

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
追加実験報告書

2023年4月14日

1. 追加実験の目的

前回の本実験では、換気を伴う比較的大きな実験場において、複雑な燃焼性状を示す自動車の燃焼実験について各種計測を行った。これらの計測結果には相当な時間遅れや変動がみられるものがあり、計測結果に基づく発熱速度の算出には実験場の特性等による補正が必要と考えられる。

今回は単純な燃料を同じ実験場で燃焼させ、同様の計測を行い、補正係数を得ることを目的とした追加実験を行ったので報告する。本報告書では、まず前回本実験での計測結果に基づく発熱速度を示し、続いて追加実験により補正値を算出し、最後に補正値を用いた本実験結果の見直しを行う。

2. 本実験の計測結果に基づく発熱速度

本実験の計測結果から発熱速度を推算した結果を図1～2に示す。発熱速度の推算方法について以下とした。

- ・HRR（酸素消費法）：ダクト内風量及びダクト内酸素濃度から酸素の発熱量を13.1kJ/gとして算出。
- ・HRR（熱流束）：計測点での熱流束が、火炎中心軸から計測点までの距離を半径とする球の面積に均一に分散していると仮定して算出。発熱量に占める放射の割合はここでは0.4とした。
- ・HRR（天井面温度）：天井下気流温度（8点）ごとにアルパート式⁽¹⁾によりHRRを算出し平均値を求めた。
- ・HRR（ダクト温度）：ダクト内温度の変化分、空気比熱及びダクト内風量を用いて算出。
- ・HRR（火炎長）：計測の時間遅れが無視できるHRR（熱流束）が最大値を示すタイミングでの平均火炎高さ L_m 及び平均展炎長さ L_r を動画から読み取り、次式⁽²⁾を用いて算出した。ここで $Q^* = Q/1116D^{5/2}$ ：無次元発熱速度、 D ：火源径、 H ：天井高さである。

$$\begin{cases} \frac{L_m}{D} = 3.4 \times Q^{*2/3} & (Q^* < 1) \\ \frac{L_m}{D} = 3.4 \times Q^{*2/5} & (Q^* \geq 1) \end{cases}$$
$$\frac{L_r}{D} = 0.50[(L_m - H)/D]^{0.96}$$

- ・HRR（車両重量減少換算）：車両の単位重量当たりの発熱量を30MJ/kgとし、実験前後の車両重量の差分から総発熱量を求め、計測遅れがないと思われるHRR（熱流束）の時間変化をもとに算出。

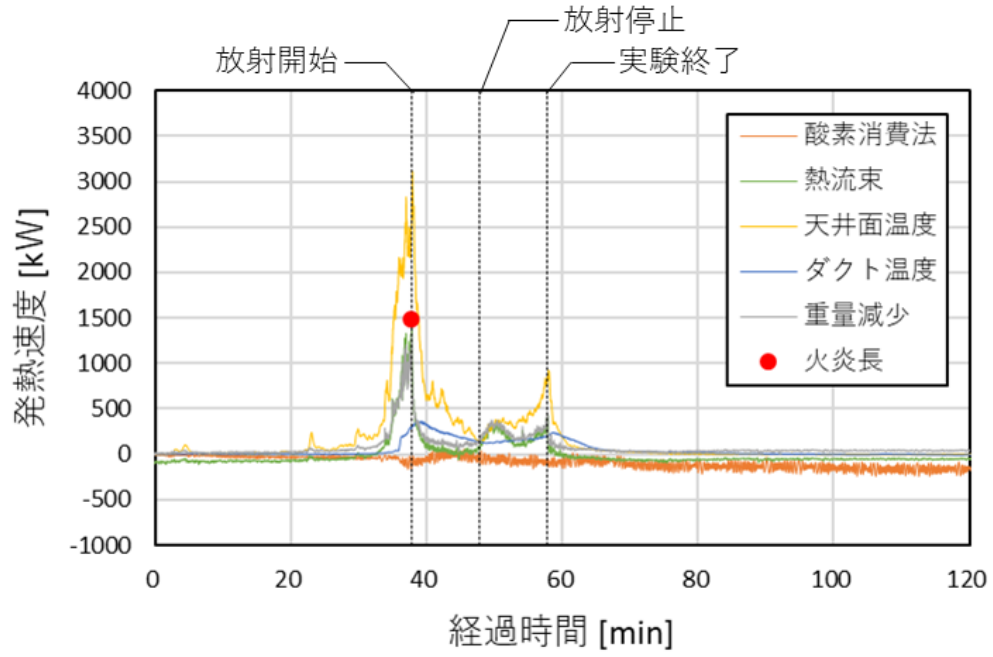


図1 本実験 A 火災想定発熱速度

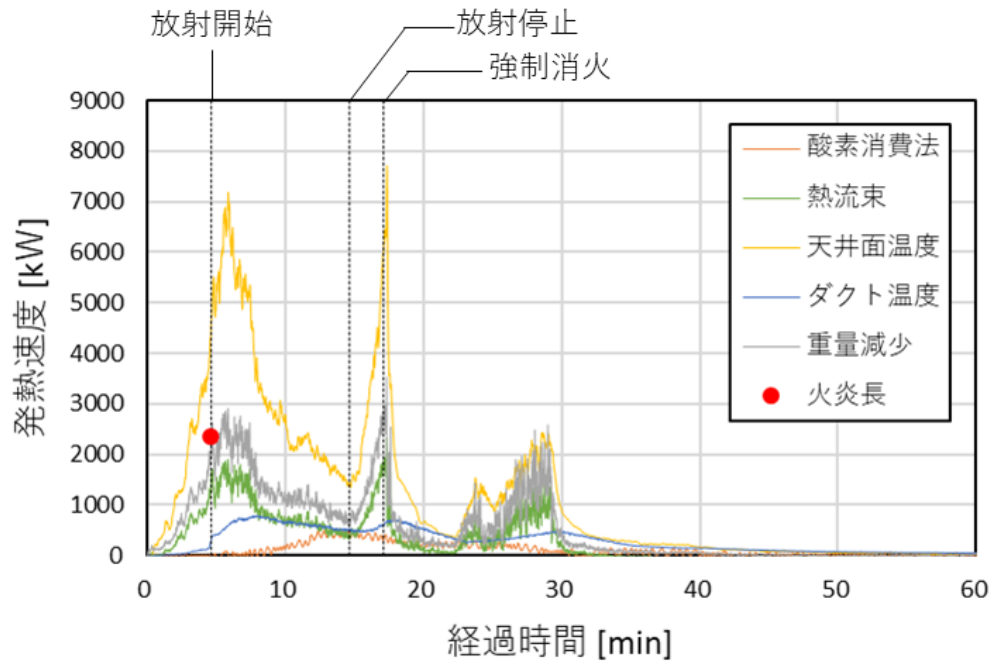


図2 本実験 B 火災想定発熱速度

3. 追加実験

3.1 実験概要

実験ケースを表1、各ケース共通の実験条件を表2、計測項目を表3、実験のレイアウトを図3に示す。

表1 実験ケース

実験番号	火皿	換気量
追加実験1	ϕ 1.0m (0.8 m ²)	約 320m ³ /min
追加実験2	ϕ 1.0m (0.8 m ²)	約 800m ³ /min
追加実験3	1.4m (2 m ²)	約 800m ³ /min

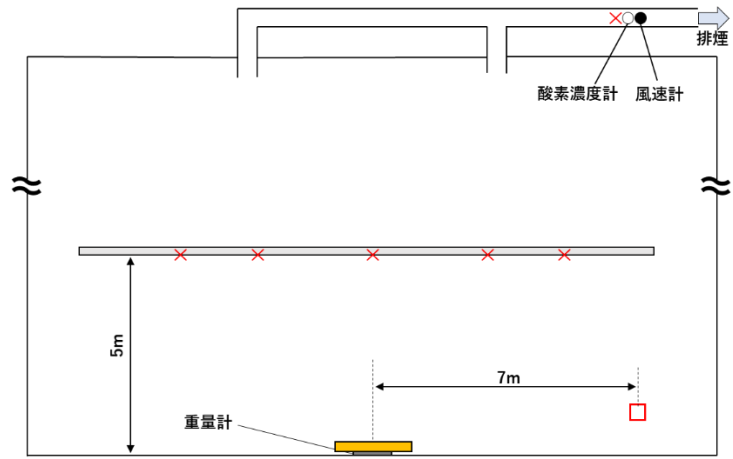
表2 共通の実験条件

項目	条件	備考
天井高さ	5.0m	床面からの高さ
燃料	ノルマルヘプタン 45L	本実験同様
ダクト断面積	0.785m ²	本実験同様
シャッター開口	床面から 1.0m	本実験同様

