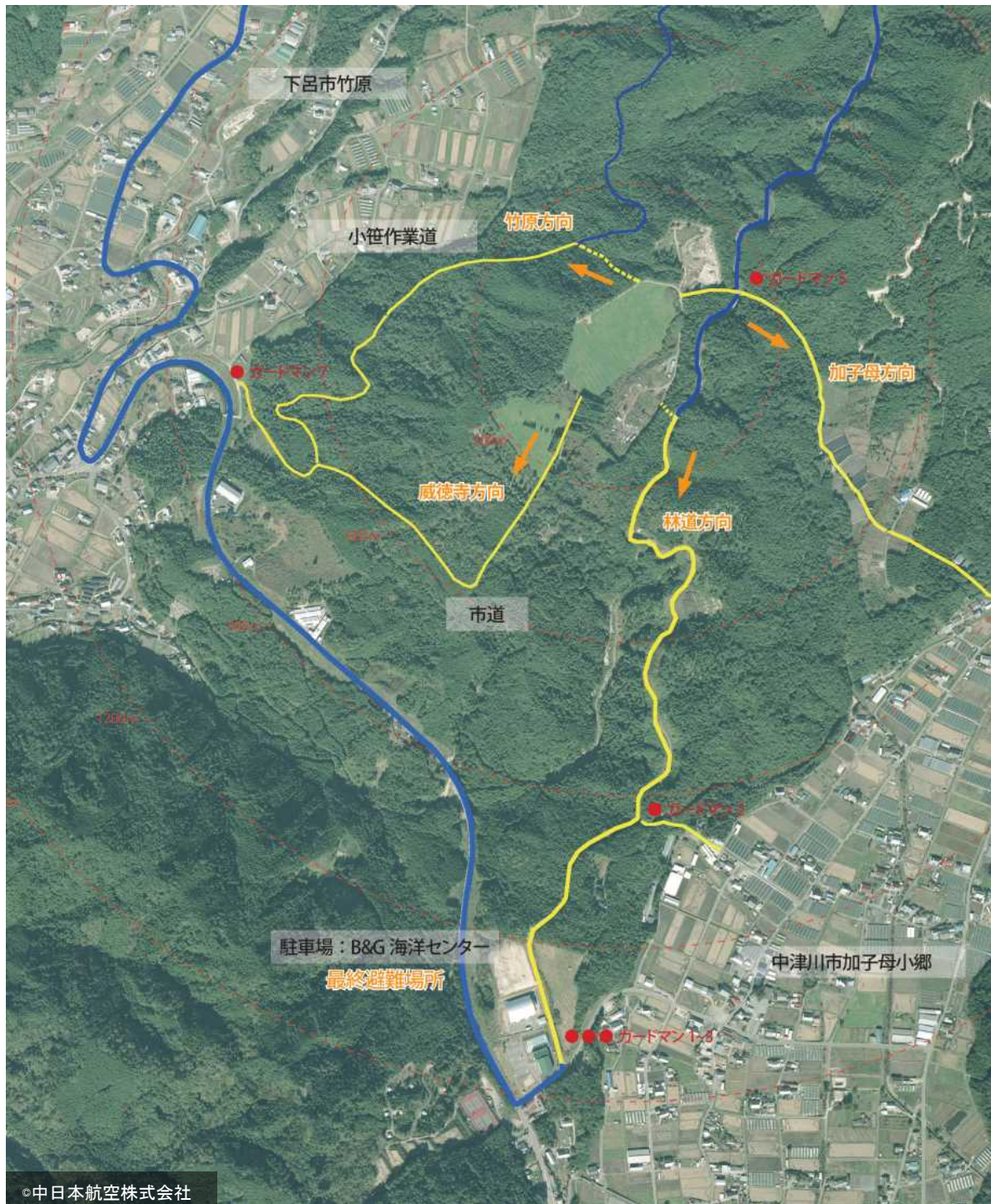


図 3.6.2-4 実験敷地周辺案内図／避難方向指示図

(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°C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°C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。

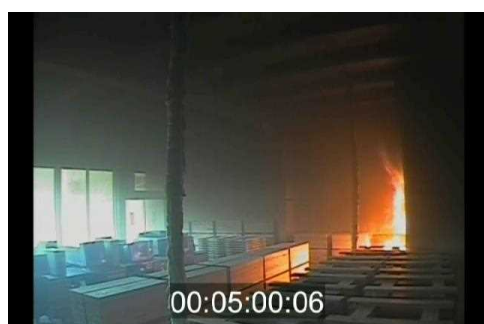


写真 3.7.2-1 点火約 5 分後の出火室



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

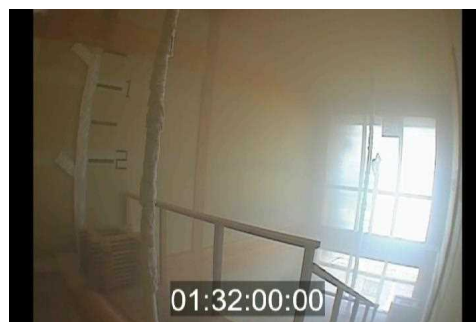


写真 3.7.2-22 煙感知器作動時の階段室

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。





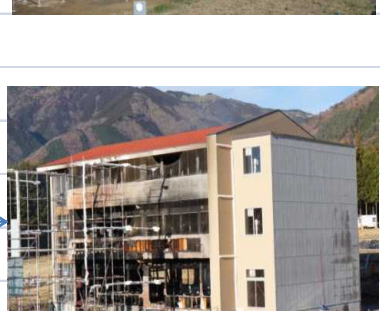

経過時間	再着火後	主な事象	
0:00		0:00 点火	
0:10		0:07 出火室の南側窓から煙が流出	
0:20		0:21 1階北側窓から煙が流出	
0:30			
0:40			
0:50	0:00	0:50 出火室に松明を投げ入れて再着火	
1:00	0:10		
1:10		1:01 出火室の窓ガラスが割れる	
1:10	0:20	1:12 出火室の天井を火炎が広がる	
1:20	0:30		
1:30	0:40	1:27 出火室の窓から火炎が噴出 1:29 出火室でフラッシュオーバー	
1:40	0:50	1:32 噴出火炎は3階バルコニーに達する 1:37 2階教室の窓が割れ、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	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>0分後</p>	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>50分後</p>	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>80分後</p>	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>90分後</p>	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>100分後</p>	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>110分後</p>	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>130分後</p>	<p>3階</p> <p>2階</p> <p>1階</p> <p>140分後</p>

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		→				→		

→: 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。

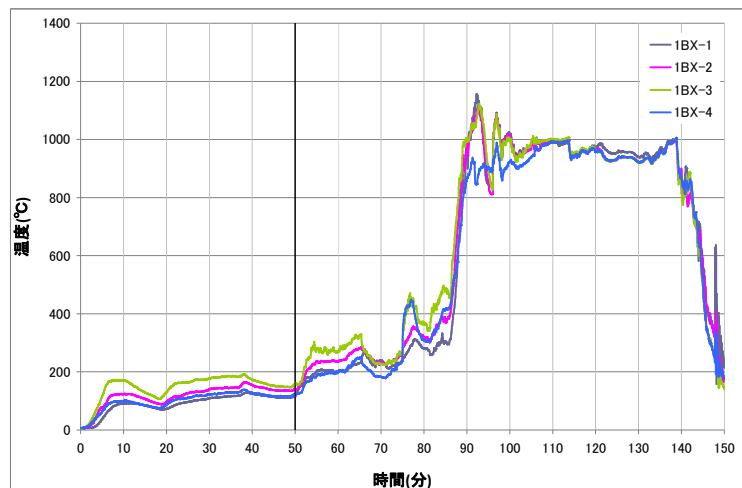


図 3.7.3-1 1階職員室(西)1BX 温度

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。

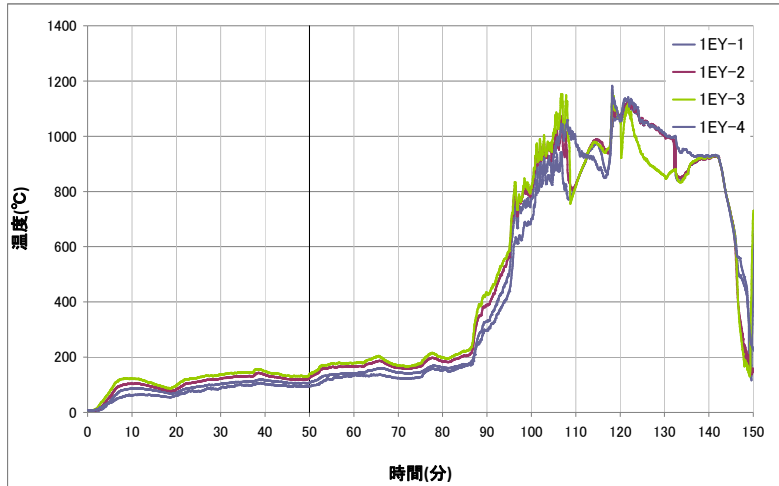


図 3.7.3-2 1階職員室(東)1EY 温度

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。

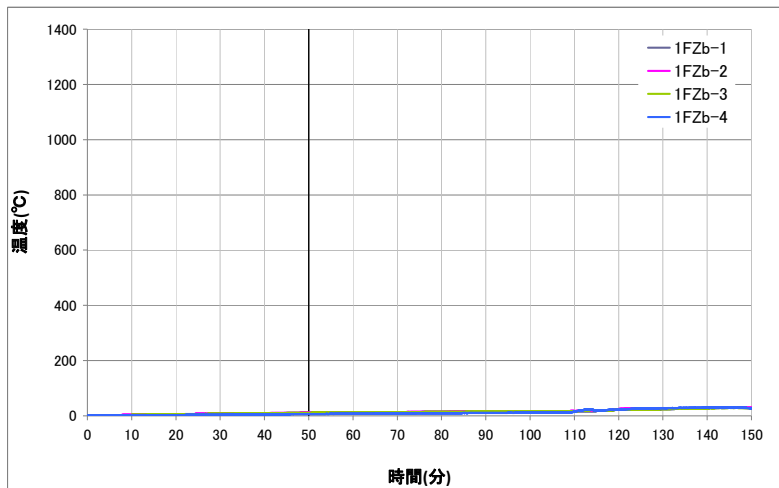


図 3.7.3-3 1階廊下(東)1EZ 温度

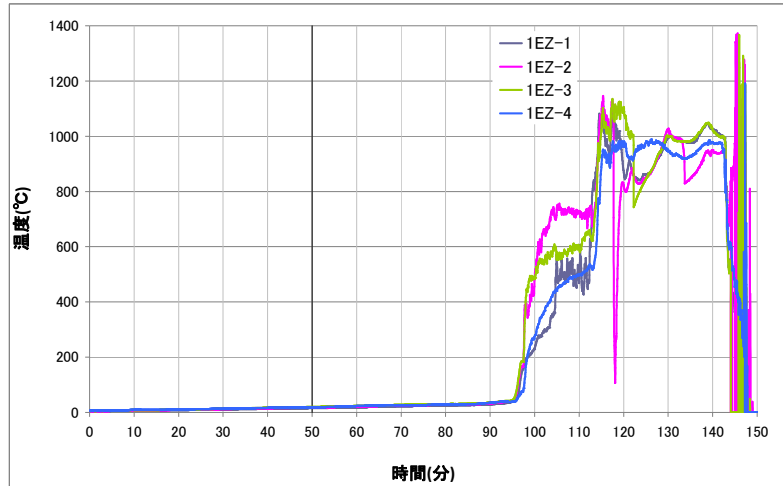


図 3.7.3-4 1階防火壁防火戸非加熱側 1FZb 温度

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。

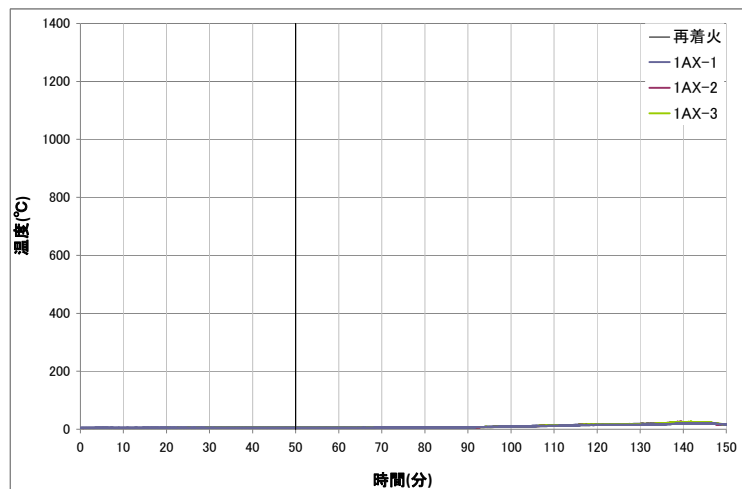


図 3.7.3-5 1階階段室 1AY 温度

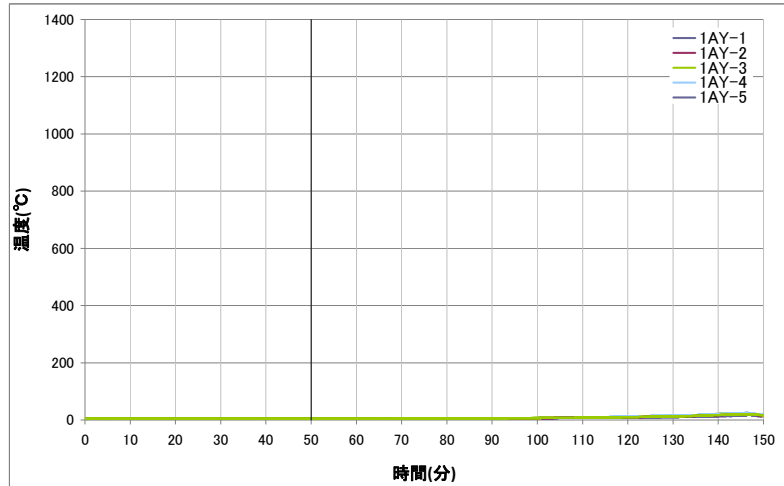


図 3.7.3-6 1～2階踊り場 1AX 温度

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。

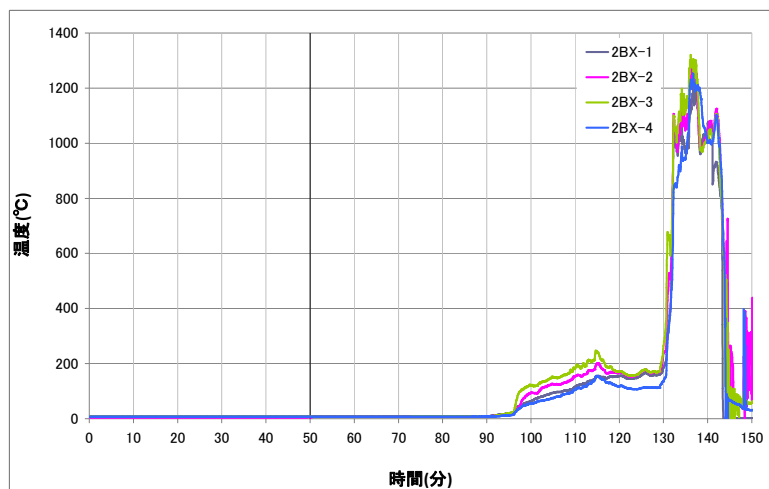


図 3.7.3-7 2階普通教室(西)2BX 温度

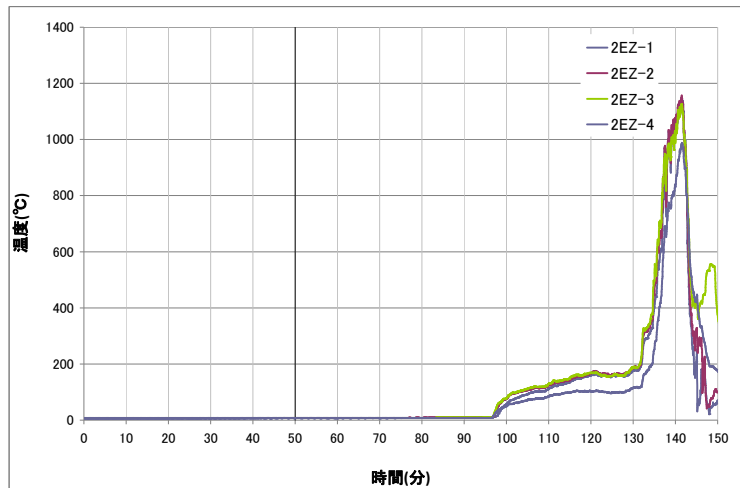


図 3.7.3-8 2階オープンスペース(東)2EZ 温度

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。

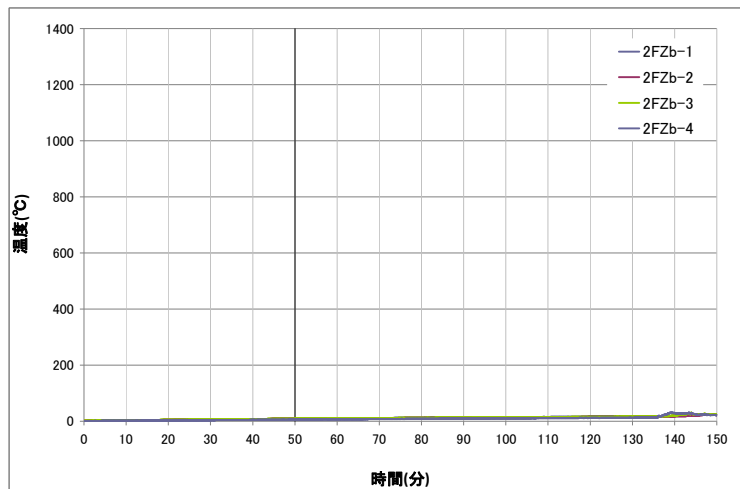


図 3.7.3-9 2階防火壁防火戸非加熱側 2FZb 温度

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。

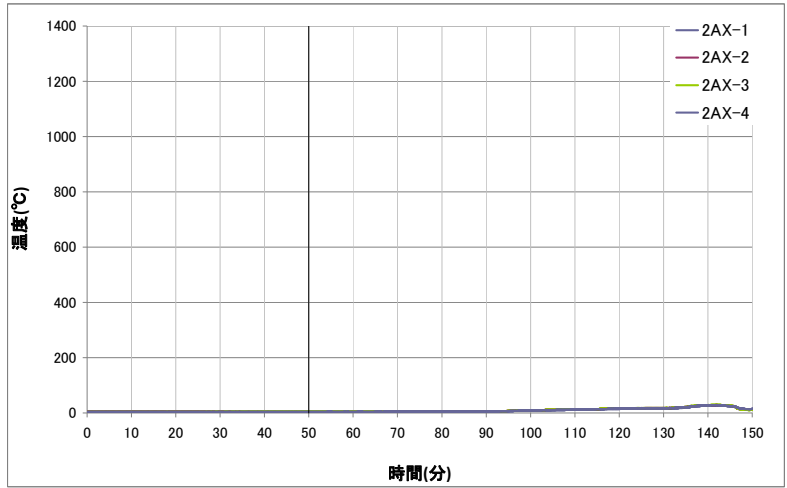


図 3.7.3-10 2階階段室 2AY 温度

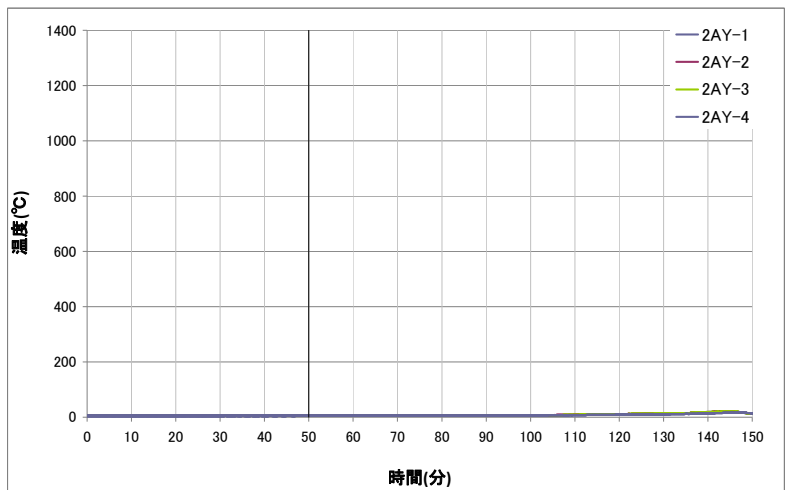


図 3.7.3-11 2～3階踊り場 2AX 温度

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。

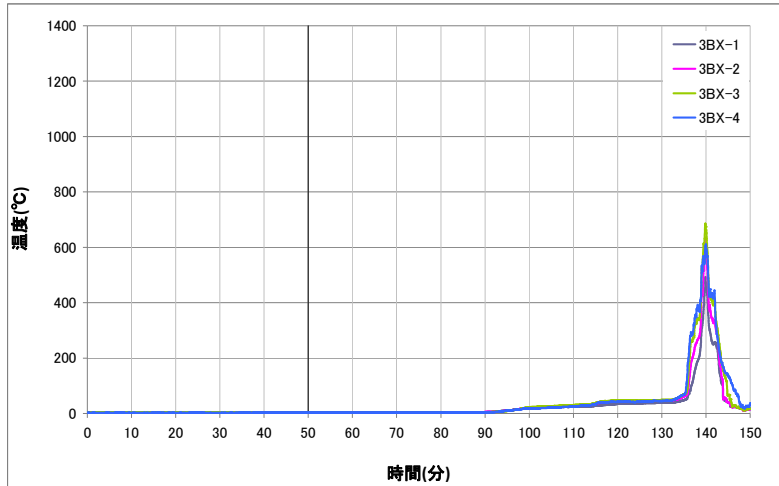


図 3.7.3-12 3階普通教室(西)3BX 温度

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。

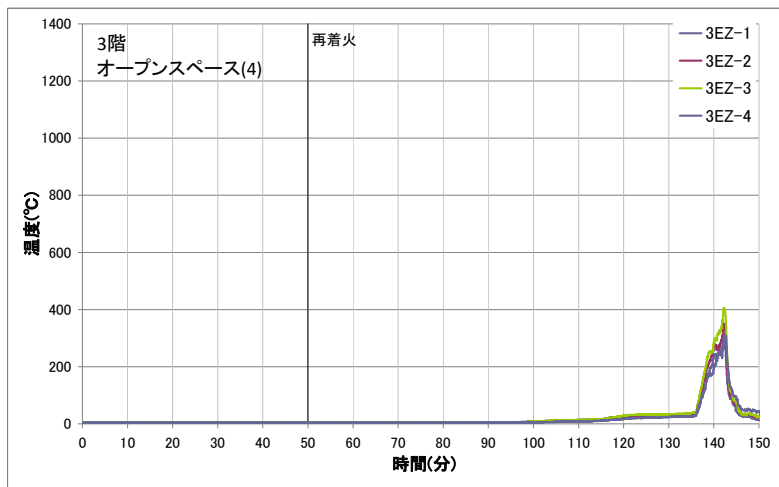


図 3.7.3-13 3階オープンスペース(東)3EZ 温度

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。

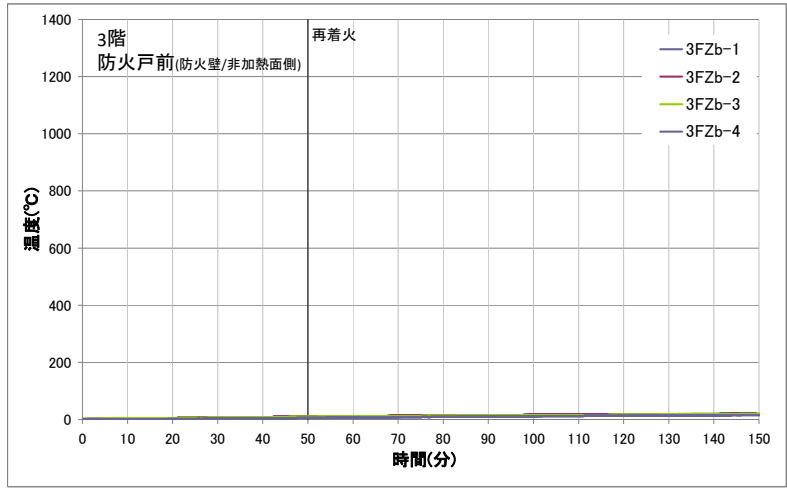


図 3.7.3-14 3階防火壁防火戸非加熱側 3FZb 温度

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。

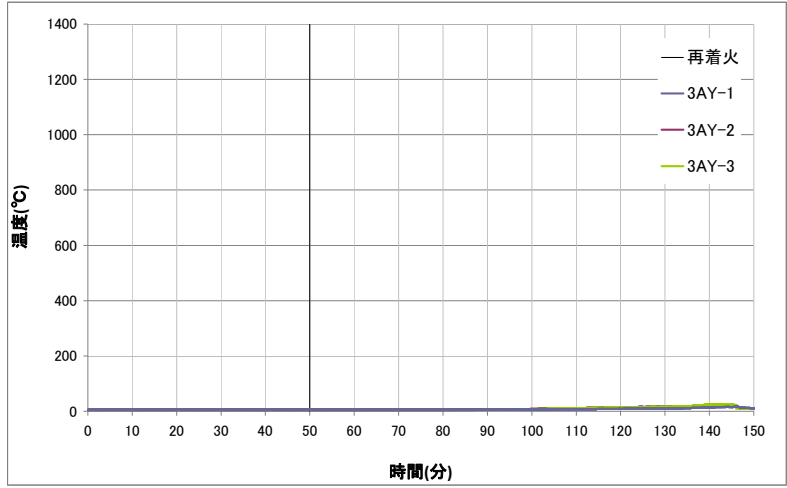


図 3.7.3-15 3階階段室 3AY 温度

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。

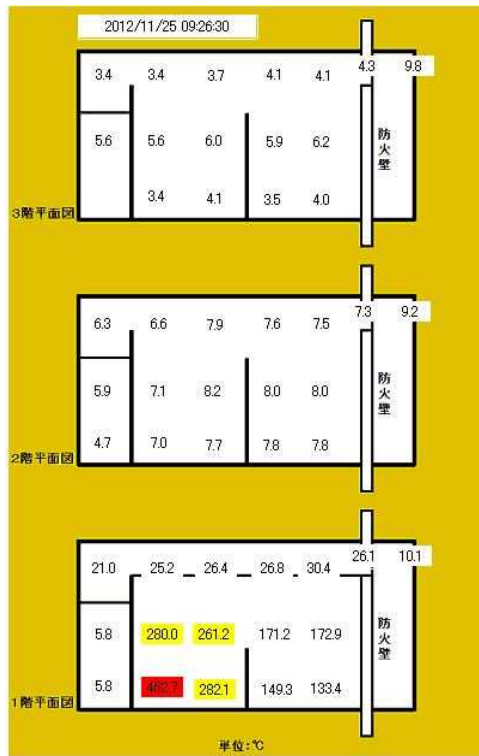


図 3.7.3-16 86分(36分)経過の温度分布

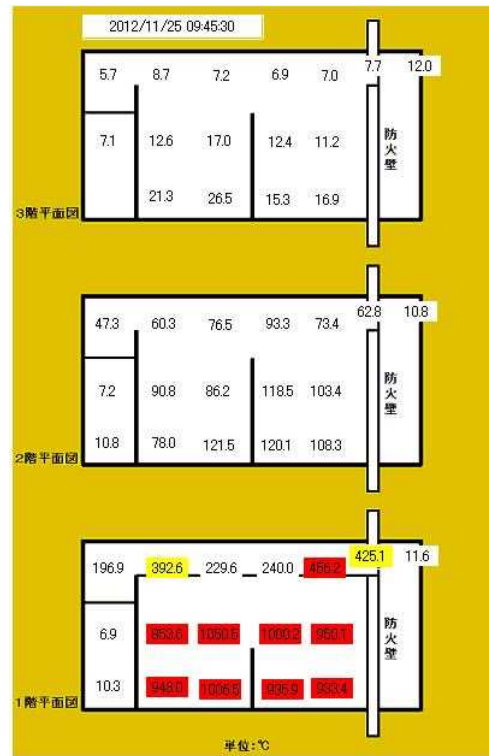


図 3.7.3-17 105分(55分)経過の温度分布

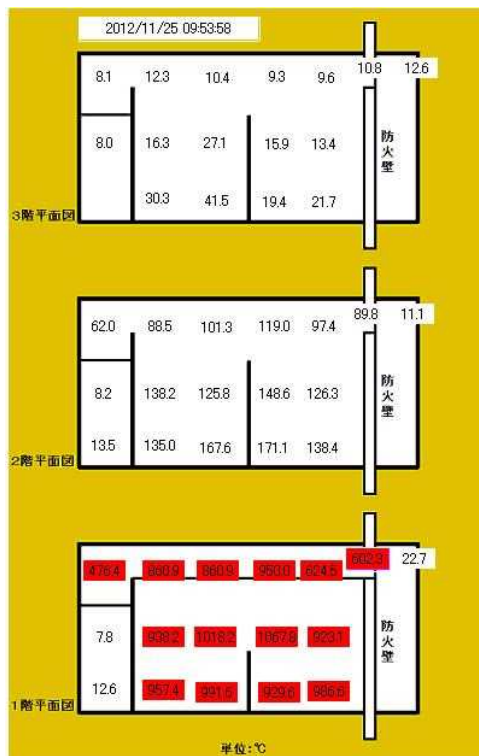


図 3.7.3-18 113分(63分)経過の温度分布

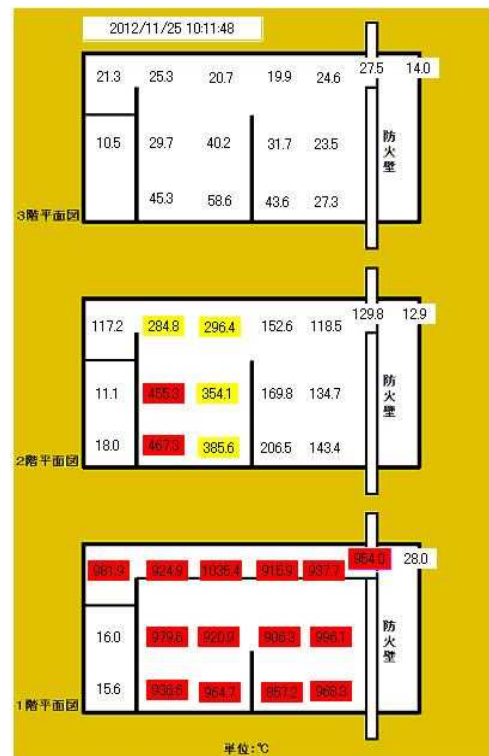


図 3.7.3-19 131分(81分)経過の温度分布

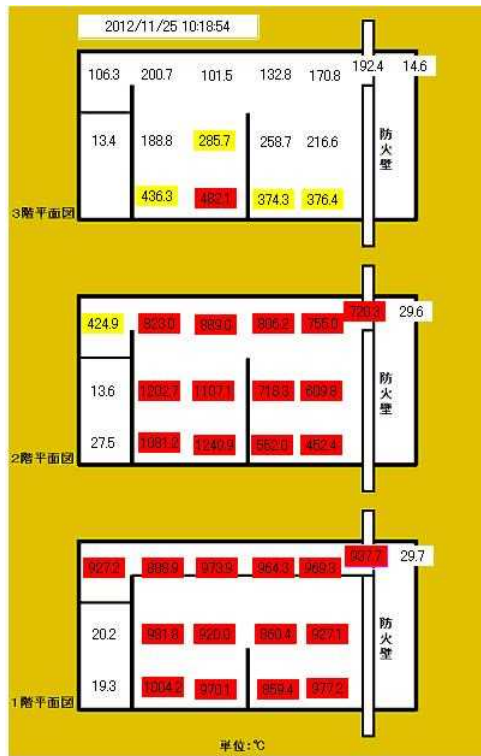


図 3.7.3-20 138分(88分)経過の温度分布

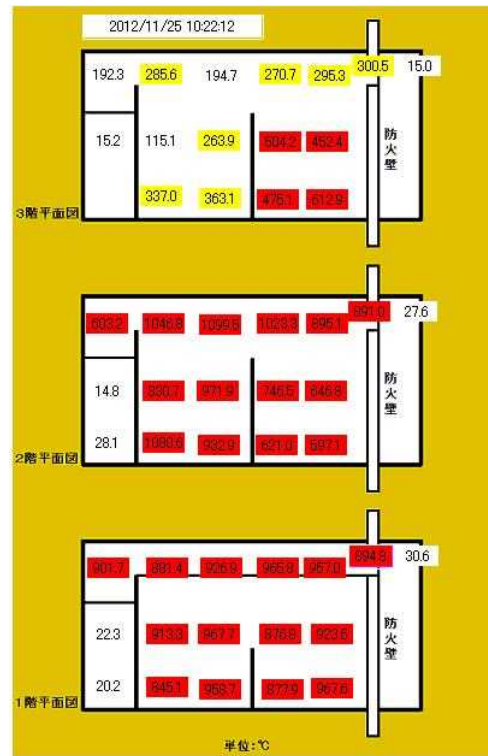


図 3.7.3-21 142分(92分)経過の温度分布

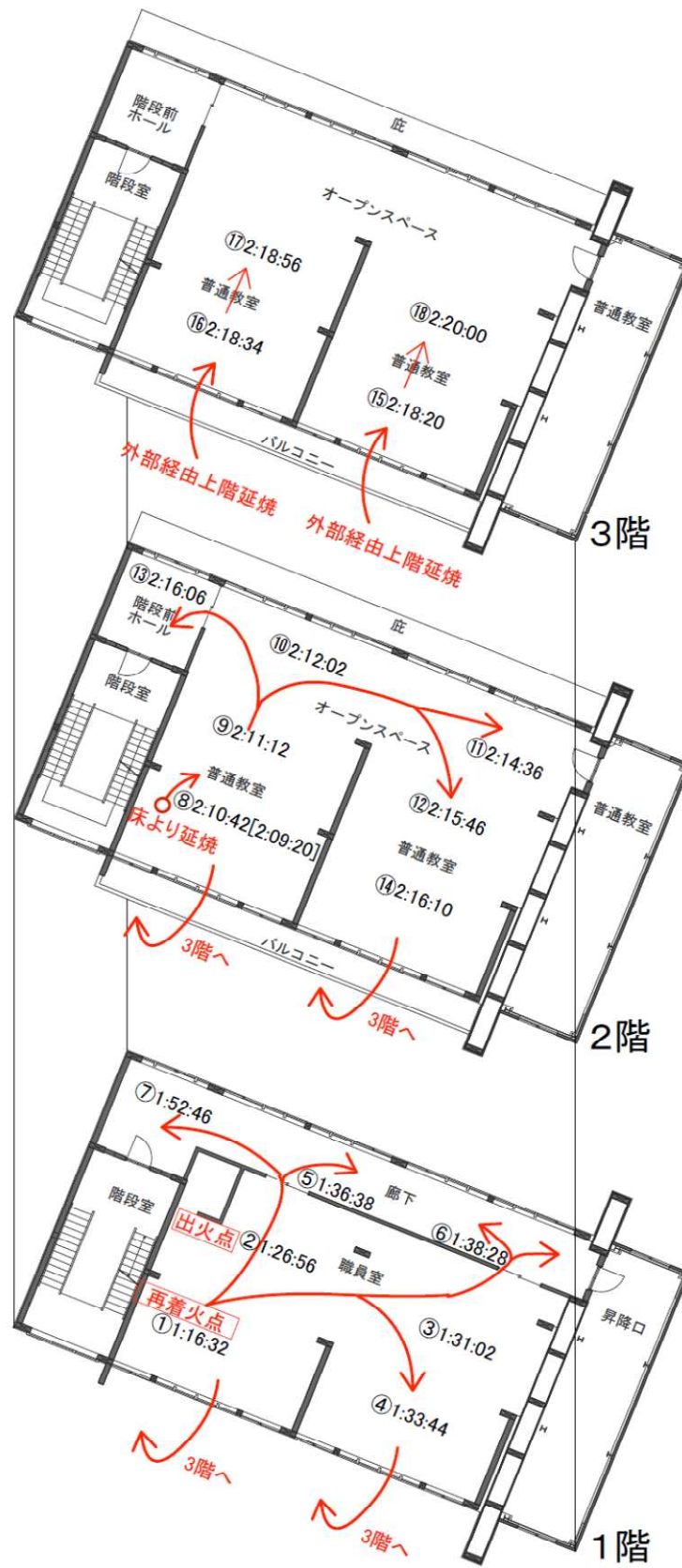


図 3.7.3-22 延焼拡大の推定経路

(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: $D=A/(C-B)$

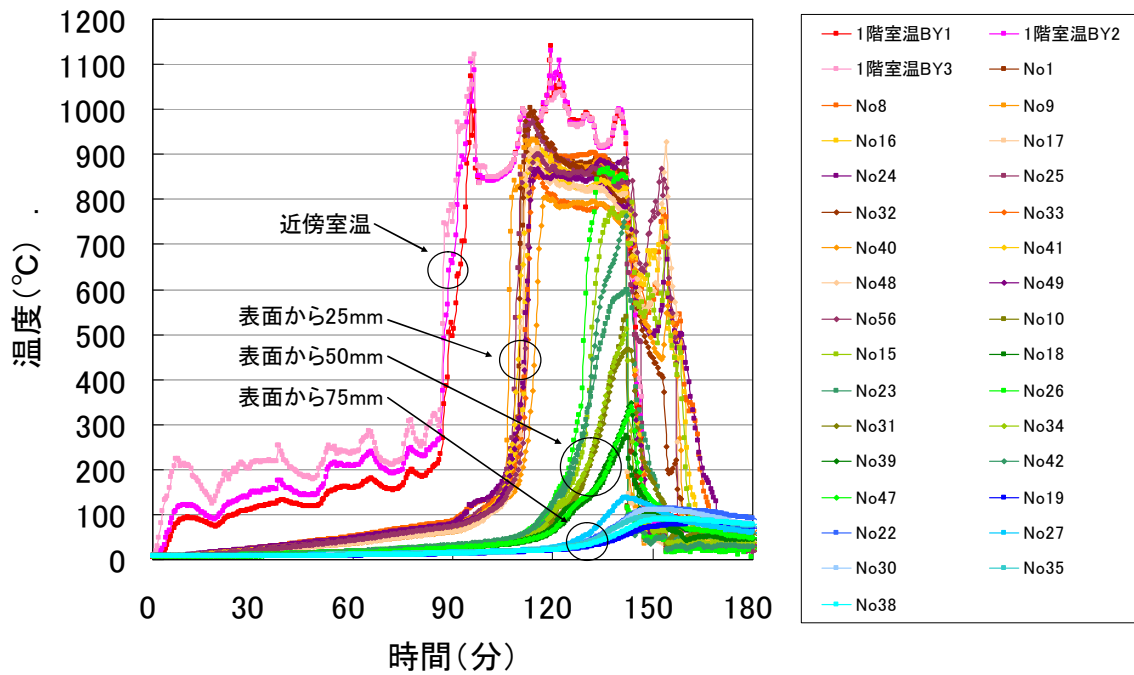


図 3.7.3-23 短辺方向の柱内部温度と炭化速度
(表面から 25、50、75mm)

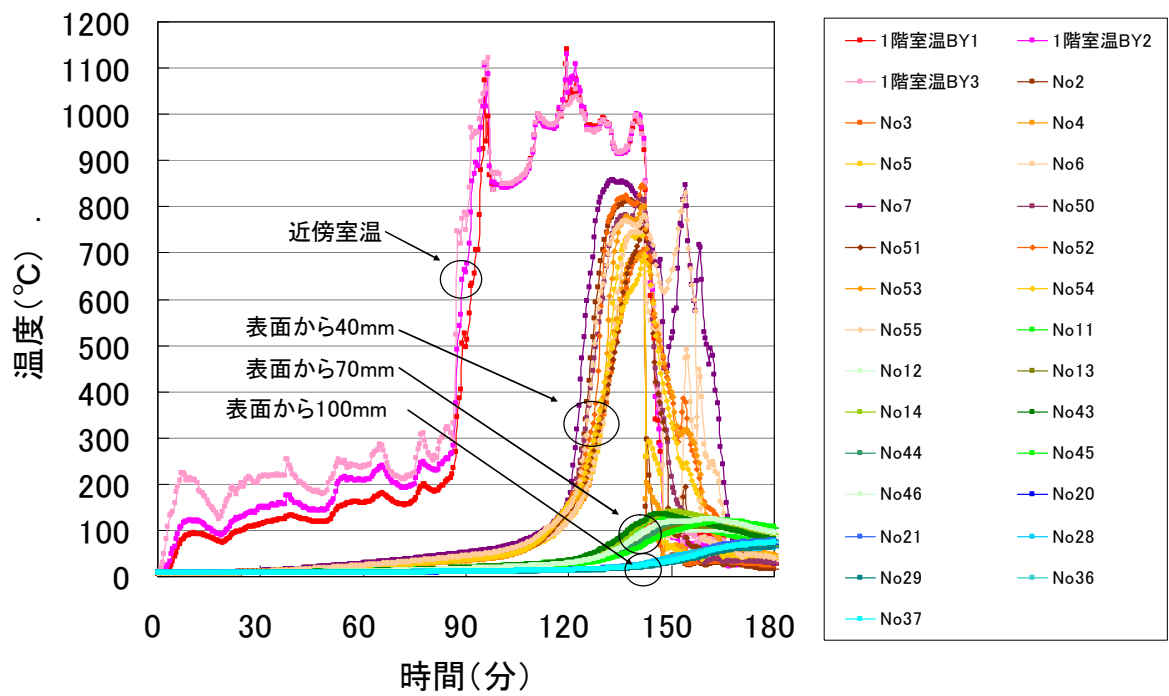
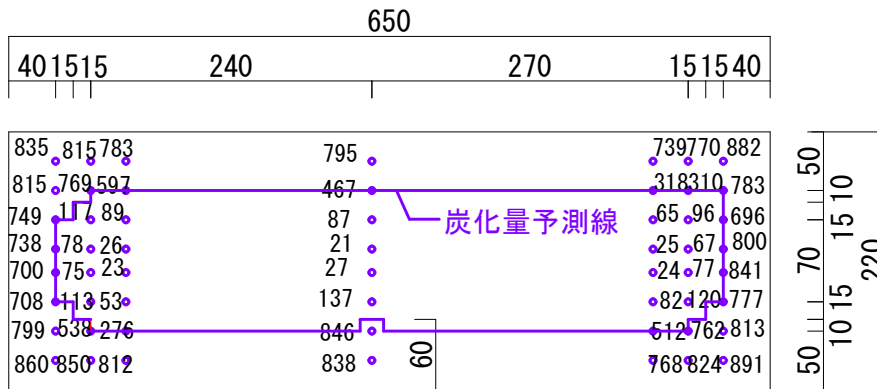
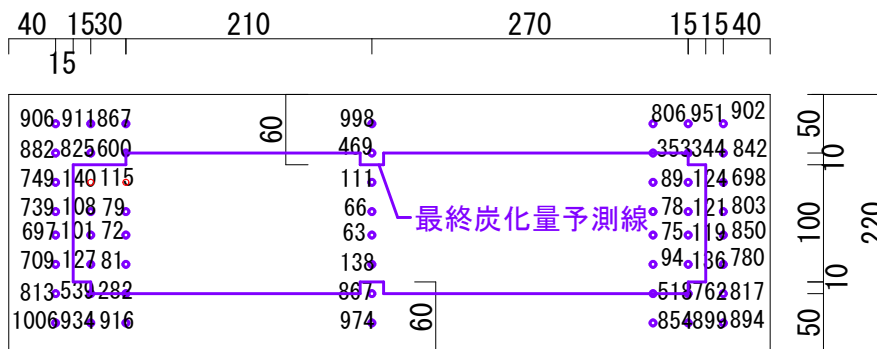


図 3.7.3-24 長辺方向の柱内部温度と炭化速度
(表面から 40、70、100mm)



