

消防庁で一部加工

TR63298

2023年3月27日

総務省消防庁 御中

特殊消火設備の設置基準等に係る検討のための
消火性能の検証実験報告書

能美防災株式会社

目次

1	目的	1
2	実験場所	1
3	実験日	1
4	実験方法	2
4.1	実験条件	2
4.2	計測項目	4
4.3	計測器	5
5	実験結果	6
5.1	A火災想定実験結果	6
5.1.1	熱流束計測	8
5.1.2	温度計測	9
5.1.3	放射圧力計測	14
5.1.4	ダクト廻り計測	15
5.1.5	火炎高さ計測	17
5.1.6	燃焼残渣重量計測	18
5.2	B火災想定実験結果	19
5.2.1	熱流束計測	21
5.2.2	温度計測	22
5.2.3	放射圧力計測	27
5.2.4	ダクト廻り計測	28
5.2.5	火炎高さ計測	30
5.2.6	燃焼残渣重量計測	31
6	まとめ	32

1. 目的

特殊消火設備に係る新たな設置基準等の検討にあたり、自走式駐車場等に設置される泡消火設備に求められている性能を整理する必要がある。そこで、現在広く普及していると考えられる車体に樹脂製部品が使用されている自動車を燃焼させ、自動車周囲の温度変化、輻射及び火炎長等の計測をすることで泡消火設備による消火・延焼防止性能を確認することを目的として実験を実施した。

2. 実験場所

能美防災株式会社 妻沼東事業所 A 研究棟 第1 実験場
住所 埼玉県熊谷市妻沼 5058 番地

3. 実験日

2023 年 1 月 11 日(水), 12 日(木) 本実験(1 ケース/日)

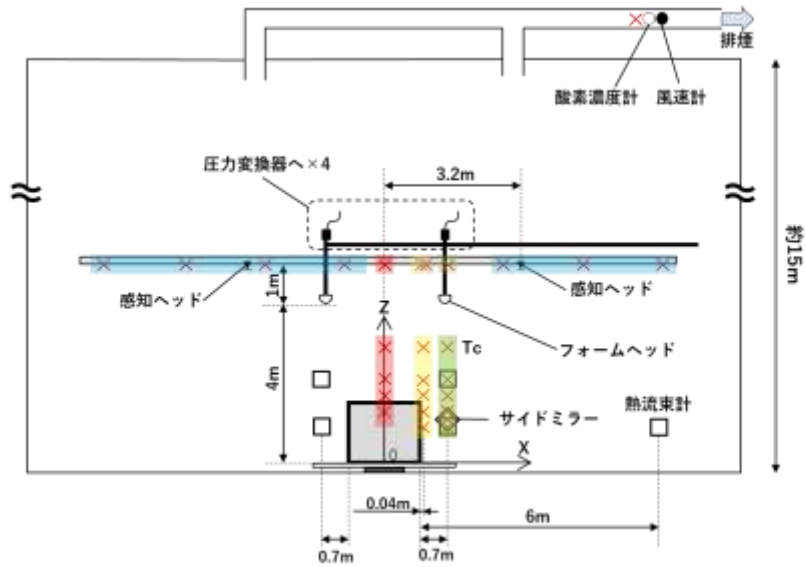
4. 実験方法

4.1 実験条件

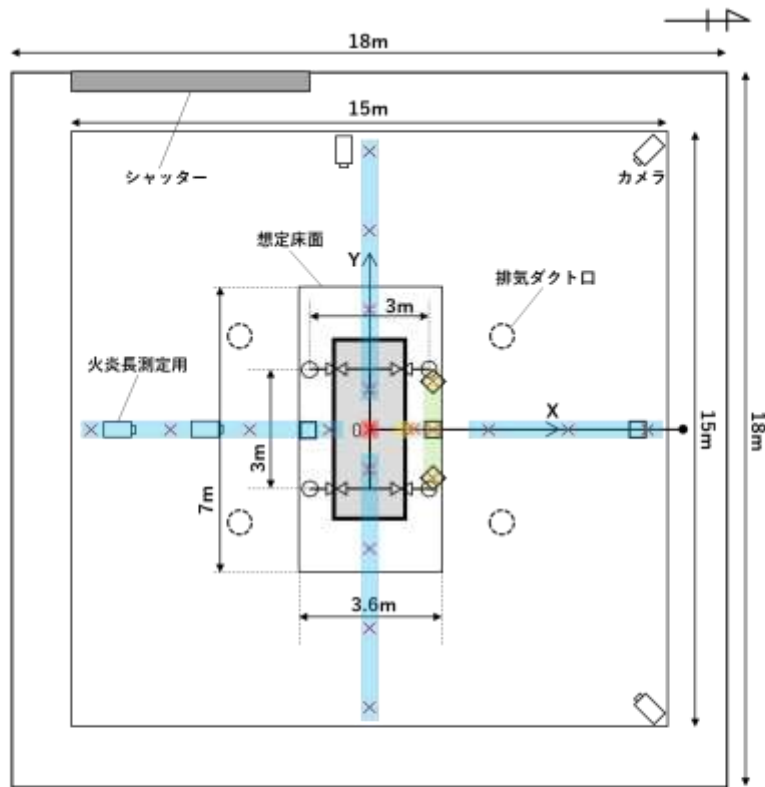
表 1 に実験条件、図 1 に実験レイアウトを示す。燃焼実験は A 火災を想定し車室内から燃焼を開始するものと、B 火災を想定し車両下部に設置した火皿から燃焼を開始するものの 2 種類を実施した。

表 1 実験条件

項目	条件	備考	
フォームヘッド	性能評定品		
フォームヘッド高さ	4.0m	想定床～フォームヘッドまでの距離	
放射圧	0.25MPa	放射圧力下限値	
総流量	140L/min ※35L/(min・個)	放射量下限値	
水成膜泡消火薬剤	検定品	3%型	
放射時間	10min	消防庁様指定 ※中止の場合はその時点まで	
感知ヘッド	感度 1 種 標示温度 66℃ 感度 2 種 標示温度 68℃	天井での設置位置により作動時間が異なる可能性があるため、火源から 4 方向の天井に設置	
天井高さ	5.0m	想定床～天井までの距離	
車両	2004年式	消防庁様指定、色指定無し 後部座席右側の窓のみ 20cm 開放 燃料タンクは充水	
駆動バッテリー	ニッケル水素電池	消防庁様指定 充電率は車内モニターの残量表示が全 8 段階中の 6 段階目から 5 段階目に切り替わったところで統一	
火源	A 火災想定	アルコール系固形燃料 80 g	消防庁様指定
	B 火災想定	n ヘプタン 45L 火皿 φ 1.0m	消防庁様指定、敷水 83mm (油面から火皿上端まで 50mm)
想定床	鋼板等	A 火災想定、B 火災想定ともに設置 想定床の高さは実験場床から 24cm	
換気量	開始時：約 320m ³ /min 変更後：約 800m ³ /min ※性能曲線	実験前から起動しておき、実験場外への煙流出防止や視界確保のため、状況を見て最大換気量に変更した。	
排気ダクト断面積	0.785m ²	φ 1.0 m	



立面図



※車両向きはY軸正方向

上面図

熱電対位置(X,Y,Z)m :

(X=0) : (0,0,1.4)(0,0,1.8)(0,0,2.2)(0,0,3.0) (0,0,5.0)

(X=0.9) : (0.9,0,1.0)(0.9,0,1.4)(0.9,0,1.8)(0.9,0,2.2)(0.9,0,3.0)(0.9,0,5.0)

(X=1.56) : (1.56,0,1.0)(1.56,0,1.4)(1.56,0,1.8)(1.56,0,2.2)(1.56,0,3.0)(1.56,0,5.0)(1.56,0.64,1.05)(1.56,-0.64,1.05)

天井(X=0,0.9,1.56以外) : (1.0,0,5.0)(3.0,0,5.0)(5.0,0,5.0)(7.0,0,5.0)(-1.0,0,5.0)(-3.0,0,5.0)(-5.0,0,5.0)

(-7.0,0,5.0)(0.1,0,5.0)(0.3,0,5.0)(0.5,0,5.0)(0.7,0,5.0)(0,-1.0,5.0)(0,-3.0,5.0)(0,-5.0,5.0)(0,-7.0,5.0)

熱流束計位置(X,Y,Z)m : (-1.56,0,1.2)(-1.56,0,2.2)(1.56,0,1.2)(1.56,0,2.2)(7.0,0,1.2)

輻射計 : 隣接車両サイドミラーの位置に並べて設置

感知ヘッド(X,Y,Z)m : (-3.2,0,5.0)(3.2,0,5.0)(0,-3.2,5.0)(0,3.2,5.0)

泡ヘッド(X,Y,Z)m : (1.5,1.5,4.0)(1.5,-1.5,4.0)(-1.5,1.5,4.0)(-1.5,-1.5,4.0)