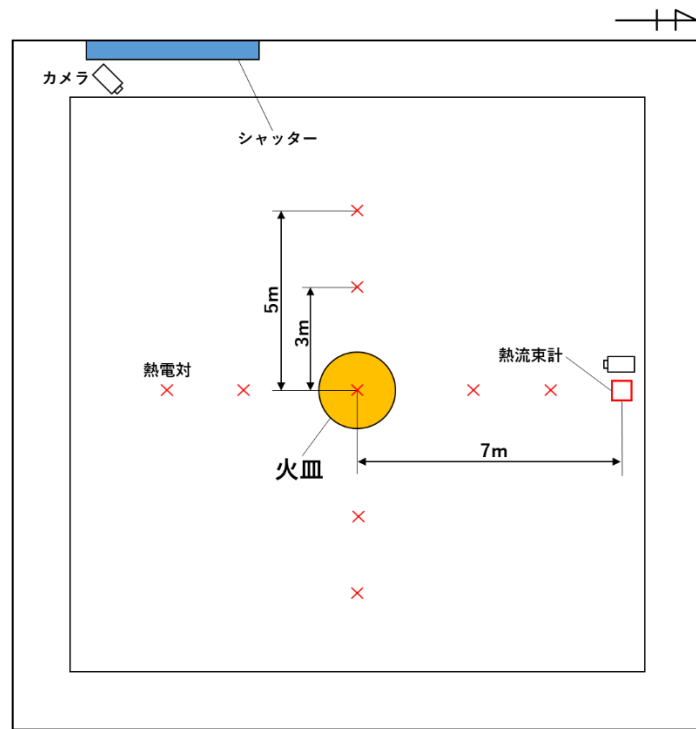
表3 計測項目

計測項目	設置位置	備考
温度	天井面 9点(図3参照)及びダクト内1点	天井面の計測は天井から5~10cm離す
風速	ダクト内	本実験と同様の位置
O ₂ 濃度		
CO濃度		
CO ₂ 濃度		
熱流束	図3参照	火皿中心から7m位置
重量	火皿下	1台では計測上限を超えるため2台*用いて計測
カメラ	図3参照	火炎全体が映るようにする

*重量計型番：F300S 及び IS300IGG-H



立面図



平面図

図3 予備実験レイアウト

3.2 実験結果

追加実験の計測結果から本実験と同様の方法で発熱速度を算出した。本実験では項目になかったHRR（重量法）については、重量減少量にノルマルヘプタンの重量当たり発熱量 48.1kJ/g を乗じて算出した。