▲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。

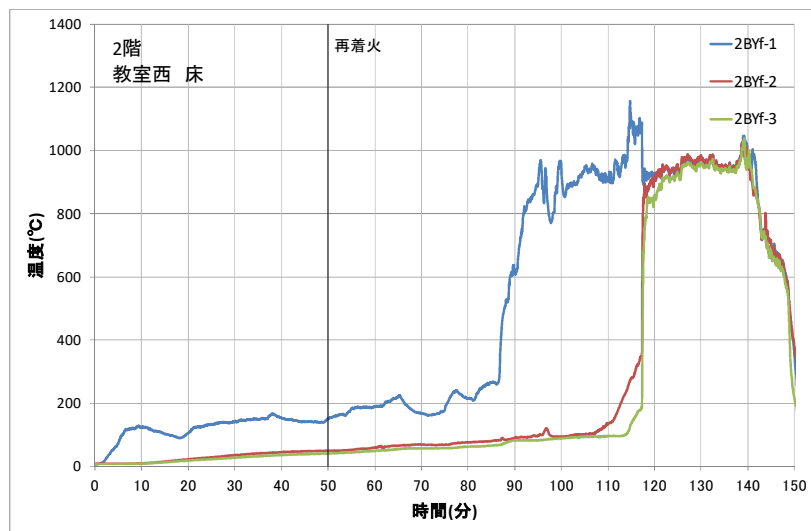


図 3.7.3-26 2 階普通教室(西)床温度

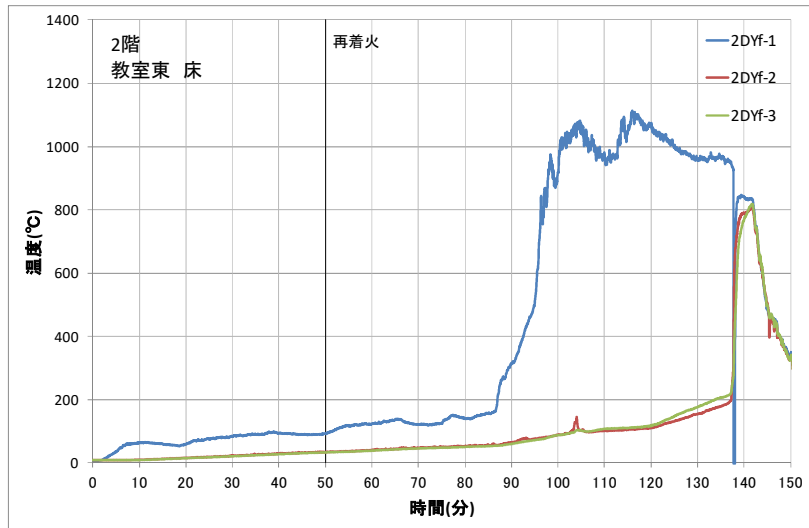


図 3.7.3-27 2階普通教室(東)床温度

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。

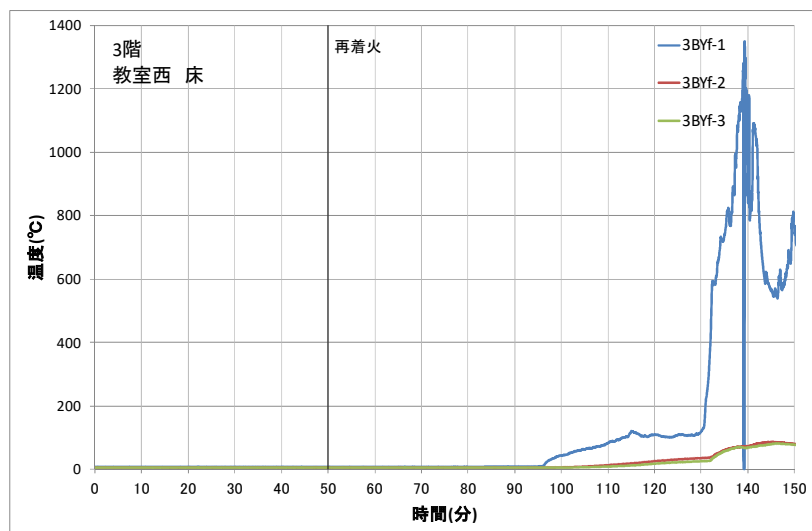


図 3.7.3-28 3階普通教室(西)床温度

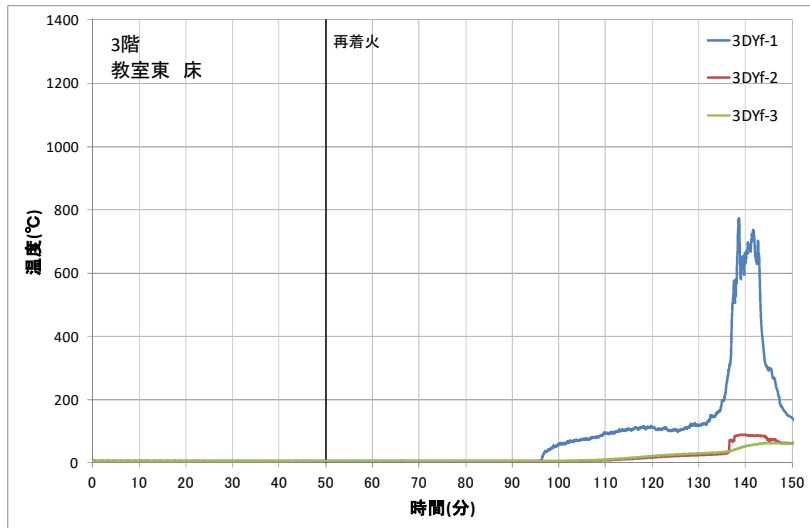


図 3.7.3-29 3階普通教室(東)床温度

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。

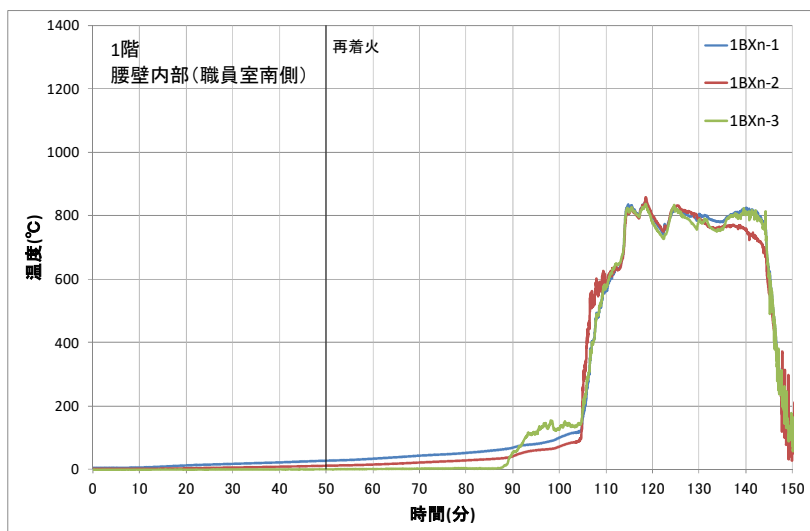


図 3.7.3-30 1階腰壁内部 (職員室南側) 温度

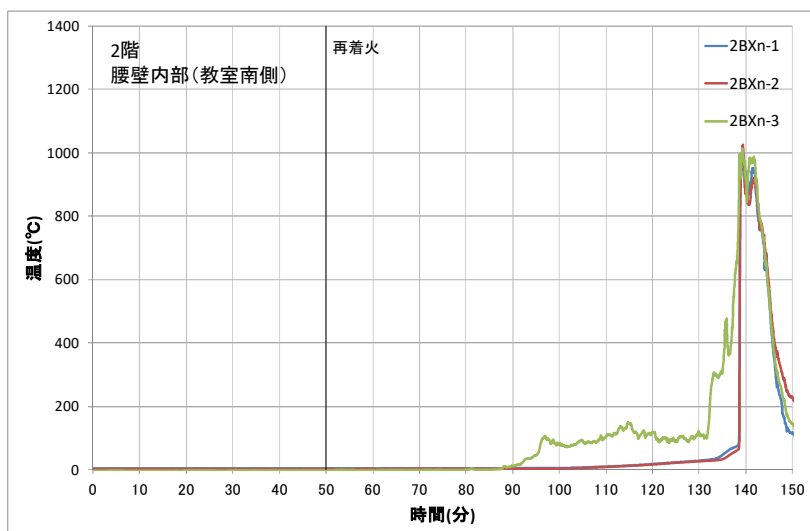


図 3.7.3-31 2階腰壁内部（普通教室南側）温度

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。

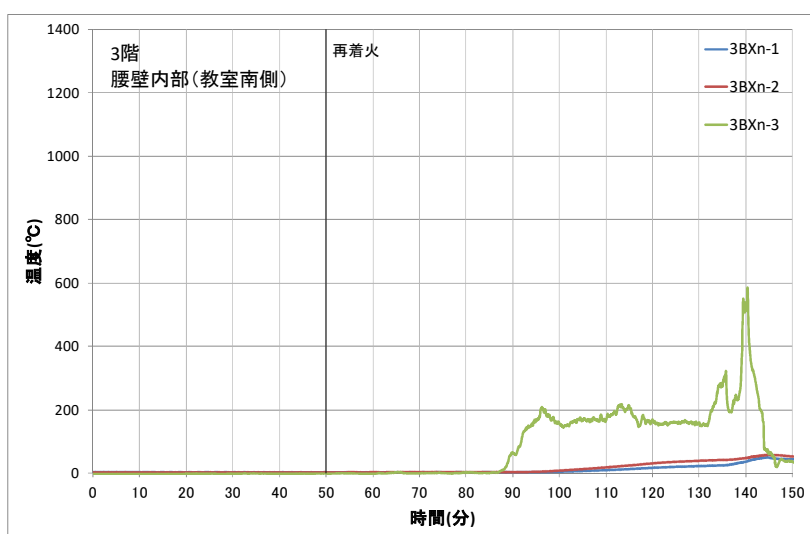


図 3.7.3-32 3階腰壁内部（普通教室南側）温度

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。

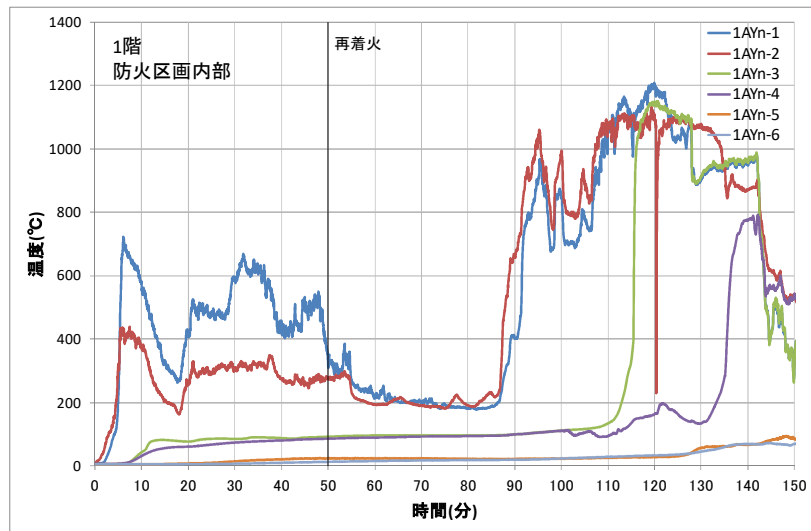


図 3.7.3-33 1階防火区画内部温度

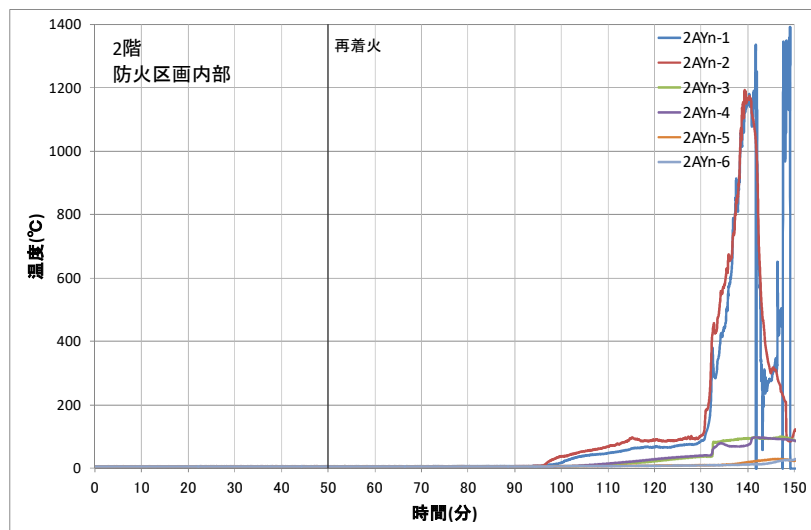


図 3.7.3-34 2階防火区画内部温度

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。

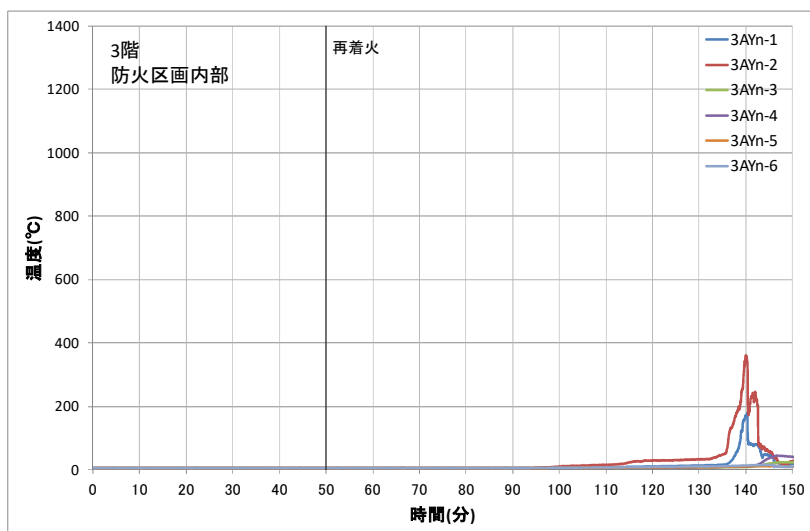


図 3.7.3-35 3階防火区画内部温度

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。

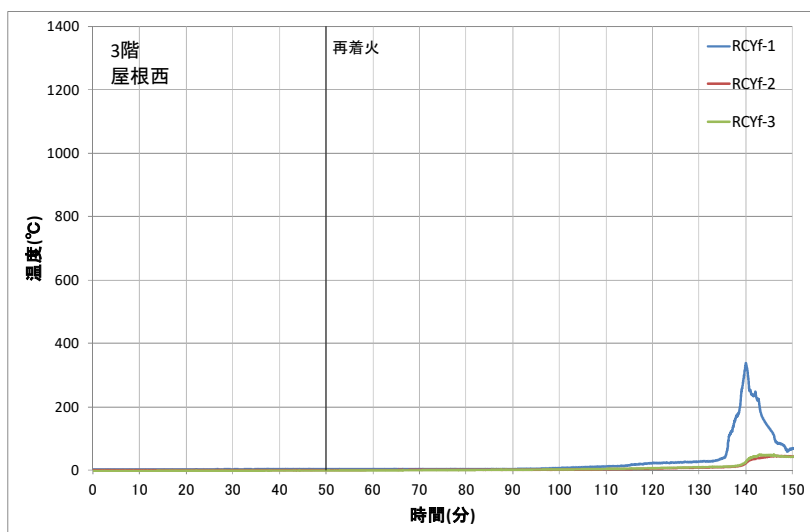


図 3.7.3-36 3階屋根(西)温度

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。

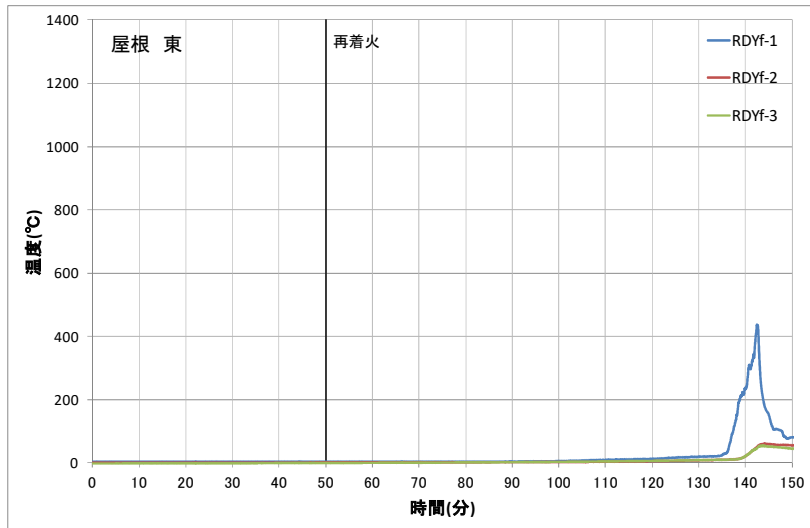


図 3.7.3-37 3階屋根(東)温度

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。

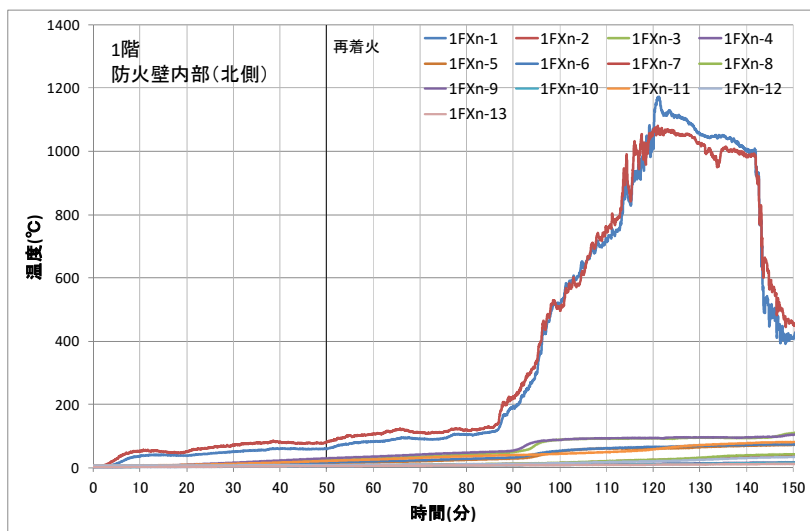


図 3.7.3-38 1階防火壁内部 (南側) 温度

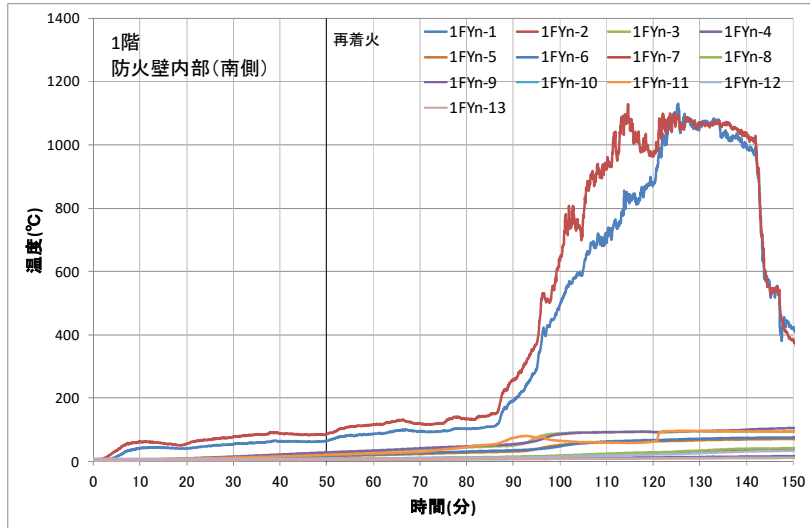


図 3.7.3-39 1階防火壁内部（北側）温度

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。

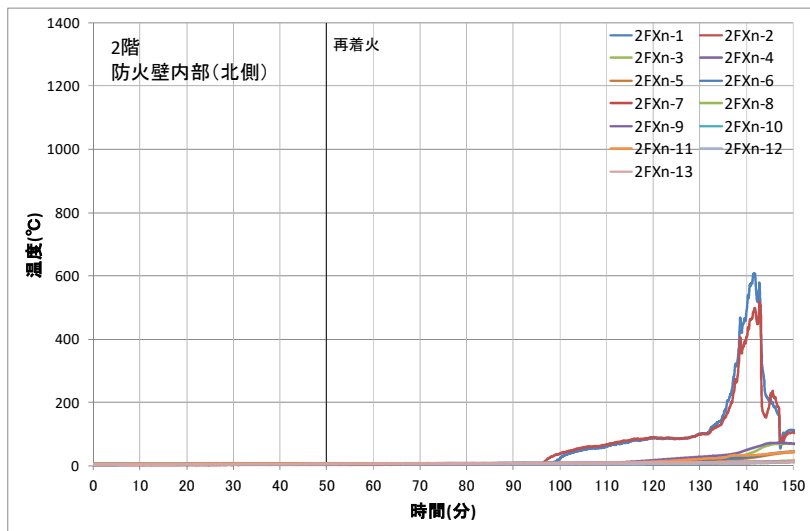


図 3.7.3-40 2階防火壁内部（南側）温度

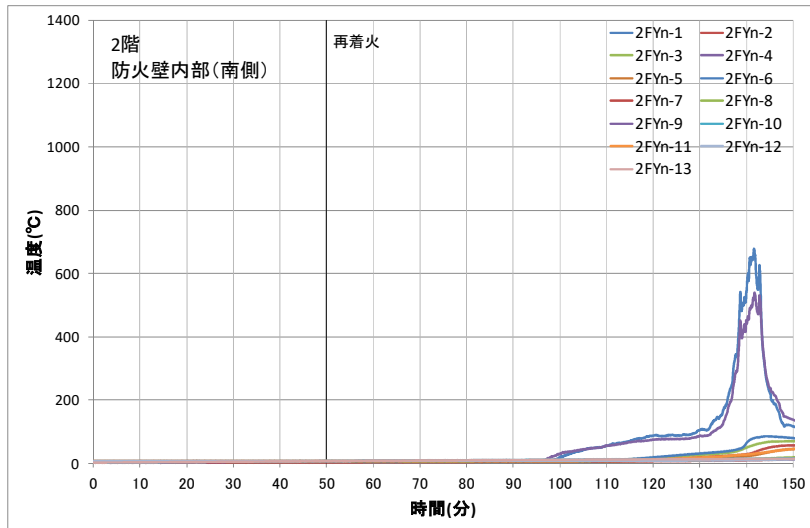


図 3.7.3-41 2階防火壁内部(北側)温度

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。

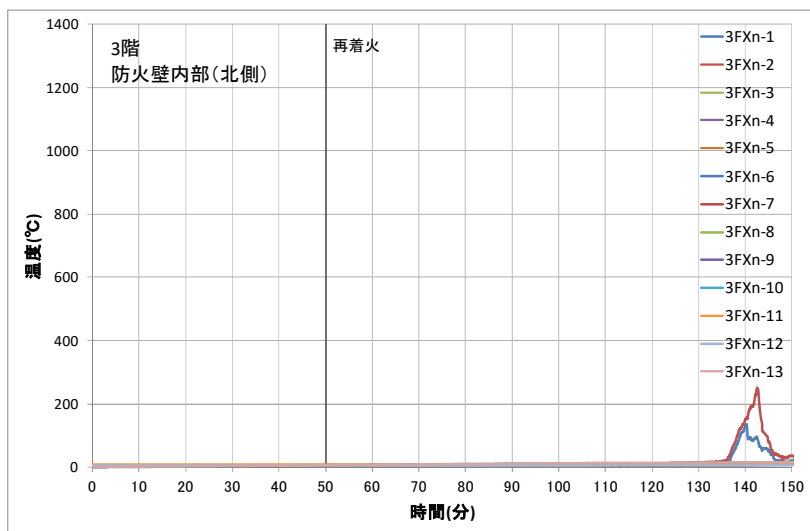


図 3.7.3-42 3階防火壁内部(南側)温度

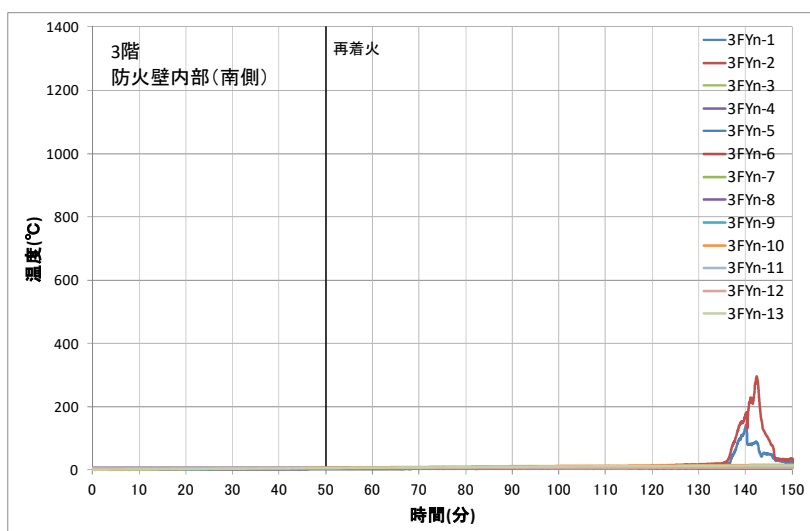


図 3.7.3-43 3階防火壁内部(北側)温度

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。

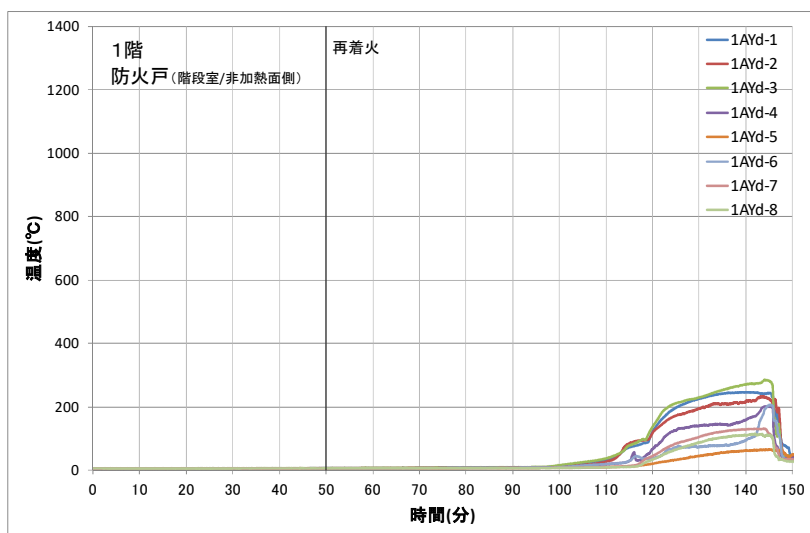


図 3.7.3-44 1階防火戸(階段室/非加熱面側)温度

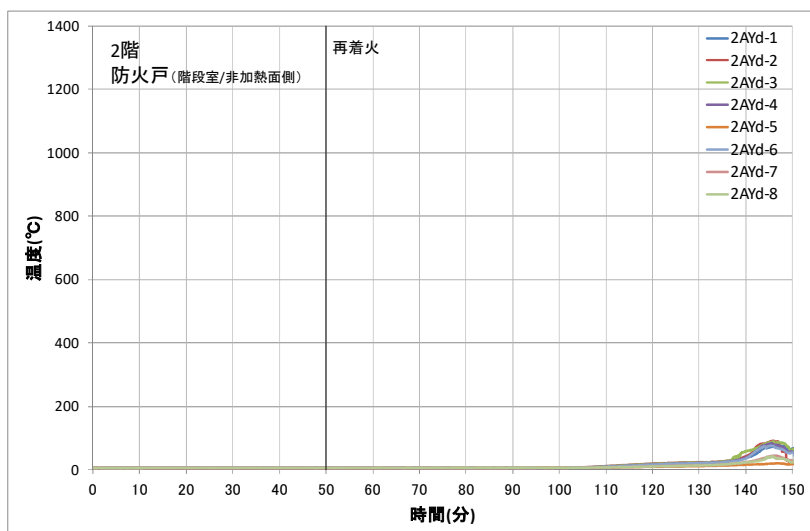


図 3.7.3-45 2階防火戸（階段室/非加熱面側）温度

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。

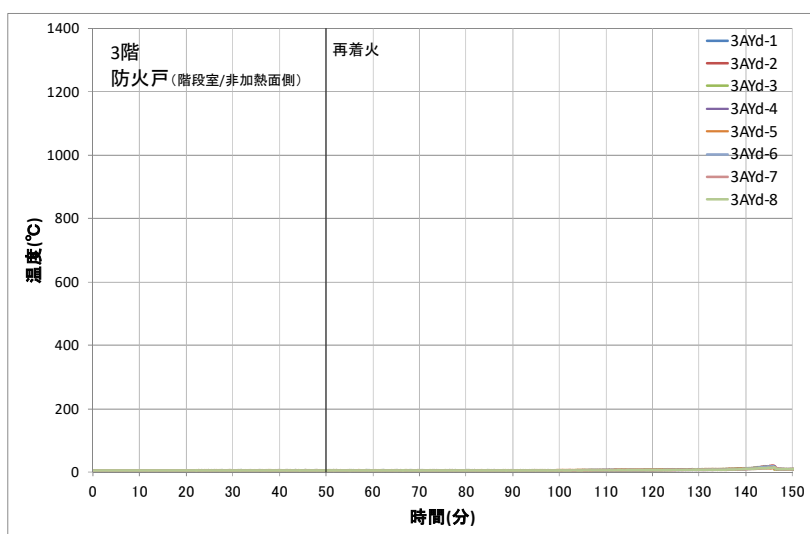


図 3.7.3-46 3階防火戸（階段室/非加熱面側）温度

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。

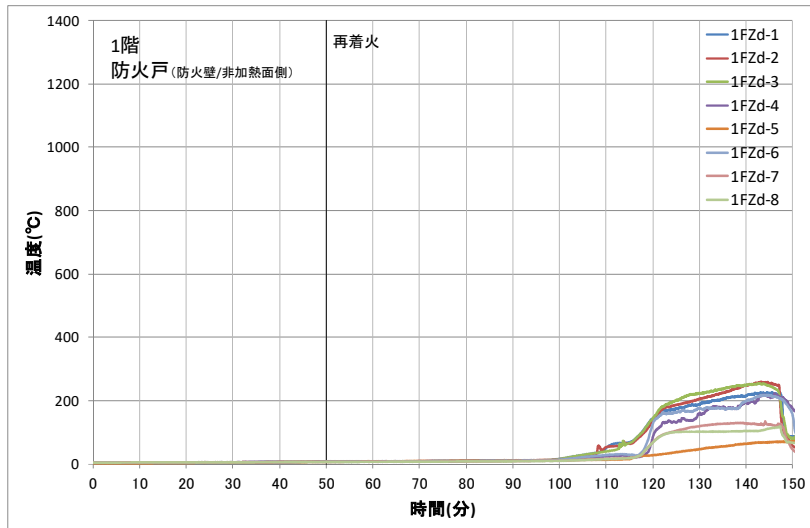


図 3.7.3-47 1階防火戸（防火壁/非加熱面側）温度

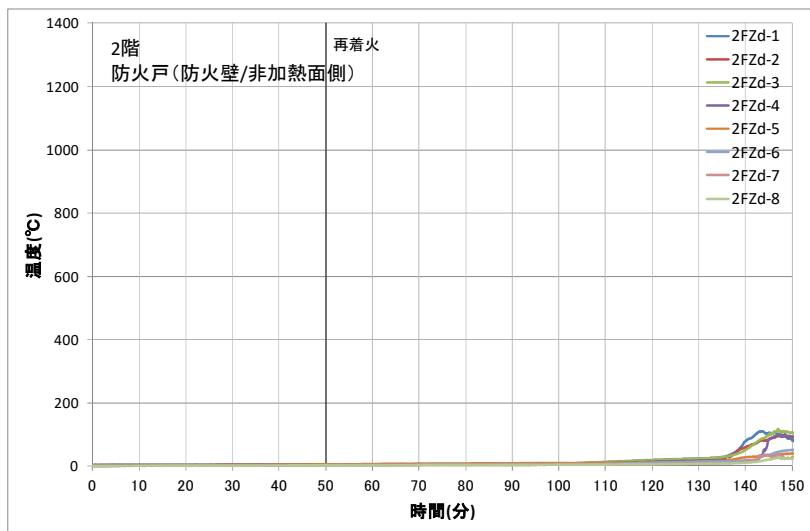


図 3.7.3-48 2階防火戸（防火壁/非加熱面側）温度

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。

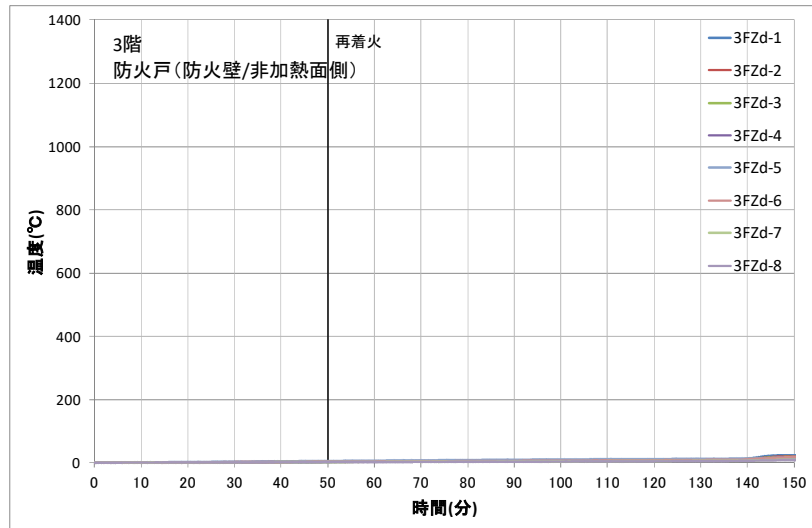


図 3.7.3-49 3階防火戸（防火壁/非加熱面側）温度

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。

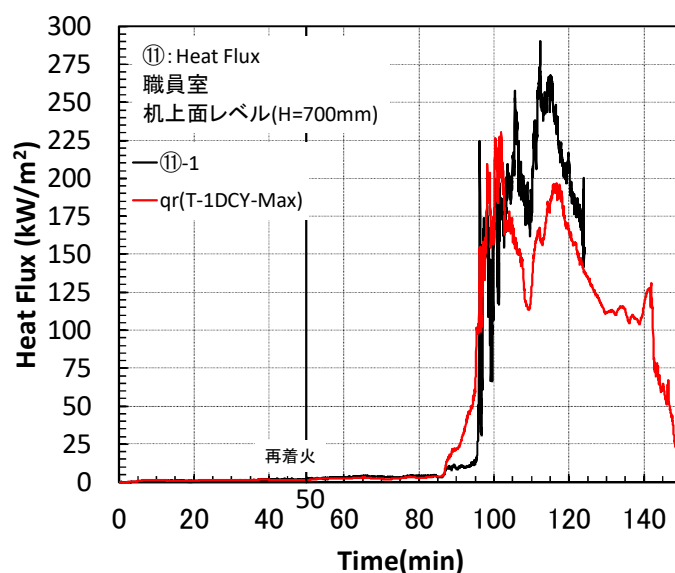


図 3.7.4-1 職員室内の机天板レベルへの入射熱流束

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。

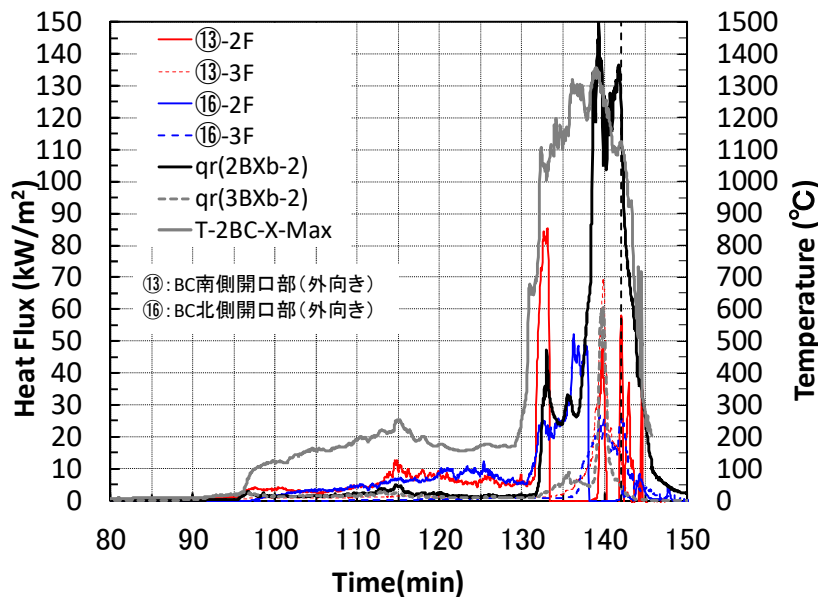


図 3.7.4-2 BC ゾーン開口部の熱流束

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(⑭、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。

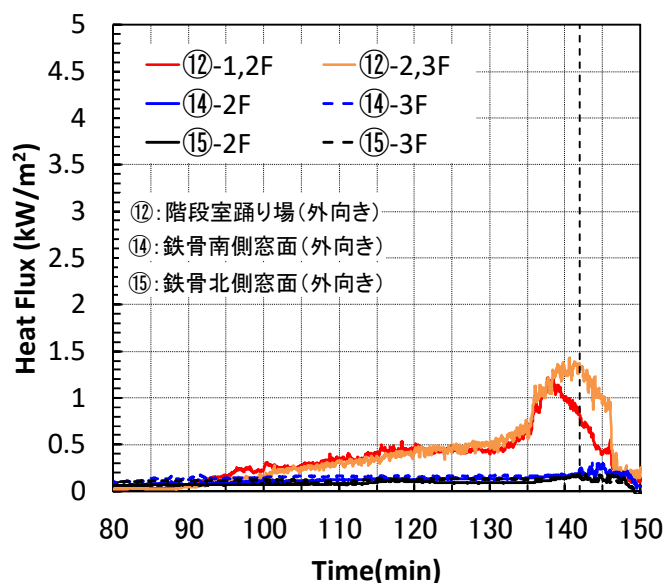


図 3.7.4-3 A、F ゾーン開口部の熱流束(階段室、鉄骨側)

(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。

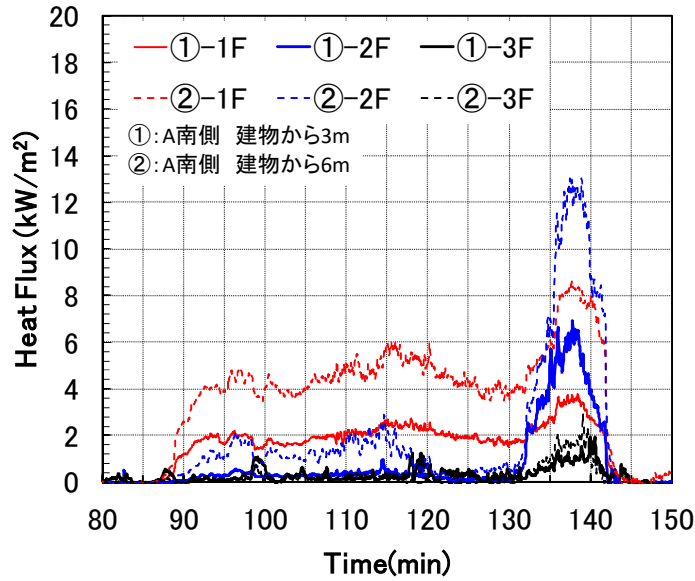


図 3.7.4-4 A ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

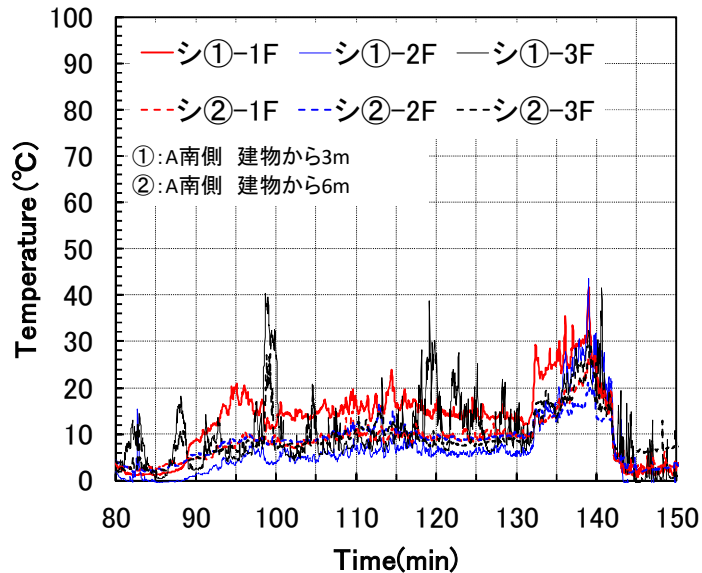


図 3.7.4-5 A ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

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。

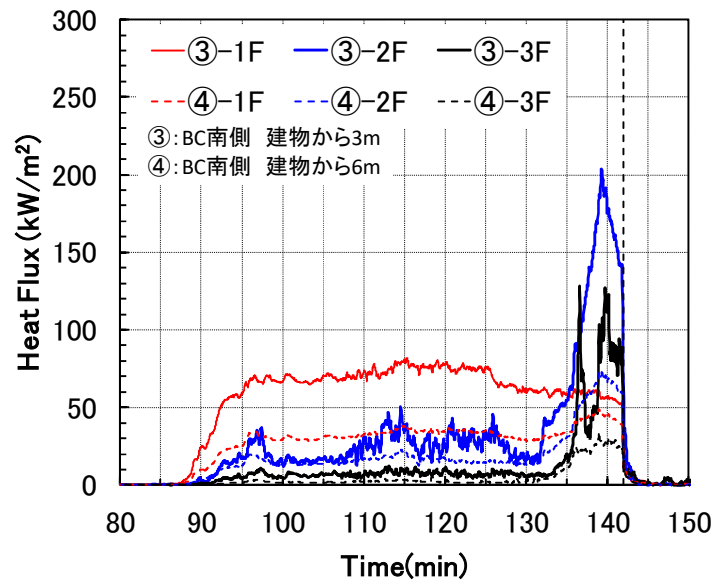


図 3.7.4-6 BC ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

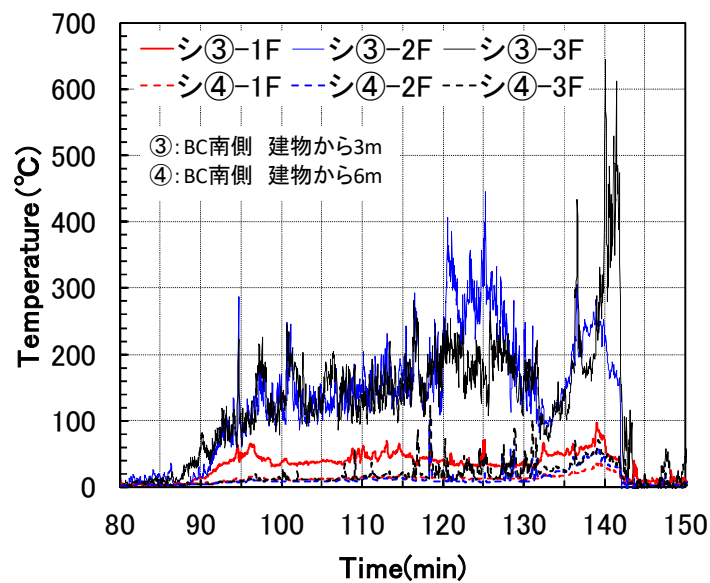


図 3.7.4-7 BC ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

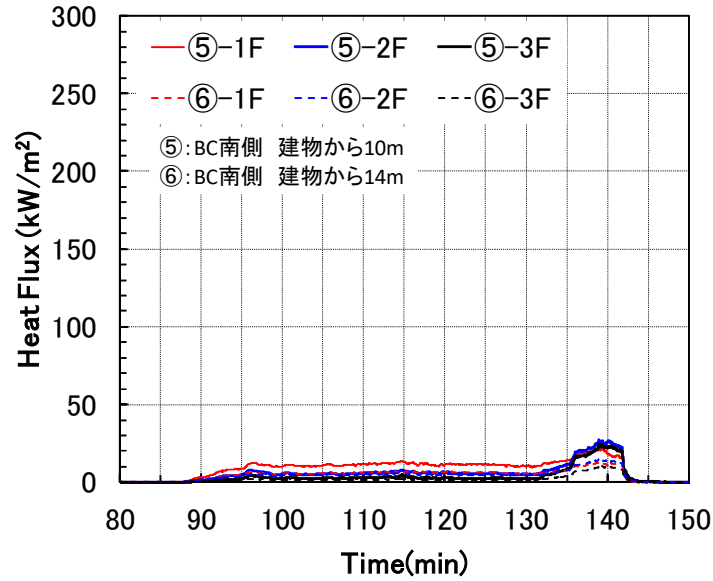


図 3.7.4-8 BC ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

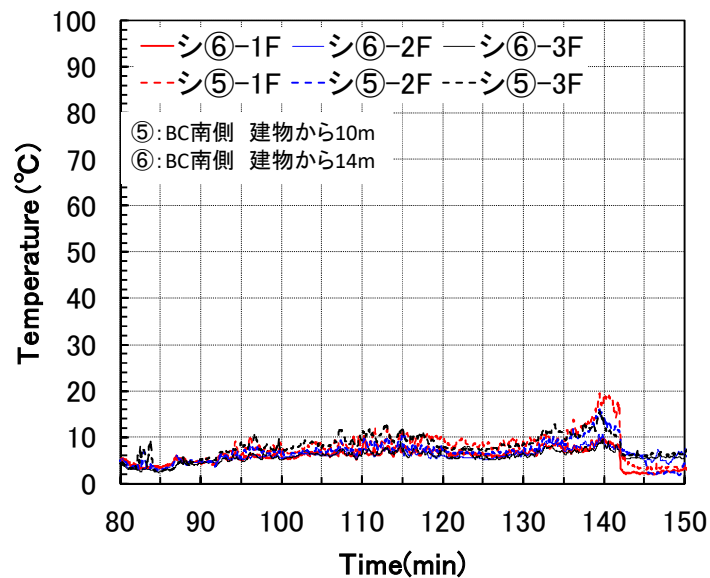


図 3.7.4-9 BC ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

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°C程度、130分(80分)以後は、約240°C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°Cに至っていない。

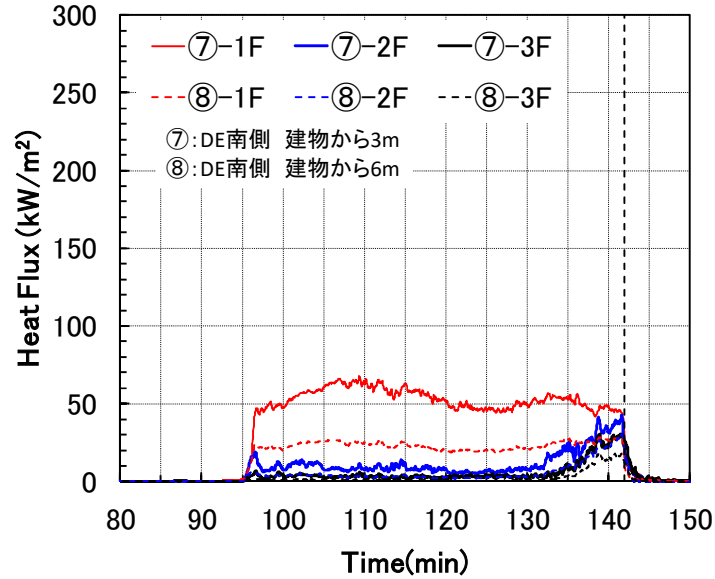


図 3.7.4-10 DE ゾーン南側の熱流束(1~3階、 $L=3$ 、6m)

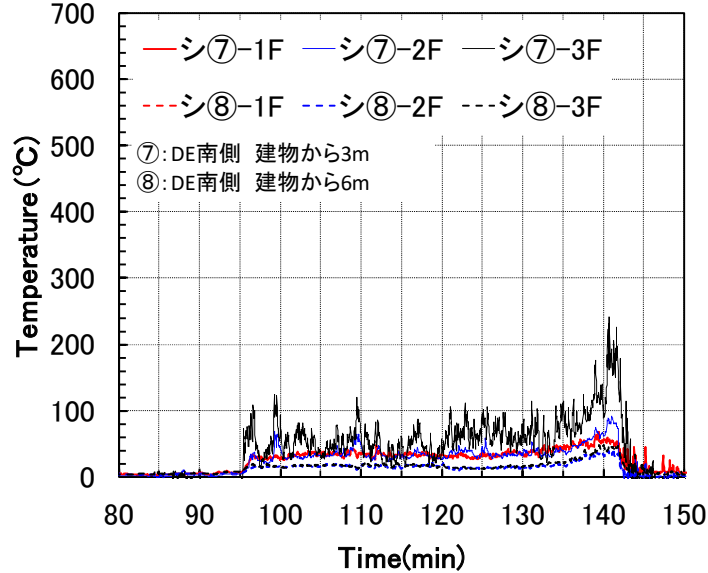


図 3.7.4-11 DE ゾーン南側の温度 (1~3階、 $L=3$ 、6m)

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。

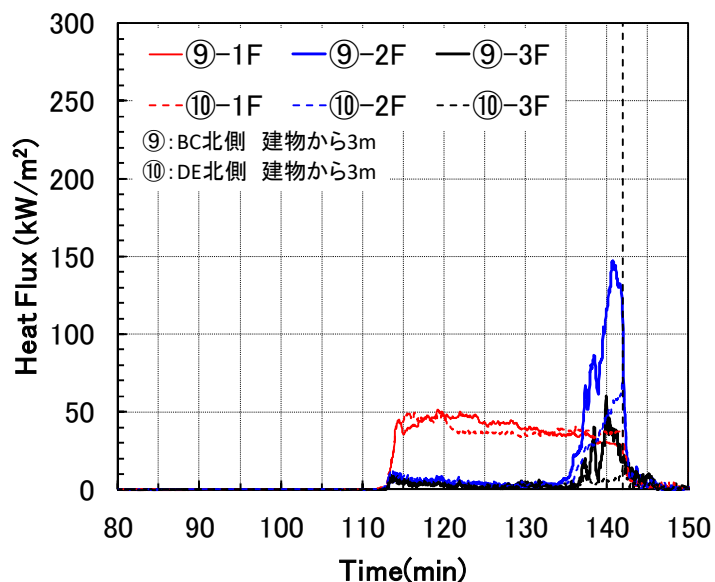


図 3.7.4-12 BC、DE ゾーン北側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

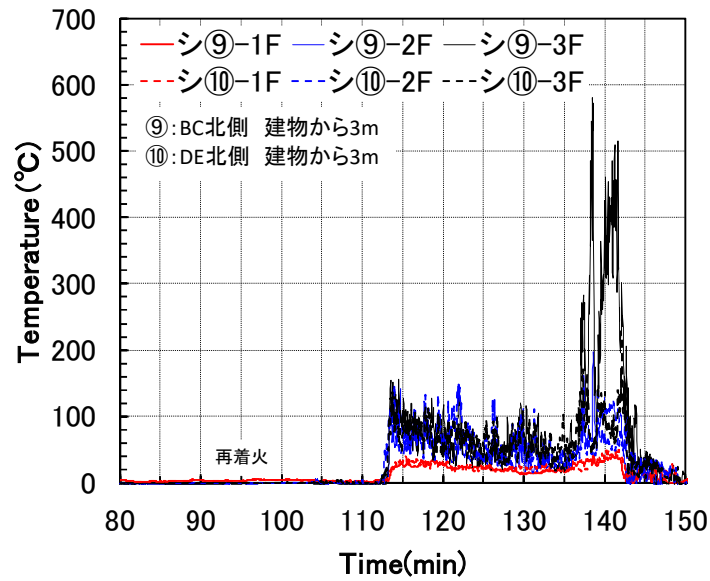
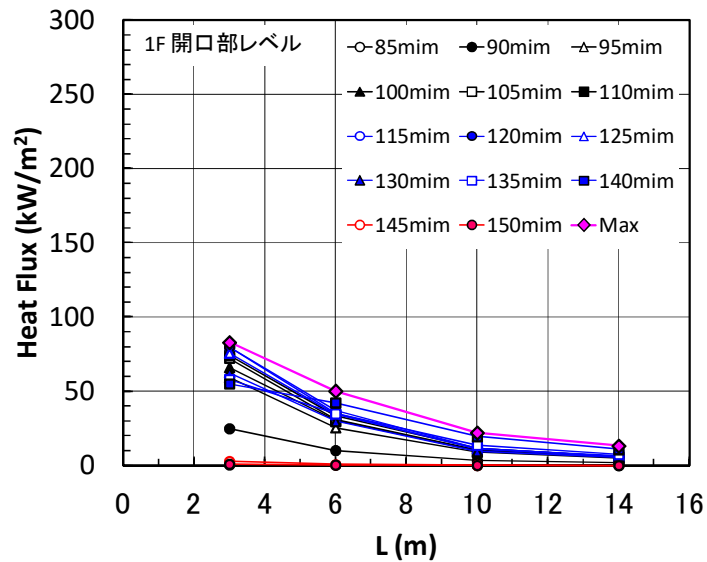


図 3.7.4-13 BC、DE ゾーン北側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

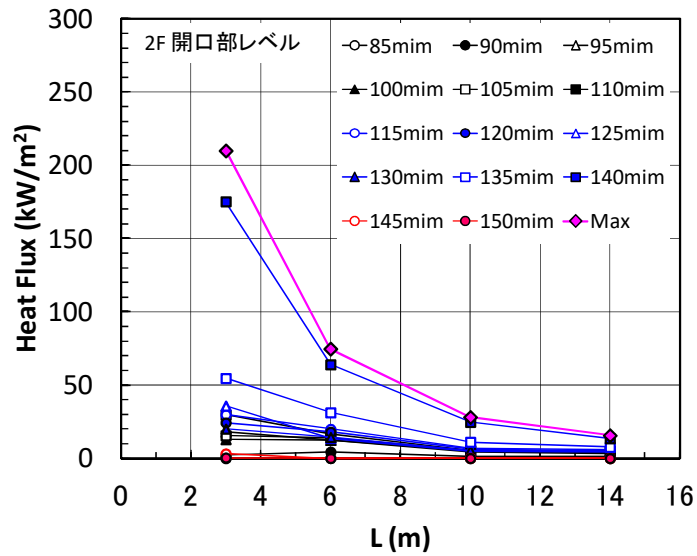
5) 離隔距離 L と入射熱流束

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。

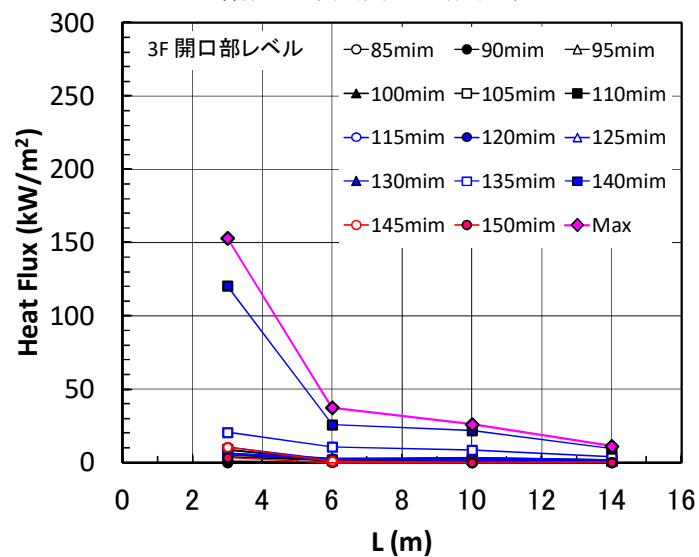
図 3.7.4-14 より 2 階の熱流束が最も大きく、離隔距離 $L=3$ 、6、10、14m でそれぞれ、約 209、75、28、16kW/m² となった。



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)

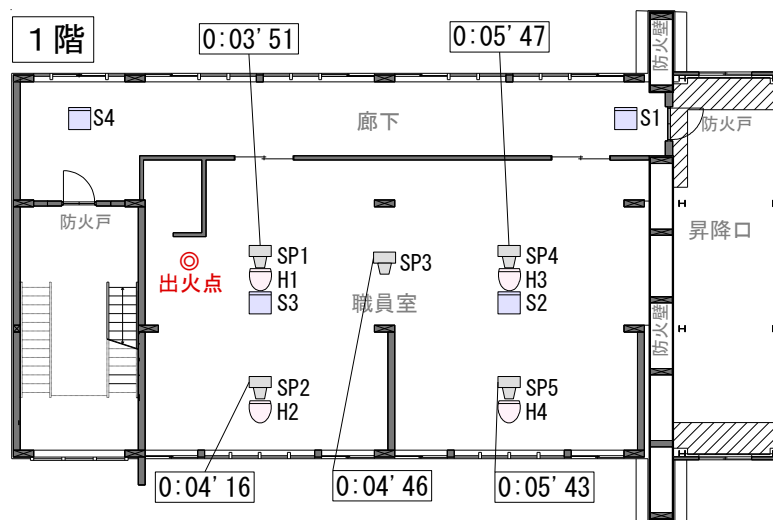


図 3.7.5-1 スプリンクラーヘッド発報時間

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。

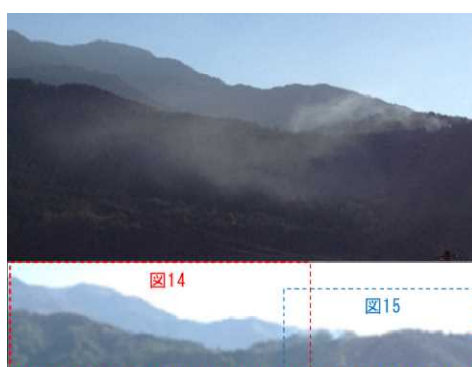


写真 3.7.6-1 山中の煙 (38 分)

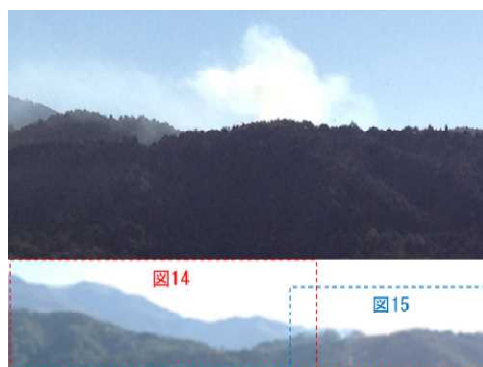


写真 3.7.6-2 揚煙 (86 分(36 分))



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側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。

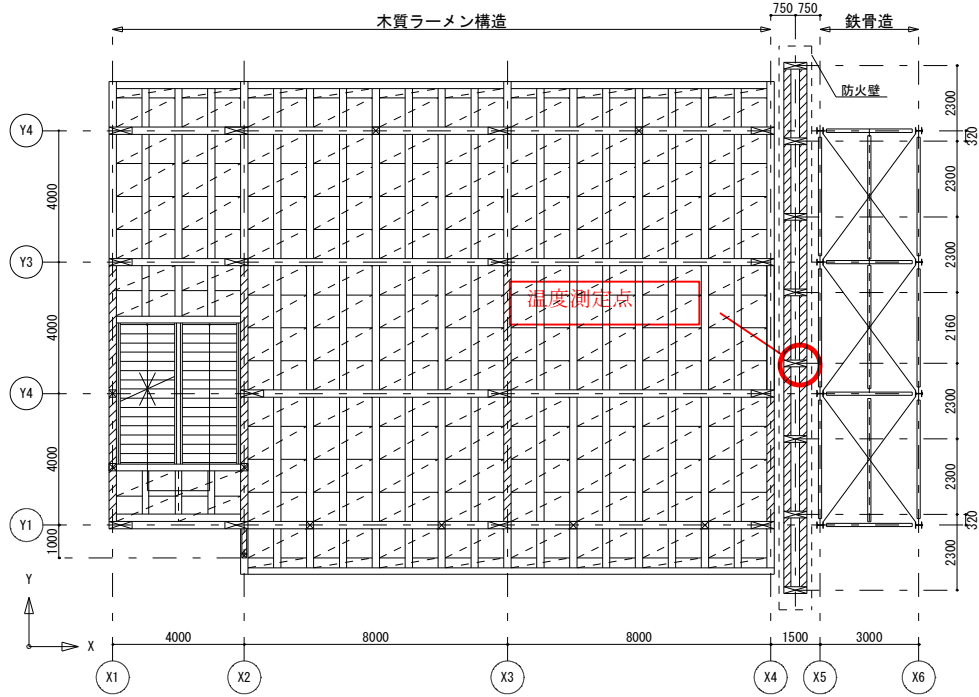


図 3.7.7-1 平面図における防火壁の位置および温度測定点

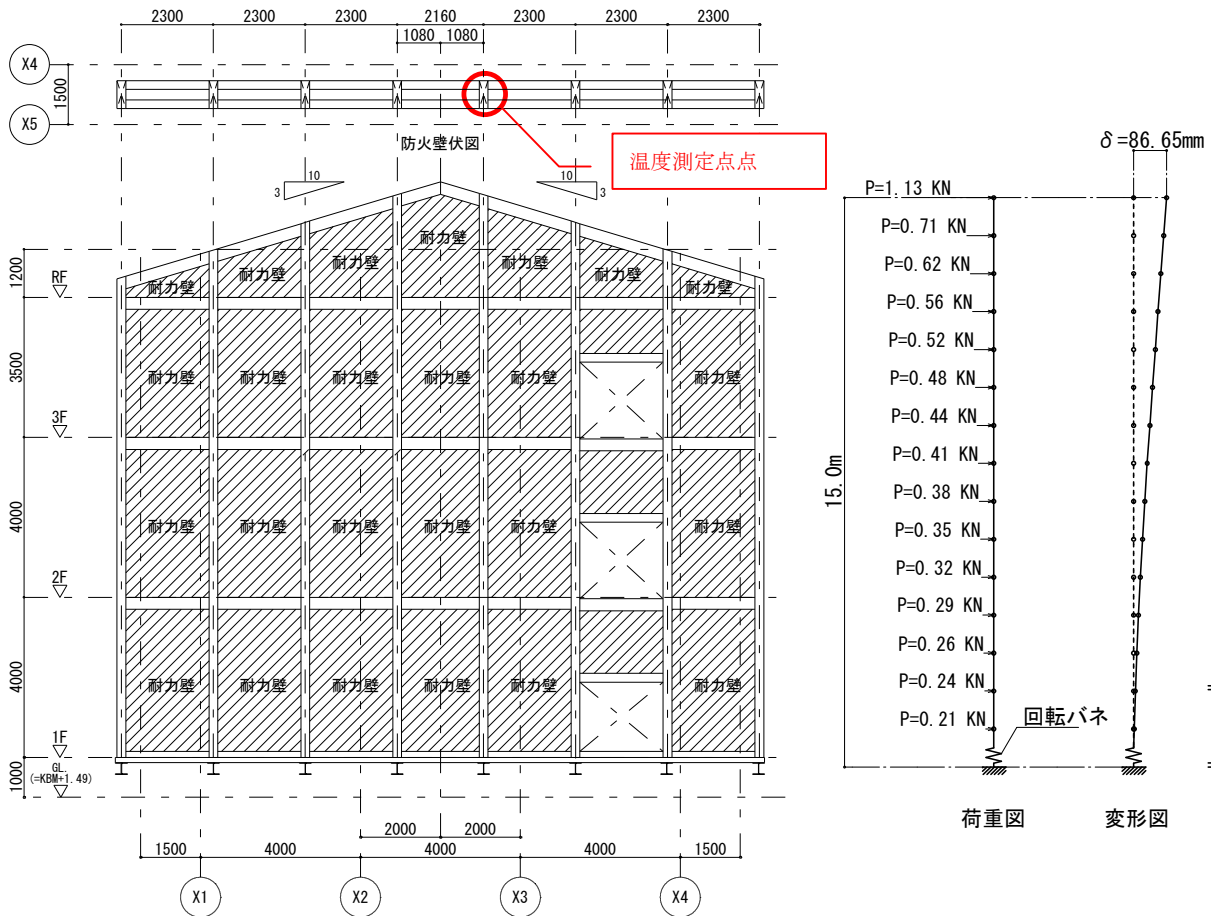


図 3.7.7-2 防火壁軸組み図

図 3.7.7-3 A_i 分布による外力と変形

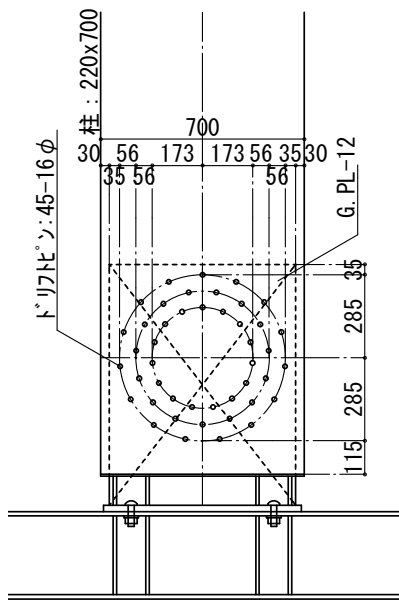


図 3.7.7-4 柱脚接合部詳細図

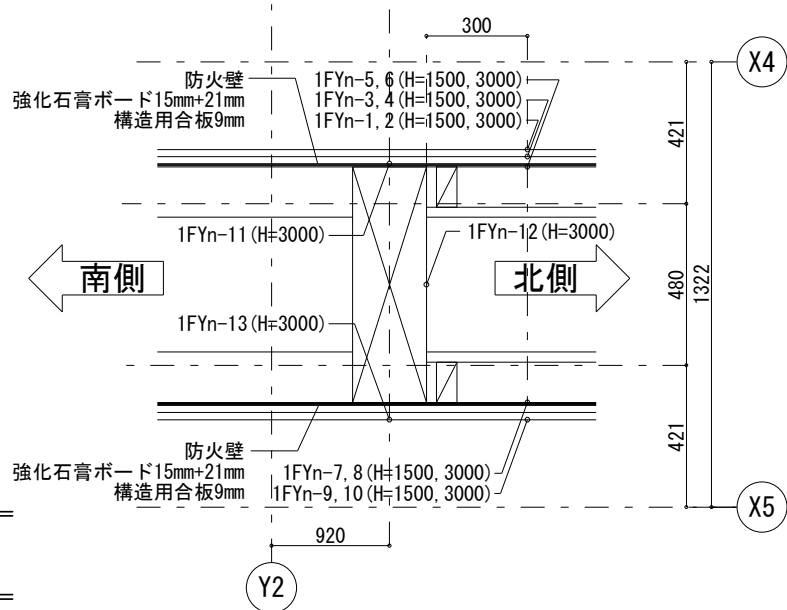


図 3.7.7-5 温度測定点詳細図

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。

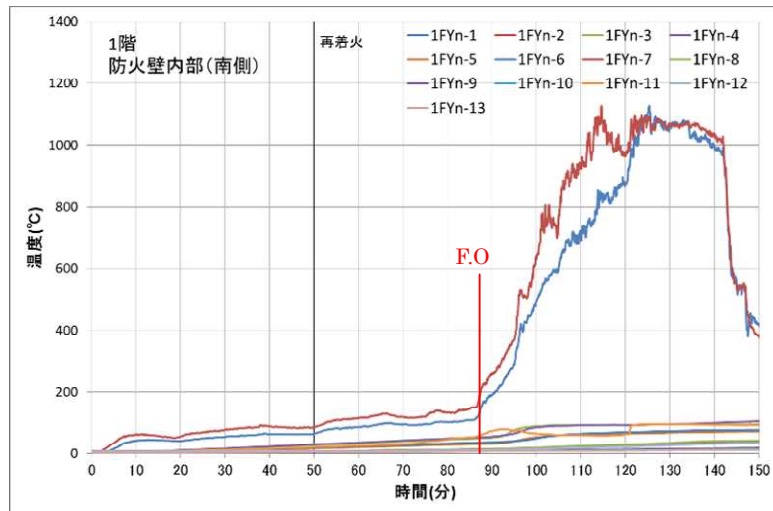


図 3.7.7-6 防火壁における測定温度

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



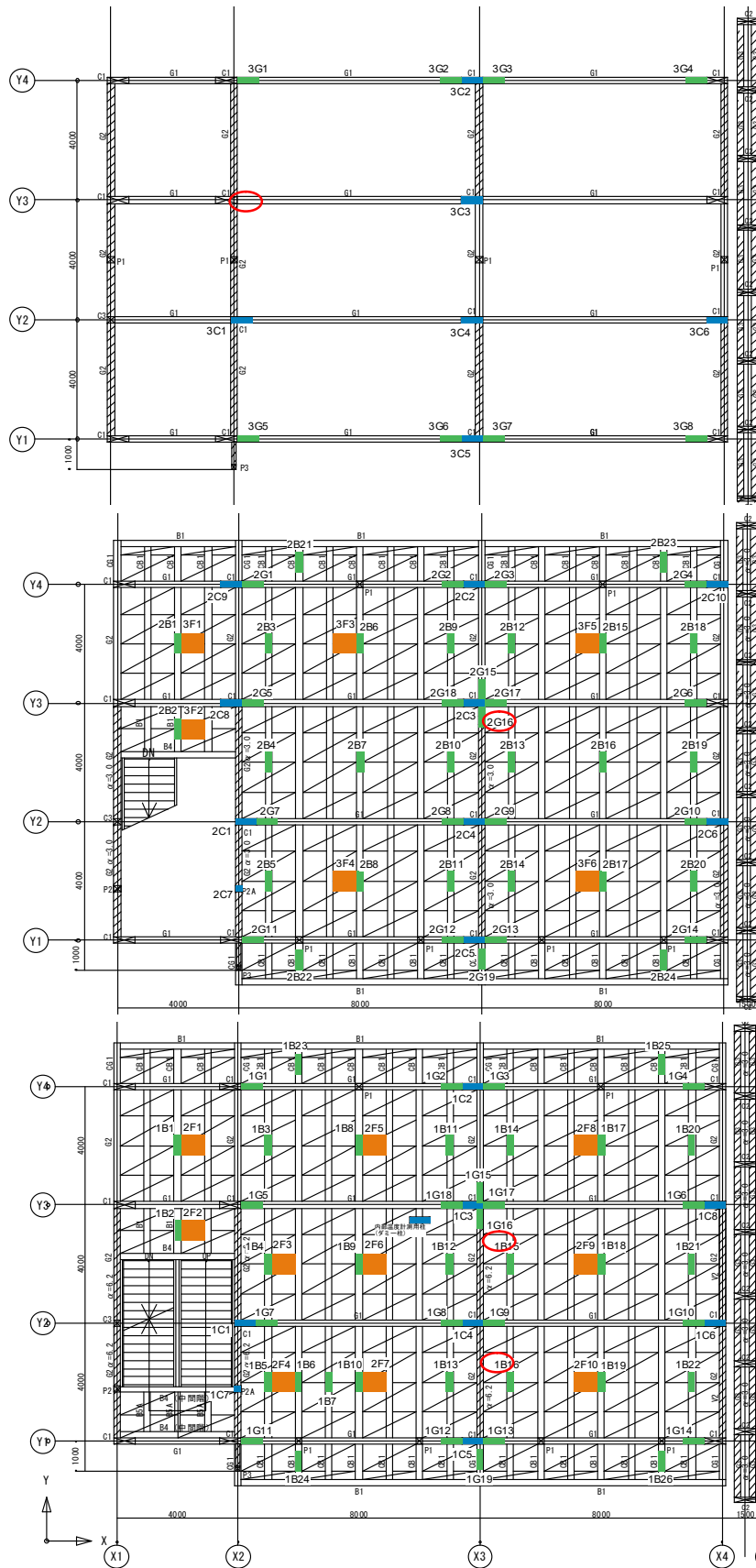
写真 3.7.7-27 合板撤去後の防火壁の状況



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 (green box) 柱 (blue box) 床合板 (orange box) 接合部 (red circle)

