## 消防研究所研究資料 57 号

# 実大規模燃焼実験による難燃杉材の燃焼性状 に関する研究報告書

基盤研究部 火災研究グループ長 箭内英治

平成 14 年 10 月

独立行政法人 消防研究所

## まえがき

わが国の重要文化財指定建造物の8割が木造建築であり、そのため、着火すると容易に燃焼拡大し火災へと発展する可能性が大きい。また、火災原因の4割が放火であることから、火災予防、延焼拡大防止の観点から防炎対策が重要であることは明らかである。しかし、従来重要文化財建造物では防炎処理することにより、文化財の材質に変化を引き起こし、価値を減ずる恐れがあるとのことから、利用されていない。

本研究は、木質系材料に適用できる防炎処理技術を調査し、それらの文化財建造物等の材料への適用性を明らかにする。また、その材料の燃焼性状を調べ、火災予防、延焼拡大防止対策としての有効性を実験的に研究し明らかにする。また、これら材料の経年変化による外観の変化、物性、燃焼性を実験的に研究し明らかにする。

本報告書は、平成 11 年 4 月から 3 年計画で実施することになっている文化財建造物等の防炎対策に関する研究の内、第三年度分の研究の成果をまとめたものである。

平成 14 年 10 月

## 目 次

1 序章	1
1.1 初年度の研究結果の概要	1
1.2 第二年度の研究結果の概要	3
1.3 最終年度の研究概要	4
1.4 文化財建造物等の防火対策に関する文献および実地調査	5
1.4.1 特集「伝統的木材建築物の新たな防火対策の取り組み」の記事など	5
1.4.2 伝統的建造物保存地区の調査	10
1.4.3 文化財建造物の防火対策のまとめ	15
2 難燃杉材の実規模燃焼実験	16
2.1 文化財建造物火災の火災シナリオ	16
2.2 試料	17
2.3 ルームコーナ試験室	19
2.3.1 実規模燃焼試験室概要	19
2.3.2 排気系及び計測システム	20
2.4 実規模燃焼実験手順	22
2.4.1 実験前の準備	22
2.4.2 実験手順	23
2.4.3 実験終了後の手順	
2.5 実験ケース	
2.5.1 火源 ( ¢50mm) の実験ケース	25
2.5.2 火源 ( ø100mm) の実験ケース	
2.5.3 火源 ( ¢200mm) の実験ケース	
2.5.4 火源 ( ¢300mm) の実験ケース	
2.6 実規模燃焼実験の結果と考察	
2.6.1 炭化長	
2.6.2 最大発熱速度	
2.6.3 難燃処理材の遅延効果	
2.6.4 最大煙濃度及び最大 CO 濃度	34
3 まとめ	37
3.1 炭化長	37
3.2 最大発熱速度	37
3.3 難燃処理材の遅延効果	38
3.4 最大煙濃度と最大 СО濃度	38
4 おわりに	39
資 料	41

## 図 表 目 次

义	1.4.2.1	五十間長屋の外観	11
义	1.4.2.2	五十間長屋で設置されていた防火設備	11
図	1.4.2.3	ひがし茶屋街の一風景	11
义	1.4.2.4	ひがし茶屋「志摩」の外観と感知器	. 12
义	1.4.2.5	主計町茶屋街の一風景	. 12
図	1.4.2.6		
义	1.4.2.7	未処理木材と難燃処理木材の燃焼比較実験	. 14
図	2.2.1	ルームコーナ試験室を用いた難燃杉材の燃焼試験用試験体	. 17
义	2.3.1	ルームコーナ試験室の概要	. 19
义	2.3.2	重量測定系	. 21
図	2.4.1	実規模試験室内での試験体の設置状況	. 22
表	2.5.1	火源直径 50mmの実験ケース	. 25
表	2.5.2	火源直径 100mmの実験ケース	. 25
表	2.5.3	火源直径 200mmの実験ケース	. 26
表	2.5.4	火源直径 300mmの実験ケース	. 26
図	2.6.1.1	大源直径と最大炭化長の関係(燃料厚み:約 5mm)	. 27
図	2.6.1.2	、 火源直径と最大炭化長の関係(燃料厚み:約 10mm)	. 28
図	2.6.2.1	火源直径と最大発熱速度の関係(燃料厚み:約 5mm)	. 29
义	2.6.2.2	と 火源直径と最大発熱速度の関係(燃料厚み:約 10mm)	. 30
义	2.6.2.3	: 燃料量と最大発熱速度の関係(火源直径:100mm)	. 31
义	2.6.2.4	- 燃料量と最大発熱速度の関係(火源直径:200mm)	. 31
表	2.6.2.1	全面火災に発展するかどうかの観点から見た火源限界	. 32
义	2.6.3.1	発熱速度の時間変化(火源直径:100mm、n-ヘプタン量:320ml)	. 33
図	2.6.3.2	2 発熱速度の時間変化(火源直径:200mm、n·ヘプタン量:500ml)	. 34
図	2.6.4.1	大源直径と最大煙濃度の関係(燃料厚み:約 10mm)	. 34
义	2.6.4.2	2 火源直径と最大 CO 濃度の関係(燃料厚み:約 10mm)	. 35
义	2.6.4.3	3 燃料量と最大煙濃度の関係(火源直径:200mm)	. 35
义	2.6.4.4	- 燃料量と最大 CO 濃度の関係(火源直径:200mm)	. 36
		付 録	
付	表 2.6.1	1 実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉材の測定結果のまとめ(火源	
		径:50mm)	
付	表 2.6.2	2 実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉材の測定結果のまとめ(火源	
		径:100mm)	
付	表 2.6.3	3 実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉材の測定結果のまとめ(火源	
		径:200mm)	. 45

付表 2.6.4 実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉材の測定結果のまとめ(火源直
径:300mm)4
付図 2.6.1 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 50-1、火源直径: 5cm、n-ヘプタン: 10ml 
付図 2.6.2 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 50·2、火源直径: 5cm、n·ヘプタン
10ml)
付図 2.6.3 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 50-3、火源直径:5cm、n-ヘプタン
10ml)4
付図 2.6.4 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 50-4、火源直径:5cm、n·ヘプタン:10ml)
付図 2.6.5 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 50·5、火源直径: 5cm、n·ヘプタン:20ml
付図 2.6.6 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 50·6、火源直径:5cm、n·ヘプタ
ン:20ml)
付図 2.6.7 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 50·7、火源直径:5cm、n·ヘプタ
ン:20ml)
付図 2.6.8 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 50-8、火源直径:5cm、n·ヘプタ
ン:20ml)
付図 2.6.9 未処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 100·1、火源直径: 10cm、n·ヘプタン:40ml
付図 2.6.10 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100·2、火源直径: 10cm、n·へご
タン:40ml)
付図 2.6.11 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100·3、火源直径: 10cm、n·へご
タン:40ml)
付図 2.6.12 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100·4、火源直径: 10cm、n·へご
タン:40ml)
付図 2.6.13 未処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 100·5、火源直径: 10cm、n·ヘプタン:80ml
100.0   14   数 機 切 A 切 四 大 大 の 機 横 東 近 (字 殿 N - 100.0 - 水 海 方 次 ・100 カン ご
付図 2.6.14 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-6、火源直径:10cm、n-ヘン
タン:80ml)
付図 2.6.15 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-7、火源直径:10cm、n-へご
タン:80ml)
付図 2.6.16 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-8、火源直径: 10cm、n·へご
タン:80ml)
付図 2.6.17 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-9、火源直径: 10cm、n-ヘプタン:320ml
付図 2.6.18 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100·10、火源直径: 10cm、n-^
プタン:320ml)
付図 2.6.19 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100·11、火源直径: 10cm、n-^
プタン:320ml)6

付図 2.6.20 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:100-12、火源直径:10cm、n-へ
プタン:320ml)66
付図 2.6.21 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-1、火源直径:20cm、n·ヘプタン 160ml)
67
付図 2.6.22 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-2、火源直径:20cm、n-ヘプ
タン 160ml)68
付図 2.6.23 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-3、火源直径:20cm、n-ヘプ
タン 160 ml)69
付図 2.6.24 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-4、火源直径:20cm、n-ヘプ
タン 160ml)70
付図 2.6.25 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 200-5、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 320ml)
付図 2.6.26 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-6、火源直径:20cm、n-ヘプ
タン 320ml)72
付図 2.6.27 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-7、火源直径:20cm、n-ヘプ
タン 320ml)73
付図 2.6.28 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-8、火源直径:20cm、n-ヘプ
タン 320ml)74
付図 2.6.29 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-9、火源直径:20cm、n-ヘプタン 500ml)
付図 2.6.30 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 200·10、火源直径:20cm、n-へ
プタン 500ml)
付図 2.6.31 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No. : 200·11、火源直径 : 20cm、n-へ
プタン 500ml)
付図 2.6.32 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 200-12、火源直径: 20cm、n-へ
プタン 500ml)
付図 2.6.33 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No. : 200-13、火源直径 : 20cm、n-へ
プタン 500ml)
付図 2.6.34 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 200-14、火源直径: 20cm、n·ヘプタン
800ml)80
付図 2.6.35 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No. : 200-15、火源直径 : 20cm、n-へ
プタン 800ml)81
付図 2.6.36 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No. : 200·16、火源直径 : 20cm、n·へ
プタン 800ml)82
付図 2.6.37 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No. : 200·17、火源直径 : 20cm、n·へ
プタン 800ml)83
付図 2.6.38 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 300·1、火源直径: 30cm、n·ヘプタン 360ml)
付図 2.6.39 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 300·2、火源直径:30cm、n·ヘブ
タン 360ml)85

付図 2.6.40 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 300·3、火源直径: 30cm、n·ヘプ
タン 360ml)
タン 360ml)
付図 2.6.42 未処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 300·5、火源直径: 30cm、n·ヘプタン 720ml) 88
付図 2.6.43 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 300·6、火源直径:30cm、n·ヘプ
タン $720$ ml)
付図 2.6.44 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 300·7、火源直径:30cm、n·ヘプ
$eta \sim 720 \mathrm{ml})$ 90
付図 2.6.45 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 300·8、火源直径:30cm、n·ヘプ
タン 720ml) 91
付図 2.6.46 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃
度の時間変化(実験番号 50·1、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:10ml). 92
付図 2.6.47 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
CO 濃度の時間変化(実験番号 50-2、火源直径 : 50mm、n-ヘプタン量 : 10ml)
93
付図 2.6.48 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·3、火源直径 : 50mm、n·ヘプタン量 : 10ml)
では 2.0.45 美人
付図 2.6.50 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃
度の時間変化(実験番号 50·5、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:20ml).96
付図 2.6.51 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·6、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:20ml)
97
付図 2.6.52 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·7、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:20ml)
98
付図 2.6.53 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·8、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:20ml)
クラスス (中 ) 担告(Me は 中氏) と ス ナ 何 理 と け の ※ 数 主 広 通 広 の 、
付図 2.6.54 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO 濃
度の時間変化(実験番号 100·1、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:40ml)100 付図 2.6.55 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
刊 図 2.6.35 美人規模燃焼美機による難燃削 A 処理杉材 の光熱速度、煙張度、02、002、 CO 濃度の時間変化 (実験番号 100·2、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:40ml)
CO 仮及の時間変化(突厥番号 100 2、穴跡固住: 100 mm、1 ペックン量: 40 mm/

付図	2.6.56	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
		CO 濃度の時間変化 (実験番号 100·3、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:40ml)
		102
付図		実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
		CO 濃度の時間変化 (実験番号 100·4、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:40ml)
付図		3 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO濃
		度の時間変化(実験番号 100·5、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:80ml)104
付図		<ul><li>実大規模燃焼実験による難燃剤A処理杉材の発熱速度、煙濃度、O₂、CO₂、</li></ul>
		CO 濃度の時間変化 (実験番号 100·6、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:80ml)
付図	2.6.60	) 実大規模燃焼実験による難燃剤B処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
		CO 濃度の時間変化 (実験番号 100·7、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:80ml)
付図	2.6.61	」実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O₂、CO₂、
		CO 濃度の時間変化 (実験番号 100·8、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:80ml)
付図	2.6.62	2 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO濃
		度の時間変化(実験番号 100·9、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:320ml)
付図	2.6.63	B 実大規模燃焼実験による難燃剤A処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
		CO 濃度の時間変化(実験番号 100·10、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:
		320ml)
付図	2.6.64	1 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
		CO 濃度の時間変化(実験番号 100·11、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:
		320ml)110
付図	2.6.65	5 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
		CO 濃度の時間変化(実験番号 100·12、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:
		320ml)
付図	2.6.66	3 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO濃
		度の時間変化(実験番号 200·1、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:160ml)
付図	2.6.67	7 実大規模燃焼実験による難燃剤A処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
		CO 濃度の時間変化(実験番号 200·2、火源直径:200mm、n-ヘプタン量:160ml)
付図	2.6.68	8 実大規模燃焼実験による難燃剤B処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
		CO 濃度の時間変化(実験番号 200·3、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:160ml)
		114

付図 2.6.69	) 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200-4、火源直径: 200mm、n-ヘプタン量: 160ml)
付図 2.6.70	) 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃
	度の時間変化(実験番号 200·5、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:320ml)
	116
付図 2.6.71	l 実大規模燃焼実験による難燃剤A処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·6、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 320ml)
	117
付図 2.6.72	2 実大規模燃焼実験による難燃剤B処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·7、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 320ml)
付図 2.6.73	3 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·8、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 320ml)
付図 2.6.74	4 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO濃
	度の時間変化(実験番号 200-9、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:500ml)
付図 2.6.75	5 実大規模燃焼実験による難燃剤A処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·10、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:
	500ml)
付図 2.6.76	3 実大規模燃焼実験による難燃剤B処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·11、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:
	500ml)
付図 2.6.77	7 実大規模燃焼実験による難燃剤B処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·12、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:
	500ml)
付図 2.6.78	3 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·13、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:
	500ml)
付図 2.6.79	<ul><li>実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO濃</li></ul>
	度の時間変化(実験番号 200·14、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 800ml)
付図 2.6.80	) 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·15、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:
	800ml)
付図 2.6.81	1 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
	CO 濃度の時間変化(実験番号 200·16、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:
	800ml)

付図 2.6.82 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
CO 濃度の時間変化(実験番号 200·17、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:
800ml)128
付図 2.6.83 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO 濃
度の時間変化(実験番号 300·1、火源直径:300mm、n-ヘプタン量:360ml)
付図 2.6.84 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
CO 濃度の時間変化(実験番号 300·2、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 360ml)
付図 2.6.85 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
CO 濃度の時間変化(実験番号 300·3、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 360ml)
付図 2.6.86 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
CO 濃度の時間変化(実験番号 300·4、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 360ml)
付図 2.6.87 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、CO 濃
度の時間変化(実験番号 300·5、火源直径:300mm、n·ヘプタン量:720ml)
付図 2.6.88 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
CO 濃度の時間変化(実験番号 300·6、火源直径:300mm、n·ヘプタン量:720ml)
付図 2.6.89 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、
CO 濃度の時間変化(実験番号 300-7、火源直径: 300mm、n-ヘプタン量: 720ml)
付図 2.6.90 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、
CO 濃度の時間変化(実験番号 300·8、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 720ml)

#### 1 序章

## 1.1 初年度の研究結果の概要1)

難燃処理杉材の処理直後の難燃性能について明らかにした。その研究結果の概要は次のとおりである。

木質系材料に適用可能な難燃剤で、現在社寺などで実際に施工されている難燃剤を検討し、その結果、次の2社が扱っている3種の難燃剤を利用することとした。

- 1) 難燃剤 A : ホウ素系複合難燃剤 実際に寺社に適用している方法で処理
- 2) 難燃剤 B : リン酸グアニジン (耐水性なし)難燃剤 B 50% + 水 50%の溶液を用い、刷毛により表裏面それぞれ 2 回塗布した。塗布量は 150 g/m<sup>2</sup>程度である。
- 3) 難燃剤 C : アクリル塩化ビニリデン共重合樹脂 70%、炭酸カルシウム 8%、水酸化アルミニウム 7%、天然マイカ 11%、増粘剤 0.24%、水 3.76%(耐水性有り)難燃剤 C の原液を用い、刷毛により表裏面それぞれ 2 回塗布した。塗布量は 250 g/m<sup>2</sup>程度である。

また、処理する木材として社寺などで最も利用されていると予想される、杉材の板目を用い、厚みは着火時間などの燃焼性試験への影響がない厚みが10mm以上とされていることから、15mm厚を用いることとした。

燃焼性の測定には、現行の消防法45度燃焼性試験の他に燃焼熱の測定、熱重量測定、 材料表面に輻射熱を付与できるコーンカロリメータを使用した。

その結果、難燃処理杉材の燃焼性をまとめると次のようになる。

- 1) 消防法45度燃焼性試験結果は十分な難燃性を示した。したがって、メッケルバーナ火炎(火炎長:65mm)程度の火炎に接しても火災を起こさせない予防及び延焼拡大防止の効果を十分持っている。
- 2) 燃焼熱の測定結果より、難燃処理杉材は未処理杉材の燃焼熱の 10~19%程度減じることを示した。このことから難燃処理杉材は火災が発達した状況下での防火性能を多少は持つが、その性能は小さいと考えられる。
- 3) 熱重量測定の結果より、一段階の主要な熱分解の開始温度は、難燃剤 C 処理杉材< 難燃剤 B 処理杉材<難燃剤 A 処理杉材<未処理木材の順に高くなることから、着火 し易さは、難燃剤 C 処理杉材>難燃剤 B 処理杉材>難燃剤 A 処理杉材>未処理木材 の順となり、二段階開始時点での残渣量は、難燃剤 C 処理杉材>難燃剤 B 処理杉材 ⇒ 難燃剤 A 処理杉材>未処理木材の順であることから、難燃性能は難燃剤 C 処理 杉材>難燃剤 B 処理杉材、難燃剤 A 処理杉材>未処理木材の順となると予想された。
- 4) コーンカロリメータによる燃焼性の測定結果より、放射熱流束が20kW/m²以下での着火危険性は、難燃処理杉材(難燃剤A)>未処理杉材≒難燃処理杉材(難燃剤B)>難燃処理杉材(難燃剤C)の順である。また、放射熱流束が30kW/m²以上

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> 箭内英治:「文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書 (その1)」、消防研究所研究資料第49号、自治省消防庁消防研究所、p.35、平成12年3月

での着火危険性は、ここで行った材料によらず大きな違いはなく、ほぼ同じである。 難燃処理杉材の最大発熱速度や総発熱量の観点から見ると、未処理杉材より難燃処 理杉材の方が 20~40%減じることができる。その意味では、難燃杉材は難燃性能を 持つと言って良い。しかし、外部の放射熱流束が大きくなる火災の発達した段階に なると、ほとんど難燃効果は望めない。また、杉材を難燃処理することによる煙や COの発生への影響はほとんどない。

## 1.2 第二年度の研究結果の概要2)

重要文化財等に難燃木材を適用するには、処理することによる外観や材質に劣化や、また、経年変化により材料外観の変化や難燃性能の低下を引き起こさないことが必要である。 第二年度目の研究では、初年度と同じ難燃処理杉材を用い、キセノンウェザーメータにより経年変化させ、外観の変化、難燃性能の変化等について調べた。その結果の概要は次の通りである。

- 1)耐光試験による色変化は、100時間までは難燃処理剤による違いはなく、その後難燃剤C処理杉材は他の難燃処理杉材に比較して大きくなる傾向が見られた。一方、耐候試験による色変化は、未処理木材よりもすべての曝露時間で難燃剤C処理杉材が小さくなる傾向が見られた。他の難燃処理杉材の色変化は未処理杉材とほとんど変わりはなかった。
- 2) 耐水性のない難燃剤A、B処理杉材は数十時間の曝露で防炎性能を失う。したがって、 室内などの雨のかからないような場所で用いる必要がある。
- 3) 耐水性のある難燃剤C処理杉材は曝露500時間の範囲では防炎性能を維持した。したがって、難燃剤C処理杉材は外壁材などでも使用可能である。

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> 箭内英治、酒井美貴子、坂井香織:「文化財建造物の防炎対策に関する研究報告書 (その2)」、消防研究所研究資料第53号、独立行政法人消防研究所、平成13年9月

#### 1.3 最終年度の研究概要

重要文化財等の最も多い火災原因は放火である。火災原因に放火を考える場合、放火を 想定した火災シナリオはいろいろ考えられるが、火源は小さいものでライター程度の火源 から内装材の障子やカーテンなどへ燃え移らせて火災へと発展させるシナリオや大きいも のでガソリンを床や紙等に振りまいたり容器などに入れそれに着火して外壁材などへ着火 させ火災へと発展させるシナリオも考えられる。ライター程度の火源に対しては、既存の 試験方法で充分な火災拡大防止性能を持つことが示されているので、最終年度の本年度は 放火を想定した火源として、ライター程度の火源に比較して大きい火源を用いて、初年度 で見出した難燃処理方法で難燃化を行った木質杉材料の実大燃焼実験により、どの程度の 火源までこれらの難燃化処理杉木材が火災拡大抑止性能を持つかを調べた。

#### 1.4 文化財建造物等の防火対策に関する文献および実地調査

「火災誌」Vol. 47、No. 4、に特集「伝統的木材建築物の新たな防火対策の取り組み」の各特集記事や消防庁予防課が「文化財の火災予防対策の充実に関する調査研究」委員会で初年度の中間報告書の概要および筆者が金沢市の伝統的建造物保存地区を見学する機会を得たのでその調査概要をここで記述し、文化財建造物の防火対策の現状や課題などについてまとめてみたい。

#### 1.4.1 特集「伝統的木材建築物の新たな防火対策の取り組み」の記事など

## (1) 伝統的木造建築物の防火対策の現状と課題<sup>3)</sup>

文化財建造物は大半が木造で、屋根が植物性の物が多く、桧皮葺、茅葺は特に飛び火による火災の恐れがある。文化財保護法制定後の火災原因は、放火23%、不明21%、飛び火15%、ロケット花火14%、火の不始末とその他が各11%となっており、文化財所有者の火の不始末より、外的要因での出火率が高い。またそれだけに、所有者だけで対策がとりにくく、文化財防火管理の困難さ、地域社会での取り組みが重要である。文化財建造物の防火対策は国際的にも高い水準にあるにもかかわらず、最も火災原因の多いのが放火であることを考えると、単に防火設備を整えていても防げないことであり、防火意識の高揚、地域住民の理解と協力が必要である。また、伝統的木造建築物の多い町は、地域全体をカバーする消火栓網の設置を進めており、さらに地域社会での防火体制、扱いやすい防災設備の採用に加え、関係組識の協力による総合的な取り組みをすることで大きな効果をあげることが期待できる。

#### (2) 京都市における文化財等の防火対策の現状 4)

京都市消防局は、昭和23年自治体消防発足以降、文化財防火対策を重点的に取り組んでいる。同26年「文化財を火災から守る運動」を独自に開始し、同年に文化財用火災報知器146機を設置。30年に定められた「文化財予防デー」に関連し、消防訓練や防火研修会などを展開する「文化財防火運動」を開始した。37年「文化財防災対策連絡会」発足、48年消防局に「文化財係」を設置し、文化財防災の責任体制を明確にした。さらに京都市火災予防条例に「文化財の防火管理」に関する規定を設けた。文化財保護法が改正された51年には、市内に選定された「重要伝統的建造物群保存地区」に、防火指導強化を図り、54年は「文化財関係対象物防火指導指針」制定で、文化財の防火指導の体系的取り組みを始め、60年には、非常通報装置の設置を始めた。また平成6年、京都の文化財が世界文化遺産に登録され、これに伴い、自主防火管理体制の強化、および住民に対する防火を指導、8年の「文化財関係対象物防火指導指針」全面改正、「文化財関係対象物防火指導指針」全面改正、「文化財関係対象物防火指導要綱」を制定している。

昭和23年3月~平成8年6月の間に市内では文化財火災が96件発生した。原因は放火が1位で、さらにこの傾向が強まっている。ソフト・ハード両面からの放火防止対策の徹底が必要である。その対策として、文化財保護法では、収容人員50人以上で防火管理者の

<sup>3)</sup> 益田兼房:「伝統的木造建築物の防火対策の現状と課題」、火災、Vol.47、No.4、p.9 (1997)

<sup>&</sup>lt;sup>4)</sup> 京都市消防局予防課文化財係:「京都市における文化財等の防火対策の現状」、火災、 Vol.47、No.4、p.15 (1997)

選任、消防計画の作成等を義務づけているが、京都市火災予防条例は、収容人員が50 人未満の文化財でも、これらが義務づけられる。さらに、「喫煙・たき火等裸火の使用」 の制限を行い、指定区域には制札(木製の駒札)を立て注意を促している。

文化財の被害が拡大する原因として、敷地の広さ、常駐関係者の不在、高齢化での管理不行き届きが挙げられる。そのため、自衛消防団、住民による自衛消防体制の充実・強化を図り、万一の火災に対処できるようにしている。

その他、文化財防火運動、重要伝統的建造物群保存地区の防火体制強化、祭礼行事 等人手の多い機会の火災予防、自主警備の強化をおこなっている。

文化財の防災施設としては、火災通報装置、放水銃、ドレンチャー、消防用水、避雷設備、収蔵庫、防火壁、防火塀などをかなり充実した設備を備えている。

#### (3) 京町家の防火手法の一提案5)

京町家を本来の木造のまま保存し、火災から守るための一方策として水幕方式があるが、その手法に対して実大模型実験により検討がなされた。まず、予備実験として、1. 輻射パネル実験、2. 散水実験、3. 火源の設定実験を行った。

- 1. は防火上弱点部となる格子部材に、木材の着火性の目安となる輻射熱1W/cm²および2W/cm²を与えたときの着火状況と着火時間を観察および測定を行い、表面が水幕により濡れた時、格子裏面からは、10分以内に発火しないことを確認した。
- 2. でドレンチャーヘッドの特性を把握し、噴射角度65度、流量18 1/min (水圧 $1kgf/cm^2$ 時) のヘッドを最適な設置位置として選定した。
- 3. で、市販の円筒状双頭灯油バーナーを上下左右に各2列4連構成の熱源に対して温度特性を調べ、軒先から下方距離200mm、壁面からの水平距離1200mm地点に4連バーナーを設置して火源とすることを決定した。

実大模型実験では、上記予備実験で決定した火源を京町家模型に接近させ、木材の表面温度が260℃(木材の着火危険温度)に達した時点でドレンチャーヘッドを用い、散水を開始し、10分間続けた後、模型の延焼防止効果を検証した。その結果十分延焼拡大防止効果を持つことが分かった。

水幕方式の実用化には、検討課題がある。汚水の混入、水の逆流による水道管の破裂などである。解決策として、配管の地表面埋め込み、逆流防止弁の設置などが考えられている。水幕方式には、設備的な検討の余地が残されており、自動化された散水式水幕設備の設置が望まれる。

#### (4) 伝統的木造建築物の火災感知・消火技術<sup>6)</sup>

実際の火災事例中の旧太田家住宅火災、大恩寺念仏堂火災を通じて、文化財建造物の防火に対する問題点を抽出した。この問題点を基に、文化財建造物の屋根として用いられている植物性屋根、かや、ひわだ、こけらの3種について実大火災実験による感知・消火技術の検討を行った。

植物性屋根を用いた火災実験での屋根は6畳ほどの模型建物の屋根面に1畳ほどの火

 <sup>5)</sup> 吉田正友、岡村義徳:「京町家の防火手法の一提案」、火災、Vol.47、No.4、p.21 (1997)
6) 田村裕之、高橋哲:「伝統的木造建築物の火災感知・消火技術」、火災、Vol.47、No.4、p.25 (1997)

災実験用の屋根材を取り付け、屋根表面には飛び火を想定し炭火を放置した。

かや葺の場合、発煙までは燻焼が続き、炎が上がると風があれば上方へ急速に拡大した。ひわだ葺は燻焼が長時間継続し、下方に向かって延焼拡大した。こけら葺は、同心円状に燻焼が拡大。およそ20分で燻焼が屋根裏へ達し、特に裏面の拡大が速かった。

火災感知について、かやは風向きによりセンサーの反応に差が出た。風上側、無風では、煙感知器が有効だったが、風下側では早期感知が困難。炎センサー、光ファイバー温度計は風向きによらず有効であった。ひわだは総じて火災発見が困難であった。ただし、燻焼中に炎センサーが早く有効に反応し、光ファイバー温度計は、風向きによらず比較的早かった。こけらは炎センサーが風向きによらず有効であった。光ファイバー温度計は、風下側と無風の時有効であったが、小屋裏内の熱電対の温度変化は、早期に捉えられていなかった。

消火については、屋根内部の燃焼をどう消すかが問題である。屋根は水漏れに強い構造のため、水をかけただけでは消火は困難である。かやに噴霧散布をした場合、水では浸透が表面から3~4cmだが、濡れ水では倍の深さ、付着量は2~3倍であった。棒状注水なら、水が深さ20cmほどに達したのに対し、濡れ水は25cmほどに達し、同じ場所に注水し続けると、屋根裏に漏れ出した。ひわだは、噴霧散布で濡れ水は付着量で水の2倍ほど、棒状注水で水圧2.4kg/cm²の時、屋根裏に水が抜けた。こけらは裏面からの噴霧放水を行い、屋根表面へ板の隙間から水が流れ、全面を濡らした。

以上の事例解析および火災実験を通して感知・消火技術について次のように提案している。

感知技術: 屋根表面火災に対しては。小さな炎を検出することと表面の温度変化を捉えることが早期感知につながる。また、建物内部からの火災に対しては煙感知器が有効である。

消火技術 : 火災実験から棒状注水と濡れ水の効果が大きいことが示されており、 屋根表面に棒状注水できる設備が必要である。これに界面活性剤を混入できればさらに 有効である。

#### (5) 高山市三町伝統的建造物郡保存地区の防災計画<sup>7)</sup>

高山の町家の居室は、防火的には十分と言えない程度の壁・建具等で間仕切られている。伝統的な町家建築では正面が戸口のみ開かれた閉鎖的な構えで、建物正面付近で出 火すれば避難が困難となりがちだが、この路地空間は背割りの反対側にも通行できるようになっている。しかし、現代では土地の所有区分に応じ、随所で寸断されている。

初期消火に失敗すれば、短時間で火が回り、延焼させる可能性が大きい。避難や初期消火等を有効に機能させる施策を講じる必要がある。

高山市三町では防災対策事業が進行中で、防火水槽、自衛消防隊用具(50mm可搬ポンプ、消火器箱、ホース箱等)、2号消火栓の整備がなされ、グループ監視自動火災報知システム、防火帯としての土蔵群の修理・白蟻防除、民家の耐震補強が行われている。自衛消防隊用具、2号消火栓は、従前からの発展継承がなされている。グループ監視

<sup>7)</sup> 長谷見雄二: 「高山市三町伝統的建造物郡保存地区の防災計画」、火災、Vol.47、No.4、p.31 (1997)

自動火災報知システムは、煙感知器を配置し、火災信号をケーブルにより各戸にまで伝達し、通報、消火、避難を迅速かつ確実にしようとするものである。

グループ監視自動火災報知システムの本格導入に先立ち、平成7年から1年間、モニターを実施し、また実際の民家を使用して初期火災時の煙流動性状を把握する実験・実測を行った。発報レベルを調整し、出火を確実に把握しながら、非火災報による影響を最小限に食い止める工夫を組み込み、現在導入がなされている。

火災の早期発見により消火設備・施設が零細でも消火できる可能性が高まり、また歴史的建築物や土蔵の焼失・水損を低減できる。そして設置が容易なため、景観を損なう程度が小さくなり、設備への過大な投資も避けられる。

情報ネットワークを構築することで、事故・急病の緊急連絡等、日常生活での活用も可能で、平時からシステムを利用することで、災害時に操作未習熟等で本来の機能を発揮できなくなることを防げる。

情報ネットワークはメンテナンス面、投資面で有利であることからレンタル利用も視野に入れるべきである。

#### (6) 文化財の保存と防火対策の今後8)

日本人は自らの文化に対し淡泊だと言われる。文化財建造物に限定しても、火災に対し無防備なものが多い。一方、西欧では、文化財の価値を「authenticity」(真一性)に求める考え方が一般で、その要件は、「material」(材料)、「design」(形態)、「setting」(配置)、「craftmanship」(技能)の4項目が維持されること。特に材料が元のままであることが重要で、木造の場合は、火災予防に細心の配慮をし、構成部材の生物的劣化を防がなければ、有形文化財の価値を存続させることは困難である。