3.2.1 追加実験 1

追加実験 1 の結果を図 4～13 に示す。

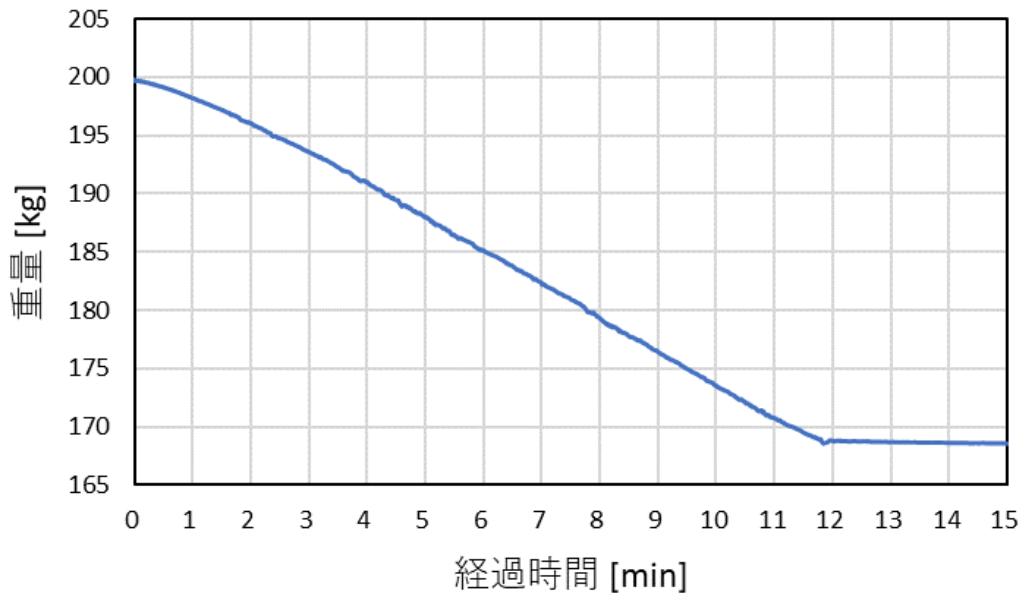


図 4 火皿とヘプタンの重量

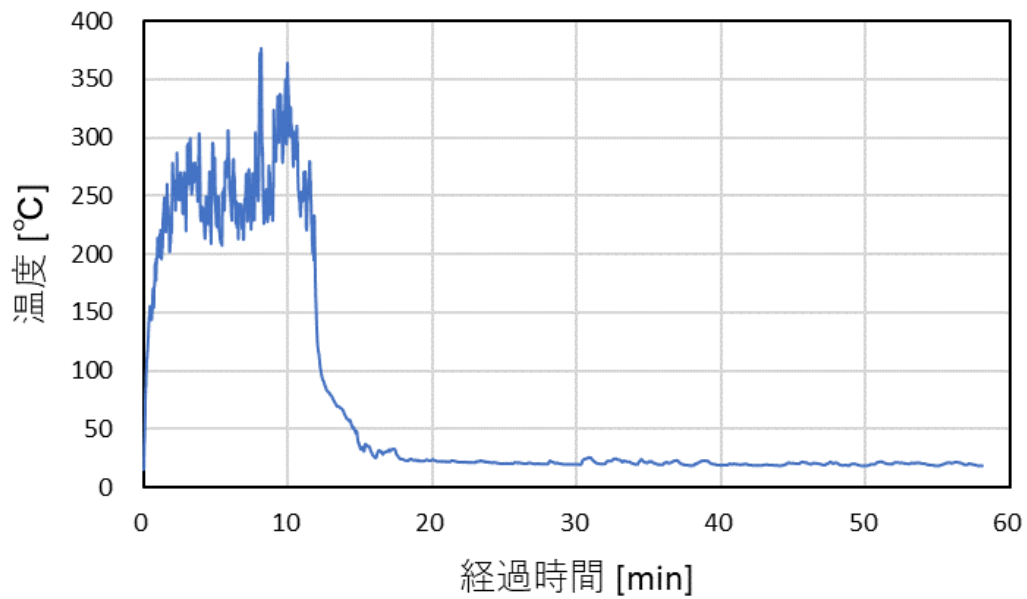


図 5 火皿直上の天井温度

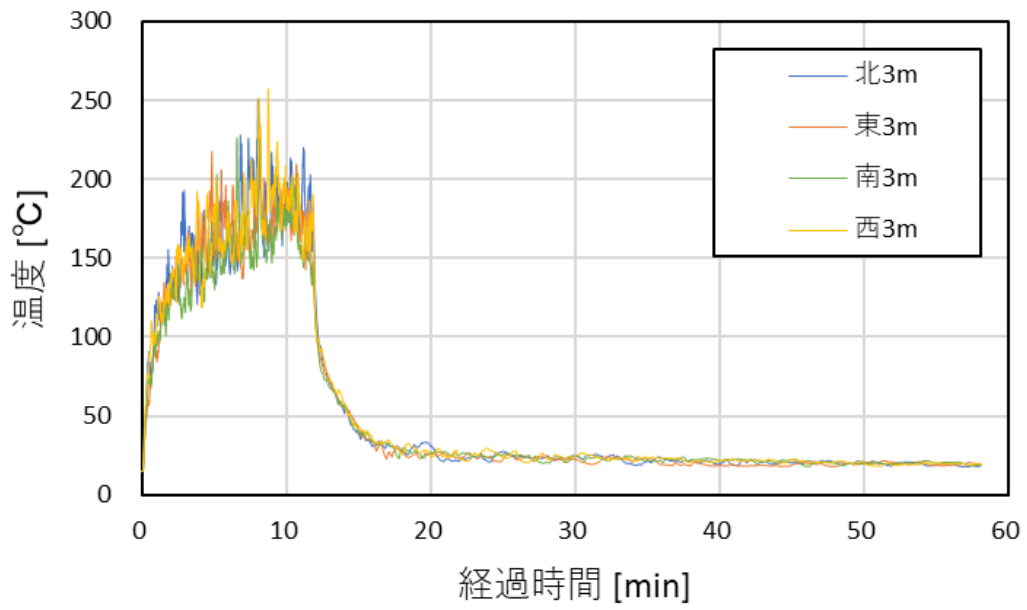


図 6 火皿中心から 3m位置の天井温度

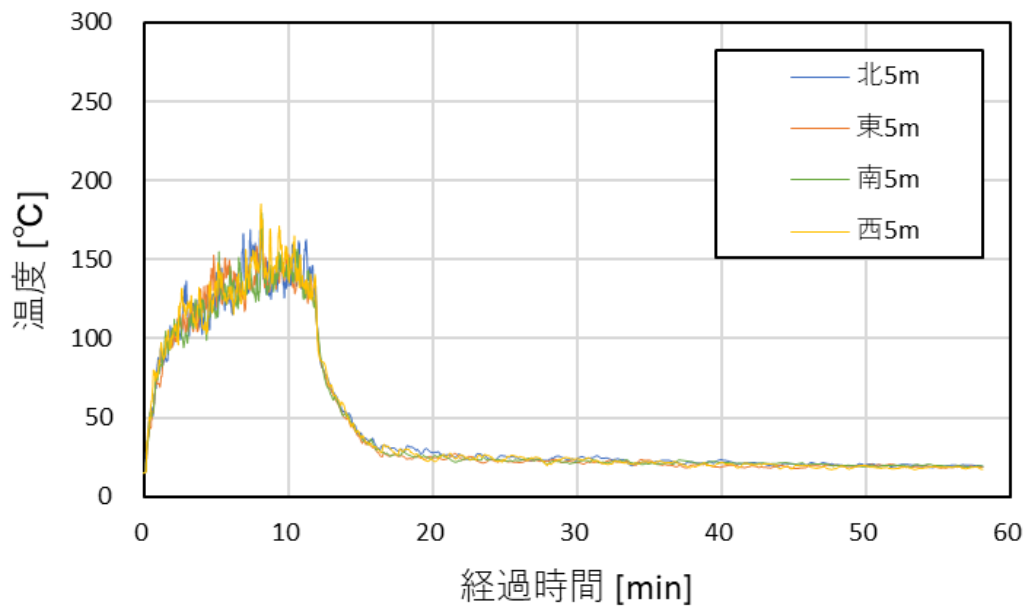


図 7 火皿中心から 5m位置の天井温度