図1 実験レイアウト

4.2 計測項目

計測項目を以下に示す。各計測位置の詳細は図1に示す。

(1) 温度

自動車周囲及び天井面付近の気流温度を計測した。また、実験場の換気設備において、排気ダクト中の排気温度も計測した。

(2) 熱流束

自動車直近及び遠方の熱流束を計測した。

(3) 風速と酸素濃度

実験場の換気設備において、排気ダクト中の風速及び酸素濃度を計測した。計測点は十分な直線部で断面の代表速度となる位置で計測している。

(4) 火炎高さ

火炎高さを推定するため撮影及び自動車周囲の温度を計測した。

(5) 重量

燃焼前後の車両重量を計測した。燃焼後は落下した残渣も可能な限り回収し、1週間乾燥させたうえで総重量を計測した。

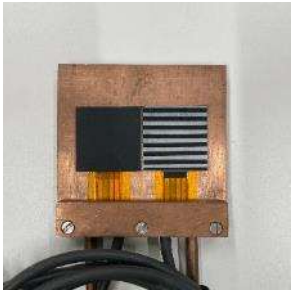


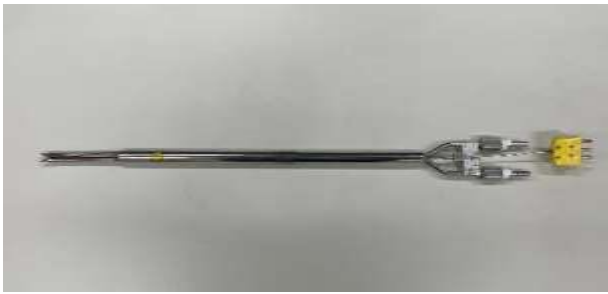
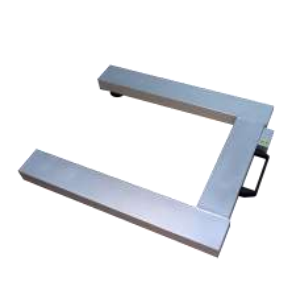
4.3 計測器

使用した計測器を表2及び表3に示す。

表2 使用した計測器

項目	計測器型式	メーカー	設置位置
熱流束	SBG01	Hukseflux Thermal Sensors	下記以外
	CapT-HF-RF-WP	CAPTEC	隣接車両サイドミラー位置
温度	TKC-K1.0	東亜電器(株)	図1中X=0, 0.9, 1.56のTCツリーおよび排気ダクト
	TI-GL-K0.32	東亜電器(株)	上記以外
風速	WK-176-05T	(株)岡野製作所	排気ダクト
酸素濃度	PG-330	(株)堀場製作所	排気ダクト
映像	GZ-RX600W	(株)JVC ケンウッド	図1参照
車両重量	ADBK-6M	(株)守随本店	

表3 計測器の外観

SBG01	CapT-HF-RF-WP	TKC-K1.0	TI-GL-K0.32
			
WK-176-05T		PG-330	ADBK-6M
			

5. 実験結果

5.1 A 火災想定実験結果

実験前の車両等設置状況を図2に示す。



図2 実験前の車両等設置状況

実験のイベントを表4に、実験時の燃焼の様子を図3に示す。

表4 実験イベント表

時間[分'秒"]	イベント	備考
0'00"	点火	
33'16"	南側1種感知ヘッド作動	
35'41"	南側2種感知ヘッド作動	
35'48"	換気量変更開始	約 320m ³ /min→約 800m ³ /min
35'58"	東側2種感知ヘッド作動	
36'03"	西側1種感知ヘッド作動	
36'06"	換気量変更完了	
36'13"	北側2種感知ヘッド作動	
37'39"	西側2種感知ヘッド作動	
37'45"	放射開始	図4~18における①に対応
47'45"	放射停止	図4~18における②に対等
57'45"	実験終了	図4~18における③に対応

※北側、東側の1種感知ヘッドは、煙が濃かったため作動確認できなかった。ただし、同じ場所の2種より先に作動していたと考えられ、最も作動が遅い感知ヘッドの作動での放射開始という条件で問題なく実施できていたと考える。



a)西側カメラから



b)南側カメラから



c)北西側カメラから



d)北東側カメラから

図3 実験時の様子

5.1.1 熱流束計測

実験時の熱流束を図4~5に示す。全体的な傾向で見ると34~35分を経過したあたりから熱流束が上昇し始め、38分あたりで最大となっている。その後、泡放射により熱流束が低下していることが確認できる。なお、59分付近で急激に値が上昇しているのは強制消火の際に火炎が煽られた影響によるものと推定する。

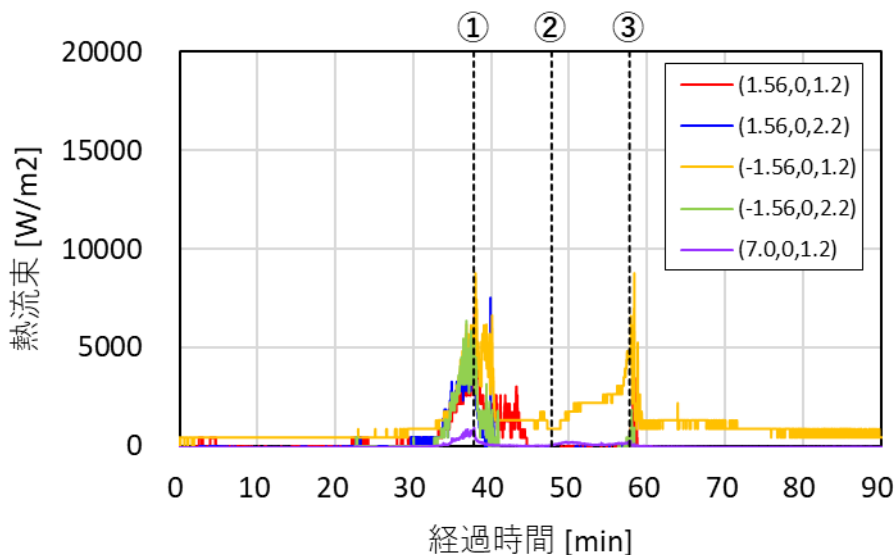


図4 実験時の各計測点における熱流束

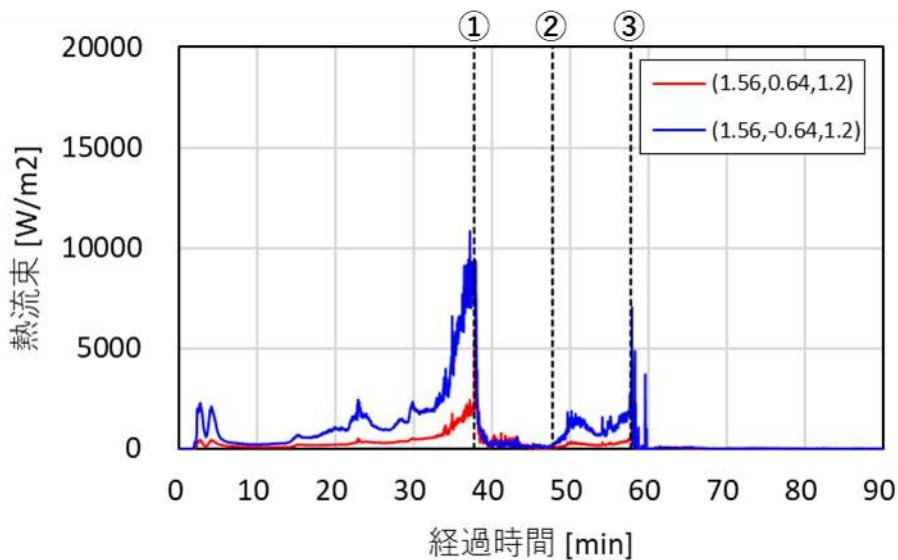


図5 隣接車両サイドミラー位置の熱流束

5.1.2 温度計測

実験時の各温度を図 6~14 に示す。図 7 について、泡放射中であるにも関わらず(0.9, 0, 1.4)に急激な温度上昇が複数回みられるが、これは設置位置が車両窓付近のため、窓から火炎が噴出した際の火炎温度を計測しているものと推定する。また、図 14 について、東側感知ヘッド部の温度の値が振り切れている時間帯があった。これは熱気流等により熱電対に接触不良が生じ、データロガーの仕様により断線では数値が振り切って表示されたものと推定する。図 6~14 において、実験終了のタイミングで強制消火を行っているため、以降の温度が低下している。

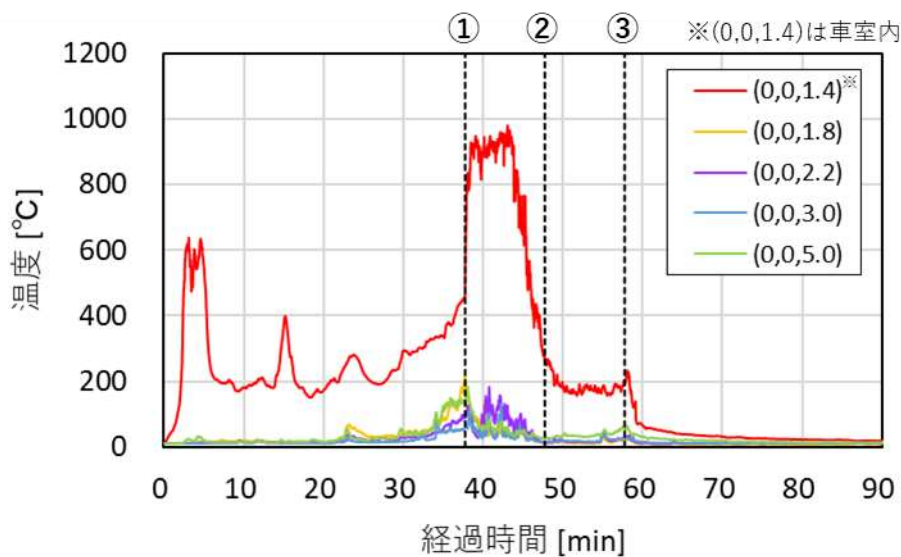


図 6 温度 (x=0, y=0)