耐火造りの典型的な英国ウインザー城で火災が発生した際、絵画や家具調度類が焼失し、建築物が耐火的でも内容物を護るにはさらに工夫が必要なことを示唆した。

文化庁が昭和43年に設置され、50年には文化財保護法改正、同庁では、文化財建造物の防災に関する12の通知・通達を発し、防災施設・設備の設置などに関する補助事業を実施し、避雷針、自動火災報知設備、消火栓の3点セットの普及に努めた。文化財保護法第31条では「文化財の管理は所有者自らが行うこと」と明示されているが、3点セットの設置率は約60数%で、文化庁の予算が約8億円と少なく、防災事業は地方自治体の補助、所有者の負担によるところが大きい。

火災に遭った文化財建造物は97%が木造である。火災統計から湿度に関しては、どの場合でも割合はほぼ同じで、風速や季節の変動もあまり受けない。午前中の生活時間帯の出火は少なく、出火から消防機関の覚知までは時間が広範囲に及んでいる。

消防計画作成率、防火管理者選任率は高いものの、自衛消防隊の編成率が低く、隊員の高年齢化が進むなど、不安がある。消防訓練実施率も低くなっており、人手によらない火災予防などの開発、ボランティアや監理専門官の育成などが望まれる。

火災予防については、葺材を難燃化する試みがある。だが、薬剤の耐候性、耐久性、 薬害の心配がある。葺材に潜り込んだ火を消すことは困難で、火勢がつくと全焼にいた りかねない。

<sup>8)</sup> 菅原進一:「文化財の保存と防火対策の今後」、火災、Vol.47、No.4、p.37 (1997)

放火防止には、宗教上の理由で放火されるものについては、宗教行事を分析し予防策 を講じることが大切である。空気管式差動分布型感知器で初期対応に成功した例もある。 また放火に備え、消防機関への通報体制がとられているのは30%にすぎない。

文化財防火対策は国民各個人の防火意識が基本であり、国や自治体はそれをなすために十分に支援する必要がある。その方策の一つとして、文化財や防災について専門的な知識を有する人々を養成する必要がある。防災設備に対しては、早期感知通報および初期消火が基本であり、これを行える高機能な設備が望まれる。木材などを難燃性にする技術は防火対策に有効であるが、適用限界、耐候性、難燃性能などの面でまだまだ十分に利用できる段階でない。最後に全国の文化財防災情報を管理して、ネットワークで参照、活用できるようにすることも重要である。

#### (7) 文化財の火災予防対策の充実に関する調査研究(中間報告書)<sup>9)</sup>

近年の文化財建造物はそれ本来の構造物である神社仏閣などにとどまらず、飲食店、博物館、物品販売業、ホテルなどの特定防火対象物の指定を受けたものも出現してきており、建物用途の多様化が進んでいる状況にある。この事に鑑み多様な文化財建造物の利用実態、美術工芸品を有する施設の構造収蔵状況などについての実態調査、最近の火災事例分析を実施し、文化財建造物の火災予防対策上の問題点の抽出が行われ、中間報告としてまとめられた。この問題点について、建造物に関係あるもののみを抜粋して次に示す。(抜粋部分は斜体)

#### 1) 火災予防対策

- ① 自火報設備はあっても、自動消火設備がほとんどない。
- ② 文化財火災は放火が多いのに、その対策として有効な防犯・監視設備の設置が少ない。
- ③ 来館者に対する火災予防上の対策が不十分である。
- ④ 文化財建造物は水利・水源の確保が不十分である。

## 2) 設備

- ① 文化財として必要な部分に火災感知器等が設置されていない。
- ② 消火設備の設置が少ない。

#### 3) 避難

- ① 文化財であるため防火区画が設定しにくい。
- ② 構造上、避難設備の設置が難しい場合が多い。
- 4) 管理体制および自衛消防体制
- ① 境内などに一般の人が自由に出入りできる場合が多いため、火気管理が難しい。
- ② 人手が少なく、かつ、所有者が高齢化してきており、非常時の迅速な対応ができない。また、近隣との応援体制の構築も難しい。
- ③ 広大な敷地の場合が多く、発災時の迅速な対応が難しい。

#### 5) 制度

① 令別表第一(17)項の重要文化財建造物に指定されると、消防用設備等の設置

<sup>9)</sup> 消防庁予防課:「文化財の火災予防対策の充実に関する調査研究(中間報告書)」、平成 14年3月

が任意となる場合があり、規制が緩和される。

- ② 文化財建造物を活用する場合に、本来必要な設備の設置が任意の判断となる場合がる。
- ③ 消防法、建築基準法、文化財保護法で対応が異なる場合がある。
- ④ 判断基準が統一されていないため、各市町村によって対策がかなり異なる場合が ある。

#### 6) その他

- ① 伝統的建造物保存地区等の防災対策の方法および管理体制が難しい。
- ② 美感上、消防用設備等の設置場所の選択が難しい。

#### 1.4.2 伝統的建造物保存地区の調査<sup>9)</sup>

前述の消防庁予防課が主催する「文化財の火災予防対策の充実に関する調査検討委員会」の中で金沢市にある伝統的建造物保存地区の調査をする機会があり、その中に防火塗料を適用した例が見られたので、ここでもその調査報告を以下に載せることにする。

- (1)調查日 平成13年12月4日
- (2)調查対象物
- 1) 金沢城址公園 五十間長屋群
- 2) 金沢市内 東山地区(伝統的建造物群保存地区)
- 3) 金沢市内 主計町地区 (町並み保存地区)
- (3)調査内容

#### 1)調査概要

文化財建造物などは火災の感知、通報、消火、延焼防止を自動火災報知設備、火災通報装置、消火器、屋内外消火栓、ドレンチャー、放水銃、防火壁などの設備により火災防火対策がなされているが、文化財の最も多い火災原因は放火とされている事実から、難燃処理による方法は防火対策として有効な手段であるにもかかわらず、難燃処理することにより文化的な価値が減じる恐れがあることから、文化財建造物の火災防火対策の1つとして取り入れられていないのが事実である。しかし、金沢市内にある今回調査した文化財対象物は防火塗料による処理がなされているとの事から、この防火塗料による難燃処理がどの程度の外観に影響するものであるのかなどについて特に重点的に調査した。また、調査対象物と同じ処理および未処理の大小屋程度のものに割り箸10本程度を入れ、それにトーチで着火した燃焼比較実験も見学した。

#### 2) 調査対象物の概要及び見学した防火設備

## \* 金沢城址公園 五十間長屋群

明治以降に建てられた木造城郭建築物としては全国最大規模で、大径木の事前調達や 土台石垣の解体、修築を含め、平成10年3月から実に3年4ヶ月をかけて造られている。 3層3階の菱櫓と橋爪門続櫓を2層2階の五十間長屋でつないでおり、これらの建物は、 戦の際に二ノ丸を守るための施設で、石落しや鉄砲狭間となる格子窓、白塗漆喰壁や海 鼠壁で防火構造になっている外壁がその強固さを示している。

<sup>9)</sup> 消防庁予防課:「文化財の火災予防対策の充実に関する調査研究(中間報告書)」、平成14年3月

菱櫓は大手と搦手を見張る物見櫓、橋爪門続櫓は二ノ丸大手の橋爪門枡形を見張る物 見櫓、五十間長屋は武器等の倉庫である。

復元にあたっては、伝統的な木造軸組工法に加え、階段昇降機やエレベーターなどを 設置し、二階まではバリアフリーとなっている。

この建物は、延べ床面積1894.23 m<sup>2</sup>の復元建物で、石川門や三十間長屋と同様、鉛瓦 や海鼠塀が外観の特徴となっている。建物の外観写真を図1.4.2.1に次に示す。

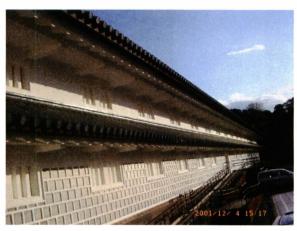


図 1.4.2.1 五十間長屋の外観

防火設備としては、消火栓、消火器、感知器、スプリンクラー、誘導灯等が設置されていた。これらの設備を**図1.4.2.2**に次に示す。



消火栓と消火器



感知器



スプリンクラーヘッド



誘導灯

図 1.4.2.2 五十間長屋で設置されていた防火設備

## \* 金沢市内 東山地区(伝統的建造物群保存地区)

文政年間に造られた茶屋街で、江戸時代は遊廓だったが明治以後も金沢の歓楽街としてにぎわっていたとされ、現在石畳の道や街路灯などが整備され電線が地中に埋められており、古都金沢らしい雰囲気を漂わせている。図1.4.2.3にひがし茶屋街の風景を示す。



図 1.4.2.3 ひがし茶屋街の一風景

防火設備としては、「志摩」内を見学した際に感知器のみを見ることができた。「志摩」 はひがし茶屋街で数少ない内部を見れる茶屋で、金沢市指定文化財となっている。その 写真を「志摩」の外観と共に図1.4.2.4に下記に示す。



志摩



「志摩」内部で見られた感知器

図 1.4.2.4 ひがし茶屋「志摩」の外観と感知器

## \* 金沢市内 主計町地区(町並み保存地区)

浅野川大橋から下流の左岸にある金沢の三つの茶屋街の一つである。北国街道沿いのため明治時代に遊廓がおかれた。現在でも置き屋があったり、町並みが整備され昔のまま残されている。主計町町並みの風景を図1.4.2.5に示す。なお、防火設備等は見ることができなかった。



図 1.4.2.5 主計町茶屋街の一風景

#### 3)調査対象物の難燃処理

調査対象物の難燃処理した部分を数件見学し、処理表面の外観などを観察した。観察結果は大変良好で、ほとんど処理したことが分からないほどで、処理することによるザラザラ感、表面の変色、白色化などは見られなかった。

難燃処理の効果の継続性及び難燃処理による経年変化については、処理した対象物がまだ新しいことも有り、これから数年経過した後に明らかになってくるものと思われるが、処理業者の話によると10年程度は難燃効果は持つだろうとの事であった。



金沢城址公園五十間長屋菱櫓の難燃処理された天井面



金沢市ひがし山保存地区の難燃処理された家屋の外壁



金沢市主計町保存存地区の難燃処理された家屋の外壁

#### 図 1.4.2.6 金沢市の伝統的建造物保存地区内の難燃処理

4) 金沢市の伝統的建造物等の保存政策

\* こまちなみ保存条例

この条例の目的は金沢市に現存する「こまちなみ」を貴重な財産として守り、生活や 経済活動と共存し歴史的な雰囲気を生かしながら町を住みよくする制度である。保存の しくみは次の通りである。

保存区域 : 保存が必要な町並みを区域として指定する。

保存基準: 修理、改築などの場合の町並みの特徴に応じ「一般基準」、「修景基準」、

「保存基準」があり、保存の為の修理や積極的な修景を援助する。な

お、建築棒の改築などの際には市へ届出を行なう。

保存建造物: 区域の特徴を良く留める建物などを所有者の同意により保存する。

\* 伝統的建造物修復支援制度

この制度は外観の修復や内部の改修により、伝統建築の積極的な再生と活用を目指す もので、伝統的な外観を回復するための修復や復元、柱、梁、基礎等主要構造部の補強 などの取り組みを支援する仕組みである。補助を受けることのできる工事には次のよう なものがある。

- ① 外観の修繕 修繕費用の50%以内の額で150万の限度まで
- ② 防災構造の補強 補強費用の50%以内の額で250万の限度まで
- 5) 難燃処理処理木材の燃焼実験

未処理木材及び難燃処理木材で作成した小さな犬小屋程度のものに内部に割り箸10本程度を入れ、それにトーチで着火した燃焼比較実験を見学した。燃焼実験の結果は未処理木材の方はほとんど燃え尽きてしまったが、難燃処理木材は着火材が燃え尽きた後は消えてしまう結果を与え、ある程度の火源までは十分防火効果があることが観察された。



着火前の未処理及び難燃処理小屋

向かって 左 : 未処理小屋

右 : 難燃処理小屋



着火数分後の未処理及び難燃処理小屋

向かって 左 : 未処理小屋

右 : 難燃処理小屋

図 1.3.2.7 未処理木材と難燃処理木材の燃焼比較実験

#### (4) 感想

金沢城址公園の五十間長屋群を見学して、内部に使用されている構造柱が非常に太いものを使用し、また側壁の板厚も厚いものを使用しているため非常に燃え難い構造になっており、さらに防火設備も十分設置されているにもかかわらず、建造物内の側壁や天井には難燃処理がされていることを見ると、金沢市の伝統的建造物に対する防火対策に非常に力を入れていることが伺えた。このことは、東山地区、主計町地区の町並み保存政策にもうかがえるものであるが、こちらの方は現在も人がすんでおり、全体を通して防火政策が徹底することが困難なこと、また、建物と建物がかなり近寄っており、火災が起きた場合容易に燃焼拡大すると感じた。保存地区の住人の理解を得て、外壁材の難燃処理などの防火対策をより一層進めて頂きたいと念じた次第である。

#### 1.4.3 文化財建造物の防火対策のまとめ

ここで調べた文献調査の結果から文化財建造物の火災原因が不明を除く主な火災原因を見てみると放火、飛火、ロケット花火、火の不始末が挙げられる。これらの原因のうち放火を除く火災原因では、火の粉が植物性屋根に落ちて、知らぬ間に内部にもぐり込みある時間を経て火災になるケースが多く見られる。最も効果があるとされる防火対策は、植物性屋根を難燃化することがあげらるが、実際には技術的な問題で適用されていないのが実情であり、そのため、延焼拡大した後の消火設備、消防隊の消火活動のための設備が主な防火対策となっている感がある。また、放火が火災原因の場合は、不特定多数の人々が入り込む文化財建造物では火災を未然に防止する方法は難しく、人々への文化財及び火災防火の知識の啓蒙、近隣住民との連携などが必要である。また、上述したように放火され易い部分を難燃化することによりある程度の火源に対しては、未然に火災を防げる可能性がある。この意味では難燃化は文化財建造物に対する防火対策の最も有効な方法の一つと言える。

ここで、筆者の防火対策の考え方を述べたい。第一は火災を起させないことが重要であり、その対策には現存する防火対策や防災設備の中で次のような対策が挙げられる。

- (1) 日常火気の管理
- (2) 放火防止対策(例えば、防犯設備、ITV設備、防火意識の啓蒙など)
- (3) 雷火の防止 (例えば、避雷針設備など)
- (4) 文化財建造物の防炎化

第二は、火災が起きたとしても初期消火するために必要な設備であり、そのためには 次のような設備が有効である。

- (1) 自動火災報知設備
- (2) 消火器
- (3) ドレンチャー設備、スプリンクラー設備
- (4) 屋内消火栓設備

第三は、初期消火に失敗した場合に、火災をできるだけ区画内に閉じ込めることである。そのために必要な設備は次のようなものが挙げられる。

- (1) 防火壁、防火塀
- (2) 拡大しそうな部分への水の放水

第四は、火災が区画を突破した場合、消防隊の消火活動に頼ることになり、その際に 必要となる設備は次のものが考えられる。

- (1) 屋外消火栓設備
- (2) 動力消防ポンプ
- (3) 放水銃
- (4) 消防用道路
- (5) 消防用水

以上のように、文化財建造物個々にそれぞれ事情が異なるため取れる防火対策、防火設備も異なってくるが、上述に照らし合わせてどの火災フェーズの防火対策あるいは防火設備が不足しているかを調べ、不足の部分を補充するようにすることが重要と考えられる。

## 2 難燃杉材の実規模燃焼実験

最初に1節の文献調査を参考にここで扱う火源を決定するために、火災シナリオを決定 し、その火災シナリオに沿った実大燃焼実験を行い、難燃杉材がどの程度の火源まで燃焼 拡大防止性能を持つかについて実験的に調べた。

#### 2.1 文化財建造物火災の火災シナリオ

文化財建造物の火災原因が不明を除く主な火災原因を見てみると放火、飛火、ロケット 花火、火の不始末が挙げられる。これらの原因のうち放火を除く火災原因では、火の粉が 植物性屋根に落ちて、知らぬ間に内部にもぐり込みある時間を経て火災になるケースが多 く見られる。これらの材料は、屋根材でありここで扱っている杉板材とは異なる。また、 例え、飛火、ロケット花火、火の不始末が杉板材に触れたとしても、これらの火源は火の 粉や小さな火炎が考えられ、これらの火源に対する延焼防止性能は既存の消防法燃焼試験 で十分評価できる。

そこで、放火が火災原因の場合の杉板材料に対する延焼防止性能を評価するための実規 模実験を行った。放火が火災原因の場合、着火場所は一般的に人の居ない所、廊下、外周 部、縁の下などが考えられる。これらの場所では紙くずと石油系燃料の組み合わせが火源 として用いられる可能性が大きいし、火源の大きさも特定できない。

予備実験では、石油系燃料に紙などを浸して着火させた場合、同量の石油系燃料単独よりも発熱速度などは小さくなることが認められた。これは、紙が石油系燃料を覆ってしまうために燃焼面積が小さくなるためと考えられる。

そのため、火源は石油系燃料のみとし、火源の大きさは石油系燃料を入れる円形燃料皿の直径と石油系燃料の量を変化させることで対応した。また、容易に手に入る石油ストーブ燃料の灯油や自動車用燃料のガソリンは成分が多成分であり、発熱速度の較正に用いるための基準物質として、適切な物質とは言い難いために、ガソリン相当とされる単一成分のnーヘプタンを用いることとした。

火源位置としては、壁際に置かれることが多いと考えられるが、着火のし易さの観点から壁と壁が交わる角に置くこととした。さらに、天板があるほうが、より燃焼し易くなることが考えられたために、天板を置くこととした。

以上のことから、ここでは放火により何らかの方法で液体燃料が部屋の角で燃焼した際に、壁に着火し天井に燃焼拡大して火災へと発展する火災シナリオを考えた。

## 2.1 試料

この研究で用いた試料は前報<sup>1)</sup>で用いた同等の材料を使用した。次に木質材料の仕様を示す。

● 木材の種類 : 杉材、板目

● 厚み : **15**mm

● 大きさ : 約 2000mm×150mm×6 枚×2 組(壁材)+1000mm×150mm×

6枚(天板)、図2.2.1参照、また、天板のない場合も行った。

● 前処理 : 約50℃に設定した乾燥機室で2昼夜以上乾燥したものを使用した。



図 2.2.1 ルームコーナ試験室を用いた難燃杉材の燃焼試験用試験体

 $<sup>^{1)}</sup>$  箭内英治: 「文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書 (その  $^{1}$ )」、消防研究所研究資料第  $^{49}$  号、自治省消防庁消防研究所、  $^{1}$   $^{1}$  9 号、自治省消防庁消防研究所、  $^{1}$   $^{2}$  7 年  $^{2}$  月

なお、難燃剤等も前報と同等のものを用いた。種類、処理法等を次に示す。

難燃剤 A : ホウ素系複合難燃剤

難燃剤 B : リン酸グアニジン (耐水性なし)

難燃剤 C : アクリル塩化ビニリデン共重合樹脂 70%、炭酸カルシウム 8%、水酸

化アルミニウム 7%、天然マイカ 11%、増粘剤 0.24%、水 3.76%(耐

水性有り)

## 【難燃処理方法】

難燃剤 A : 実際に寺社に適用している方法で処理をした。詳細については不明。

この難燃剤A処理杉材は両面が処理されていた。

難燃剤 B : 難燃剤 B 50% + 水 50%の溶液を用い、刷毛により表裏面それぞれ 2

回塗布した。塗布量は 150 g/m<sup>2</sup>程度である。

この難燃剤 B 処理杉材は片面のみが処理されていた。

難燃剤 C: 難燃剤 Cの原液を用い、刷毛により表裏面それぞれ 2回塗布した。

塗布量は 250 g/m <sup>2</sup>程度である。

この難燃剤 C 処理杉材は片面のみが処理されていた。

(注) 杉材はこちらで用意し、実際の難燃処理はそれぞれのメーカにお願いした。

#### 2.3 ルームコーナ試験室

#### 2.3.1 実規模燃焼試験室概要

難燃杉材を壁と見立てて、その角に着火源を置きその燃焼性を調べるための施設として、ISO 9705 に規定されているルームコーナ試験室を用いた。その試験室の概要図を図2.3.1 に示す。

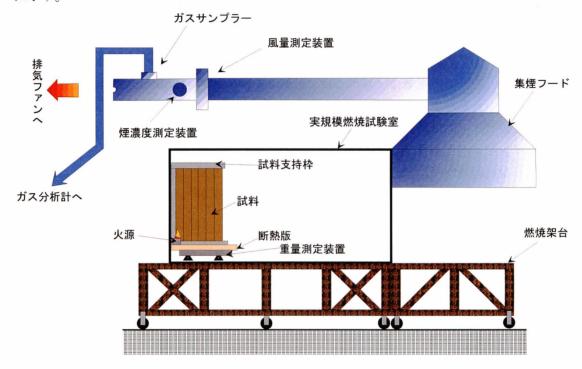


図 2.3.1 ルームコーナ試験室の概要

この実規模燃焼試験室は、内法寸法が、巾 2.4m、奥行き 3.6m、高さ 2.4m で我が国の 5.3 畳の小規模な居室に相当する。前面中央に、巾 0.8m、高さ 2m の開口を設け、単室内部での燃焼時での換気はこの開口を通じて行われる。開口上端にはフードが設置され、開口から噴出した燃焼生成ガスを集煙し、酸素ガスの濃度を連続分析して、酸素消費法による発熱速度、生成ガス発生速度(主として二酸化炭素、一酸化炭素)、煙生成量(光学的煙濃度)が求められる仕組みとなっている。

実規模燃焼試験室の内壁は、珪酸カルシウムボード 25mm を貼り、外壁には、ステンレス鋼板のサイディング 0.6mm との間に断熱材としてグラスウール 100mm を充填した構造となっている。また床面も同様であるが、作業の出入りの耐久性を向上させるために、さらに、ステンレス鋼板敷き、その上に約 10mmの石膏ボードを敷いて実験を行った。しかし、この状態で図 2.2.1 に示した試験体全体が燃える状況になった際に、天井、内壁、床などがボロボロとなり、修復する必要ができたために、それ以後は珪酸カルシウムボードの替わりに、天井は 25mm 厚のセラミックボード、壁面及び火源付近の床は 25mm 厚のセラミックウールを張り実験を行った。

なお、ISO 9705 は、その標題 (内装材のための実大室試験: "Full-Scale room Test for surface products") で判るよう、もっぱら建物の内装材の燃焼性試験を対象とした

試験法である。内装材料の燃焼では、室の隅角部分での燃焼拡大が最も危険性が高い。 そのために試験では、室隅角に着火用のガスバーナー(17cm 角のサンドバーナ)が設置 され、100 k Wが 5 分間、300kw が 5 分間等、試験用の加熱パターンが予め定められ、 この加熱状況下で内装材の燃焼性状、特にフラッシュオーバーの発生の有無が検討の対 象となっている。

#### 2.3.2 排気系及び計測システム

集煙のためのフード、横引きダクトの仕様は、ISO に定められており、フードは、3  $m \times 3 m$ 、及び横引きダクト(直径 20cm、計測部分までの直管部分の長さ 3.5m)の基準を満足している。排煙風量は、基準では、最低  $3.5m^3/sec$ (=12600m3/h)を確保することとされているが、これは、数百 kW から数 MW のフラッシュオーバーに近い燃焼を前提としている。実際は最大で  $2.4 m^3/sec$  しか吸引できなかった。本一連の実験では、排煙機をインバータ制御することによって、燃焼規模に適した状況でフードから外部へ漏れが生じない範囲内で、できるだけ排煙風量を抑えた状況化で実験を実施した。

今回用いた実大規模燃焼試験室には、以下のような計測器が、ISO 9705 を満足すべく設置されている。

## (1) 風量測定用ピトー管

ダクト内中心部に設置し、ダクト内風速を測定することによって、排煙風量を計測するために用いる。高温濃煙による破損目詰まりが生じない、二方向ピトー管 (bidirectional probe) を使用。圧力測定には、ダイヤフラム式圧力変換器 (VALIDYNE 社製 MP45: アンプは KRONE PA501) を使用した。

#### (2) 酸素濃度計

酸素の消費量をもとに、発熱速度を推定するために用いる。集煙フードでは、火災室以外の雰囲気空気をも吸引するため、酸素濃度の変化はかなり低く、精度の高い濃度計であることが必要である。磁気式酸素濃度計(Servomex Xentra 4100、計測レンジ:0%~21%、測定精度:5ppm)を使用した。

## (3) CO/CO2濃度計

不完全燃焼時の酸素消費法の補正及び燃焼生成ガス量の測定。非分散型赤外線ガス分析計 (Fuji Electroric 社製 ZRF 型、測定レンジ: $CO_0 \sim 5/10 \text{ vol}\%$ 、 $CO_2_0 \sim 5/10 \text{ vol}\%$ 、精度は、CO、 $CO_2$  共にフルスケールの 0.5%)を使用した。

#### (4) 煙濃度計

排気ダクトの直径を光路長とする煙濃度計で、煙濃度は光学的濃度として測定される。 また、煙の発生量は、光学的濃度と体積流量の積で求めることができる。

#### (5) 重量測定

本一連の研究では、図 2.3.2 に示すように、重量を測定できるように上皿天秤(ザルトリウス製、FD150IGG-S 型、最大秤量 150kg、読取限度 1g)とその上に重量保護のための断熱板を敷き、さらにその上に試料をセットし試験を行った。火源は試験体の隅角部分にn-nプタン入りの燃焼皿を置き、それに着火させ実験を行った。なお、試料全体が燃焼するような場合はフラッシュオーバーになり重量計が破損する可能性があるために、重量計をセットせずに燃焼実験を行い、重量測定を行わなかった。



図 2.3.2 重量測定系

## (6) その他

上記の他、ISO 9705 では火源からの放射熱を測定するため、放射計 (Medtherm 社製 ガードン型 GTW-12-32) 一台、屋内の温度を測るため、天井面に 6 カ所、また出口近傍に、鉛直方向に、 7 カ所熱電対 (K型) を常設し温度測定を行うこととなっているが、今回はこれらの測定は行わなかった。計測結果は、データロガー(横河社製、DA100)を経由し、PC上に各種計測データ及びそれら計測データより算出した排気流量、発熱速度等を実験中収録及び表示モニターできるようなシステムとなっている。

## 2.4 実規模燃焼実験手順

燃焼実験の手順は次の通りである。

## 2.4.1 実験前の準備

- (1) 排煙機の準備
- 1) 排ガス処理剤の消石灰を約20kg処理槽に加えておく。
- 2) 排煙機を動かせるように起動ボタンを押す。
- (2) 試験体の準備
  - 1) 2 昼夜以上乾燥した試験しようとする杉材を 12 枚、及び天板 1 組を持ってくる。
  - 2) これらの材料を**図 2.2.1** のように、試料支持枠に **12** 枚の杉板をはめ込み、上に 天板を載せ釘で固定する。

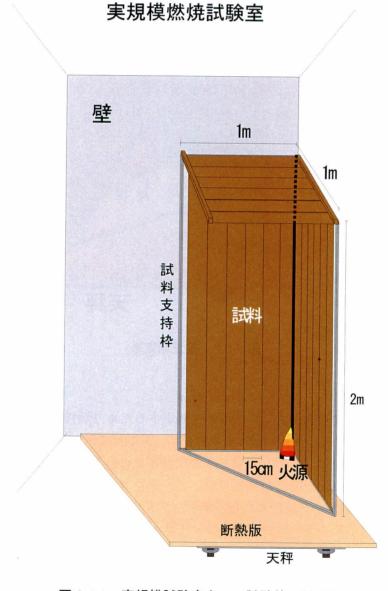


図 2.4.1 実規模試験室内での試験体の設置状況

- 3) 試料表面の水分率を木材水分計 (ケット科学研究所製、HM-520型) で何箇所か 測定し、試験する木材の平均水分率を求める。
- (3) 実験準備
  - 1) CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>ガス濃度計のゼロ、及びスパン調整を行う。
  - 2) 煙濃度計のゼロ、及びスパン調整を行う。
- 3) データロガー用パソコンの電源を入れ、データロガー用のソフトを起動してファイル名、測定間隔等を入力し、測定準備状態とする。
- 4) 重量を測定する場合は、重量測定用のパソコンの電源を入れ、重量測定ソフトを 起動してファイル名、測定間隔等を入力し、測定準備状態とする。
- 5) 重量計保護用の断熱板や燃料用皿、試料支持枠などの試料を除くものを載せた状態で風袋消去を行う。
- 6)(2)で組み上げた試験体を**図 2.4.1**のように、ルームコーナ試験室の向かって右 隅に持ってゆく。
- 7) 火源用燃料の n ヘプタンを、燃焼皿に入れる量をメスシリンダーで量り取り、 蓋をかぶせておく。
- 8) 実験NO.、実験番号、実験者、実験日、天候、特記事項などを実験データシートに記録する。また、実験場の室温及び湿度を読み、これも実験データシートに記録する。

#### 2.4.2 実験手順

実験手順は次の通りである。

- (1) 6分前からタイマーを作動する。
- (2) 5分前にデータロガー、重量測定のスタートを開始する。
- (3) 3分前に排煙装置を起動する。
- (4) 1分前にビデオ記録を開始する。
- (5) 1分前から 10 秒経過ごとにコールを開始し、30 秒前のコール後に(3) 実験準備の7) で用意した規定量の n ヘプタンを燃焼皿に入れる。また、点火棒に火炎を着火しておく。
- (6) 10 秒前から 1 秒経過ごとにコールし、点火のコールと同時に点火棒により燃焼 皿内のn — ヘプタンに着火する。
- (7) 燃焼状況をデジタルカメラで撮影し、その撮影時間を記録する。
- (8) 燃焼が下火になった段階で実験終了とする。
- (9) ビデオ撮影を終了する。
- (10) 重量測定を終了する。
- (11) データロガーは実験終了の合図があった後、10分間記録して終了する。
- (12) ガスサンプリングポンプの電源を切る。

## 2.4.3 実験終了後の手順

実験終了後は次のことを行う。

- (1) 排煙機を止める。
- (2) 試験体の最大炭化長を記録する。天井まで届いている場合は、2m以上とする。
- (3) 試験体の最大炭化幅を記録する。端までいっている場合は 180cm 以上とする。

- (4) 煙濃度計のレンズの汚れを落とす。
- (5) ガスサンプリング部の汚れを落とすと共にフィルターを交換する。
- (6) データロガー、重量測定用のプログラムを終了する。
- (7) データロガーの電源を切る。
- (8) データロガー、重量測定用のパソコンの電源を切る。
- (9) ガス濃度計、煙濃度計の電源を切断する。
- (10) 排煙機の元電源を切る。

## 2.5 実験ケース

## 2.5.1 火源 (φ50mm) の実験ケース

火源直径 50mmの実験ケースを表 2.5.1 に示す。

表 2.5.1 火源直径 50mmの実験ケース

試料NO	試料名	nーへプ タン量 (ml)	燃料の 燃焼時 間(分)	平均水 分率 (%)	試料重 量(kg)	重量測 定の有 無	試料乾 燥の有 無	天板 の有 無
50-1	未処理杉材	10	3.4	48	27.1	有	無	無
50-2	難燃剤A処理杉材	10	4.8	126	32.7	有	無	無
50-3	難燃剤B処理杉材	10	3.5	20	21.3	有	無	無
50-4	難燃剤C処理杉材	10	3.3	20	24.8	有	無	無
50-5	未処理杉材	20	5.1	10	30.6	有	有	有
50-6	難燃剤A処理杉材	20	5.3	29	33.4	有	有	有
50-7	難燃剤B処理杉材	20	5.9	10	27.8	有	有	有
50-8	難燃剤C処理杉材	20	5.5	12	32.1	有	有	有

## 2.5.2 火源 (φ100mm) の実験ケース

火源直径 100mmの実験ケースを表 2.5.2 に示す。

表 2.5.2 火源直径 100mmの実験ケース

試料NO	試料名	nーへプ タン量 (ml)	燃料の 燃焼時 間(分)	平均水 分率 (%)	試料重 量(kg)	重量測 定の有 無	試料乾 燥の有 無	天板 の有 無
100-1	未処理杉材	40	3.8	19	26.4	有	無	無
100-2	難燃剤A処理杉材	40	4.0	60	26.8	有	無	無
100-3	難燃剤B処理杉材	40	3.9	15_	23.7	有	無	無
100-4	難燃剤C処理杉材	40	3.9	18	25.7	有	無	無
100-5	未処理杉材	80	5.2	9	29.5	有	有	有
100-6	難燃剤A処理杉材	80	5.4	11	31.9	有	有	有
100-7	難燃剤B処理杉材	80	5.6	10	30.0	有	有	有
100-8	難燃剤C処理杉材	80	4.9	10	29.6	有	有	有
100-9	未処理杉材	320	1	10	_	無	有	有
100-10	難燃剤A処理杉材	320	17.4	16	_	無	有	有
100-11	難燃剤B処理杉材		20.3	9		無	有	有
100-12	難燃剤C処理杉材	320	25.2	10	_	無	有	有