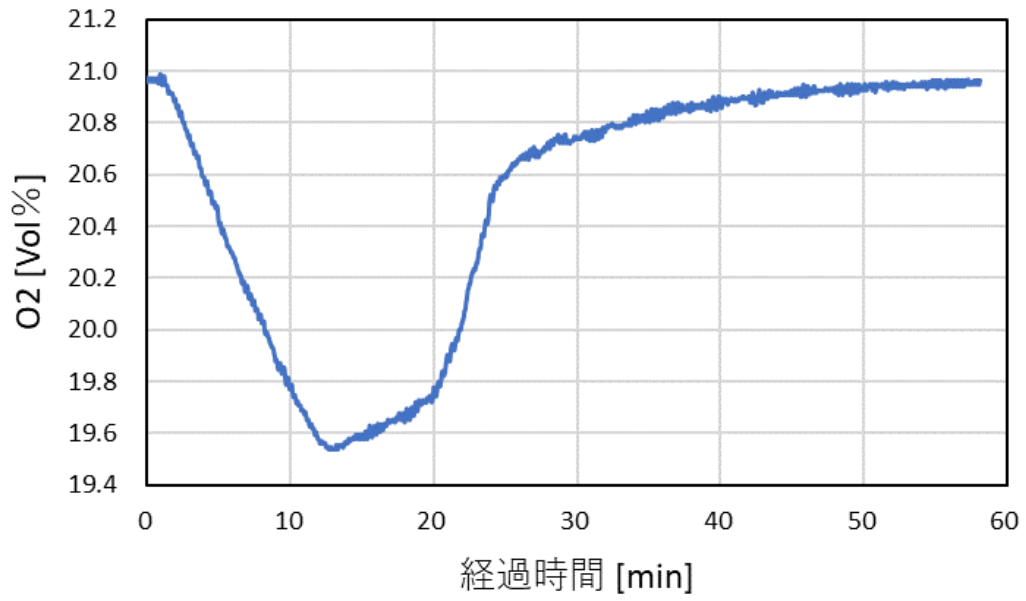


図8 排気ダクト内の酸素濃度

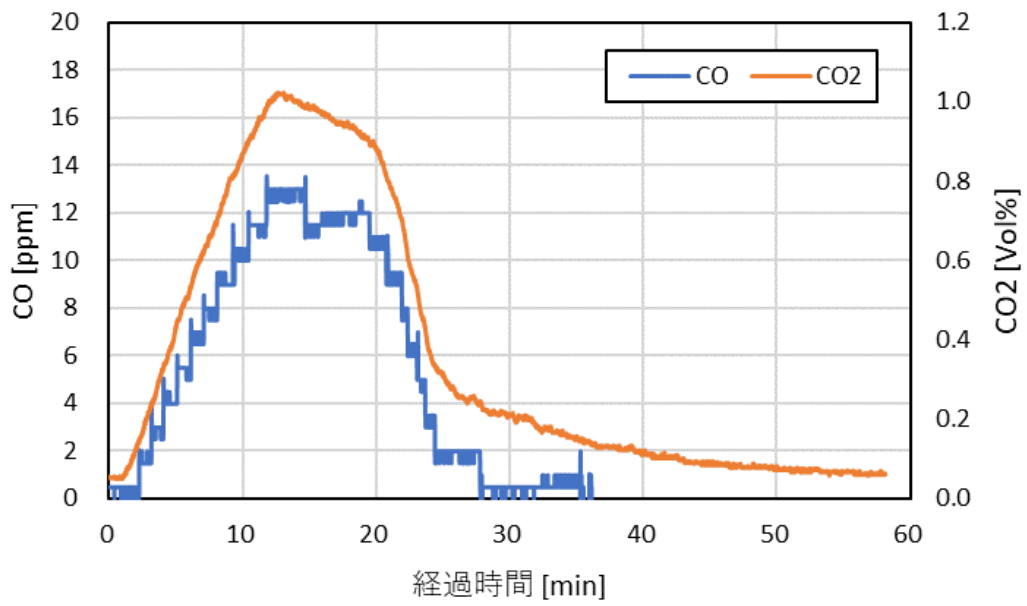


図9 排気ダクト内の CO,CO₂濃度

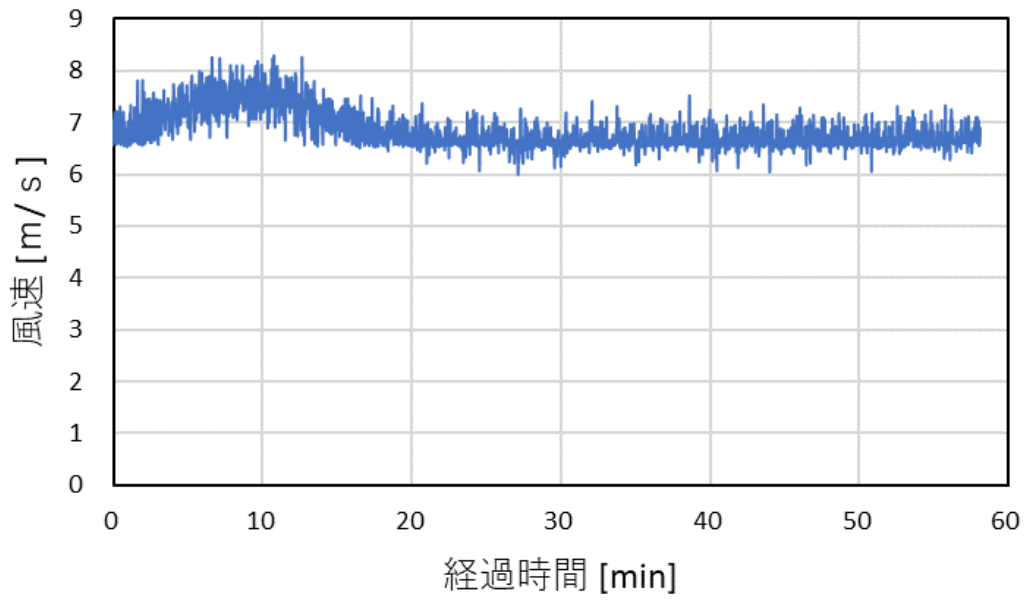


図 10 排気ダクト内の風速

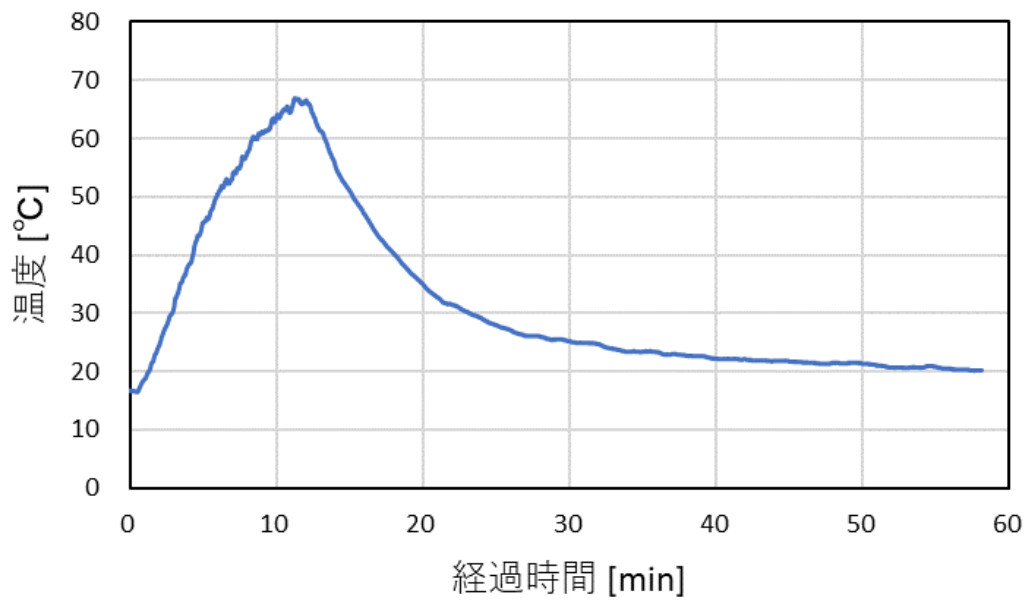


図 11 排気ダクト内の気流温度

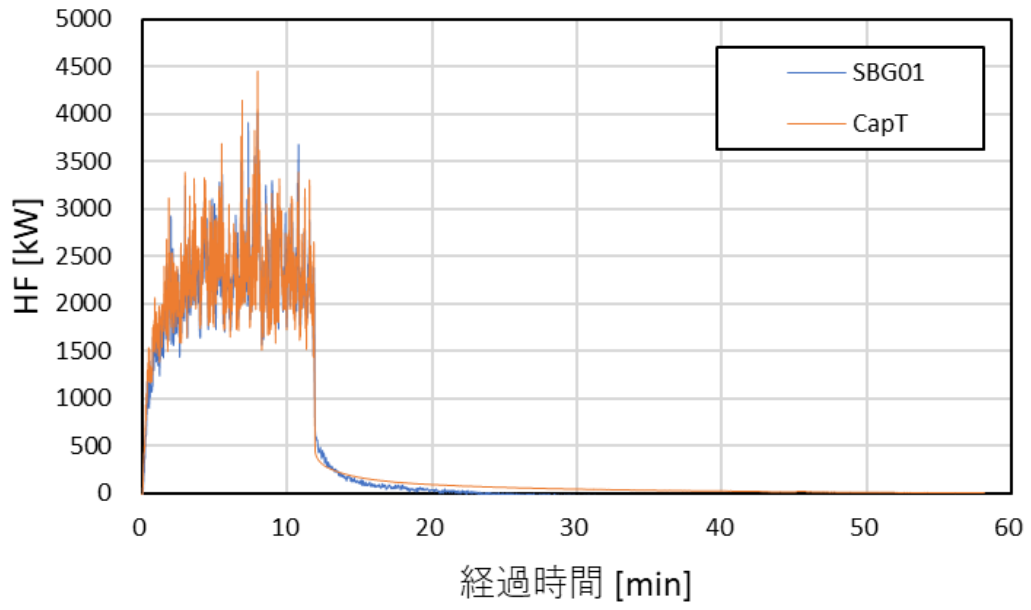


図 12 火皿中心から 7m 地点の熱流束