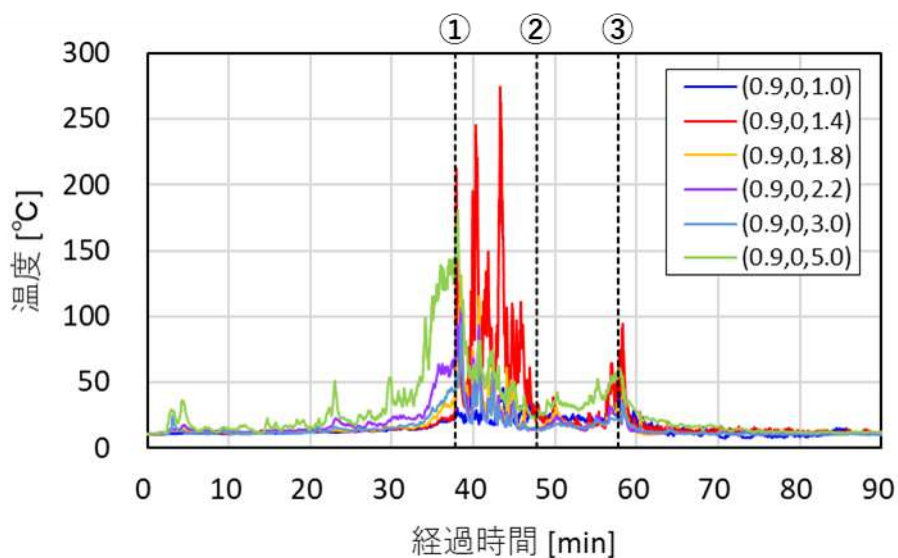


図 7 温度 (x=0.9, y=0)

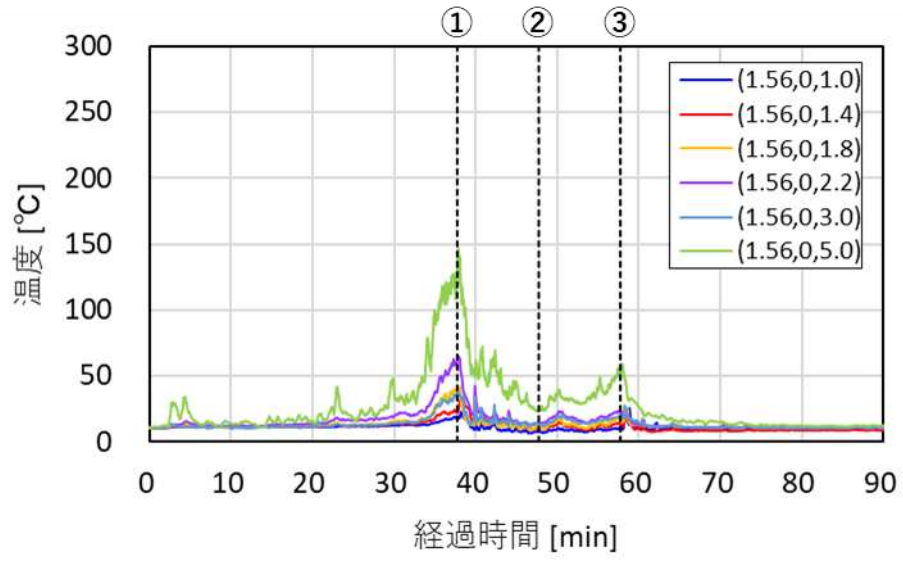


図8 温度 (x=1.56, y=0)

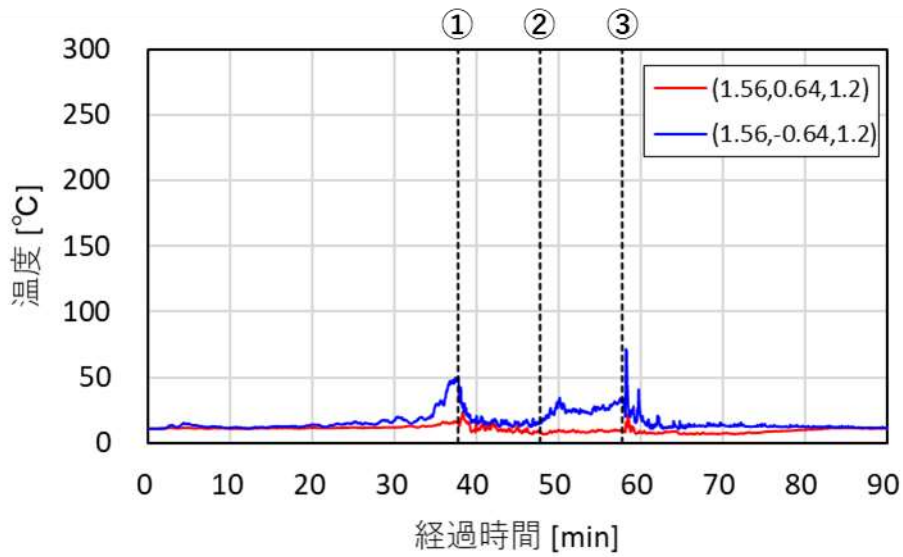


図9 隣接車両サイドミラー位置の温度

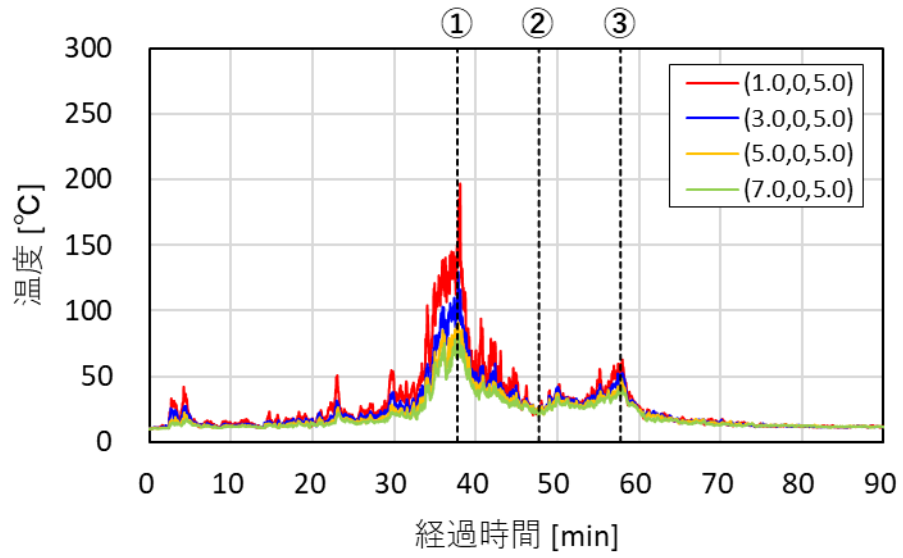


図 10 天井温度 (北)

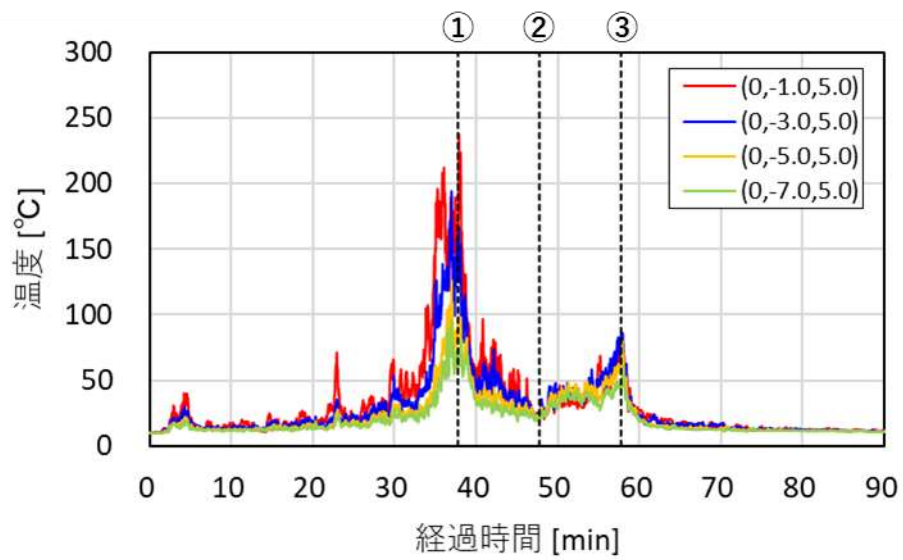


図 11 天井温度 (東)

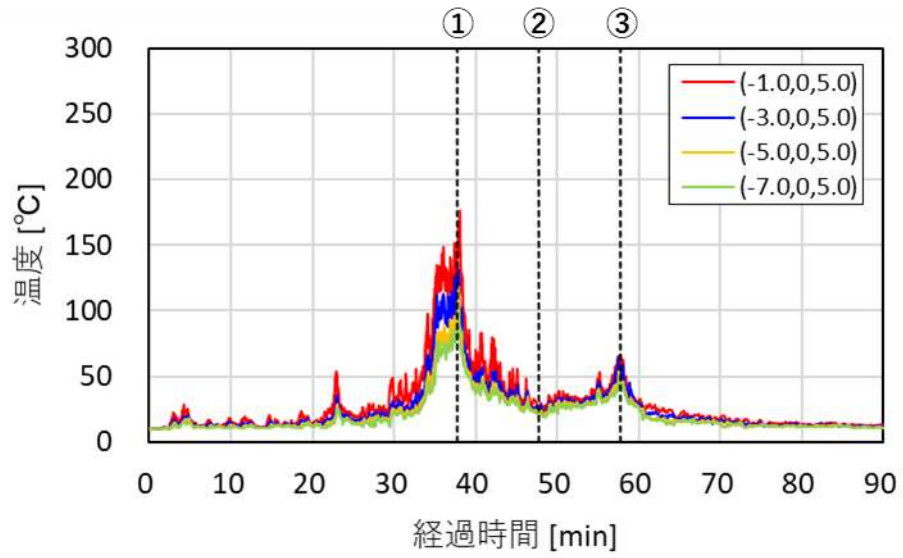


図 12 天井温度 (南)