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。

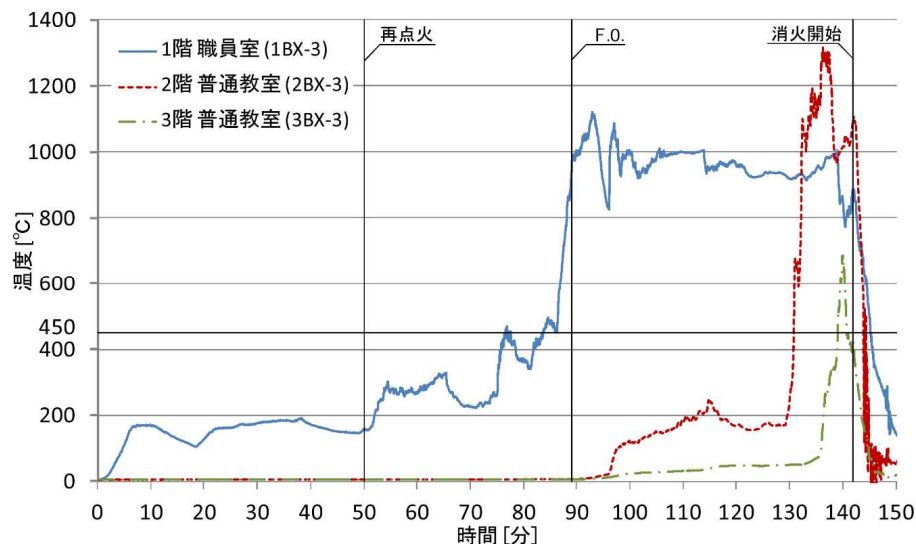


図 3.7.7-8 各階室内温度推移（1、2 階：FL+3.00m、3 階：FL+3.77m）

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。

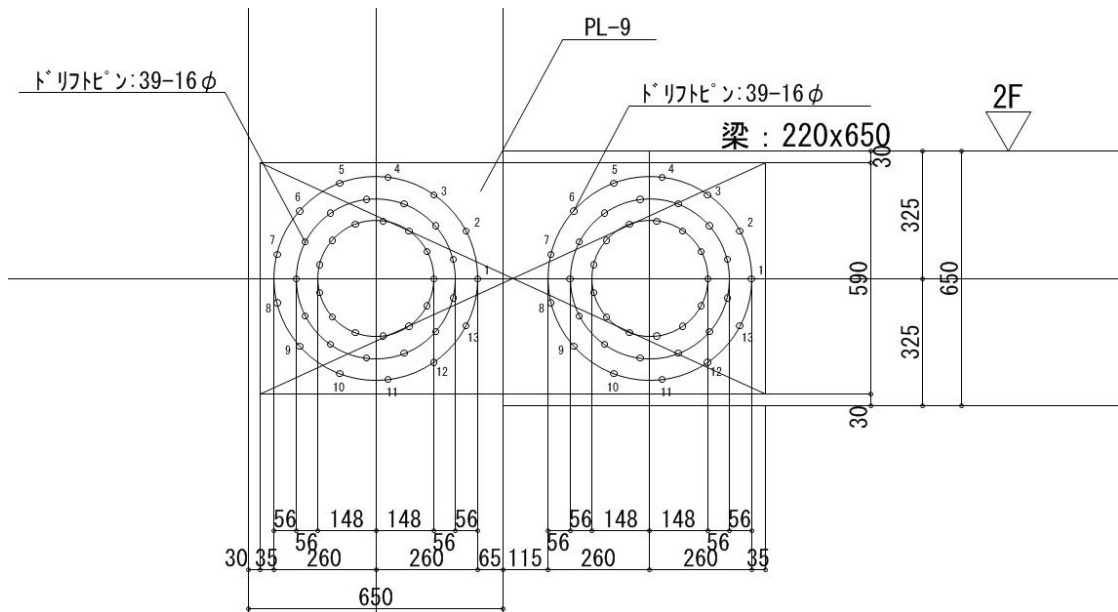


図 3.7.7-9 接合部詳細



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

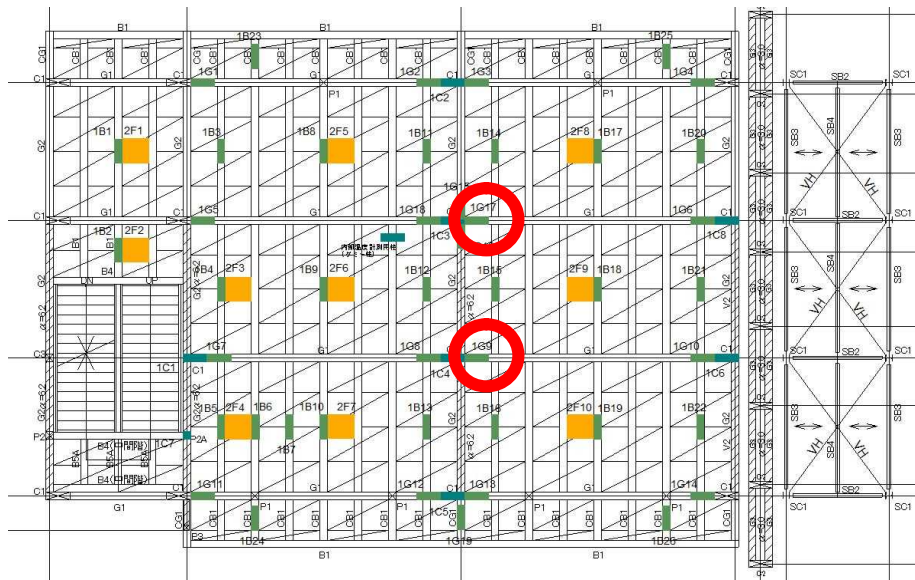


写真 3.7.7-34 小梁用接合金具取り付け部の状況例

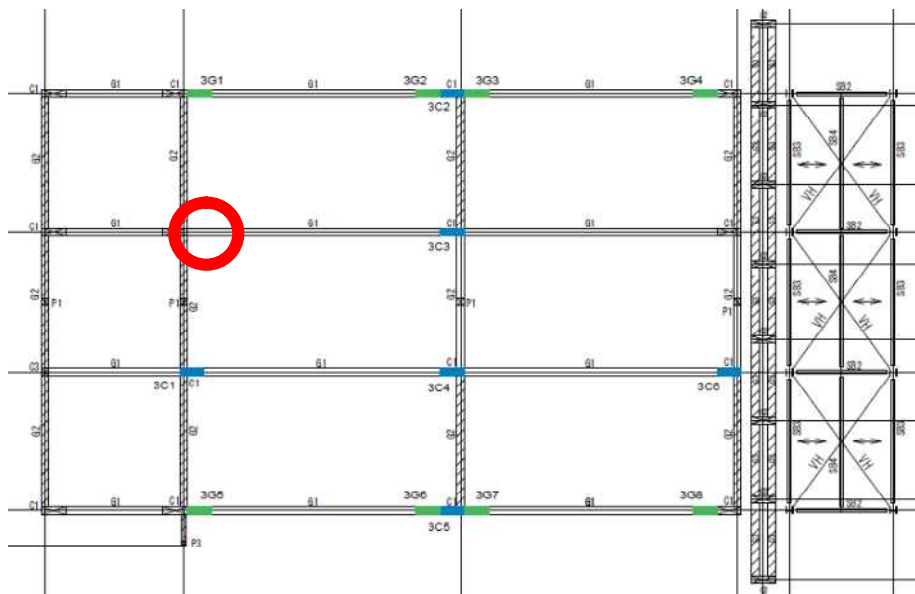


解体後の接合部から梁側の集成材サンプルを採取し、詳細に検討を行った。接合部サンプルの採取位置を図 3.7.7-10 に示す。サンプルは、燃焼が激しかった1階と温度があまり上昇しなかつ

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)

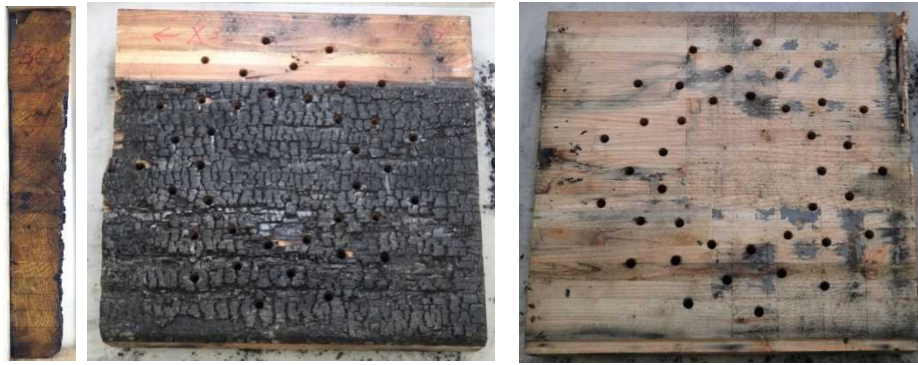


写真 3.7.7-37 3J0 (3階 Y3X2)

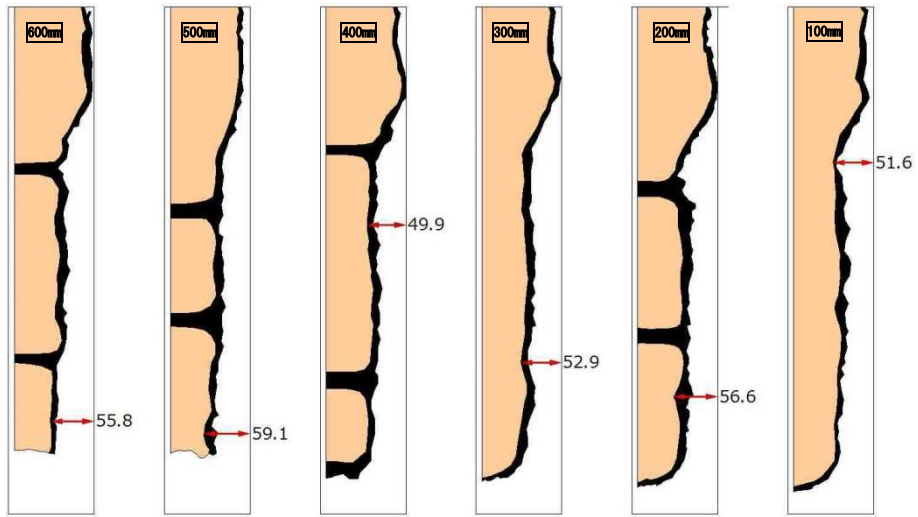


写真 3.7.7-38 ドリフトピン周りの状況

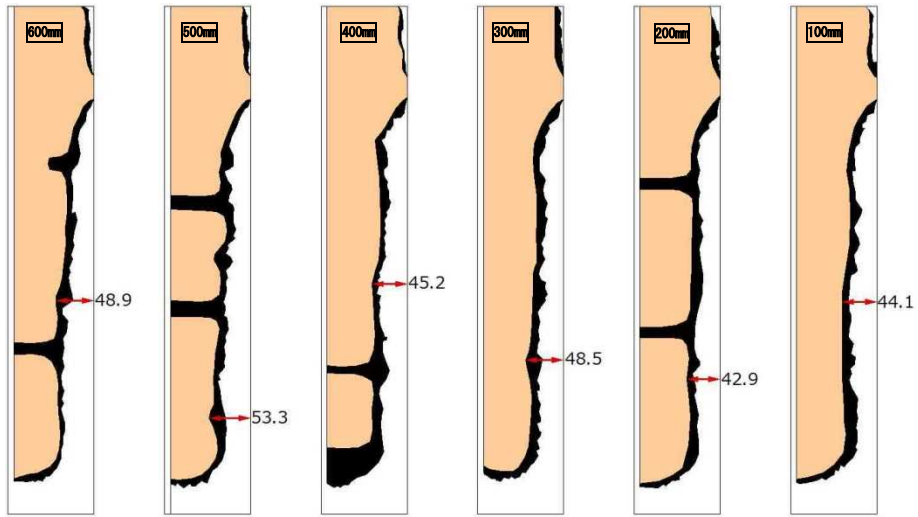
次に、炭化状況評価に使用したサンプルを柱突き合わせ部から 100mm 毎に切断し、その断面から炭化状況を測定した。その結果を図 3.7.7-11 に示す。黒色は炭化層として残存した部分を表しており、全サンプルを通して 10~15mm 程度の厚さであった。ここで、炭化層厚さと断面欠損をあわせたものを炭化深さとして、各サンプルにおける最大炭化深さの測定結果を表 3.7.7-2 に示す。なお、この結果には 2 面からの燃焼を受ける隅角部は含めていない。表より、1J3 の全断面で概ね 50mm を超えており、接合している柱と同様の炭化状況が確認できた。1J4 においてもほとんどが 45mm を超えており、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

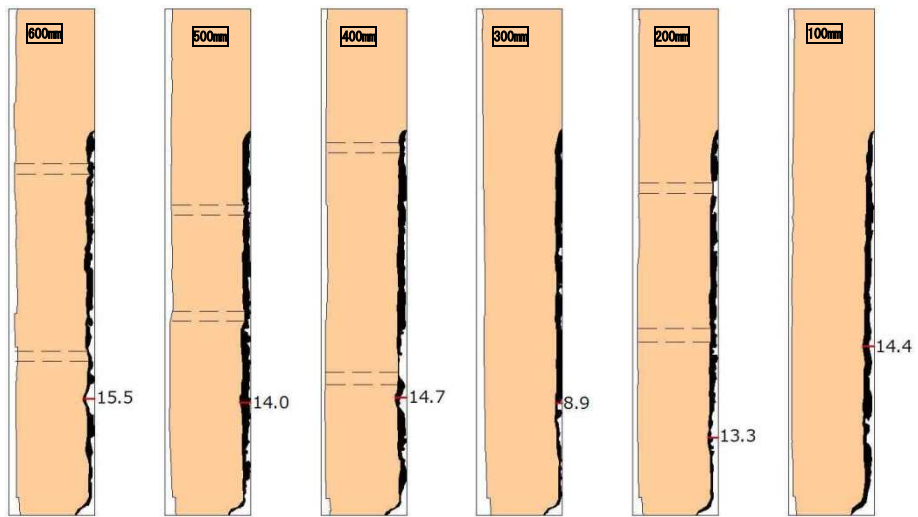
柱からの距離(mm)		600	500	400	300	200	100	Ave.
最大炭化深さ (mm)	1J3	55.8	59.1	49.9	52.9	56.6	51.6	54.3
	1J4	48.9	53.3	45.2	48.5	42.9	44.1	47.2
	3J0	15.5	14.0	14.7	8.9	13.3	14.4	13.5



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。

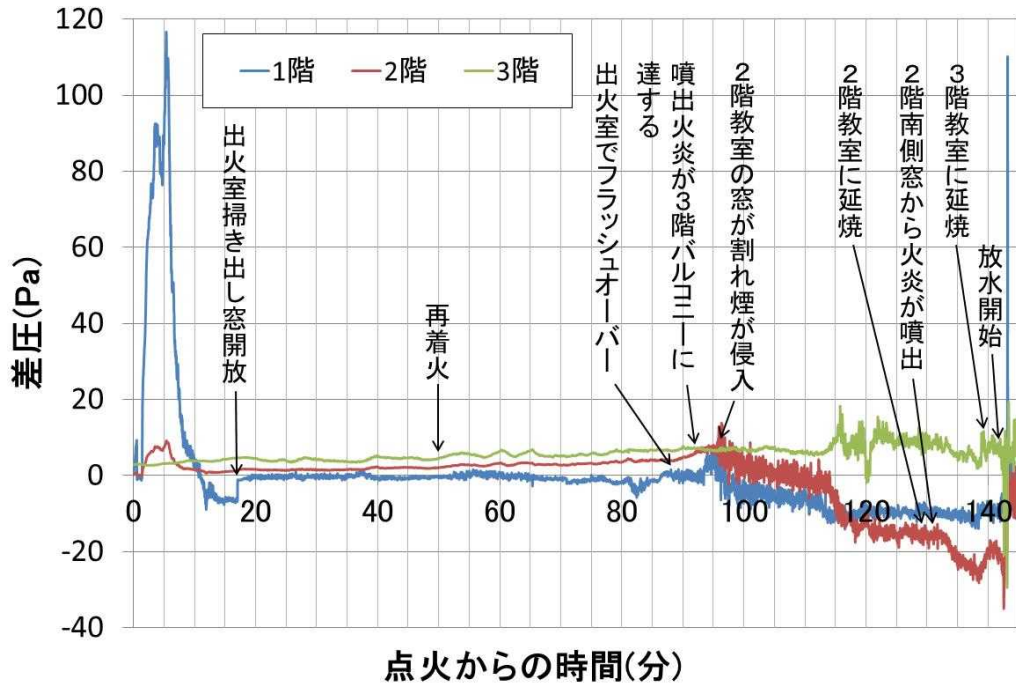


図 3.7.8-1 微差圧計による測定結果 (階段室側)

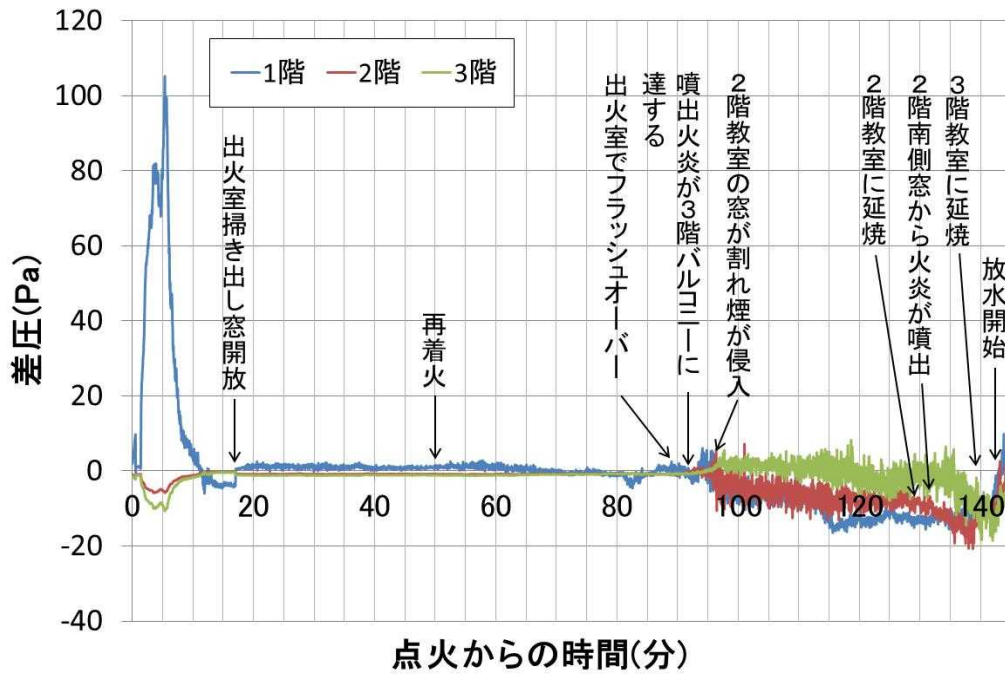


図 3.7.8-2 微差圧計による測定結果 (防火壁側)

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。

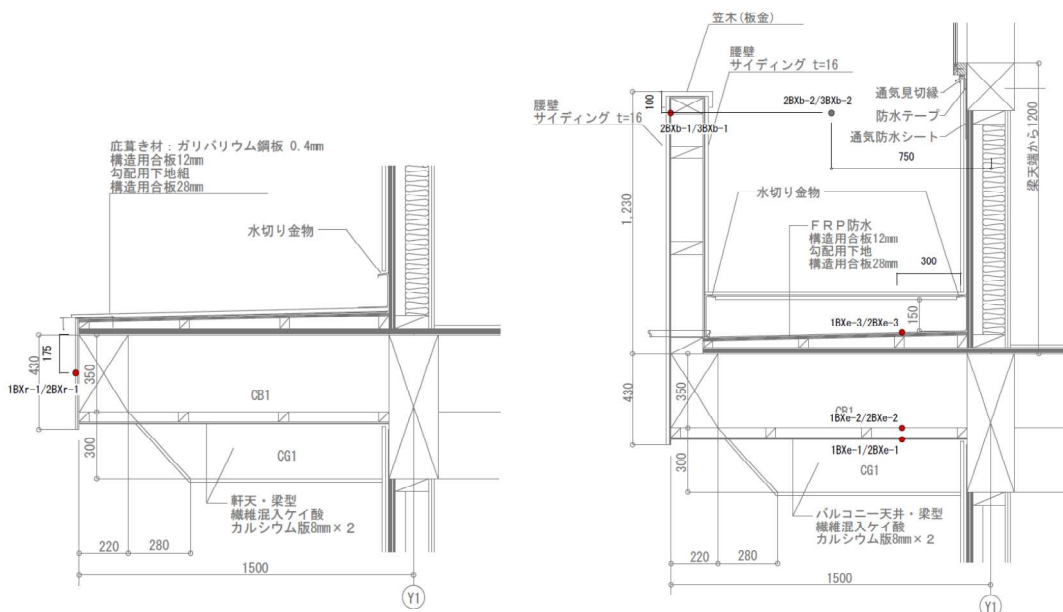


図 3.7.9-1 庇およびバルコニー断面図

(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。

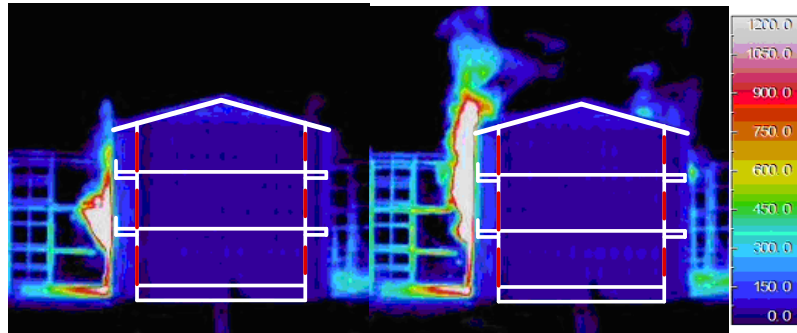


図 3.7.9-2 東立面噴出火炎の熱画像(左 130 分、右 138 分)

(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。

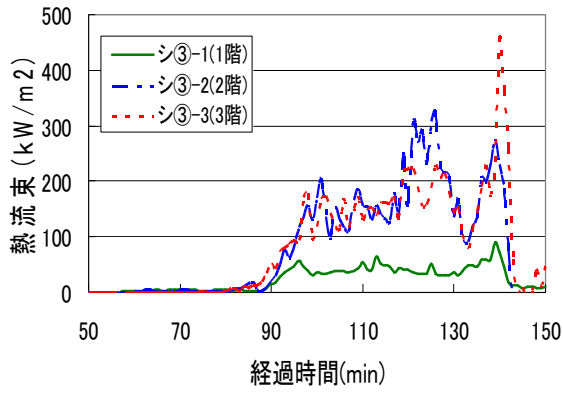


図 3.7.9-3 底側外部熱流束

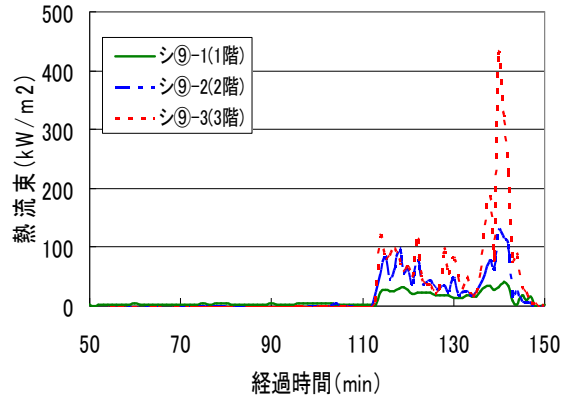


図 3.7.9-4 バルコニー側外部熱流束

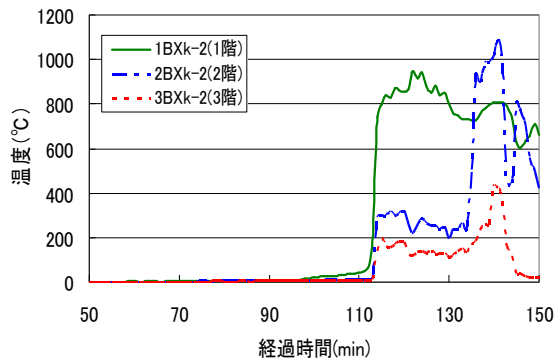


図 3.7.9-5 底先温度

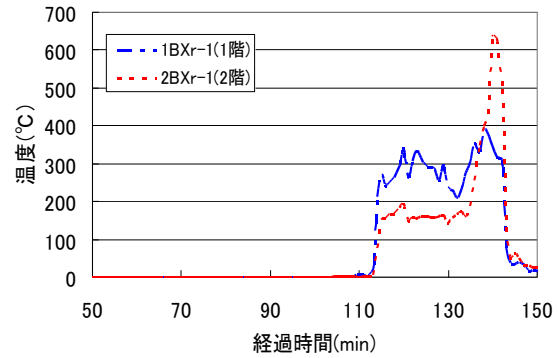


図 3.7.9-6 底側まぐさ外部温度

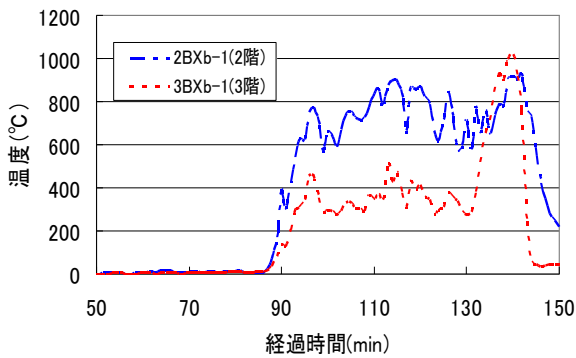


図 3.7.9-7 バルコニー手すり温度

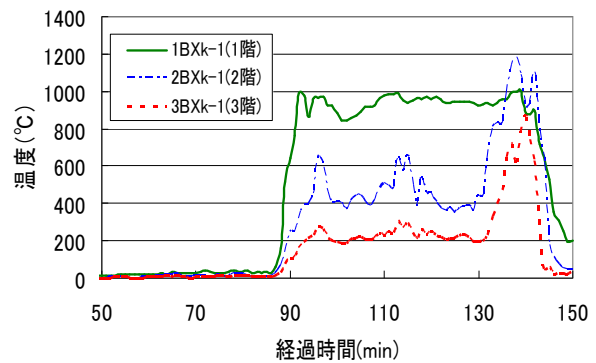


図 3.7.9-8 バルコニー側まぐさ外部温度

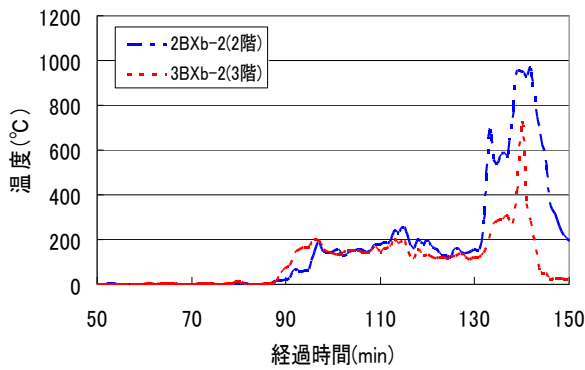


図 3.7.9-9 2階バルコニー部材温度

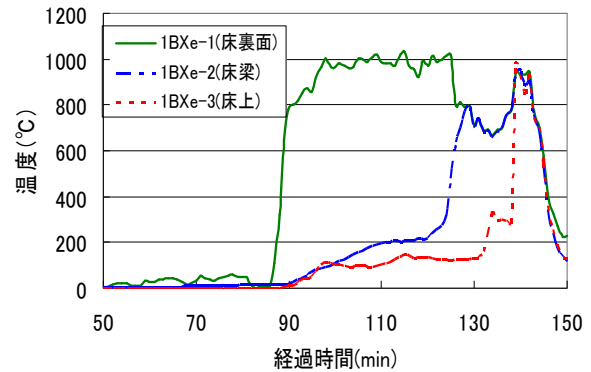


図 3.7.9-10 2階バルコニー部材温度

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

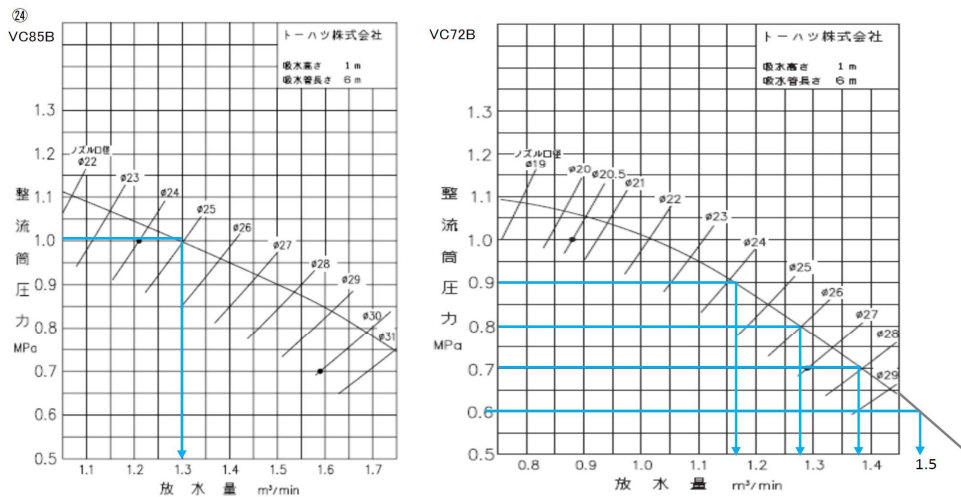


図 3.7.10-1 放水量・整流筒圧力の関係

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。

4. 本実験

4. 1 実験計画（目的）

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

- (1) 大規模な木造建築物等の主要構造部の制限（建築基準法第 21 条第 2 項）および
- (2) 学校などの特殊建築物に関する主要構造部の制限（建築基準法第 27 条）

について見直しを検討するための最終的な検証を行う。

本実験の主な目的は以下のとおり。

- 1) 防火壁について、火災が終了するまで以下の性能を有することを検証
(火災盛期を過ぎた時点まで火災を継続し検証)
 - i) 防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能
 - ii) 防火壁の倒壊防止性能
- 2) 天井を不燃化した場合に、在館者の避難および救助が完了するまで次の性能を有することを検証
 - i) 他の区画への延焼防止性能
 - ii) 他の区画への遮煙性能
 - iii) 主要構造部の倒壊防止性能

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

- ①周囲での延焼危険性が少ないかどうか
- ②消防活動上の障害となることが生じないかどうか

等の分析を行う。

<実験の想定シナリオ>

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

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

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

↓

- ・ 出火室において火災が徐々に成長し、フラッシュオーバーが発生

↓

- ・ フラッシュオーバー後、外部開口部を通じて 2 階へ延焼および煙が侵入

↓

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

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



- ・ 安全管理上、建物の倒壊などの危険が生じる前に消火

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

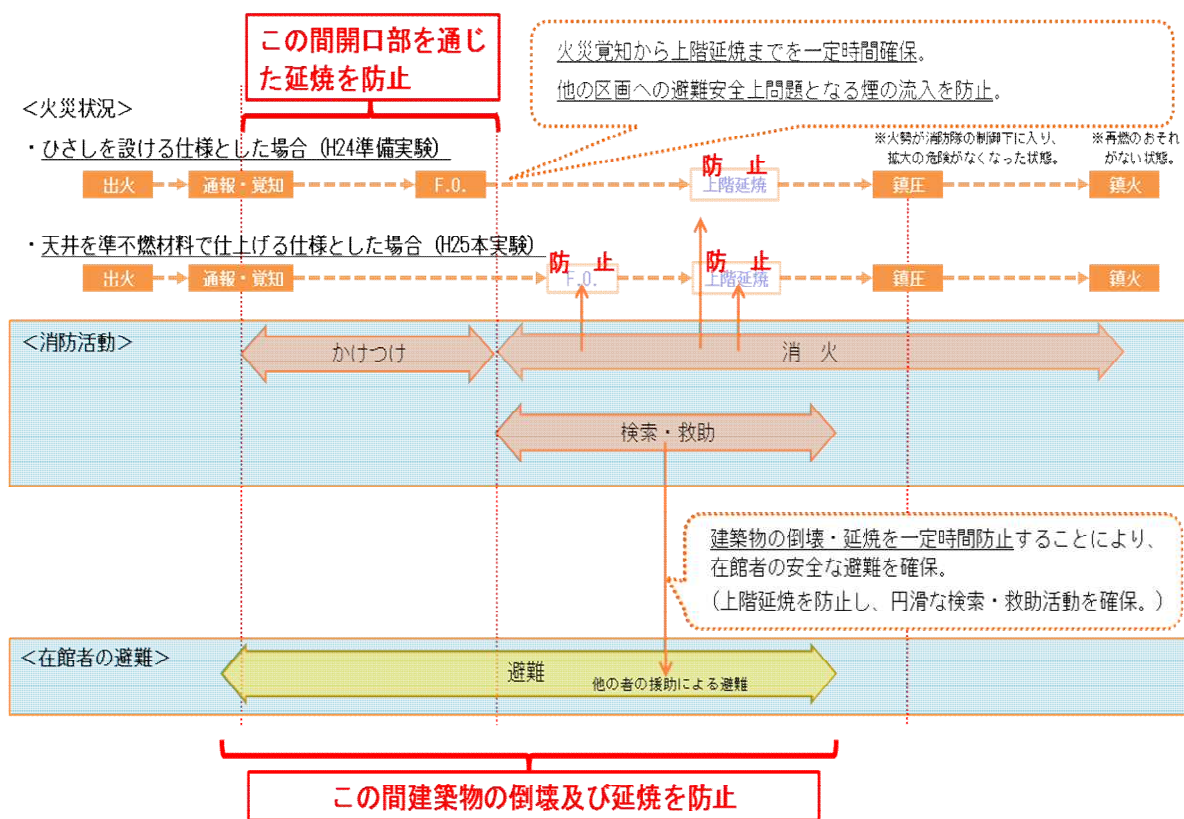


図 4.1-1 火災状況、在館者の避難および消防活動の関係

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

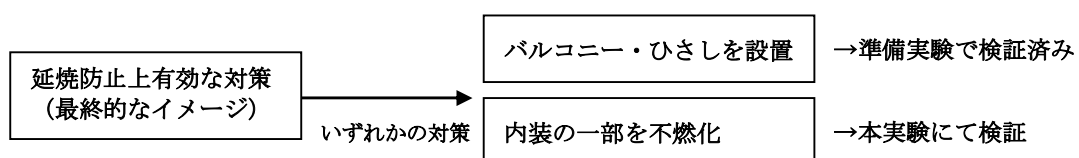


図 4.1-2 延焼防止上有効な対策の検討

4. 2 実験建物の計画

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

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

4. 2. 1 平面計画

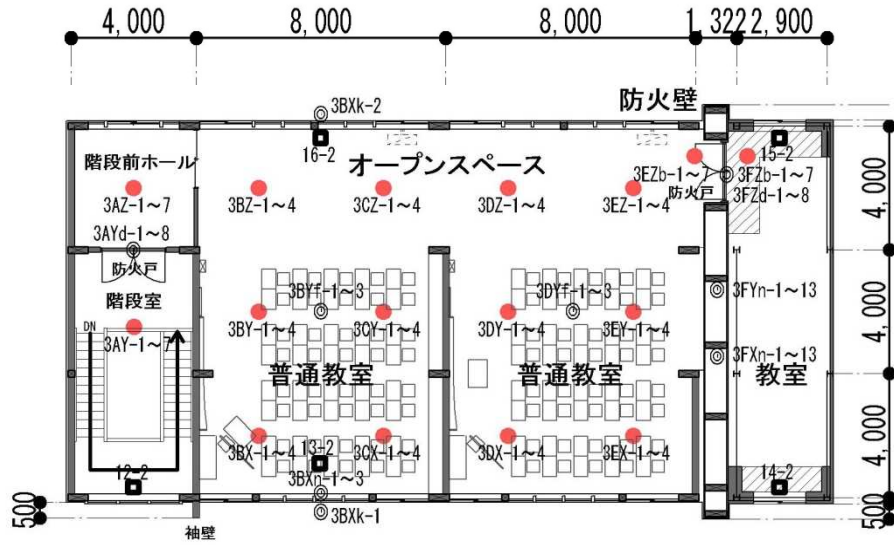
本実験の平面計画は、予備実験および準備実験と同様な想定のもとで実験建物を設計した。

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

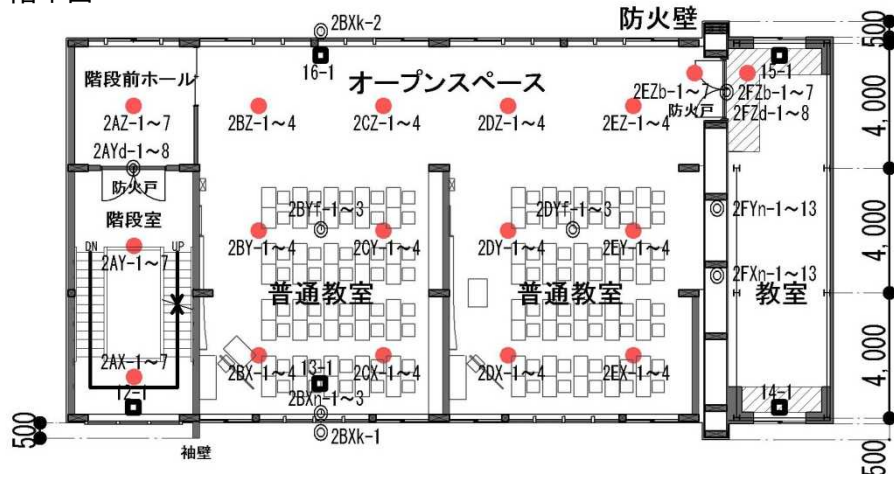
本実験の実験建物の設計では、図 4.2.1-1 に示すように、予備実験および準備実験と同様に南面して8m×8mの教室を2室連続させ、教室と一体となったオープンスペースの奥行きを、準備実験と同様に、予備実験の8mから4mに縮め、オープンスペースを含めた大空間をもつ小学校を想定した。また、8m スパンいっぱい採光のための大開口を南北面にもつ校舎を再現し、予備実験で課題となった開口部からの上階延焼を確認できる平面計画とした。教室の西側に1時間準耐火構造の堅穴区画となる階段室を、東側に自立型木造防火壁を挟み、昇降口（上階は教室想定）を持つ4スパン構成による延べ面積851.796 m²の実験建物とした。

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、準備実験と同様、水平力を考慮した1時間耐火構造としている。

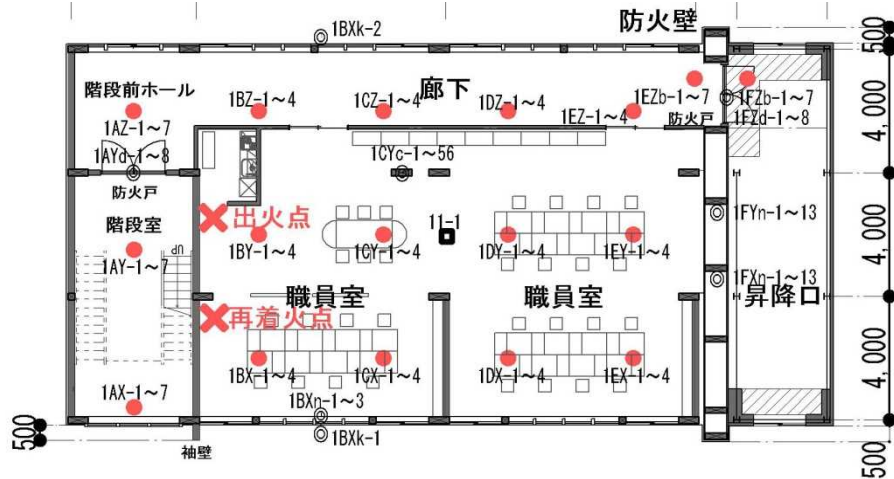
各階の平面構成は、2、3階は全て教室を想定し、1階の中央2スパンが収納可燃物の多い職員室、防火壁を隔て昇降口としている。



3階平面

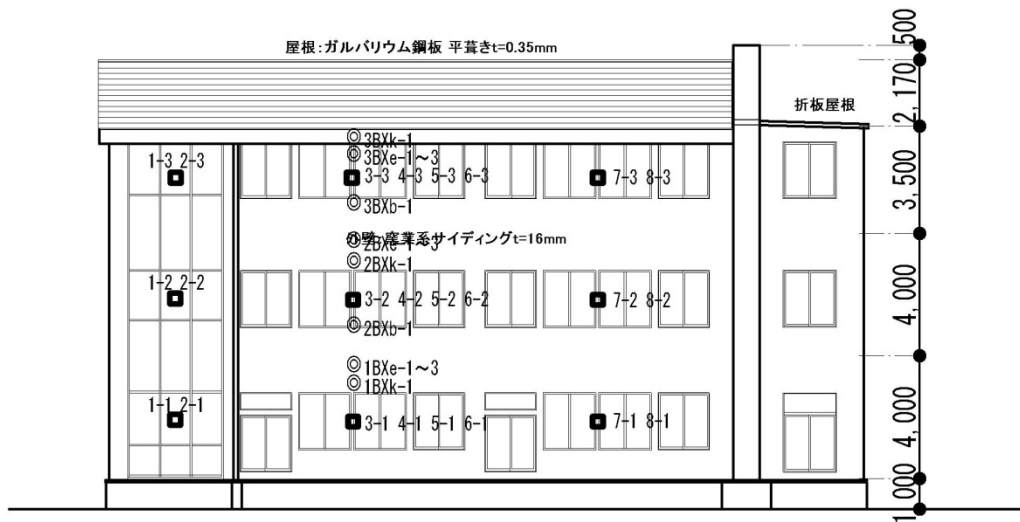


2階平面

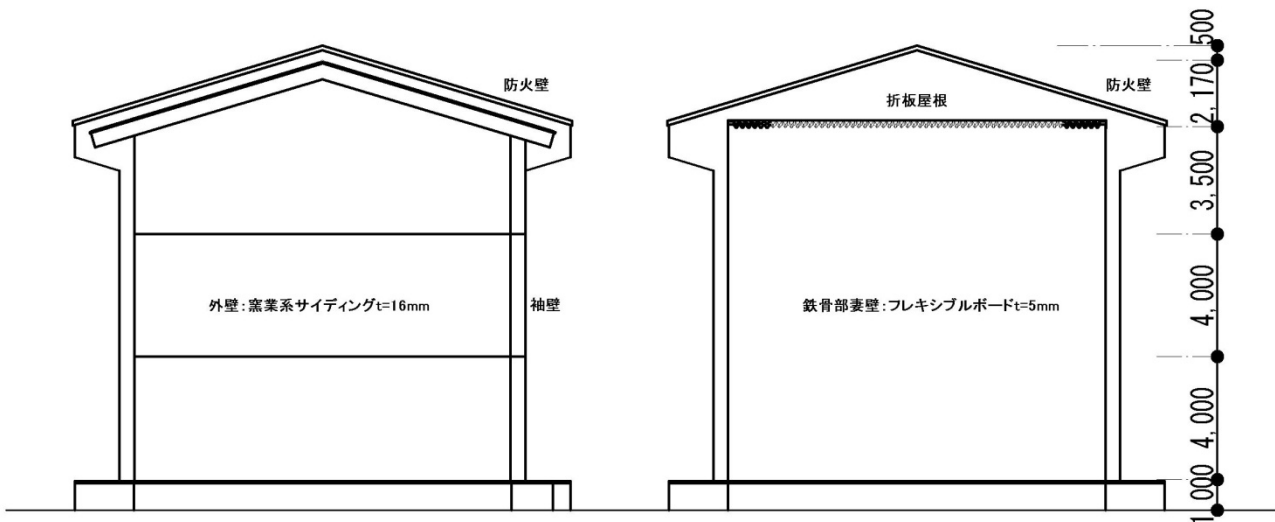


1階平面

図 4.2.1-1 本実験の実験建物 平面図

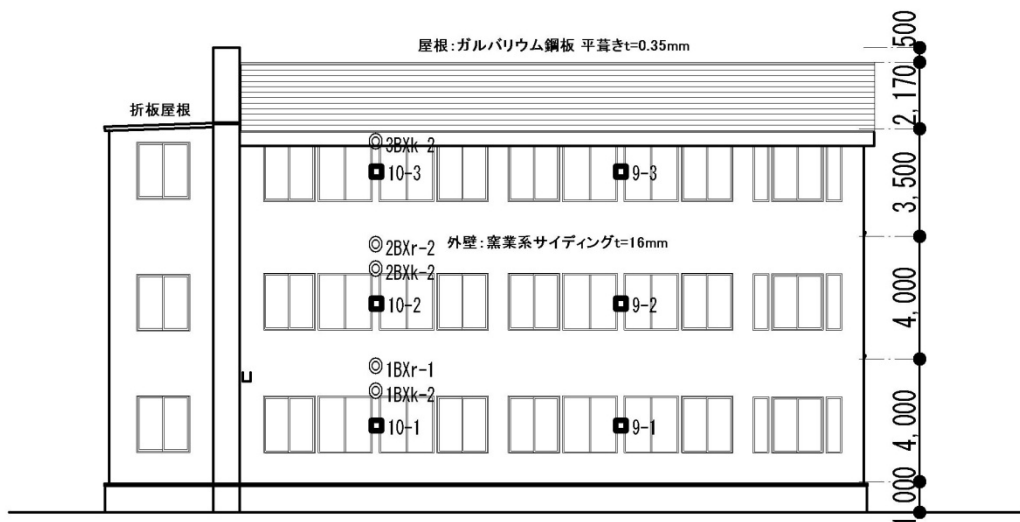


南側立面図



西側立面図

東側立面図



北側立面図

図 4.2.1-2 本実験の実験建物 立面図

4. 2. 2 断面計画

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

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

4. 2. 3 構造計画

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

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

4. 2. 4 各部の設計

図 4.2.1-1 に、本実験の実験建物の矩計図を示す。

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

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

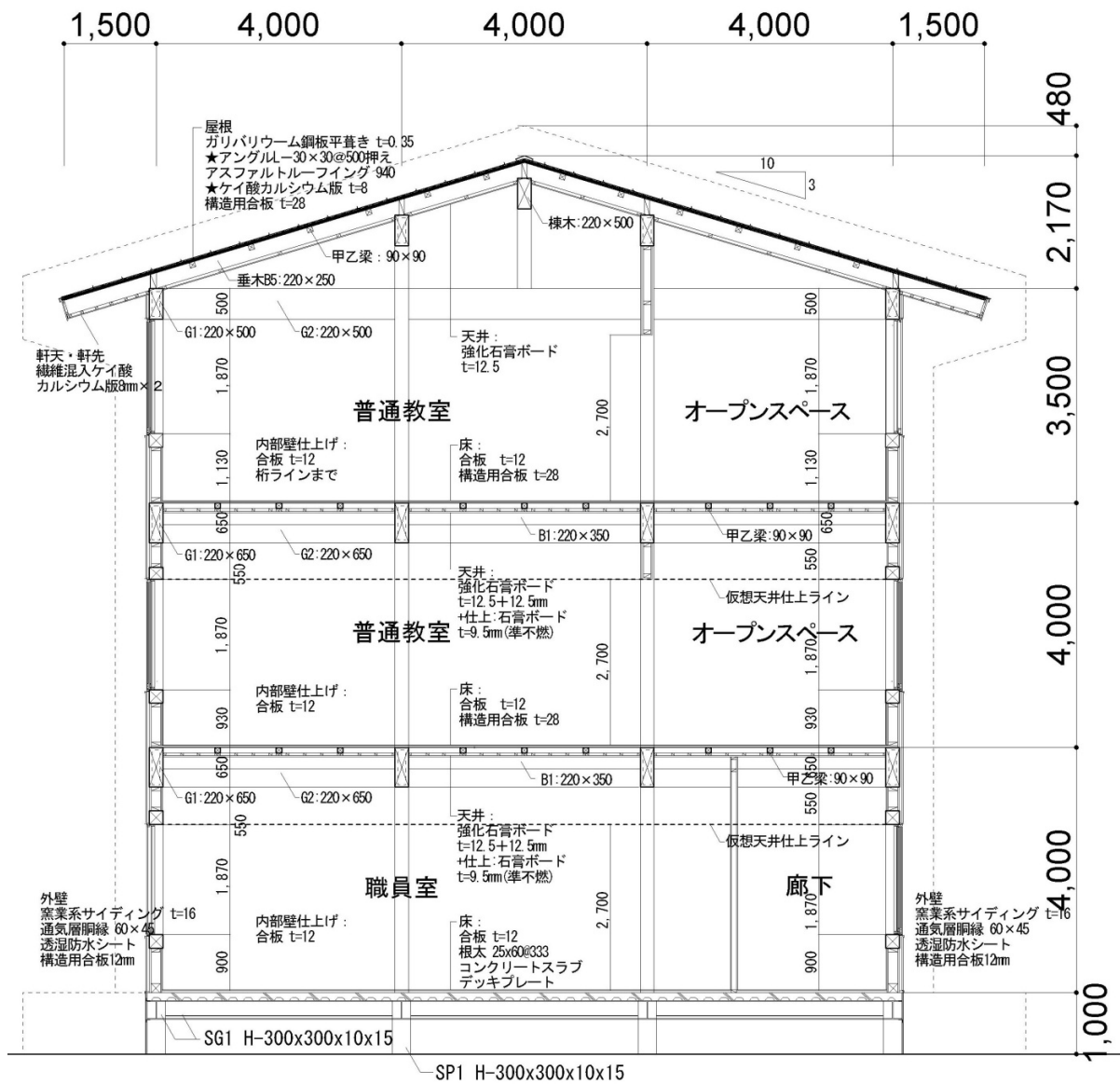
105-F300 とし、小梁 220×350mm と垂木 220×250mm を共にスギ E65-F225 とした。

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

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

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

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



矩形図

図 4.2.4-1 本実験の実験建物 矩形図

4. 2. 5 各部位の要求耐火時間

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

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

なお、部材の断面等の寸法については、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および準備実験と同様である。

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

表 4.2.5-1 本実験における主要構造部の防耐火仕様

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

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

※防火設備等ではないガラス戸

***加熱実験から1時間を超える遮炎性能を確認した仕様

4. 2. 6 建物外周部の延焼および類焼防止性能

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

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

4. 2. 7 内装の燃焼拡大防止性能

予備実験では、現行法令において学校には内装制限の適用がないことも考慮し、

- ①床・壁・天井：木材（1 階出火室他）
- ②床・壁・天井：不燃材料（2・3 階枠組壁構造の部分）
- ③床：木材、壁：不燃材料、天井：木材（上記以外の部分）

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

一方、準備実験では、

- ①柱・はり：木材（燃えしろ設計によるあらわし）
- ②壁・天井：不燃材料
- ③床：木材

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

そこで、本実験では、内装の木質化を考慮して、

- ①柱・はり：木材（燃えしろ設計によるあらわし）
- ②天井：準不燃材料（せっこうボード）
- ③壁・床：木材

とした。

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

4. 2. 8 実験建物の防耐火設計

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

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

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

また、安全管理上の対策として、火の粉の飛散防止のために、2、3 階の屋根の軒先に 10mm メッシュの金網を設置し、また、屋根は通常 30 分準耐火構造となるが、燃え抜け防止のために構造用合板の上部にけい酸カルシウム板 8mm を敷いた上に、波板ガルバリウム鋼板の燃え抜け時のめくれを防止するため、重ねを垂木上部で 0.6m 確保し、飛散防止のアンクル（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た強化せっこうボードを重ね張り（総厚 36mm）した 1 時間耐火構造とし、防火壁の基準にならい、屋根上部および外壁から 0.5m 突出させた。また、階段室（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）。特定防火設備は常時閉鎖式の鋼製扉とし、実験時はすべて閉めた状態とした。

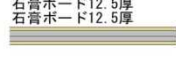
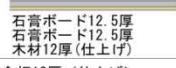

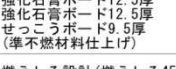

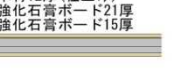



写真 4.2.8-1 本実験における実験建物(南面)



写真 4.2.8-2 本実験における実験建物(北面)

表 4.2.8-1 主要構造部の仕様

		本実験 1～3階	
外壁	1時間標準耐火	窯業系サイディング16厚 	
		石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚 木材12厚(仕上げ) 	
間仕切壁	1時間標準耐火	木材12厚(仕上げ) 石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚 	
		石膏ボード12.5厚 石膏ボード12.5厚 木材12厚(仕上げ) 	
床	1時間標準耐火	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 せっこうボード9.5厚 (準不燃材料仕上げ) 	
柱	1時間標準耐火	燃えしる設計(燃えしる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	燃えしる設計(燃えしる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) 小梁・垂木は、天井被覆材の内部に隠れる 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  強化せっこうボード12.5厚(仕上げ) 繊維混入ケイカル板8厚 繊維混入ケイカル板8厚(軒裏仕上げ) ※バルコニー軒天及び庇軒天も同仕様	
階段	30分標準耐火	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	1時間耐火	壁部	木材12厚(仕上げ) 強化石膏ボード21厚 強化石膏ボード15厚  屋外部は窯業系サイディング16厚を増し張り 
		開口部	鋼製防火戸(特定防火設備) ※堅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	 ▼防火壁 階段室(堅穴区画) バルコニーなし		

4. 3 実験場および建物配置

木3学の本実験における実験場および建物配置について示す。

4. 3. 1 実験場

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

実験場内には、消火用の貯水場を2カ所設けた。



図 4.3.1-1 実験場周辺の様子

4.3.2 建物配置

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

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

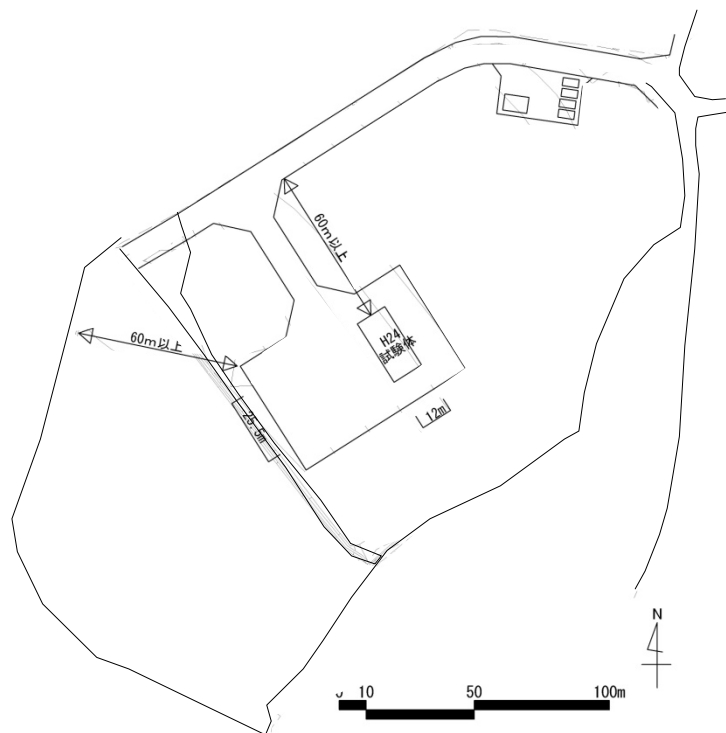


図 4.3.2-1 実験建物の配置

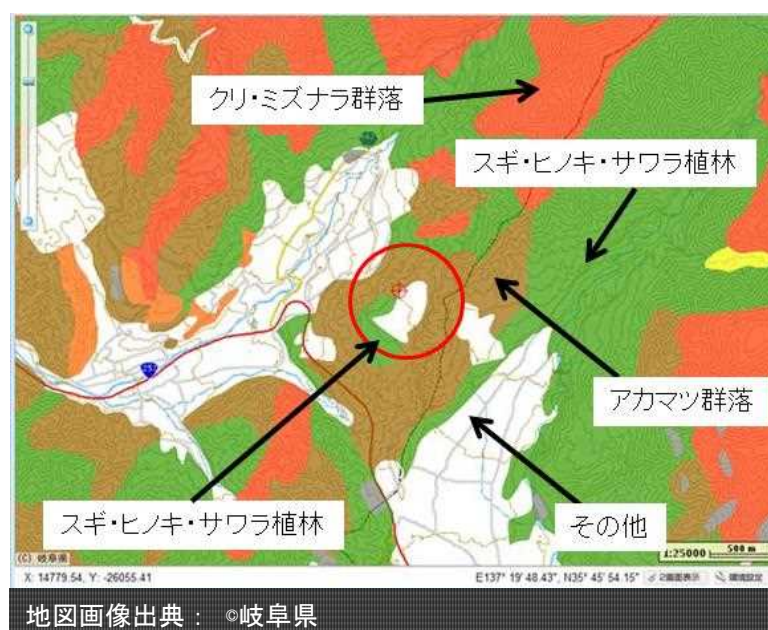


図 4.3.2-2 実験場周辺部の植生

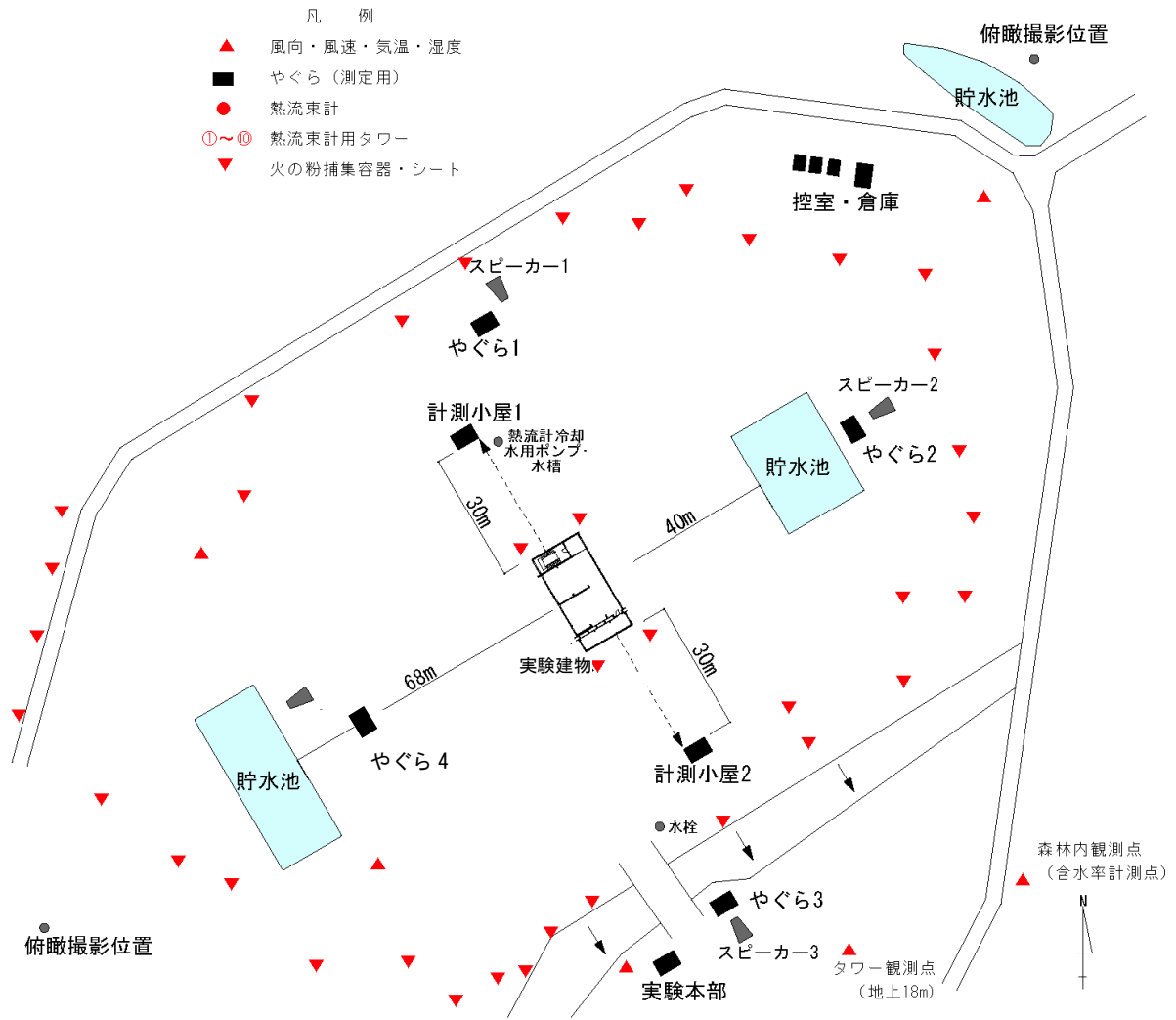


図 4.3.2-3 実験建物および観測小屋・やぐら・貯水池の配置

4. 4 実験条件

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

4. 4. 1 想定火災シナリオ

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

(1) 出火原因について

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

- 1) 「業態」で学校として、小学校、中学校、高校、大学、短大、高専を選択
- 2) 「火災種別」で建物火災を選択
- 3) 「放火・放火の疑い・火遊び、火遊び以外で無意識に火をつける」等を除く