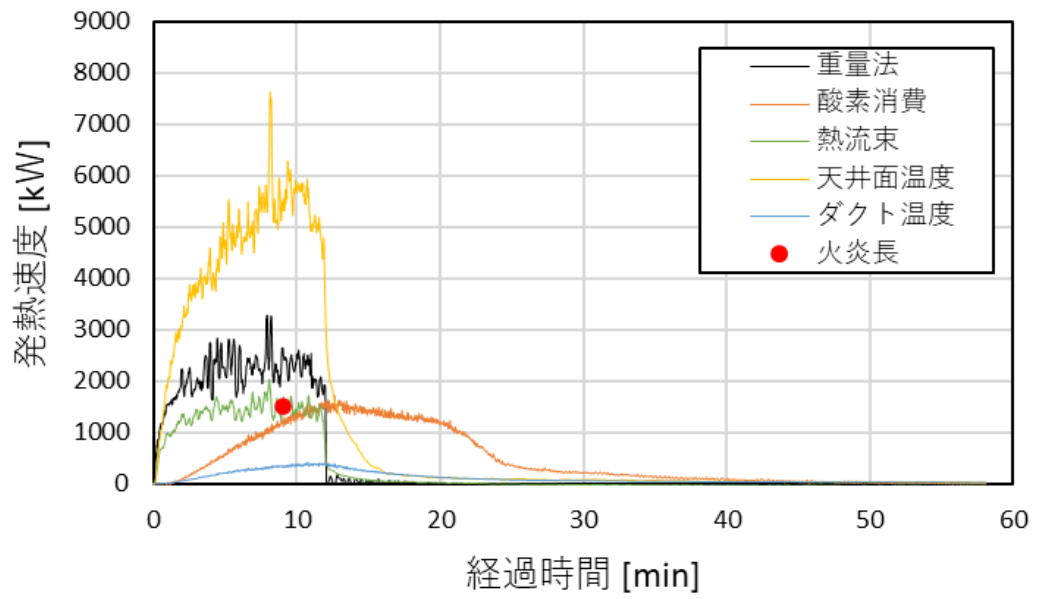


図 13 予備実験 1 発熱速度

3.2.2 追加実験2

追加実験2結果を図14~23に示す

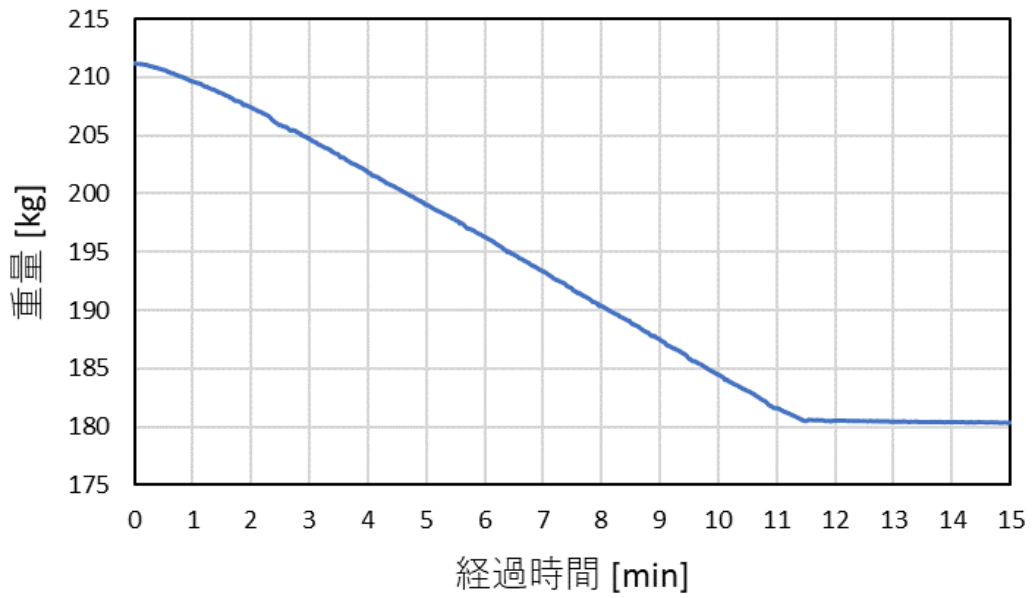


図14 火皿とヘプタンの重量

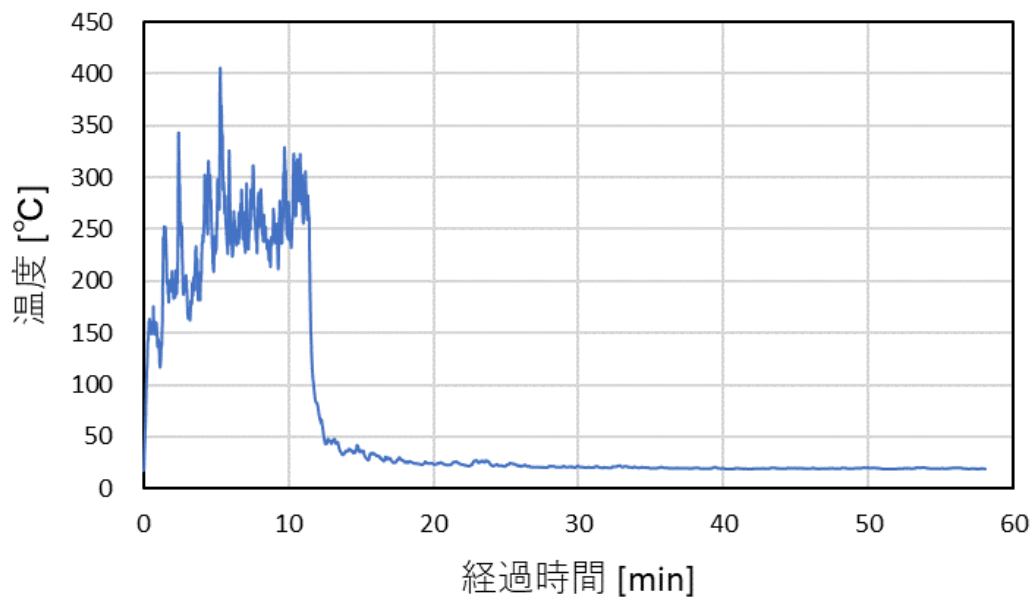


図15 火皿直上の天井温度

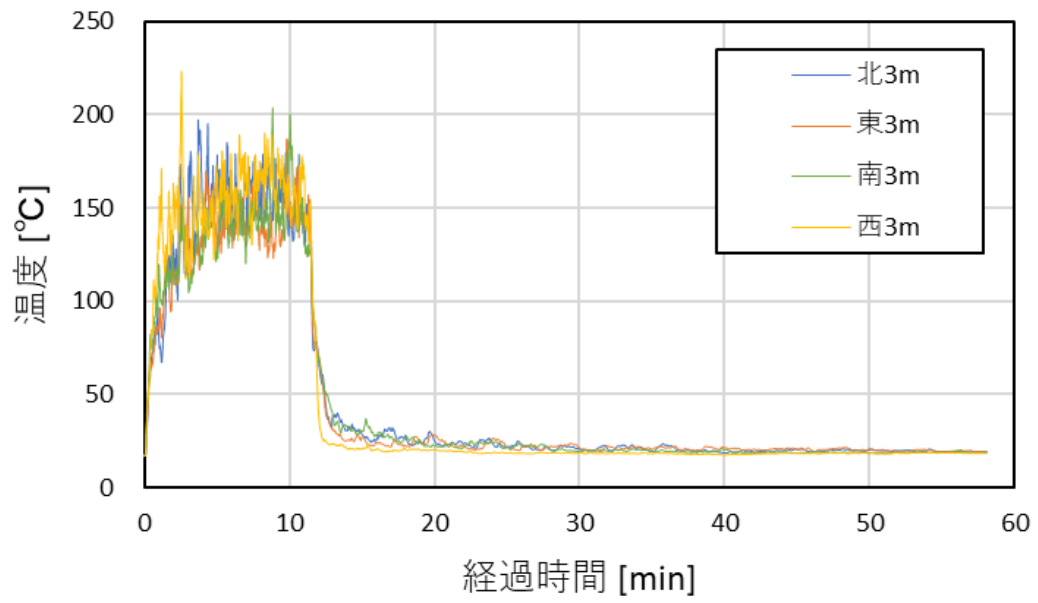


図 16 火皿中心から 3m位置の天井温度