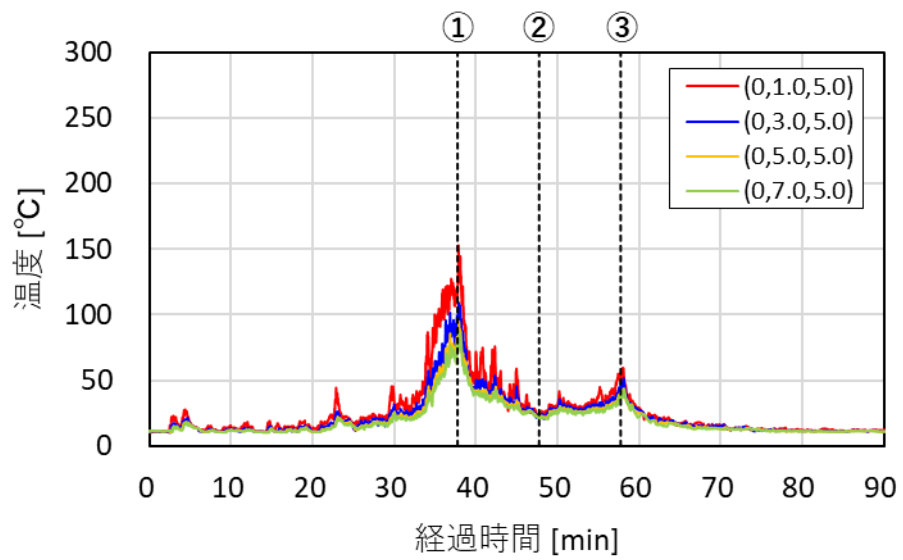


図 13 天井温度 (西)

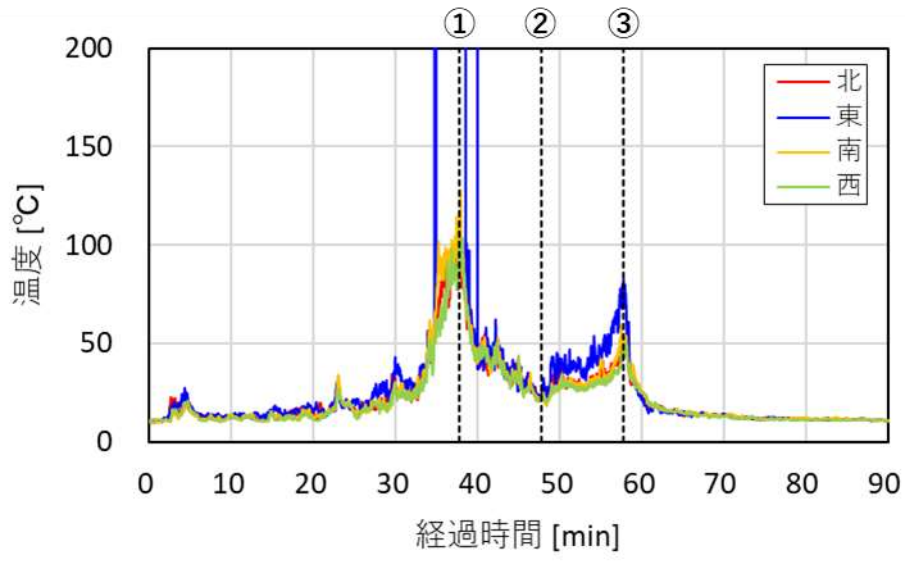


図 14 感知ヘッド付近の温度

5.1.3 放射圧力計測

実験時の放射圧力を図 15 に示す。圧力センサーの取り付け位置は、フォームヘッドの 2.0m 上のため、圧力センサーの値は水頭圧分の約 0.02MPa を考慮するとノズル圧は 0.25MPa であったことが確認できる。また、その時の総流量は 144L/min であることを流量計（参考設置）の目視により確認している。

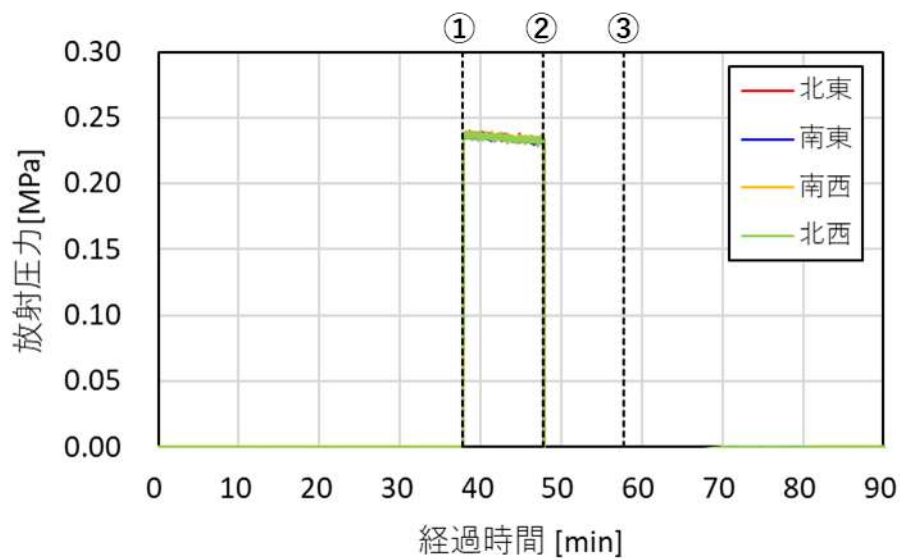


図 15 放射圧力

5.1.4 ダクト廻り計測

実験時の排気ダクト内の温度、風速、酸素濃度を図16～18に示す。図16について、泡放射開始から温度が低下し、停止後から上昇していることが確認できる。また、実験終了のタイミングで強制消火を行ったため、以降の温度が低下している。なお、実験場内の空気が排気ダクト内の計測点に到達するまで時間がかかるため、それぞれのタイミングで1分程度の遅れが生じている。図17について、ダクト内の風速は換気量変更前がおよそ6m/s、変更後がおよそ17m/sとなっており、それぞれ換気量に換算すると換気設備の仕様値（性能試験での値 約320m³/min、約800m³/min）と概ね一致していた。図18について、泡放射開始から5分程で酸素濃度の上昇、停止から10分程で低下、実験終了から10分程で上昇していることが確認できるが、酸素濃度も計測遅れがあると考えられる。実験場の容積約4860m³に対して、換気量は最大でも約800m³のため、空気が入れ替わるには少なくとも6分程度かかり、実験場内に空気の淀みがあることを考慮すると、5分～10分の応答性は妥当であると考えられる。同一計測内でレスポンスにばらつきがあるのは、実験場内の気流や淀みが、燃焼状況や放水気流によって変わるためと推定する。大気中における一般的な酸素濃度に比べ出力値が高くなっているが、計測器の校正が前日に行われていたためずれが生じたと考えられる。また、グラフが全体的に右上がりとなっていることに関して、明確な理由は不明であるが、計測器の指示誤差が0.5vol%程度（フルスケール25vol%の±2.0%）である。酸素濃度の出力値については、計測器の暖機により徐々に出力が安定するが、その際にも上昇傾向がみられる。屋外に設置していたことにより、機器が冷え切っていたため、通常よりも暖機時間を長くとる必要があった可能性も考えられる。