(注) -: 測定失敗あるいは測定しなかった場合

## 2.5.3 火源 (φ200mm) の実験ケース

火源直径 200mmの実験ケースを表 2.5.3 に示す。

表 2.5.3 火源直径 200mmの実験ケース

試料NO	試料名	nーへプ タン量 (ml)	燃料の 燃焼時 間(分)	平均水 分率 (%)	試料重 量(kg)	重量測 定の有 無	試料乾 燥の有 無	天板 の有 無
200-1	未処理杉材	160	3.5	19	26.0	有	無	無
200-2	難燃剤A処理杉材	160	3.1	77	30.4	有	無	無
200-3	難燃剤B処理杉材	160	3.5	16	22.6	有	無	無
200-4	難燃剤C処理杉材	160	3.4	19	24.5	有	無	無
200-5	未処理杉材	320	3.9	10	29.0	有	有	有
200-6	難燃剤A処理杉材	320	4.3	11	30.2	有	有	有
200-7	難燃剤B処理杉材	320	4.1	9	26.4	有	有	有
200-8	難燃剤C処理杉材	320	4.5	10	30.8	有	有	有
200-9	未処理杉材	500	4.7	11	-	無	有	有
200-10	難燃剤A処理杉材	500	5.1	11	_	無	有	有
200-11	難燃剤B処理杉材	500	4.9	10	_	無	有	有
200-12	難燃剤B処理杉材	500	4.5	9	_	無	有	有
200-13	難燃剤C処理杉材	500	4.2	9	-	無	有	有
200-14	未処理杉材	800	_	11	30.6	無	有	有
200-15		800	7.5	14		無	有	有
200-16	難燃剤B処理杉材		_	10	_	無	有	有
200-17	難燃剤C処理杉材	800	5.2	9	_	無	有	有

(注) -: 測定失敗あるいは測定しなかった場合

## 2.5.4 火源(φ300mm)の実験ケース

火源直径 300mmの実験ケースを表 2.5.4 に示す。

表 2.5.4 火源直径 300mmの実験ケース

試料NO	試料名	nーヘプ タン量 (ml)	燃料の 燃焼時 間(分)	平均水 分率 (%)	試料重 量(kg)	重量測 定の有 無	試料乾 燥の有 無	天板 の有 無
300-1	未処理杉材	360	4.3	17	25.4	有	無	無
300-2	難燃剤A処理杉材	360	3.6	94	30.8	有	無	無
300-3	難燃剤B処理杉材	360	3.7	16	24.6	有	無	無
300-4	難燃剤C処理杉材	360	3.9	15	25.7	有	無	無
300-5	未処理杉材	720	-	29	29.8	有	有	有_
300-6	難燃剤A処理杉材	720	5.7	40	33.7	有	有	有
300-7	難燃剤B処理杉材	720	-	30	28.6	有	有	有
300-8	難燃剤C処理杉材	720	4.9	15	32.0	有	有	有

(注) -: 測定失敗あるいは測定しなかった場合

### 2.6 実規模燃焼実験の結果と考察

未処理杉材、難燃処理杉材の実規模燃焼実験による燃焼性状の詳細な測定結果を付録に載せた。付表、付図の番号は次の通りである。

- ・ 火源直径 50mm から 50mm 刻みで 300mm での実験における試料燃焼重量、炭化長タテ及びヨコ(mm)、測定時間範囲(分)、最大発熱速度(kW)、平均発熱速度(kW)、発熱量(MJ)、最大煙濃度(1/m)、平均煙濃度(1/m)、最大煙発生速度(Cs・m³/s)、果均煙発生速度(Cs・m³/s)、煙発生量(Cs・m³)、最大 CO濃度(ppm)、平均 CO 濃度(ppm)、最大 CO 発生速度(L/s)、平均 CO 発生速度(L/s)、CO 発生量(L) などの測定結果のまとめ(付表 2.6.1~付表 2.6.4)
- 各実験における燃焼状況(付図 2.6.1~付図 2.6.45)
- 各実験における発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(付図 2.6.46 ~付図 2.6.90)

#### 2.6.1 炭化長

燃料厚みが約5mmの直径50mm (n-ヘプタン:10ml)、直径100mm (n-ヘプタン量:40ml)、200mm (n-ヘプタン量:160ml)、300mm (n-ヘプタン量:360ml) での火源直径と最大炭化長の関係を図2.6.1.1 に示す。なお、燃料の平均燃焼時間は3.7分であった。

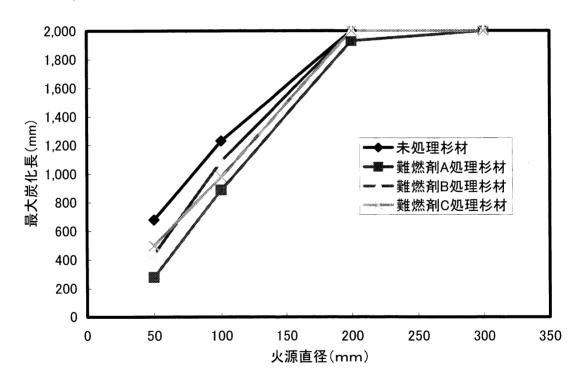


図 2.6.1.1 火源直径と最大炭化長の関係 (燃料厚み:約5mm)

図を見ると、火源直径が 100mm まで未処理杉材の最大炭化長は、難燃処理杉材の それより多少大きいが、火源直径が 200mm 以上になるといずれの材料も最大炭化長は 2000mm を超えて、天板に達している。言い換えると、火源直径が 100mm までは難燃 効果が多少見られるが、火源直径 200mm を超えると、火炎は天板まで達していることになり、天板が容易に燃えるものである場合は、部屋全体火災へと延焼拡大する可能性がでてくる。

火源直径が 100mm まで、難燃剤 A 処理杉剤の最大炭化長が最も小さく難燃効果が 見られる。しかし、他の材料との差は小さく、難燃効果に大きな違いはないと言える。

燃料厚み 5m mの倍の燃料を入れた燃料厚み 10mm(直径 50m m:n·ヘプタン 20ml、直径 100mm:n·ヘプタン 80ml、直径 200mm:n·ヘプタン 320ml、直径 300mm:n·ヘプタン 720ml) の火源直径と最大炭化長の関係を図 2.6.1.2 に示す。なお、燃料の平均燃焼時間は 5 分であった。

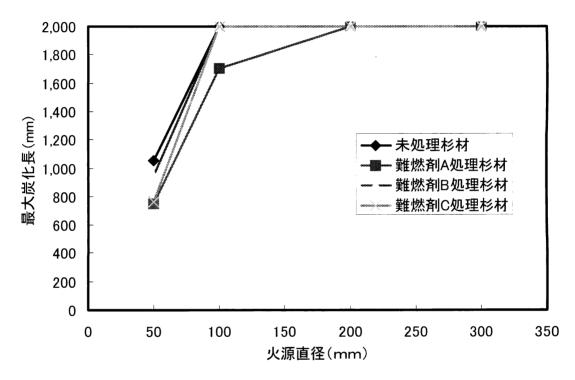


図 2.6.1.2 火源直径と最大炭化長の関係 (燃料厚み:約 10mm)

燃料厚みが約 10mm になると、火源直径が 50mm まで未処理杉材の最大炭化長は、難燃処理杉材のそれより多少大きいがその差は小さい。難燃剤 A 処理杉材(最大炭化長: 1700mm) を除く他の材料は火源直径が 100mm 以上になると最大炭化長は 2000mm を超えて、天板に達している。言い換えると、難燃剤 A 処理杉材を除く難燃処理杉材は火源直径が 50mm までは難燃効果が多少見られるが、火源直径 100mm を超えると、火炎は天板まで達していることになり、天板が容易に燃えるものである場合は、火災へと延焼拡大する可能性がでてくる。難燃剤 A 処理杉材でも火源直径が 200mm 以上になると最大炭化長は 2000mm を超えて、天板に達している。他の難燃処理杉材に比較して難燃効果が顕著に見られるが、この理由として、処理の仕方が他の処理杉材と異なっている可能性がある。すなわち、薬剤付着量が多分に多く付着している可能性が大きい。それは、大気中に保存していた状態で、他の難燃剤 B、C 処理杉材に比較し

て表面がぬるぬるしており、また、水分率も 100%以上となっており、表面にカビのようなものが付着していたものが多かったことからもある程度推測できる。

以上のことから、火炎が天井に達するか達しないかで考察としてみると、燃焼時間 5 分以下の場合、直径 50mm まではいずれの材料も天板までは火炎が達しない。しかし、直径 100mm 以上の火源になると、難燃剤 A 処理杉材を除く、いずれの材料も火炎は2000mm以上になり天板に達してしまう。言い換えると、直径 50mm、燃料燃焼時間 5 分程度の火源に材料がさらされた場合は、ここで用いた杉材の厚み 15mm 程度あれば、未処理、難燃処理にかかわらず火炎は天板に達せず、天板に燃えやすい材料が使用されていたとしても火災拡大の危険性はない。しかし、直径 100mm 以上、燃料燃焼時間 5 分程度の火源に材料がさらされると、未処理杉材、難燃剤 B,C 処理杉材は、火炎は天井に達してしまい、天板に燃えやすい材料が使用されていると火災拡大の危険性がでてくることになる。難燃剤 A 処理杉材は他の材料に比べ最も難燃効果が高く、直径 100mm、燃料燃焼時間 5 分程度の火源に曝されても、火炎は天板まで達しない。火炎が天板まで達するのは、直径 200mm 以上、燃料燃焼時間 5 分程度の火源の場合である。

また、火炎が天井に達しない防火性能と言う観点で見てみると、既存の消防法燃焼 試験法の消防法 45 度燃焼試験での炭化面積が合格基準値に達していれば、ここでの実 規模燃焼実験の結果から、ここで試験した材料については、最低でも直径 50mm、燃料 燃焼時間 5 分程度の火源に絶える防火材料であると言える。

### 2.6.2 最大発熱速度

燃料厚みが約 5mmの直径 50mm (n·ヘプタン:10ml)、直径 100mm (n·ヘプタン量:40ml)、200mm (n·ヘプタン量:160ml)、300mm (n·ヘプタン量:360ml) の火源直径と最大発熱速度の関係を図 2.6.2.1 に示す。

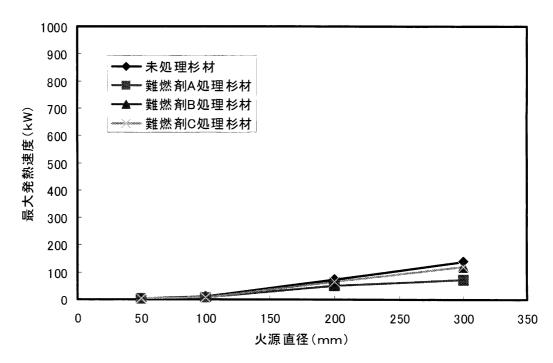


図 2.6.2.1 火源直径と最大発熱速度の関係(燃料厚み:約 5mm)

図を見ると、最大発熱速度はいずれの材料に対しても火源直径の増大に従い、直線的に増加傾向が見られる。難燃処理による違いは小さく。火源直径 300mm で僅かに見られる程度である。また、燃料厚みが約 5mm (燃料の平均燃焼時間 3.7 分)、火源直径 300mm でも最大発熱速度は百数十 k W であり、壁面と同程度以上の防火性能を持つ材料が天板に使用されていれば火炎が天井まで達したとしても火災拡大はしなかった。

燃料厚み 10mm (直径 50m m: n-ヘプタン 20ml、直径 100m m: n-ヘプタン 80ml、直径 200m m: n-ヘプタン 320ml、直径 300m m: n-ヘプタン 720ml) の火源直径と最大発熱速度の関係を図 2.6.2.2 に示す。

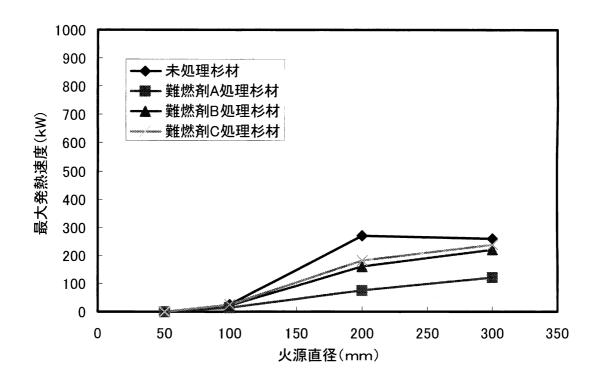


図 2.6.2.2 火源直径と最大発熱速度の関係 (燃料厚み:約 10mm)

図を見ると、燃料厚み 5mm の場合とほぼ同傾向が見られ、最大発熱速度はいずれの材料に対しても火源直径の増大に従い、直線的に増加傾向が見られる。難燃処理の違いは火源直径 200mm 以上で見られ、最も難燃効果が高いのが難燃剤 A 処理杉材、次いで難燃剤 B,C 処理杉材はほぼ同程度である。また、燃料厚みが約 5mm の場合と同様に、燃料厚みが約 10mm (燃料の平均燃焼時間 5 分)、火源直径 300mm でも最大発熱速度は二百数十k W であり、壁面と同程度以上の防火性能を持つ材料が天板に使用されていれば火炎が天井まで達したとしても火災拡大はしなかった。

以上のことから、全面火災に発展するかどうかの観点から見てみると、直径300mm、燃料燃焼時間5分以下程度の火源に、ここで用いた材料が曝されたとしても、未処理、難燃処理杉材に係わらず部屋全体への火災に発展させない程度の防火性能を有することになる。

それでは、どの程度の火源に曝されたら全面火災に発展するかを調べるために、火源直径 100mm、200mm で燃料の n-ヘプタン量を変化させた実験を行った。

火源直径 100mm、200mm で n-ヘプタン量を変化させた場合の n-ヘプタン量と最大発熱速度の関係を図 2.6.2.3、図 2.6.2.4 に示す。

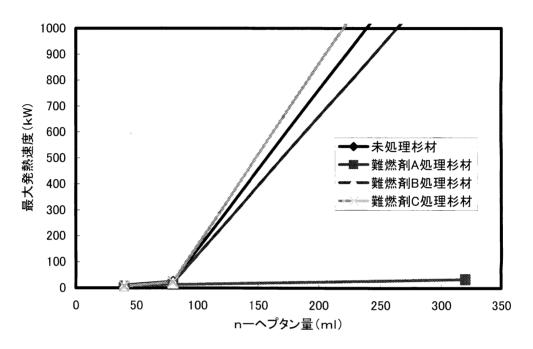


図 2.6.2.3 燃料量と最大発熱速度の関係(火源直径:100mm)

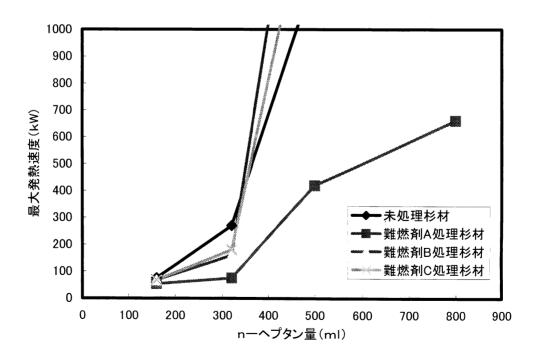


図 2.6.2.4 燃料量と最大発熱速度の関係 (火源直径:200mm)

図を見ると、火源直径 100mm で n·ヘプタン量を 320ml、火源直径 200mm で n·ヘプタン量が 500ml にそれぞれすると、難燃剤 A 処理杉材を除く杉材は最大発熱速度が 1 MW を超えてしまい、全面火災に移行したことを示している。燃焼状況をよく観察すると、難燃処理 B,C 処理杉材は火炎があたっている側の難燃化された部分では火炎のあたった部分が炭化して延焼を防いでいるが、火炎が側壁の裏面に移ると、側壁の裏面から裏側の天板に火炎が移行し、最後には全体へ燃焼が拡大することが観察された。 難燃処理 B,C 処理杉材には裏面には難燃処理が施されておらず、この事が難燃剤 A 処理杉材との大きな違いと考えられる。 難燃剤 A 処理杉材は先にも述べたように、裏面にも難燃処理が施されていることと、処理量が他の難燃処理杉材に比較して薬剤の付着量が多いことが予想されることから最大発熱速度が 1 MW を超えなかった大きな理由と考えられる。

以上のことから、全面火災に発展するかどうかの観点から見てみると、火源直径  $100 \, \mathrm{m} \, \mathrm{m} \, \mathrm{m} \, \mathrm{r}$  つつプタン量を  $320 \, \mathrm{ml}$  、火源直径  $200 \, \mathrm{mm} \, \mathrm{m} \, \mathrm{r}$  つつプタン量  $500 \, \mathrm{ml} \, \mathrm{l}$  と多くして燃焼時間を長くすることにより、難燃剤  $\mathrm{A}$  処理杉材を除く他の杉材は部屋全体火災へとなることが分かった。また、燃焼状況の観察から他の難燃剤  $\mathrm{B}$  、 $\mathrm{C}$  処理杉材でも表面だけの難燃処理でなく、裏面にも難燃処理を施すことにより、難燃剤  $\mathrm{A}$  処理杉材と同様に部屋全体火災への火災拡大を防ぐことが可能であると考えられる。

以上のことを、表の形で表すと表 2.6.2.1となる。

表 2.6.2.1 全面火災に発展するかどうかの観点から見た火源限界

未処理杉材、難燃剤 B, C 処理杉材場合

		火	源直	径(mi	m)
		50	100	200	300
	10	×			
	20	×			
	40		×		
n-ヘプタ	80		×		
ンの燃料	160			×	
量(ml)	320		0	×	
	360				×
	500			0	
	720				×
	800			0	

〇 : 全面火災へと発展 × : 途中で延焼を阻止

難燃剤A処理杉材の場合

		火源直径(mm)							
		50	100	200	300				
	10	×							
	20	×							
	40		×						
n-ヘプタ	80		×						
ンの燃料	160			×					
量(ml)	320		×	×					
里(川川)	360				X				
	500			Δ					
	720				×				
	800			0	•				

〇 : 全面火災へと発展

△ : かなり燃えるが急激な燃焼はない

× : 途中で延焼を阻止

また、既存の消防法の燃焼試験法との関連で考察してみると、消防法 45 度燃焼試験 (ローパーティション) に表面だけでなく、裏面についても合格基準を満たしていると すれば、火源直径 100mmで n-ヘプタン量 320ml、火源直径 200mm で n-ヘプタン量 500ml の火源に曝されたとしても全面火災に発展させない程度の防火性能を持つと言える。

### 2.6.3 難燃処理材の遅延効果

前節の結果から、難燃剤 A 処理杉材を除く難燃処理杉材は火源直径  $100\,\mathrm{mm}\,\mathrm$ 

火源直径 100mm、n-ヘプタン量 320ml の火源における発熱速度の時間変化を図 2.6.3.1 に示す。

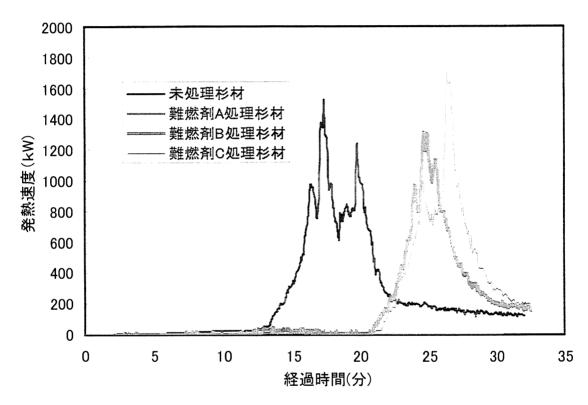


図 2.6.3.1 発熱速度の時間変化(火源直径:100mm、n-ヘプタン量:320ml)

図を見ると、未処理杉材は点火後 13 分頃から急激な燃焼が始まっているのに対し、 難燃剤 B,C 処理杉材はどちらもほぼ点火後 21 分頃から急激な燃焼が開始している。し たがって、火源直径  $100\,\mathrm{mm}$ 、n・ヘプタン量  $320\,\mathrm{ml}$  の火源に対して、難燃剤 B,C 処理杉 材は未処理杉材より急激な燃焼を開始する時間を 8 分ほど遅らせる効果をもつことが 分かる。

次に、火源直径 200mm、n-ヘプタン量 500ml の火源における発熱速度の時間変化 を図 2.6.3.2 に示す。

図を見ると、未処理、難燃処理杉材のいずれも約 1.5 分から急激な燃焼を開始しており、難燃材料の遅延効果は見られない。したがって、火源直径 200mm、n-ヘプタン量 500ml 以上の火源に対しては、ここで行った難燃杉材料は急激な燃焼を遅らせる遅延効

果はもたないといえる。

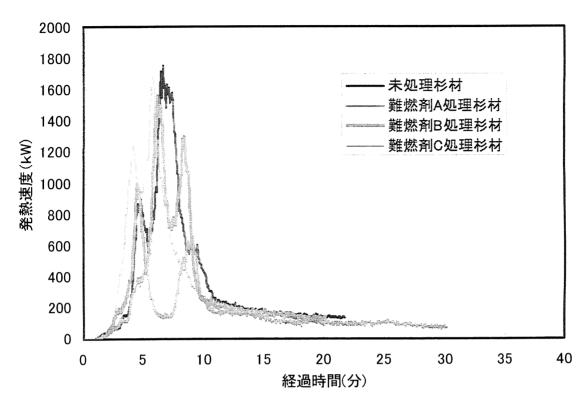


図 2.6.3.2 発熱速度の時間変化(火源直径:200mm、n-ヘプタン量:500ml)

# 2.6.4 最大煙濃度及び最大 CO 濃度

燃料厚み 10mm (直径 50m m: n-ヘプタン 20ml、直径 100m m: n-ヘプタン 80ml、直径 200m m: n-ヘプタン 320ml、直径 300m m: n-ヘプタン 720ml) の火源直径と最大煙速度及び最大 CO 濃度の関係をそれぞれ図 2.6.4.1、図 2.6.4.2 に示す。

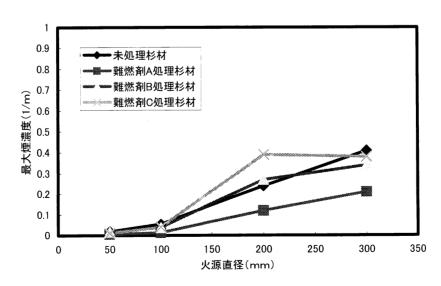


図 2.6.4.1 火源直径と最大煙濃度の関係(燃料厚み:約 10mm)

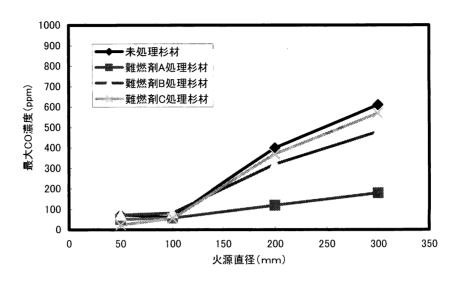


図 2.6.4.2 火源直径と最大 CO 濃度の関係 (燃料厚み:約 10mm)

図を見ると、最大煙濃度及び最大 CO 濃度はいずれの材料に対しても火源直径の増大に従い、直線的な増加傾向が見られる。難燃剤 A 処理杉材は最大煙濃度も最大 CO 濃度のいずれも小さい。これは燃焼量そのものが少ないためと考えられる。その他の難燃剤 B,C 処理杉材は未処理杉材と大きな違いはない。

火源直径 200mm で n-ヘプタン量を変化させた場合の n-ヘプタン量と最大煙濃度と最大 CO 濃度の関係を図 2.6.4.3、図 2.6.4.4 に示す。

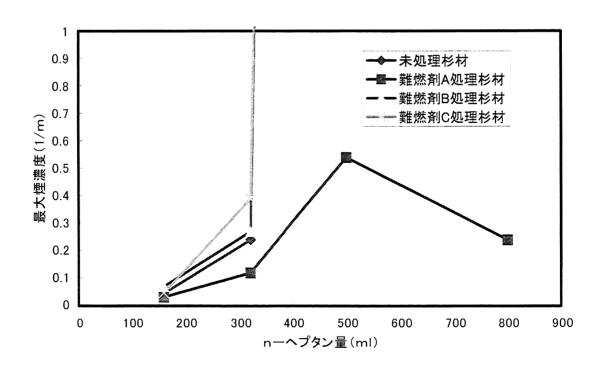


図 2.6.4.3 燃料量と最大煙濃度の関係 (火源直径:200mm)

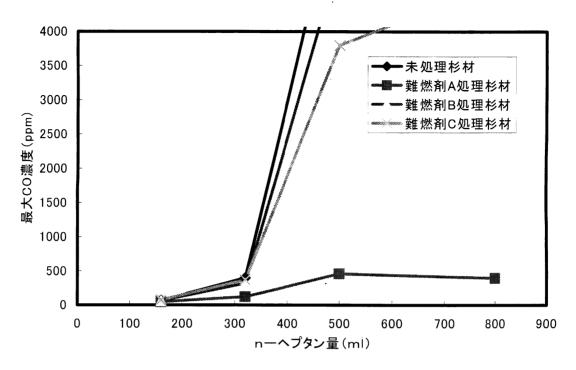


図 2.6.4.4 燃料量と最大 CO 濃度の関係 (火源直径:200mm)

2.6.2 節「最大発熱速度」項でも述べたように、火源直径 200mm で n-ヘプタン量 500ml になると、全面火災へと燃焼拡大することを述べた。最大煙濃度や最大 CO 濃度 についても、n-ヘプタン量が 500ml になれば、最大煙濃度 Cs (1/m) が 1 (反射板標識で見透し距離  $2\sim4m^{10}$ )、最大 CO 濃度で 30 分致死濃度: $4000ppm^{11}$  を超えてしまうことはそれぞれの図から分かる。また、この実大燃焼実験での煙や CO 濃度は発生した排ガスを周囲の空気で希釈して排煙しており、その途中で煙濃度や CO 濃度を測定するためにサンプリングしていることを考慮すると、実際に発生する煙濃度や CO 濃度はかなり高い濃度になることが予想される。そのため、その排ガスに人間が曝された際にはかなり危険になることは想像に難くない。

<sup>10&</sup>lt;sup>)</sup> 日本火災学会編:火災便覧 第3版、共立出版株式会社、p.170 (1997)

<sup>11)</sup> 日本建築学会: 防火材料パンフレット、昭和工業写真印刷所、p.81 (1993)

## 3 まとめ

放火を想定した火源として、ライター程度の火源に比較して大きい火源を用いて、初年度で見出した難燃処理方法で難燃化を行った木質杉材料の実大燃焼実験により、どの程度の火源までこれらの難燃化処理杉木材が火災拡大抑止性能を持つかを調べた。これらの結果の概要は次の通りである。

## 3.1 炭化長

- (1) 直径 50mm、燃料燃焼時間 5 分程度の火源に材料がさらされた場合は、ここで用いた杉材の厚み 15mm 程度あれば、未処理、難燃処理にかかわらず火炎は天板に達せず、天板に燃えやすい材料が使用されていたとしても火災拡大の危険性はない。しかし、直径 100mm 以上、燃料燃焼時間 5 分程度の火源に材料がさらされると、未処理杉材、難燃剤 B, C 処理杉材は、火炎は天井に達してしまい、天板に燃えやすい材料が使用されていると火災拡大の危険性がでてくることになる。
- (2) 難燃剤 A 処理杉材は他の材料に比べ最も難燃効果が高く、直径 100mm、燃料燃焼時間 5 分程度の火源に曝されても、火炎は天板まで達しない。火炎が天板まで達するのは、直径 200mm 以上、燃料燃焼時間 5 分程度の火源の場合である。難燃剤 A 処理杉材は他の難燃処理杉材に比較して難燃効果が顕著に見られるが、この理由として、処理の仕方が他の処理杉材と異なっている可能性がある。すなわち、薬剤付着量が多分に多く付着している可能性が大きい。それは、大気中に保存していた状態で、他の難燃剤 B、C 処理杉材に比較して表面がぬるぬるしており、また、水分率も 100%以上となっており、表面にカビのようなものが付着していたものが多かったことからもある程度推測できる。
- (3) 既存の消防法燃焼試験法の消防法 45 度燃焼試験での炭化面積が合格基準値に達していれば、ここでの実規模燃焼実験の結果から、ここで試験した材料については、 最低でも直径 50mm、燃料燃焼時間 5 分程度の火源以下では火炎が天井まで足しない程度の防火材料であると言える。

#### 3.2 最大発熱速度

- (1) 天板に側壁と同等以上の防火性能を持つ材料が用いられていたと仮定すると、直径 300mm、燃料燃焼時間 5 分以下程度の火源に、ここで用いた材料が曝されたとして も、未処理、難燃処理杉材に係わらず全面火災に発展させない程度の防火性能を有する。
- (2)火源直径100mmでn·ヘプタン量を320ml、火源直径200mmでn·ヘプタン量500ml と多くして燃焼時間を長くすると、難燃剤A処理杉材を除く他の杉材は部屋全体火 災へと発展する。また、燃焼状況の観察から他の難燃剤B、C処理杉材でも表面だ けの難燃処理でなく、裏面にも難燃処理を施すことにより、難燃剤A処理杉材と同 様に部屋全体火災への火災拡大を防ぐことが可能であると考えられる。。
- (3) 消防法 45 度燃焼試験(ローパーティション)の試験により、表面だけでなく、裏面についても合格基準を満たした試験体であれば、火源直径 100mmで n-ヘプタン量 320ml、火源直径 200mm で n-ヘプタン量 500ml の火源に曝されたとしても全面火災に発展させない程度の防火性能を持つ。

## 3.3 難燃処理材の遅延効果

- (1) 火源直径 100mm、n·ヘプタン量 320ml の火源に対して、難燃剤 B,C 処理杉材は 最終的には全面火災へと発展させるが、遅延効果の観点から見てみると、未処理杉 材より急激な燃焼を開始する時間を 8 分ほど遅らせる効果を持つ。
- (2) しかし、火源直径 200mm、n·ヘプタン量 500ml 以上の火源になると、ここで行った難燃杉材料に対しては燃焼を遅らせる遅延効果を持たない。

## 3.4 最大煙濃度と最大 C O 濃度

- (1)燃料厚み 10mm(平均燃焼時間 5分)の火源直径 50mm~300mm までの範囲では、 最大煙濃度及び最大 CO 濃度はいずれの材料に対しても火源直径の増大に従い、直 線的な増加傾向が見られる。難燃剤 A 処理杉材は最大煙濃度も最大 CO 濃度のいず れも小さい。これは燃焼量そのものが少ないためと考えられる。その他の難燃剤 B,C 処理杉材は未処理杉材と大きな違いはない。
- (2)最大煙濃度や最大 CO 濃度は、火源直径 200 m m、n·ヘプタン量が 500 ml になると、 最大煙濃度 Cs (1/m) が 1 (反射板標識で見透し距離 2~4 m<sup>10)</sup>)、最大 CO 濃度で 30 分致死濃度: 4000 pp m<sup>11)</sup> を超える。

<sup>10)</sup> 日本火災学会編:火災便覧 第3版、共立出版株式会社、p.170 (1997)

<sup>11)</sup> 日本建築学会: 防火材料パンフレット、昭和工業写真印刷所、p.81 (1993)

# 4 おわりに

今回の報告で3カ年計画の研究が一応全て終了することになる。初年度が文化財建造物に適応可能な難燃剤の選択、及びその処理直後の防火性能の把握、2年度目が難燃処理木材の経年変化、最終年度の今年度が実大規模年初実験による防火性能の把握を行ってきた。しかし、これらの実験結果はあくまで一例でしかないが、多少なりとも文化財建造物の防火対策の一助となれば幸いである。

付表 2.6.1 実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉材の測定結果のまとめ(火源直径:50mm)