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

その結果、2,152 件の学校火災があり、発火源の上位 3 つは、

- 不明(547 件)、
- たばこ(403 件)、
- コード(49 件)

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

表 4.4.1-1 学校火災で最も多い着火物（不明）と経過および着火物

発火源	経過	着火物
不明(547 件)	不明(537 件)	不明(332 件)
		紙くず、藁屑(35 件)
		ゴミ屑(27 件)

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

発火源	経過	着火物
たばこ(403 件)	不適當なところに捨て置く(301 件)	ゴミ屑(93 件)
		紙くず、藁屑(92 件)

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

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

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

表 4.4.1-3 発火源と覚知までの平均時間

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

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

表 4.4.1-4 出火箇所別の火災件数

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

表 4.4.1-5 発火源と出火場所別の火災件数

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

(2) 学校における火災初期の想定シナリオ

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

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

と想定する。

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

(3) 本実験での火源の想定

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

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

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



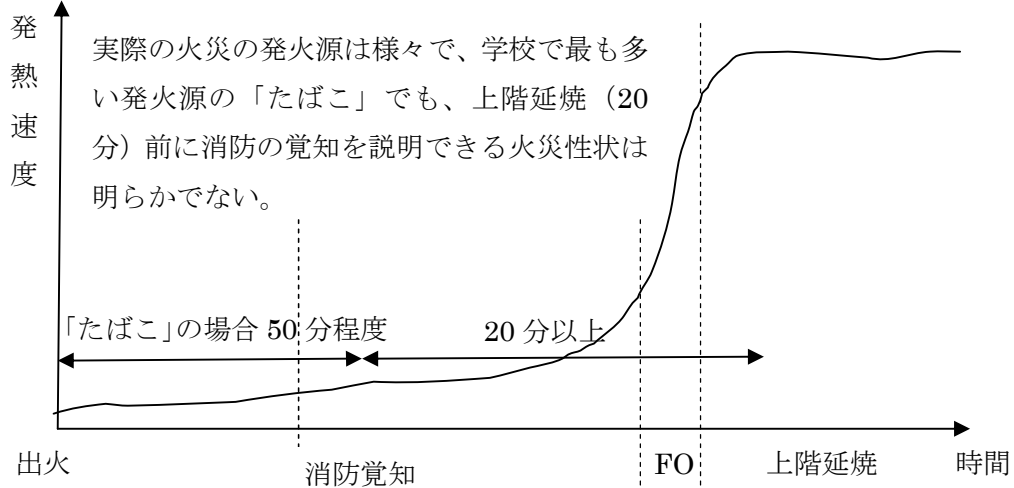
実験(点火後約2分)

予備実験(点火後約2分)

準備実験(点火後約6分)

写真 4.4.1-1 火炎片が天井に到達する程度のイメージ

学校火災の出火から火災成長期の想定イメージ



木3学の実大火災実験における火災初期の想定イメージ

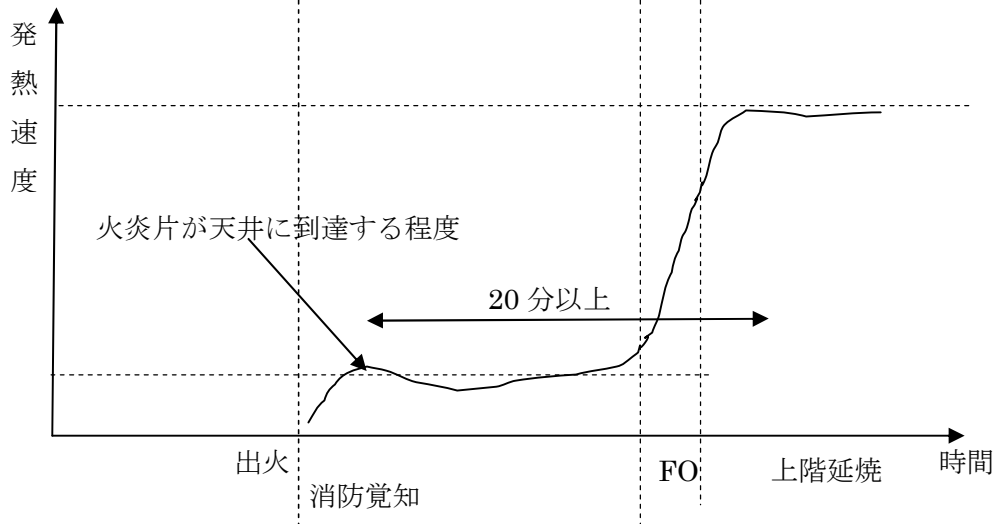


図 4.4.1-1 学校火災と木3学実大火災実験における火災初期の想定イメージ

4. 4. 2 収納可燃物

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

表 4.4.2-1 各室の収納可燃物(1階)

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

* 机+椅子、パーソナルコンピューターを配置

表 4.4.2-2 各室の収納可燃物(2階)

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

** 机(7kg)+椅子(4kg)を 80 セット配置

表 4.4.2-3 各室の収納可燃物(3階)

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

*** 机(7kg)+椅子(4kg)を 20 セット配置



図 4.4.2-1 各室の収納可燃物の配置

4. 4. 3 開口条件

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

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

4. 4. 4 点火源および点火方法

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

なお、第 2 火源は具体的に想定はしなかった。



写真 4.4.4-1 実験前の火源周辺の様子



写真 4.4.4-2 実験前のクリブ設置の様子

4. 4. 5 実験継続時間の設定

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

4. 5 測定項目および測定方法

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

4. 5. 1 気象

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

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



写真 4.5.1-1 気象観測装置（実験建物観測点）



写真 4.5.1-2 気象観測点

4. 5. 2 目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像

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

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

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



写真 4.5.2-1 建物内撮影用 CCD カメラ（耐熱加工したもの）

表 4.5.2-1 測定に用いたサーモビューアの仕様と記録状況

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

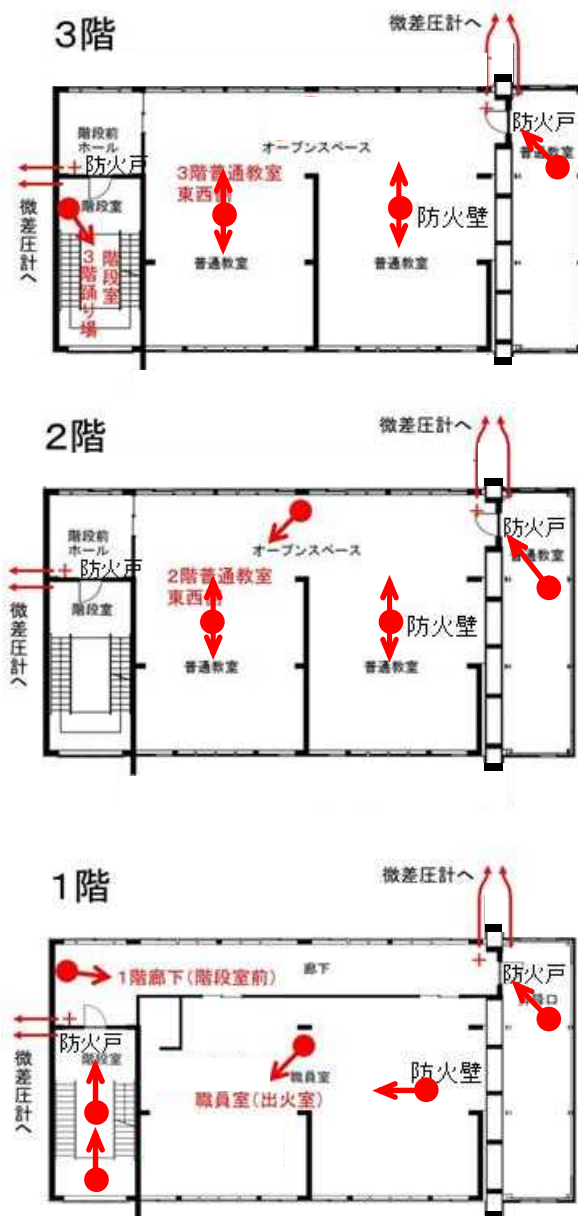


図 4.5.2-1 内部 CCD カメラおよび微差圧計の設置位置

4. 5. 3 温度

温度は、

- ・避難安全性
- ・延焼拡大性状
- ・火災継続時間

を検討するために、建物内部に熱電対（JIS K 型 0.65mm 径）を、

- ・室内空間および部材表面に合計 240 点
- ・構造部および防火区画の耐火性能を検討するために部材をよび接合部に合計 318 点
- ・上階への延焼拡大性状を検討するために外壁面に合計 51 点

配置し、データロガーにより 2 秒間隔で収録した。

(1) 建物内部の測定位置

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

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

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



写真 4.5.3-1 熱電対タワー



写真 4.5.3-2 熱電対設置の様子



写真 4.5.3-3 壁表面熱電対設置の様子



写真 4.5.3-4 熱電対配線の様子

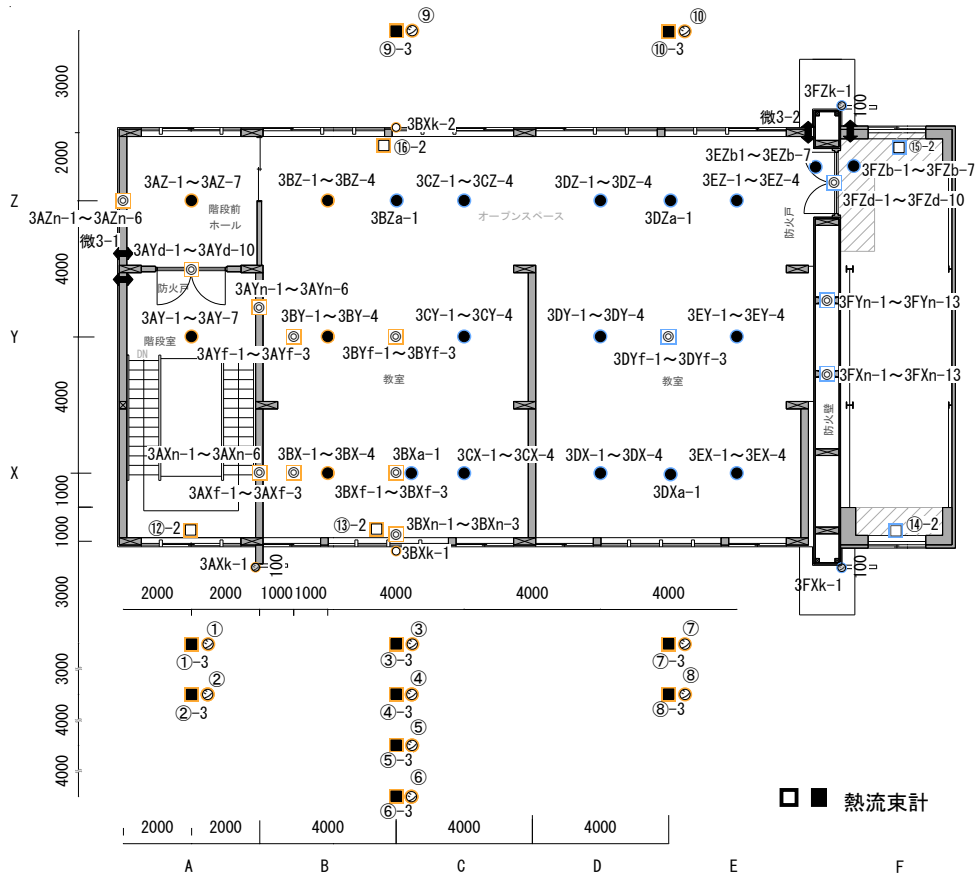


図 4.5.3-1 3階温度および熱流束測定位置

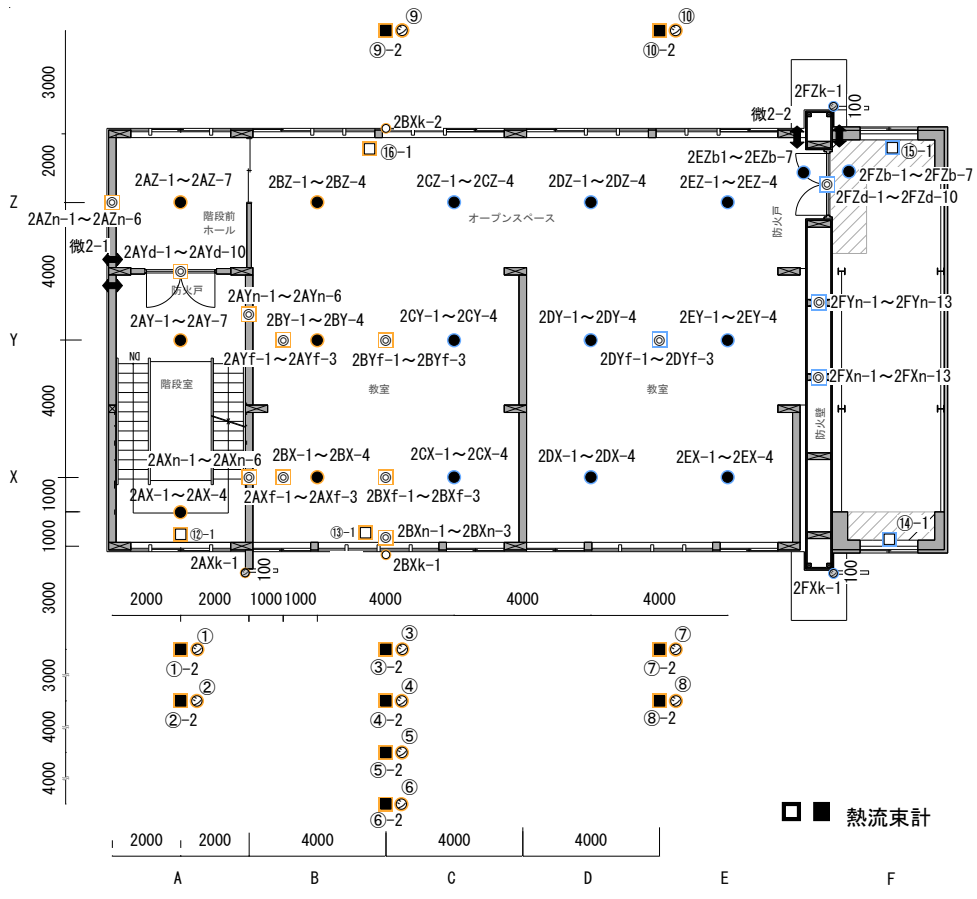


図 4.5.3-2 2階温度および熱流束測定位置

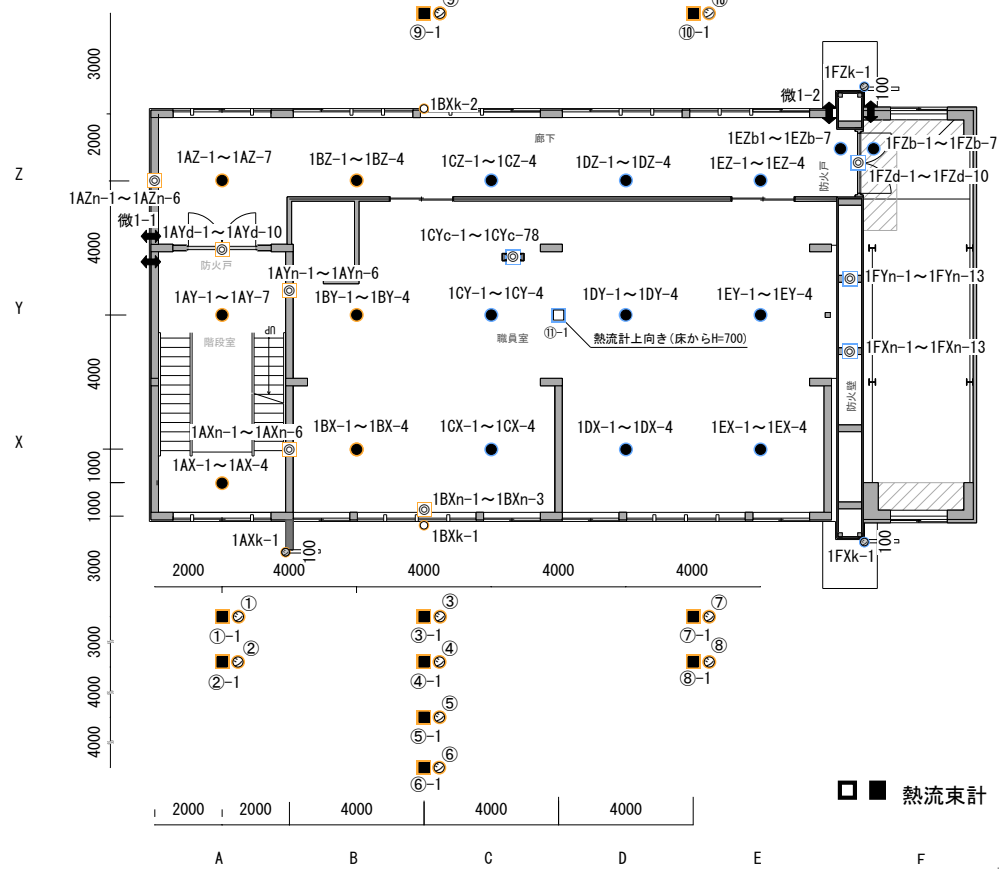
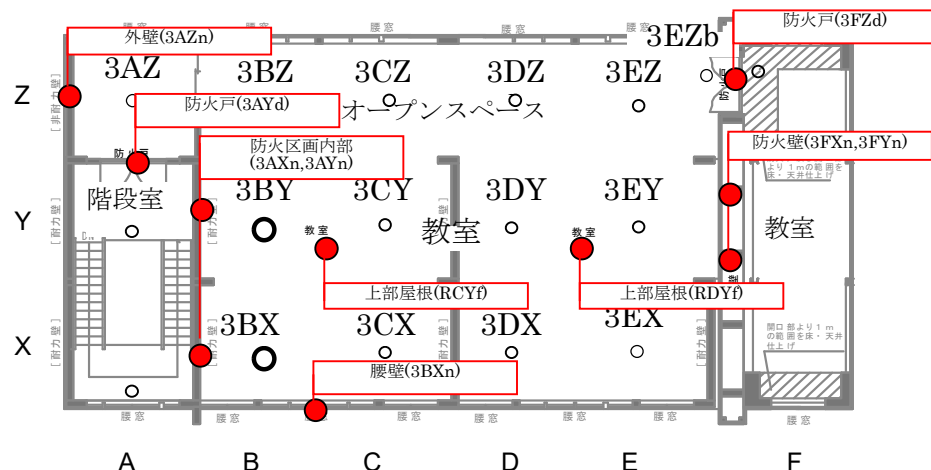


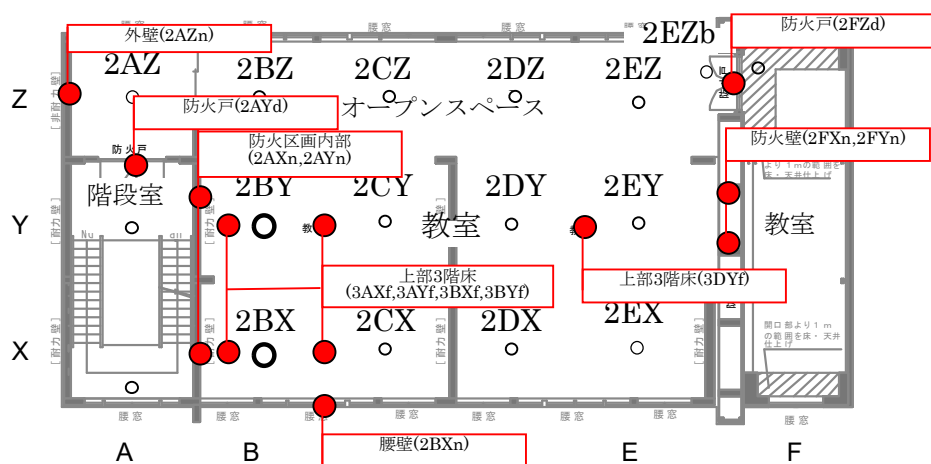
図 4.5.3-3 1階温度および熱流束測定位置

(2) 部材温度測定位置

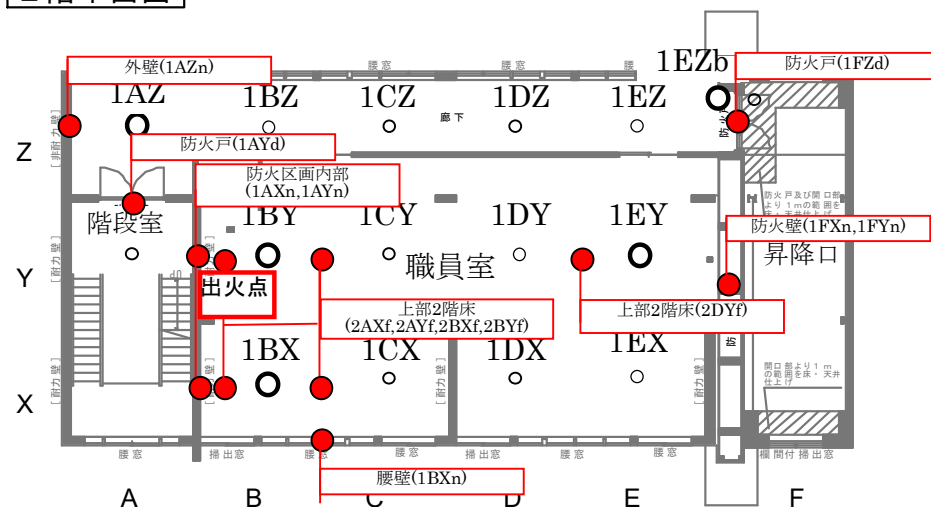
建物各部材の温度測定位置を図 4.5.3-4 に示す。主要構造部である床・屋根・壁の内部、防火壁内部および防火戸周り、炭化深さ評価用柱の温度測定を行った。各階部材温度測定位置を図 4.5.3-5~23 に示す。



3階平面図



2階平面図



1階平面図

図 4.5.3-4 部材温度測定位置 (平面図)

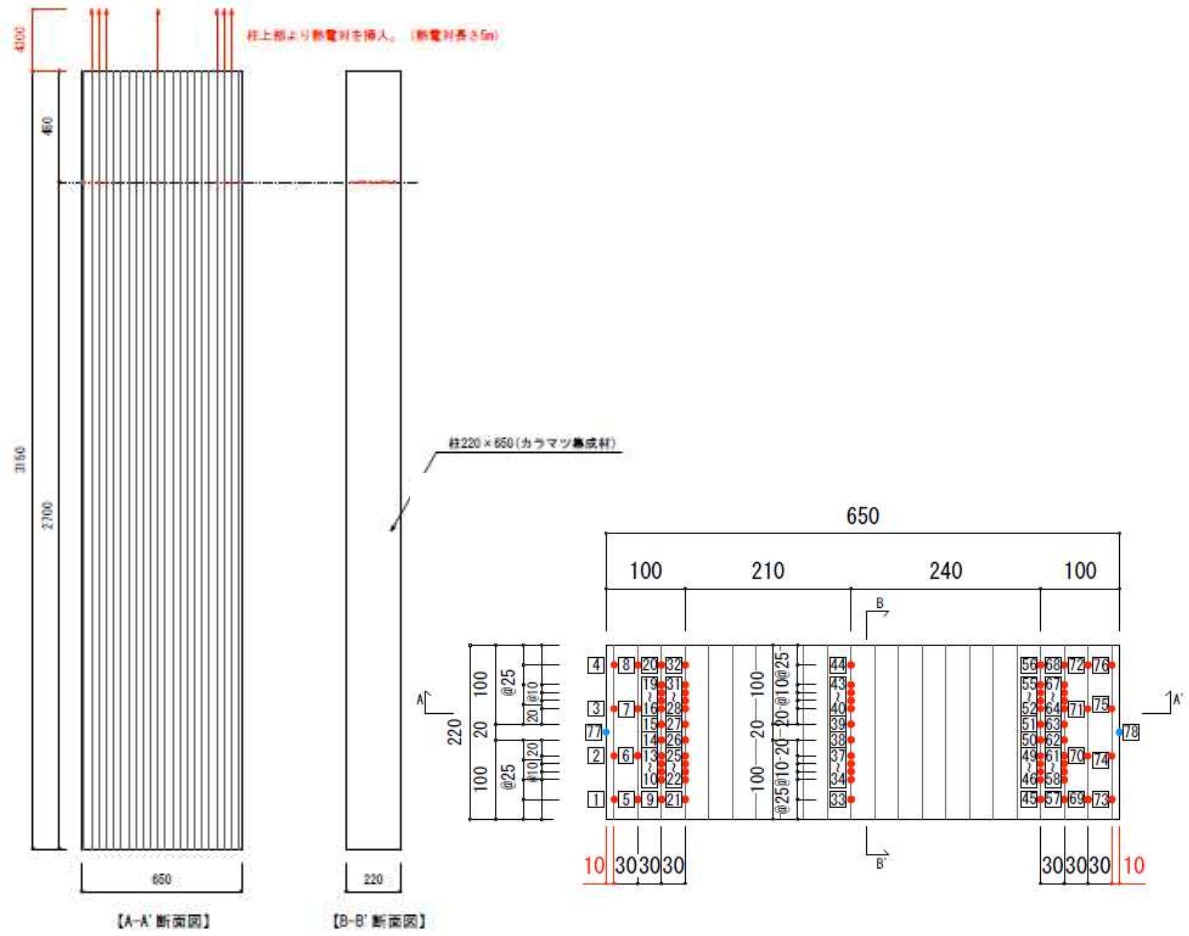


図 4.5.3-5 炭化深さ評価用柱温度測定点

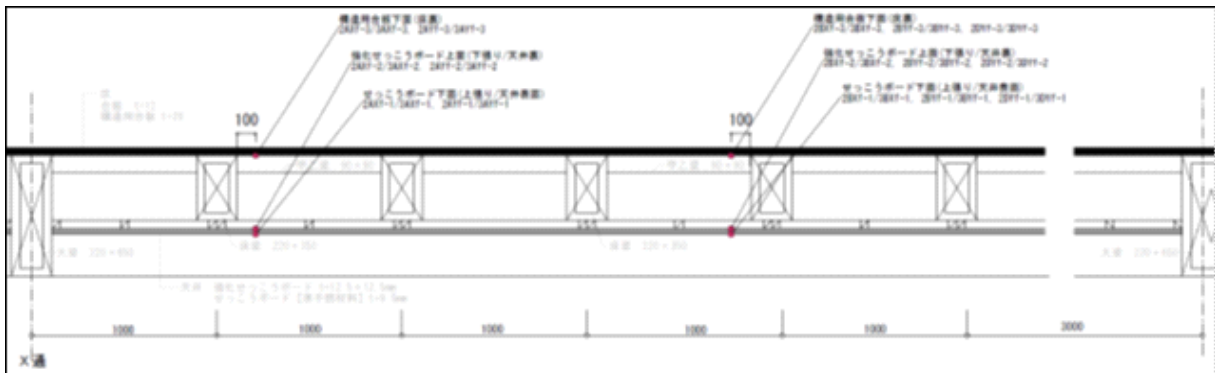


図 4.5.3-6 階床温度測定点 (鉛直断面)

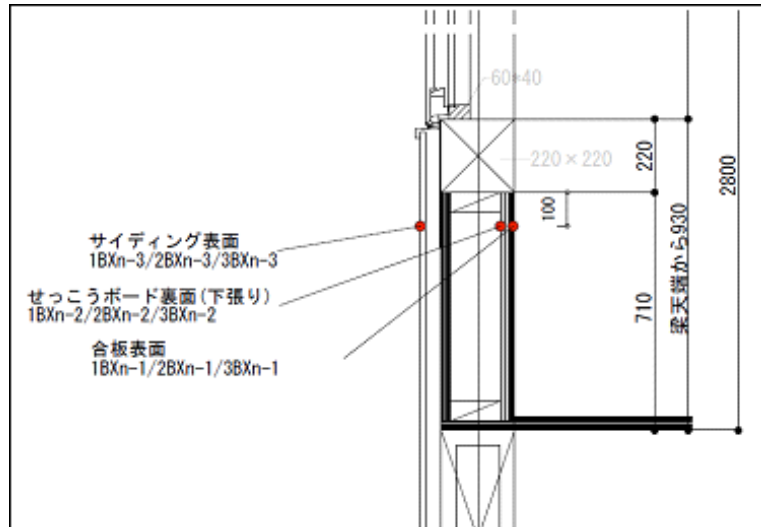


図 4.5.3-7 腰壁温度測定点 (鉛直断面)

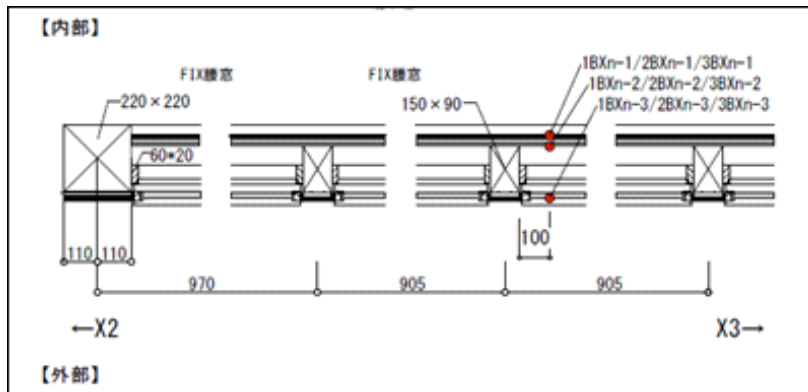


図 4.5.3-8 腰壁温度測定点 (水平断面)

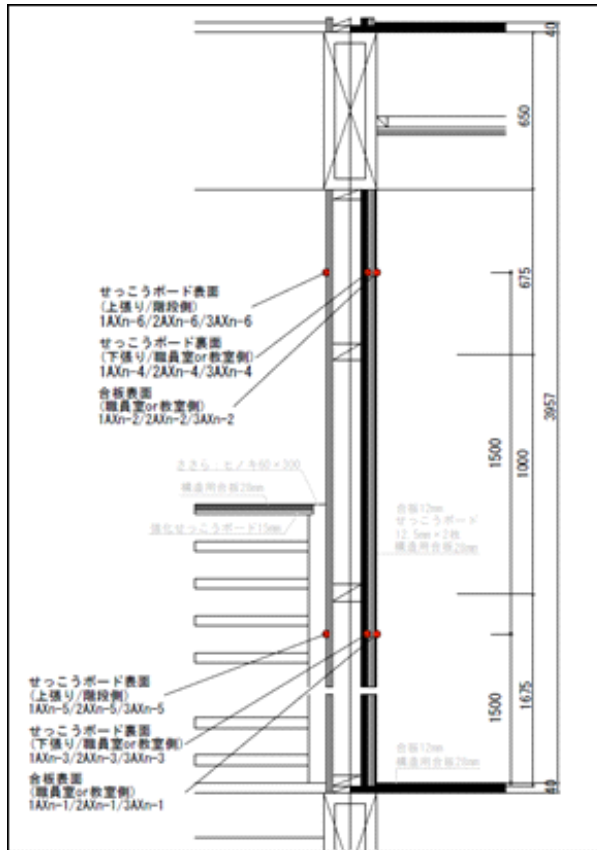


図 4.5.3-9 防火区画壁内部温度測定点 (北側) (鉛直断面)

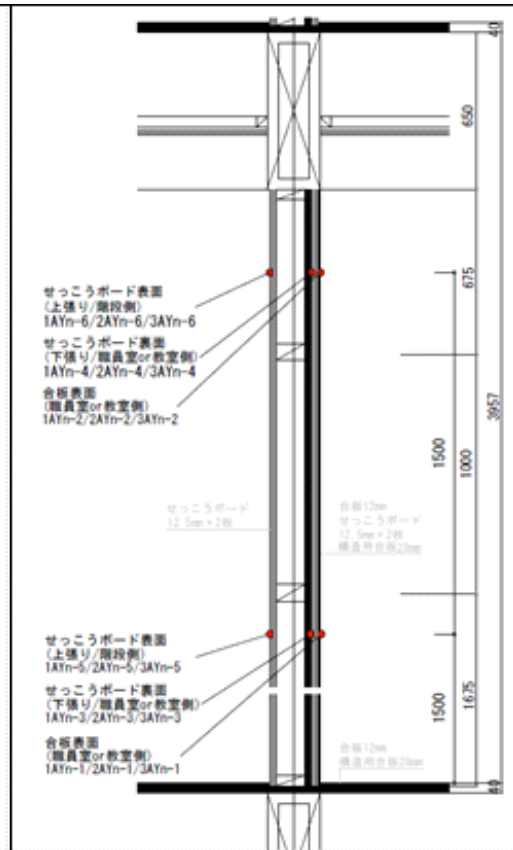


図 4.5.3-10 防火区画壁内部温度測定点 (南側) (鉛直断面)

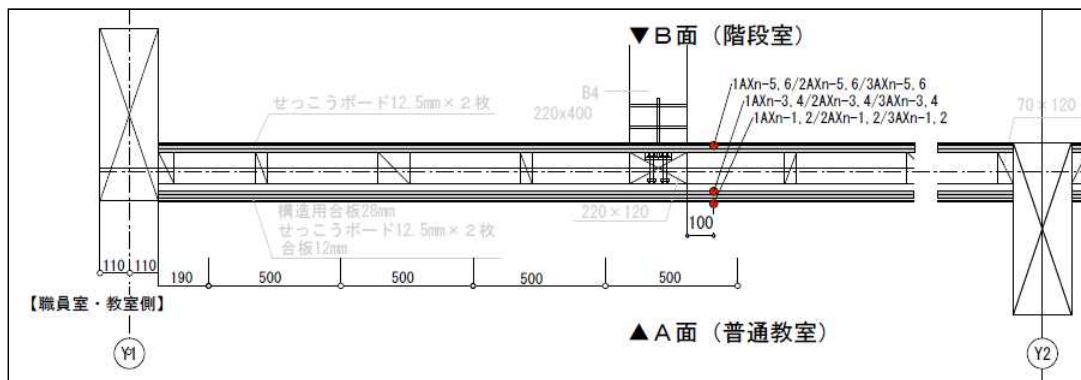


図 4.5.3-11 防火区画壁内部温度測定点 (南側) (水平断面)

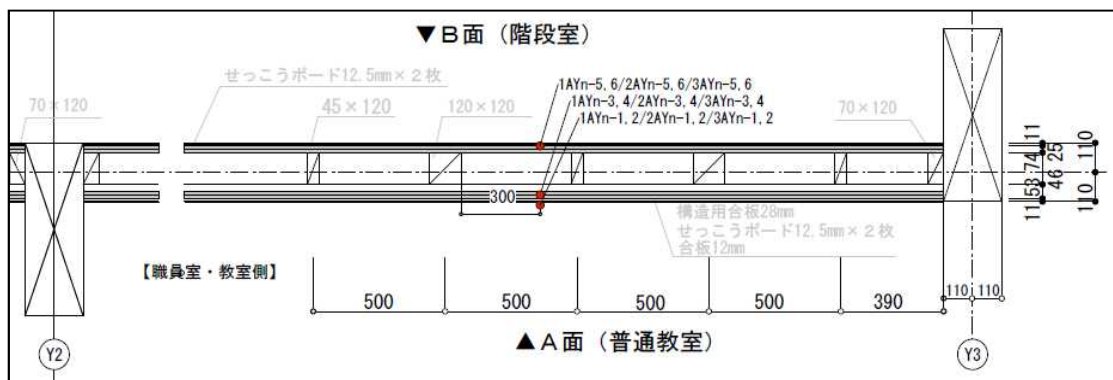


図 4.5.3-12 防火区画壁内部温度測定点 (北側) (水平断面)

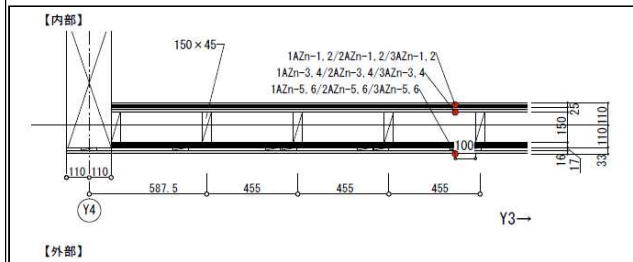
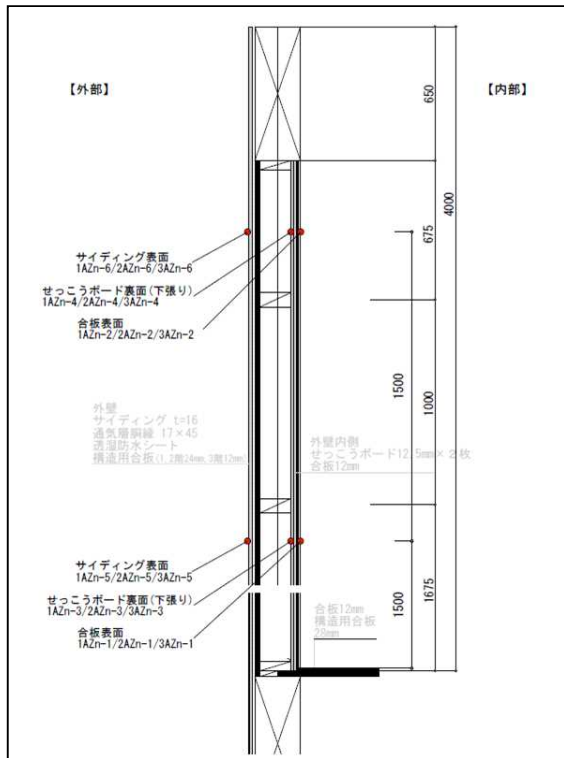


図 4.5.3-13 外壁温度測定点 (鉛直断面)

図 4.5.3-14 外壁温度測定点 (水平断面)

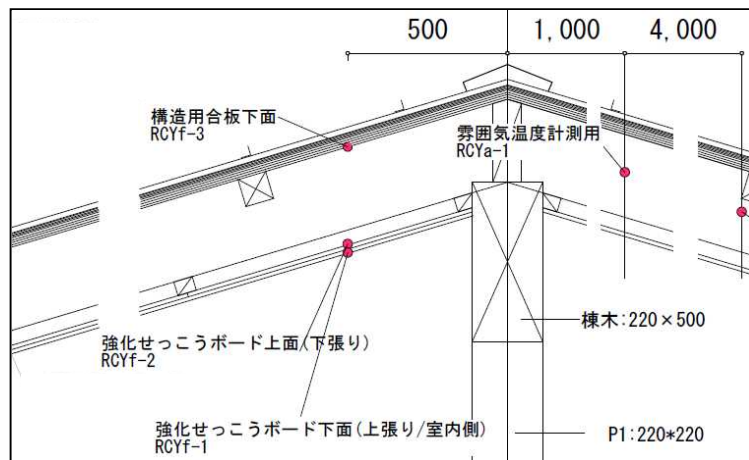


図 4.5.3-15 屋根温度測定点 (鉛直断面)

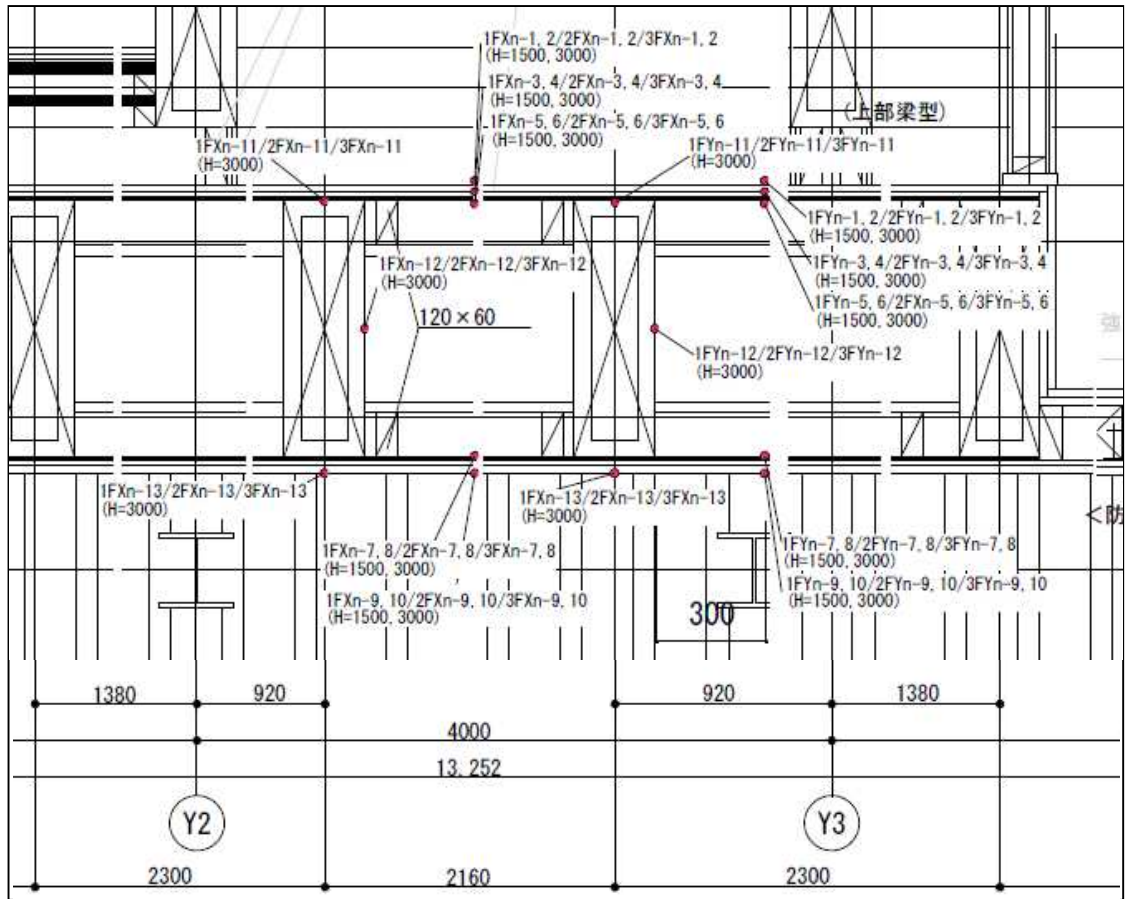


图 4.5.3-16 防火壁温度测定点（水平断面）

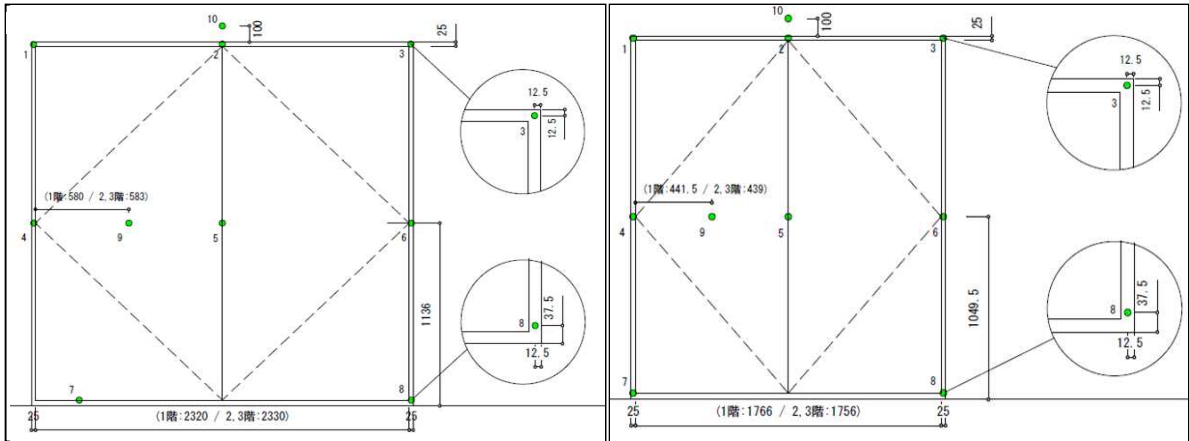


图 4.5.3-17 1、2、3階 防火壁部防火戸 图 4.5.3-18 1、2、3階 階段室防火戸

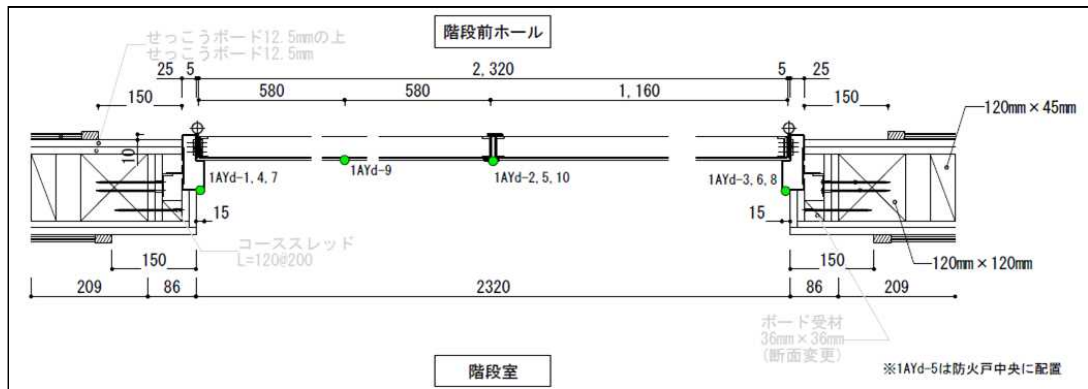


図 4.5.3-19 1階階段室防火戸（水平断面）

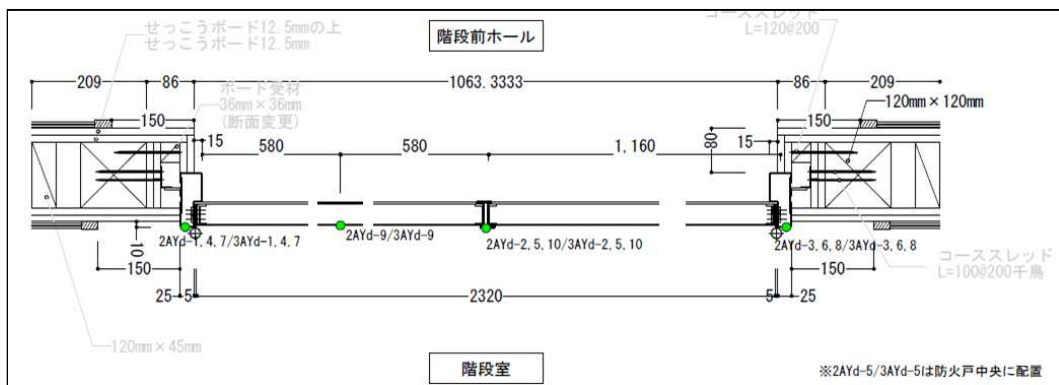


図 4.5.3-20 2、3階階段室防火戸（水平断面）

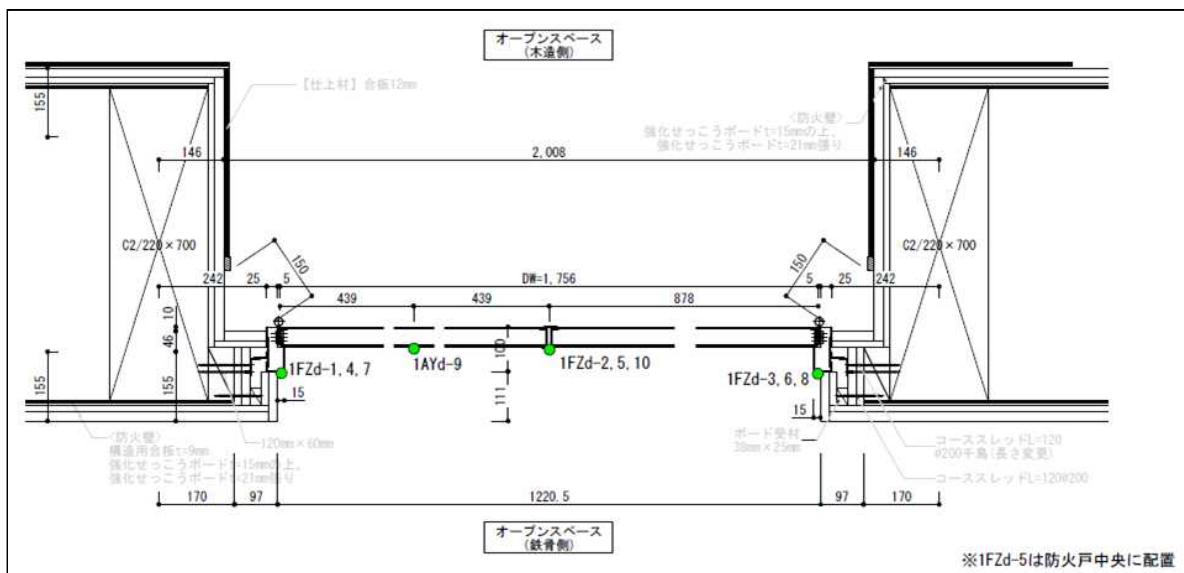


図 4.5.3-21 防火壁部 1階防火戸（水平断面）

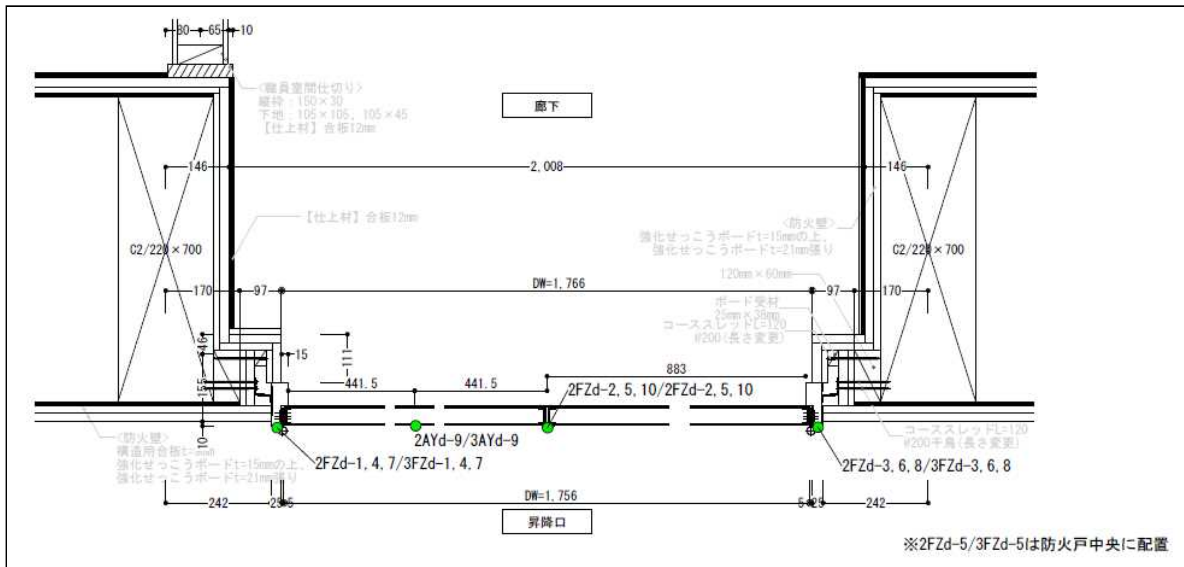


図 4.5.3-22 防火壁部 2、3階防火戸（水平断面）

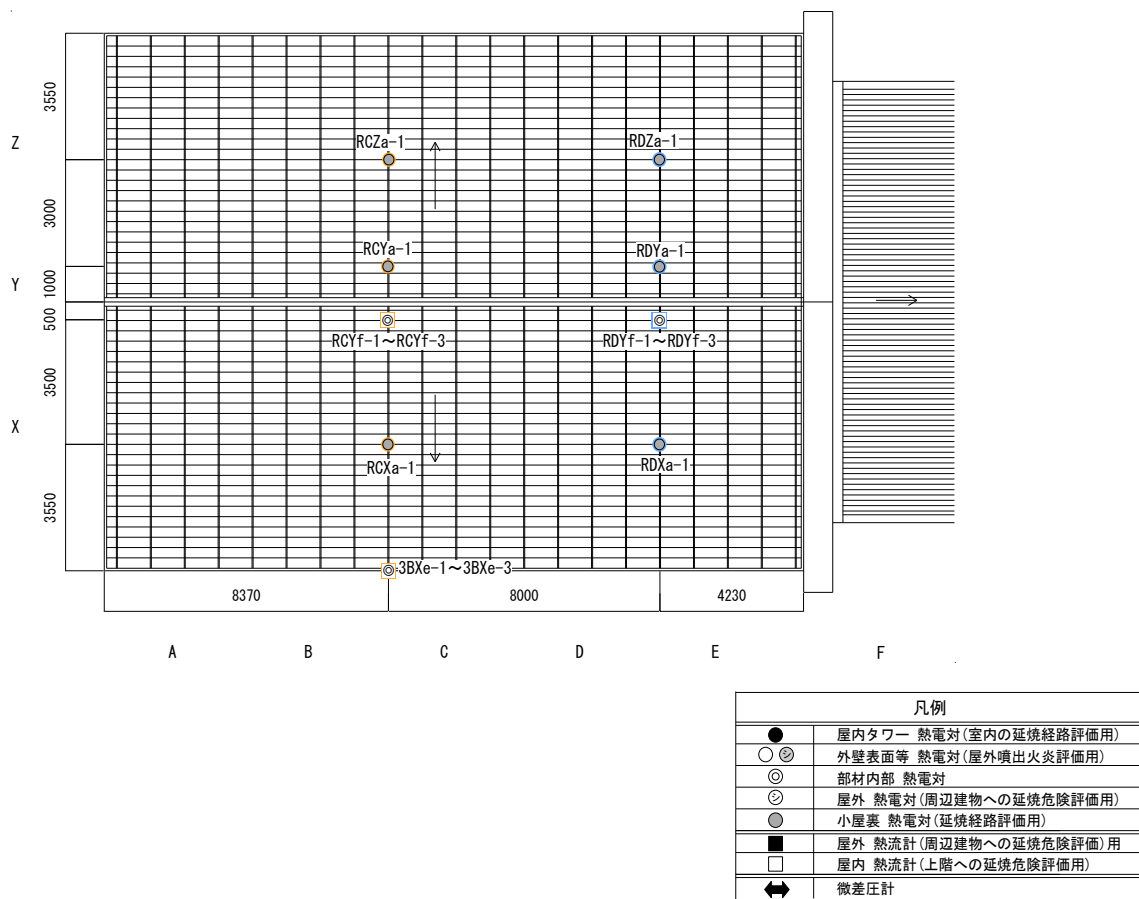


図 4.5.3-23 屋根内部温度

(3) 建物外部の測定位置

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

4. 5. 4 熱流束

熱流束は、

- ・ 燃焼拡大
- ・ 上階への延焼拡大性状
- ・ 建物周囲への加害性

を検討するために、熱流束計により測定した。

(1) 建物内部の熱流束

建物内部の熱流束は、図 4.5.3-1～3 および写真 4.5.4-2 に示すとおり、職員室内の机天板レベル (H=0.7m、1点)に上向きに設置し、外壁開口を通じて室内に入射する熱流束を2、3階外壁開口部中央で床面より1.86mの高さの室内に計10点熱流束計を設置して測定した。熱流束計は、写真 4.5.4-1 に示す水冷式熱流束計(フランジ無しタイプのシュミッド・ボエルター型、Hukseflux社製、型番:CHF-SBG03-200)を用いた。熱流束計の測定レンジは、常用測定レンジ0～200 kW/m²、最高測定レンジ300 kW/m²である。熱流束計は、写真 4.5.4-2 に示すとおり受熱部分を除き、セラミックファイバークラケットで断熱し、高温雰囲気においても測定が継続できるように配慮した。

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



a) センサー部



b) 全体写真

写真 4.5.4-1 熱流束計



a) 職員室 床面



b) オープンスペース(背面)

写真 4.5.4-2 熱流束計設置状況



a) 冷却水用水槽



b) 配管設備

写真 4.5.4-3 冷却水循環装置

(2) 建物外部の熱流束

建物外部の熱流束計は、写真 4.5.4-4、5、図 4.2.1-2、図 4.5.3-1～3 および図 4.5.4-1 に示すとおり、建物外壁から 3m、6m、10m、14m 離れた熱流束計タワー①～⑩(30 点) の位置で、開口部の中央に位置するように地上 2.9m、6.9m、11.1m の高さに設置した。熱流束計の仕様は、屋内のものと同一である。熱流束計タワーは、建設足場用金属パイプなどを組合せて構築した。熱流束計の配線および配管部分等はプラス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。