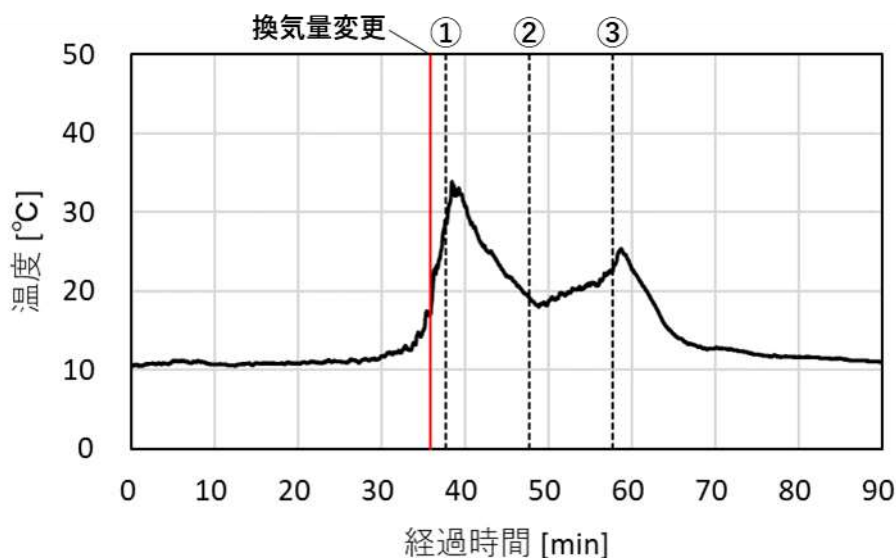


図16 排気ダクト内の気流温度

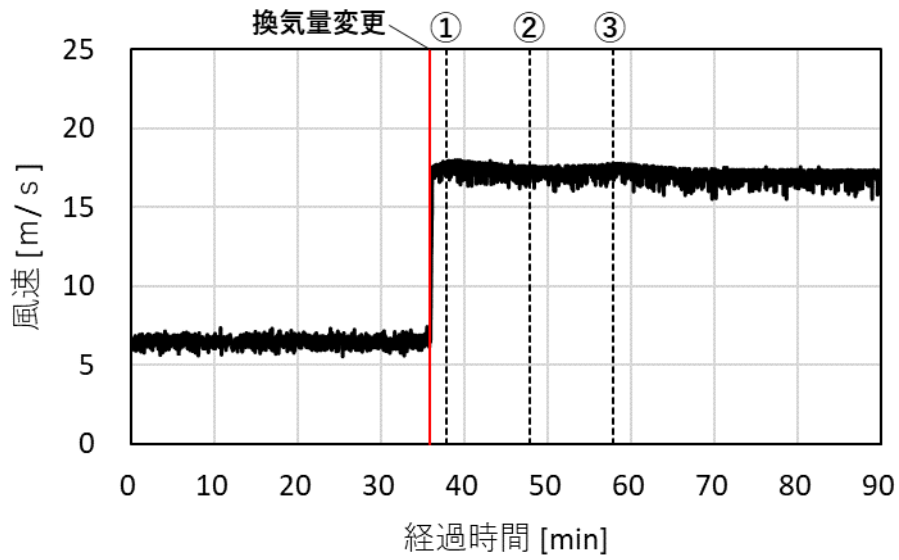


図 17 排気ダクト内の風速

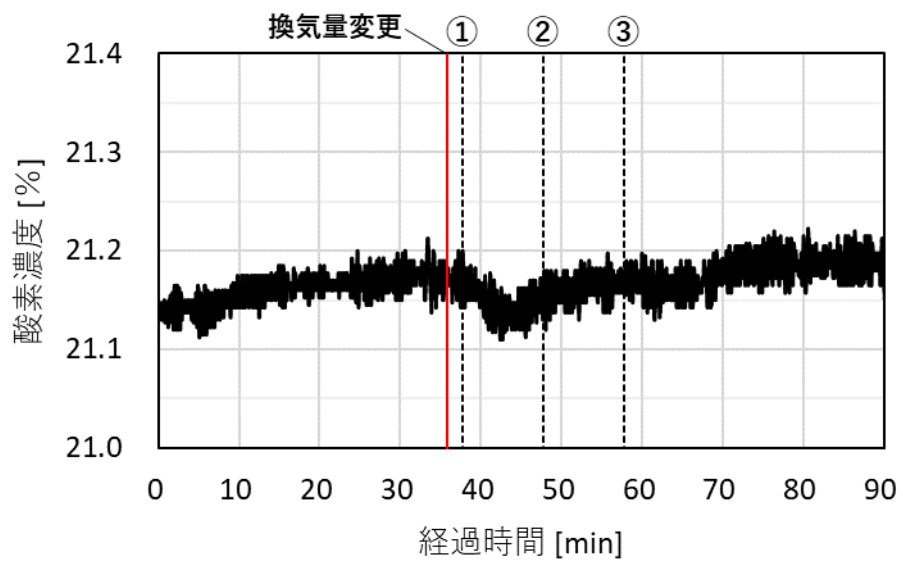


図 18 排気ダクト内の酸素濃度

5.1.5 火炎高さ計測

実験中の火炎の様子を図 19 に表す。なお、図中記載の高さは実験場床面からの高さを表している。なお、燃烧している箇所は時々刻々変化するが、火炎高さ算出をする基準の設定に関しては、窓やリアハッチなどからの高さをもとに算出して比較する必要がある。



図 19 火炎の様子

5.1.6 燃焼残渣重量計測

実験後の車両等の状況を図 20 に示す。



図 20 実験後の車両等状況

続いて、実験前後の燃焼車両重量を表 5 に示す。消防庁様作成資料“発熱速度の推算方法（案）”より自動車の単位発熱量を 30MJ/kg と仮定すると、総発熱量は 870MJ となる。

表 5 車両重量[kg]

燃焼前	燃焼後	重量減少量
1267.0	1238.0	29.0

5.2 B 火災想定実験結果

実験前の車両等設置状況を図 21 に示す



図 21 実験前の車両等設置状況

実験のイベントを表 6、実験時の燃焼の様子を図 22 に示す。

表 6 実験イベント表

時間[分'秒"]	イベント	備考
0'00"	点火	
2'44"	東側 1 種感知ヘッド作動	
2'50"	東側 2 種感知ヘッド作動	
2'57"	北側 1 種感知ヘッド作動	
3'01"	北側 2 種感知ヘッド作動	
3'08"	南側 1 種感知ヘッド作動	
3'21"	南側 2 種感知ヘッド作動	
4'26"	換気量変更開始	約 320m ³ /min→約 800m ³ /min
4'33"	西側 1 種感知ヘッド作動	
4'33"	西側 2 種感知ヘッド作動	
4'37"	放射開始	図 23～36 における①に対応
4'43"	換気量変更完了	
14'37"	放射停止	図 23～36 における②に対応
17'05"	強制消火&実験終了※	図 23～36 における③に対応

※(7.0, 0, 1.2)の熱流束計の値が 1.1kW (発熱速度 4MW 相当)を超えたため、放射停止から 10 分間の経過観察を待たずに実験を終了



a)西側カメラから



b)南側カメラから



c)北西側カメラから



d)北東側カメラから

図 22 実験時の様子

5.2.1 熱流束計測

実験時の熱流束を図 23～24 に示す。泡放射によって熱流束が徐々に低下することが確認できたが、放射停止後は再度上昇している。

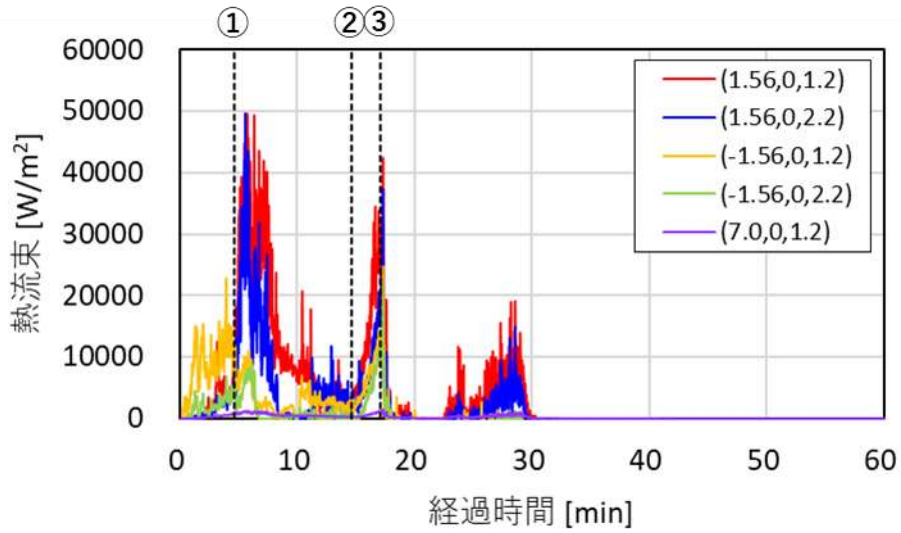


図 23 実験時の各計測点における熱流束

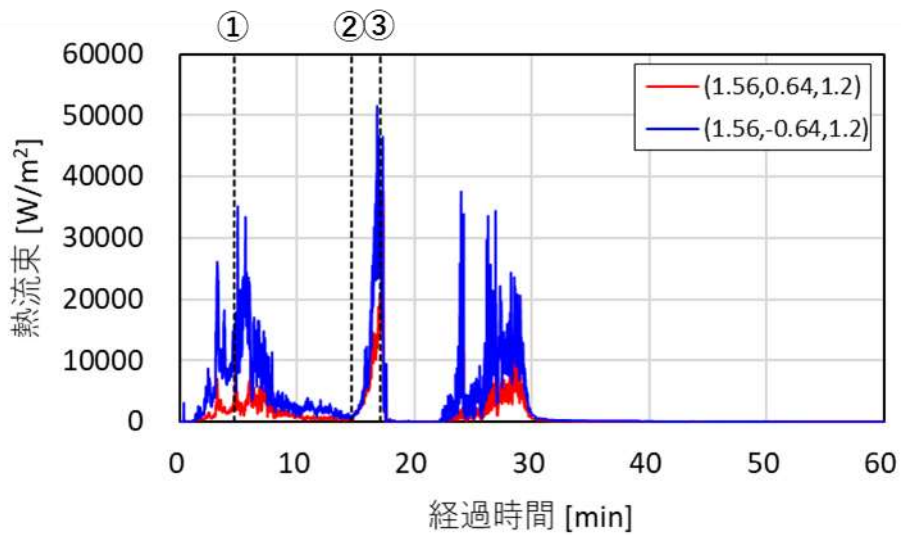


図 24 隣接車両サイドミラー位置の熱流束

5.2.2 温度計測

実験時の各温度を図 25～33 に示す。図 31(-1.0, 0, 5.0)、図 33 北について、値が振り切れている時間帯があった。これは A 火災想定同様に熱気流等により熱電対に接触不良が生じ、データロガーの仕様により数値が振り切ったものと推定する。図 26 において、放射開始から温度が低下していたことが確認できるが、(0.9, 0, 1.0)および(0.9, 0, 1.4)では泡放射中に断続的な温度上昇がみられる。これは車体の横を立ち上る火炎の火炎温度を計測したためであると推定する。今回、想定床を構成する鋼板が熱せられたことにより歪み、さらに床面を展開する泡が蒸発してしまい、火皿に入る泡が非常に少なくなっていた様子を目視確認している。そのため、火皿燃焼の一定の抑制はできていたがしばらくの間消火には至らず、火皿の燃焼が継続していた。また、(0.9, 0, 1.0)より(0.9, 0, 1.4)が高い温度を記録しているが、(0.9, 0, 1.4)は車両窓上端付近に位置しており、図 25 において 12 分あたりから車室内の温度が上昇していることが確認できることから、火皿からの火炎に加え、窓から噴出した火炎の温度を計測したためと推定する。