) CO発 生量 (リット ル)	∇α	Ζα	∇α	Ζα	ı	1	ı	_	
平均CO 発生速 (リット/S)	∇α	Ζα	ν σ	Ζα	1	1	ı	ı	
最大CO 発生速 度(リッ トル/s)	σ∇	Ζα	Ζα	Ζα	ı	ı	1	ı	
日本 CO 職 (ppm)	Ζα	Ζα	Ζα	Ζα	ı	ı	1	1	
最大 CO濃 使 (ppm)	γ α	∇α	∇α	∇α	1	ı	ı	1	
<b>煙発生</b> ■ (Cs•m	1	ı	1	ı	Ζα	Ζα	Ζα	Δα	
平均 発生 (Cs·m <sup>3</sup> /s)		ı	1	I	∇α	∇α	∇α	∇α	
最大煙発 生速度 (Cs·m <sup>3</sup> / s)		1	1	1	∇α	∇α	∇α	$\Delta \alpha$	
平均煙 濃度 (1/m)		ı	1	ı	∇α	∇α	Ζα	∇α	
最大煙 濃度) 1/m)	-	ı	ı	ı	Ζα	∇α	∇α	∇α	14
光 画 (MU)	0.46	0.68	0.67	0.37	ı	ı	1	1	限界以下
料均 数速速 (KW)	1.3	1.3	1.2	0.74	ı	ı	ı	1	測定隔
最大発 熱速度 (kW)	3.1	3.2	2.7	2.4	1	ı	ı	ı	ν σ
測定時間範囲 (分)	9 - 0	6 - 0	6 - 0	0 - 8	1	0 - 15	0 - 16	0 - 16	:場合、
读化 版到 (mm)	-	1	ı	ı	120 0	107 0	115	112	なかった場合
<b>渋化</b> 最タテ (mm)	l	280			_				は測定し
試料の 燃焼重 量(kg)	0.036	0.136	0.091	0.027	0.041	0.020	0.031	0.013	定失敗あるい
試料名	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	一 : 測定失敗
記述 NO.	50-1	20-2			20-2			20-8	

実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉材の測定結果のまとめ(火源直径:100mm) 付表 2.6.2

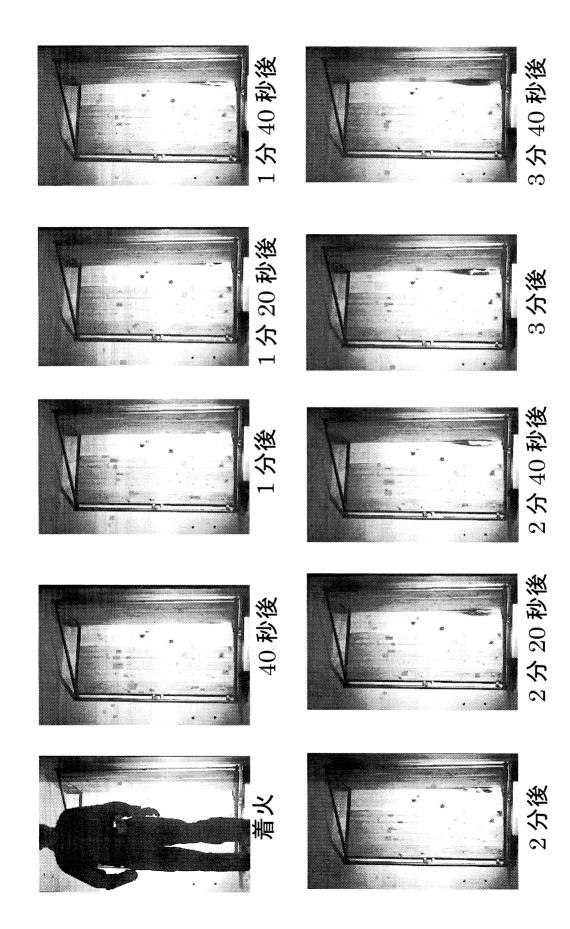
***						_					0		0	0	1
CO発 生量	(E)	(A	η α												
平均CO 発生凍	こ	FJL/s)			ν σ										
最大CO 発生速	度(リッ	FJL/s)	σ∇	ν σ	δα	ν σ	ν σ	Ζα	η α	ν σ	2.2	Ζα	1.9	2.4	
平达 CO議	臣	(mdd)	γα	σ	σ	σ	Ζα	σ	σ	σ	290	Ζα	150	230	
最大 CO濃	度	(mdd)	pα	σ	σ	δα	δΔ	σ	σ	σ	1800	Ζα	1700	2100	
煙発生量	(Cs.m	3)		◁				◁							
平均煙 発生速	度(Cs·	m <sup>3</sup> /s)			Ζα										
最大煙発 生速度	Cs·m <sup>3</sup> /	s)	i	σ	ν	0.026	0.072	<b>γ</b> α	0.046	0.056	29	0.33	1.4	26	
中 本 和 和		(m/I)			νσ										
最大煙		$\overline{}$	ī	Ζα	Ζα	0.02	0.055	Ζα	0.038	0.041	33	0.14	4.	33	
然。		(MO)	1.4	_	1.4	_	3.7	1.9	3.3	3.4	450	=	320	370	界以下
计均条	製 (AM)	(KW)	2.5	1.8	2.2	<del>8</del> .	3.9	2	3.4	3.7	230	6.3	140	150	測定限
最大発音	對3	(KW)	ŀ		9.2						_		_	_	Ξ α ∇
測定時	配へ	(元)	6 - 0	0 - 10	0 - 10	6 - 0	-	0 - 16	0 - 16	ı	0 - 32	1	ı	0 - 40	:場合、
派化	山 山 山 山	(mm)	1	ı	1	1	292	275	415	625 0	>1800	>1800	>1800	>1800	なかっす
派化	トダム~	(mm)	1,230	888	1,090	980	>2000	1700	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	は測定し
試料の	然院里	重(Kg)	0.121	0.096	0.093	0.061	0.329	0.136	0.254	0.256	ı	ı	ı	ı	攻あるい
	試料名		未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	00-12 難燃剤C処理杉材	ー 測定失敗あるいは測定しなかった場
北京	Q		100-1	100-2	100-3	100-4	100-5	100-6	100-7	100-8	100-9	100-10	100-11	100-12	

付表 2.6.3 実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉村の測定結果のまとめ(火源直径:200mm)

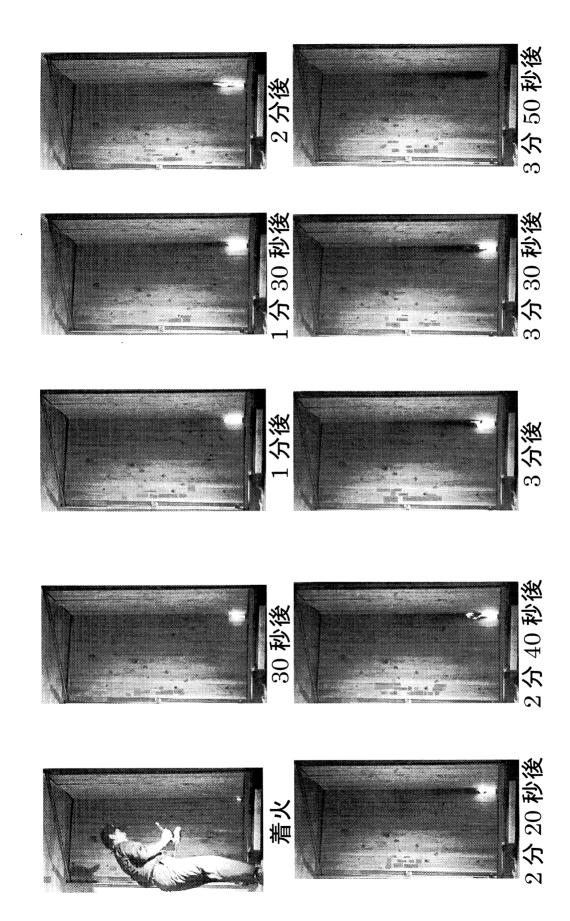
14																			_
「「「「「「「「「「「」」」」」 「「「「「」」」」 「「「「」」」 「「「」」」 「「「」」」 「「「」」」 「「」」 「「」」」 「「」」」 「「」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」 「「」」 「」」 「「」」」 「」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」 「	CO発 生量 (リット ル)	γα	Ζα	Ζα	Ζα	72	21	70	83	1600	630	1200	1300	860	700	1200	260	870	
「「「「「「「「「「」」」」 「「「「」」」 「「「」」」 「「「」」 「「「」」 「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「」」 「「」」 「「」」 「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「「」」 「」」 「「」」 「」」 「「」」 「」」 「」」 「「」」 「」」 「」 「	平均CO 発生速 度(リッ トル/s)	γα	Ζα	Ζα	Ζα	0.082	0.022	0.078	0.093	0.64	0.35	0.77	=	99.0	0.39	0.86	0.46	0.71	
京井台   京井台   京井台   旅島   京大   京大   京大   京大   京大   京大   京大   京		ησ	γα	γα	γα	0.47	0.15	0.4	0.43	4.3	0.78	5.3	5.3	2.8	0.7	5.8	2.3	4.3	
「記料の   一部   一部   一部   一部   一部   一部   一部   一		γα	η α	Ζα	Ζα	69	18	63	78	830	180	810	940	240	220	730	320	580	
試験   11   11   12   13   14   15   15   15   15   15   15   15	最大 CO濃 度 (ppm)	η α	ζ	Ζα	ζ	400	120	320	370	2800	400	7300	4100	6200	460	5100	1700	3800	
試料名	1BH ()											•	٠.						
試料の   一部	平均煙 発生速 度(Cs・ m <sup>3</sup> /s)	0.037	0.018	0.032	0.034	0.076	0.047	0.067	0.12	0.22	0.18	2.9	2.7	1.3	0.15	=	0.56	1.3	
試料名		0.062	0.038	0.091	0.056	0.3	0.15	0.32	0.49	1.6	0.45	27	41	33	0.076	27	31	45	
試料の		0.03	0.015	0.025	0.027	0.063	0.038	0.055	0.099	0.31	0.097	က	2.5	1.2	0.087	4.	0.59	1.2	
試料名		0.045	0.032	0.07	0.047	0.24	0.12	0.27	0.39	6.	0.24	33	33	33	0.54	33	33	33	
試料の   炭化   炭化   炭化   対応時   最大発   平本   上上   大阪   大阪   大阪   上上   上上   上上   上上		8	5.9	7.5	8	27	Ξ	19	25	490	210	470	450	470	270	460	420	410	界以下
試料の	平均発 熱速度 (kW)	9.4	7.4	9.1	9.9	31	12	21	28	200	110	300	390	360	150	330	350	330	
試料名		75	53	67	67	270	75	160	180	1200	420	2100	1600	1800	099	1700	1600	1600	
報	測定時 間範囲 (分)	0 - 14	0 - 13	0 - 14	0 - 13	0 - 15	0 - 15	0 - 15	0 - 15	0 - 40	0 - 30	0 - 26	0 - 19	0 - 22	0 - 30	0 - 23	0 - 20	0 - 20	場合、
報	炭化 東ヨコ (mm)	-	ı	400	395	>1800	1529	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800	>1800	なかった
報	炭化 最タテ (mm)	>2000	1930	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	は測定し
報	試料の 燃焼重 量(kg)	0.405	0.317	0.385	0.355	2.167	0.691	1.467	1.891	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	ı	なあるいに
0-264667		未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤  S処理杉材	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	<ul><li>一 : 測定失則</li></ul>
	凯料 NO.	200-1	200-2	200-3	200-4	200-5	200-6	200-7	200-8	200-9	200-10	200-11	200-12	200-13	200-14	200-15	200-16	7	

付表 2.6.4 実大規模燃焼実験による未処理、難燃処理杉村の測定結果のまとめ(火源直径:300mm)

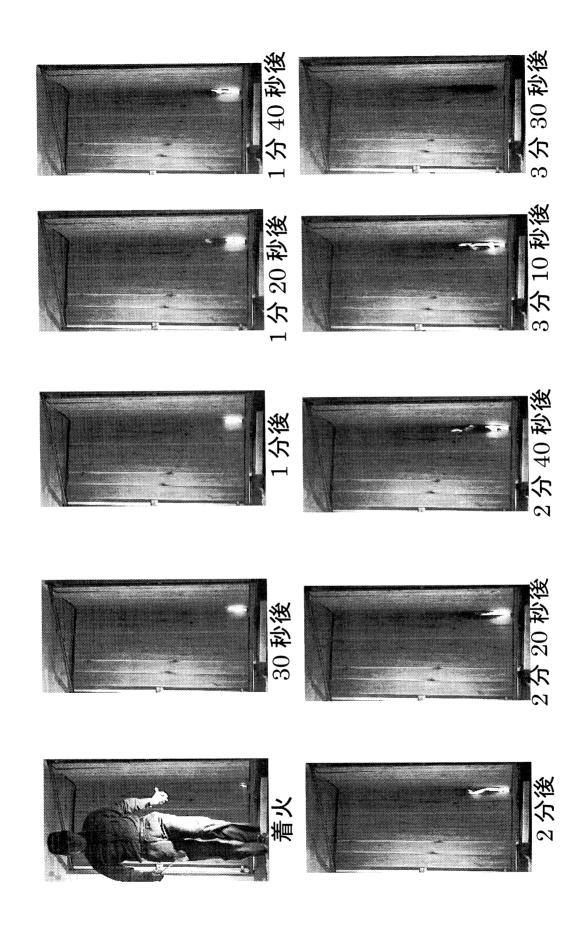
	-			~~	$\overline{}$	٠.	_	$\overline{}$	ı
CO発 仕量 (ブット ル)		δα							
平均CO 発生速 度(リッ トル/s)		∇α							
最大CO 発生速 度(リッ トル/s)	0.27	Ζα	σ	0.16	0.71	0.23	0.53	0.64	
平均 CO濃 度 (ppm)	24	ν σ	σ	27	150	53	6	130	
最大 CO濃 度 (ppm)	220	Ζα	Ζα	130	610	180	480	270	
煙発生 量 (Cs·m	9.6	Ζα		25		•			
平均煙  煙 発生速 度(Cs・(Cm³/s)	0.011	Ζα	0.0048	0.029	0.12	0.11	0.1	0.17	
最大煙発 生速度 (Cs·m³/ s)	0.028	Ζα	0.026	0.12	0.47	0.29	0.4	0.4	
平均煙 濃度 (1/m)	0.0089	V Ω	0.0039	0.023	0.1	0.086	0.09	0.14	
最大權 濃度) 1/m)	0.024	δΔ	0.02	0.09	0.41	0.21	0.34	0.38	
然 	19	12	91	17	09	28	47	48	に服界以下
計 数 数 (KW)	22	4	20	20	42	29	37	51	測定限
最大発 熱速度 (kW)	140	74	120	120	260	120	220	240	γα:
測定時間範囲 (分)	0 - 14	0 - 14	0 - 14	-	0 - 24	0 - 16	0 - 21	0 - 18	:場合、
版化 版出 (mm)	595 0	552 0	582 0	0 009	>1800	>1800		>1800	なかっす
	>2000			>2000		>2000	>2000	>2000	は測定し
試料の 燃焼重 量(kg)	1.085	0.632	0.865	0.873	4.609	1.649	3.949	3.688	定失敗あるい
試料名	未処理杉材	難燃剤A処理杉材	難燃剤B処理杉材	難燃剤C処理杉材	未処理杉材	難燃剤A処理杉材		難煥	赢
記載 NO.	300-1	300-2			300-5				



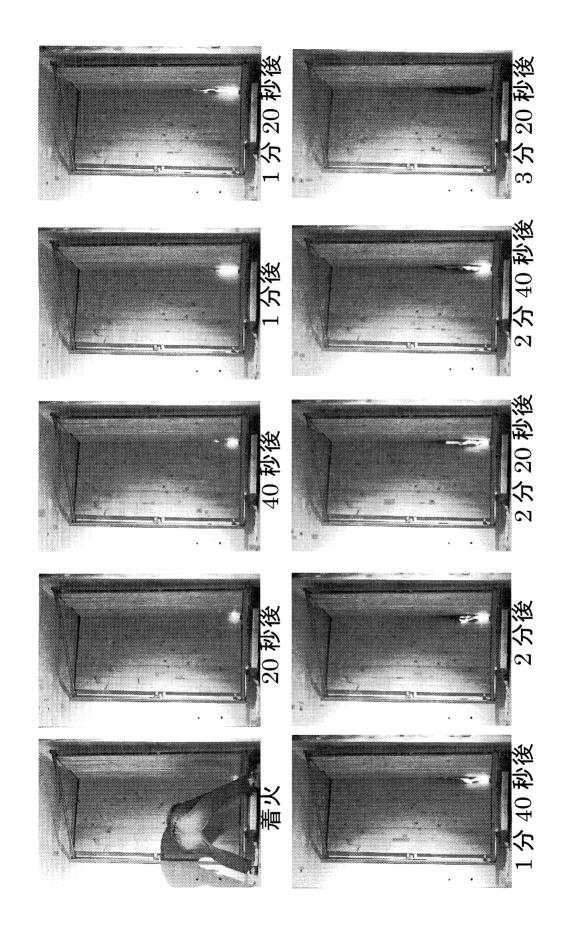
付図 2.6.1 未処理杉村の燃焼状況(実験 No.: 50-1、火源直径: 5cm、n-ヘプタン: 10ml)



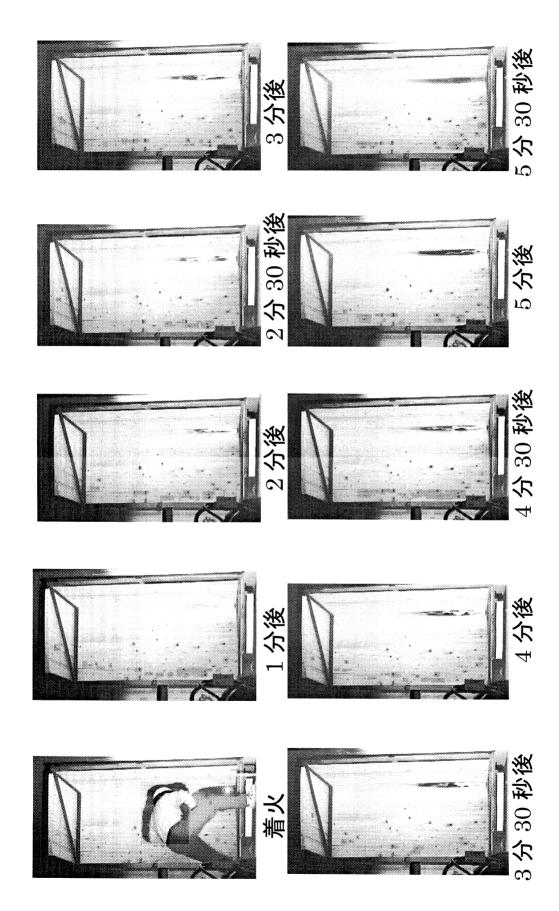
付図 2.6.2 難燃剤 A 処理杉村の燃焼状況(実験 No.:50-2、火源直径:5cm、n-ヘプタン:10ml)



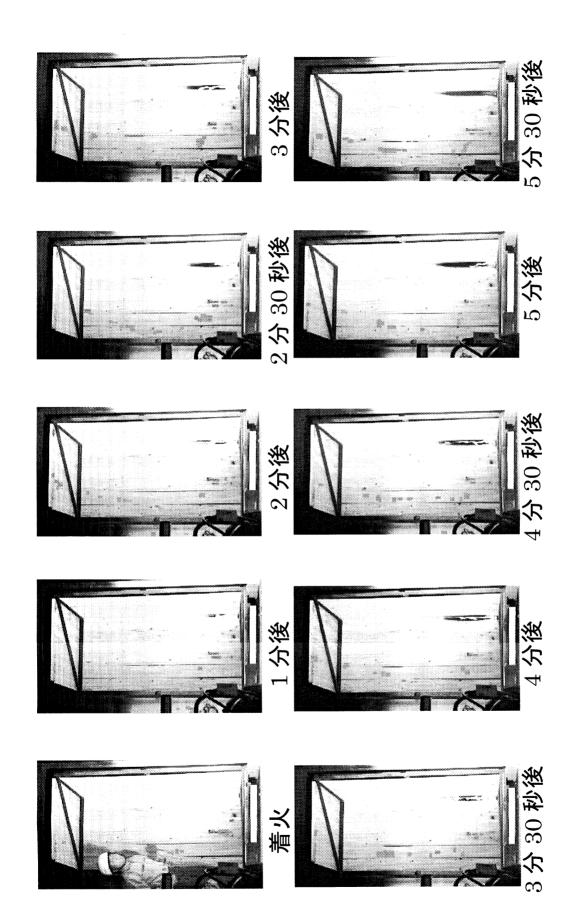
付図 2.6.3 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:50-3、火源直径:5cm、n·ヘプタン:10ml)



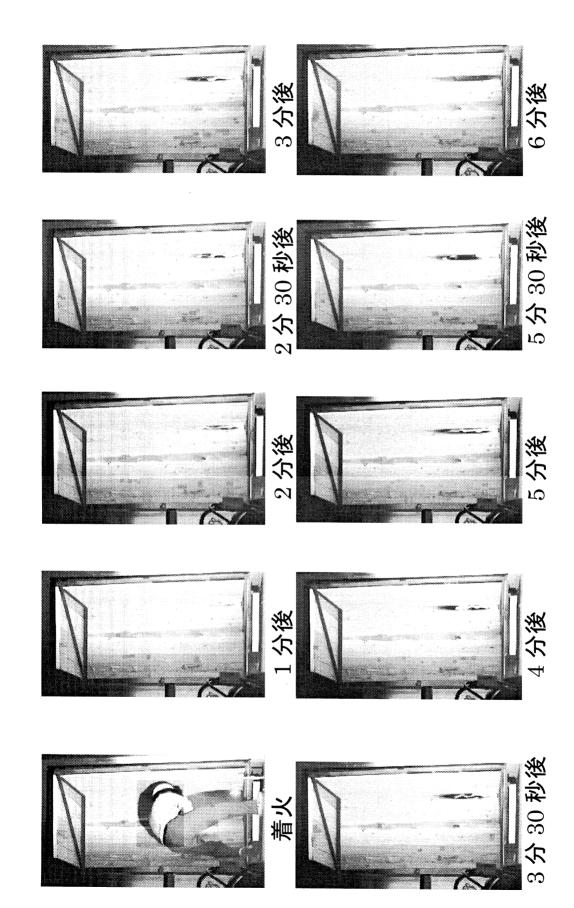
付図 2.6.4 難燃剤 C 処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 50-4、火源直径:5cm、n-ヘプタン:10ml)



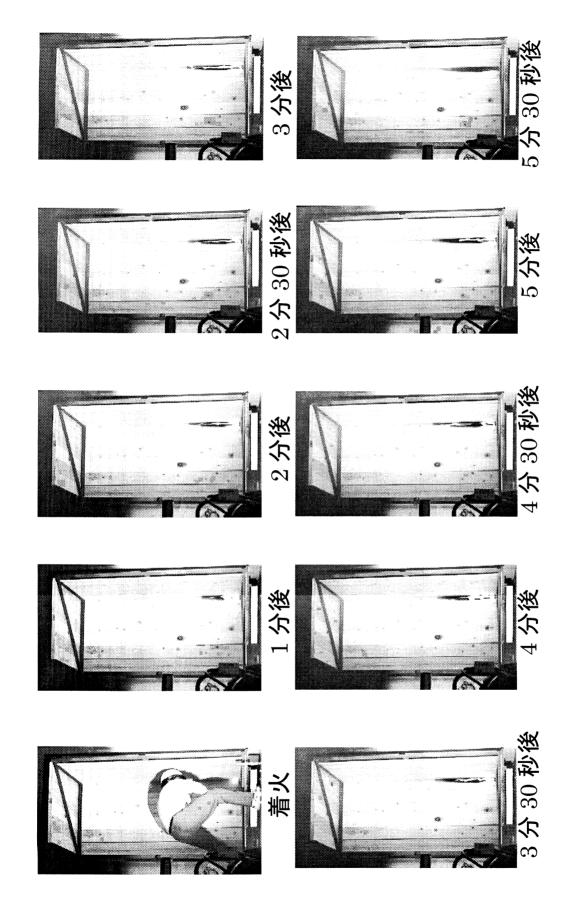
付図 2.6.5 未処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 50-5、火源直径:5cm、n-ヘプタン:20ml)



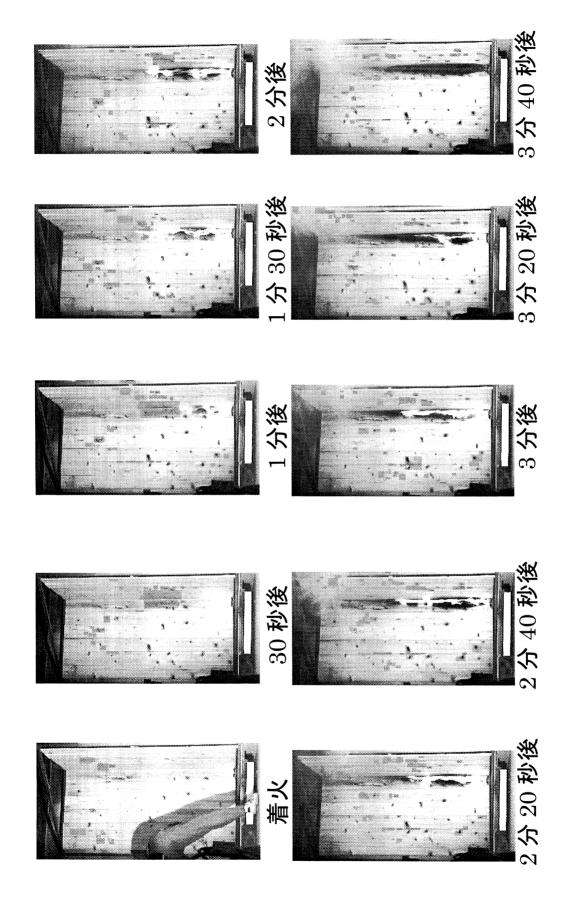
付図 2.6.6 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 50-6、火源直径: 5cm、n-ヘプタン:20ml)



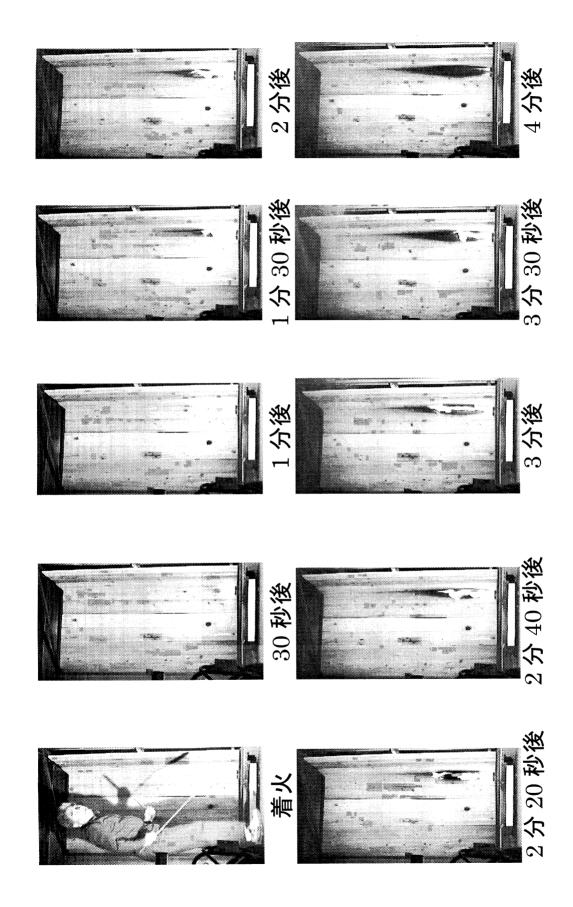
付図 2.6.7 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 50-7、火源直径: 5cm、n-ヘプタン:20ml)



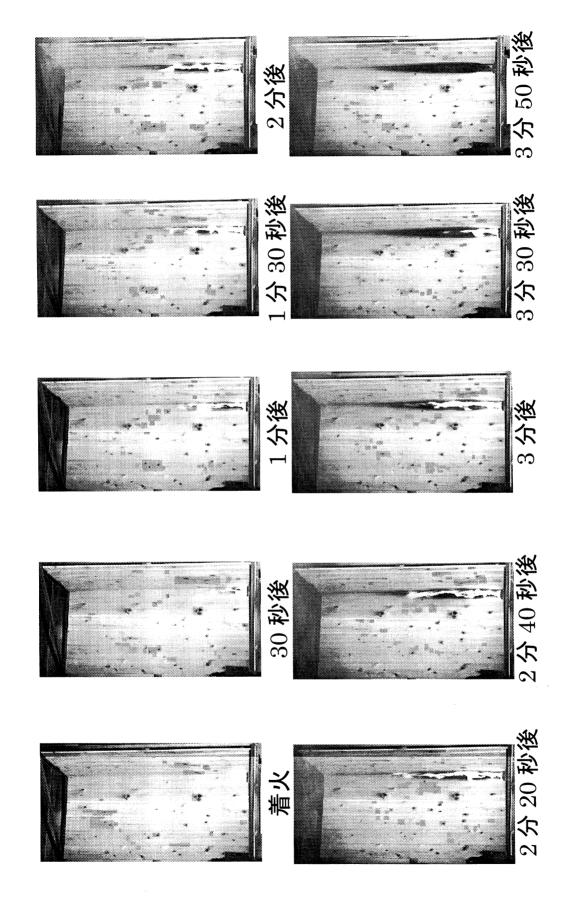
付図 2.6.8 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 50·8、火源直径: 5cm、n·ヘプタン:20ml)



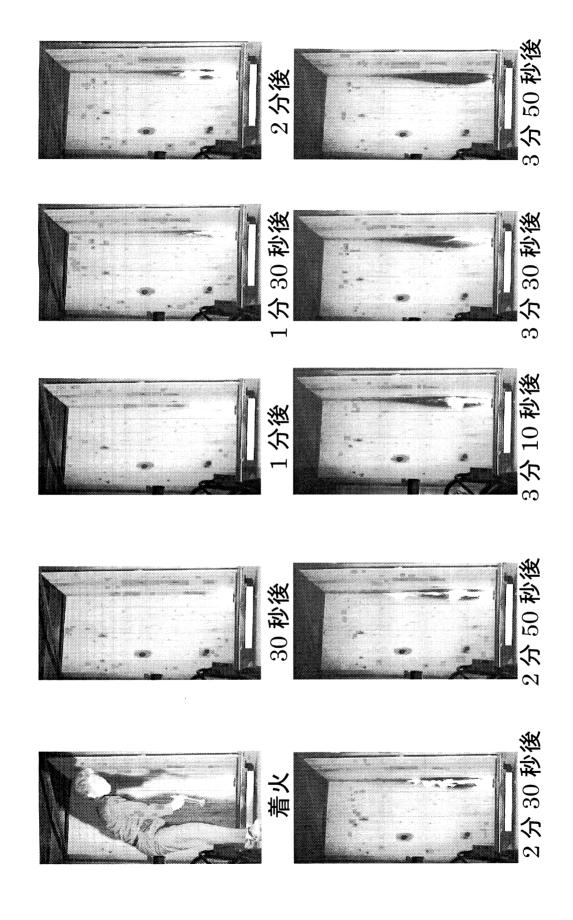
付図 2.6.9 未処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 100-1、火源直径:10cm、n-ヘプタン:40ml)



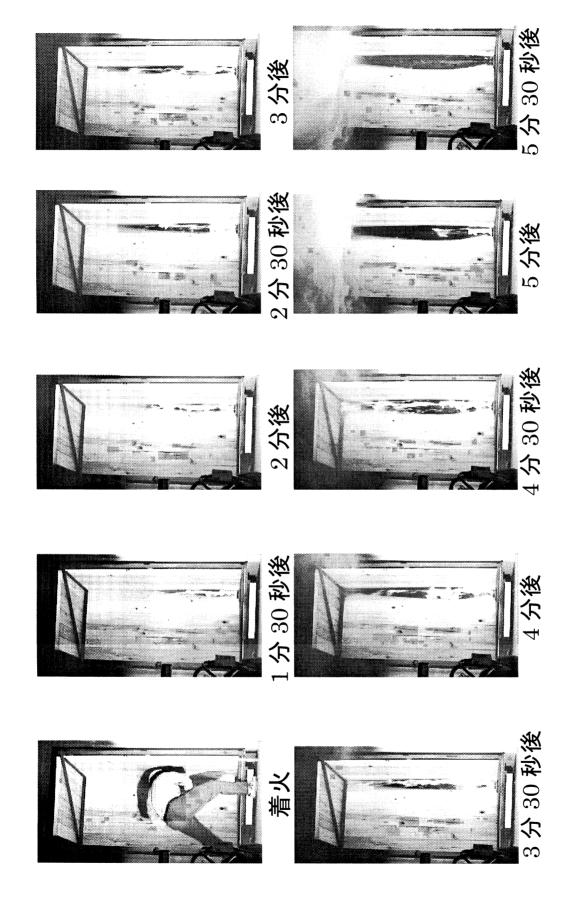
付図 2.6.10 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-2、火源直径:10cm、n-ヘプタン:40ml)