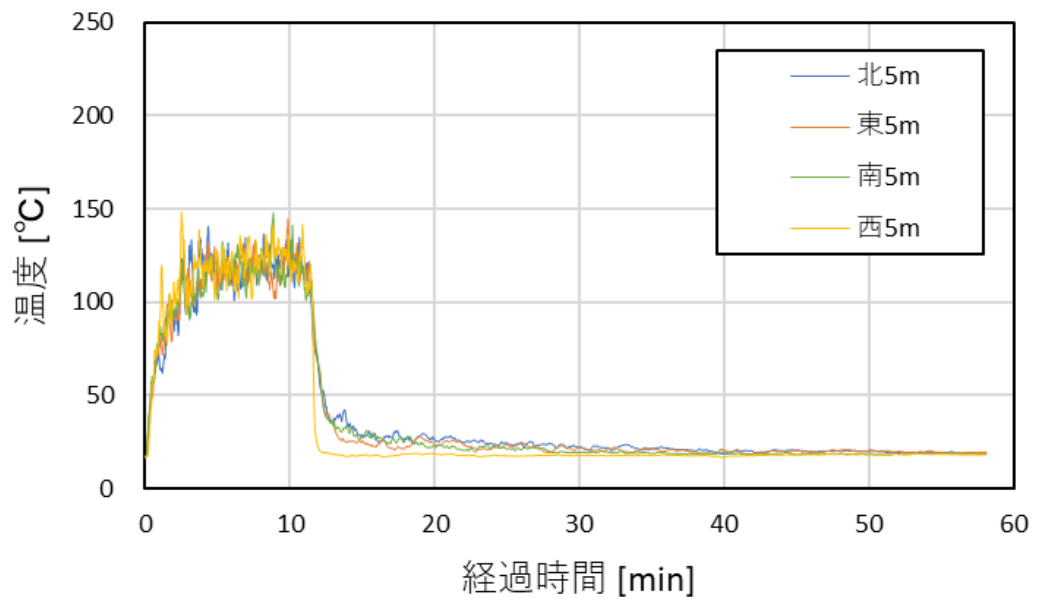


図 17 火皿中心から 5m位置の天井温度

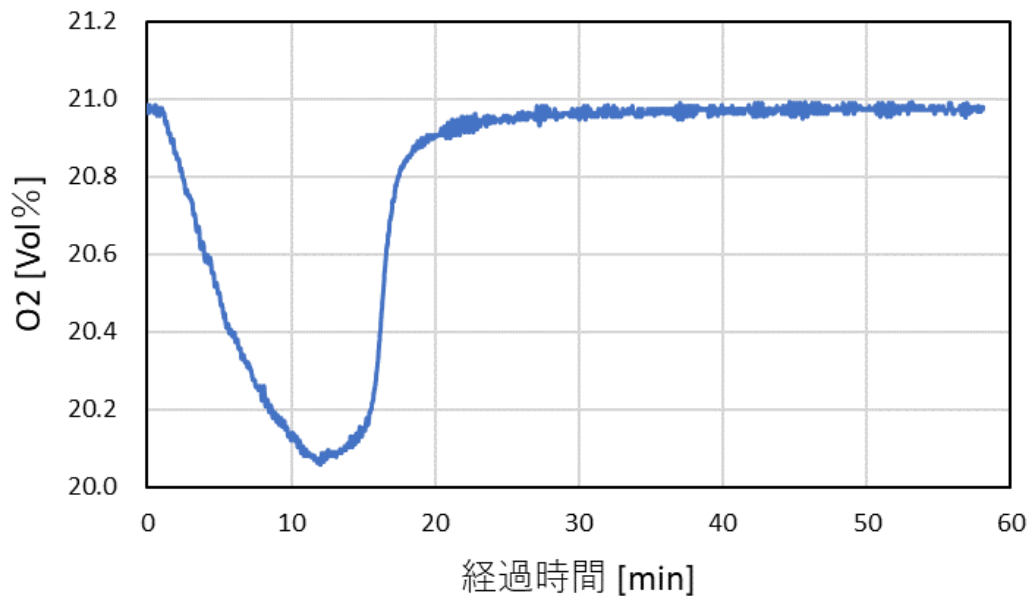


図 18 排気ダクト内の酸素濃度

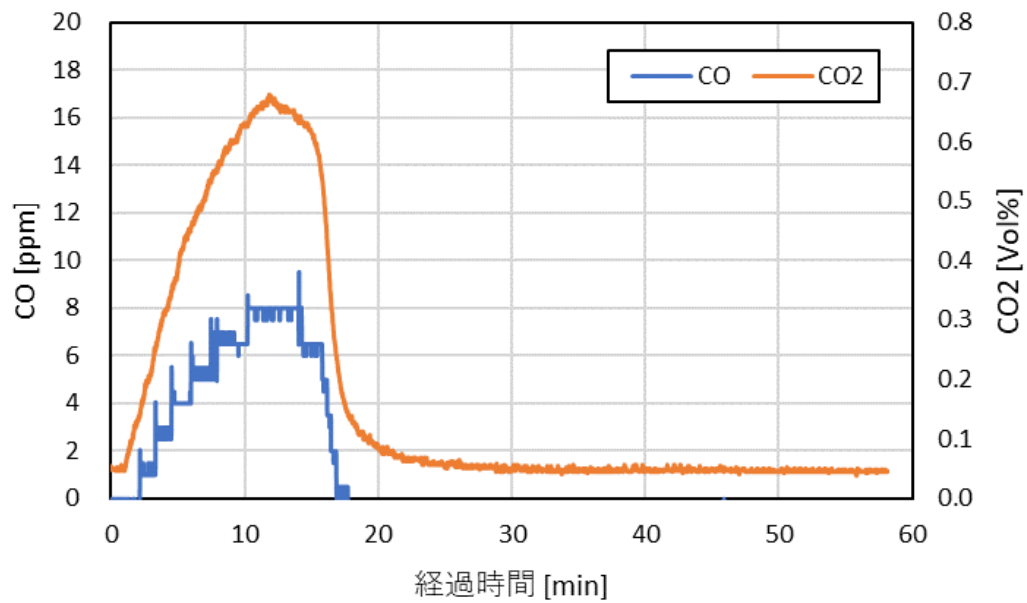


図 19 排気ダクト内の CO,CO₂濃度

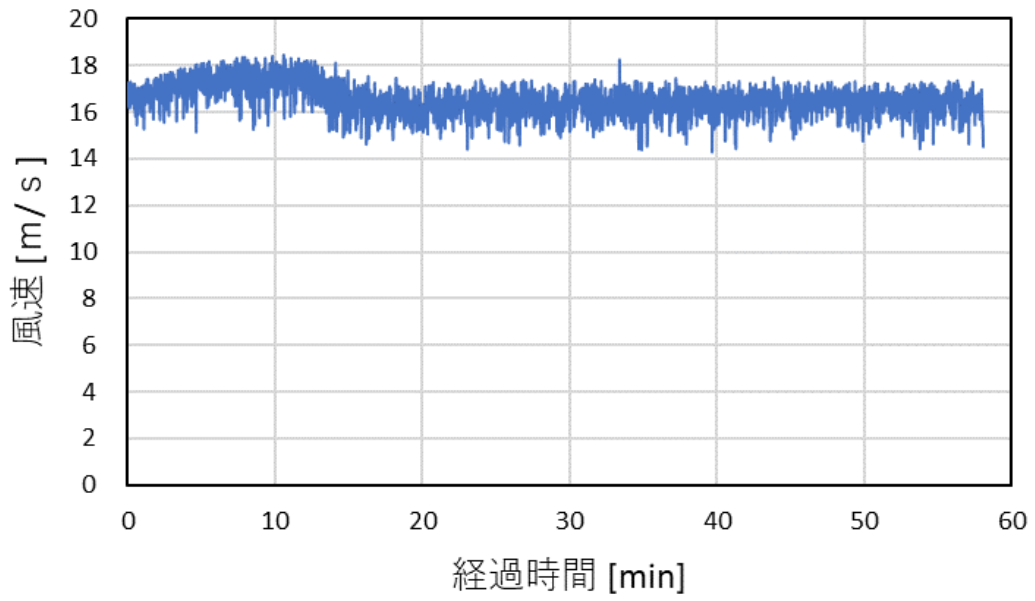


図 20 排気ダクト内の風速

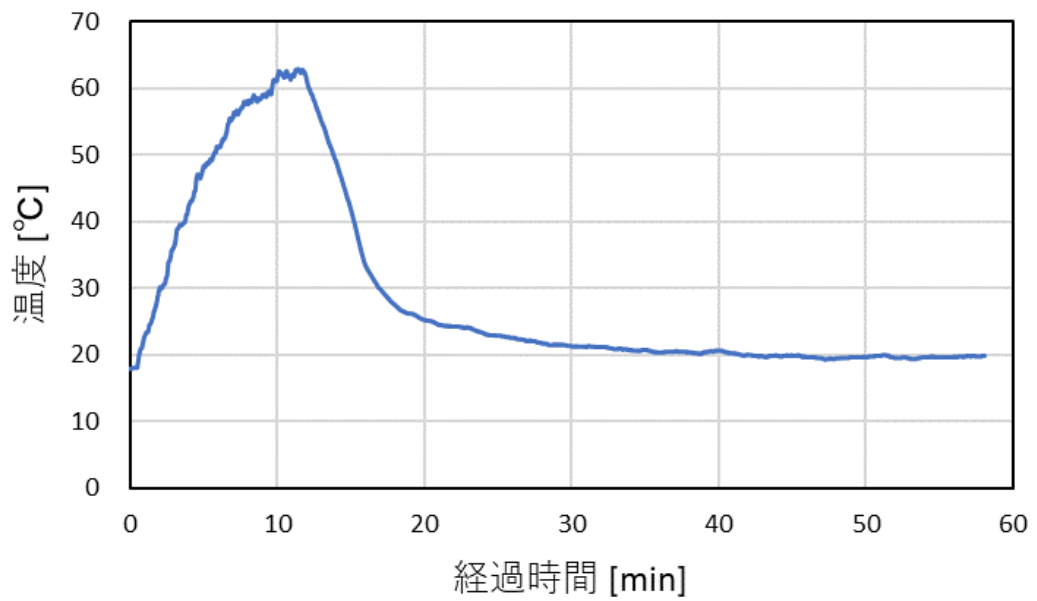


図 21 排気ダクト内の気流温度