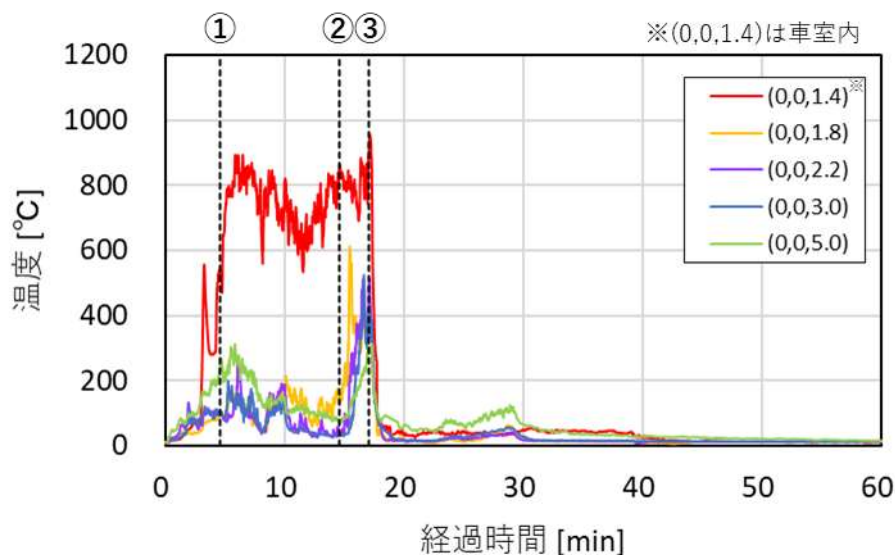


図 25 温度 (x=0, y=0)

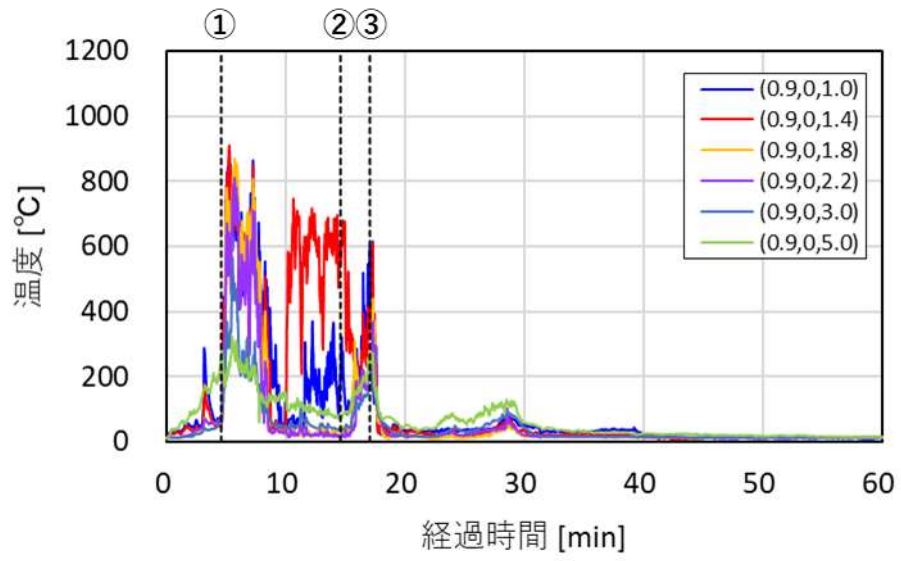


図 26 温度 ($x=0.9, y=0$)

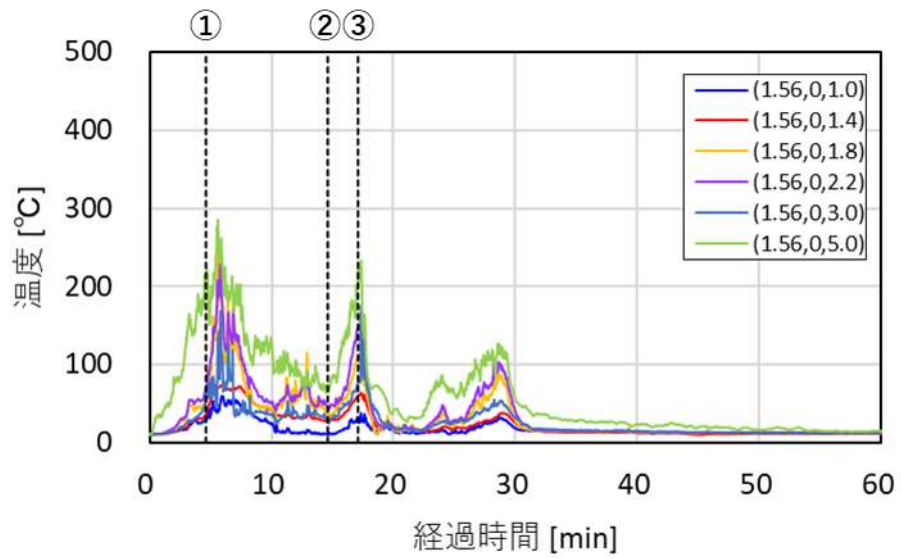


図 27 温度 ($x=1.56, y=0$)

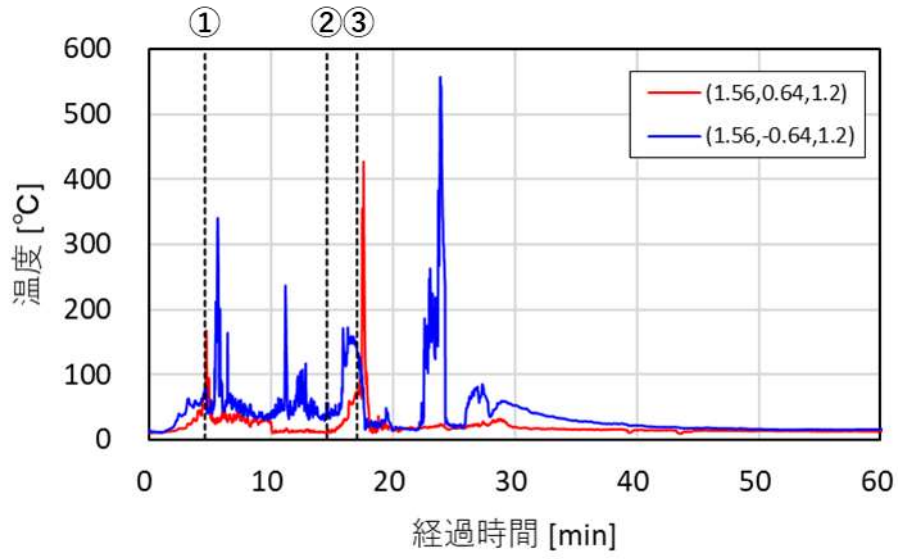


図 28 隣接車両サイドミラー位置の温度

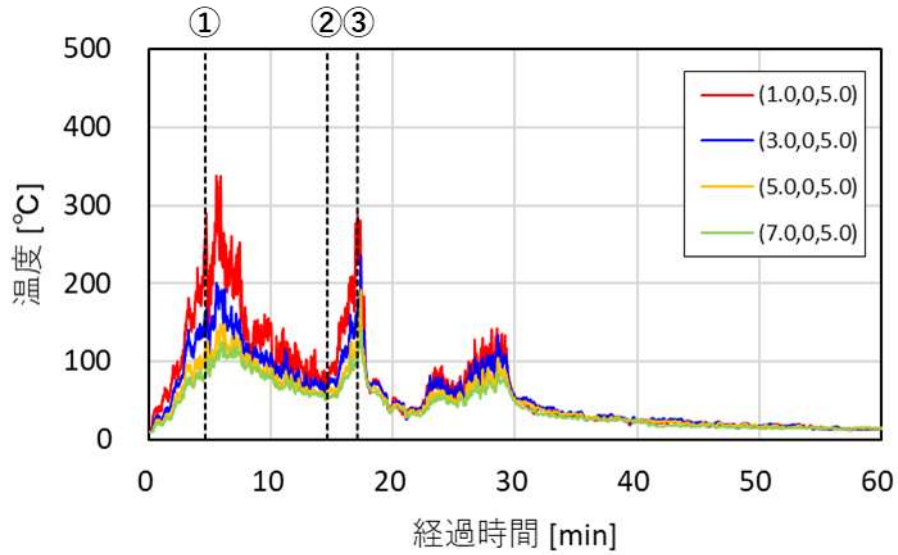


図 29 天井温度 (北)