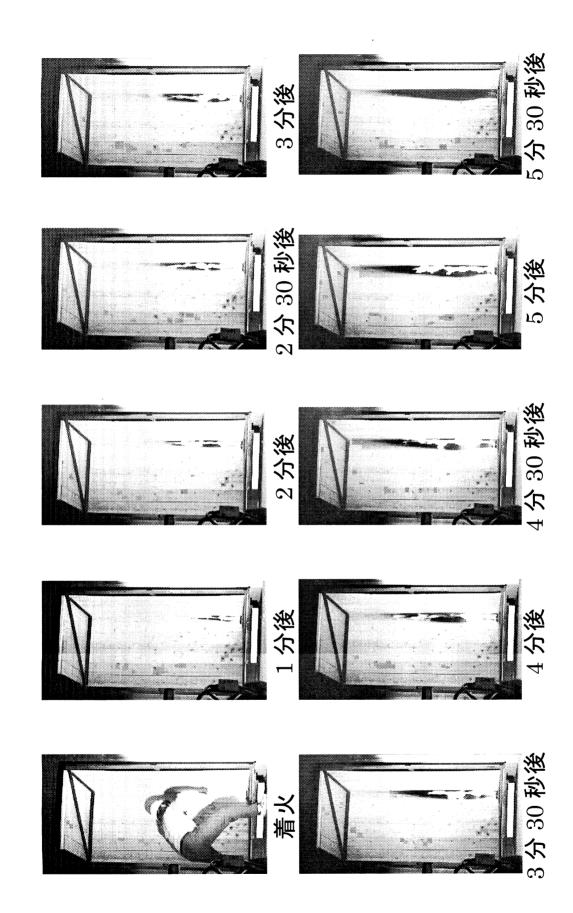
付図 2.6.11 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:100-3、火源直径:10cm、n-ヘプタン:40ml)



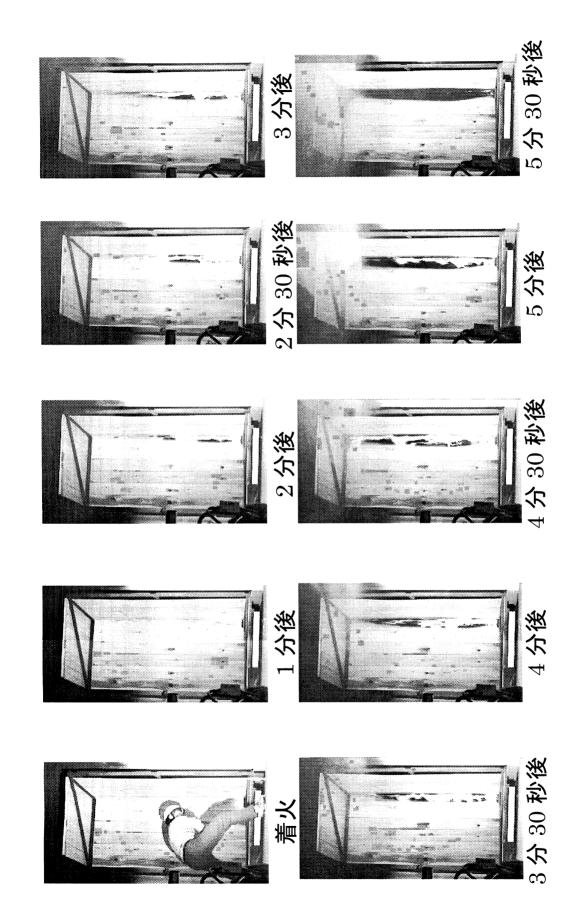
付図 2.6.12 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-4、火源直径:10cm、n-ヘプタン:40ml)



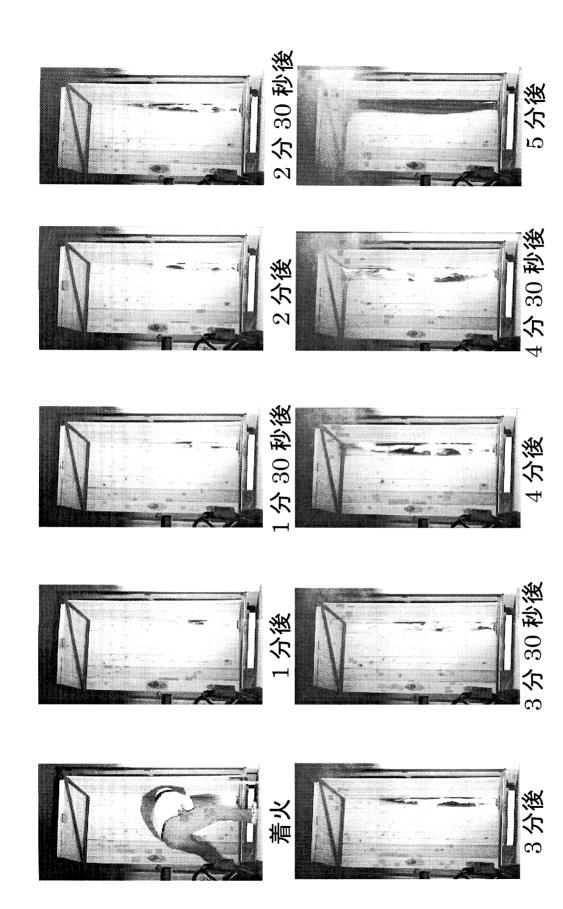
付図 2.6.13 未処理を材の燃焼状況 (実験 No.: 100·5、火源直径: 10cm、n·ヘプタン:80ml)



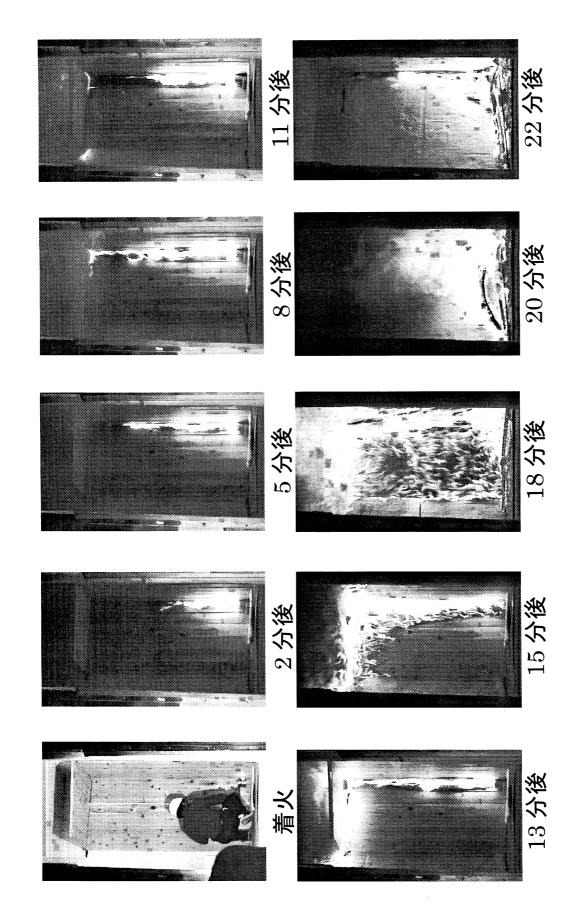
付図 2.6.14 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:100-6、火源直径:10cm、n-ヘプタン:80ml)



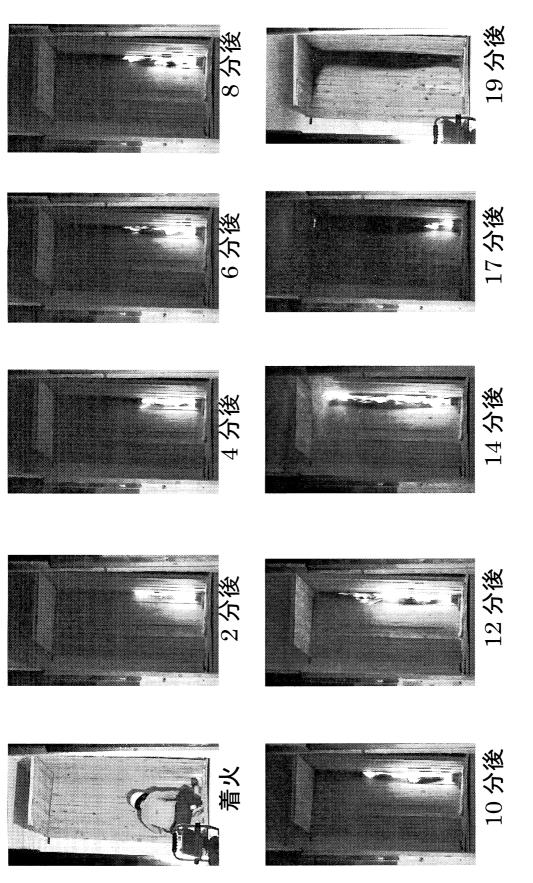
難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-7、火源直径:10cm、n-ヘプタン:80ml) 付図 2.6.15



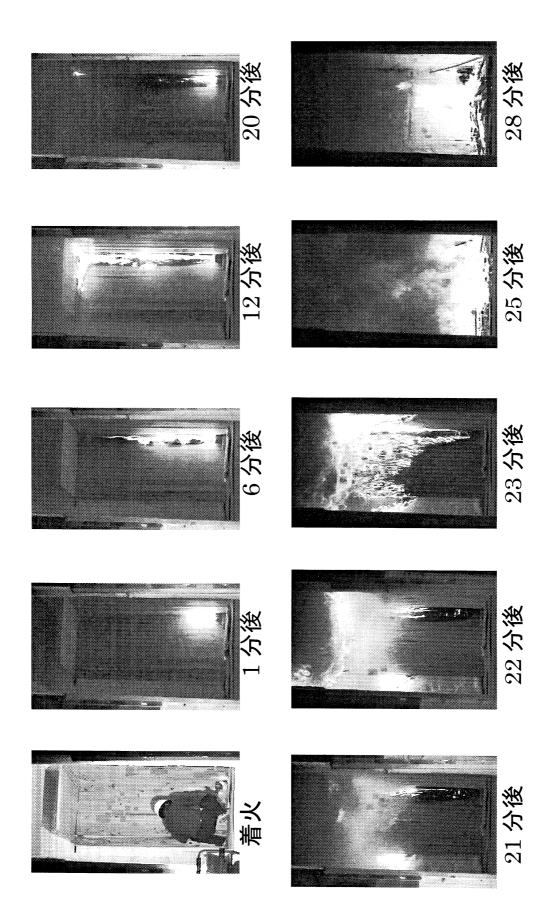
付図 2.6.16 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-8、火源直径:10cm、n-ヘプタン:80ml)



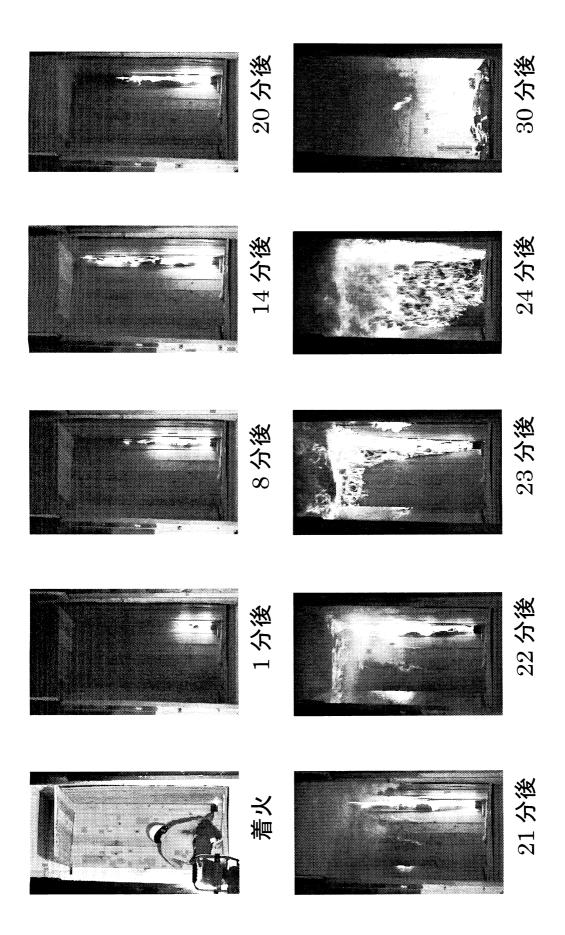
付図 2.6.17 未処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 100-9、火源直径: 10cm、n·ヘプタン:320ml)



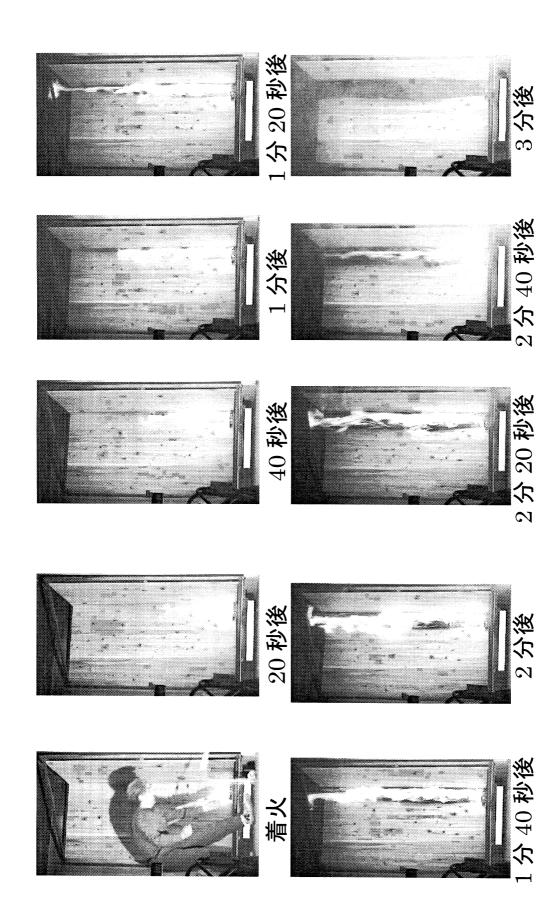
付図 2.6.18 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-10、火源直径:10cm、n·ヘプタン:320ml)



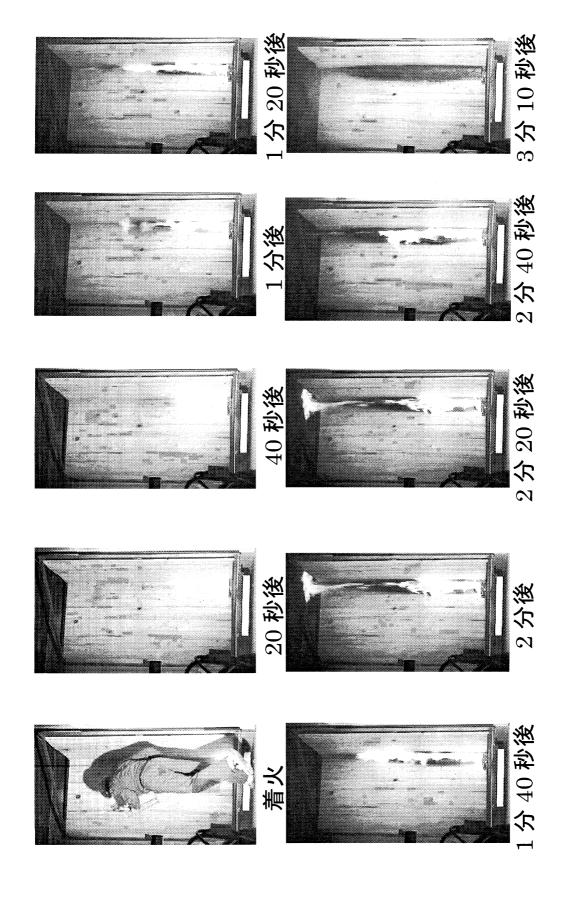
付図 2.6.19 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 100-11、火源直径:10cm、n-ヘプタン:320ml)



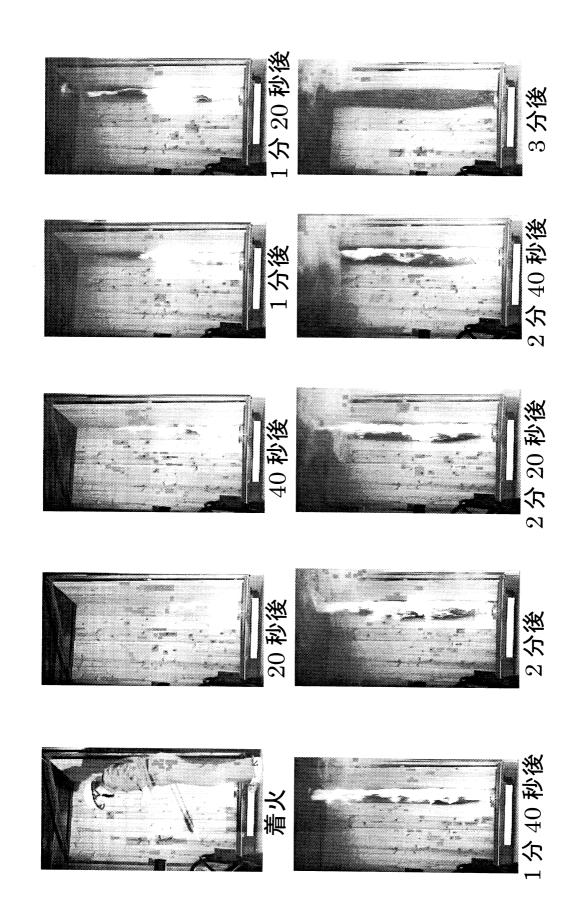
付図 2.6.20 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 100-12、火源直径: 10cm、n-ヘプタン:320ml)



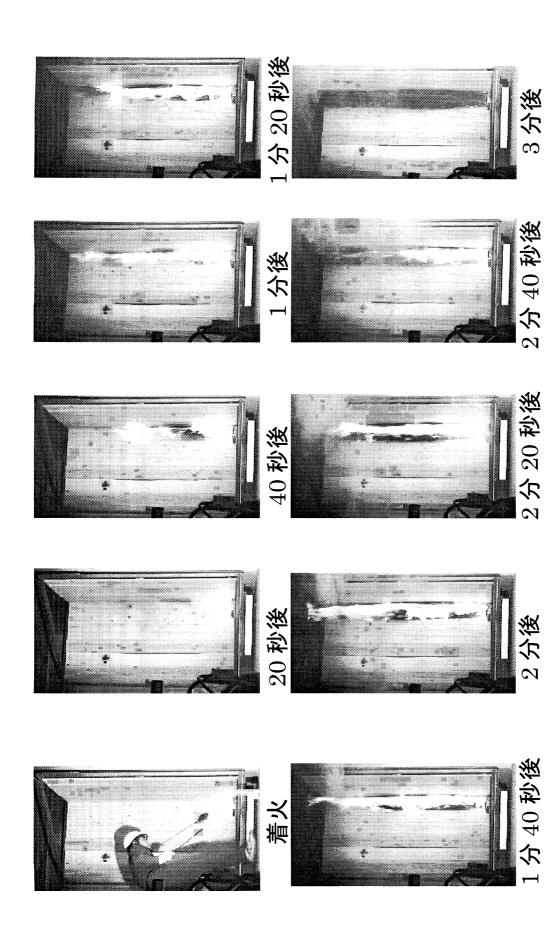
付図 2.6.21 未処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 200-1、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 160ml)



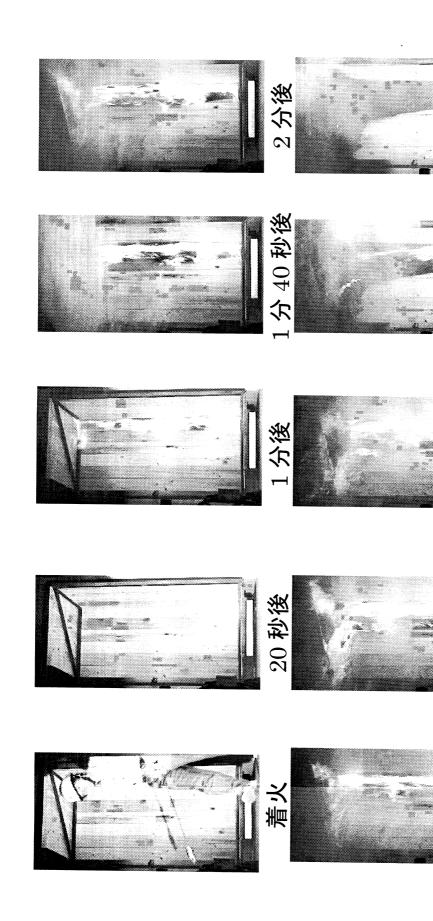
付図 2.6.22 難燃剤 A 処理を材の燃焼状況(実験 No.:200-2、火源直径:20cm、n-ヘプタン 160ml)



付図 2.6.23 難燃剤 B 処理杉村の燃焼状況(実験 No.:200·3、火源直径:20cm、n·ヘプタン 160ml)



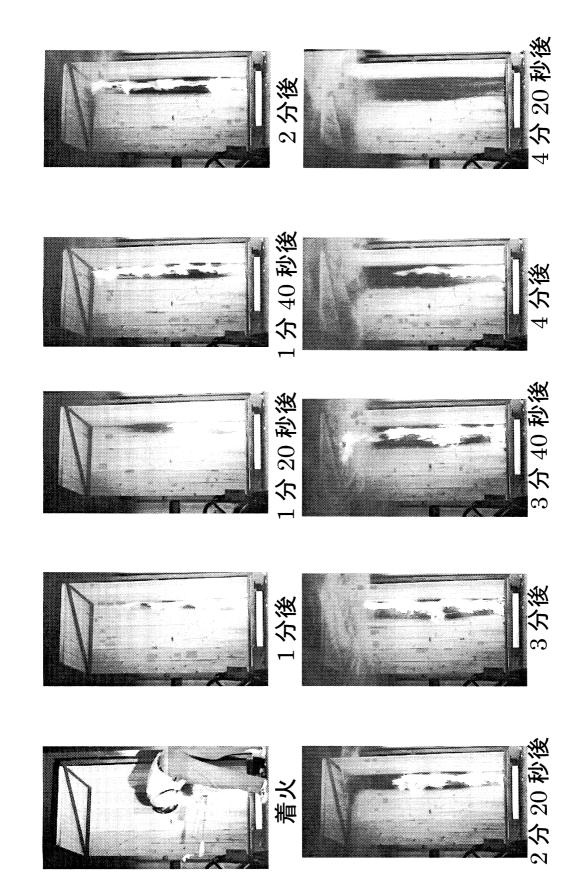
付図 2.6.24 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-4、火源直径:20cm、n·ヘプタン 160ml)



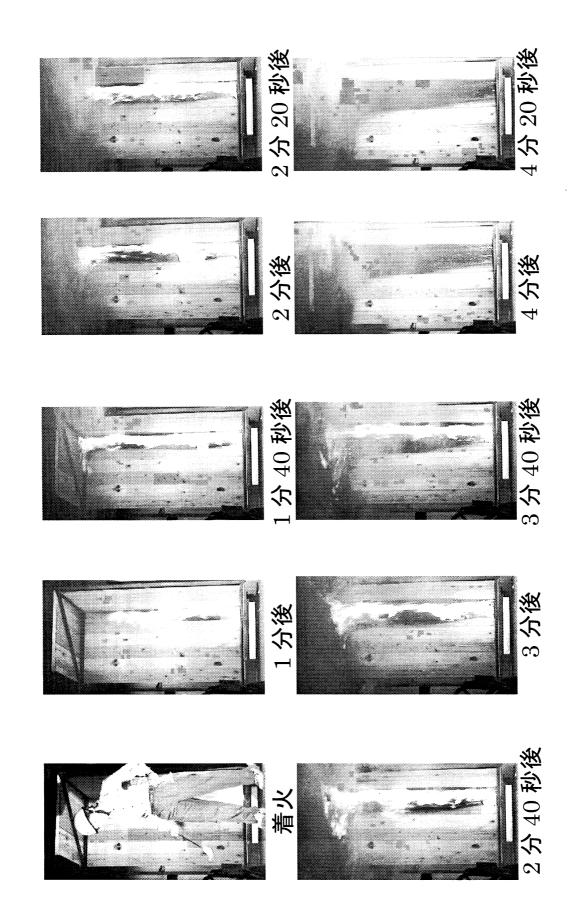
付図 2.6.25 未処理杉村の燃焼状況(実験 No.: 200-5、火源直径:20cm、n-ヘプタン 320ml)

2分20秒後

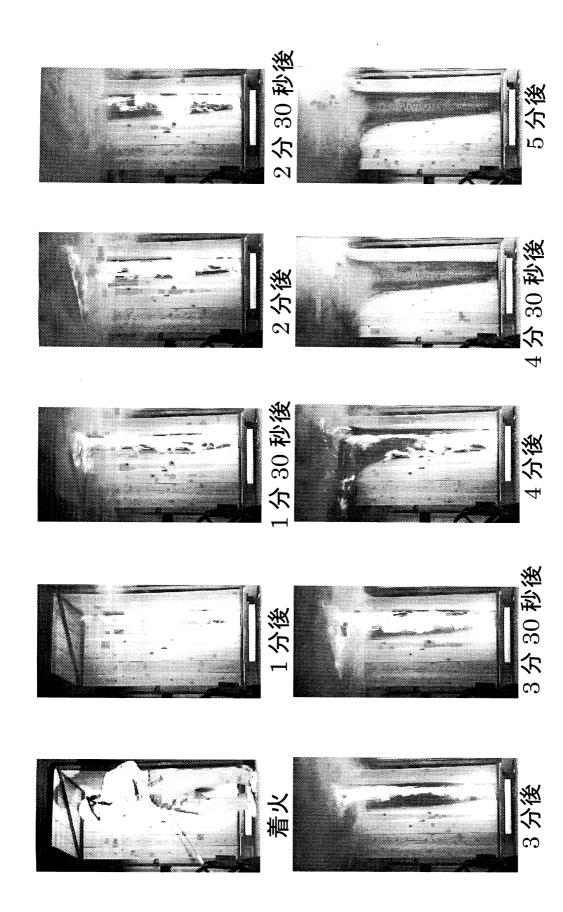
4 分後



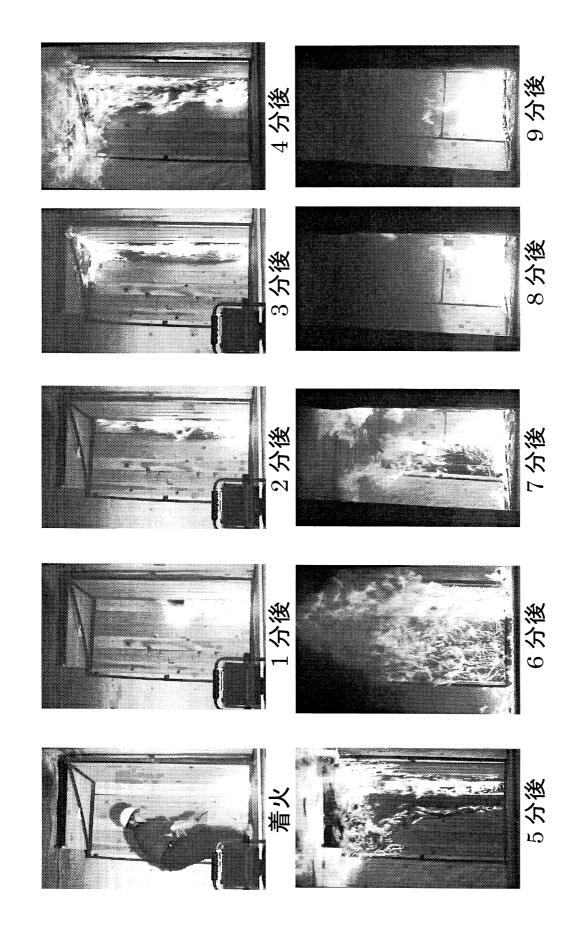
付図 2.6.26 難燃剤 A 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-6、火源直径:20cm、n·ヘプタン 320ml)



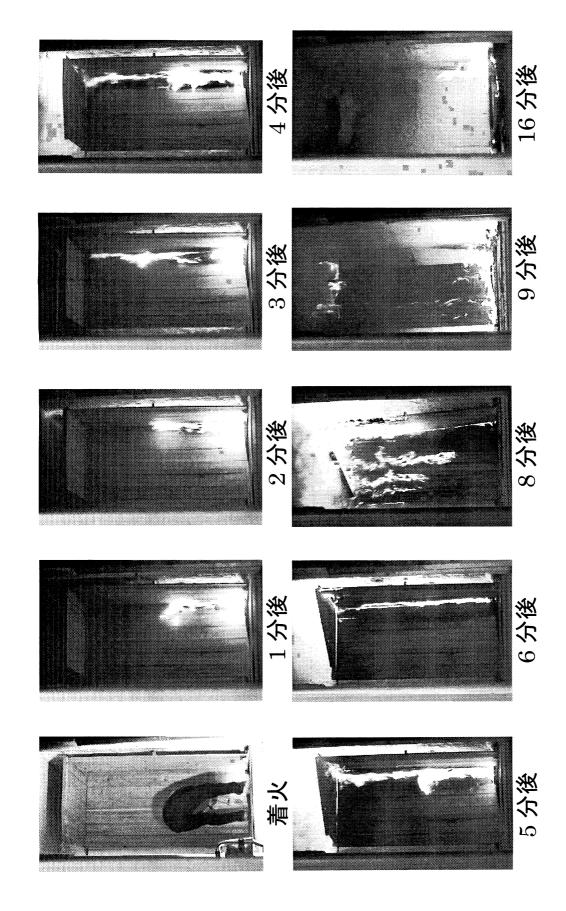
付図 2.6.27 難燃剤 B 処理を材の燃焼状況(実験 No.: 200-7、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 320ml)



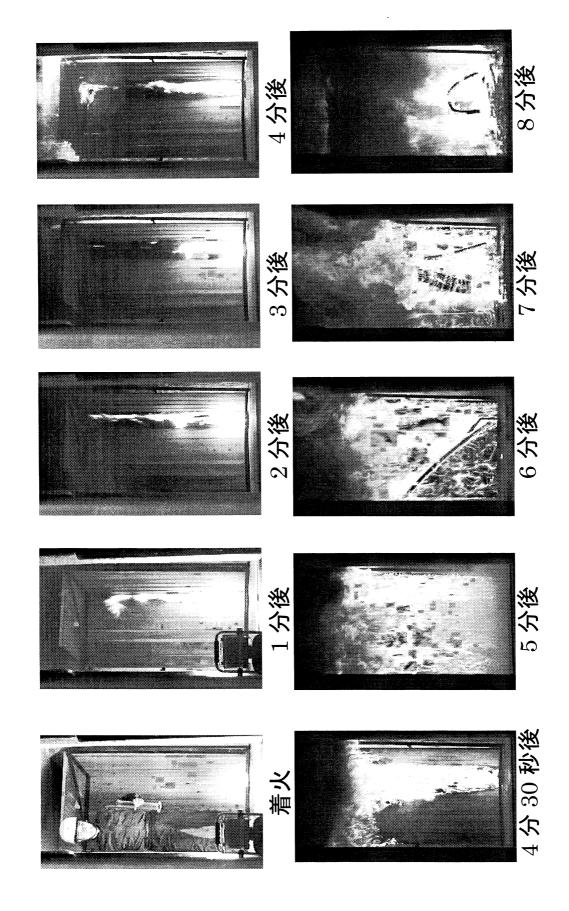
付図 2.6.28 難燃剤 C 処理杉村の燃焼状況(実験 No.: 200-8、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 320ml)



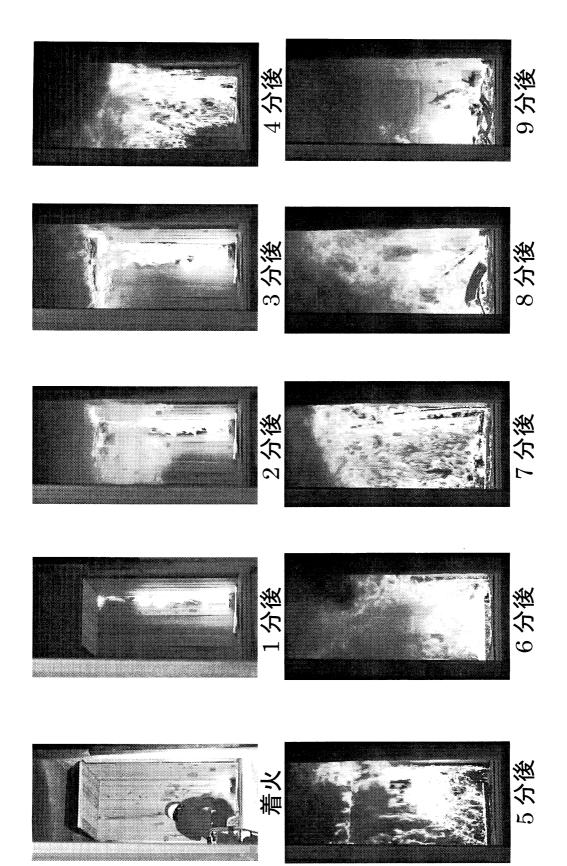
付図 2.6.29 未処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 200-9、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 500ml)