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



a) 熱流束計の設置状況



b) タワー部分の被覆状況



c) 北側 熱流束計タワー



d) 南側 熱流束計タワー

写真 4.5.4-5 屋外熱流束計の設置状況

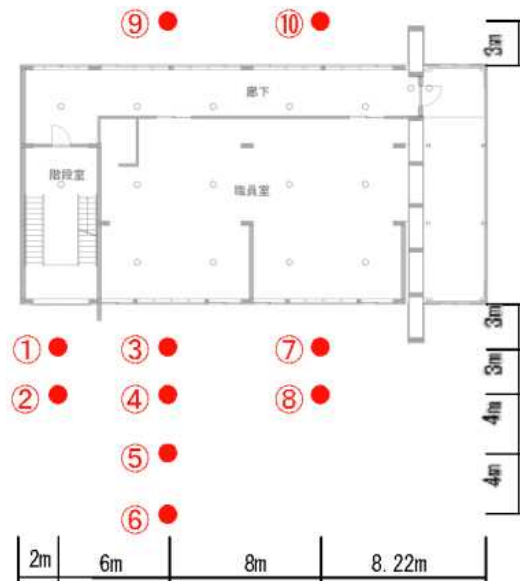


図 4.5.4-1 建物周辺における熱流束計と熱電対の設置位置

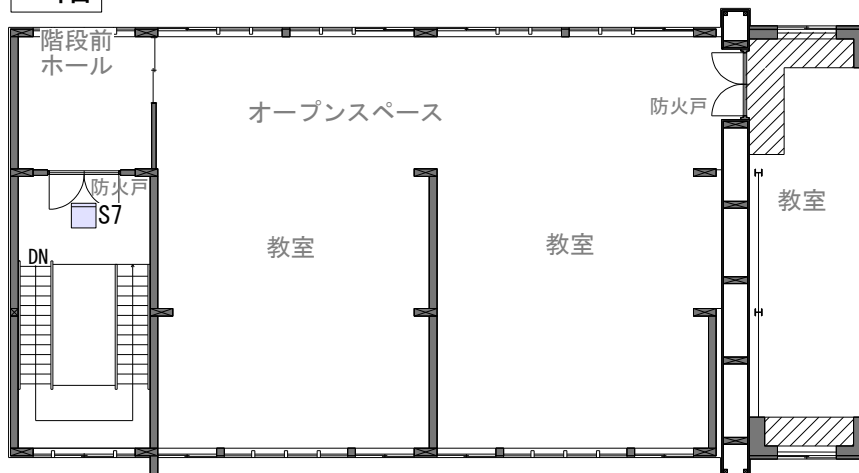
4. 5. 5 感知器、スプリンクラーヘッド

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

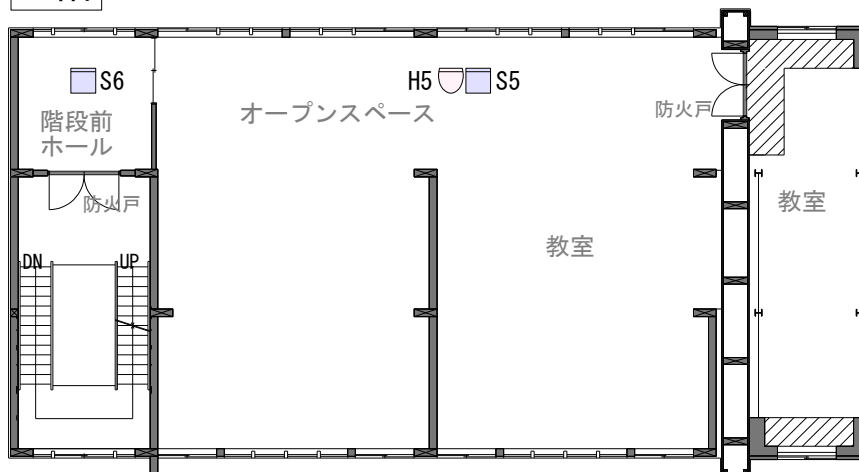
また、図 4.5.5-1 に示すとおり、初期消火のためのスプリンクラー作動時間を測定するために、1 階職員室の天井にスプリンクラーヘッド 5 個を設置して、配管内に圧縮空気を充填し、スプリンクラーヘッドの作動による圧力低下により作動時間を測定した。

スプリンクラー 差動式スポット感知器(熱感知器) 煙感知器

3階



2階



1階

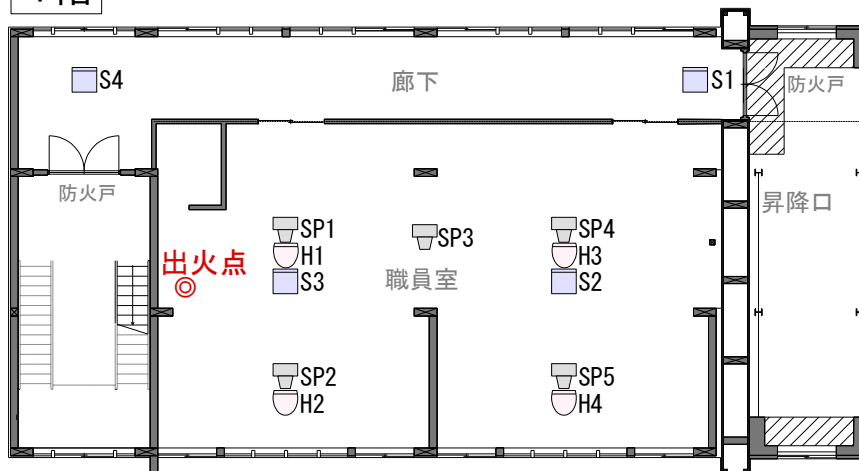


図 4.5.5-1 火災感知器およびスプリンクラーヘッド設置位置

4. 5. 6 火の粉

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

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

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



図 4.5.6-1 ビニールシート

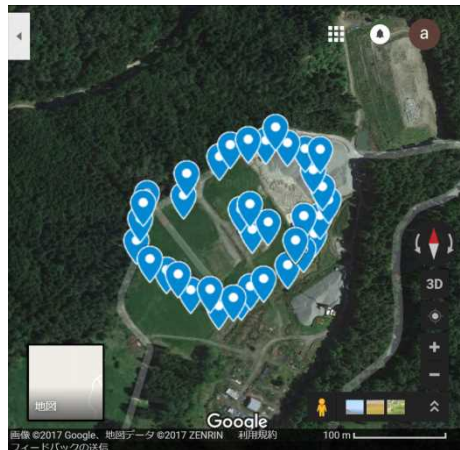


図 4.5.6-2 ビニールシート配置状況



図 4.5.6-3 ビニールハウス（御厩野）

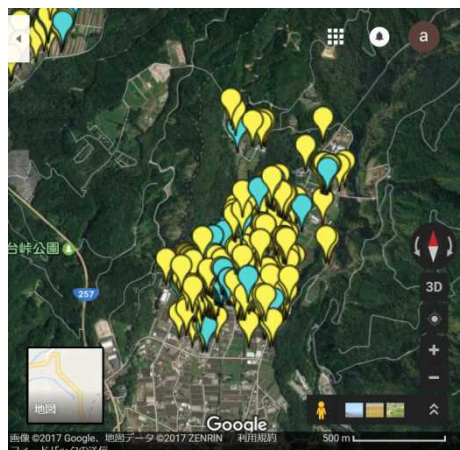


図 4.5.6-4 ビニールハウス（加子母）

4. 5. 7 主要構造部および区画の焼毀状況

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

4. 5. 8 圧力

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

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

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

表 4.5.8-1 微差圧計の仕様

微差圧計	アンプ	数量
バリダイン社圧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 4.5.8-1 微差圧計のチューブの端部



機器を収納して地中に埋設した

写真 4.5.8-2 微差圧計の配管

4. 5. 9 計測体制

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

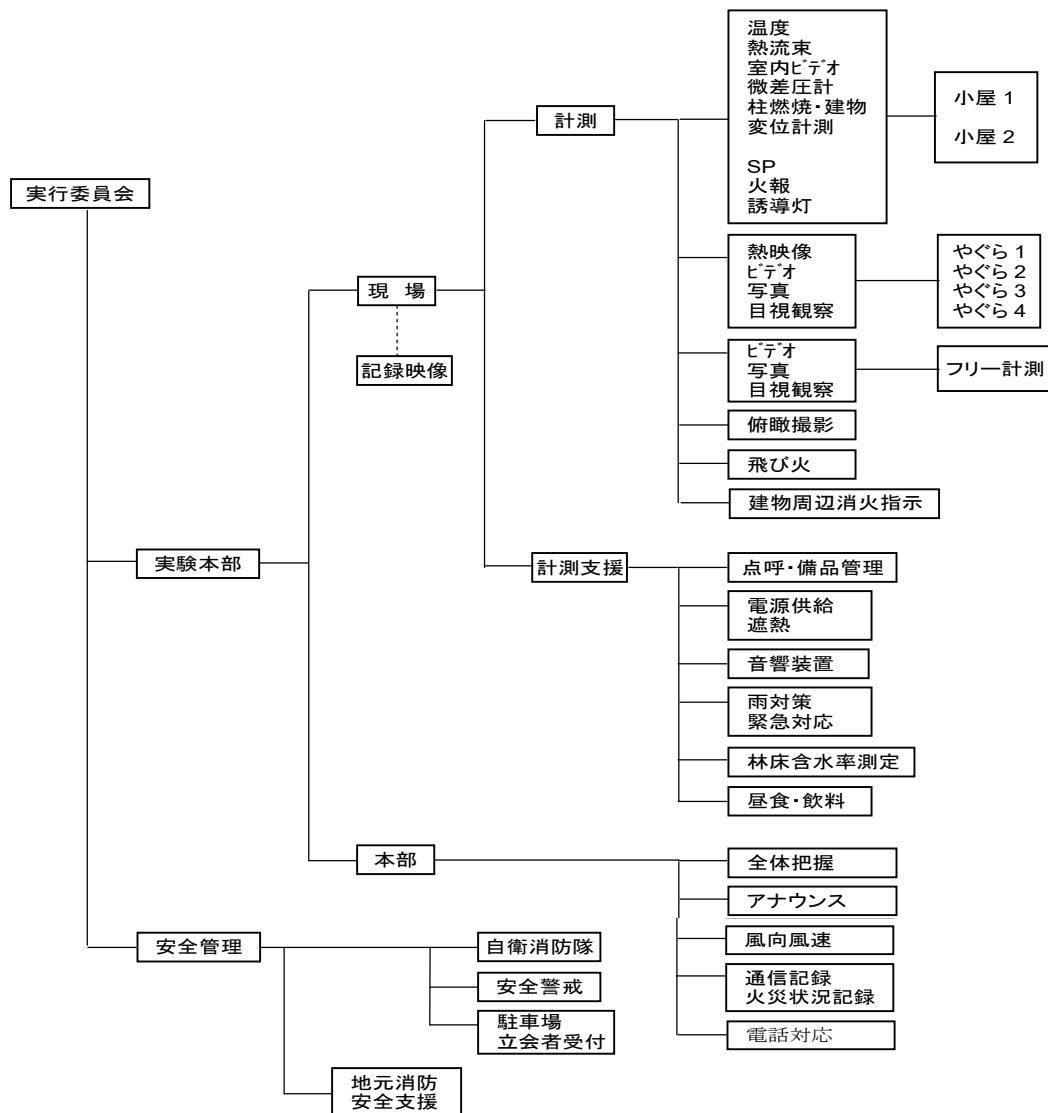


図 4.5.9-1 本実験における計測体制

4. 5. 10 建物消火水量

木 3 学の建物を消火する際に、鎮火するまでに要した水量を計測する。

4. 6 安全管理

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

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

4. 6. 1 安全管理の目的と対象となる火災の概要

(1) 実験における安全管理の目的

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

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

(2) 安全管理の対象となる実験計画概要

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

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

(3) 予備実験での課題と対策

予備実験で克服すべき課題は、

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

の3項目であった。

これらに対して、準備実験では、

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

を行い、その有効性が確認できた。

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

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

について、その効果を実大規模の実験により確認する。

（4）想定される火災性状と加害性の範囲

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

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

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

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

（5）実験敷地の条件

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

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

4. 6. 2 安全管理の枠組

(1) 組織と体制：実施の条件等について

- ・公開・非公開：立会者を限定した公開とする。
- ・実験関係者：延べ350名（マスコミ等含む。ただし、消防関係者（別項）を含まず。）
- ・危険の種類：火、熱である。
- ・危険区域、安全区域の設定：実験建物周辺は一般立ち入り禁止、指定区域以外は安全区域とする。
- ・実験および調査スタッフに対する安全教育：災害防止のため関係者の監督、実験時の火熱に対する担当者、見学者の安全対策を徹底する。
- ・協力機関との安全対策協議：会議等の場で協議し、安全管理組織を決定する。
- ・関係官署との安全対策協議：現地関連機関として国道を管轄する県土木事務所、消火体制等の構築にともなう市役所（支所、地区の区長などを含む）および警察署である。実験終了時の消火活動並びに飛び火対策と揚煙届けを行う消防署と協議する。
 - ・実行委員会：総合的な安全体制として、実験実施者で実験に当たる研究者および関連行政機関、地元自治体より成る実行委員会を設置する。
 - ・実行委員会の機関と独立な消防研究者および山林火災の専門家を委員として招聘し、安全計画上の助言および指導を受けることとした。
- ・立会者対策：公開であるが、実験時には危険区域を指定して立ち入りを全面的に禁止する。
- ・近隣民家および住民への周知：実験そのものへの理解を得るための説明会を開催するとともに、実験日の事前に予め実験の趣旨および安全性に関する周知を行う。

(2) 建物の配置等

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

(3) 火の粉の飛散対策

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

- a. 建物の崩壊
- b. 大量の可燃物の炎上
- c. 有風下の火災
- d. 建物上方での炎上

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

- 1) 敷地外に火の粉を飛散させない対策
- 2) 火の粉が飛散しても被害を発生させない対策
- 3) 火の粉による被害が発生した場合の対処

1) 敷地外に火の粉を飛散させない対策

- ・実験建物の対策（火の粉を発生し難い構法）

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

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

以上、敷地外に火の粉を飛散させない主な対策は、準備実験と同様に、

- 1) 断面計画（小屋裏）
- 2) 屋根の強化
- 3) 無窓の妻面
- 4) 防火壁外を鉄骨造
- 5) 金属メッシュによる火の粉捕獲
- 6) 3階における燃焼の抑制（消火装置）

である。

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

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

- ・ 3階散水装置

役割：霧状の微細な水滴充満による室温制御

3階火災抑制用散水装置をヘッド数4（準備実験）→8（本実験）

- ・屋根上残火対策用散水装置：新規設置

- ・放水台の考え方

建物消火上、シナリオ外の噴出火炎発生時等（多層階の合流火炎等）に、確実に操作者が放水銃位置に着くことが出来ること。

- ・遮熱盾の設置

消火台への放水（青ライン外）を検討

必要な大きさは、中央高さ 3.6m、両翼 5.2mで、高さについては両翼で担保（3階への有効放水を可能にする）

さらに、屋根の燃え抜け防止のため野地板と防水紙の間にけい酸カルシウム板 8 mm を追加し、3階の天井には強化せっこうボード 12.5mm を張り増し、面戸部分へ強化せっこうボード 21mm を追加した。また、3階収納可燃物の配置と木内装仕上を延焼評価部分のみとして、火の粉飛散措置用金網の固定方法を準備実験の仕様から改善した。

2) 火の粉が飛散しても被害を発生させない対策

火の粉が飛散した場合に被害を発生させないための予防対策と警戒および消火体制を整備する。火の粉が発生した場合、発生量および風速にもよるが、1,500m 以上遠方まで、火の粉が飛散し得る。その範囲には山林、農地、住宅、道路があり、被害発生防止対策を講じておく必要がある。それぞれ、危険の軽減の予防方策を講じるのが望ましく、地権者の協力を得て対策を講じる。

周囲の山林および敷地のうち、準備実験と同様に、地権者が確認できた場合については、実験実施の約1ヶ月前までに個別に連絡をとり（下呂市外居住者については郵送）、実験実施の説明と安全管理のための敷地立ち入り、下草の伐採等について基本的な合意を得る。地権者が所在不明な場合のほとんどは、投資目的の購入で実質は放棄された状況であるため、管理会社の同意を得る。なお、敷地東側の山林を隔てた林道以东の山林はについても同様であり、安全管理のための立ち入りと下草の伐採等については、地権者の合意を得る。敷地南東部の国有林については林野庁に情報提供を行うとともに地元管理局から合意を得る。

a. 予防方策

以下の予防方策のもとで対策を検討した。

1) 山林：乾燥した枯葉、下草等に火の粉が落下した場合に、火の粉による出火および延焼の危険が大きい。枯葉および下草の処理および伐採、事前散水を行い、林床湿度の測定を行って管理する。

2) 農地およびビニールハウス等の状況確認と実験中の警戒を行う。

3) 要注意箇所を把握し、宅地の植物性屋根および木造工作物等を把握し、実験の事前告知と警戒を行う。

4) 道路等は自動車への影響を防ぐため、告知および交通制限などを実施する。

b. 警戒および初期消火体制 → 消防消火体制を参照

3) 火の粉による被害が発生した場合の対処（3段階目の安全対策）

万一、被害が発生した場合の現状回復および対応を予め明確化しておく。

a. 本実験に関する被害の原状回復（補償）の方法について

（以降の内容では補償の意味も含め、「原状回復」という表現を用いる。）

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

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

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

b. 原状回復手続きの流れ

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

- ・火災実験（10月下旬予定）による滅失等の被害の発生

↓

- ・滅失等の申し出（物件所有者 → 実行委員会）

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

↓

- ・滅失等の調査※

↓

- ・原状回復費用の算定※

↓

- ・原状回復費用の説明※

↓

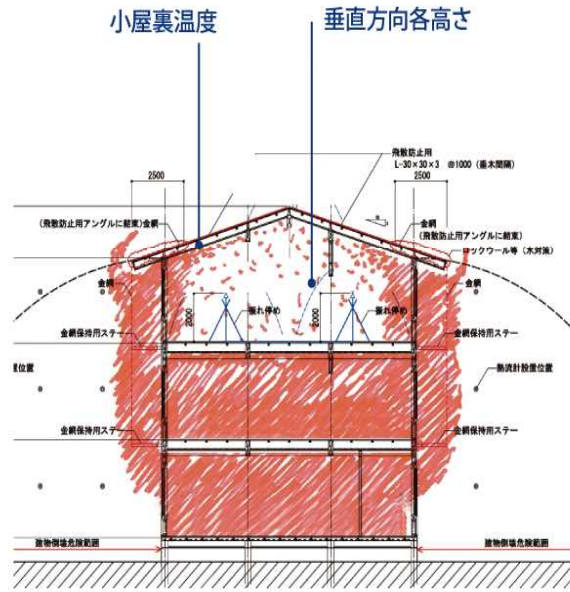
- ・原状回復費用支払契約※（物件所有者と実行委員会）

↓

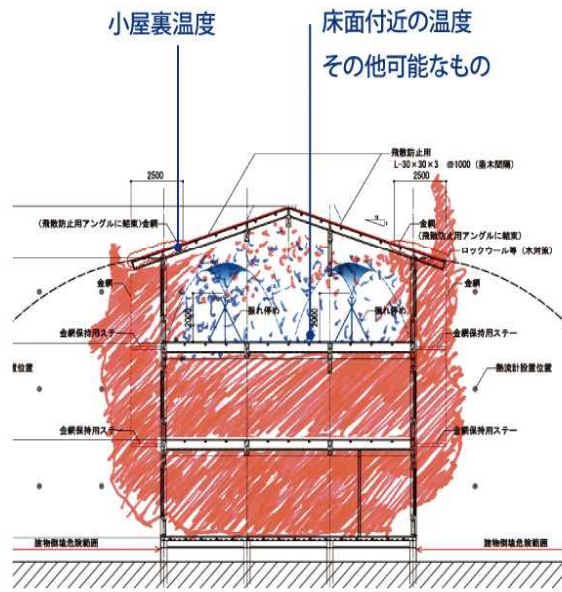
- ・原状回復費用の支払（実行委員会 → 物件所有者）

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

■ 判断温度測定位置 (散水開始前)



■ 判断温度測定位置 (散水開始後)



■ 散水水量の目安 圧力 0.7MP

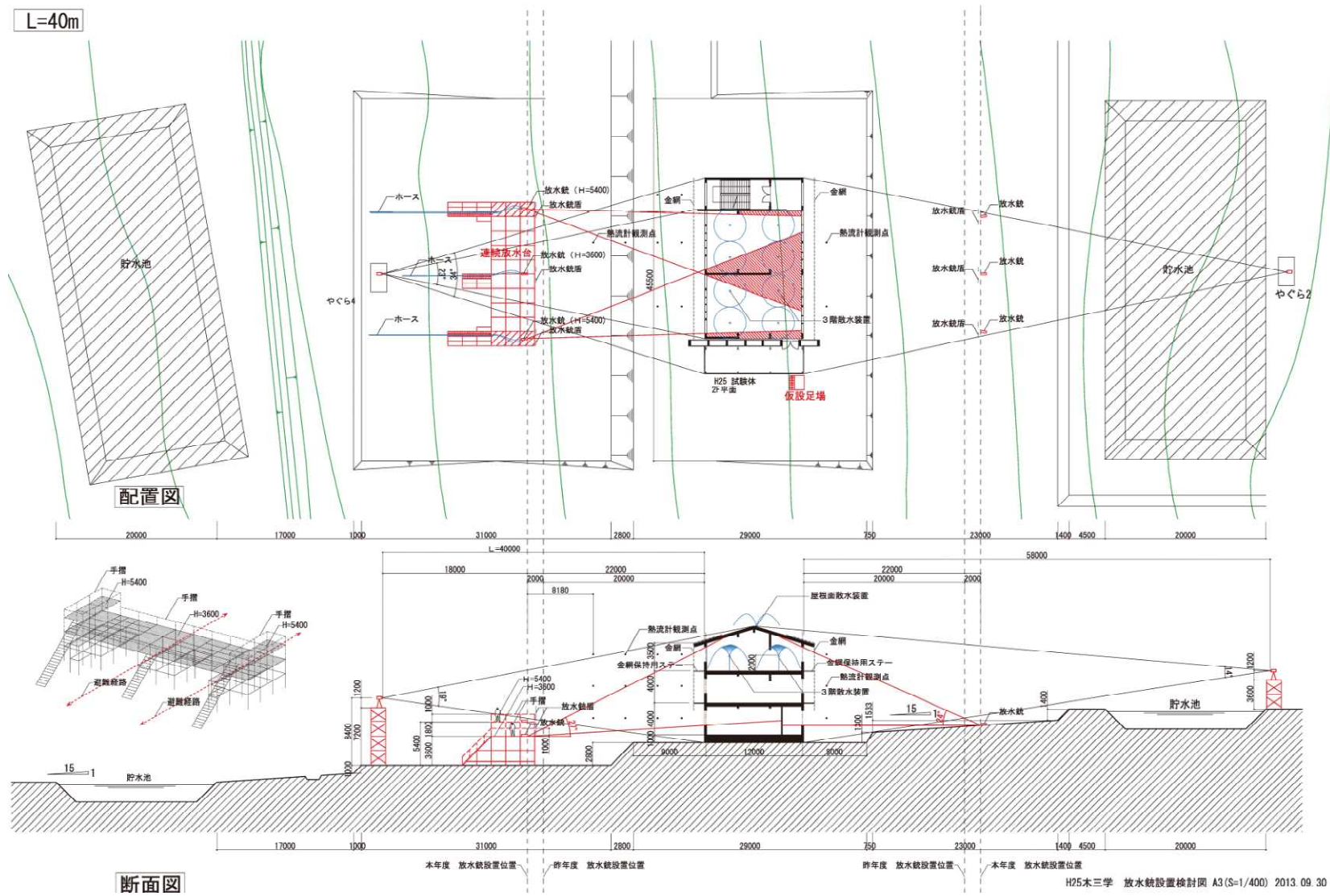
ポンプ能力 1200~1400L/分
 散水ヘッド 211L/分・本 (7×√80)

1教室4ヘッド 850L/分
 2教室8ヘッド 1400L/分

2教室 1800m²
 1400L ÷ 1800m² = 8mm/分

散水量 積算水量測定 (板書)
 ヘッドの耐熱温度 700~800℃

図 4.6.2-2 3階火災抑制装置能力および基本図



H25木三学 放水銃設置検討図 A3(S=1/400) 2013.09.30

図 4.6.2-3 実験建物消火用放水台平面図・断面図

(4) 実験までの安全計画

本実験を実施するまでに、以下の準備を行う。

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

1) 周囲環境の土地利用および敷地状況調査

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

2) 住民等説明

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

3) 周辺敷地地権者との協議

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

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

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

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

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

4) 飛び火対策

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

5) 周辺整備（下草刈など）について

実験の進行に応じて、以下の通り周辺整備すべき範囲を検討した。

a. 近・中域（300m 前後まで）

2階開口から火の粉が飛散した場合（高さ $h=8\text{m}$ 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への給水、プールなど水源の充実

- ・林縁部を中心とした範囲の下草刈りを実施

b. 広域（300～800m）

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

c. 集落（800m～）：

対応は、次のとおりとする。

- ・事前告知を中心に協力を依頼する。
- ・農作物対策については戸別訪問を行い、協力を依頼する。
- ・周辺地区の一般警戒として、車両などによる巡回（実験実施者＋地元消防団）を実施する。

6) 敷地周辺の気象測定

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

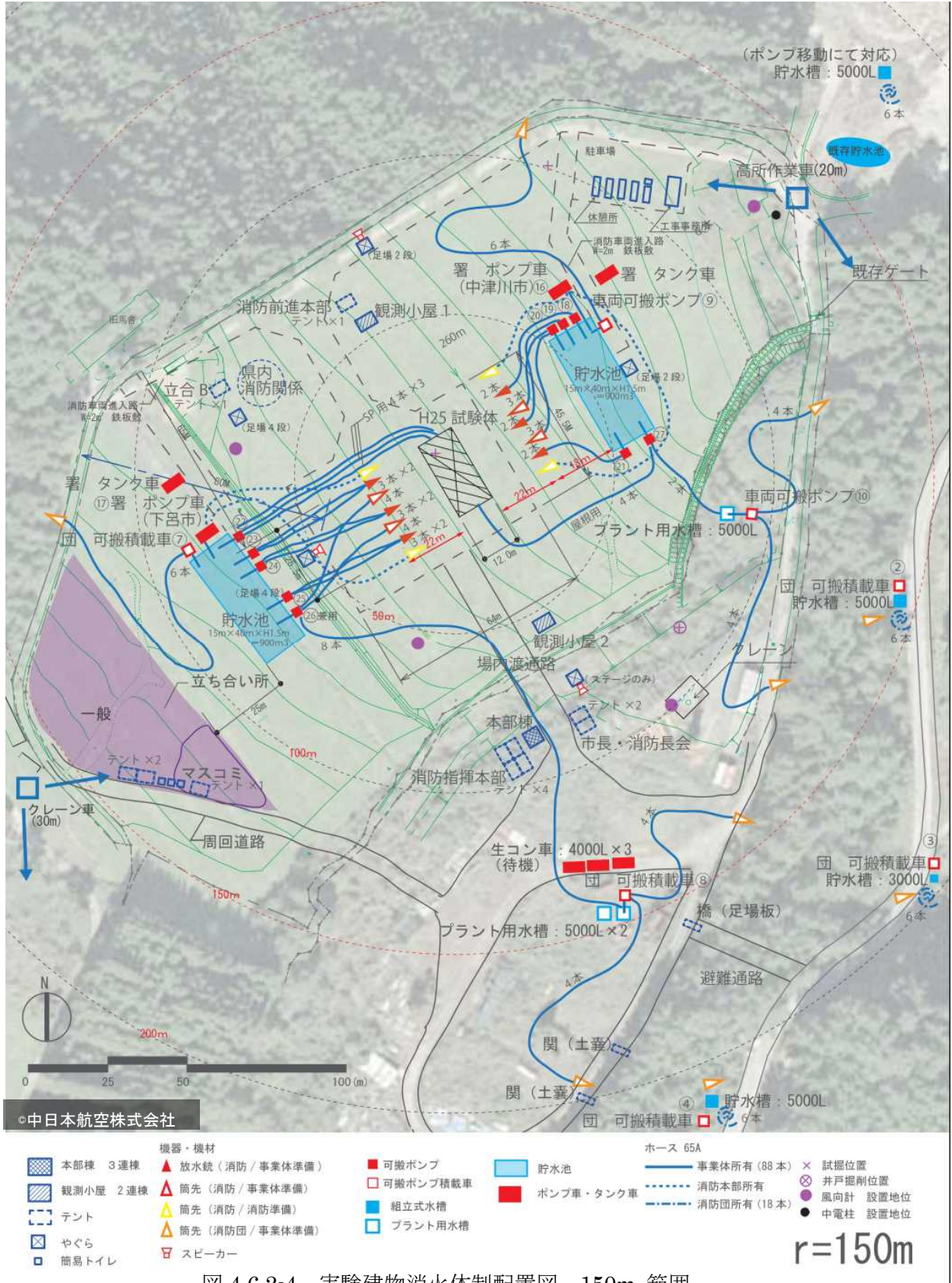


図 4.6.2-4 実験建物消火体制配置図 150m 範囲

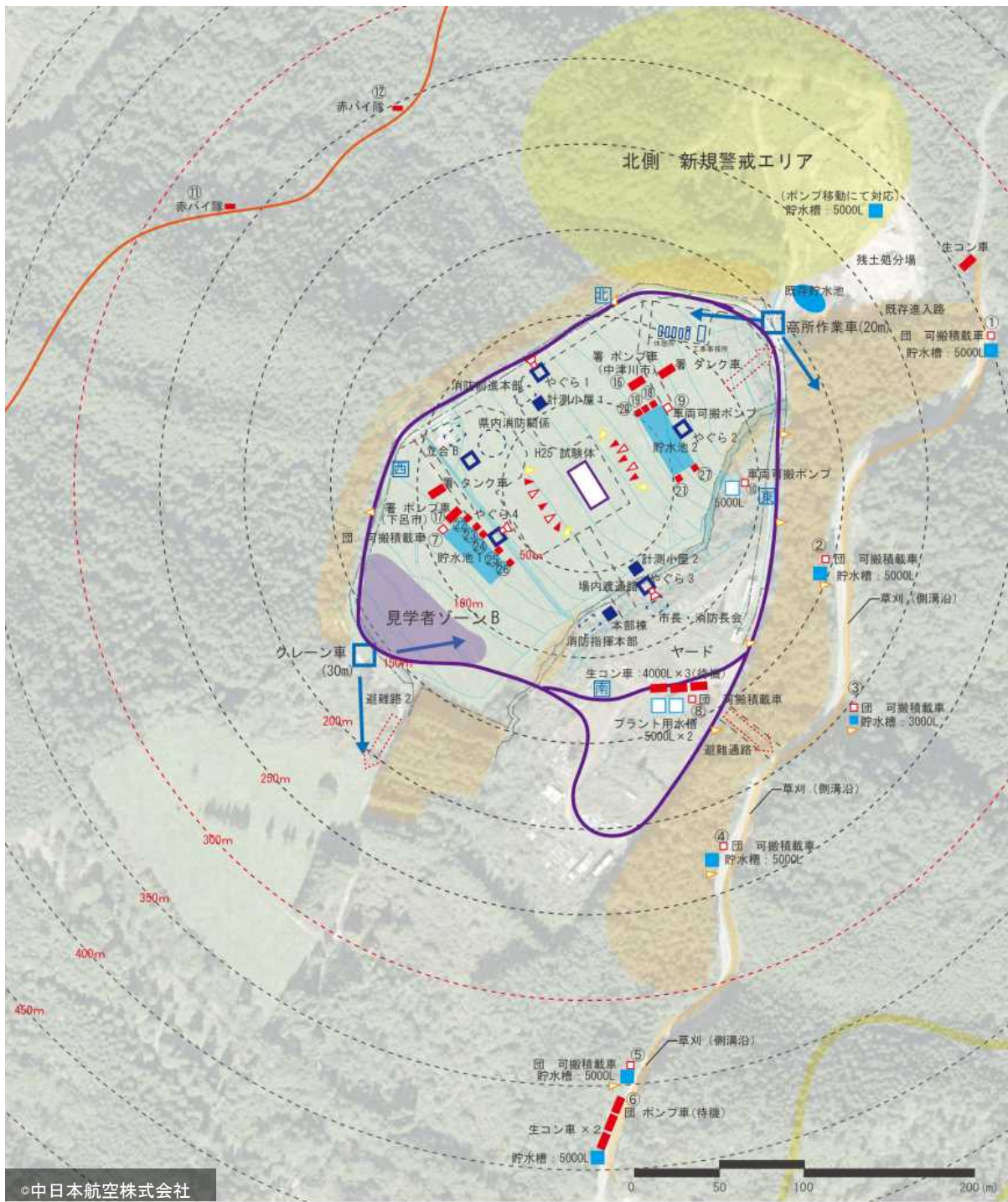


図 4.6.2-5 実験建物消火体制配置図 300m 範囲

(5) 消防消火体制

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

については、その改善策を講じる。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1) 消火作業行程

事前散水（前日までと当日早朝）

消防団＋実験実施者

< 実験開始 >

飛び火警戒（建物燃焼中、実験終了時）

下呂中津川消防・消防団、実験実施者

建物消火、鎮圧（実験終了）

下呂中津川消防・実験実施者

残火処理＋飛び火警戒（夜間、数日後までの再燃監視）

実験実施者

2) 消火組織

地元行政、消防と消防団の協力を得て消火組織を構成する。

建物消火：消防＋実験実施者（技術者など）

周辺警戒：消防団を中心

消防指揮本部の設置：実験実施者、消防団、消防署の指揮所を同一場所に設置

3) 消防本部（消防団）との連携

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

4) 本部構成（以降の人数は、いずれも計画）

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

下呂市

中津川市

下呂市消防本部 17名

中津川市消防本部 15名

下呂市消防団 18名

中津川市消防団 11名

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

(6) 機器および人員配置

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

1) 人員

a. 建物消火体制

南側： 下呂市消防本部隊員 12 名 実験実施者 17 名

- ・放水銃 3 基 / 2 線放水 (放水台 3 基)
- ・通常管銃 4 基

3 階および階段室散水装置制御

- ・可搬ポンプ 5 台
- ・下呂市ポンプ車 1 台管銃 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

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

- ・可搬ポンプ 5 台

合計口数 7 口

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

b. 実験敷地内周辺警戒体制

実験敷地内および敷地周辺の警戒態勢は、次の通りである。

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

c. 周辺林野警戒体制

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

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

協力消防団合計人数

- ・ 下呂市消防団 193 名
- ・ 中津川市消防団 106 名

d. 櫓監視

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

e. その他

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

2) 機材

以下の機材を準備する。ただし、可搬ポンプなどは前項参照。

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

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

実験前日 16 時にポンプへ給油（事前散水などに使用した後）する

実験当日 6 時 30 分から配達用 180 リットルの給油車を現場待機する

3) 水源

・主貯水池

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

・代替貯水池

南東側検討中貯水池を下記のように計画する。

コンクリートプラント用の水槽（5.5m³×3台）を設置し、生コン車（4m³×3台）を待機させ、合計27m³（可般ポンプ1台で27分放水可能）を用意し、状況に応じてこの間に、主貯水池から送水するルートを確認する。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トン積））を6台、林道内および代替貯水池に待機させる。

4) 教育および想定演習

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

（7）実験関係者、消防関係者の安全体制

避難ルートを確認し、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。

（8）実験終了後の安全計画

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

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

（9）総合的な安全体制

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

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

1) 消防および山林火災に関する専門家の助言および指導体制の構築

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

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

2) 安全管理の実施体制

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

実験時の安全管理本部を、消防本部並びに実験本部に隣接して設ける。

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

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

4. 6. 3 実験の実施・中止の判断

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

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

状況については、本実験の目的は、1階に点火した後、1階で構造の準耐火性能要求時間を超えて倒壊せず、2階に延焼した後、3階に延焼した時点で達成できるため、

- ・ 2階、3階への延焼が起これない場合には1階で火盛り期に達してから1.5時間経過した場合
- ・ それ以外の場合は3階に延焼した時点、もしくは構造の変形が生じ始めた場合

に実験終了とし、消火活動に入る。なお、3階に延焼した時点の基準は、3階に設置した散水装置による火勢の抑制用を行い、安全に実験が継続できるよう計画する。

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

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

1) 実施の判断基準

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

以下の基準を全て満足すること。

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

2) 実施判断時期

- ・ 実験実施前々日 午後5時以降に、林床の含水率による判断を行う。
- ・ 実験実施前日 午後5時以降に、林床の含水率による判断を行う。
- ・ 実験実施当日 午前5時 ※最終判断は着火予定の8時直前。

※最終判断は、着火直前。天気予報を含め、開始時間を30分単位で順延する。

※当日の実験可否は、5:15頃HPに掲載し、各自確認の上参集する。

3) 消火・中止の判断基準

1) 天候

- ・ 外気風速（実験敷地）：10分間平均 4m/s より大きくなった時点

- ・周囲の林床の含水率：30%未満になった時点

2) 建物の火災性状

- ・急激な上階延焼が生じた時点
- ・柱の燃焼により座屈が生じる可能性が高まった時点、柱の残存耐力が100%を下回る時点（炭化量が約70mmに達した時点。※偏心がない場合）
- ・3階の室内に延焼した時点（室内の温度が450℃を越えた時点）
- ・階段室に延焼した時点（階段室内の温度が450℃を越えた時点）

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

- ・倒壊危険等が生じた時点
- ・倒壊危険または倒壊の予兆が見られた時点

梁間方向：西側外壁面（高さ15m）変位75mm以上

桁行方向：北西側軒先（高さ11m）変位55mm以上

※階ごとの変形が著しく異なる場合は、層間変位角1/200を目途とする。

（点火後1.5時間～2時間を目安）

- ・周囲の森林へ火の粉による飛び火の危険があると判断された時点
- ・実行委員長の判断による。

3) その他

- ・地震等の予期しない事象が発生した時点

4) 消火および中止の決定

- ・実行委員長の判断による。必要に応じて協議を行う。



写真 4.6.3-1：実験建物消火開始時の状況

4. 6. 4 実験立会い者

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

1) 実験遂行上、立会いが必要な人

- ・実験による影響が生じる可能性のある範囲の地権者
- ・消防支援（岐阜県下消防、全国消防長会等。活動服での参加）

2) 実験遂行に係わる団体で、実験への理解を得る上で立会いが必要な人

- ・実験実施者の所属長、地元自治体幹部および市議会議員等

3) 木3学基準の検討および政策化の上で実験立会いが望ましい人

- ・国交省審議会・防火基準検討委員会・国会議員・関連省庁担当者等

4) 実験遂行上の協力団体の代表者

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

場内の各組織位置

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

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

4. 6. 5 安全管理の実施

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

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

- ・実験前の外気風がほぼ無風状態であったこと
- ・実験建物の軒の出が 1.5m あること

から、室内の火災性状に及ぼす影響は少ないと判断して実験を実施した。

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

最終の立会者数は、

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

であった。

4. 7 測定結果

4. 7. 1 気象

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

(1) 気温・湿度

気温は実験時間を通じて概ね11℃だった。湿度は降雨のため96%だった。

(2) 風速・風向

実験時間を通じてほぼ無風か微風であった。

(3) 降水量

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

表 4.7.1-1 実験実施中の気象観測結果

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

4. 7. 2 目視観測、ビデオ映像、写真記録、熱映像

(1) 目視観測

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

1) 出火室内の延焼および煙の拡大

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

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



写真 4.7.2-2 天井付近に達した火炎



写真 4.7.2-3 自然鎮火した火源付近



写真 4.7.2-4 再着火の様子



写真 4.7.2-5 天井付近に達した火炎



写真 4.7.2-6 天井面を広がる火炎



写真 4.7.2-7 天井面を広がる火炎

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

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



写真 4.7.2-8 天井下を延びる火炎



写真 4.7.2-9 収納可燃物への着火



写真 4.7.2-10 出火室から噴出する火炎



写真 4.7.2-11 軒まで達した噴出火炎



写真 4.7.2-12 点火後48分頃の廊下



写真 4.7.2-13 点火67分後の廊下



写真 4.7.2-14 北側からの噴出火炎



写真 4.7.2-15 北側3階に達した噴出火炎

2) 2階への延焼

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



写真 4.7.2-16 割れた窓から流入する煙



写真 4.7.2-17 床近くまで降下した煙



写真 4.7.2-18 炎に包まれた室内



写真 4.7.2-19 2階から噴出する火炎

3) 3階への延焼

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

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

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



写真 4.7.2-20 室内に侵入する火炎



写真 4.7.2-21 散水開始時の3階室内

4) 階段室と防火壁

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

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



写真 4.7.2-22 1階防火戸から侵入する煙



写真 4.7.2-23 階段室3階の見通し



写真 4.7.2-24 防火戸から侵入する煙



写真 4.7.2-25 北側防火壁を越えた火炎



写真 4.7.2-26 ガラス破損時点



写真 4.7.2-27 ガラス破損後に流入する煙

5) まとめ

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

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

b. ビデオ映像・写真記録・熱映像

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







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

図 4.7.2-1 目視観察による実験経過

表 4.7.2-1 火災進展の概要（屋外）

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

表 4.7.2-2 火災進展の概要（屋内）

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

→ : 変化がないことを示す

表 4.7.2-3 屋外の熱映像

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

4. 7. 3 温度

(1) 室内の温度

1) 1階室内温度

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

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

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

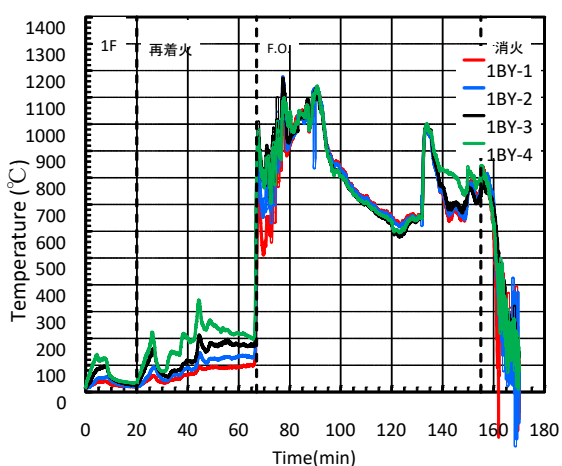


図 4.7.3-1 1階職員室(西)1BY 温度

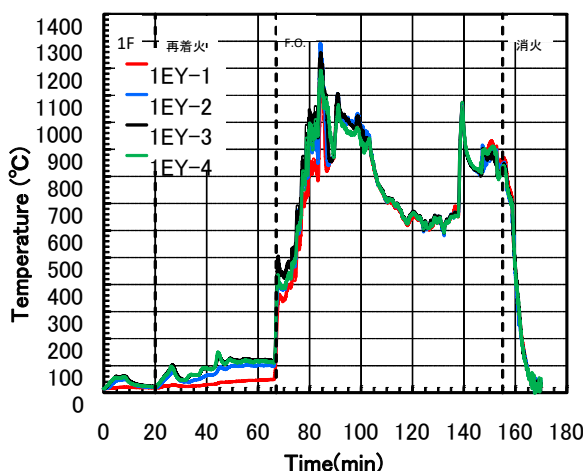


図 4.7.3-2 1階職員室(東)1EY 温度

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

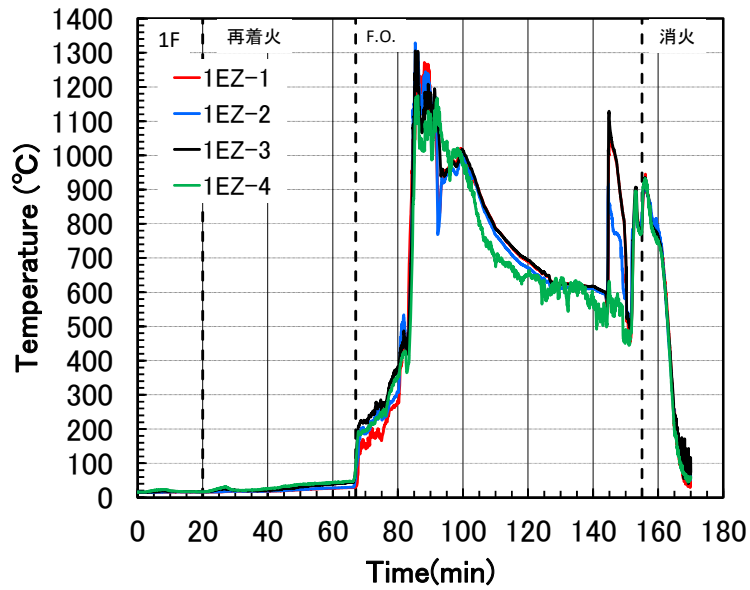


図 4.7.3-3 1階廊下(東)1EZ 温度

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

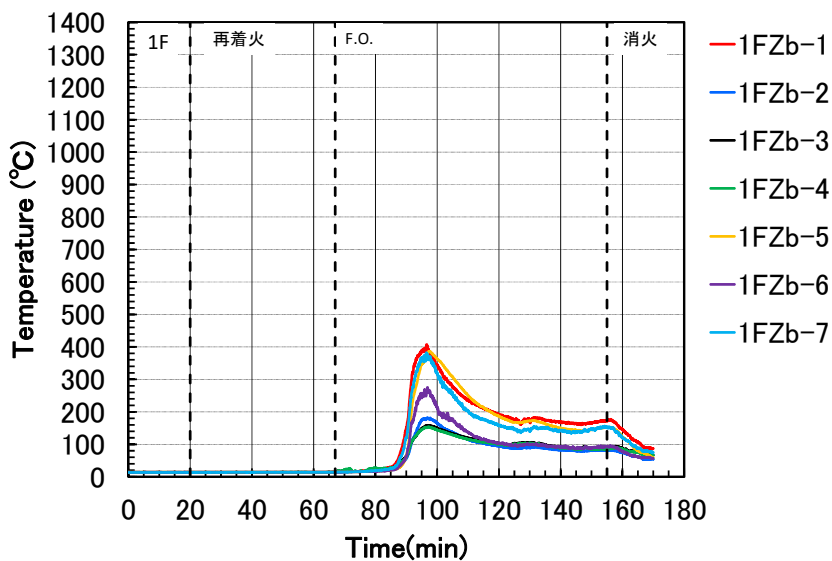


図 4.7.3-4 1階防火壁防火戸非加熱側(1FZb)温度

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

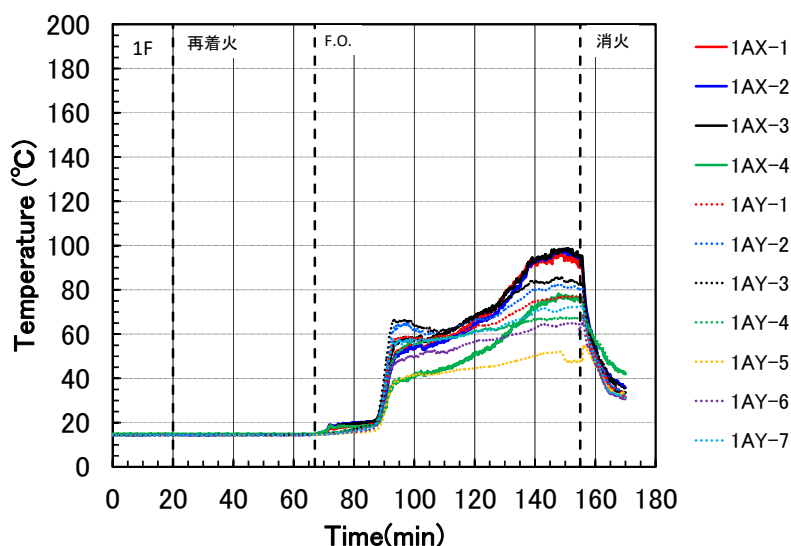


図 4.7.3-5 階段室(1AY、1AX)温度

2) 2階室内温度

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

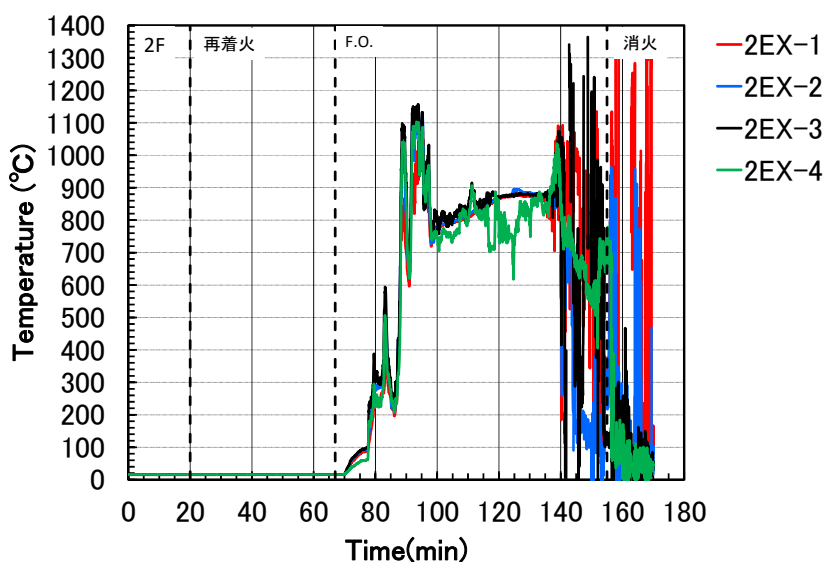


図 4.7.3-6 2階普通教室(東)2EX 温度

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

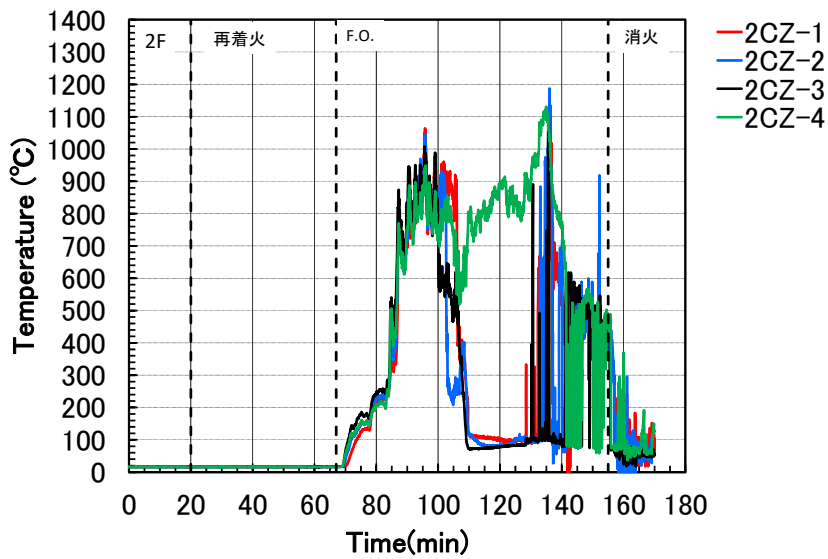


図 4.7.3-7 2階オープンスペース(西)2CZ 温度

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

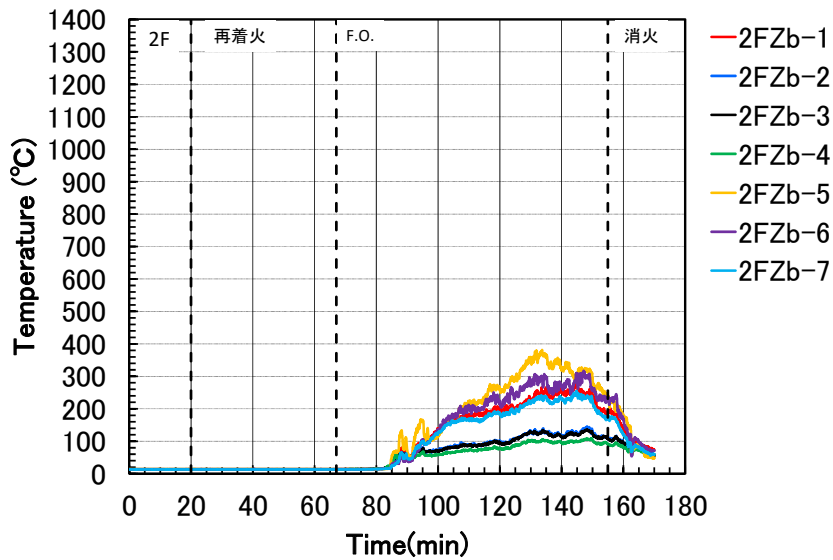


図 4.7.3-8 2階防火壁防火戸非加熱側 2FZb 温度

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

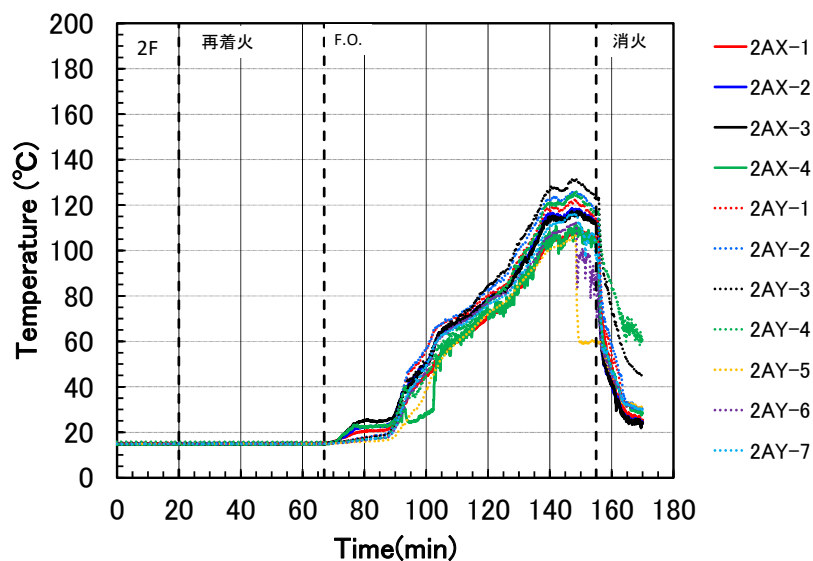


図 4.7.3-9 階段室(2AY、2AX)温度

3) 3階室内温度

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

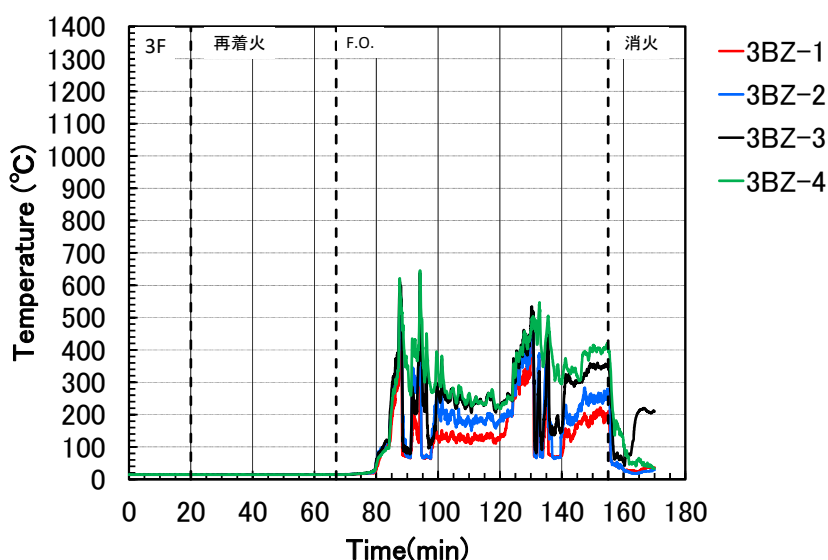


図 4.7.3-10 3階オープンスペース(西)3BZ 温度

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

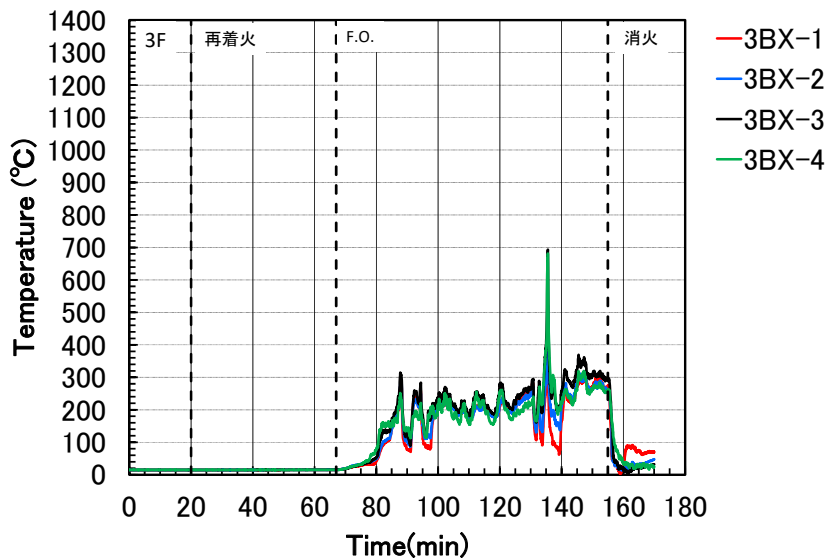


図 4.7.3-11 3階普通教室(西)3BX 温度

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

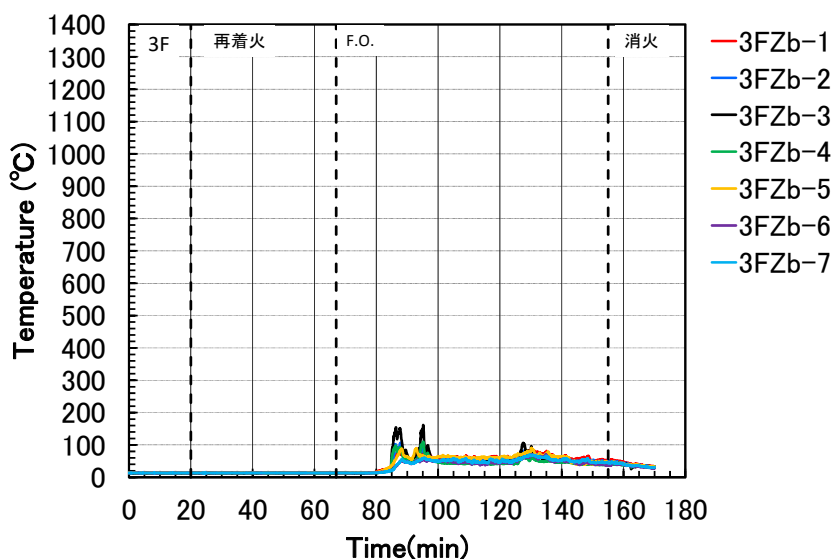


図 4.7.3-12 3階防火壁防火戸非加熱側 3FZb 温度

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

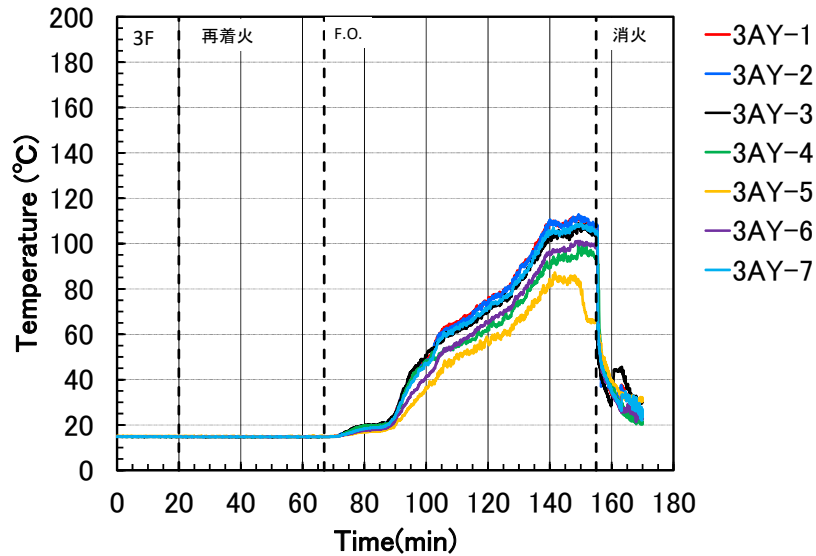


図 4.7.3-13 3階階段室 3AY 温度

4) まとめ

室内温度から得られた結果は下記のとおりである。

- ・ 出火室の初期の火災成長は緩慢であり、20分に再着火し66分(46分)に450°Cに達した。
- ・ 出火室と隣接する廊下へは木製フラッシュ戸からの燃え抜けで延焼したが、450°Cに達する時間は10分程度遅延した。
- ・ 2階で最初に450°Cを記録したのは2階普通教室(東)で、82分(62分)であった。
- ・ 3階で最初に450°Cを記録したのは3階オープンスペース(西)で、87分(67分)であった。
- ・ 実験終了まで防火壁東側の区画へは延焼しなかった。
- ・ 実験終了まで階段室へは延焼しなかった。