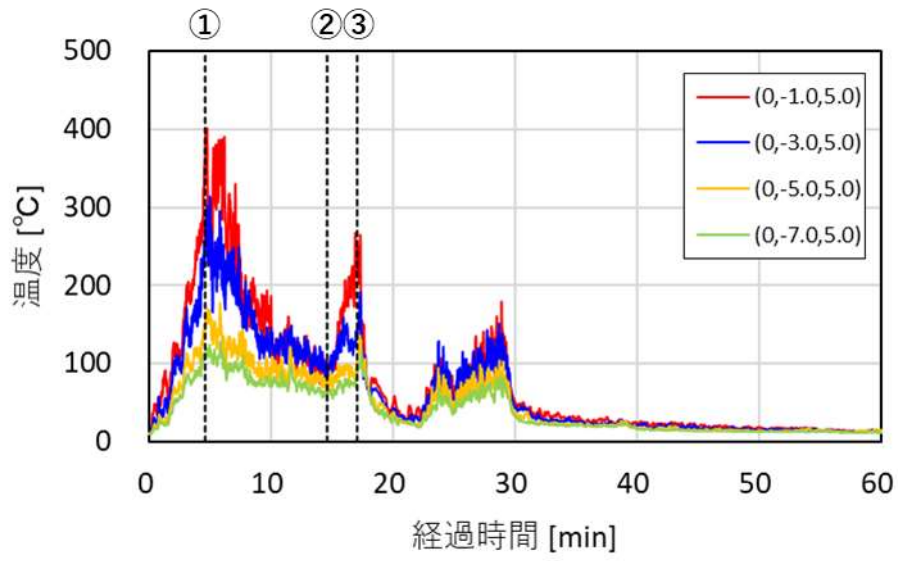


図 30 天井温度 (東)

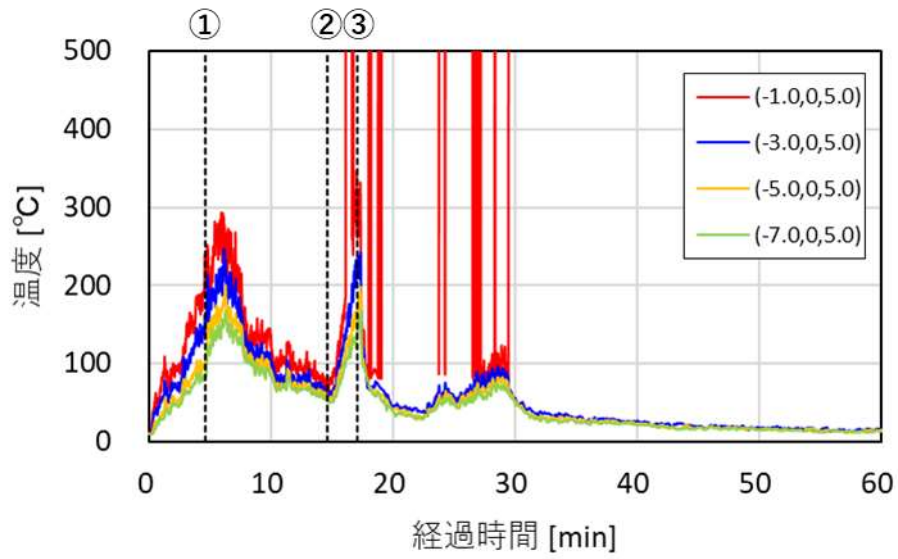


図 31 天井温度 (南)

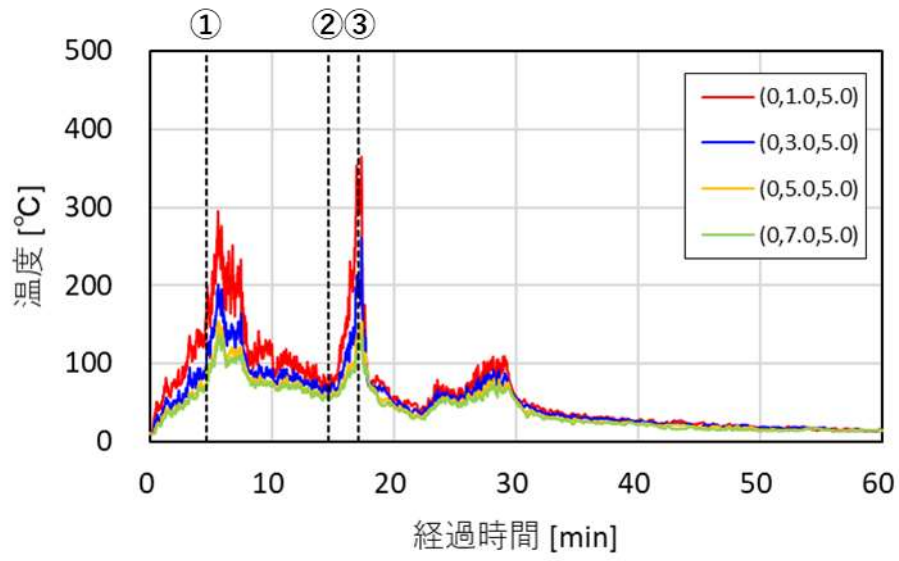


図 32 天井温度 (西)

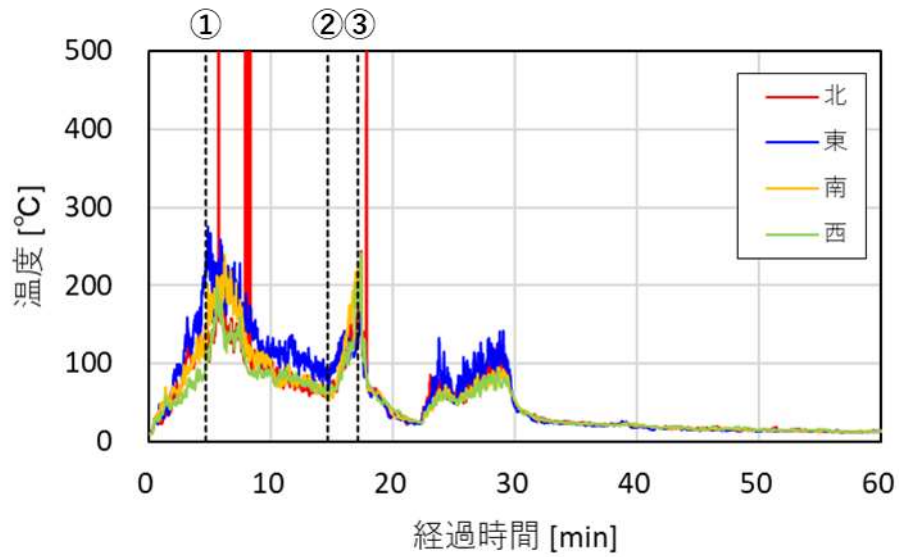


図 33 感知ヘッド付近の温度

5.2.3 放射圧力計測

実験時の放射圧力を図 34 に示す。圧力センサーの取り付け位置は、フォームヘッドの 2.0m 上のため、圧力センサーの値は水頭圧分の約 0.02MPa を考慮するとノズル圧は 0.25MPa であったことが確認できる。また、その時の総流量は 144L/min であることを流量計（参考設置）の目視により確認している。

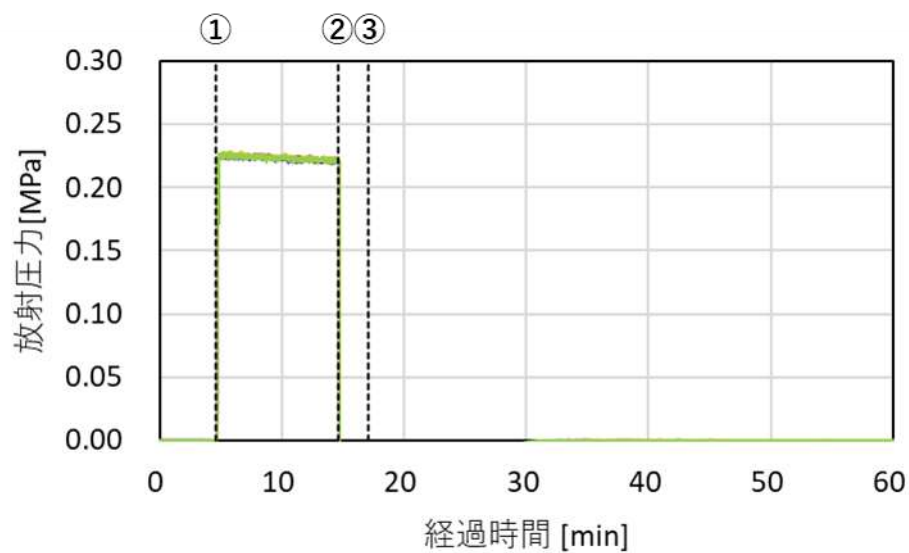


図 34 放射圧力

5.2.4 ダクト廻り計測

続いて実験時の排気ダクト内の温度、風速、酸素濃度を図 35～37 に示す。図 35 について、各タイミングで 1～3 分程度の遅れは生じているが、泡放射開始から温度が低下、停止後から上昇、実験終了で低下していることが確認できる。経過時間 30 分あたりで温度が上昇しているのは、強制消火の際、残存していた燃料を消費するため火皿内の消火を行わず、燃焼が拡大したためである。図 36 について、A 火災想定実験と同様にダクト内の風速は換気量に換算すると換気設備の仕様値と概ね一致していた。図 37 について、8 分ほどの遅れが生じているが、燃焼により酸素濃度が低下した後、泡放射開始で上昇、停止で低下、強制消火で再び上昇することが確認できる。