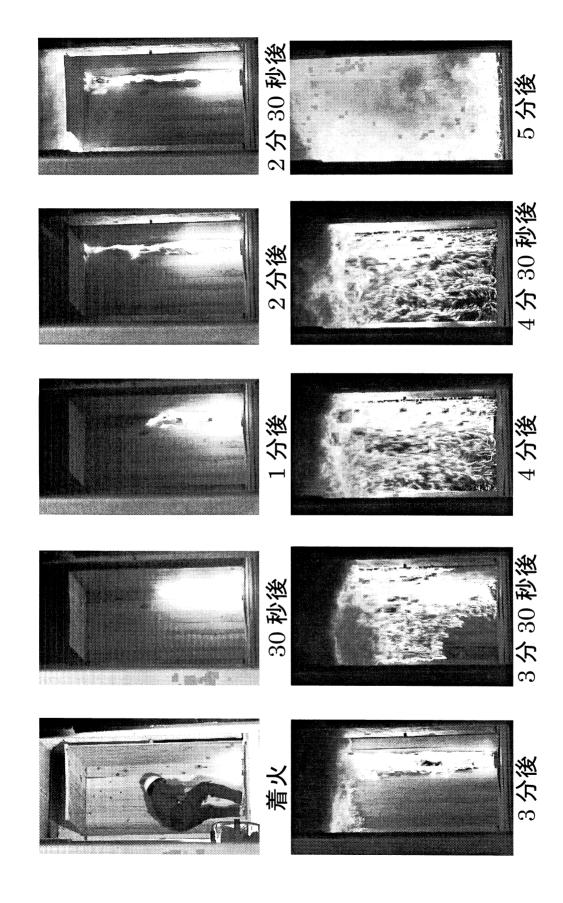
付図 2.6.30 難燃剤 A 処理を材の燃焼状況(実験 No.:200-10、火源直径:20cm、n-ヘプタン 500ml)



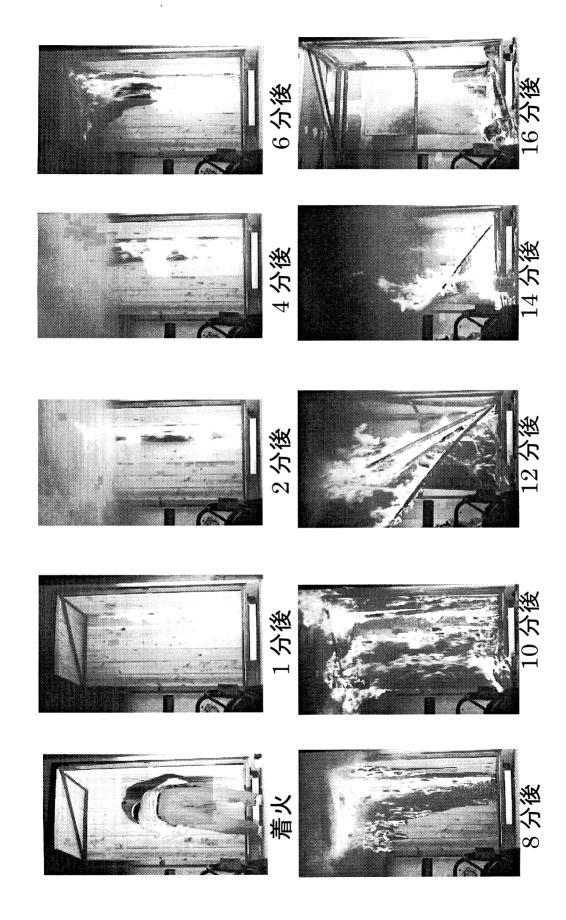
付図 2.6.31 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 200-11、火源直径: 20cm、n·ヘプタン 500ml)



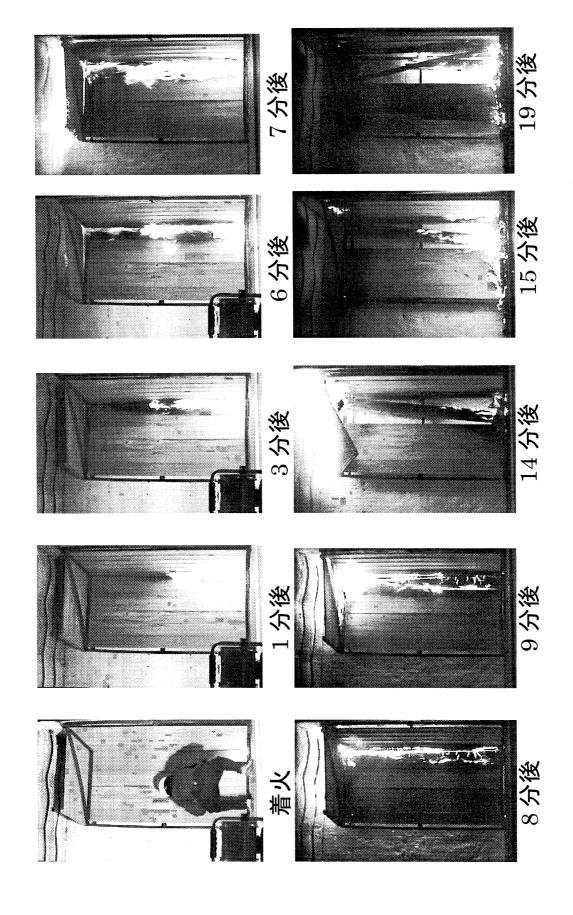
付図 2.6.32 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 200-12、火源直径: 20cm、n·ヘプタン 500ml)



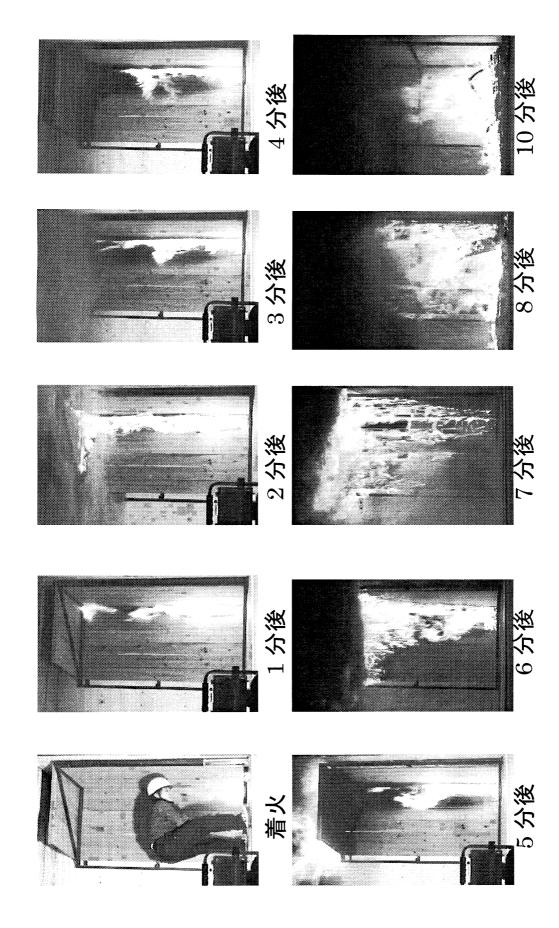
付図 2.6.33 難燃剤 C 処理を材の燃焼状況(実験 No.: 200-13、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 500ml)



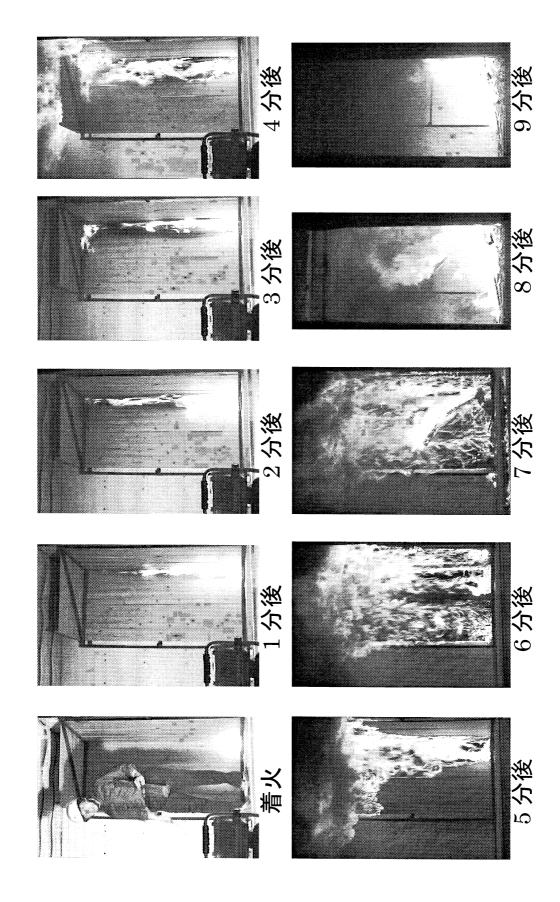
付図 2.6.34 未処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 200-14、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 800ml)



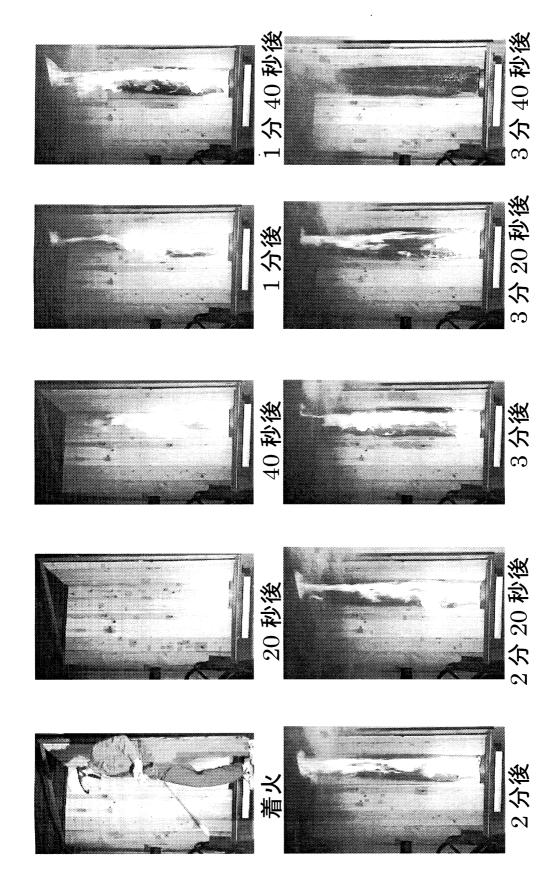
付図 2.6.35 難燃剤 A 処理杉村の燃焼状況(実験 No.: 200-15、火源直径: 20cm、n·ヘプタン 800ml)



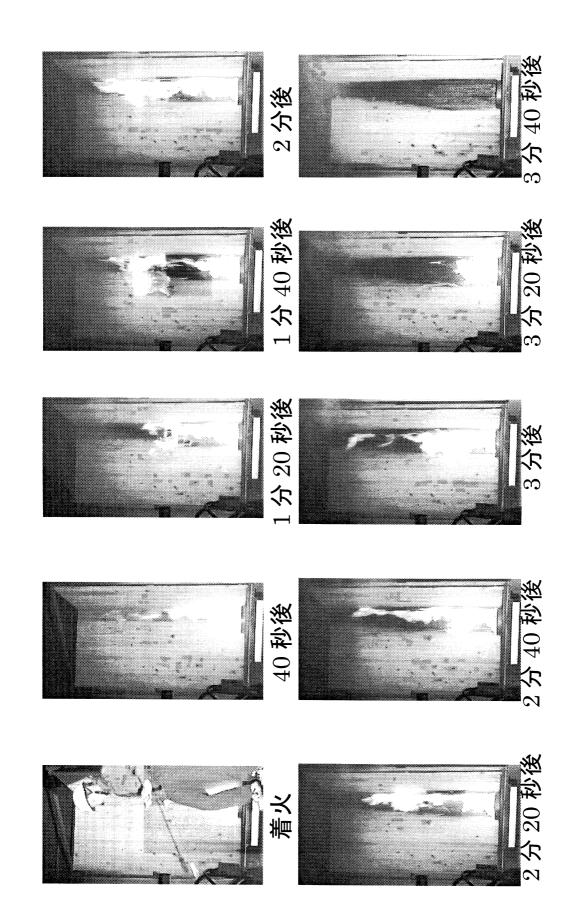
付図 2.6.36 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:200-16、火源直径:20cm、n-ヘプタン 800ml)



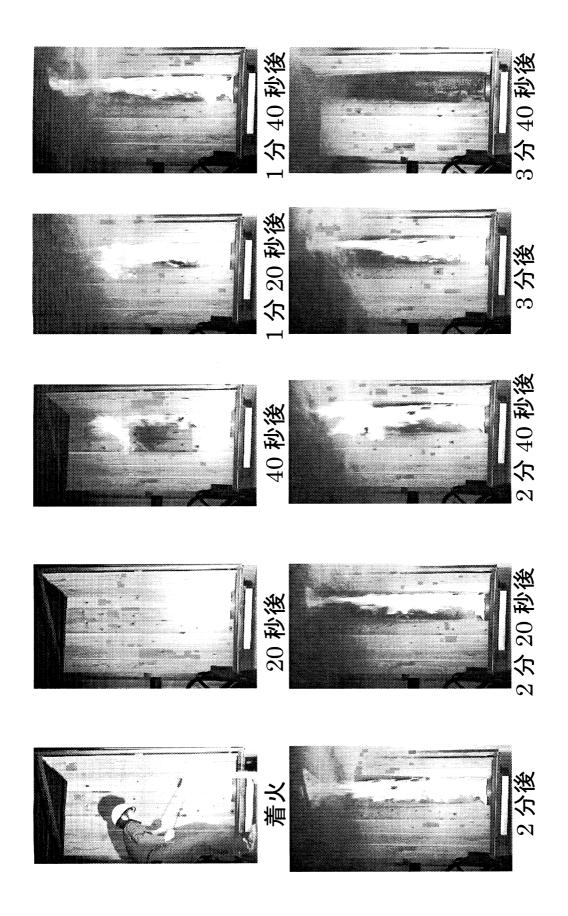
付図 2.6.37 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況(実験 No.: 200-17、火源直径: 20cm、n-ヘプタン 800ml)



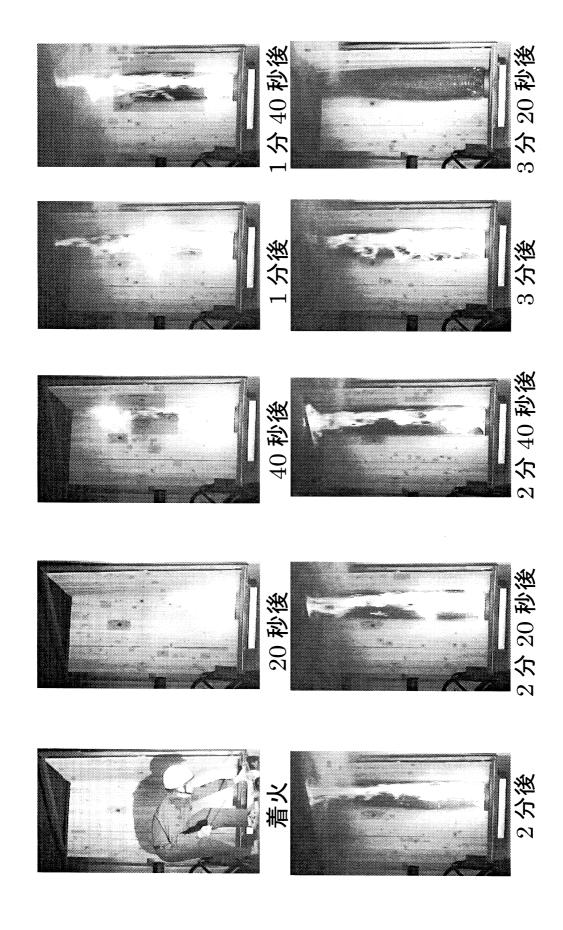
付図 2.6.38 未処理を村の燃焼状況 (実験 No.: 300-1、火源直径: 30cm、n-ヘプタン 360ml)



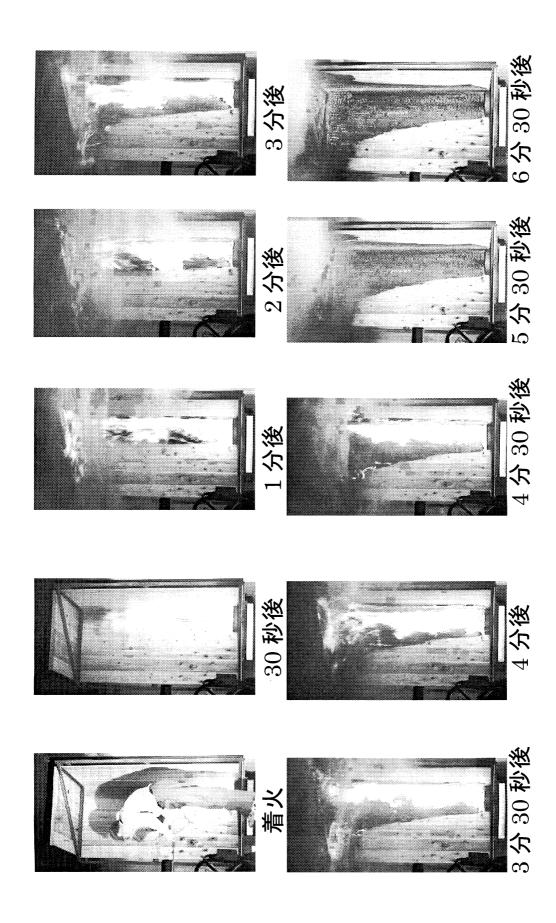
付図 2.6.39 難燃剤 A 処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 300-2、火源直径: 30cm、n-ヘプタン 360ml)



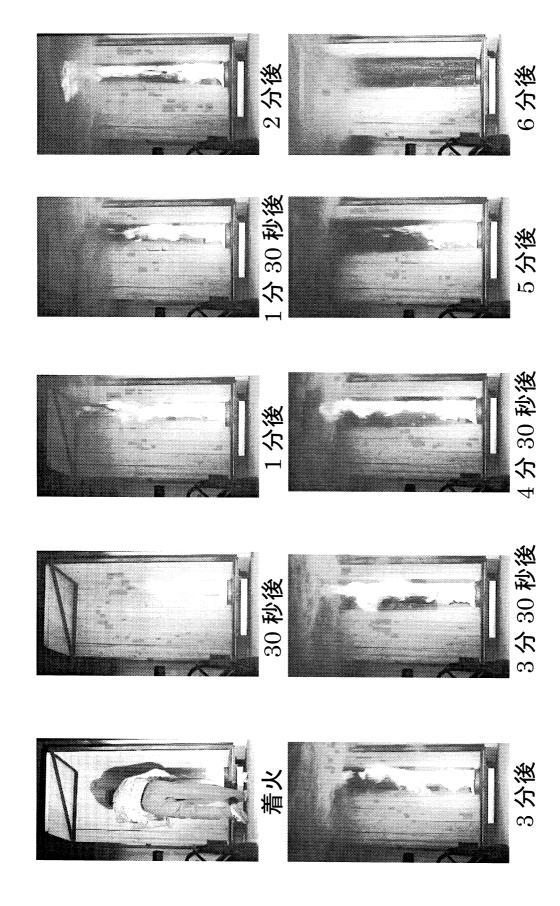
付図 2.6.40 難燃剤 B 処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 300·3、火源直径:30cm、n·ヘプタン 360ml)



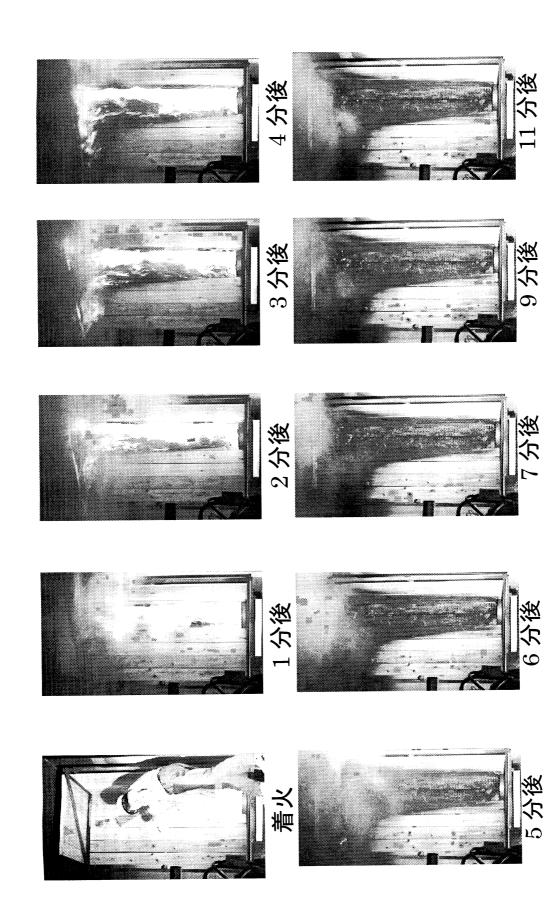
付図 2.6.41 難燃剤 C 処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 300-4、火源直径:30cm、n-ヘプタン 360ml)



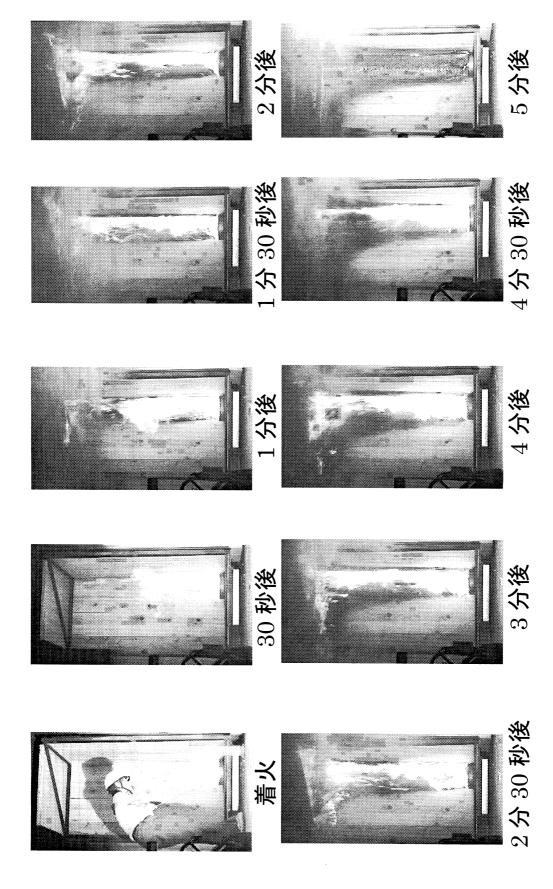
付図 2.6.42 未処理杉村の燃焼状況 (実験 No.: 300·5、火源直径: 30cm、n·ヘプタン 720ml)



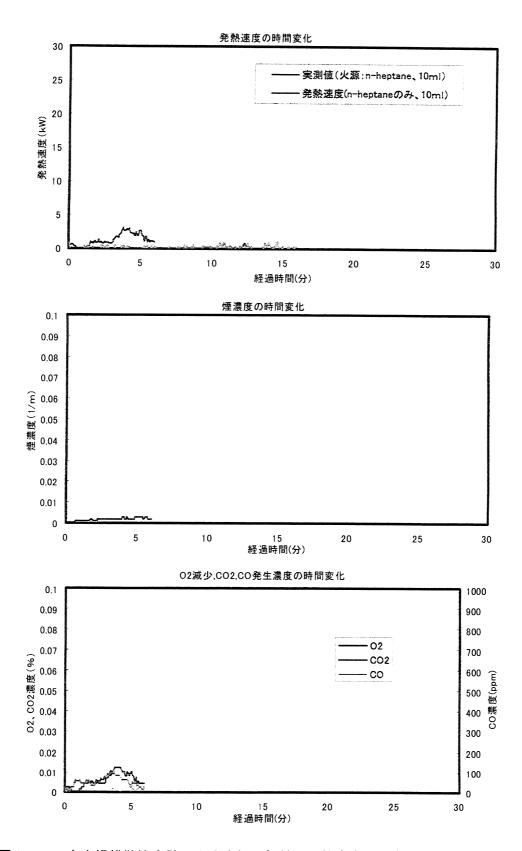
付図 2.6.43 難燃剤 A 処理を材の燃焼状況(実験 No.:300-6、火源直径:30cm、n·ヘプタン 720ml)



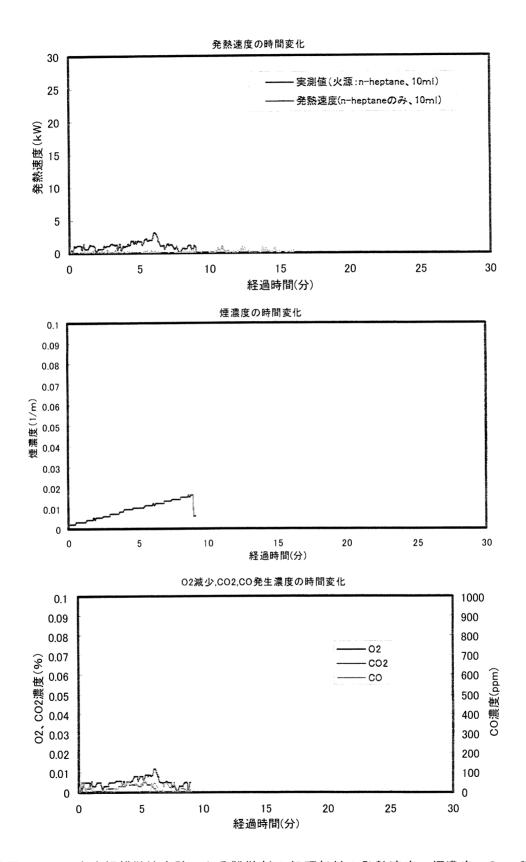
付図 2.6.44 難燃剤 B 処理杉材の燃焼状況(実験 No.:300-7、火源直径:30cm、n·ヘプタン 720ml)



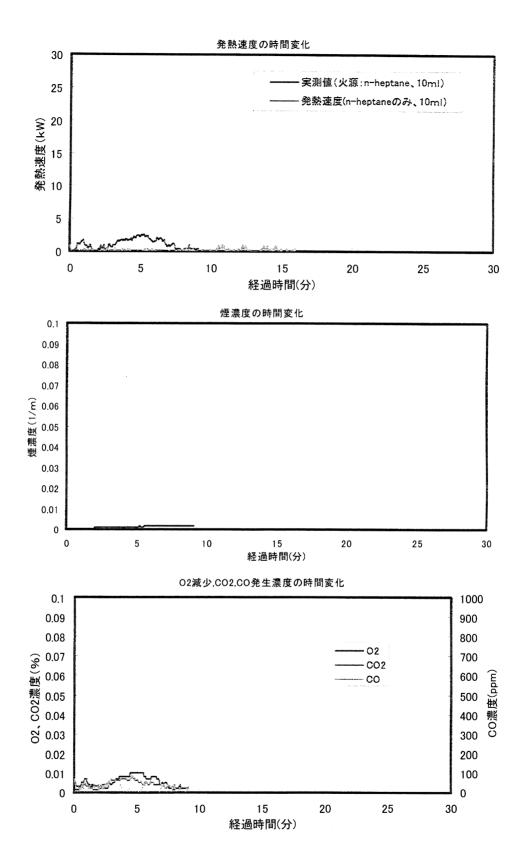
付図 2.6.45 難燃剤 C 処理杉材の燃焼状況 (実験 No.: 300·8、火源直径: 30cm、n·ヘプタン 720ml)



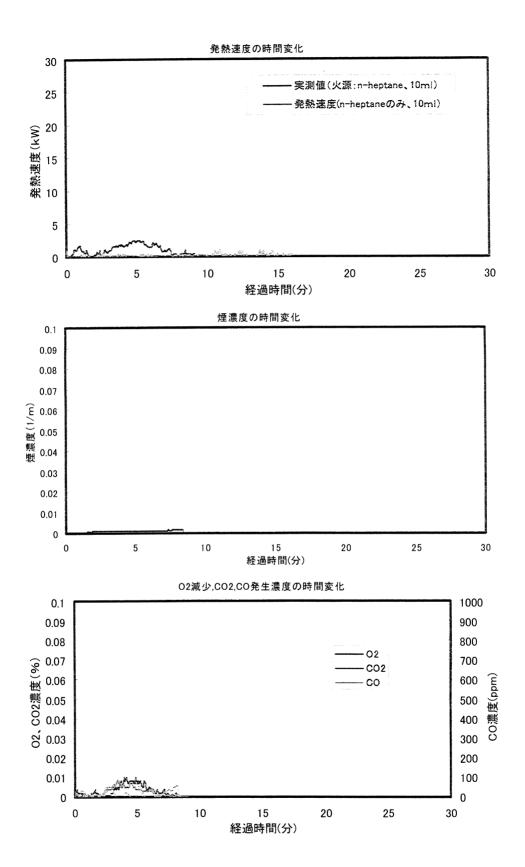
付図 2.6.46 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 50·1、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:10ml)



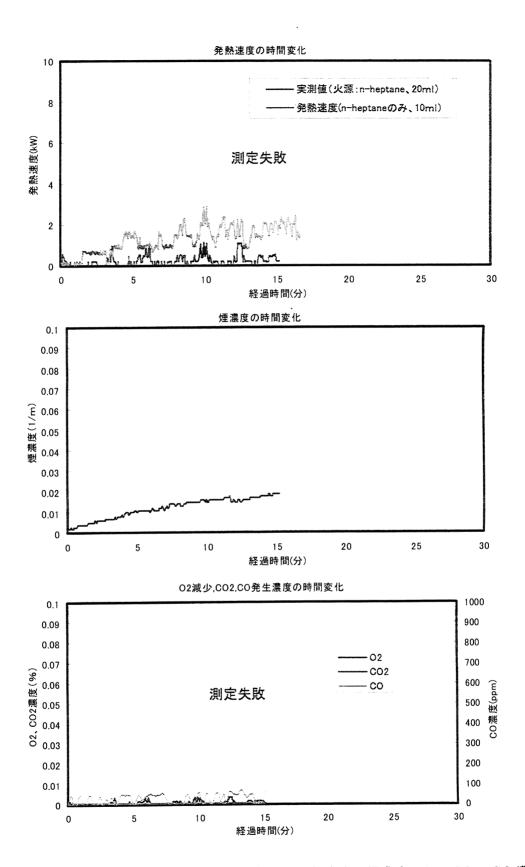
付図 2.6.47 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·2、火源直径: 50mm、n·ヘプタン量: 10ml)



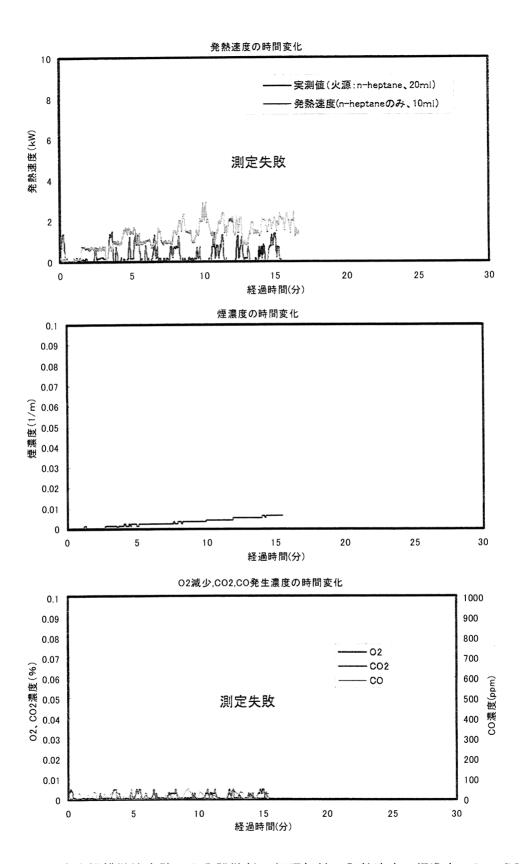
付図 2.6.48 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·3、火源直径:50 mm、n·ヘプタン量:10 ml)