(2) 延焼の進展状況

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

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

表 4.7.3-1 各室の条件と 450℃到達時間

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

【※1】発熱量密度は、単位床面積あたりの可燃物の量(発熱量)を示す。

【※2】内装 不:不燃材料、準不:準不燃材料、可:木材

【※3】X方向(東西方向)の壁は外壁の屋内側のみ全て木質化し、他は不燃材料仕上げ。
Y方向(南北方向)の壁は外壁柱面より1mまで木質化し、他は不燃材料仕上げ。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- ① 出火室天井内装材の準不燃化により初期の火災成長が緩慢であった。
- ② 2階への延焼は 82分(62分)に、噴出火炎による外部開口經由で延焼した。また、3階への延焼は 87分(67分)に、2階と同様、噴出火炎による外部開口經由で延焼した。

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

2013/10/20 9:06:38

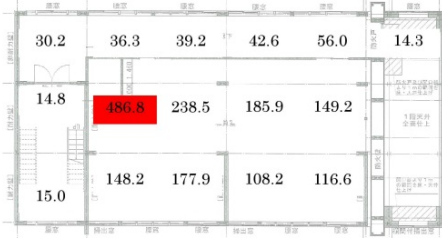
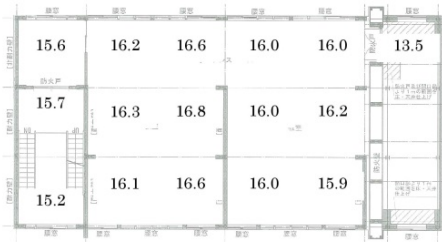
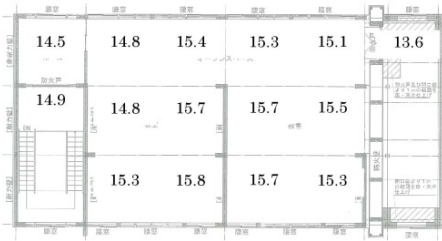


図 4.7.3-14 66分(46分)の温度分布

2013/10/20 9:20:44

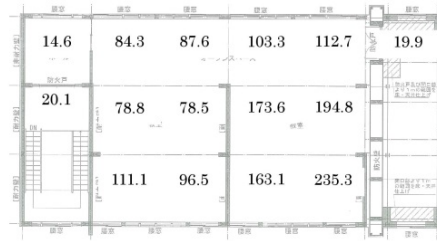


図 4.7.3-15 80分(60分)の温度分布

2013/10/20 9:22:48

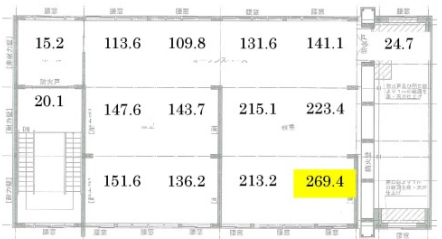


図 4.7.3-16 82分(62分)の温度分布

2013/10/20 9:24:32

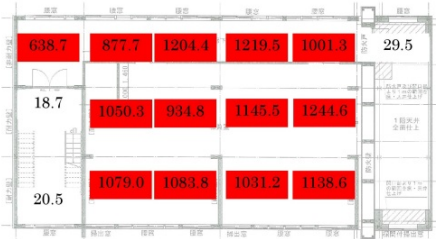
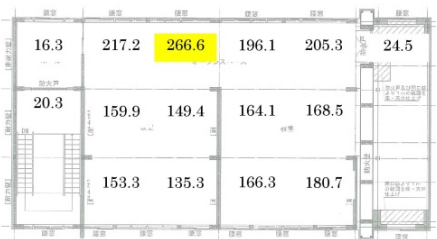


図 4.7.3-17 84分(64分)の温度分布

2013/10/20 9:27:16



図 4.7.3-18 87分(67分)の温度分布

2013/10/20 10:35:00



図 4.7.3-19 150分(130分)の温度分布

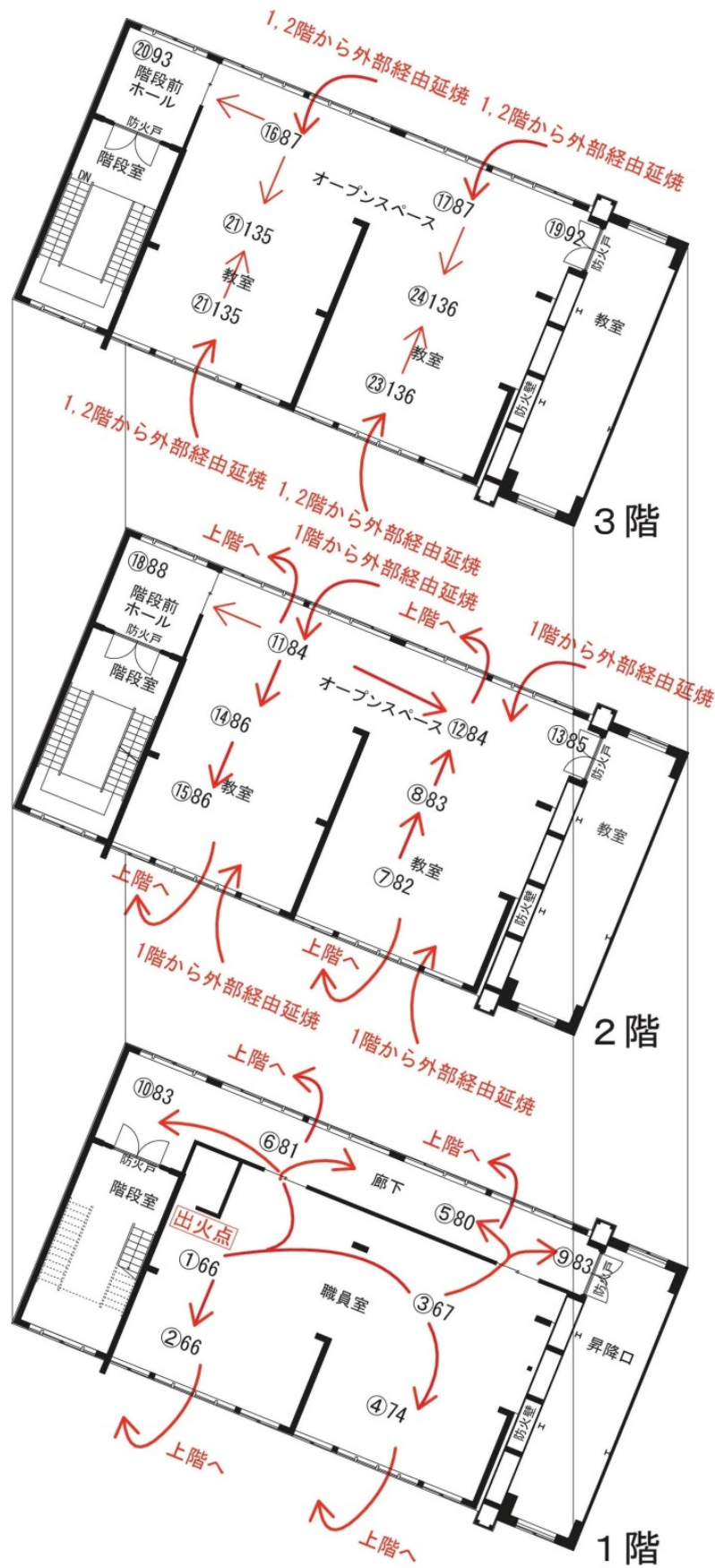


図 4.7.3-20 延焼拡大の推定経路

(3) 主要構造部等の温度

1) 柱

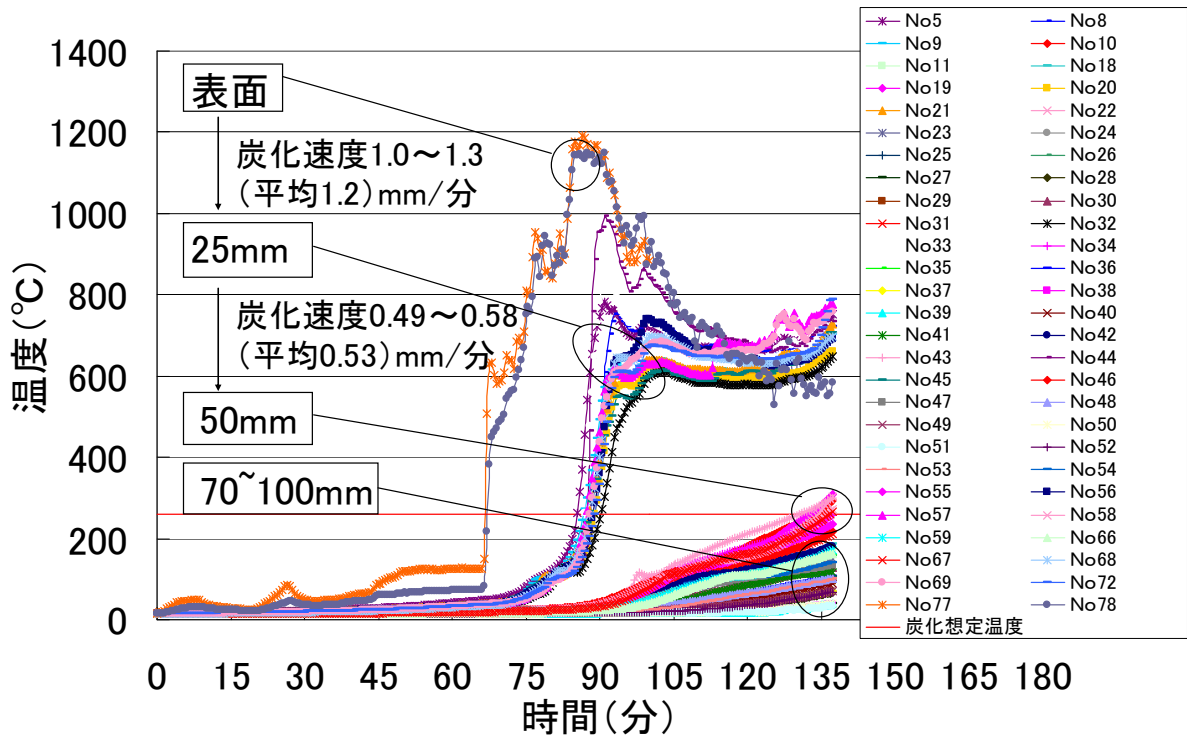
本試験では、準備実験と同様に1階出火室にのみ独立柱が1本あり、建物部材内でこの柱が最も早く構造的に破壊するおそれがあったため、独立柱の近傍に図4.2.1-1および図4.5.3-5に示す独立柱と同素材、同断面（対称異等級構造用カラマツ集成材 E105-F300、220×650mm）の炭化深さ評価用柱を置き、その内部に設置した熱電対78点の温度変化から、柱の炭化量と残存耐力をモニタリングした。独立柱の初期の軸力は約133kNで、実験終了後は炭化深さ評価用柱および独立柱をそれぞれ解体し、最終的な炭化量の測定を行った。

図4.7.3-21、22に柱内部温度変化と炭化速度を示す。炭化速度は、温度が260℃を超えた部分より外側が炭化したと想定し、柱表面に直交する一直線上の2点を選び、2点の距離の差を260℃を超えた時間の差で割ることにより算出した。図をみると、1階がフラッシュオーバーした頃の67分(47分)に炭化深さ評価用柱表面温度が260℃を超えて柱の燃焼が始まったことがわかる。139分(119分)以降は断線して温度測定が不能になったが、写真4.7.3-1より実験終了後も炭化深さ評価用柱および独立柱ともに破壊せず自立していた。短辺方向の炭化速度は最初速いところで1.3mm/分であったが、徐々に遅くなり断線する直前には平均0.53mm/分に落ち着いた。断線時の炭化量は図4.7.3-21でちょうど50mm程度であったから、ここから消火時155分(135分)の炭化深さを予測すると、 $(155-139) \times 0.53 + 50 \approx 58\text{mm}$ となった。長辺方向の炭化速度は、最初速いところで1.0mm/分であり、40mm炭化するまで平均0.93mm/分と比較的早い炭化速度を示した。最終的な柱の炭化量は4.7.7(5)軸組材の残存・炭化状況に示すとおりで、温度から予測した値と近似しており、いずれも燃えしろ45mmを越えていた。

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

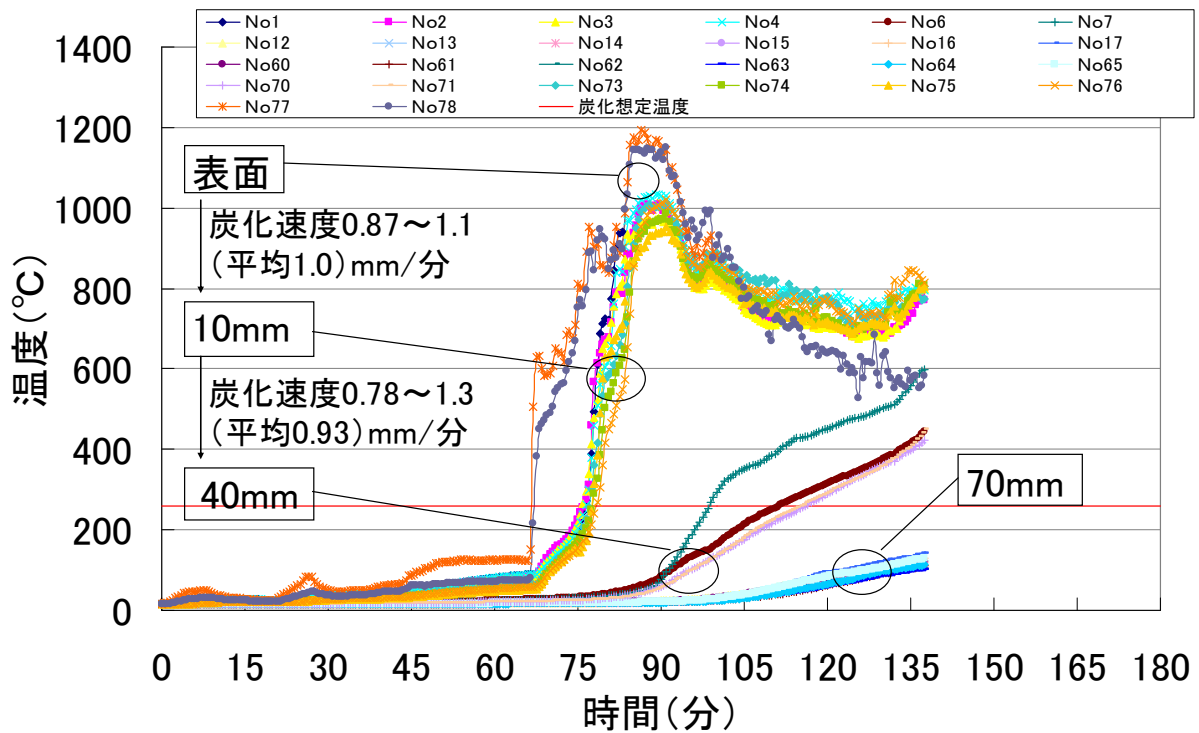


写真 4.7.3-1 消火後の独立柱および炭化深さ評価用柱の状態



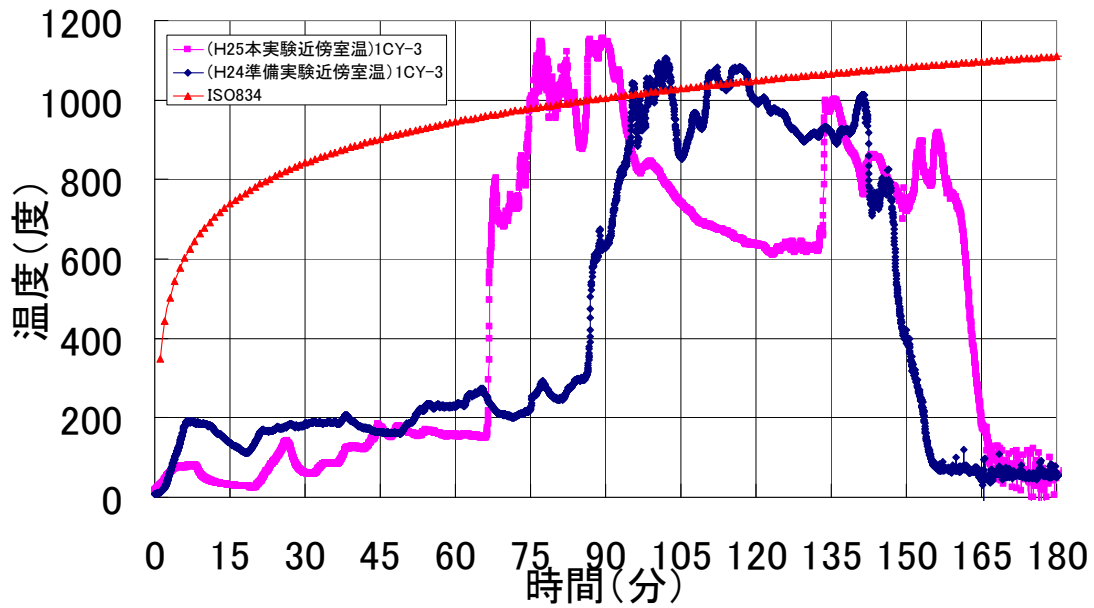
(表面から 25,50,60,70,80,100 mm)

図 4.7.3-21 短辺方向の柱内部温度と炭化速度



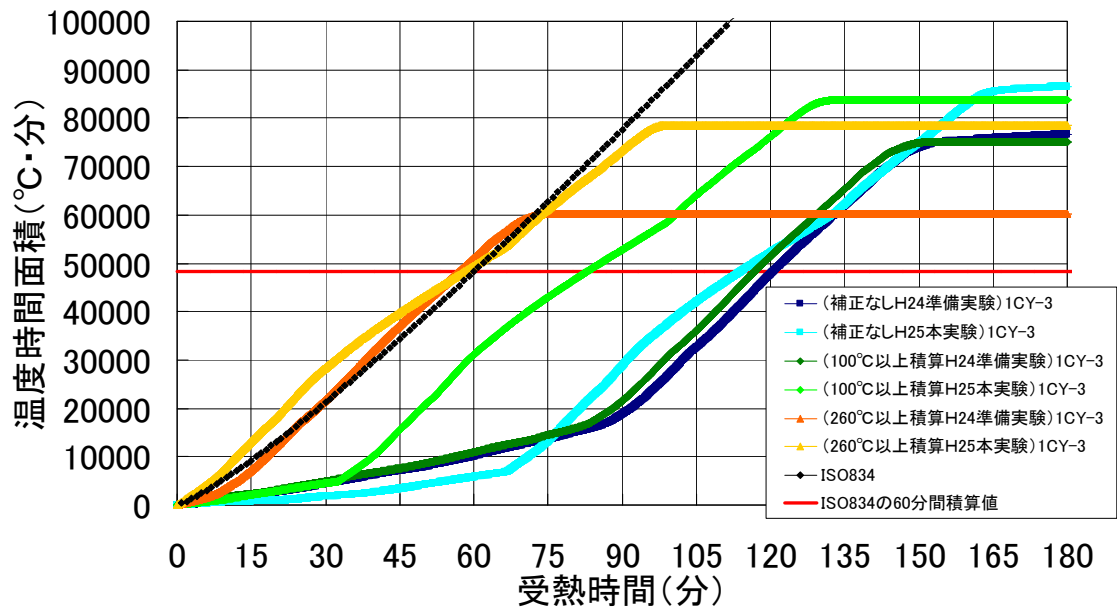
(表面から 10,40,70 mm)

図 4.7.3-22 長辺方向の柱内部温度と炭化速度



(柱の近傍室温の温度)

図 4.7.3-23 独立柱の加熱温度変化



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

図 4.7.3-24 独立柱が受けた温度時間面積

1. 1) 独立柱の支持能力の検証（柱の载荷加熱実験）

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

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

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

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

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

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

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

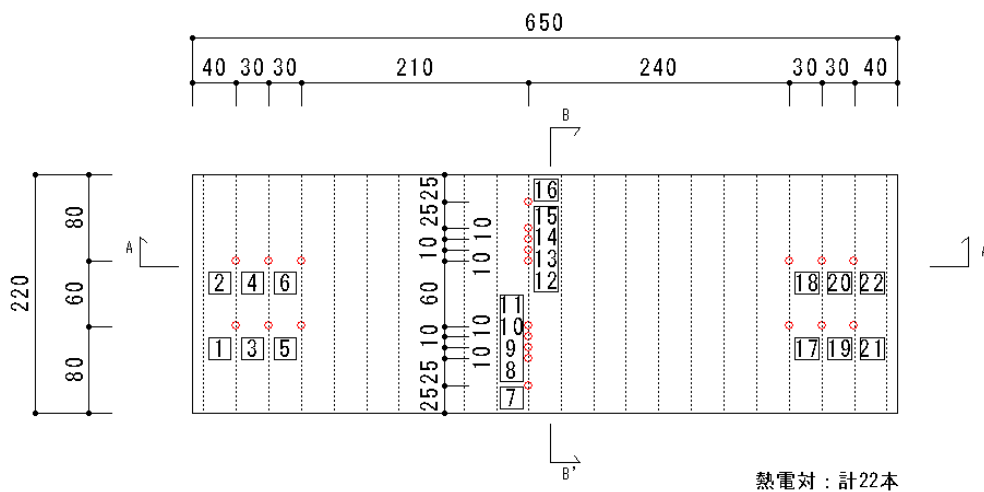


図 4.7.3-25 柱内部熱電対位置

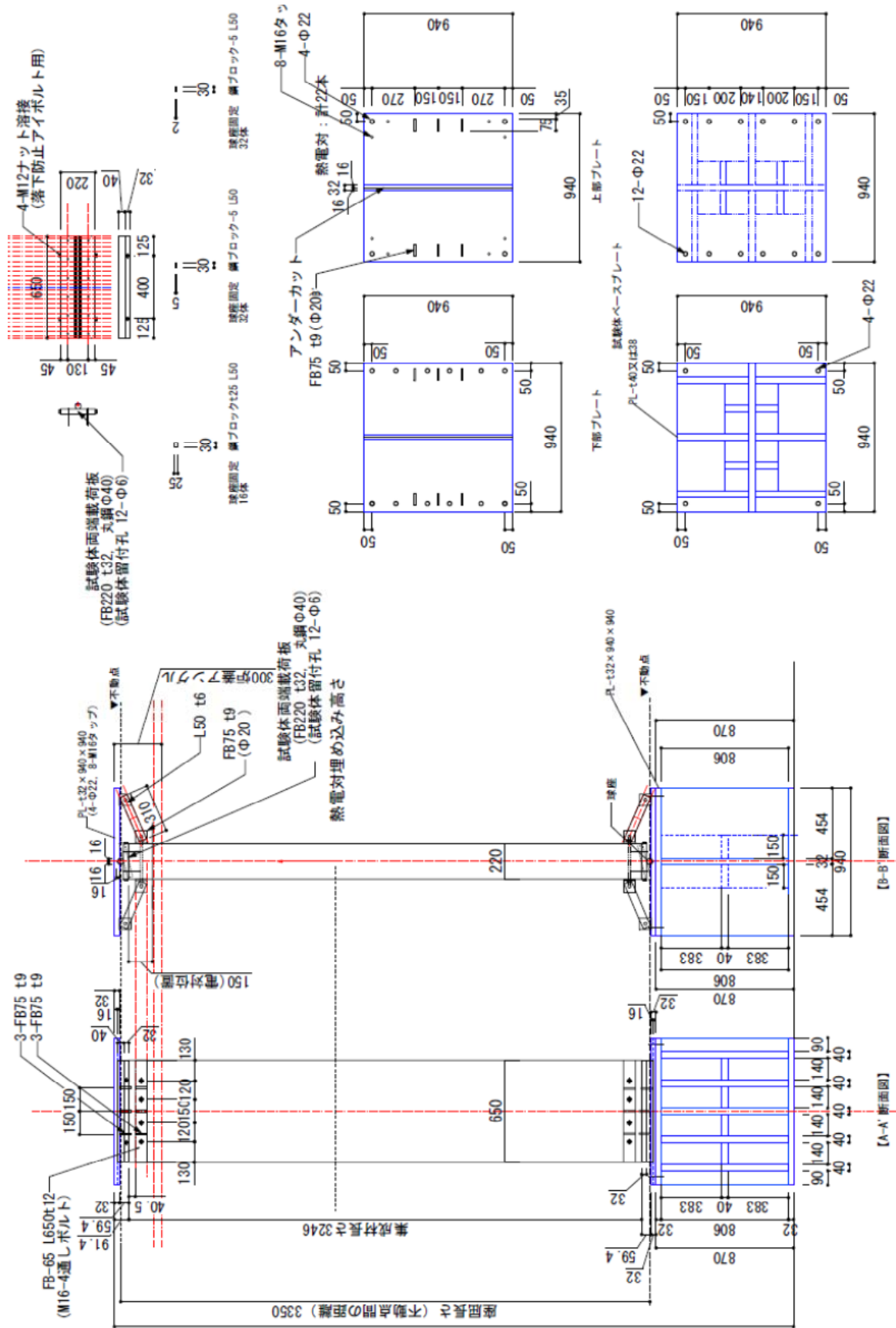


図 4.7.3-26 柱試験体 (両端ピン支持)



写真 4.7.3-2 柱試験体（両端ピン支持）加熱前・加熱中・加熱後の様子



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

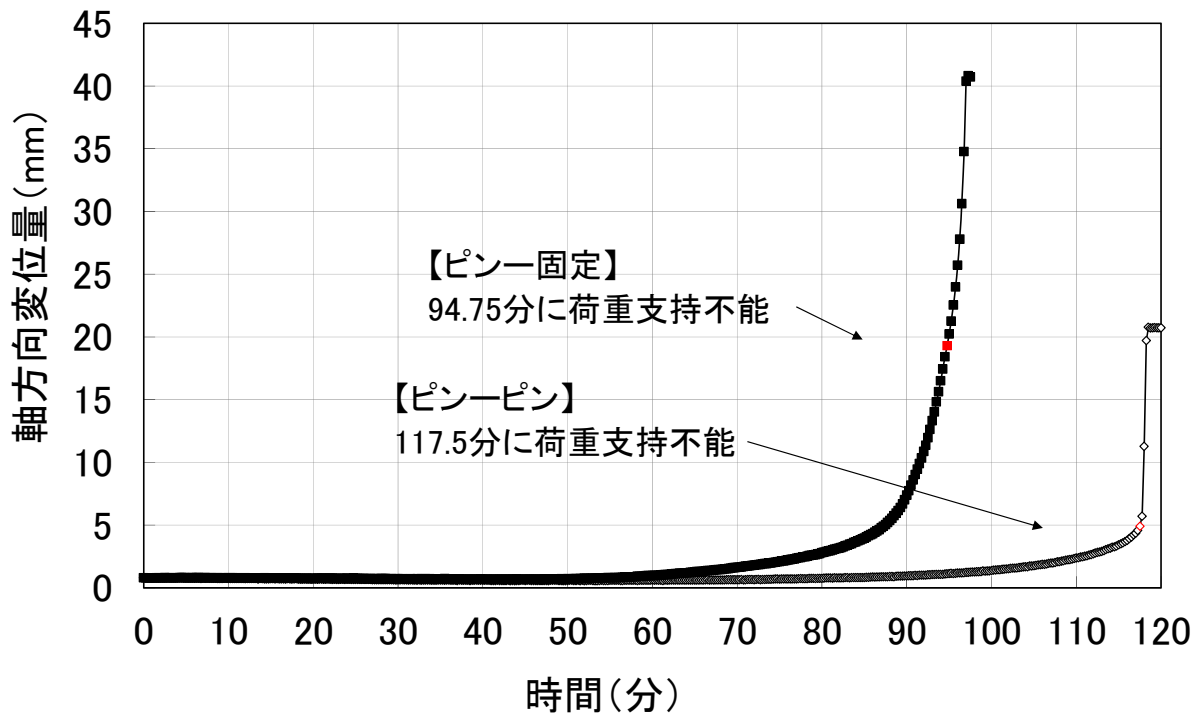


図 4.7.3-28 柱試験体（両端ピン支持）軸方向収縮量

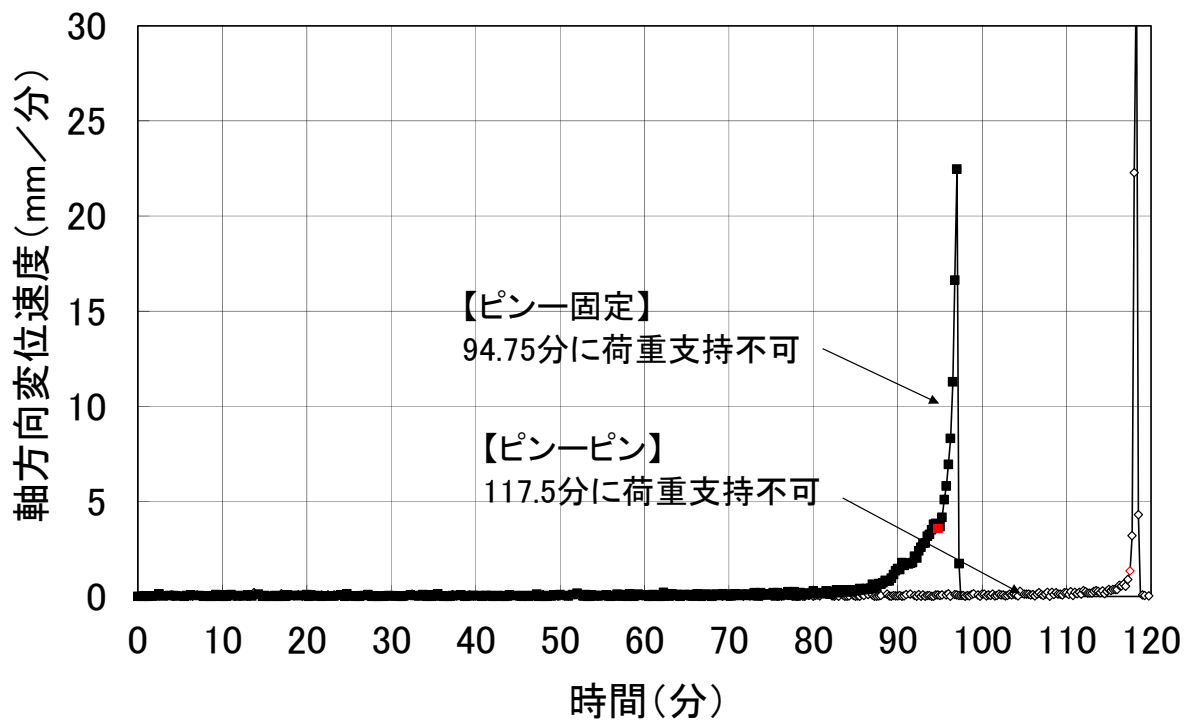


図 4.7.3-29 柱試験体（両端ピン支持）軸方向収縮速度

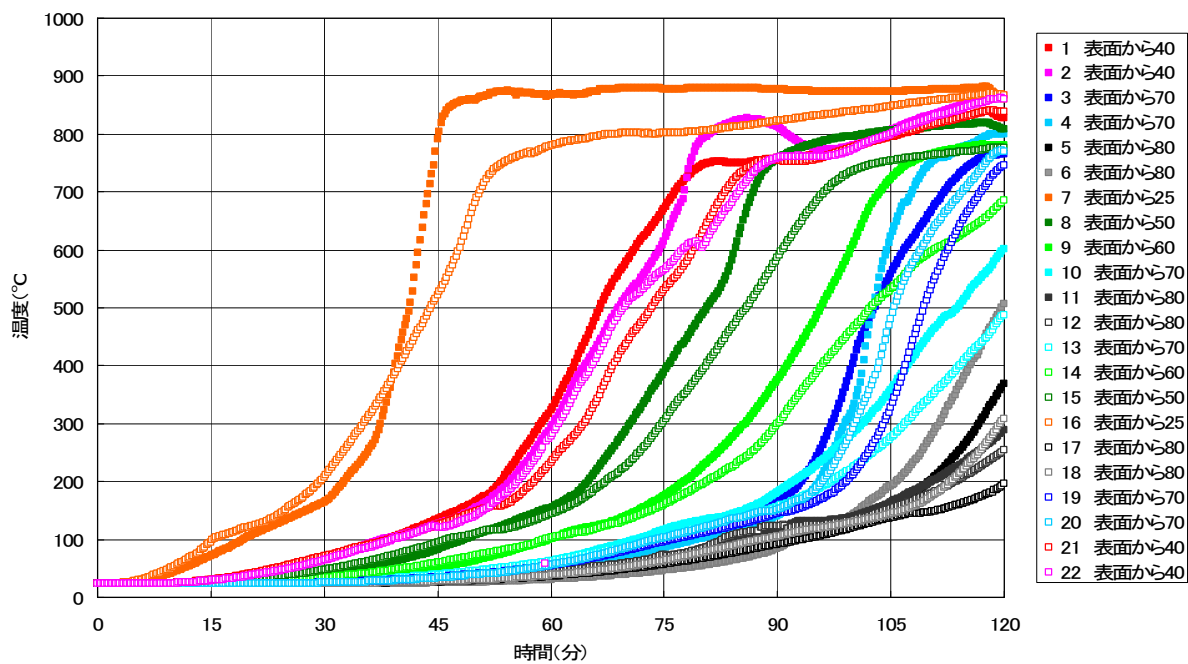


図 4.7.3-30 柱試験体（両端ピン固定支持）内部温度

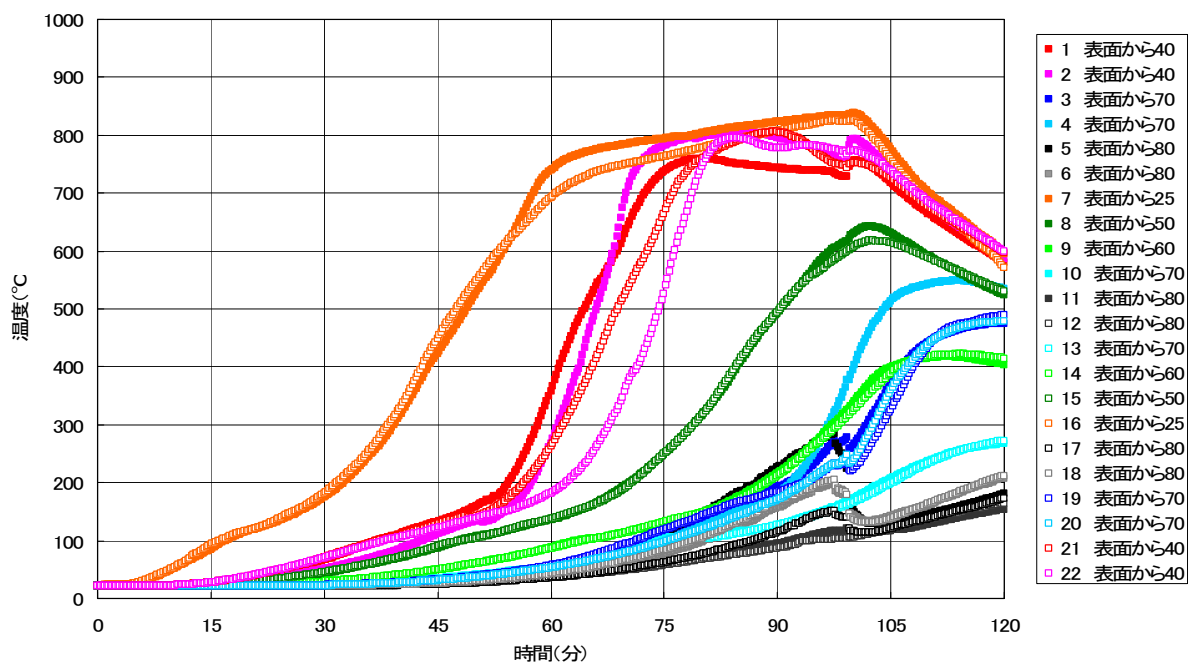


図 4.7.3-31 柱試験体（柱頭ピン・柱脚固定支持）内部温度

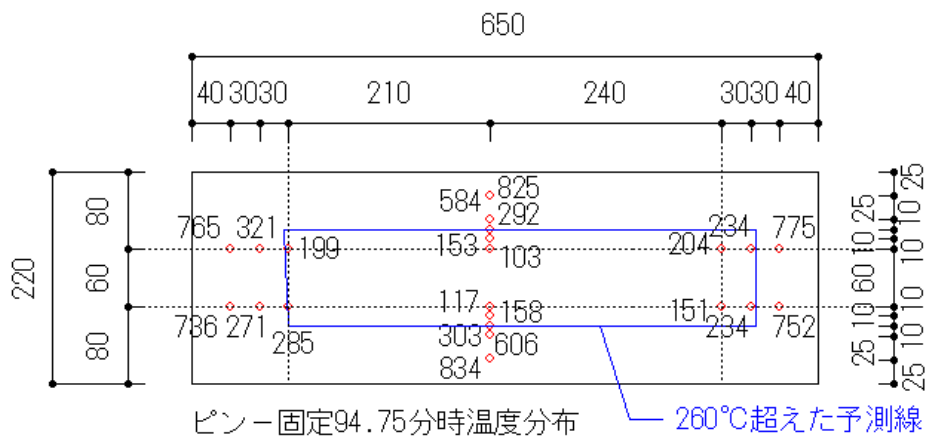
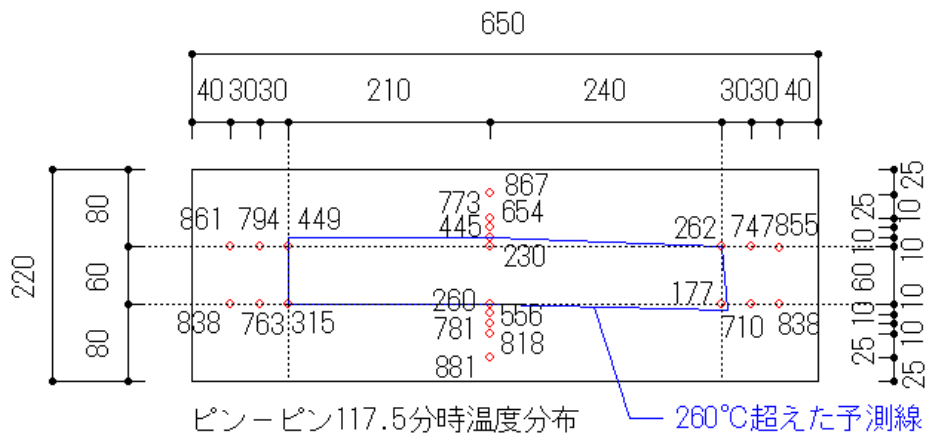