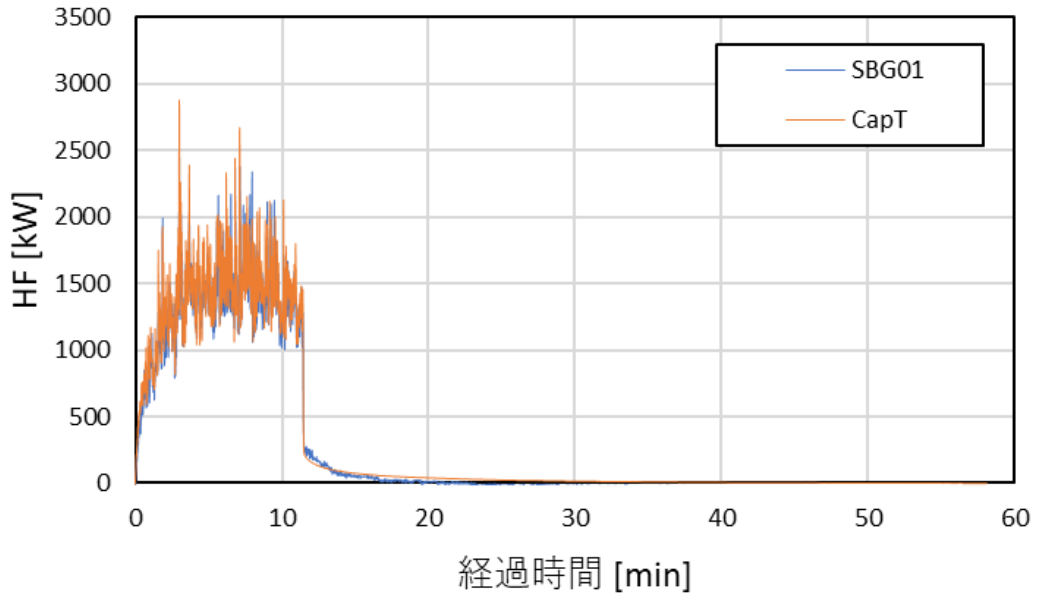


図 22 火皿中心から 7m 地点の熱流束

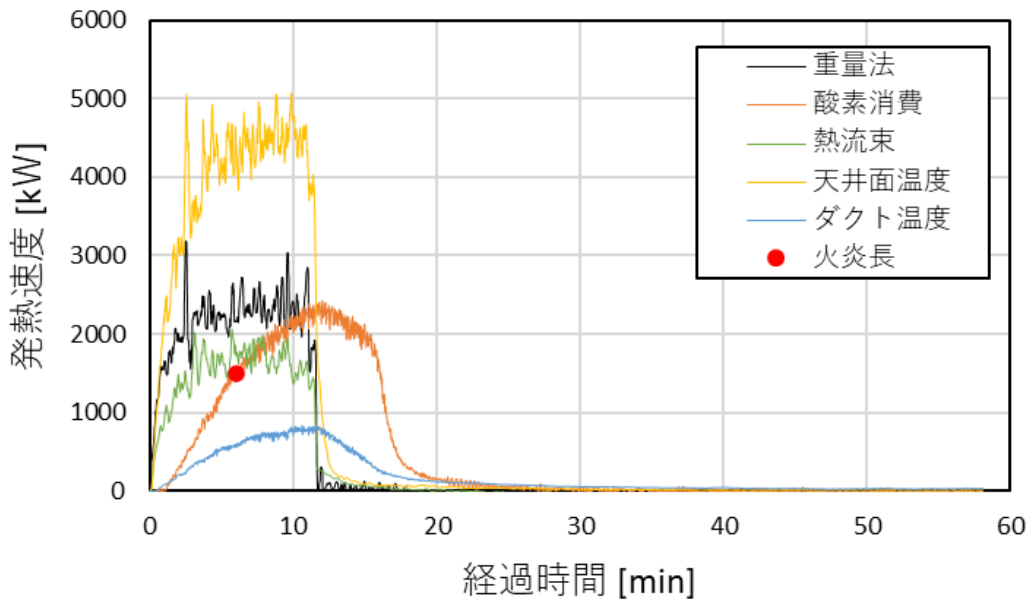


図 23 予備実験 2 発熱速度

3.2.3 追加実験3

追加実験3結果を図24~33に示す。

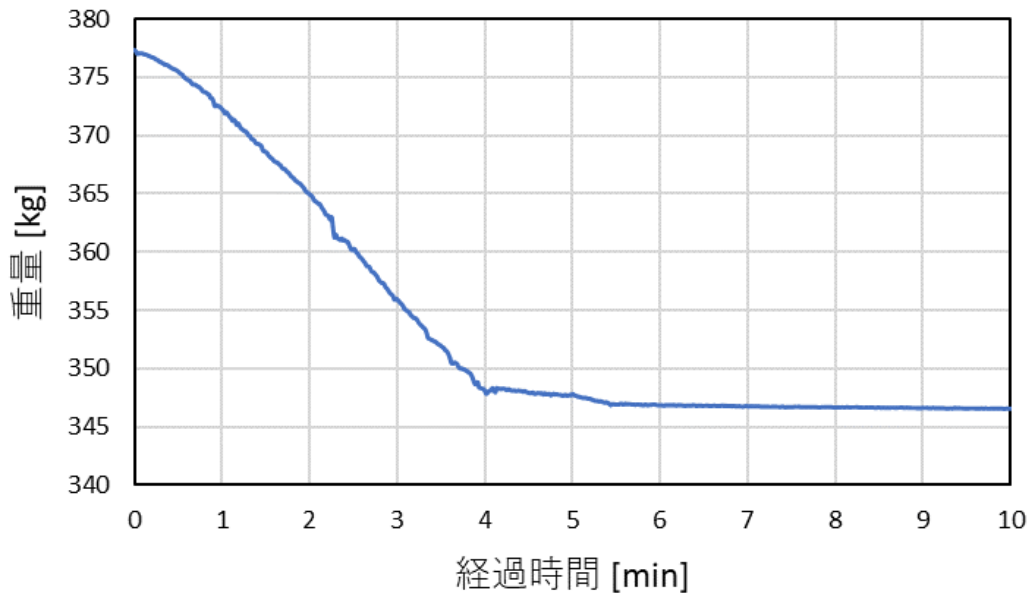


図24 火皿とヘプタンの重量

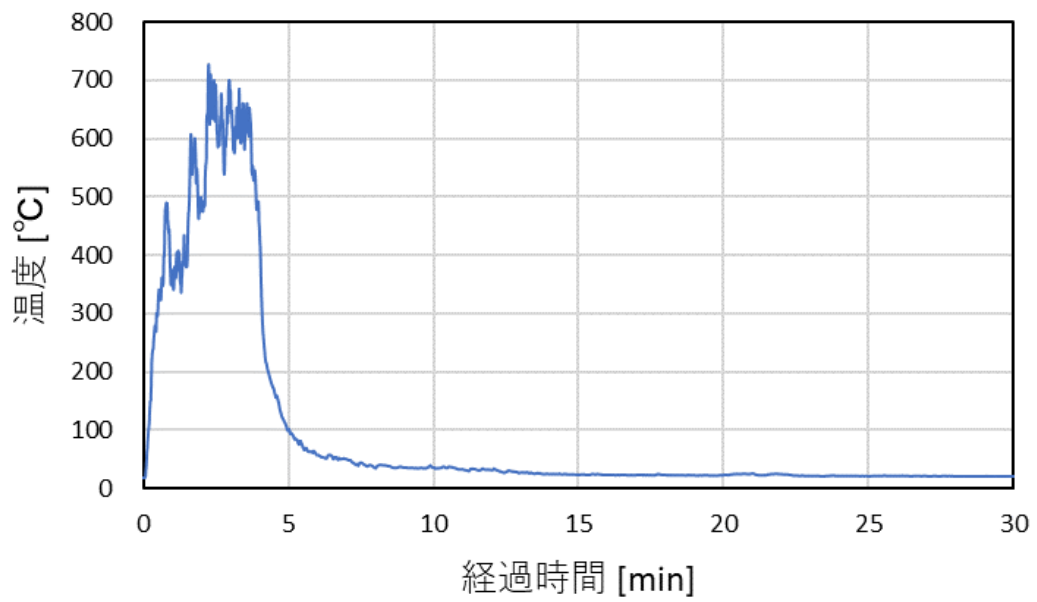


図25 火皿直上の天井温度

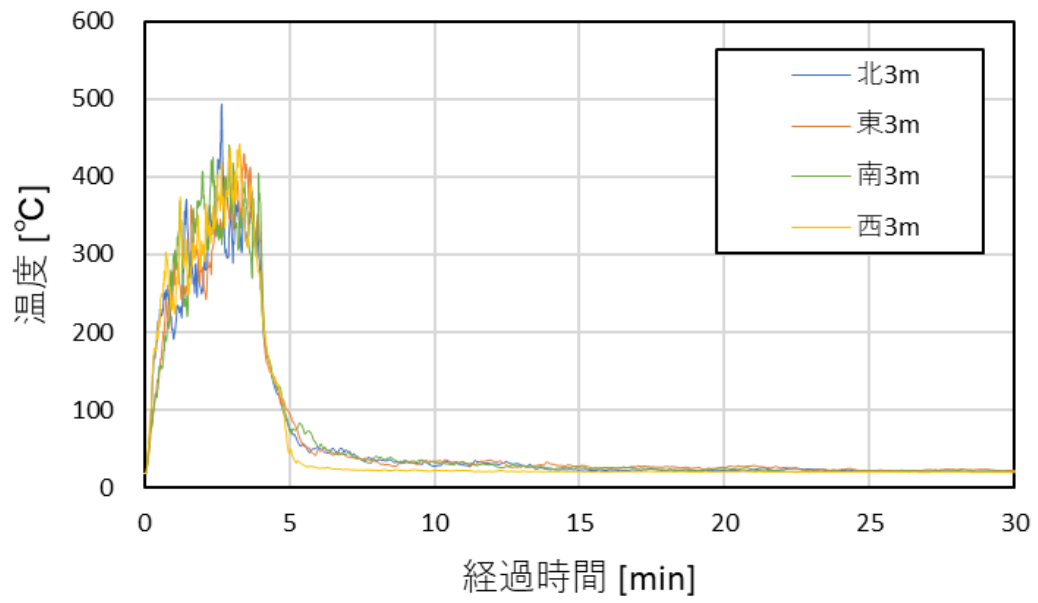