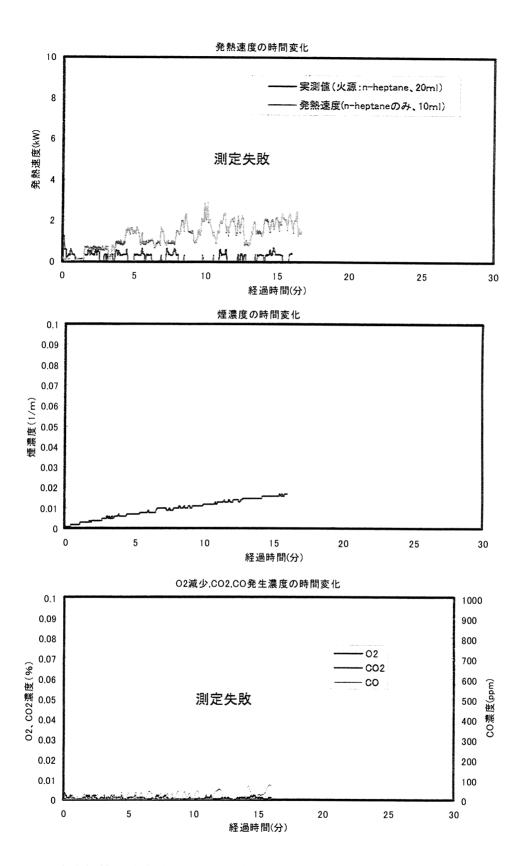
付図 2.6.49 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 50·4、火源直径:50 mm、n·ヘプタン量:10 ml)



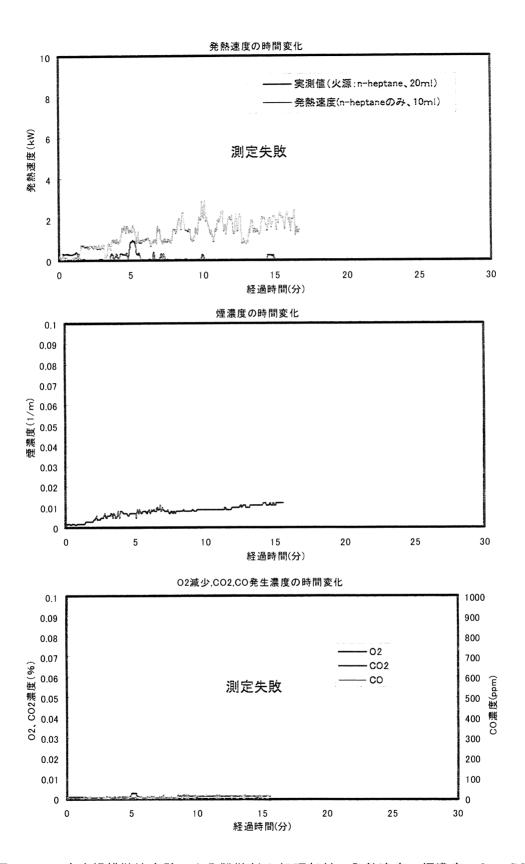
付図 2.6.50 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 50·5、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:20ml)



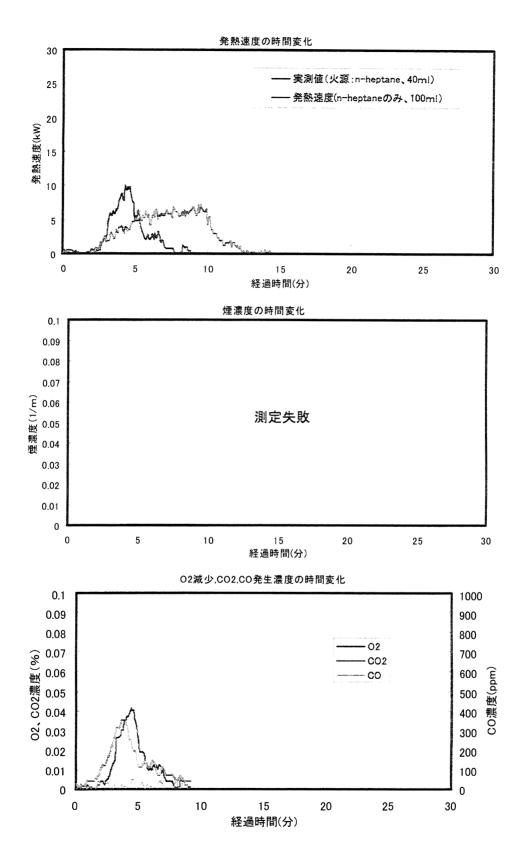
付図 2.6.51 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 50·6、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:20ml)



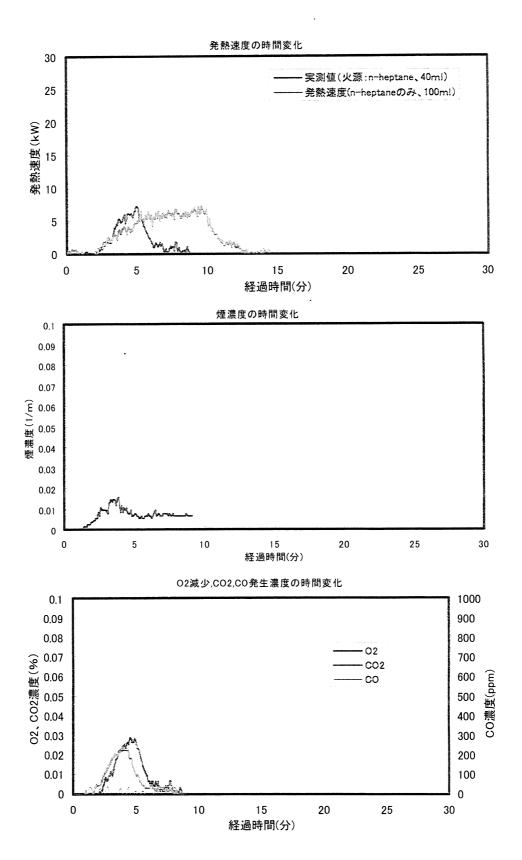
付図 2.6.52 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·7、火源直径:50mm、n·ヘプタン量:20ml)



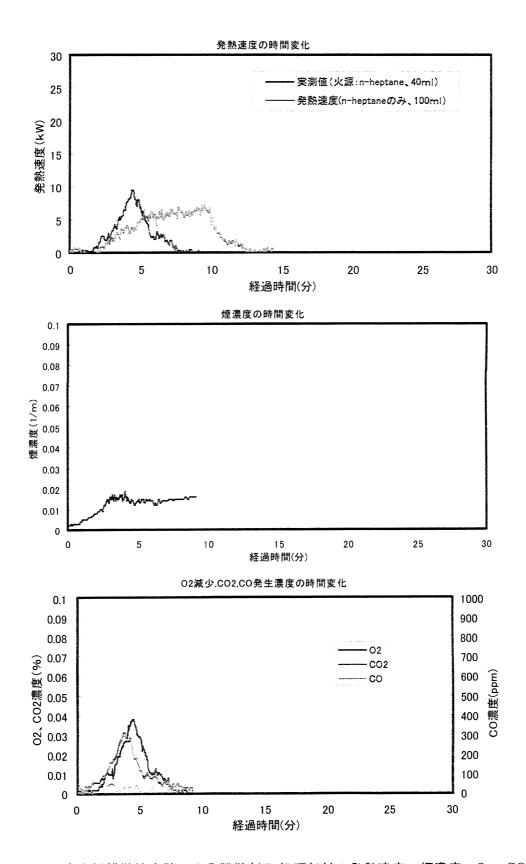
付図 2.6.53 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化 (実験番号 50·8、火源直径:50 mm、n·ヘプタン量:20 ml)



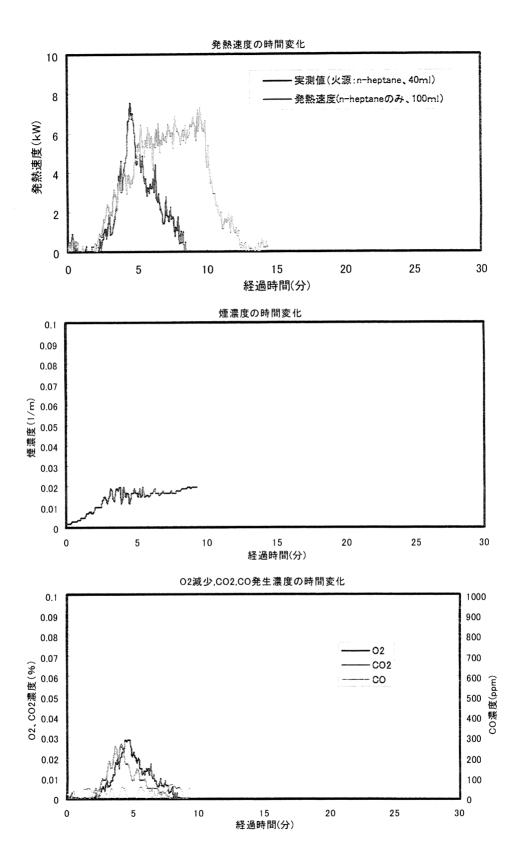
付図 2.6.54 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 100·1、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:40ml)



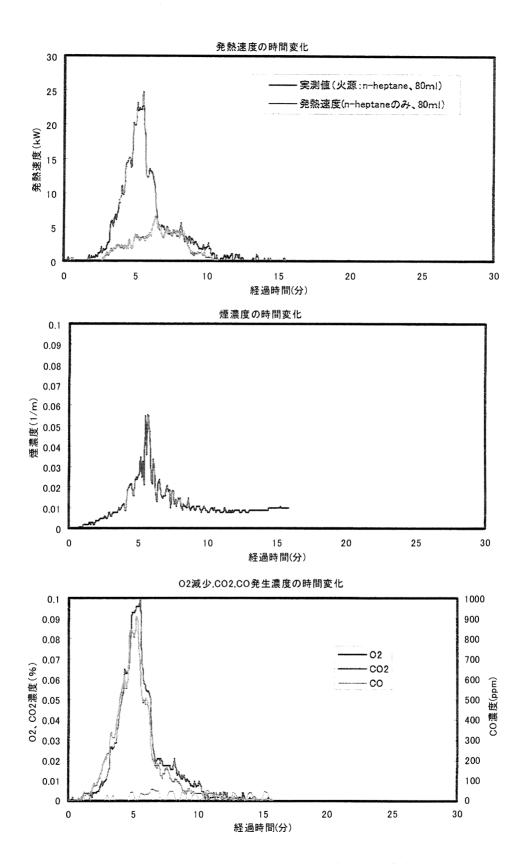
付図 2.6.55 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 100-2、火源直径: 100mm、n·ヘプタン量: 40ml)



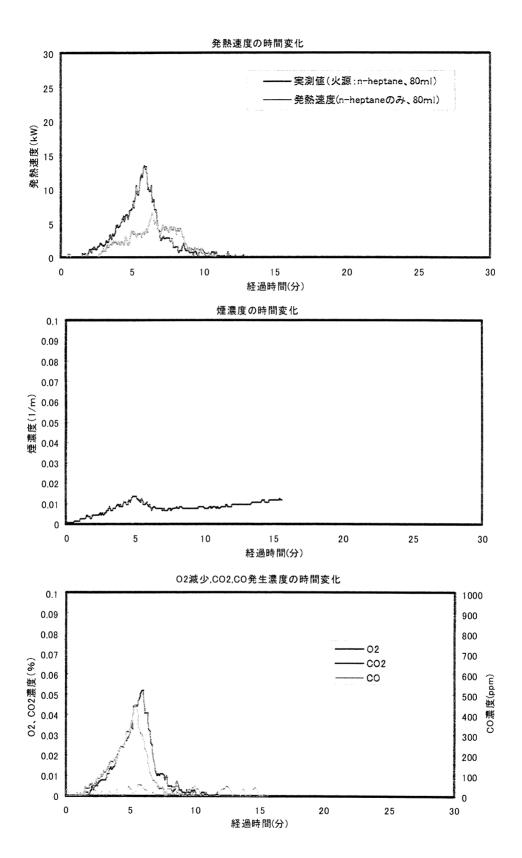
付図 2.6.56 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 100-3、火源直径: 100mm、n-ヘプタン量: 40ml)



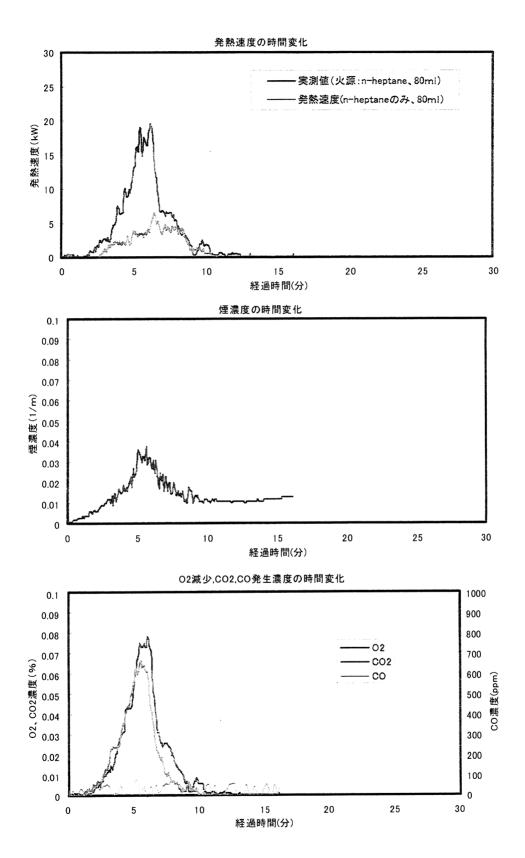
付図 2.6.57 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 100·4、火源直径: 100mm、n·ヘプタン量: 40ml)



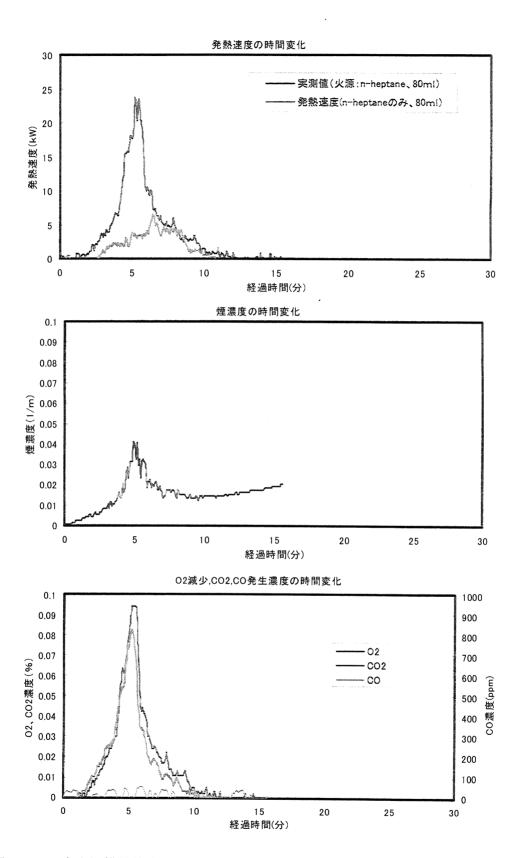
付図 2.6.58 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 100·5、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:80ml)



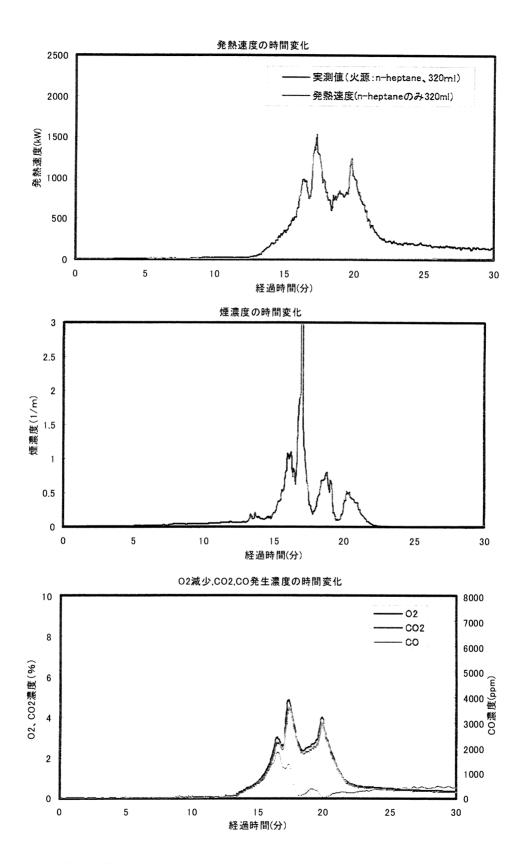
付図 2.6.59 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 100·6、火源直径: 100mm、n·ヘプタン量: 80ml)



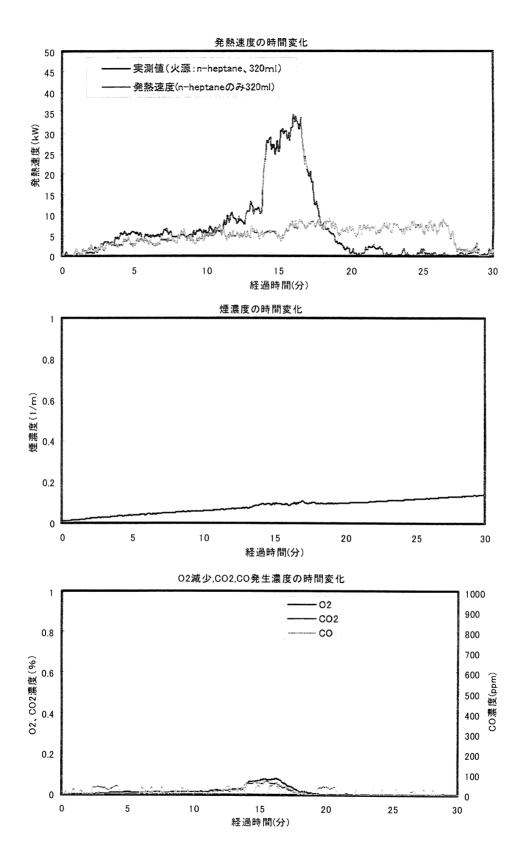
付図 2.6.60 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 100·7、火源直径: 100mm、n·ヘプタン量: 80ml)



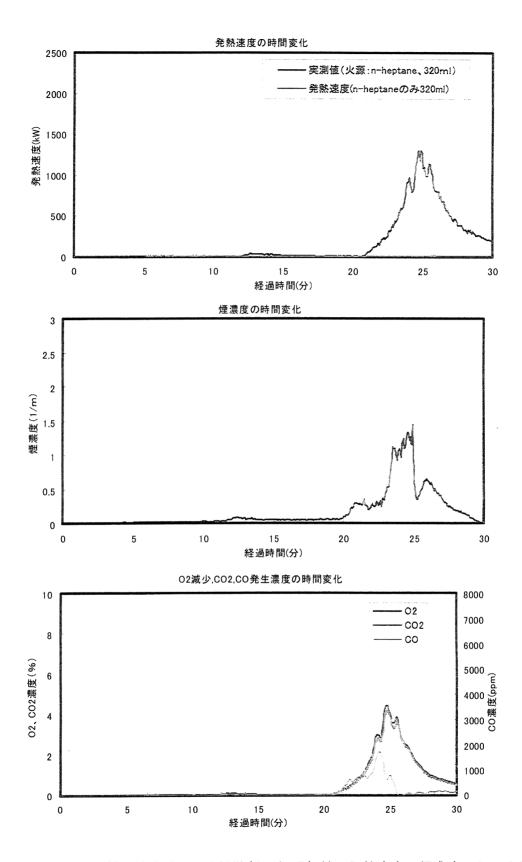
付図 2.6.61 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、 $O_2$ 、 $CO_2$ 、CO 濃度の時間変化(実験番号 100-8、火源直径: 100mm、n-ヘプタン量: 80ml)



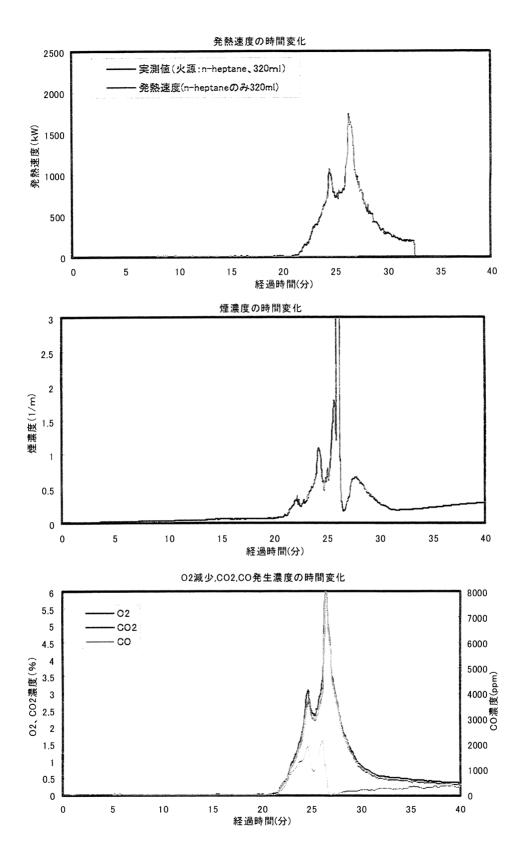
付図 2.6.62 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 100·9、火源直径:100mm、n·ヘプタン量:320ml)



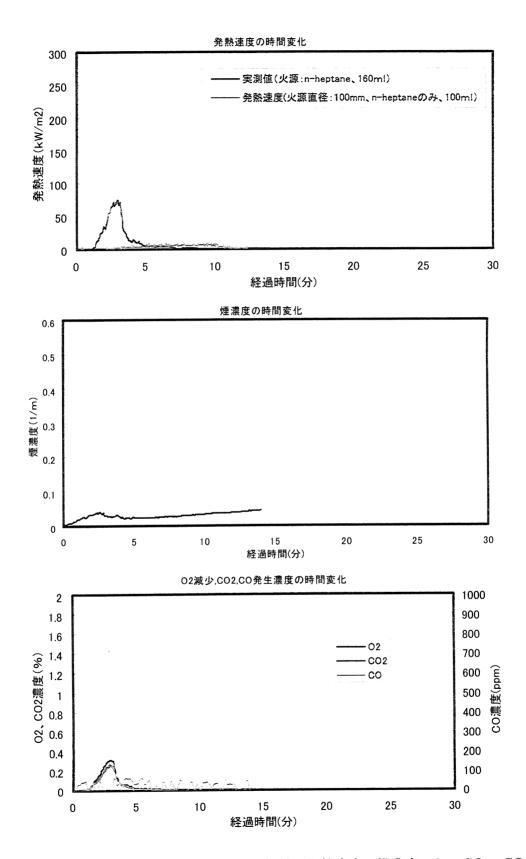
付図 2.6.63 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、 $O_2$ 、 $CO_2$ 、CO 濃度の時間変化(実験番号 100-10、火源直径: 100 mm、n-ヘプタン量: 320 ml)



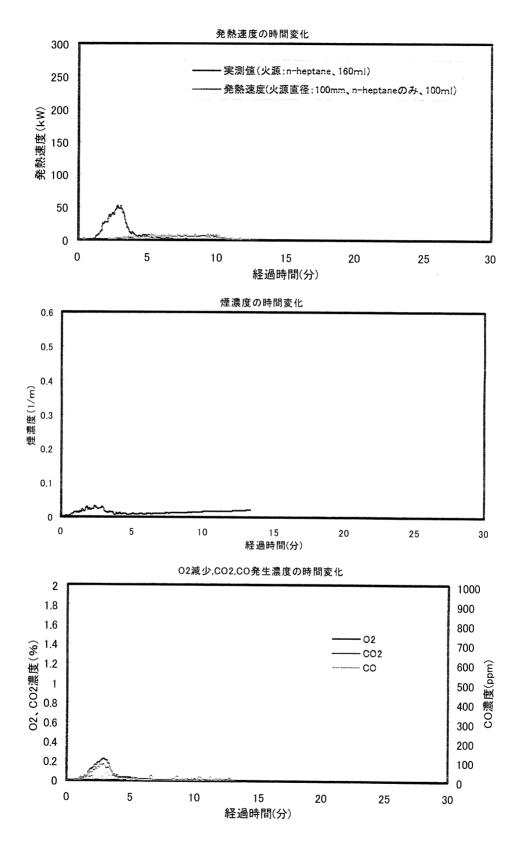
付図 2.6.64 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO 濃度の時間変化(実験番号 100·11、火源直径: 100mm、n·ヘプタン量: 320ml)



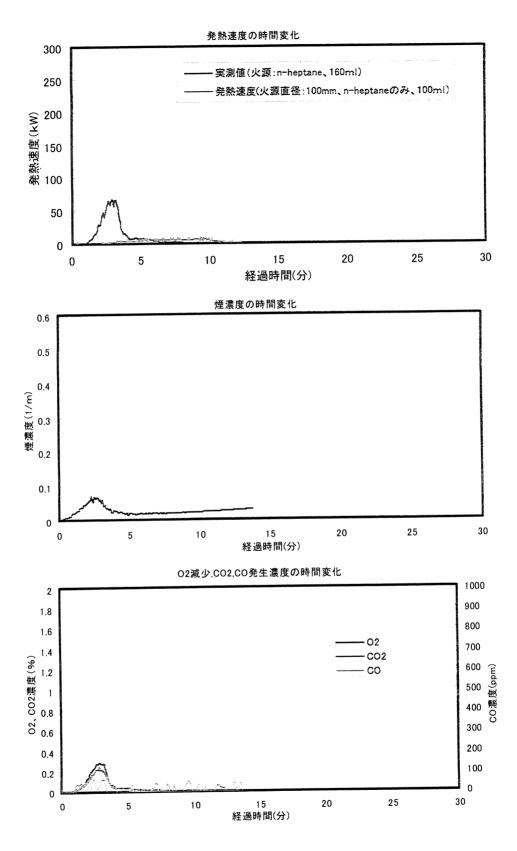
付図 2.6.65 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 100-12、火源直径: 100mm、n-ヘプタン量: 320ml)



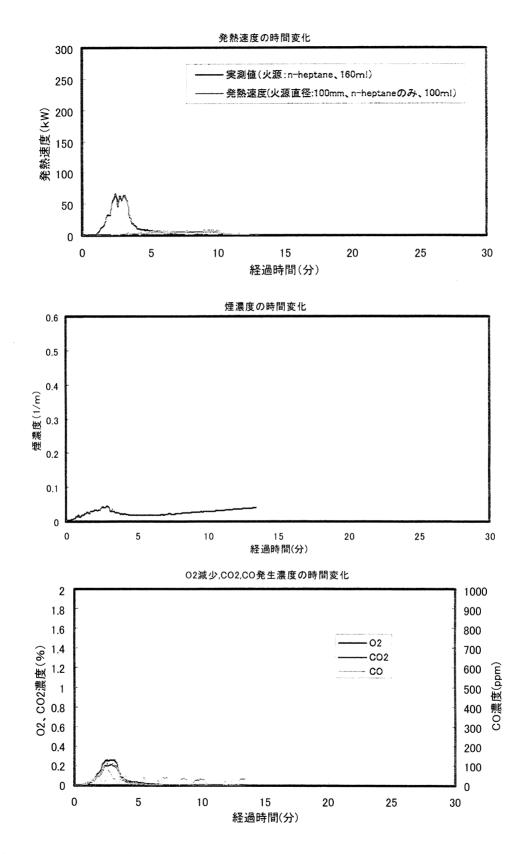
付図 2.6.66 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·1、火源直径:200mm、n·ヘプタン量:160ml)



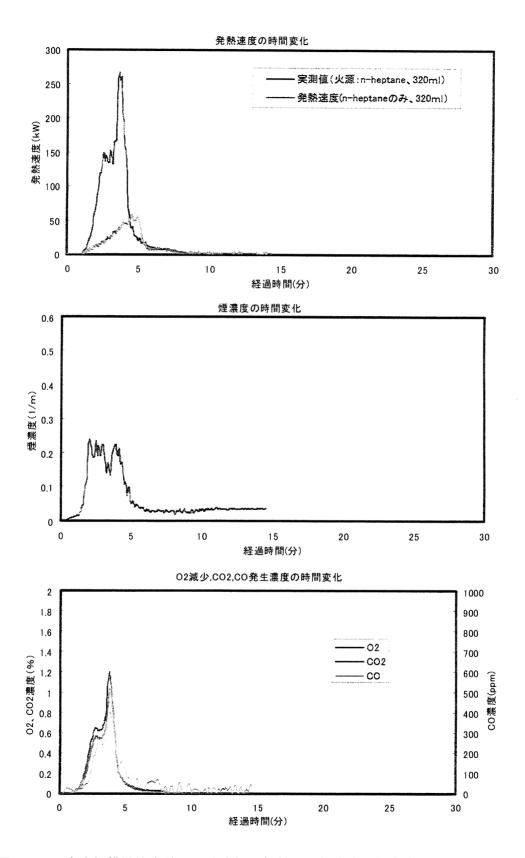
付図 2.6.67 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、 $O_2$ 、 $CO_2$ 、CO 濃度の時間変化(実験番号  $200\cdot 2$ 、火源直径: 200mm、 $n\cdot$ へプタン量: 160ml)



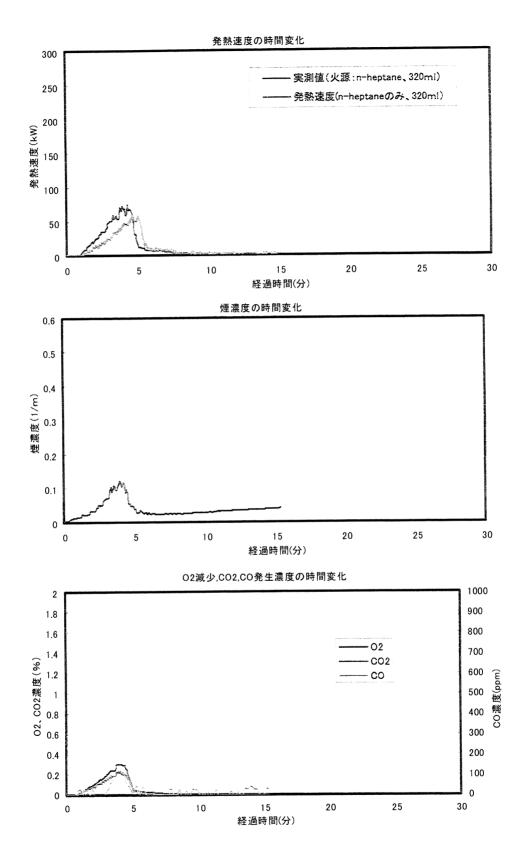
付図 2.6.68 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO 濃度の時間変化(実験番号 200-3、火源直径: 200mm、n-ヘプタン量: 160ml)



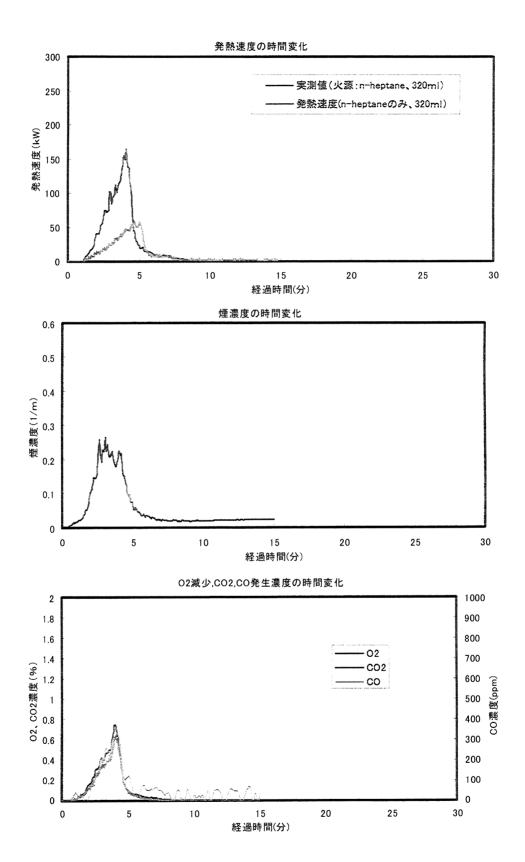
付図 2.6.69 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 200-4、火源直径: 200mm、n-ヘプタン量: 160ml)