図 4.7.3-32 各破壊時間における断面内温度と炭化深さの予測図

2) 床

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

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

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

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

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

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

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

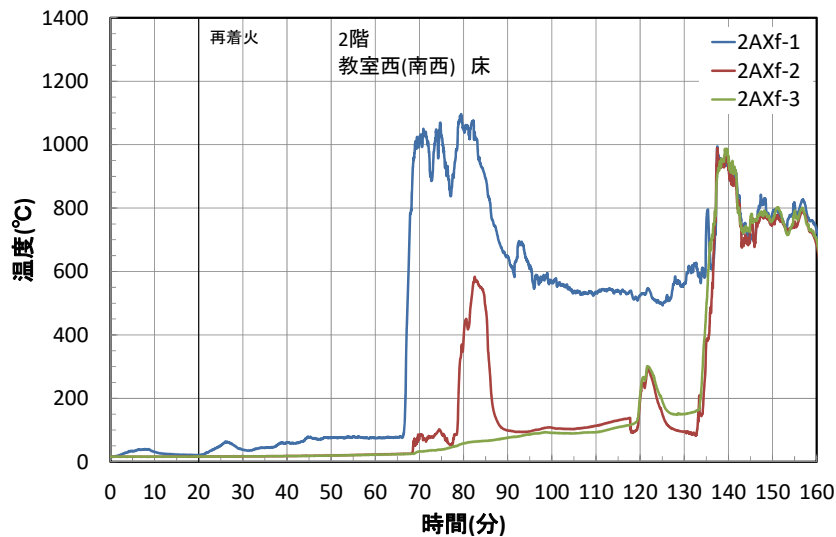


図 4.7.3-33 2階普通教室(西)南西の床温度

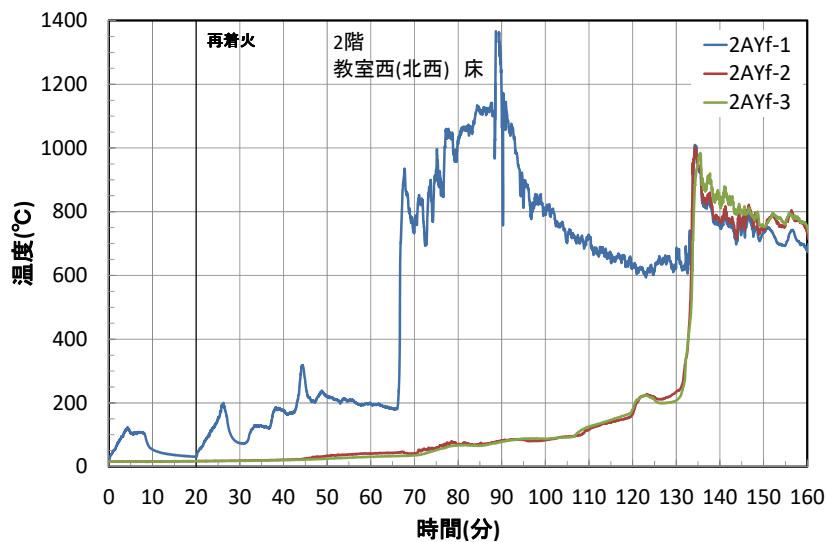


図 4.7.3-34 2階普通教室(西)北西の床温度

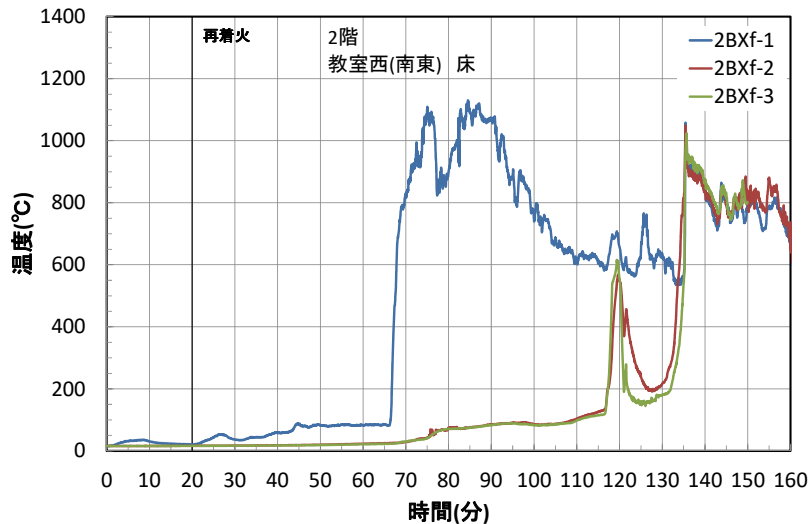


図 4.7.3-35 2階普通教室(西)南東の床温度

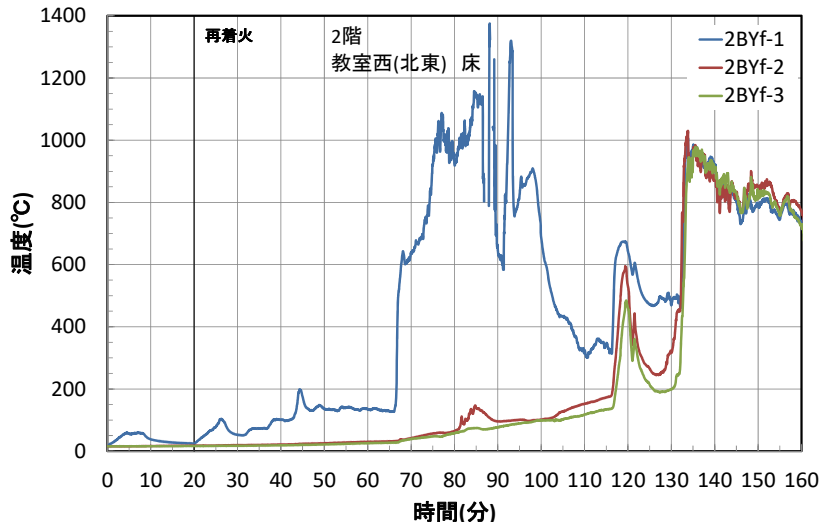


図 4.7.3-36 2階普通教室(西)北東の床温度

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

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

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

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

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

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

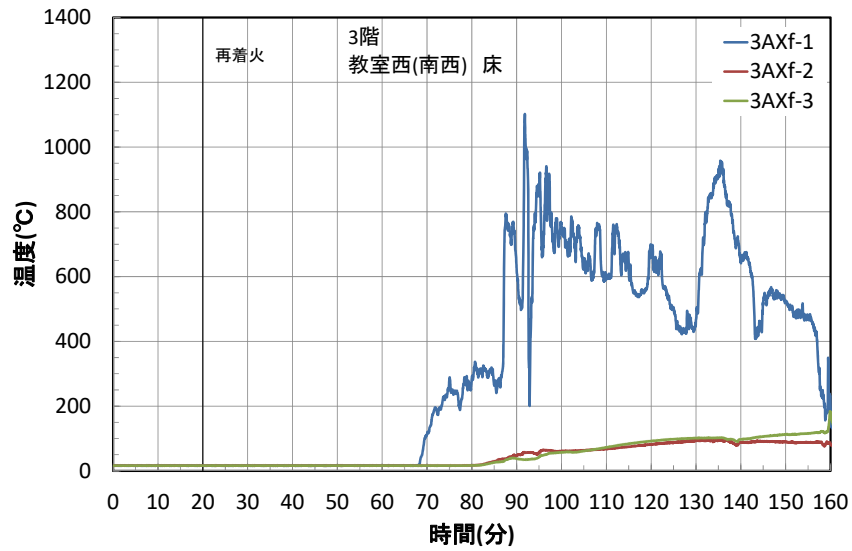


図 4.7.3-37 3階普通教室(西)南西の床温度

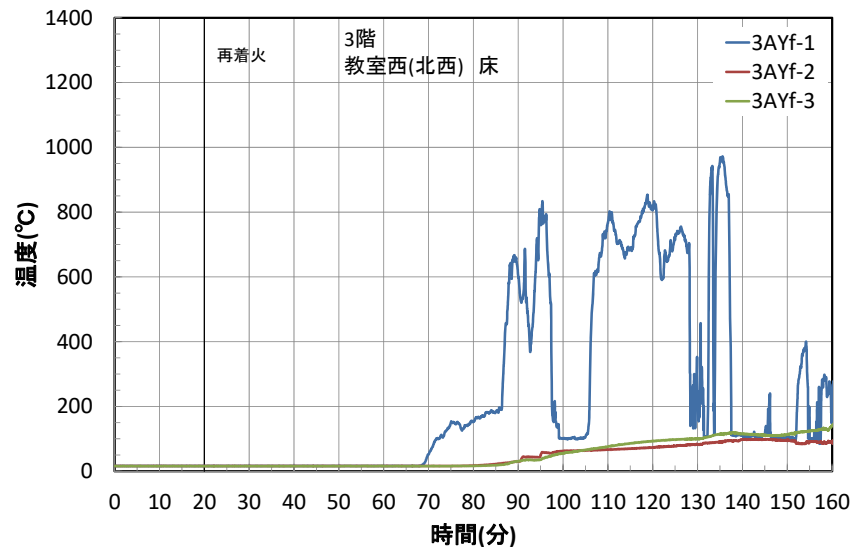


図 4.7.3-38 3階普通教室(西)北西の床温度

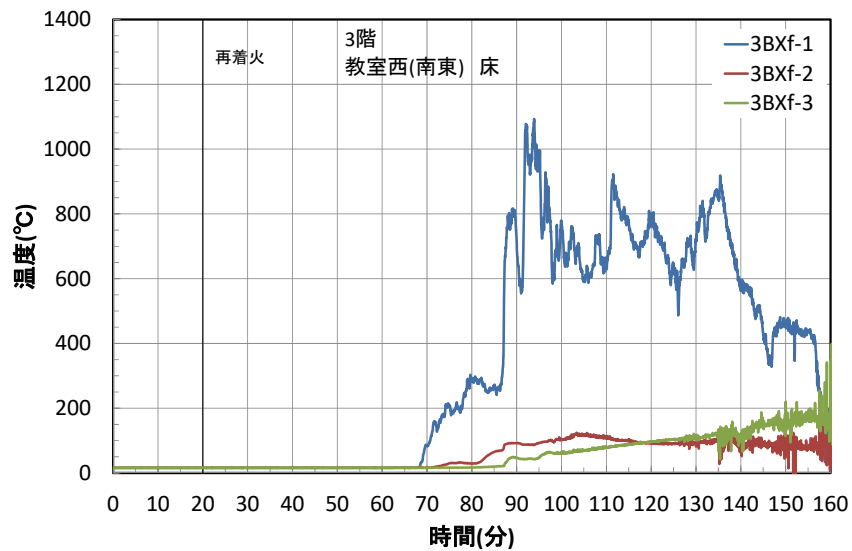


図 4.7.3-39 3階普通教室(西)南東の床温度

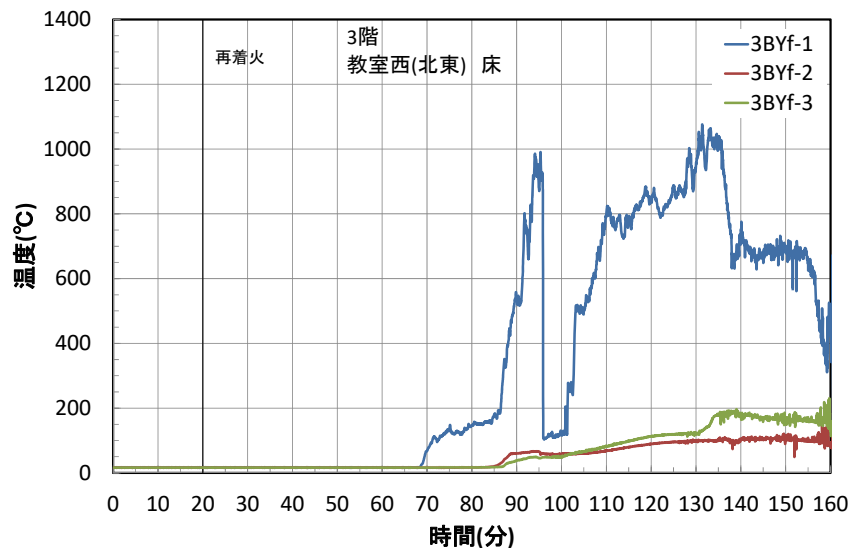


図 4.7.3-40 3階普通教室(西)北東の床温度

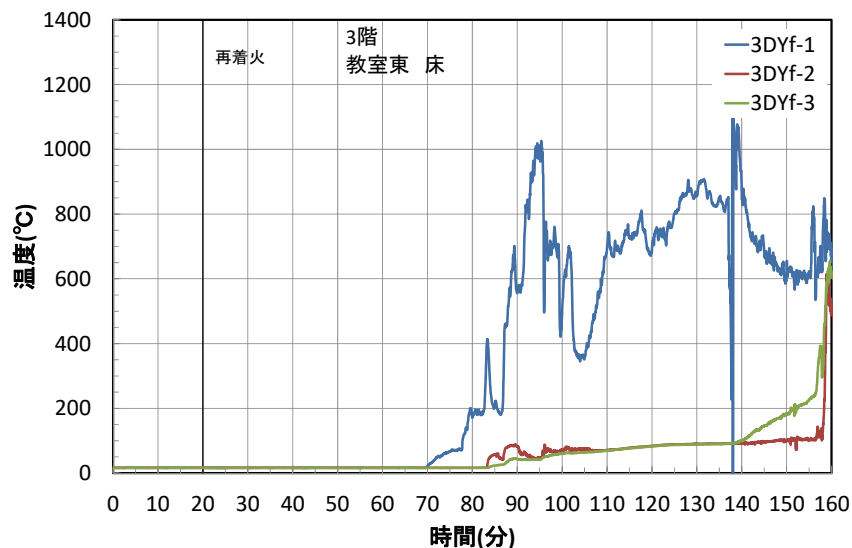


図 4.7.3-41 3階普通教室(東)の床温度

3) 腰壁

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

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

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

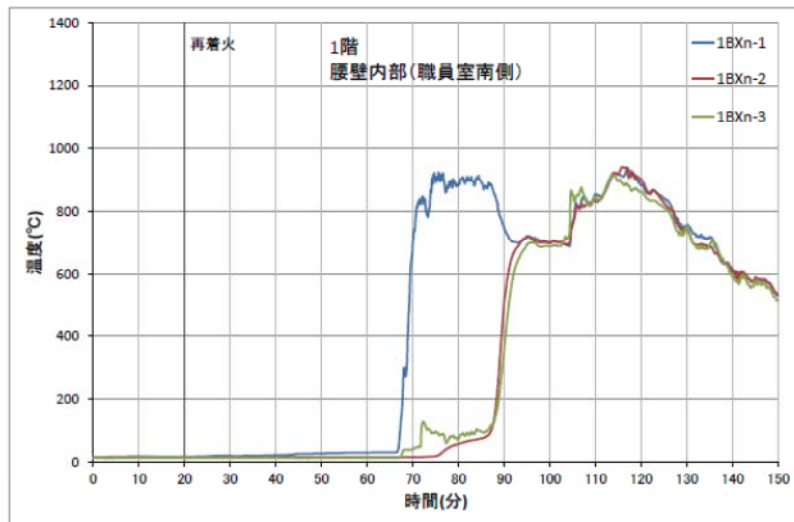


図 4.7.3-42 1階腰壁内部温度

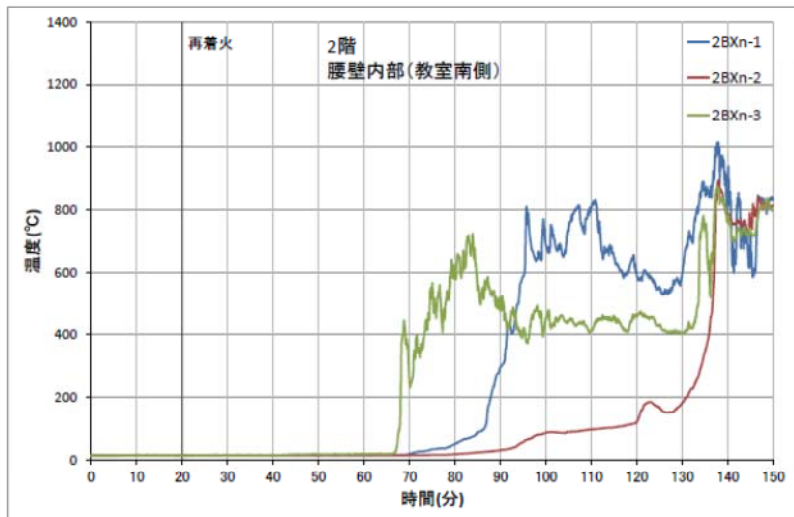


図 4.7.3-43 2階腰壁内部温度

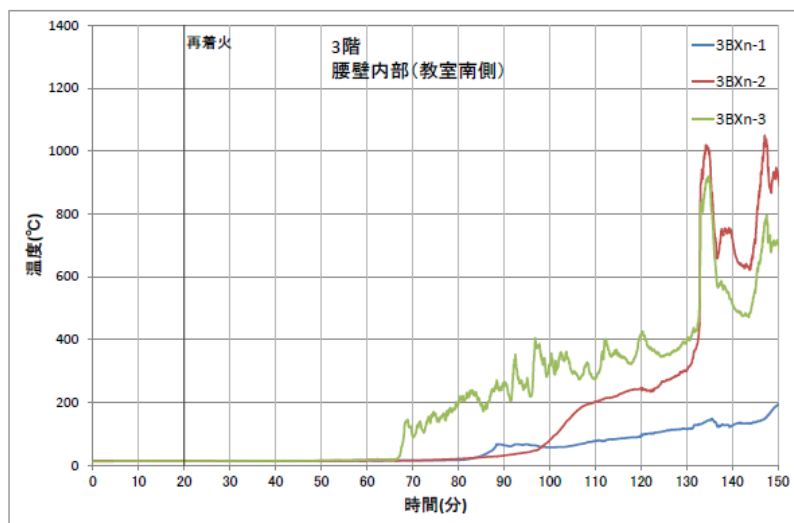


図 4.7.3-44 3階腰壁内部温度

4) 防火区画壁

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

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

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

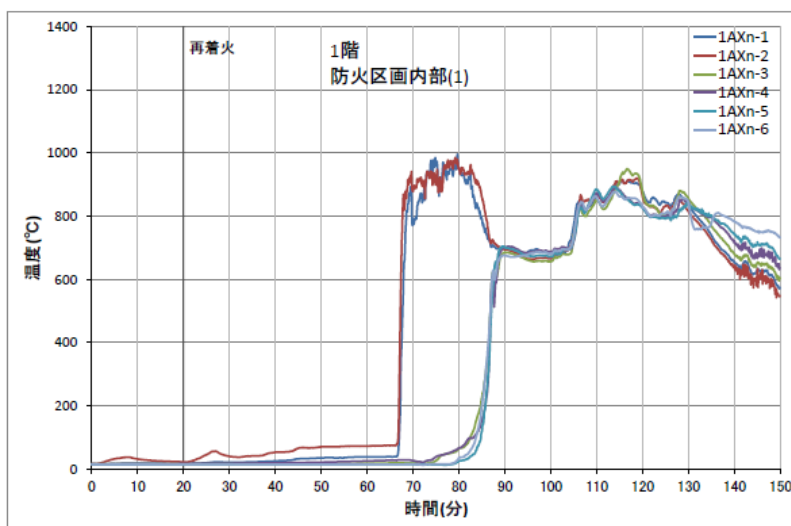


図 4.7.3-45 1階防火区画壁(南)内部温度

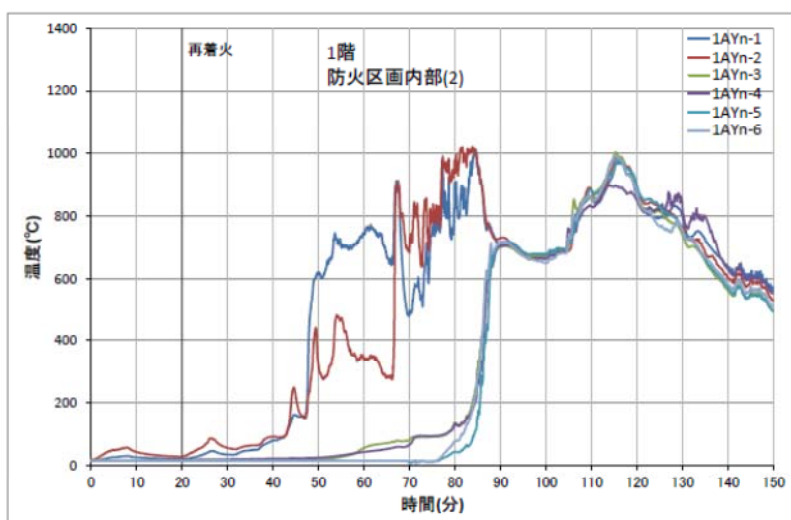


図 4.7.3-46 1階防火区画壁(北)内部温度

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

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

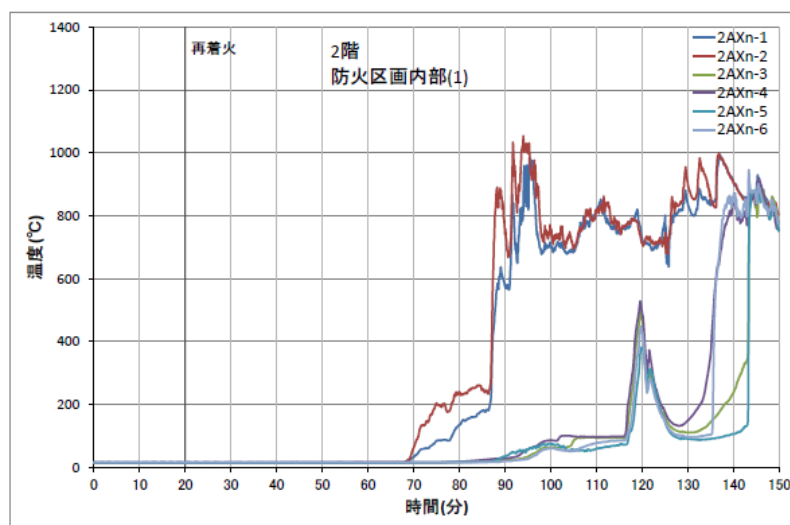


図 4.7.3-47 2階防火区画壁(南)内部温度

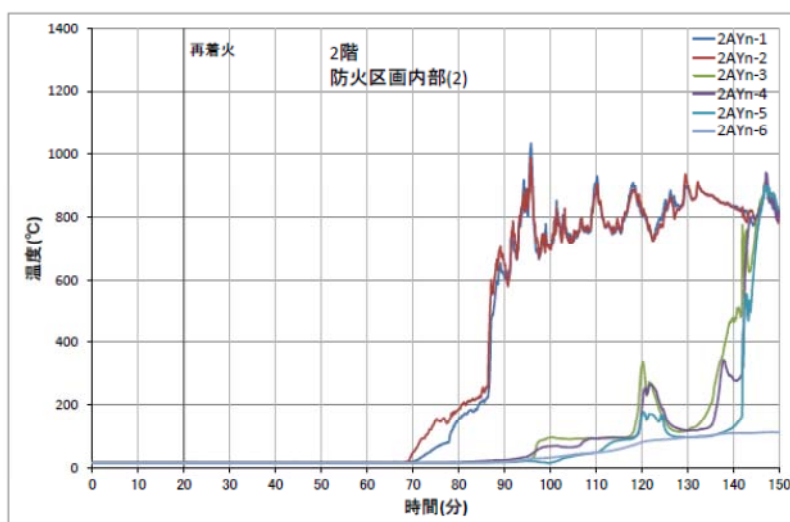


図 4.7.3-48 2階防火区画壁(北)内部温度

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

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

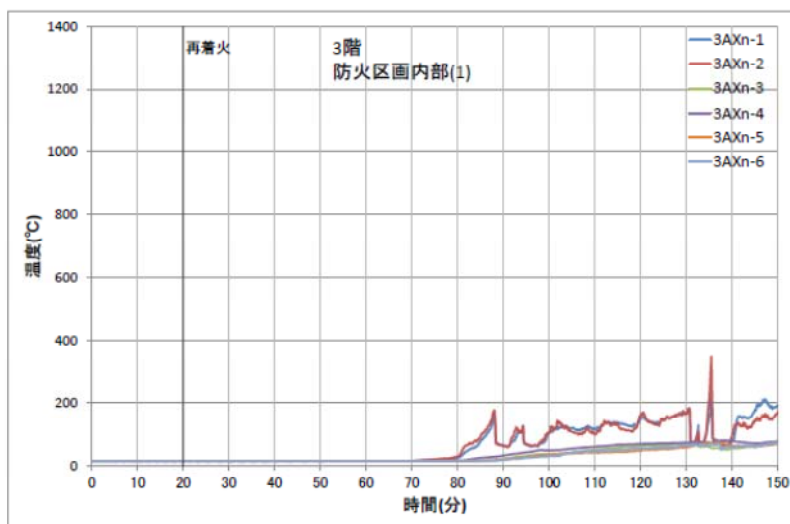


図 4.7.3-49 3階防火区画壁(南)内部温度

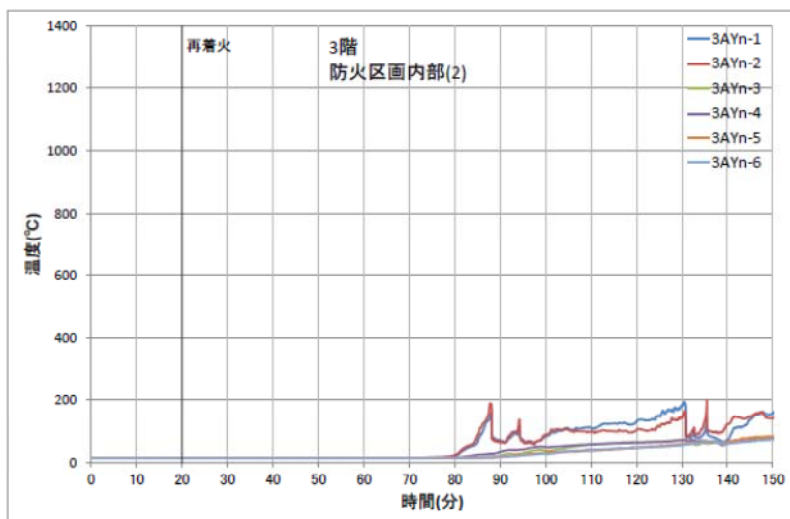


図 4.7.3-50 3階防火区画壁(北)内部温度

5) 外壁

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

部へ延焼した。

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

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

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

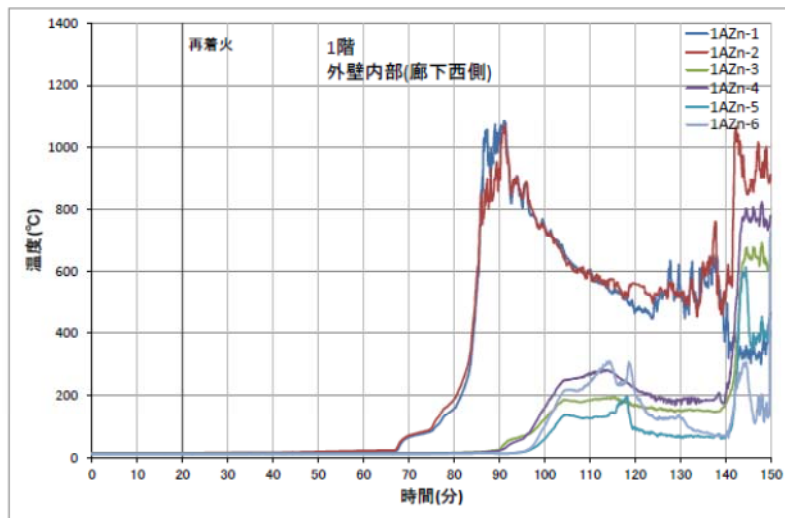


図 4.7.3-51 1階外壁温度

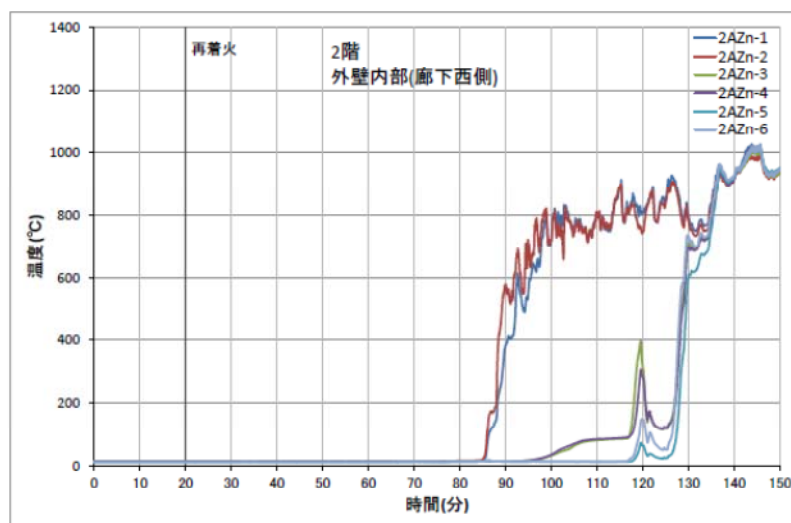


図 4.7.3-52 2階外壁温度

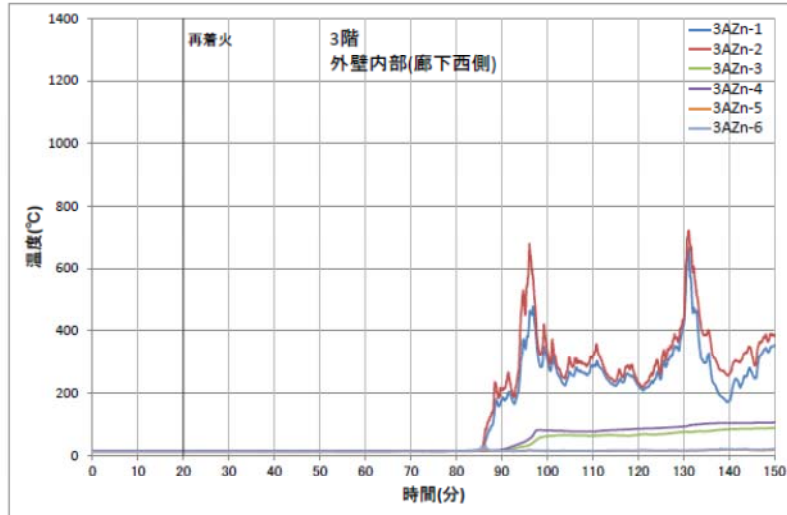


図 4.7.3-53 3階外壁温度

6) 屋根

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

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

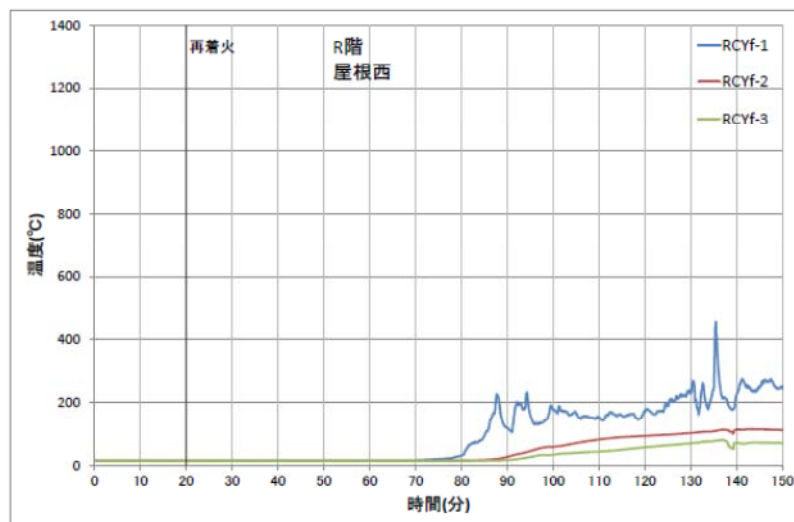


図 4.7.3-54 屋根(西)温度

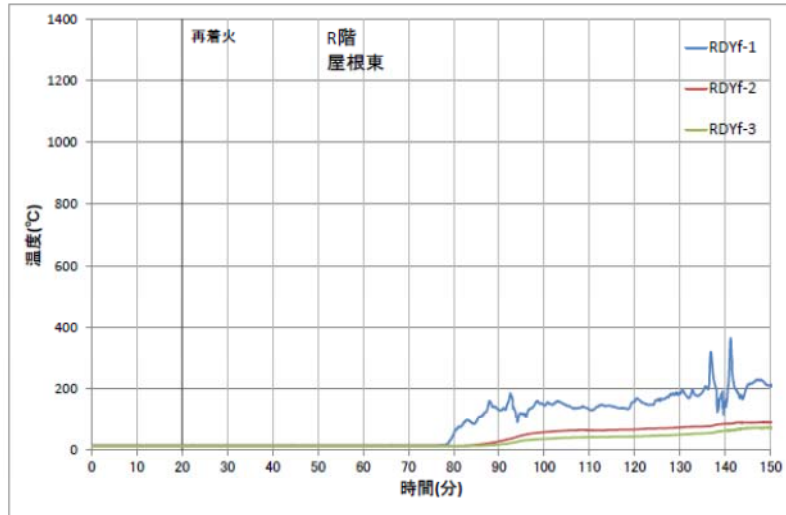


図 4.7.3-55 屋根(東)温度

7) 防火壁

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

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

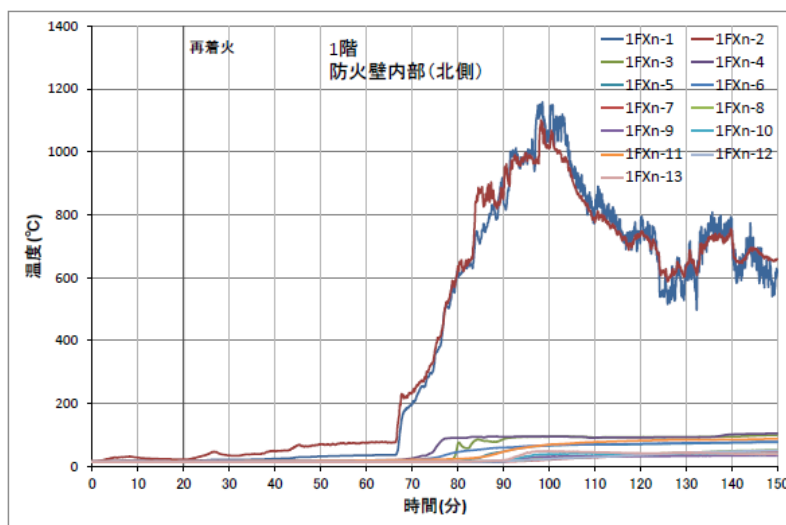


図 4.7.3-56 1階防火壁(南)内部温度

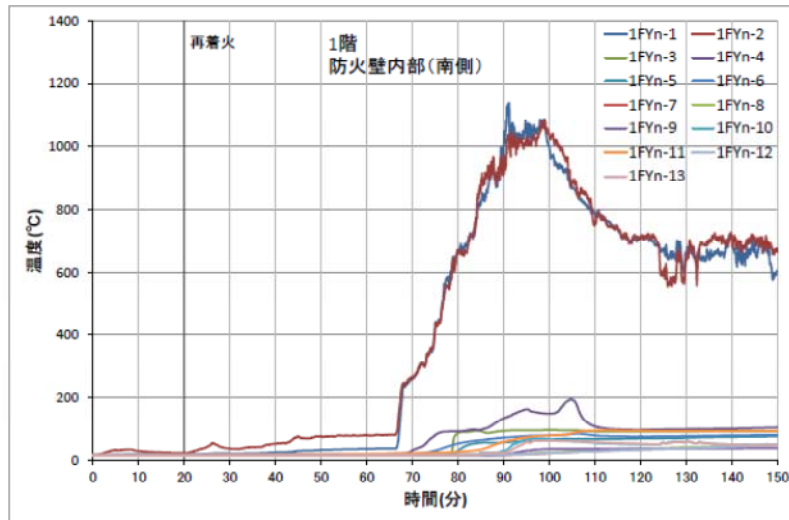


図 4.7.3-57 1階防火壁(北)内部温度

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

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

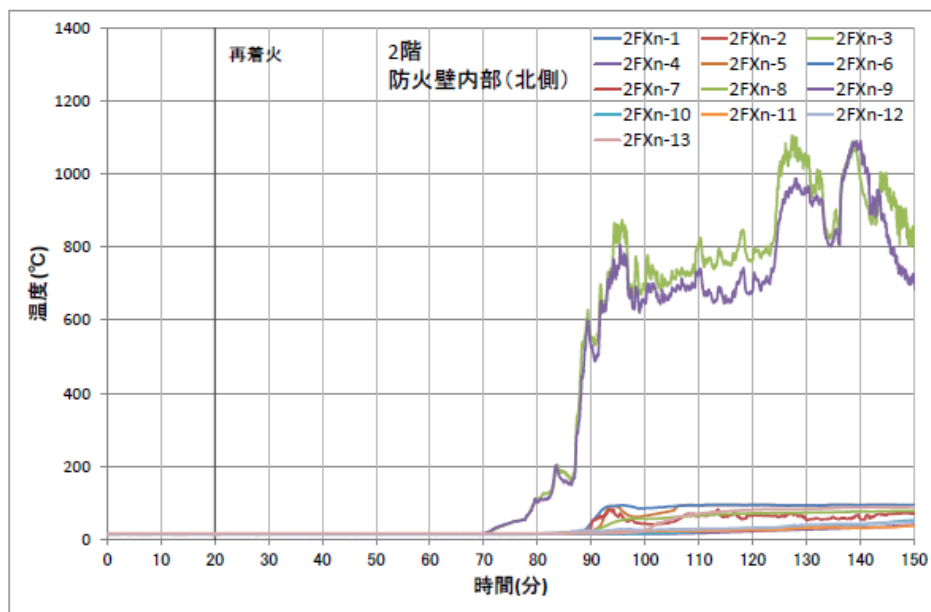


図 4.7.3-58 2階防火壁(南)内部温度

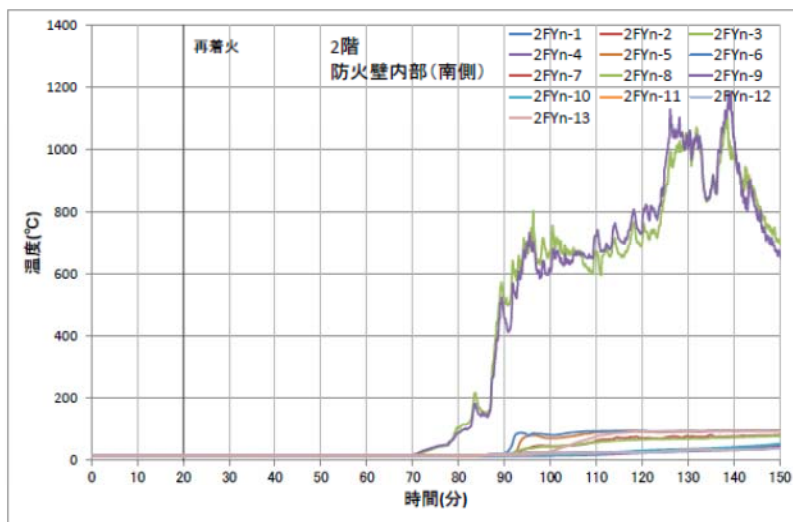


図 4.7.3-59 2階防火壁(北)内部温度

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

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

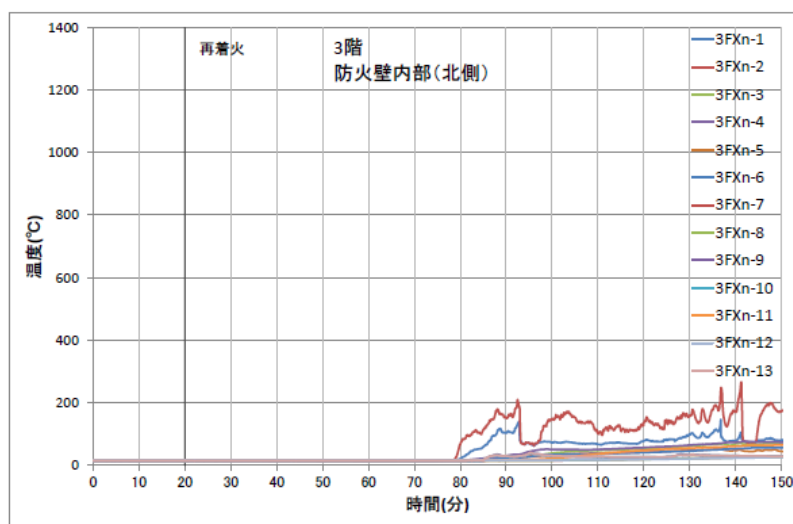


図 4.7.3-60 3階防火壁(南)内部温度

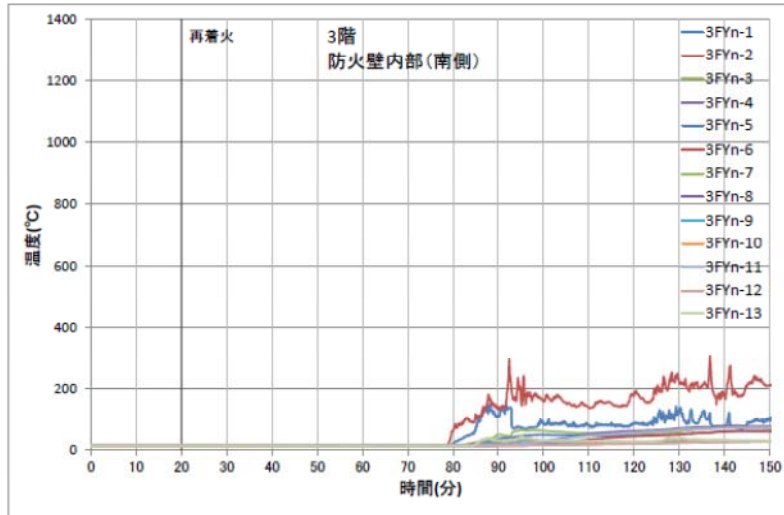


図 4.7.3-61 3階防火壁(北)内部温度

8) 防火戸

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

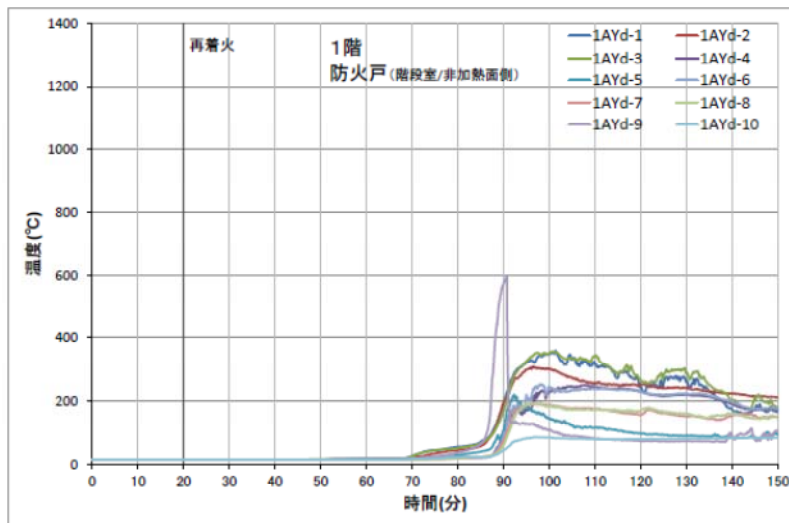


図 4.7.3-62 1階防火戸温度（階段室/非加熱面側）

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

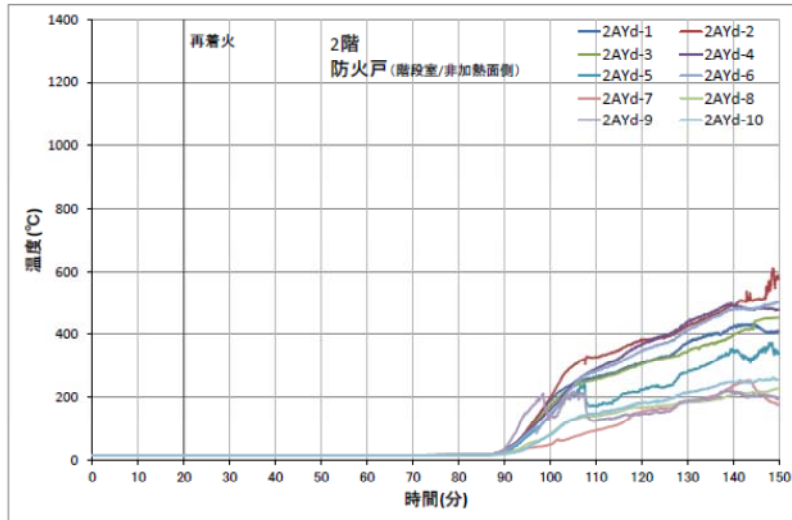


図 4.7.3-63 2階防火戸温度（階段室/非加熱面側）

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

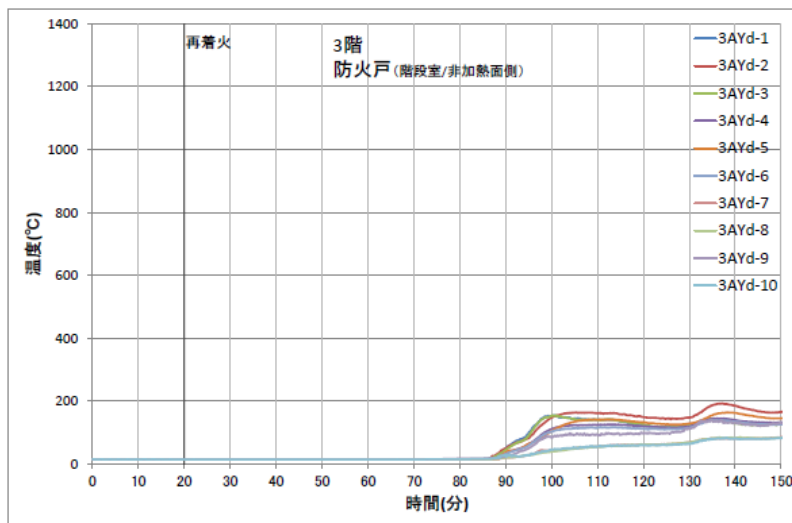


図 4.7.3-64 3階防火戸温度（階段室/非加熱面側）

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

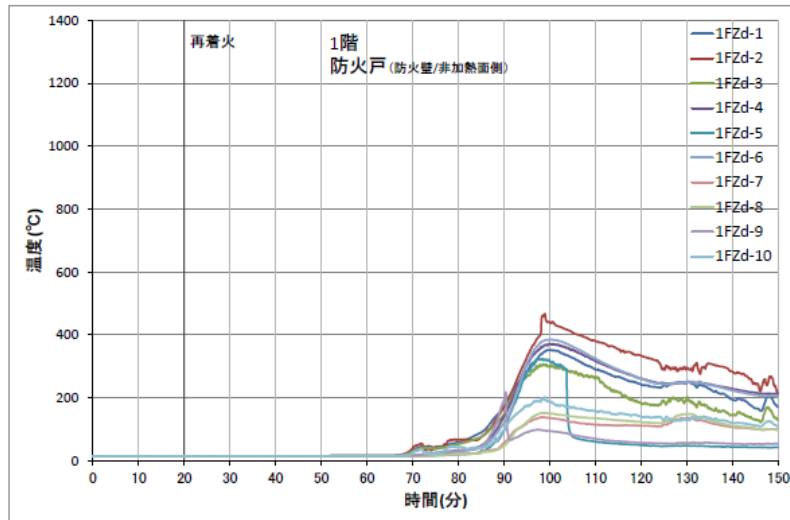


図 4.7.3-65 1階防火戸温度（防火壁/非加熱面側）

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

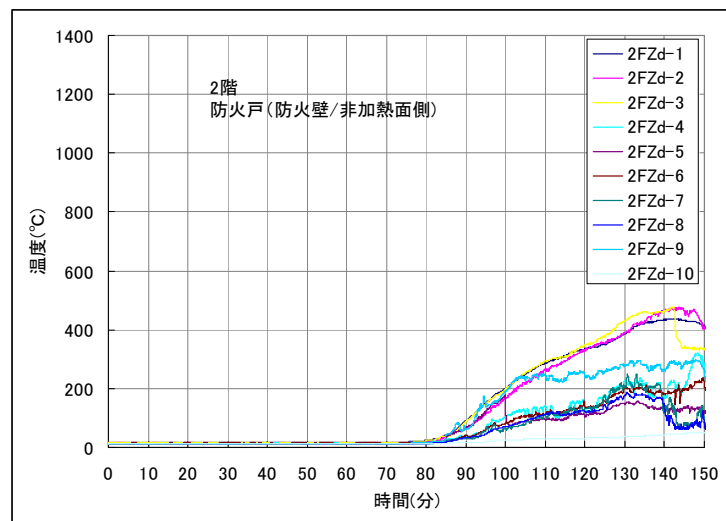


図 4.7.3-66 2階防火戸温度（防火壁/非加熱面側）

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

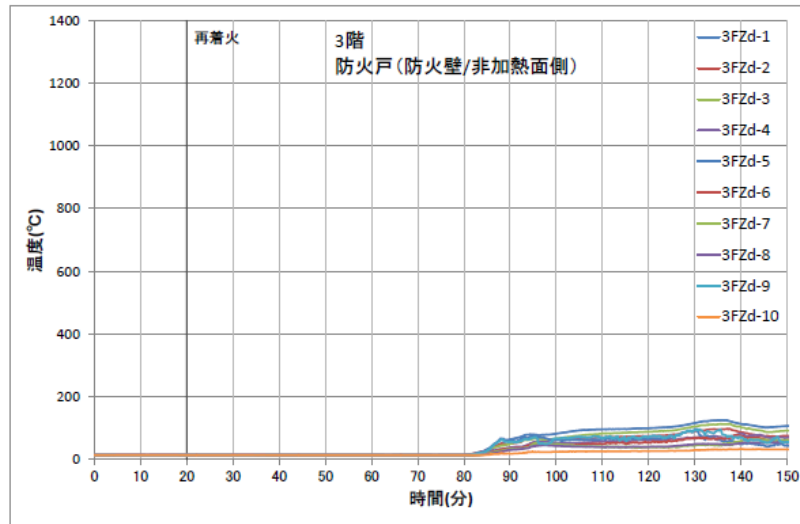


図 4.7.3-67 3階防火戸温度（防火壁/非加熱面側）

9) まとめ

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

- ・柱の炭化速度は火災初期には 1.3mm/分であったが、徐々に遅くなり、139分(119分)に熱電対が断線する直前には平均 0.53mm/分になった。
- ・2階普通教室(西)床は 131分(111分)、2階普通教室(東)床は 137分(117分)で天井内部へ延焼した。
- ・3階普通教室床内部へは延焼しなかった。
- ・屋根内部へは延焼しなかった。
- ・1階南側外壁腰壁は 90分(70分)、2階南側外壁腰壁は 137分(117分)、3階南側外壁腰壁は 132分(112分)に内部に延焼した。
- ・1階外壁は 140分(120分)、2階外壁は 130分(110分)に外壁内部へ延焼したが、燃えぬけはなかった。3階外壁内部への延焼および燃えぬけはなかった。
- ・1階職員室と階段室間の防火区画壁は 87分(67分)で合板表面が 450°Cとなるが、壁裏面への燃えぬけはなかった。2階普通教室(西)と階段室間の防火区画壁は 120分(100分)で合板表面が 450°Cとなるが、壁裏面への燃えぬけはなかった。3階普通教室(西)と階段室間の防火区画壁は壁内部への延焼および裏面への燃えぬけはなかった。
- ・防火壁は 1階強化せっこうボード裏で最大 194°C、2、3階含め下張り強化せっこうボードより内部は全て 100°C以下で、内部および裏面への延焼および燃えぬけはなかった。
- ・防火戸の燃えぬけはなかった。

4. 7. 4 熱流束

(1) 各室内の熱流束

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

1) 職員室(出火室)

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

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

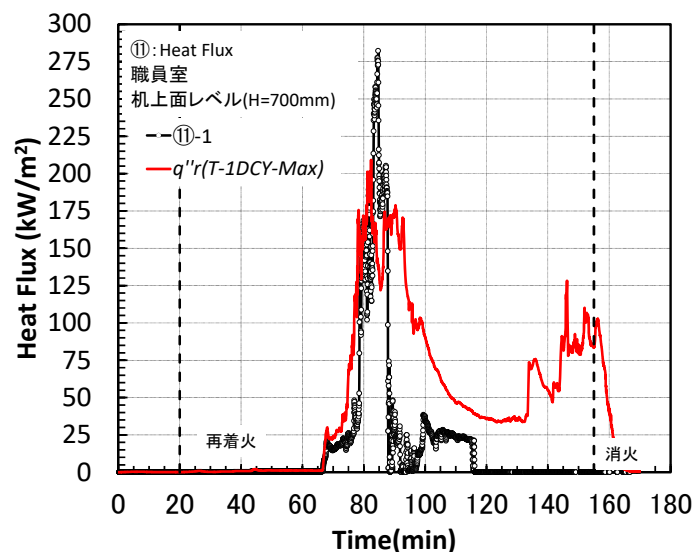


図 4.7.4-1 職員室内の机天板レベルへの入射熱流束

2) 2階普通教室、3階普通教室、オープンスペース

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

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

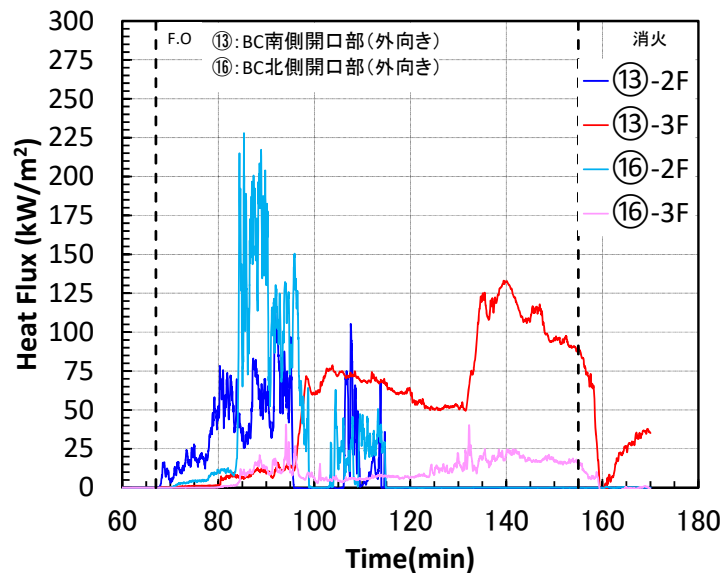


図 4.7.4-2 BC ゾーン開口部の熱流束

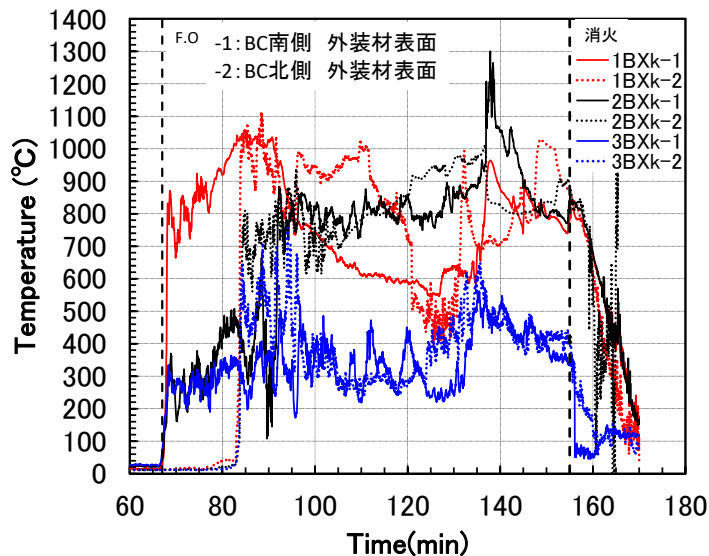


図 4.7.4-3 BC ゾーン 外壁表面の温度

3) 階段室(Aゾーン、熱流束計⑫)

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

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

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

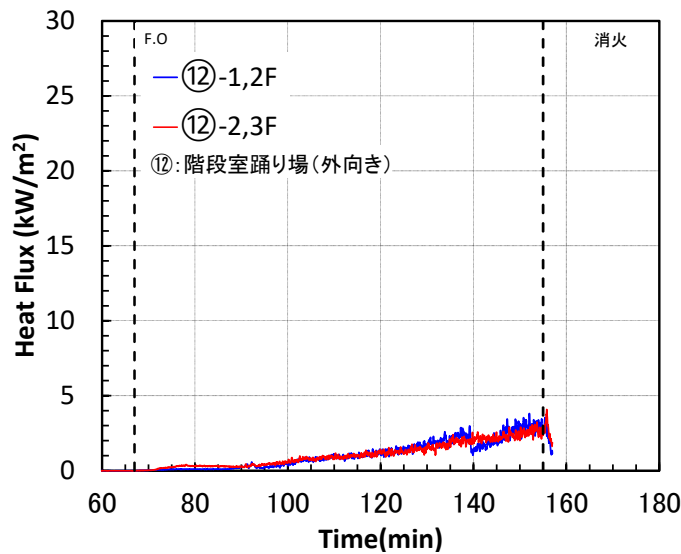


図 4.7.4-4 Aゾーン開口部の熱流束(階段室)

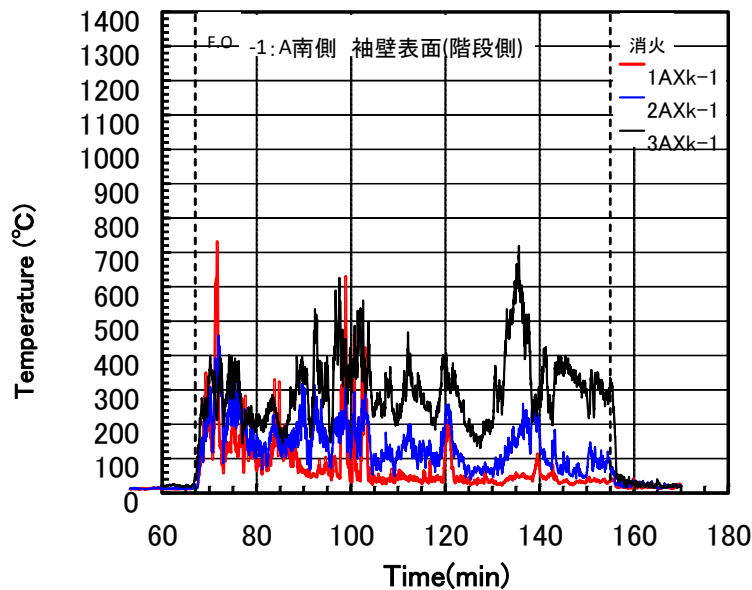


図 4.7.4-5 Aゾーン 袖壁表面近傍の温度(階段室)

4) 防火壁により区画された部分(Fゾーン、熱流束計⑭、⑮)

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

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

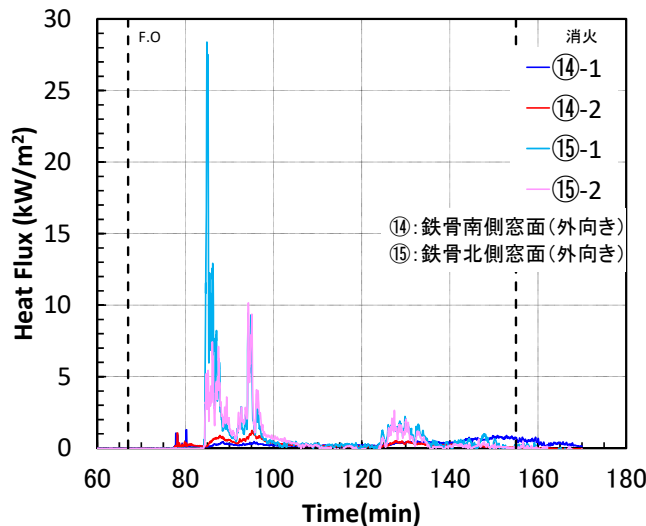


図 4.7.4-6 Fゾーン開口部の熱流束(鉄骨側)

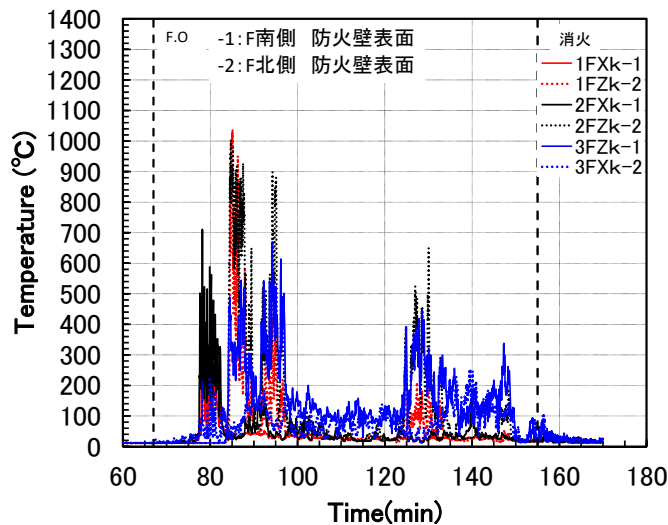


図 4.7.4-7 Fゾーン 防火壁表面近傍の温度(鉄骨側)

(2) 建物外部の熱流束

1) Aゾーン (南側)

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

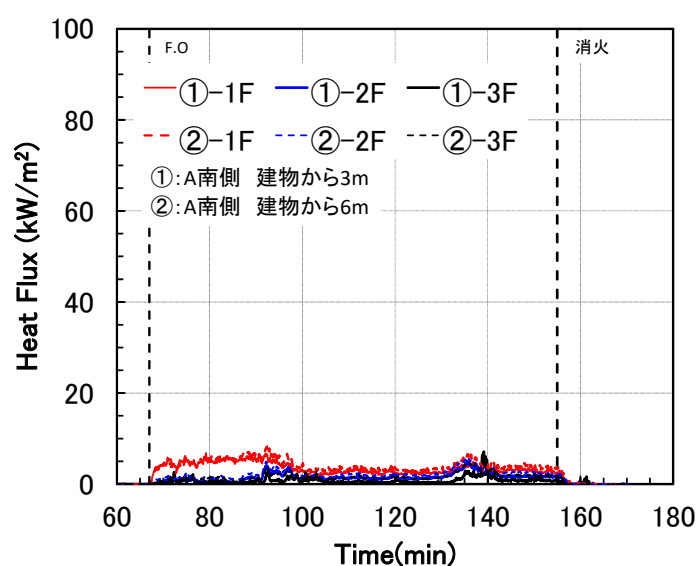


図 4.7.4-8 A ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3, 6\text{m}$)

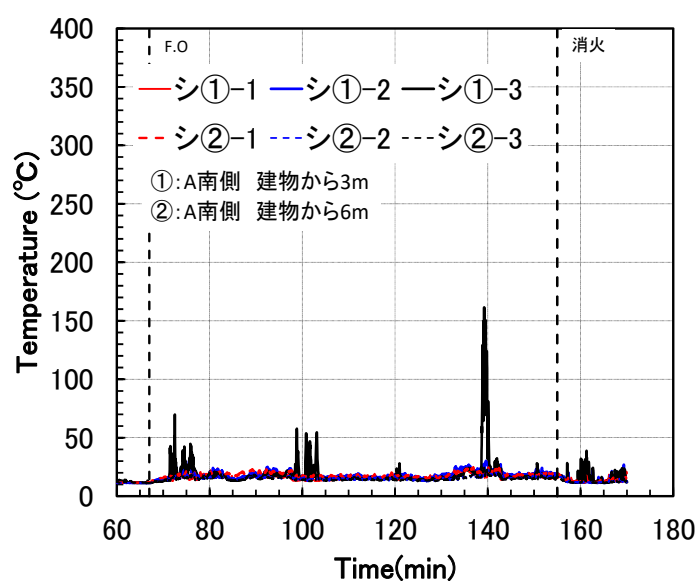


図 4.7.4-9 A ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3, 6\text{m}$)

2) B、Cゾーン（南側）

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

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

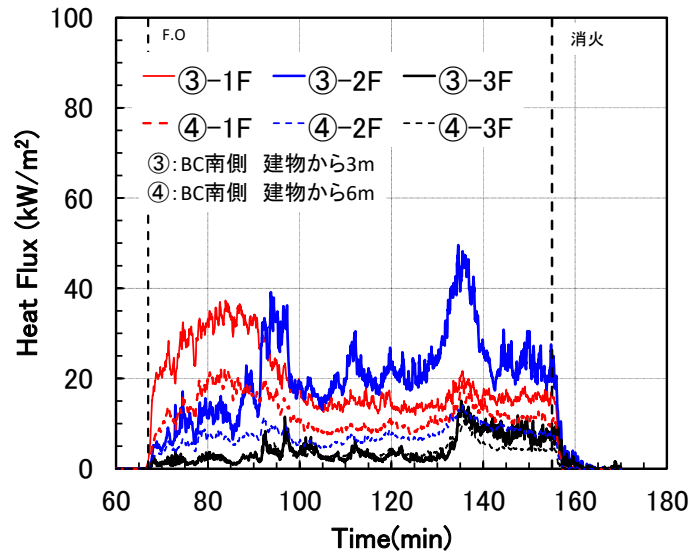


図 4.7.4-10 BC ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3, 6m$)

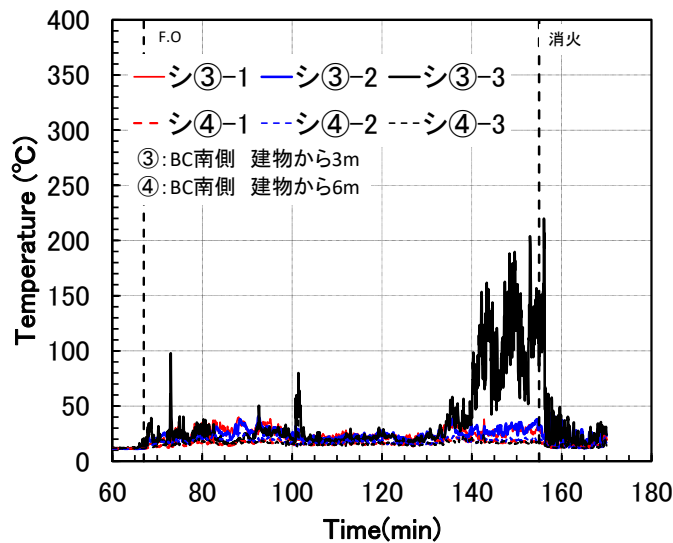


図 4.7.4-11 BC ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3, 6m$)

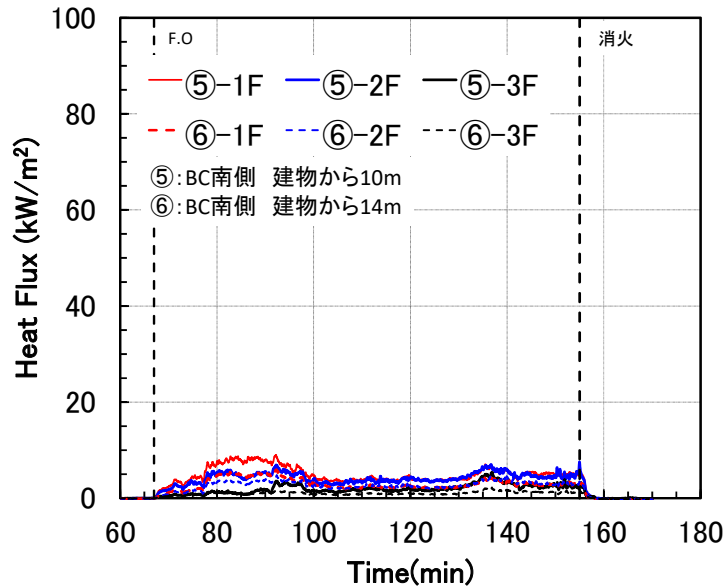


図 4.7.4-12 BC ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=10$ 、 14 m)

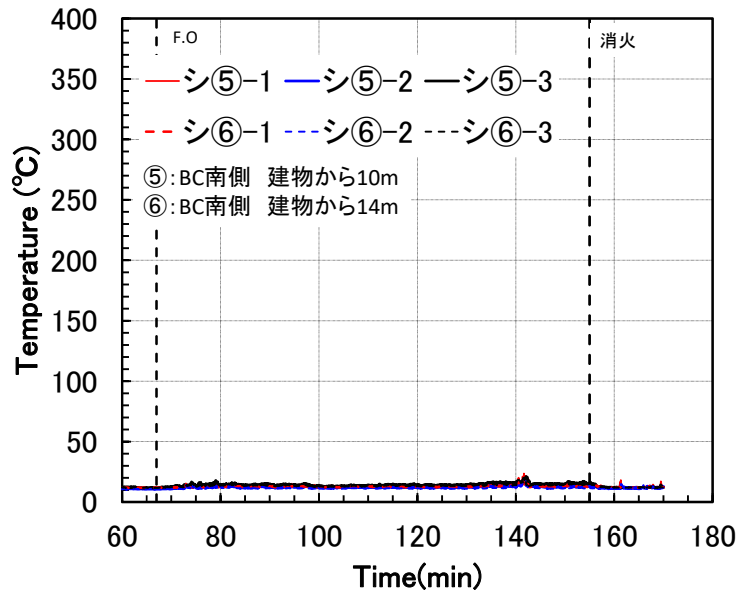


図 4.7.4-13 BC ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=10$ 、 14 m)

3) D、E ソーン (南側)

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

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

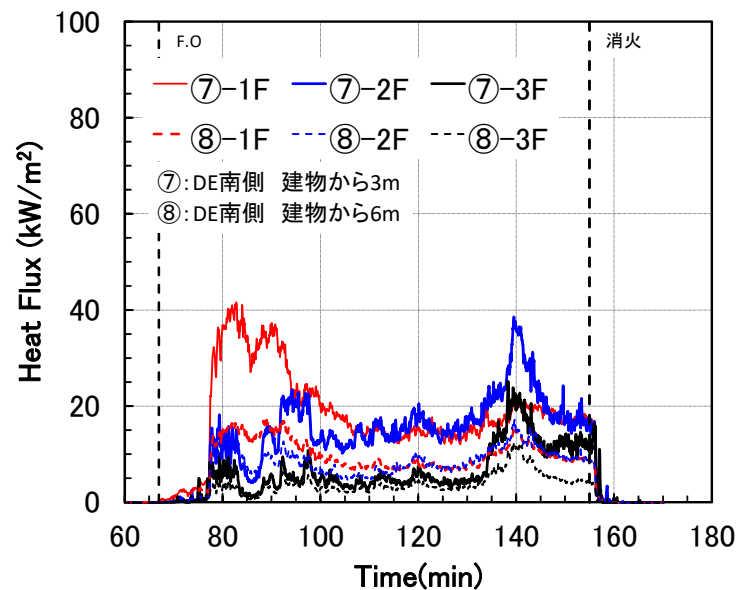


図 4.7.4-14 DE ゾーン南側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

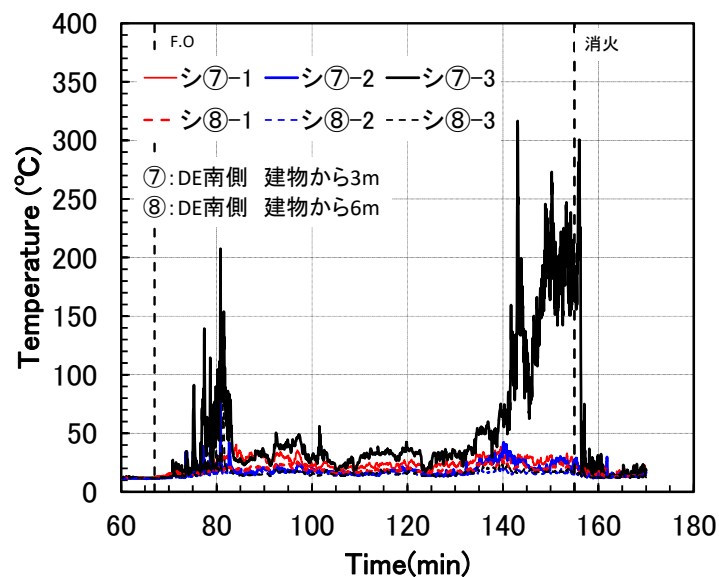


図 4.7.4-15 DE ゾーン南側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

4) B～E ゾーン (北側)

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

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

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

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

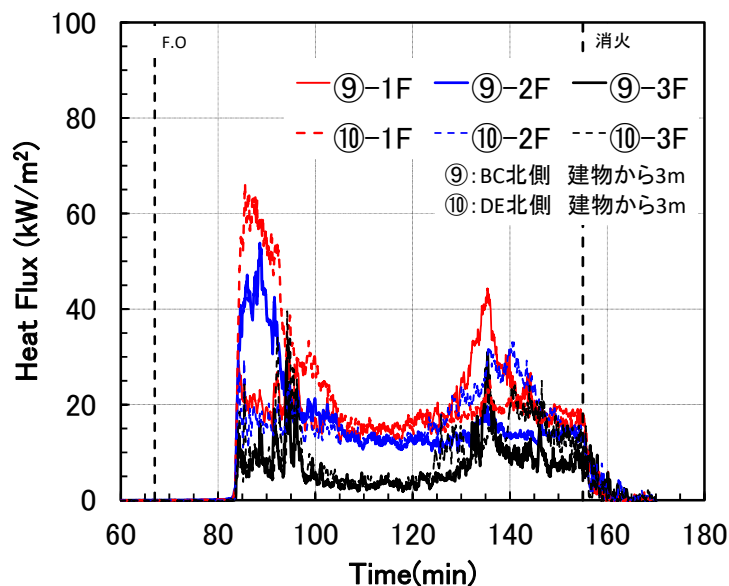


図 4.7.4-16 BC、DE ゾーン北側の熱流束(1～3階、 $L=3$ 、6m)

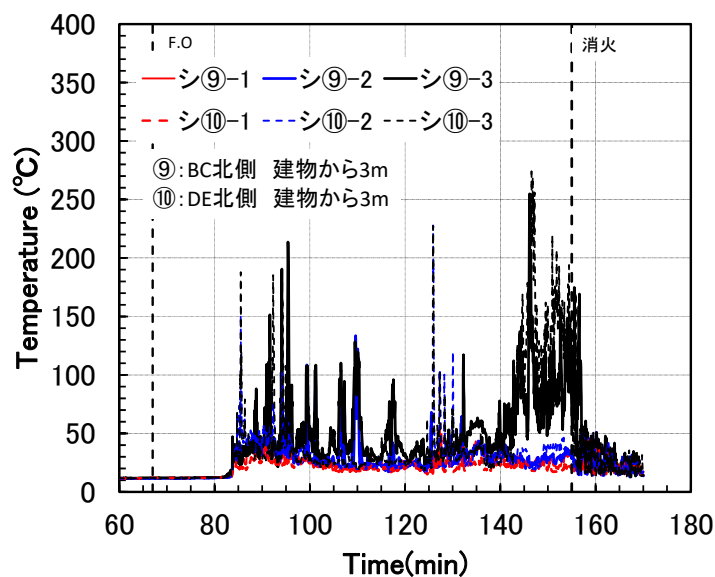
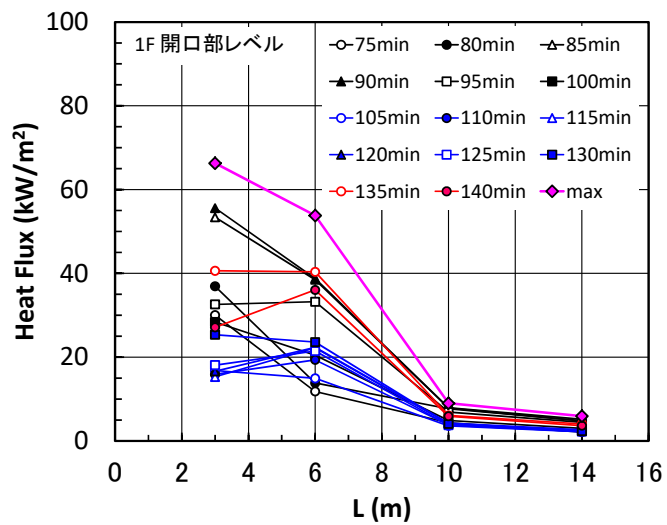