今回は「A 火災想定実験」および「B 火災想定実験」で酸素濃度の計測に関して、原因は不明確であるが、データのドリフトおよび出力値の時間遅れがみられる。また、実験場内の淀みなどの影響とみられるが、データの変化量も非常に小さかった。この原因については可能であれば追加試験で確認するが、その他の計測による評価の方が現時点では有望であると考えられる。

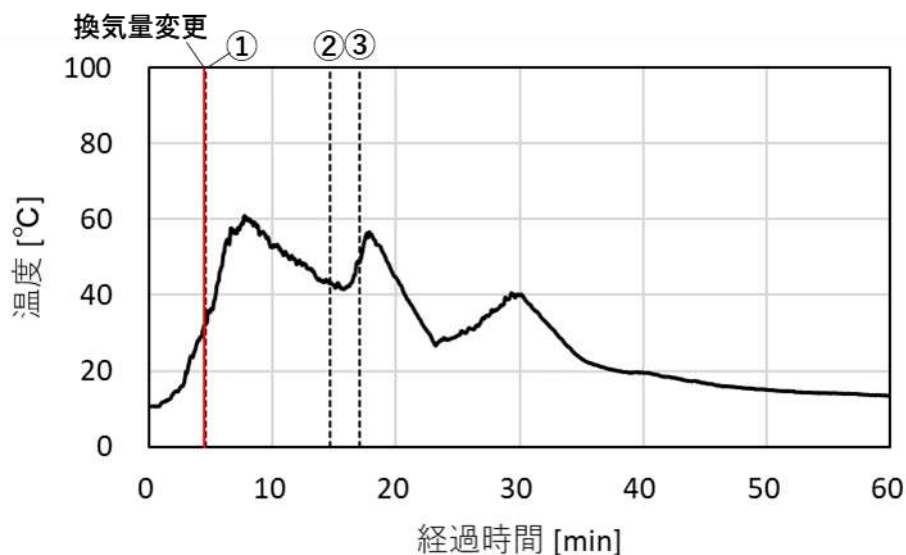


図 35 排気ダクト内の気流温度

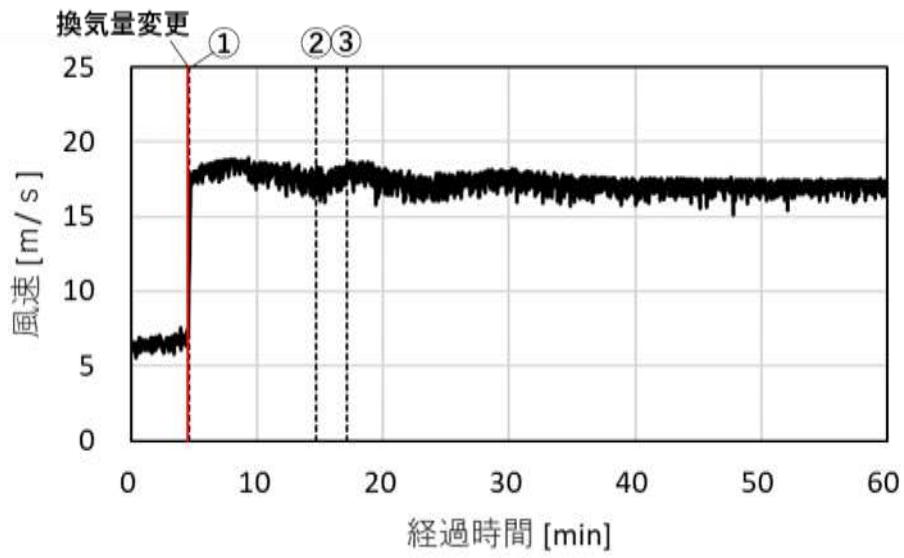


図 36 排気ダクト内の風速

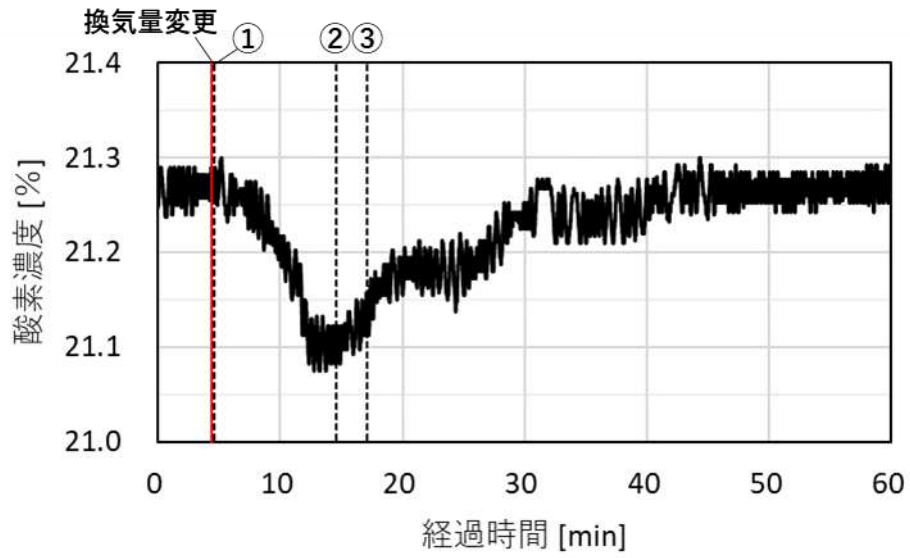


図 37 排気ダクト内の酸素濃度

5.2.5 火炎高さ計測

実験中の火炎の様子を図 38 に表す。なお、図中記載の高さは床面からの高さを表している。

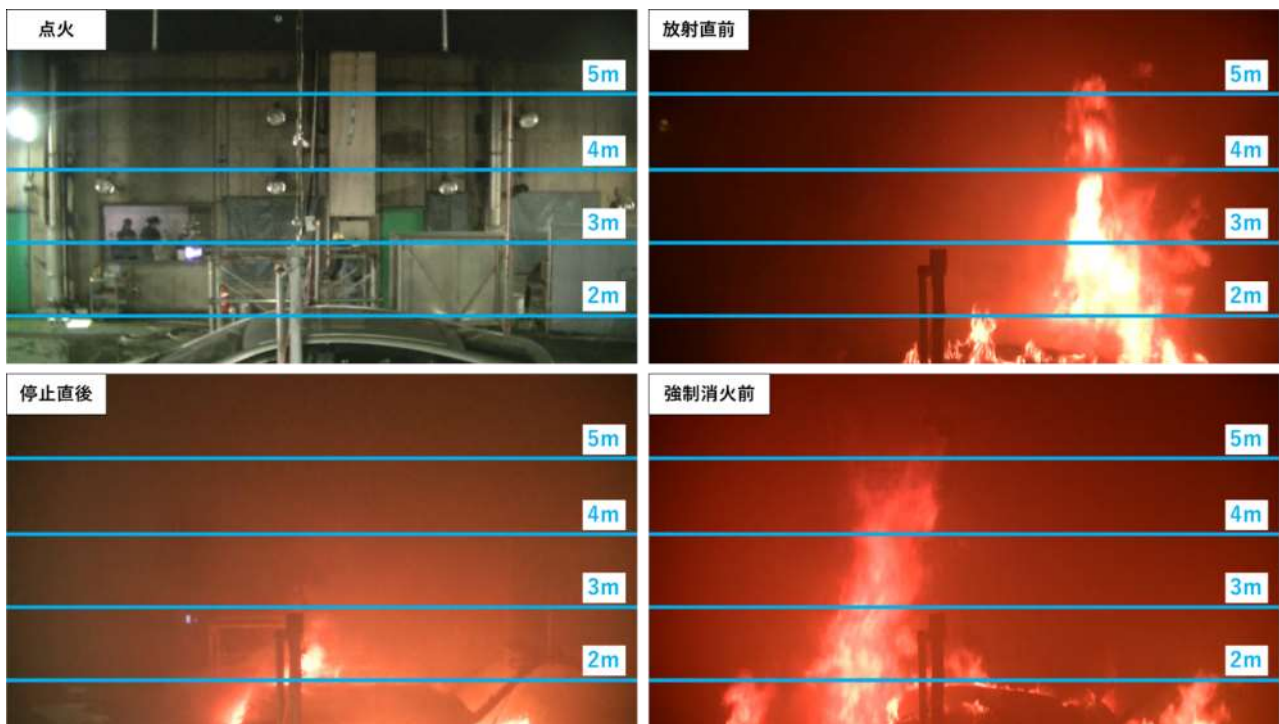


図 38 火炎の様子

5.2.6 燃焼残渣重量計測

実験後の外観を図 39 に示す。



図 39 実験後の車両状況等

実験前後の燃焼車両重量を表 7 に示す。自動車の単位発熱量を 30MJ/kg と仮定すると、総発熱量は 1,908MJ となる。

表 7 車両重量[kg]

燃焼前	燃焼後	重量減少量
1247.2	1183.6	63.6

6. まとめ

自走式駐車場等に設置される泡消火設備の消火・延焼防止性能を確認するため、A火災、B火災を想定した2種類の燃焼実験を実施し、自動車周囲の温度変化、輻射及び火炎長等を計測した。両ケースとも、泡放射によって自動車周囲の温度や輻射が低下していた。ただし、泡放射停止後に着目すると、A火災想定では著しい火勢の拡大がみられなかったが、B火災想定では停止直後から火勢の拡大がみられた。また、A火災想定、B火災想定における総発熱量はそれぞれ870MJ、1,908MJとなった。

各計測による発熱速度の推算は別途資料で報告する。