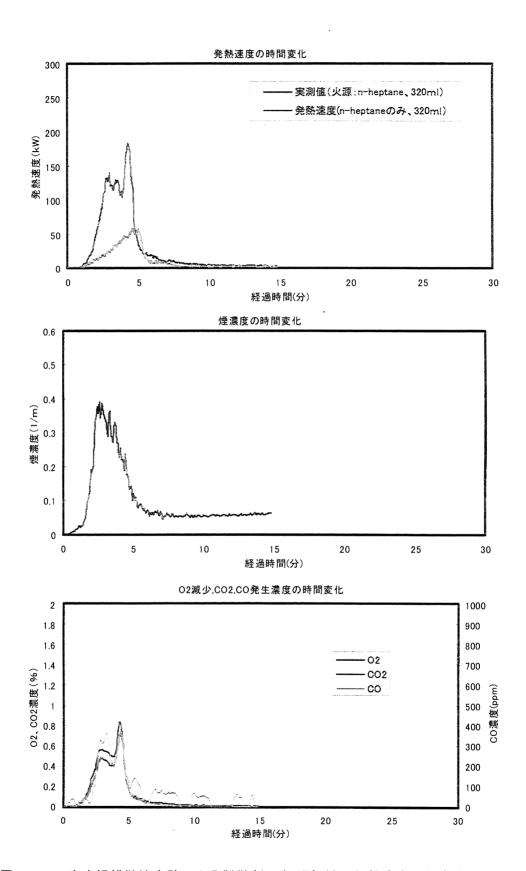
付図 2.6.70 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 200-5、火源直径: 200mm、n-ヘプタン量: 320ml)



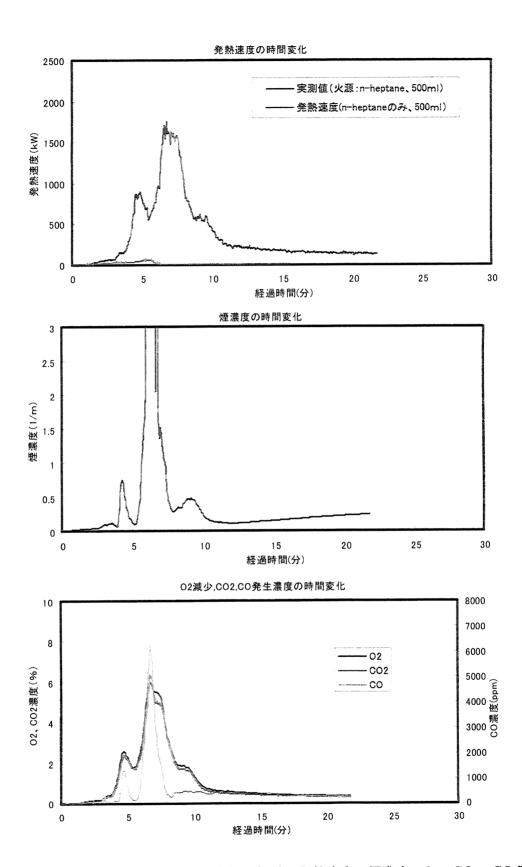
付図 2.6.71 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO濃度の時間変化(実験番号 200-6、火源直径: 200mm、n-ヘプタン量: 320ml)



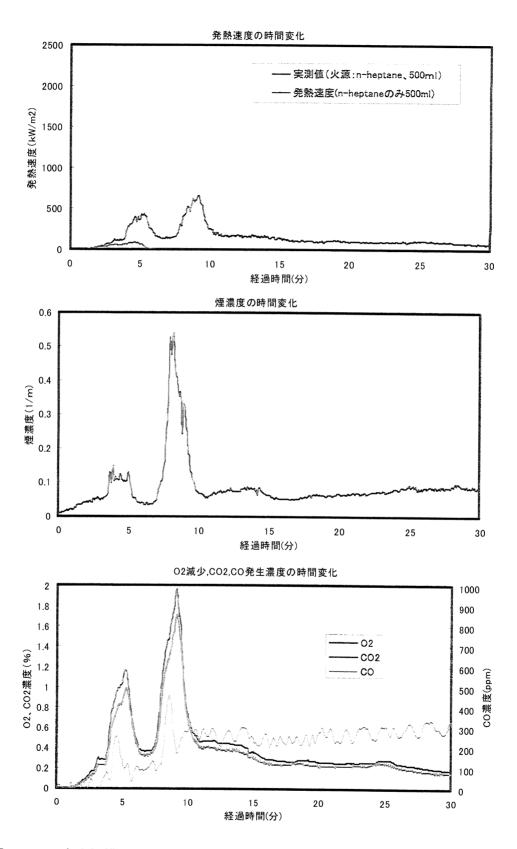
付図 2.6.72 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·7、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 320ml)



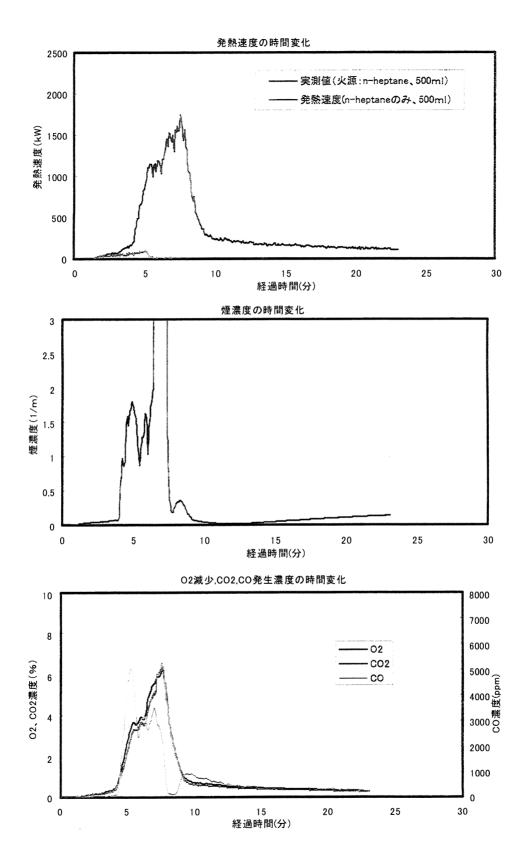
付図 2.6.73 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·8、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 320ml)



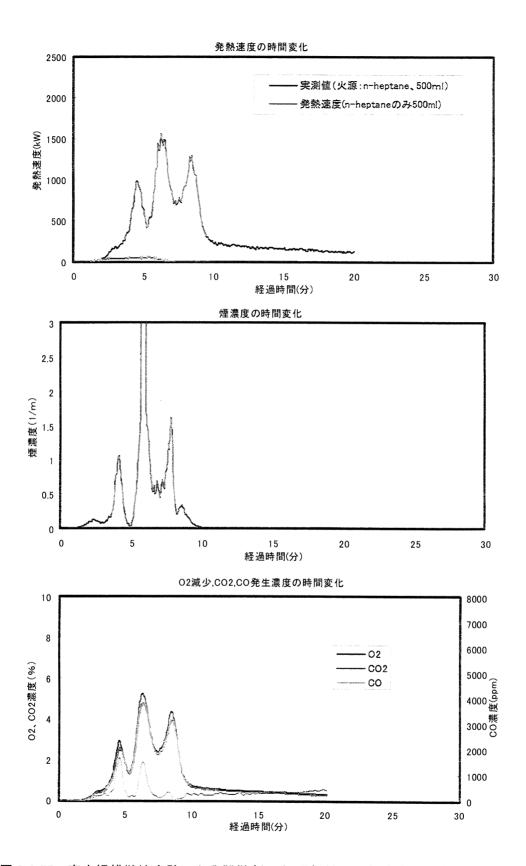
付図 2.6.74 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 200-9、火源直径:200mm、n-ヘプタン量:500ml)



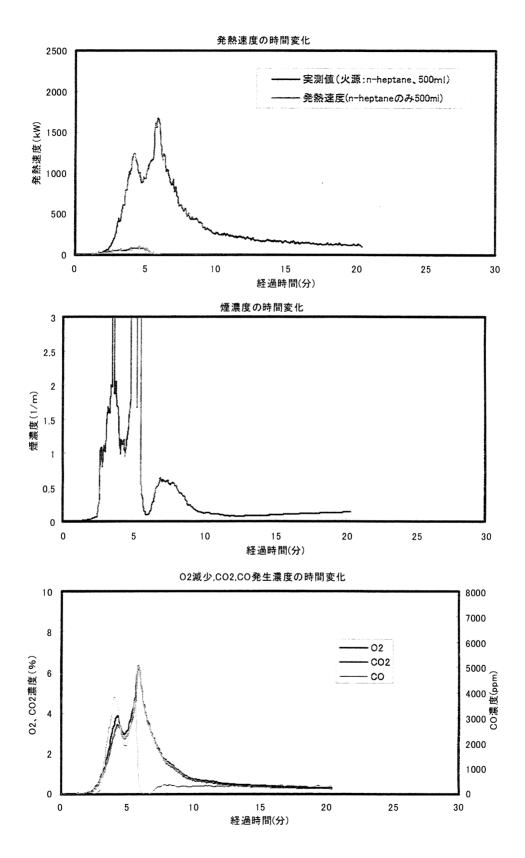
付図 2.6.75 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·10、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 500ml)



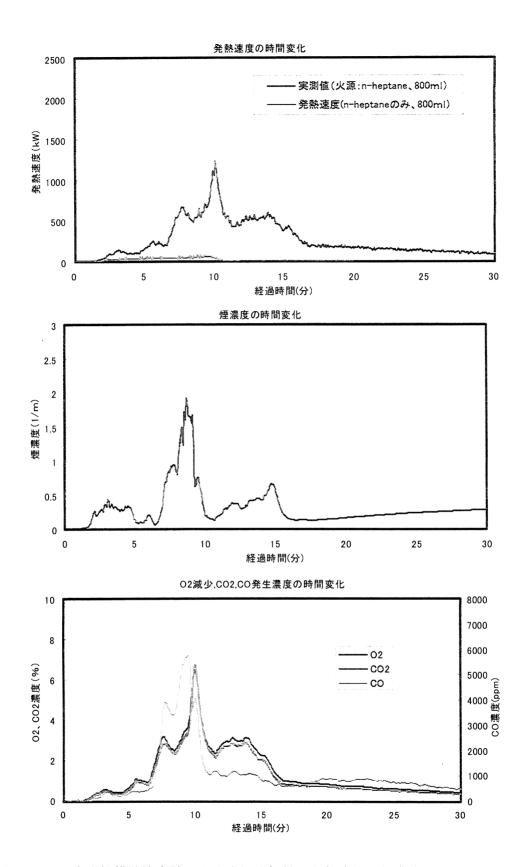
付図 2.6.76 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·11、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 500ml)



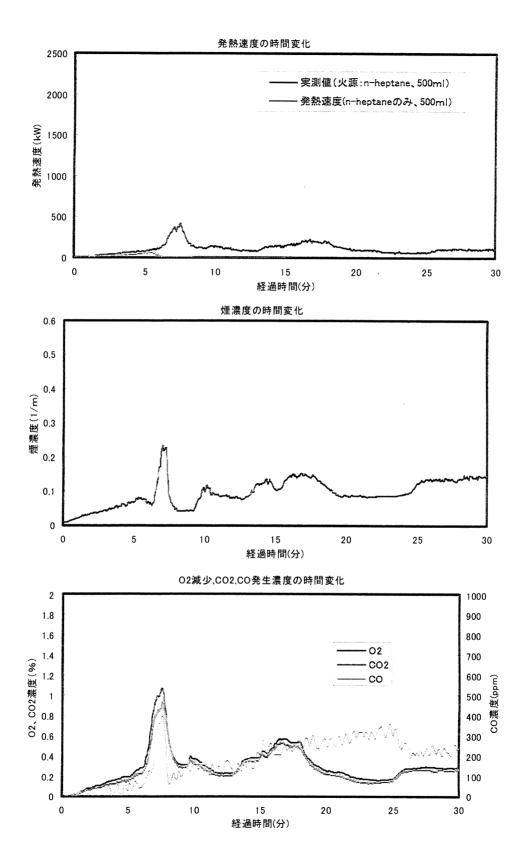
付図 2.6.77 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·12、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 500ml)



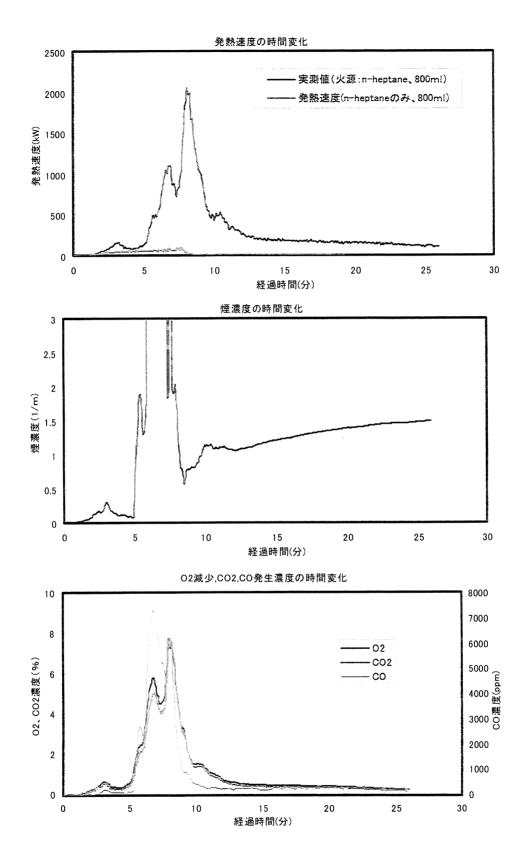
付図 2.6.78 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO 濃度の時間変化(実験番号 200·13、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 500ml)



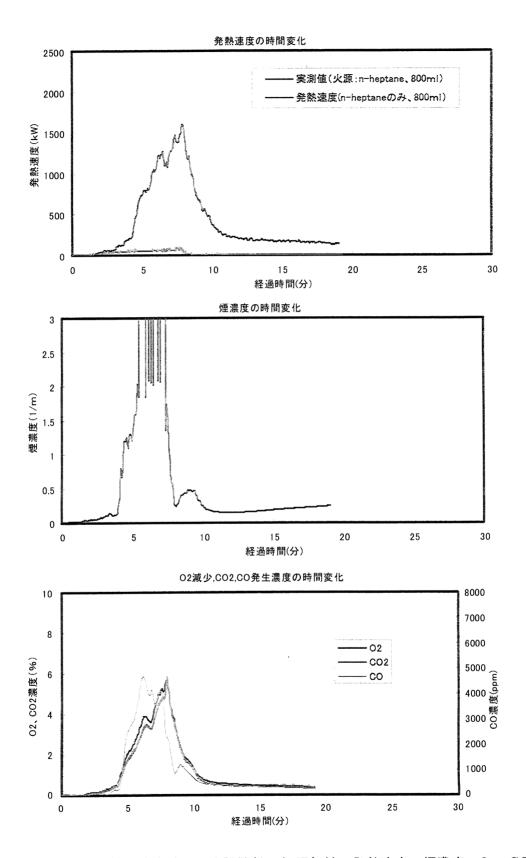
付図 2.6.79 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·14、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 800ml)



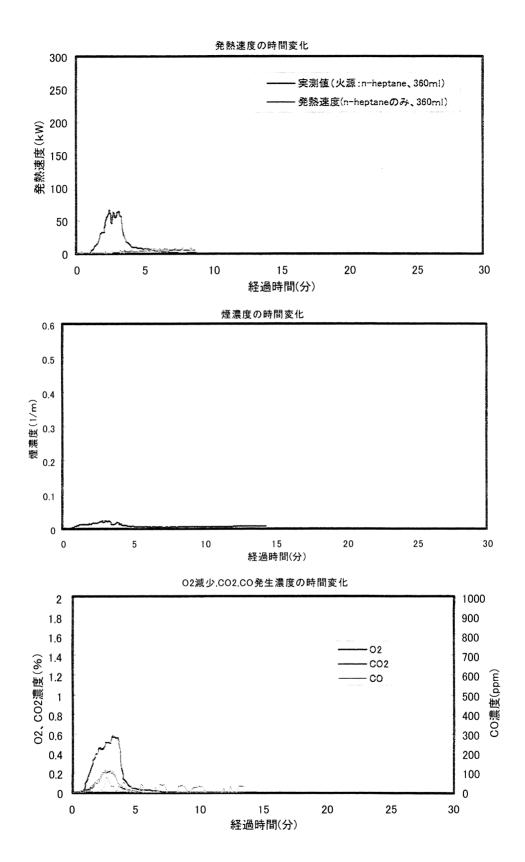
付図 2.6.80 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·15、火源直径: 200 mm、n·ヘプタン量: 800 ml)



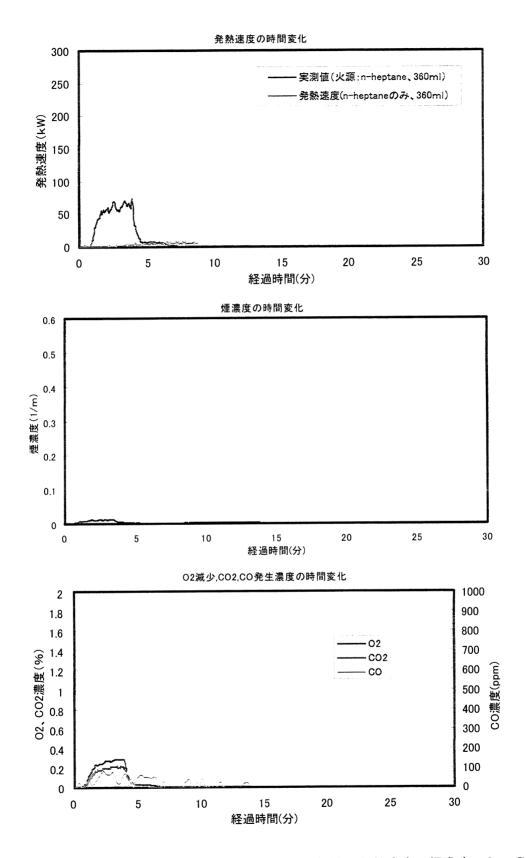
付図 2.6.81 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 200·16、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 800ml)



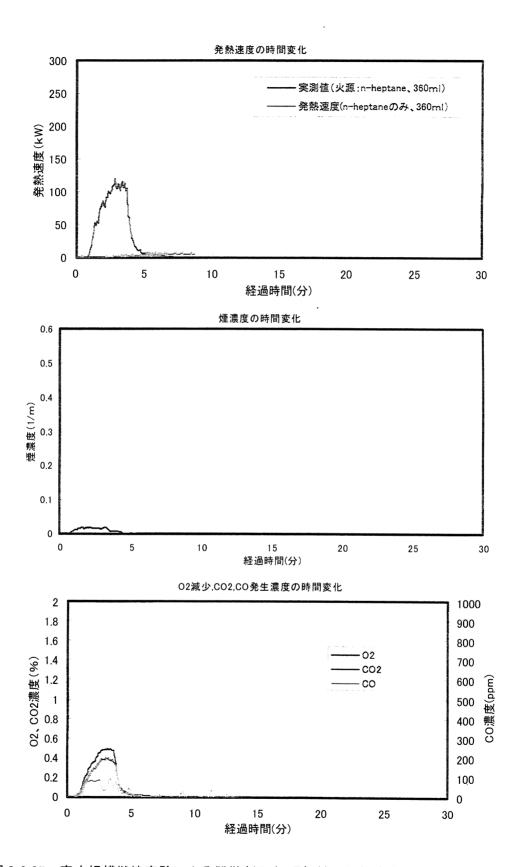
付図 2.6.82 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO 濃度の時間変化(実験番号 200·17、火源直径: 200mm、n·ヘプタン量: 800ml)



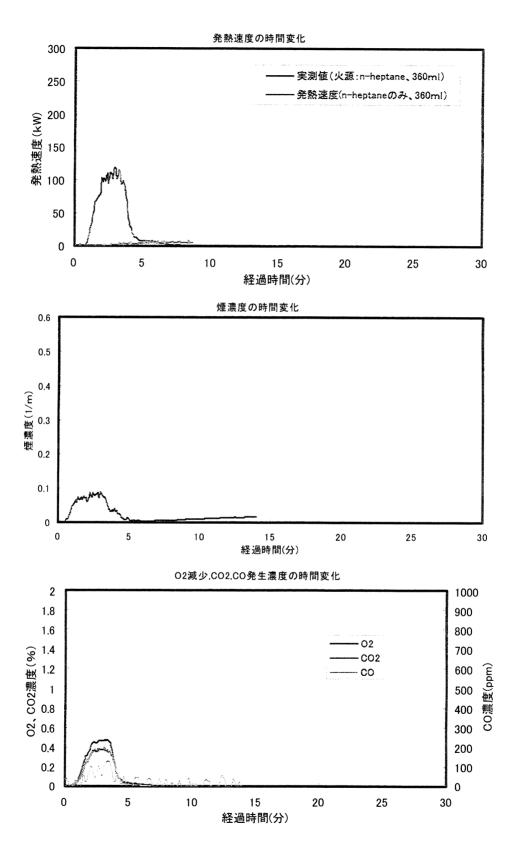
付図 2.6.83 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 300·1、火源直径:300mm、n·ヘプタン量:360ml)



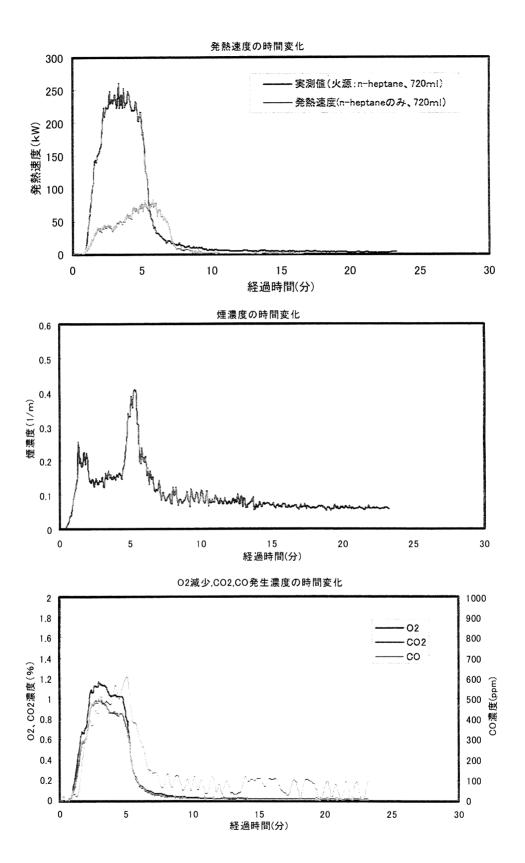
付図 2.6.84 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、CO 濃度の時間変化(実験番号 300-2、火源直径: 300mm、n-ヘプタン量: 360ml)



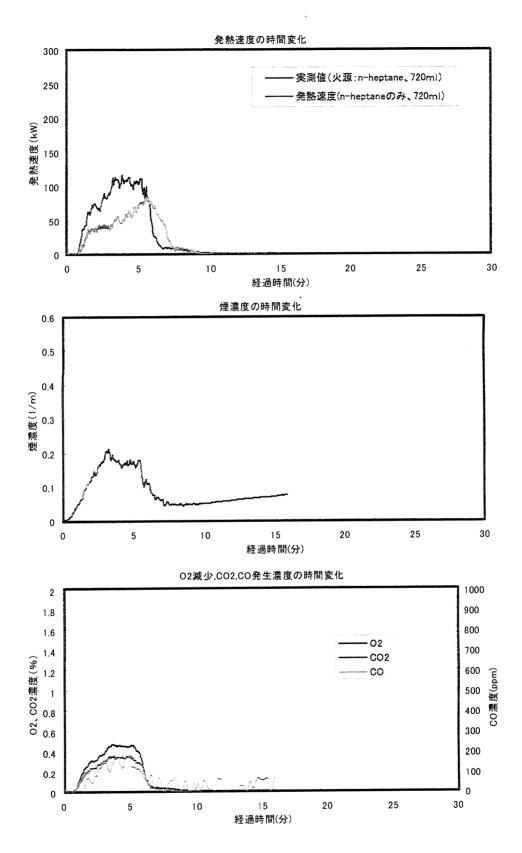
付図 2.6.85 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 300·3、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 360ml)



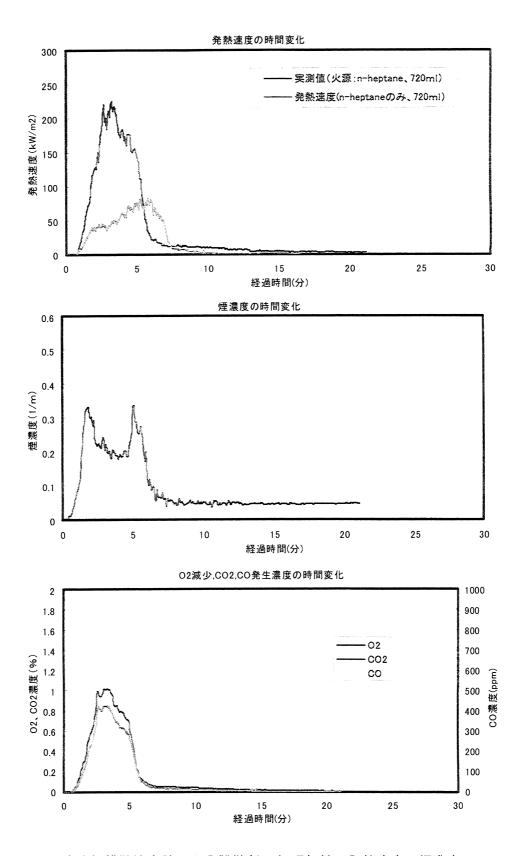
付図 2.6.86 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 300·4、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 360ml)



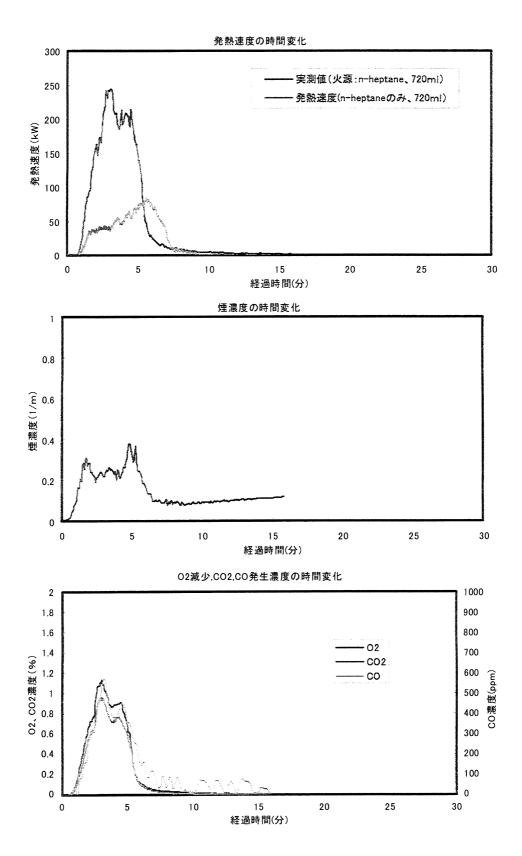
付図 2.6.87 実大規模燃焼実験による未処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 300·5、火源直径:300mm、n·ヘプタン量:720ml)



付図 2.6.88 実大規模燃焼実験による難燃剤 A 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO 濃度の時間変化(実験番号 300-6、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 720ml)



付図 2.6.89 実大規模燃焼実験による難燃剤 B 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O2、CO2、 CO 濃度の時間変化(実験番号 300·7、火源直径: 300mm、n·ヘプタン量: 720 ml)



付図 2.6.90 実大規模燃焼実験による難燃剤 C 処理杉材の発熱速度、煙濃度、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO 濃度の時間変化(実験番号 300-8、火源直径: 300mm、n-ヘプタン量: 720ml)

**尾100** 本報告書の本文用紙は古紙 100% (白色度 70.0%) を使用しています。

—— 消防研究所研究資料第 57 号 ———

実大規模燃焼実験による難燃杉材の 燃焼性状に関する研究報告書

平成14年10月

独立行政法人消防研究所

東京都三鷹市中原3丁目14番1号(〒181-8633)

電 話 (0422) 43-8331(代)

FAX (0422) 42-7719

印刷所 弘久写真工業株式会社

ISBN4-88391-057-3

## 消防研究所研究資料一覧

号数	題 名	年月日
1	武蔵野台地における地表水および地下水の測水資料	S43. 12
2	武蔵野吉祥寺における揚水実験資料	S44. 12
3	武蔵野台地における帯水層の性状に関する調査資料	S45. 12
4	地震時における少量危険薬品の出火危険とその対策	S48. 3
5	大震火災の延焼性状に関する研究野外火災実験 概要報告	S48. 10
6	市街地火災の延焼性状等に関する研究 旧松尾鉱山廃屋火災実験報告書	S50. 7
7	四日市市大協石油タンク火災原因調査報告書	S50. 10
8	石油タンク消火実験結果報告書	S51. 3
9	呉市山林火災現場付近の小気候	S52. 3
10	主要繊維・プラスチックの燃焼・熱分解時の重量減少と発生ガス	S52. 3
11	酒田市大火の延焼状況等に関する調査報告書	S52. 10
12	炭化水素系燃料による可燃性蒸気雲の爆発特性に関する研究 - ファイヤー ボールに関する実験 -	S53. 10
13	震害分布と表層地盤の関係に関する調査資料 - 関東資料-	S55. 1
14	日本海中部地震による危険物施設の挙動に関する調査報告書	S59. 1
15	水幕と樹木の併用による延焼防止向上効果に関する研究報告書	S60. 3
16	石油タンクの底板・アニュラー板の裏面腐食に関する研究 - 厚さ分布と腐食量について -	S61. 2
17	円筒貯槽のスロッシングに関する研究報告書	S61. 3
18	修復石油タンクの水張り試験時AE特性	S61. 3
19	簡易型火災警報器の非火災報に関する調査・研究	S61. 3
20	火源の輪郭抽出	S62. 3
21	林野火災の飛火延焼に関する研究	S63. 3
22	パソコンを用いた林野火災の拡大予測に関する研究	H 2. 3
23	早期津波予測システムに関する資料	Н3. 3
24	火炎規模の防炎効果に及ぼす影響に関する研究	Н3. 3
25	火災性状把握システムに関する研究 その1-非火災報データベースに関する共同研究報告書	Н3. 3
26	火災性状把握システムに関する研究 その2-火災性状把握システムの試作 に関する共同研究報告書	Н3. 3
27	防炎物品等を含む火災における発生ガスの毒性に関する研究	H5. 3
28	火災性状把握システムに関する研究 (2次) 実用化をめざしたシステムの 改良に関する共同研究報告書	Н5. 3
29	地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究報告書	H 6. 3
30	大火源燃焼試験方法によるカーテンの燃焼性評価に関する研究報告書	H7. 3
31	阪神・淡路大震災における石油タンクの座屈強度に関する調査研究報告書	Н8. 3
32	ISO 6941による収縮性、溶融性繊維の燃焼性評価に関する研究報告書	H8. 3
33	平成5年8月6日鹿児島豪雨災害時における鹿児島市民の災害時の行動に関 する調査報告書	Н8. 3
34	火災性状把握避難誘導システムに関する研究 (その1 試作システムの概要)	Н8. 3
35	火災性状把握避難誘導システムに関する研究(その 2 試作システムのソフトリスト)	Н8. 3
36	地下施設における火災の特性に関する研究報告書	Н9. 3
37	コーンカロリメーターによる防炎材料の燃焼性状に関する研究報告書	Н9. 3
38	地下施設における火災の特性に関する研究報告書	Н9. 3
39	少量水による大火災の延焼阻止技術の開発に関する研究報告書	H9. 12
40	被害情報の早期収集システムに関する研究	H10. 3

## 消防研究所研究資料一覧(つづき)

号数	題 名	年月日
41	照明灯による舞台幕の着火・燃焼性状に関する実験的研究報告書	H10. 3
42	市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書	H10. 3
43	実大規模でのカーテン類の燃焼性状に関する実験的研究報告書	H11. 3
44	大震火災時における地域防災活動拠点の安全性確保に関する研究報告書	H11. 3
45	市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究報告書	H11. 3
46	大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書	H11. 9
47	プラスチックパレットの難燃化とその燃焼性に関する研究報告書	H12. 3
48	市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究報告書	H12. 3
49	文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書 (その1)	H12. 3
50	地下施設における消防活動のための加圧防排煙技術に関する研究報告書 その1 中型基本地下模型を用いた加圧防排煙実験	H13. 3
51	地下施設における消防活動のための加圧防排煙技術に関する研究報告書 その2 小型基本地下模型を用いた加圧防排煙実験	H13. 3
52	AE法による石油タンク底部の腐食モニタリング技術に関する共同研究報告書	H13. 8
53	文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書(その2)	H13. 9
54	煙量を減少させる添加剤を含む可燃性液体の燃焼性状に関する報告書	H14. 2
55	AE法による工水タンク底部の漏洩のモニタリング技術に関する共同研究報告書	H14. 3
56	水による固体可燃物火災の消火と延焼阻止の機構に関する研究報告書	H14. 10
57	実大規模燃焼実験による難燃杉材の燃焼性状に関する研究報告書	H14. 10