図 4.7.4-17 BC、DE ゾーン北側の温度(1～3階、 $L=3$ 、6m)

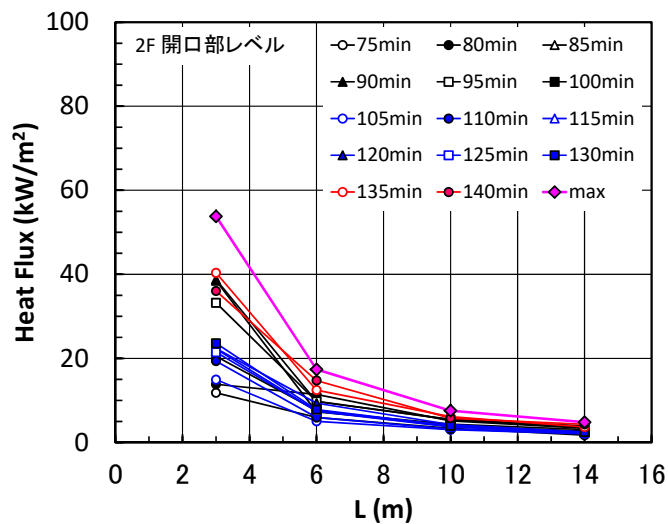
5) 離隔距離 L と入射熱流束

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

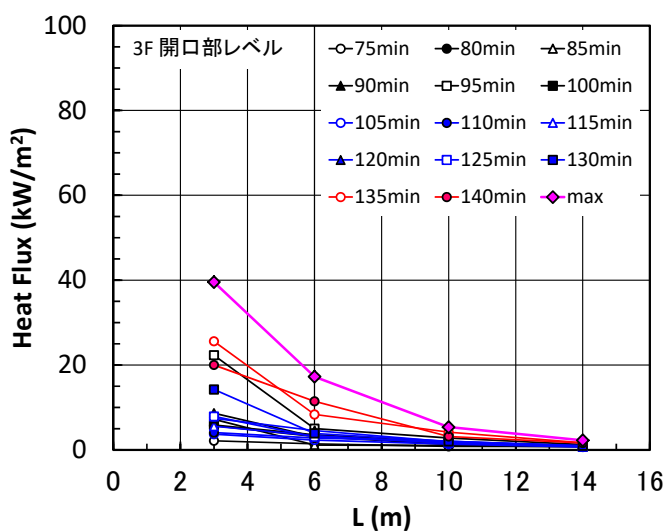
いずれの時間においても $L=3\sim 14\text{m}$ の熱流束は L が大きいほど小さくなるのがわかる。1階開口部レベルがもっとも大きく、離隔距離 3、6、10、14m でそれぞれ、約 66.3、53.7、8.9、5.9 kW/m² となった。



a) 1階開口部レベル



b) 2階開口部レベル



c) 3階開口部レベル

図 4.7.4-18 離隔距離と入射熱流束

4. 7. 5 感知器、スプリンクラーヘッド

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

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

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

表 4.7.5-1 火災感知器およびスプリンクラーヘッド発報時間

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

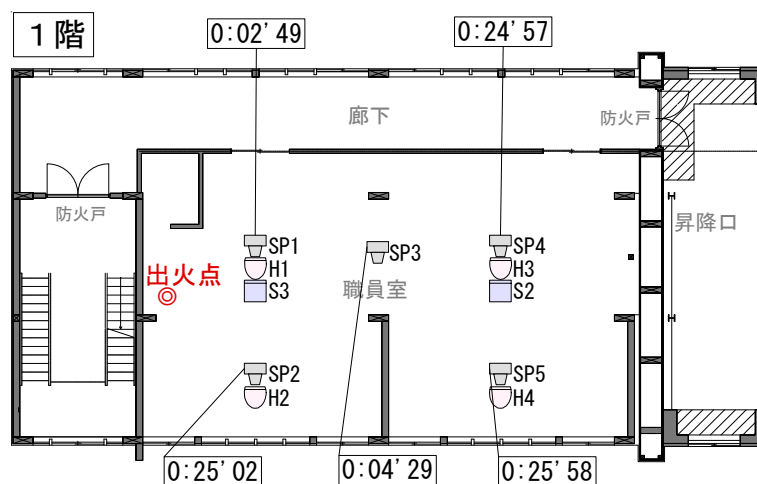


図 4.7.5-2 スプリンクラーヘッド発報時間

スプリンクラー
 差動式スポット感知器(熱感知器)
 煙感知器

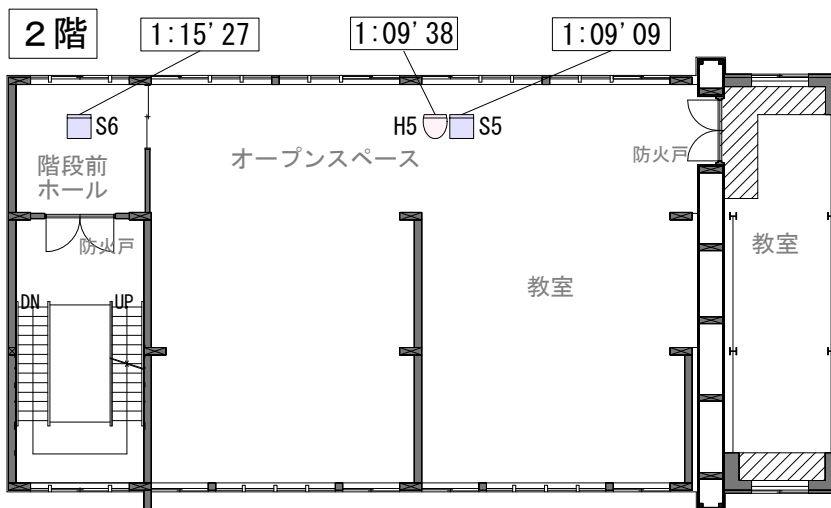
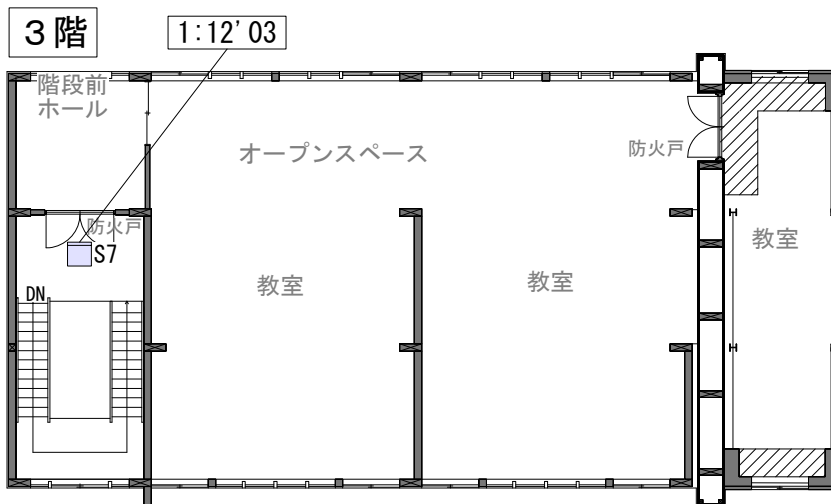


図 4.7.5-2 火災感知器発報時間

4. 7. 6 火の粉

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

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

4. 7. 7 主要構造部および区画の焼毀状況

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

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



写真 4.7.7-1 建物上階からの解体の様子



写真 4.7.7-2 構造部材解体・採取の様子



写真 4.7.7-3 解体部材のナンバリング



写真 4.7.7-4 解体部材からの断面サンプル採取

(1) 消火状況

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

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



写真 4.7.7-5 一斉消火の様子

(2) 各部の残存状況

1) 全体概要

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

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

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



写真 4.7.7-6 実験後の実験建物（南面）



写真 4.7.7-7 実験後の実験建物（北面）

2) 1階

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

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



写真 4.7.7-8 1階出火源近傍の状況



写真 4.7.7-9 1階の状況（北側廊下防火壁側より）

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

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



写真 4.7.7-10 1階階段室側耐力壁の様子



写真 4.7.7-11 1階防火壁側耐力壁の様子



写真 4.7.7-12 1階Cブロック側耐力壁の様子



写真 4.7.7-13 1階Dブロック側耐力壁の様子

3) 2階

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

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

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

4) 3階

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



写真 4.7.7-14 2階 D・E ブロック教室の様子



写真 4.7.7-15 2階 B・C ブロック教室の様子



写真 4.7.7-16 2階階段室側耐力壁の様子



写真 4.7.7-17 2階防火壁側耐力壁の様子



写真 4.7.7-18 2階中央間仕切り壁の様子



写真 4.7.7-19 2階 D・E ブロック天井の様子



写真 4.7.7-20 3階 B・C ブロック教室の様子



写真 4.7.7-21 3階柱・梁の炭化状況



写真 4.7.7-22 防火壁境界部分の登り梁の燃焼跡



写真 4.7.7-23 北側桁の残火による燃焼跡

(2) 防火設備の残存状況

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

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



写真 4.7.7-24 1 階防火壁防火戸の状況



写真 4.7.7-25 1 階防火壁防火戸枠部分詳細



写真 4.7.7-26 2階階段室側防火戸の状況



写真 4.7.7-27 2階階段室防火戸枠部分詳細



写真 4.7.7-28 防火戸近傍のクリブの変色

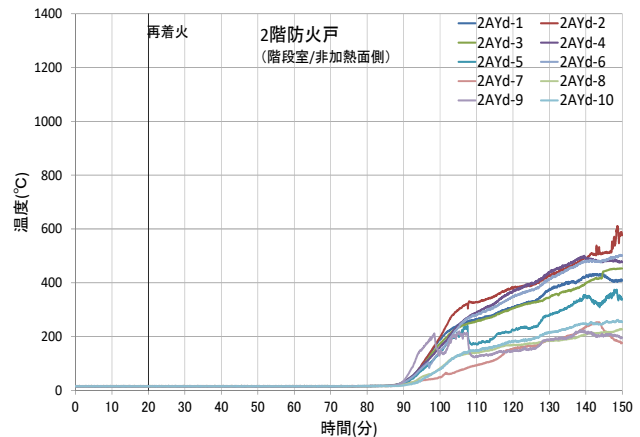


図 4.7.7-1 2階階段室防火戸・階段室側温度推移

(3) 防火壁の自立性能と残存状況

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

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

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

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

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

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

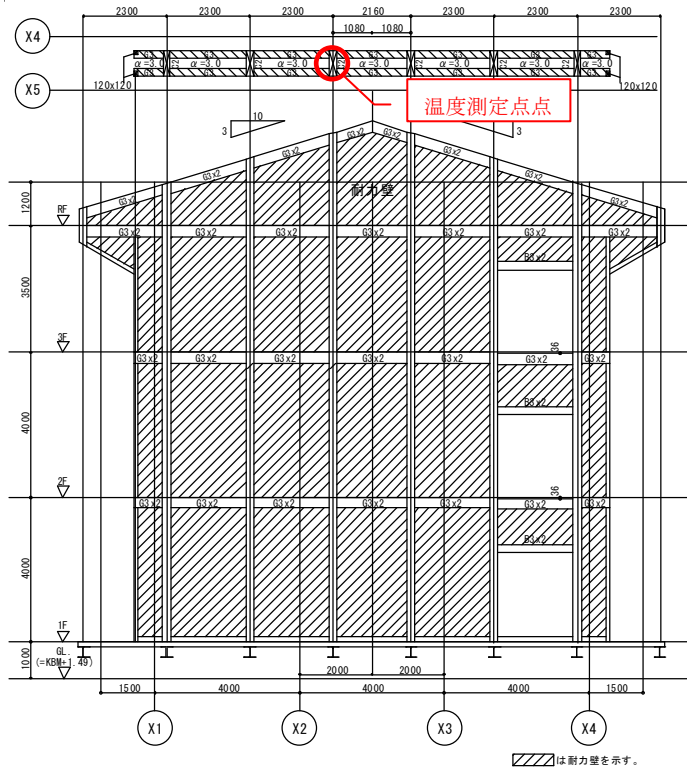


図 4.7.7-2 防火壁軸組み図

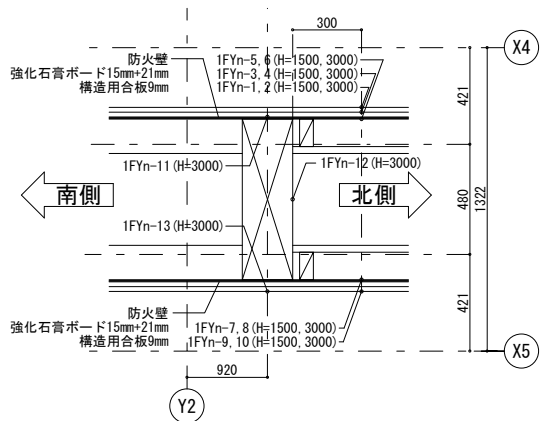


図 4.7.7-3 温度測定点詳細図

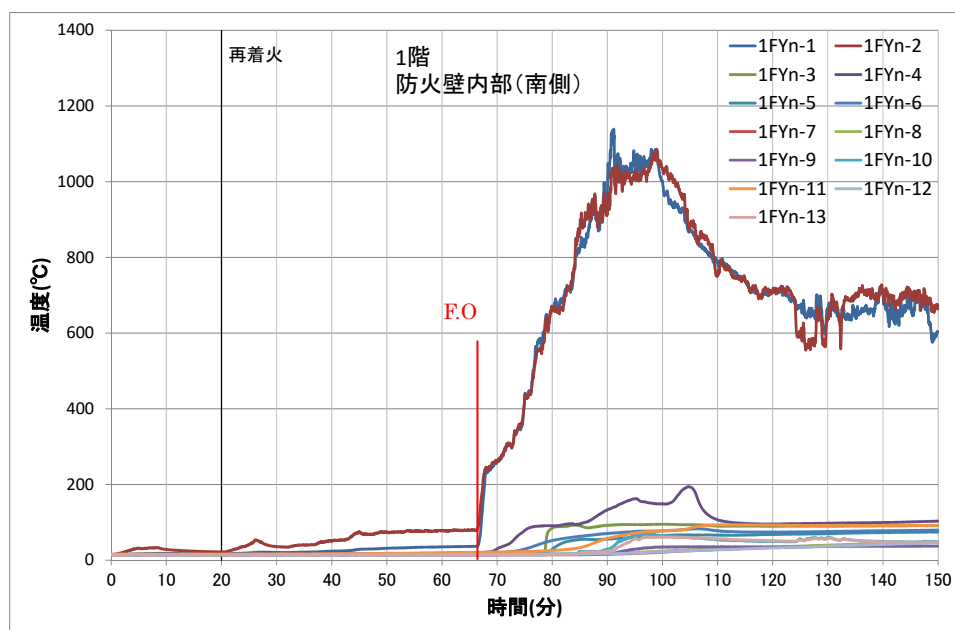


図 4.7.7-4 防火壁における測定温度



図 4.7.7-29 解体時の防火壁の状況



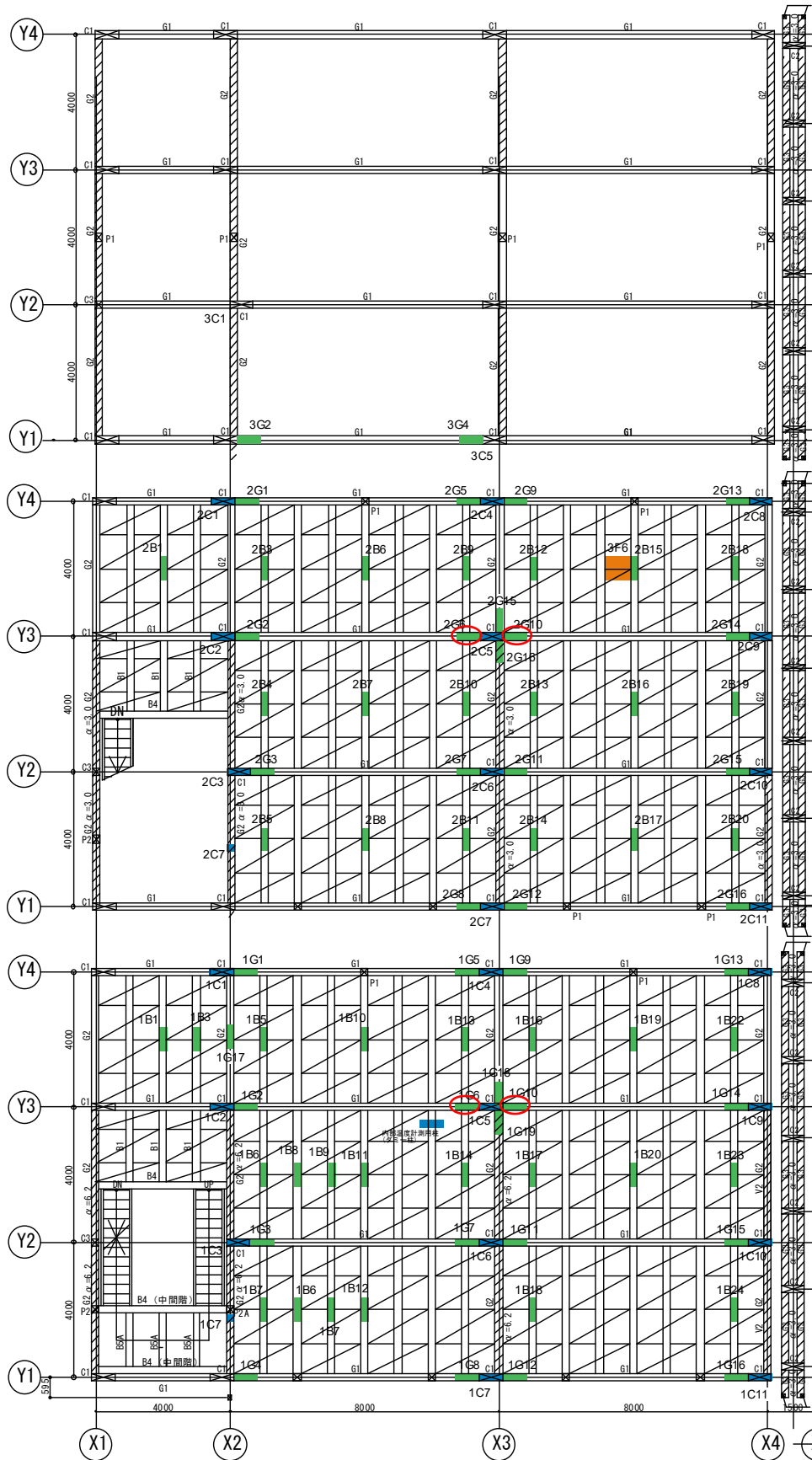
図 4.7.7-30 合板撤去後の防火壁の状況



写真 4.7.7-31 防火壁の残火による炭化痕

(4) 解体調査

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



採取位置: 梁 柱 床合板 接合部

図 4.7.7-5 解体部材におけるサンプル採取位置

(5) 軸組材の残存・炭化状況

本実験の解体調査において確認した軸組材の残存・炭化状況について報告する。

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

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

本実験は、155分(135分)後に消火が開始され、約20分後に鎮火した。

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

各室の室内温度を図 4.7.7-6 に示す。

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



柱 (1C1)



大梁 (1G1)



小梁 (1B1)

写真 4.7.7-32 断面サンプル例

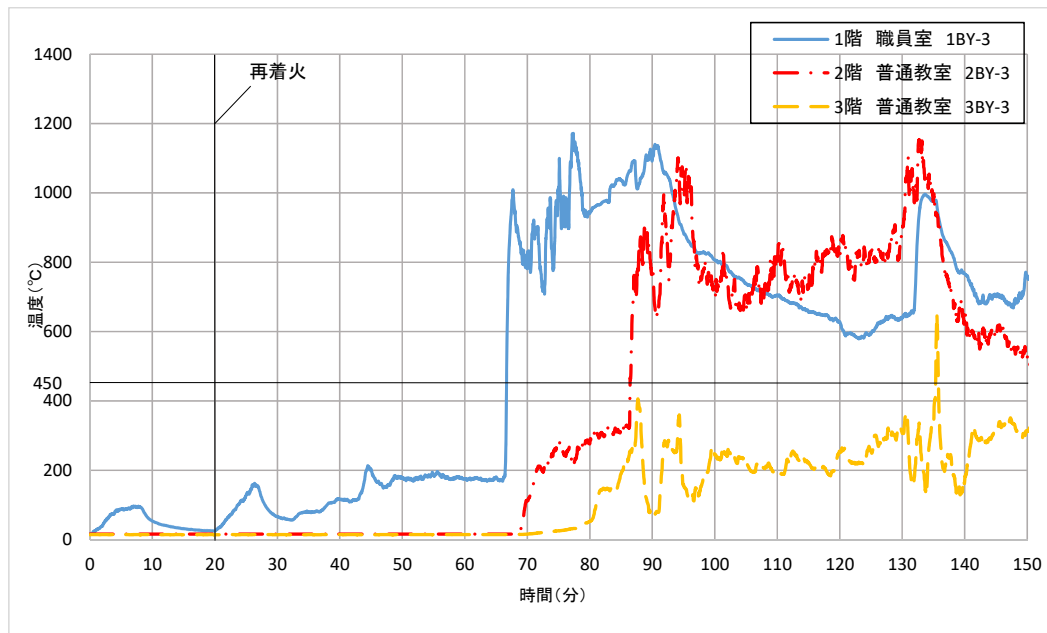


図 4.7.7-6 各階室内温度（1、2階：FL+3.00m、3階：FL+3.77m）

1) 1階軸組材の残存・炭化状況

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

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

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

2) 2階軸組材の残存炭化状況

2階軸組材の炭化状況は1階の状況と似ているが、炭化量は少ないものが多い。

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

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

3) 3階軸組材の残存炭化状況

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

表 4.7.7-1 軸組材の炭化状況と燃焼時間（燃焼時間は柱・大梁）

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

4) 本実験と準備実験との比較

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

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

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

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

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

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

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

表 4.7.7-2 本実験と準備実験の試験体の比較

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

表 4.7.7-3 本実験と準備実験の炭化状況及び燃焼時間の比較

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

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

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



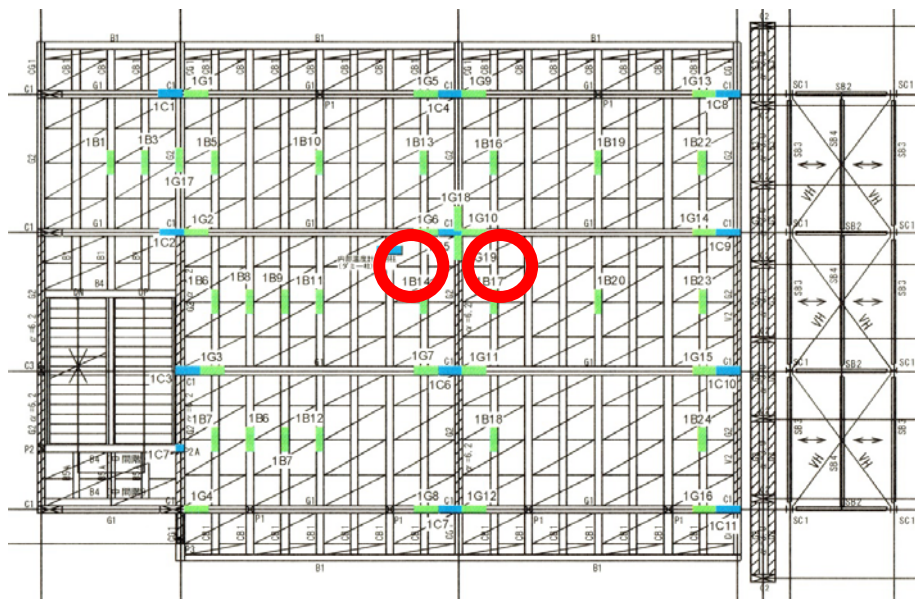
写真 4.7.7-29 出火源直上の柱・梁接合部



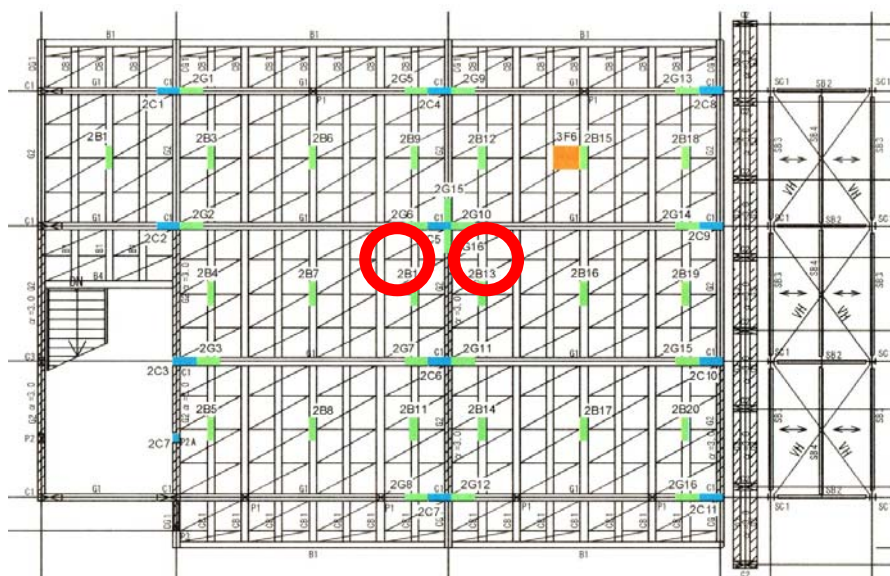
写真 4.7.7-30 1階 X3-Y3 柱の柱・梁接合部



写真 4.7.7-31 1階開口部軸組の接合部



a) 1階サンプル採取位置



b) 2階サンプル採取位置

図 4.7.7-8 サンプル採取位置

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



写真 4.7.7-32 1J6 (1階 X3-Y3)



写真 4.7.7-33 1J10 (1階 X3-Y3)



写真 4.7.7-34 2J6 (2階 X3-Y3)

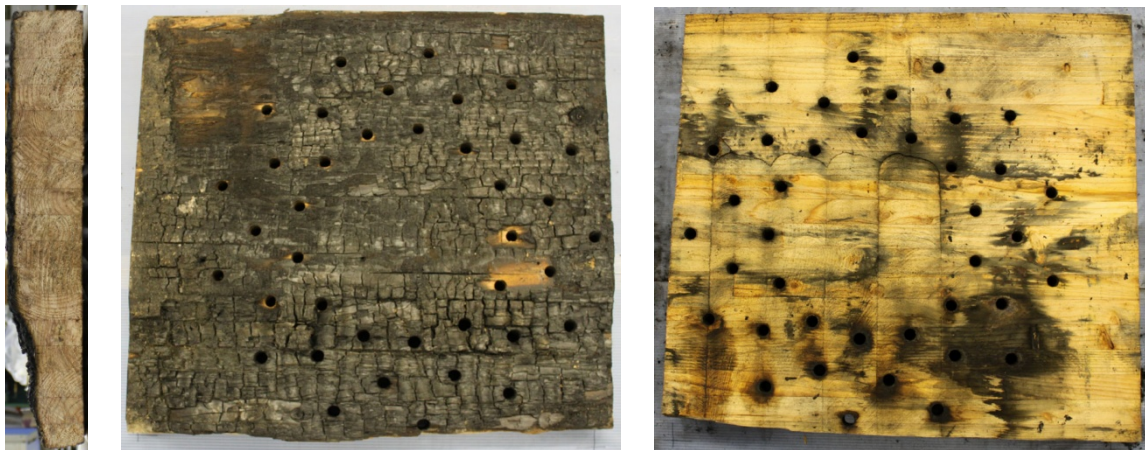


写真 4.7.7-35 2J10 (2階 X3-Y3)



写真 4.7.7-36 ドリフトピン周りの炭化状況

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

表 4.7.7-4 最大炭化深さ

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

表 4.7.7-5 非現し部（天井仕上げ内側）における最大炭化深さ

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



図 4.7.7-9 梁 1J6（南側）の炭化状況

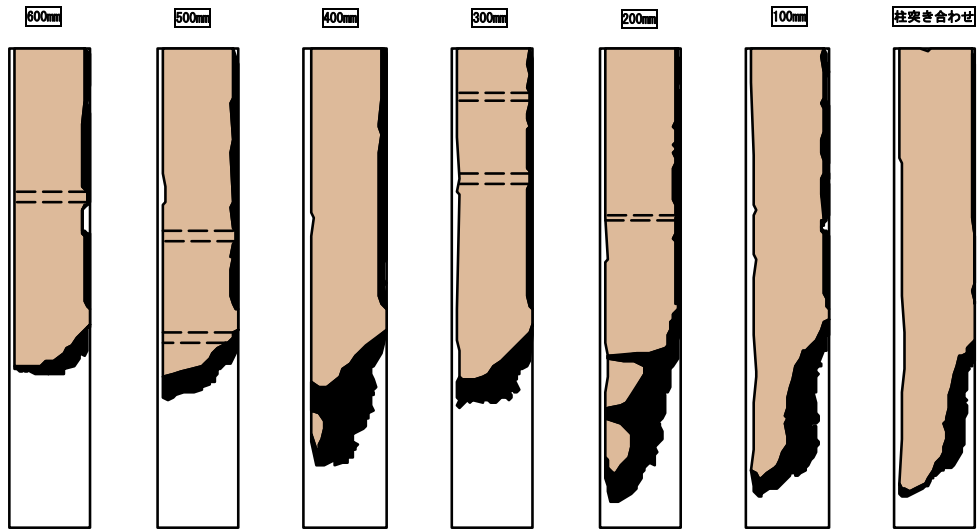


図 4.7.7-10 梁 1J10 (南側) の炭化状況

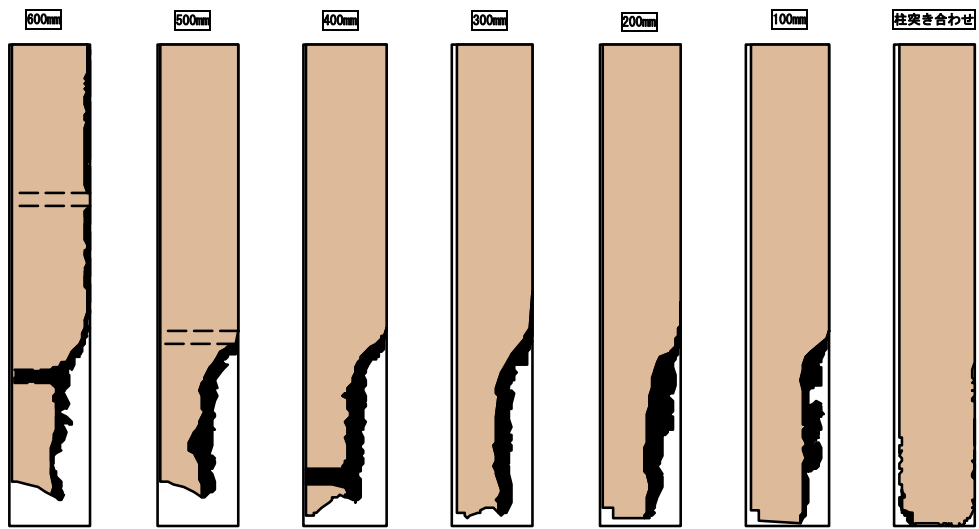


図 4.7.7-11 梁 2J6 (北側) の炭化状況

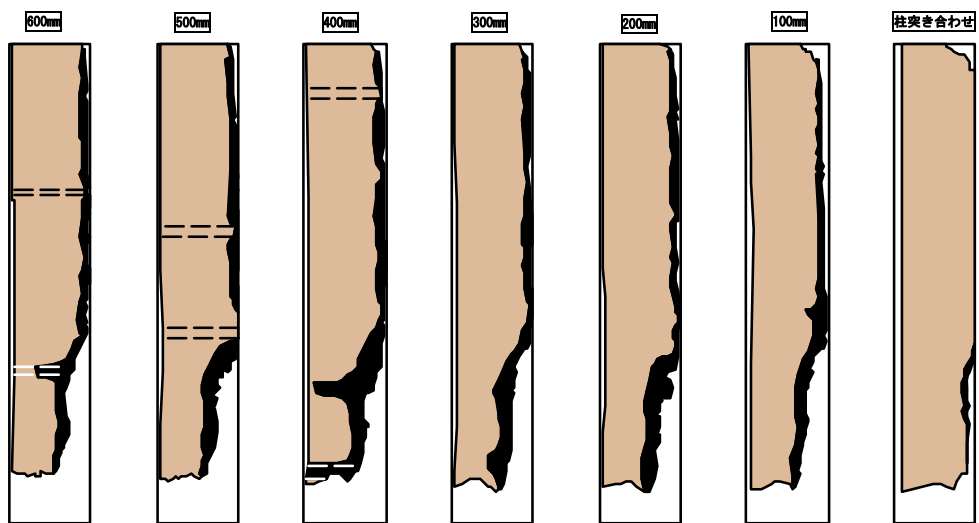


図 4.7.7-12 梁 2J10 (南側) の炭化状況

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

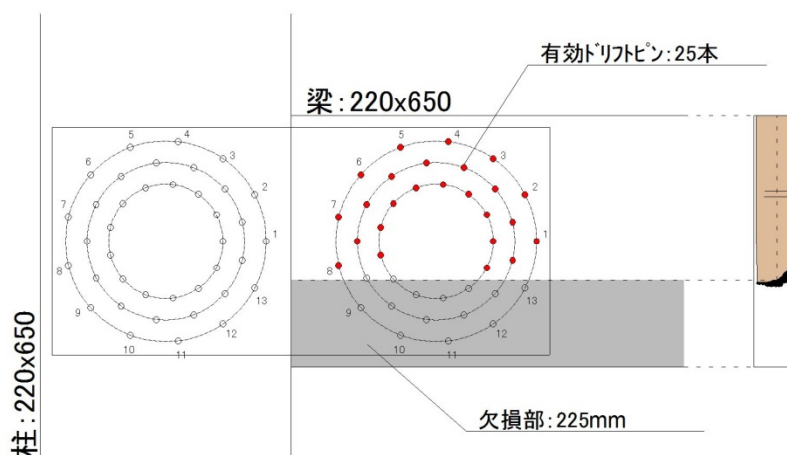


図 4.7.7-13 有効ドリフトピンのカウント方法

4. 7. 8 圧力

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

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

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

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

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

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

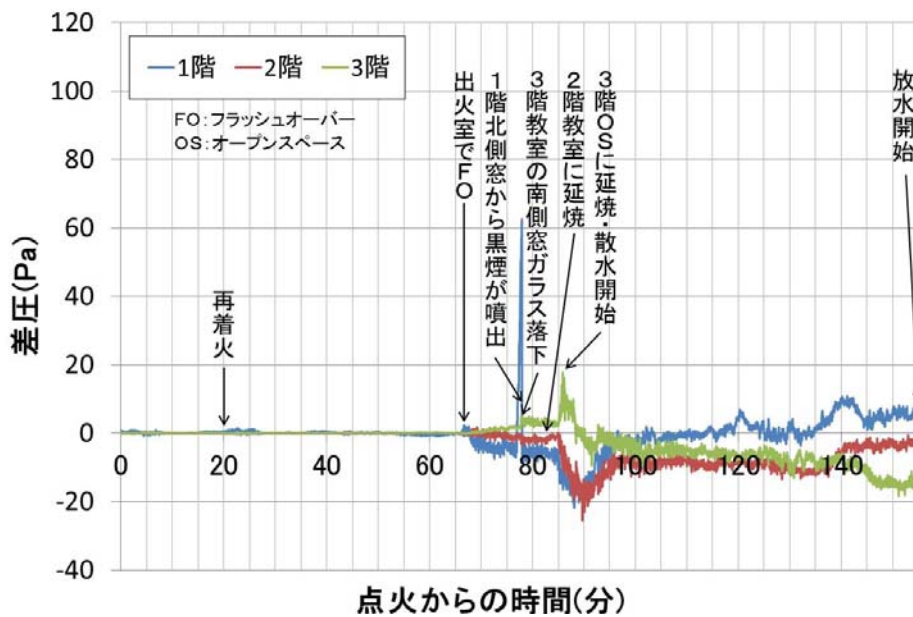


図 4.7.8-1 微差圧計による測定結果（階段室側）

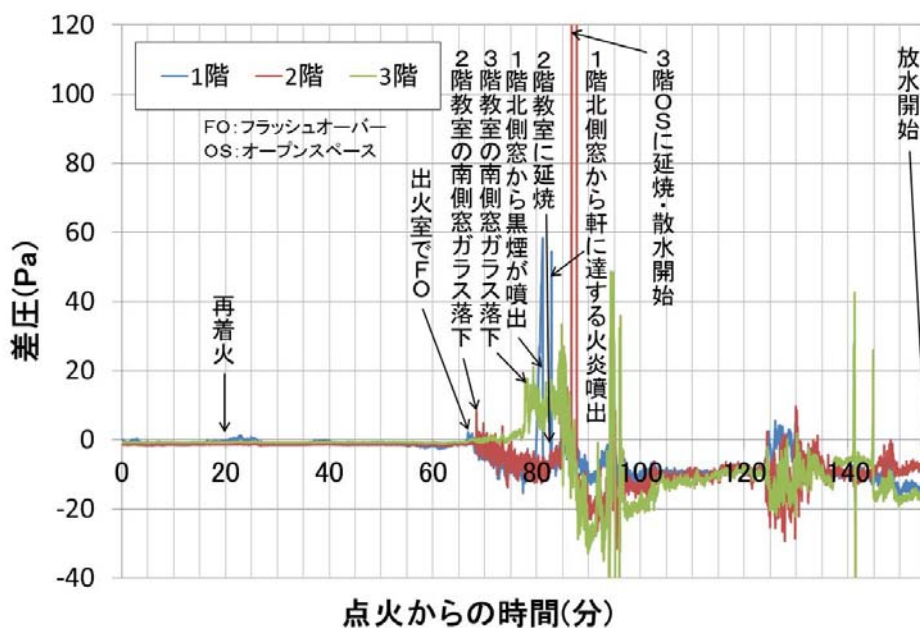


図 4.7.8-2 微差圧計による測定結果（防火壁側）

4. 7. 9 スパンドレル・そで壁の効果

(1) スパンドレル・そで壁の構造

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

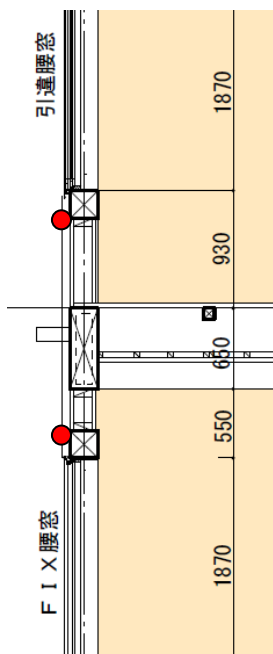


図 4.7.9-1 スパンドレル断面図

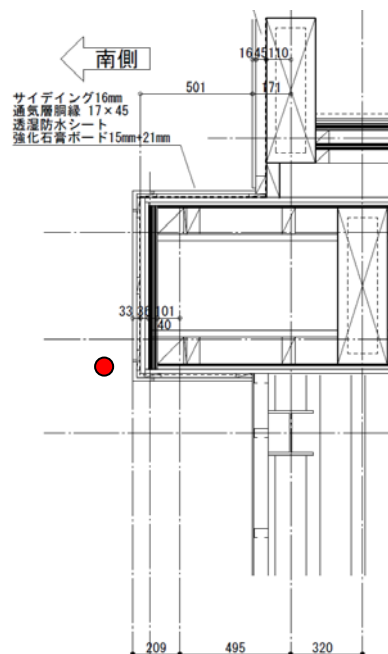


図 4.7.9-2 防火壁そで壁断面図

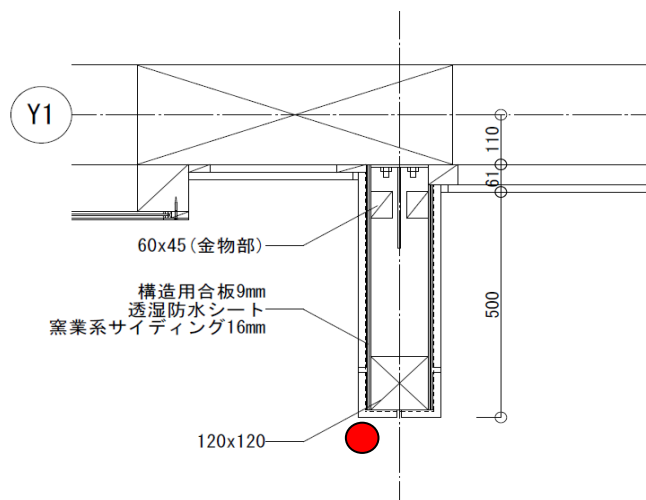


図 4.7.9-3 竪穴区画そで壁断面図

(2) スパンドレルの効果

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

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

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

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

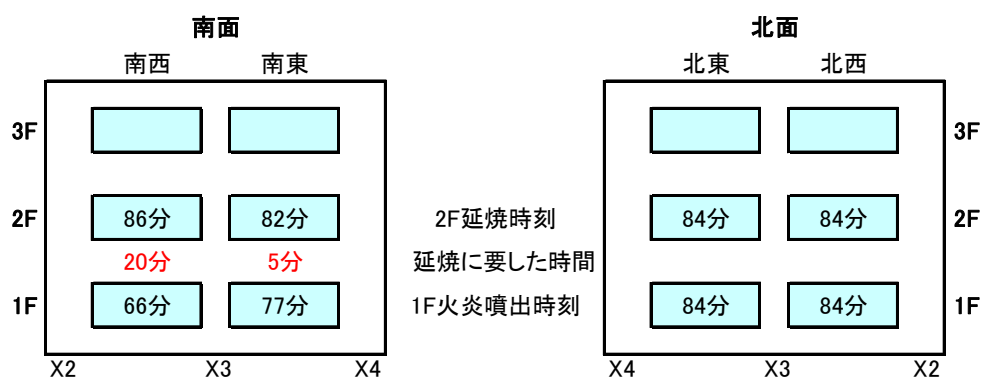


図 4.7.6-4 噴出火炎発生時刻と上階延焼時間



写真 4.7.9-1 85分の北側の様子 1



写真 4.7.9-2 85分の北側の様子 2

(3) そで壁の効果

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

(4) 各部の温度

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

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

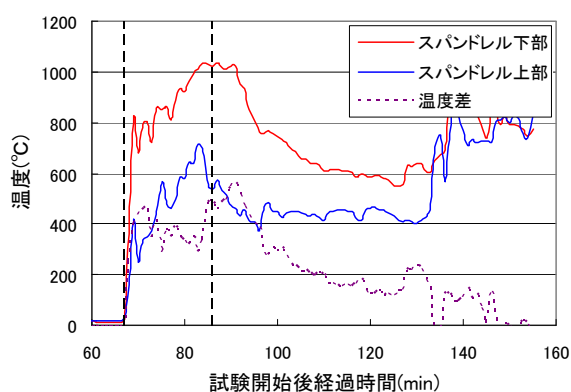


図 4.7.9-5 1-2階スパンドレル外壁面温度

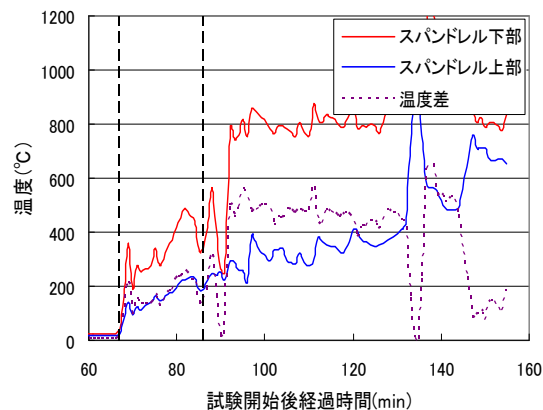


図 4.7.9-6 2-3階スパンドレル外壁面温度

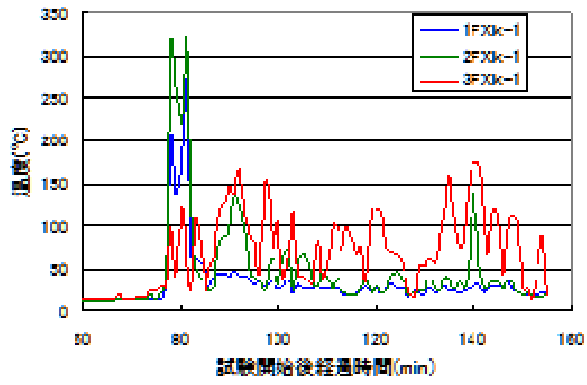


図 4.7.9-7 防火壁南側突出先端温度

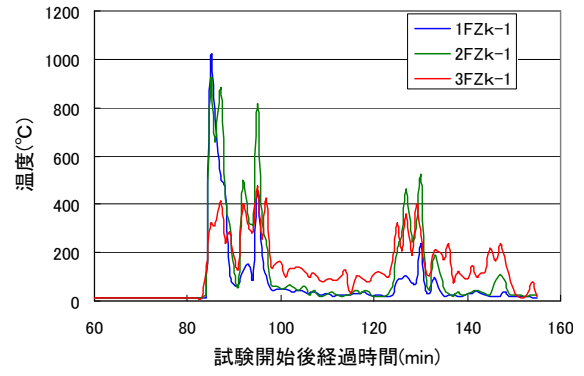


図 4.7.9-8 防火壁北側突出先端温度

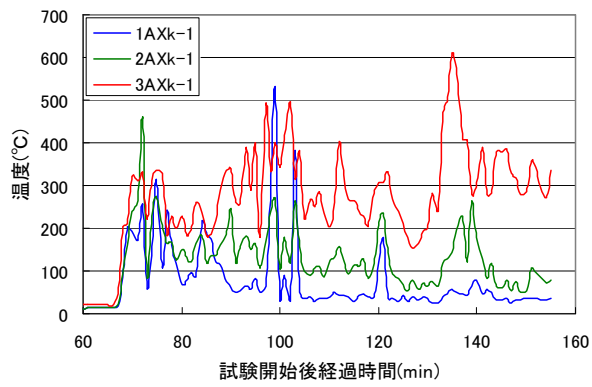


図 4.7.9-9 縦穴区画そで壁先端温度

4. 7. 10 建物消火水量

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

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

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

表 4.7.10-1 3階散水位置、散水時間および散水量一覧

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



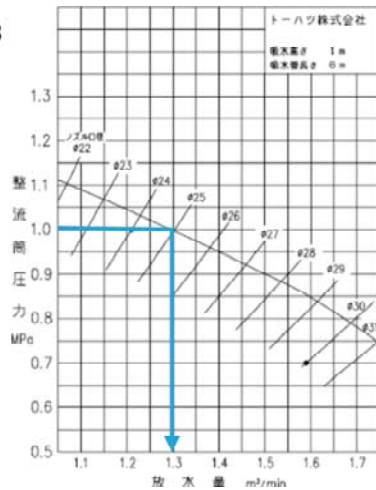
写真 4.7.10-1 放水銃による残火消火(左)と散水装置・散水跡(右)

表 4.7.10-2

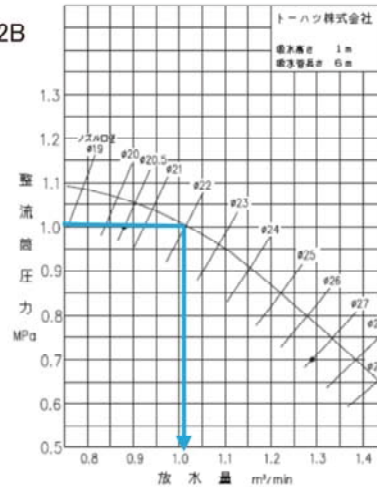
	放水時刻	機材	台数	放水時間	単位放水量	放水量	
			*3	min	*4 m ³ /sec	m ³	
初期鎮火 *1	2:35-2:39	北側	放水銃	3	4	1	12
			筒先	2	4	1	8
		南側	放水銃(中央)	1	4	1.3	5.2
			放水銃(左右)	2	4	1	8
			筒先	5	4	1	20
残火処理 *2	2:39-2:50	北側	放水銃	3	11	0.8	26.4
			筒先	3	11	0.8	26.4
		南側	放水銃(中央)	1	11	0.8	8.8
			放水銃(左右)	2	11	0.8	17.6
			筒先	5	11	0.8	44
合計						176.4	

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

VC85B



VC72B



建物消火（鎮圧および消火）に使用した水量・放水時間

4. 8 考察

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

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

- (1) 大規模な木造建築物等の主要構造部の制限（建築基準法第21条第2項）及び
- (2) 学校などの特殊建築物に関する主要構造部の制限（建築基準法第27条）

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

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

- i) 防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能
- ii) 防火壁の倒壊防止性能

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

- i) 他の区画への延焼防止性能
- ii) 他の区画への遮煙性能
- iii) 主要構造部の倒壊防止性能

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

- ①周囲での延焼危険性が少ないかどうか
- ②消防活動上の障害となることが生じないかどうか 等

の分析を行った。

4. 8. 1 防火壁による延焼防止性能及び倒壊防止性能の検証

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

- ・ 出火室は、点火後火源は成長し火炎が天井に到達するものの、約10分で自然鎮火した。そのため、出火点の近くにある収納可燃物で炭化したものを入れ替え、同じ位置と方法で点火後20分（以下、点火後の時間を示す。）に再着火した。
- ・ その後、火源は徐々に成長し、約66分（再着火後約46分。以下、再着火後の時間を()に示す。）で室内温度が450℃に到達し、約67分（47分）に室内温度が急激に上昇して室内全体に延焼拡大した。
- ・ 出火階から2階への延焼は、2階外壁開口部を通じて約82分（62分）に起き、3階への延焼は、約87分（67分）に外部開口部を通じて起きた。

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

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

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

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

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

4. 8. 3 建物周囲への火災による影響

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

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

的に火の粉の飛散は観察されなかった。

4. 8. 4 長時間の火災が継続した場合の建物の構造躯体への影響

倒壊等の事象の発生プロセスについて、以下の知見が得られた。

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

4. 8. 5 安全管理上の課題

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

4. 9 まとめ

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

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

- (1) 大規模な木造建物等の主要構造部の制限（建築基準法第21条第2項）及び
- (2) 学校などの特殊建物に関する主要構造部の制限（建築基準法第27条）

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

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

- i) 防火壁を超えた屋内外の延焼防止性能
- ii) 防火壁の倒壊防止性能

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

- i) 他の区画への延焼防止性能
- ii) 他の区画への遮煙性能
- iii) 主要構造部の倒壊防止性能

を確認することができた。

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

- ①周囲での延焼危険性が少ないかどうか
 - ②消防活動上の障害となることが生じないかどうか 等
- の実験データを収集することができた。

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

5. まとめ

本研究では、木造3階建て学校に関して、実大火災実験を実施して防火上の検討課題を明らかにし、その対策の有効性を確認することを主目的として3回の実大火災実験を実施した。

1回目の実大火災実験（予備実験）は、1時間準耐火構造の主要構造部として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た実験建物を用い、教室実験で木質内装の初期火災性状を把握した上で、木3学の避難安全・延焼防止・消火活動支援の観点からの課題を検出するため、平成23年度に予備実験として位置づける実大火災実験を実施した。

2回目の実大火災実験（準備実験）は、予備実験により防火基準策定に向けた課題を抽出し、再び部材、教室規模実験により技術的な検討を進めて、平成24年度にその効果を検証するために実施した。

3回目の実大火災実験（本実験）は、これらの結果に基づいて防火基準案を検討し、その妥当性を確認するために平成25年度に実施した。

これらの3回の実大火災実験の結果から、火災初期における外壁開口部を通じた早期の上階延焼防止および防火壁による延焼防止に関する防火基準案の妥当性が確認された。

参考文献

- 1) 横井鎮男、強風時の微細な火の粉の分布、火災、Vol.7、No.1、 1957
- 2) 常世田昌歳他、木質系構造の耐火性能に関する研究（その 21：H 鋼内蔵型カラマツ集成材の柱部材温度予測）、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、3067、2005 年 9 月
- 3) 河原崎政行他、木質被覆材を用いたカラマツ集成材梁の準耐火性能の検討（その 1：カラマツ集成材の炭化挙動）、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、3147、2009 年 8 月
- 4) 関真理子、中野一郎、長谷見雄二、燃焼後の残存断面で非損傷性を検証する方法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、3143、2009 年 8 月
- 5) 清水真理子、長谷見雄二、村上雅英、安井昇、木造真壁の耐火性能予測、日本建築学会構造系論文集 第 611 号、165-170、2007 年 1 月
- 6) 総務省消防庁、消防隊員用個人防火装備に係るガイドライン、2011 年 5 月

謝辞

本研究の実施にあたり、次頁に記した、行政及び企業・団体には多大な協力を頂いた。

特に 3 回の実大火災実験の実施にあたっては、実験敷地の地元行政・消防団・自治会や、協力企業・団体、ここに記すことができなかつたその他多くの関係者の多大な協力なくしては、実験は実現しなかつた。記して深甚の謝意を表します。

協力行政

下呂市
つくば市
中津川市
下呂市消防本部
つくば市消防本部
中津川市消防本部

大同コンサルタンツ株式会社
トーハツ株式会社
東通産業株式会社
特定非営利活動法人災害情報センター
中津川市消防協会
日鉄住金テクノロジー株式会社
ビーイーエム
ホーチキ株式会社
三井住商建材株式会社
山岸 剛

協力企業・団体

芦森工業株式会社
阿部工業株式会社
一般財団法人日本建築総合試験所
一般社団法人石膏ボード工業会
一般社団法人日本火災報知機工業会
一般社団法人日本消防ポンプ協会
一般社団法人日本照明器具工業会
茨城三陽補償コンサルタント株式会社
株式会社 CAE ソリューションズ
株式会社 IHI シバウラ
株式会社 ウェザーニュース
株式会社 エジマ
株式会社 ソーケン
株式会社 メック
株式会社 大林組
株式会社 東亜理科
株式会社 東京測器研究所
株式会社 中島工務店
株式会社 日本海コンサルタント
協同組合 遠野グルーラム
協和木材株式会社
クリマテック株式会社
下呂市消防協会
三和システムサービス株式会社
三和シャッター工業株式会社
社団法人日本消火装置工業会

有限会社 ティーケーシステム
有限会社 山辺構造設計事務所
有限会社 青電舎
吉野石膏株式会社
YONE 株式会社

実大火災実験関係者

(研究機関・事業主体)

国立研究開発法人 建築研究所

萩原 一郎
荒木 康弘
鍵屋 浩司
鈴木 淳一
林 吉彦
平光 厚雄
水上 点晴
山口 修由
吉田 正志
赤嶺 嘉彦
大石 哲也
中川 貴文
中島 史郎
増田 秀昭
三浦 駿太
茂木 武
山本 弘樹
申易 徹
宮澤 邦彦
村上 晴信
田畑 真理子
阿部 寿志
中山 喜志夫
榮西 巨朗

仁井 大策
平光 厚雄
山名 俊男
吉岡 英樹
水流 潤太郎
小川 富由
金井 昭典
砺波 匡
越海 興一
西山 功
深井 敦夫
安藤 恒次
原口 統
横田 圭洋
東條 旭
渡辺 春彦
碓井 道人
中田 修一
中尾 吉宏
持丸 修一
小黒 晃彦
岡田 良夫
茅場 隆志
野原 邦治
上野 翔平
西山 正倫
瀧本 真理
高橋 一夫
小林 由二

学校法人 早稲田大学

国土交通省

国土技術政策総合研究所

成瀬 友宏
岩見 達也
五頭 辰紀

長谷見 雄二
安井 昇
渥美 良紀
稲垣 淳哉
加藤 詞史

白井 裕子
田村 隆雄
堀 英祐
大浦 千春
浅川 新
池田 紗英子
池田 成介
石塚 正浩
市原 卓磨
伊藤 拓真
江田 健一郎
小澤 大樹
加來 千紘
神戸 麻千子
櫛田 紘敬
小宮 祐人
坂部 布実
鈴木 あさ美
田所 玲奈
角田 彩乃
中野 裕晶
中山 葉月
牛 雪民
原 崇之
平川 千紗
保川 みずほ
山口 智世
渡邊 真莉子
稲葉 さとみ*
鈴木 圭一*
中濱 慎司*
中村 正寿*
永盛 洋樹*
山口 純一*
*外部協力者

公立大学法人 秋田県立大学

板垣 直行
石山 智
飯島 泰男
林 知行
中村 昇
佐々木 貴信
足立 光司
鎌田 貴久
齋藤 健志
青木 健介
石川 敬
宇梶 真悠
遠藤 寛崇
大平 貴之
小野 晋太郎
帷子 沙織
釜田 恵理菜
鎌田 慎平
川上 正敬
佐々木 美穂
佐藤 光成
菅野 このみ
田口 陽菜
西澤 裕希
布川 めぐみ
早川 可純
山本 啓
佐々木 靖*
濱野 達朗*
亀井沢 圭介*
*外部協力者

三井ホムム株式会社

泉 潤一
小松 弘昭
池澤 仁志
市川 真梨恵
今福 昌克
岡野 泰三
沖浦 博
梶井 寛史
北爪 節
権田 将也
佐野 伸一
鈴木 誠
高山 佳宣
永井 涉
永関 慶樹
原 康之
福島 由利子
松尾 和午
松本 英樹
村上 知徳
森 淳
吉原 麻登花

住友林業株式会社

逢坂 達男
関 真理子
蛇石 貴宏
上田 規弘
景井 宏樹
熊川 佳伸
澁澤 悠也
高木 郷
田中 康夫
中島 裕貴

山内 活也
渡邊 貴章
渡辺 康之

株式会社現代計画研究所

加来 照彦
樋口 祥一
井上 拓哉
鎌田 雅行
酒井 敬
松井 溪
村山 哲哉
渡辺 寛子

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No.970 May 2021

建築研究資料

Building Research Data

No.186 May 2021

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

©国立研究開発法人建築研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

国土技術政策総合研究所企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675

〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地

国立研究開発法人建築研究所企画部企画調査課 電話:029-864-2151 (代)