図 26 火皿中心から 3m位置の天井温度

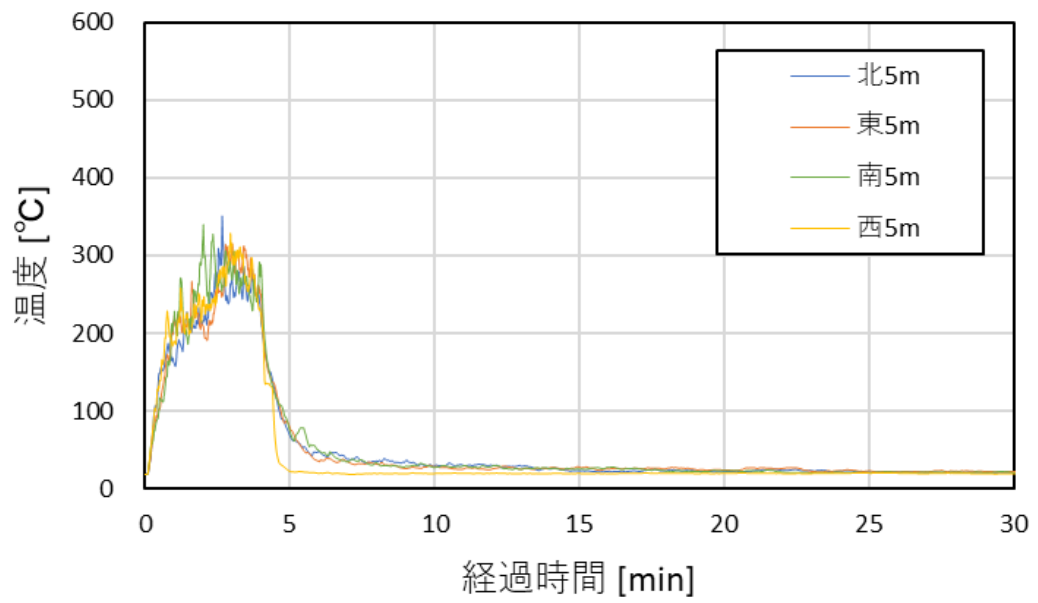


図 27 火皿中心から 5m位置の天井温度

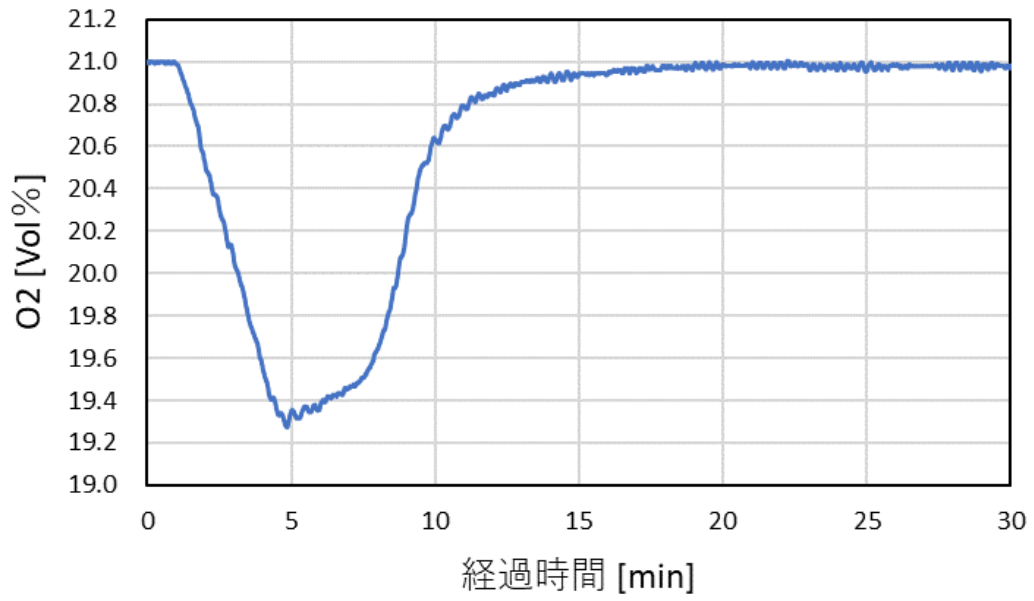


図 28 排気ダクト内の酸素濃度

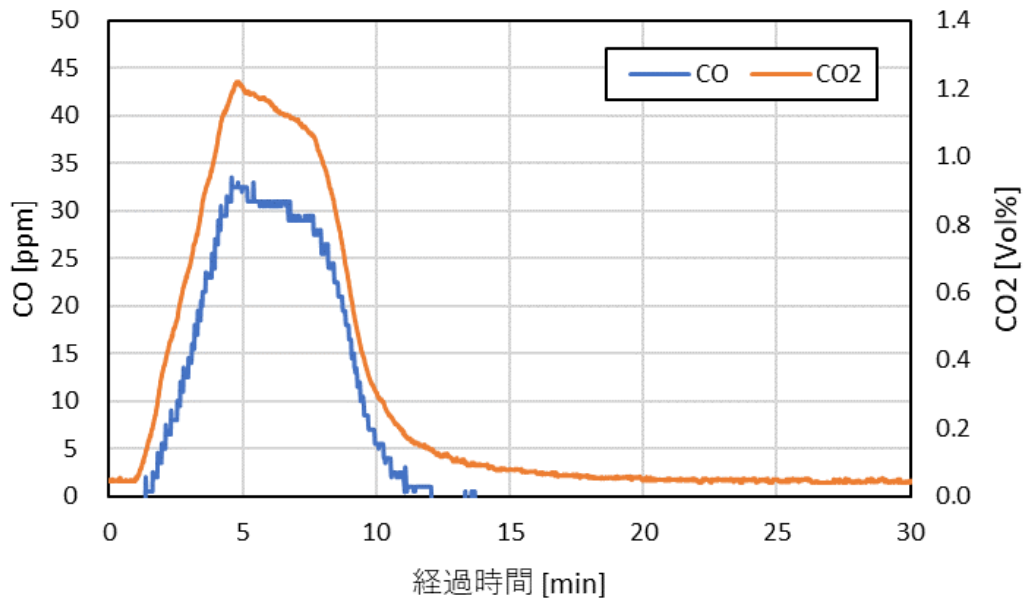


図 29 排気ダクト内の CO,CO₂濃度

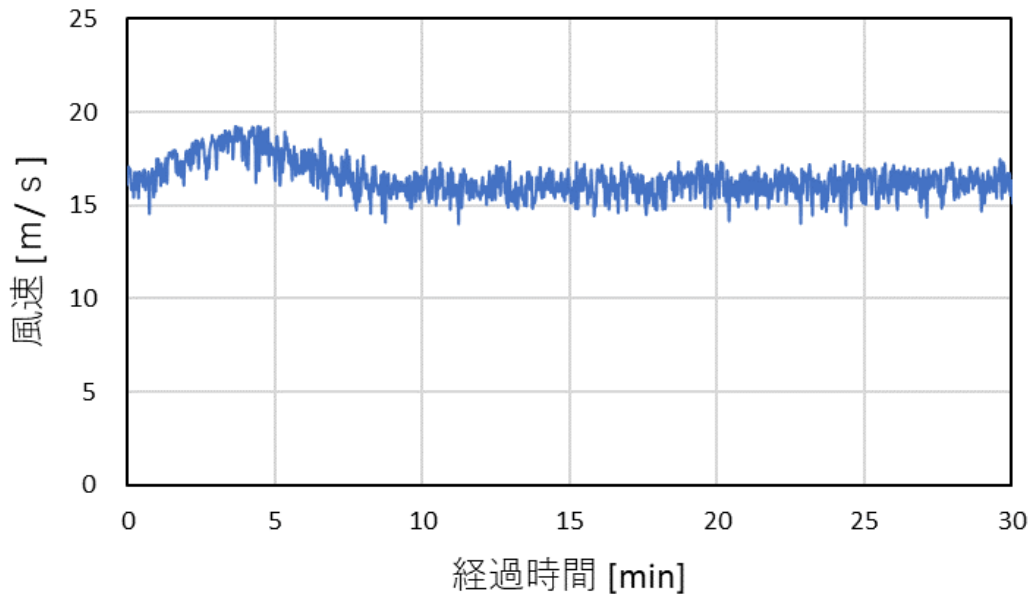


図 30 排気ダクト内の風速

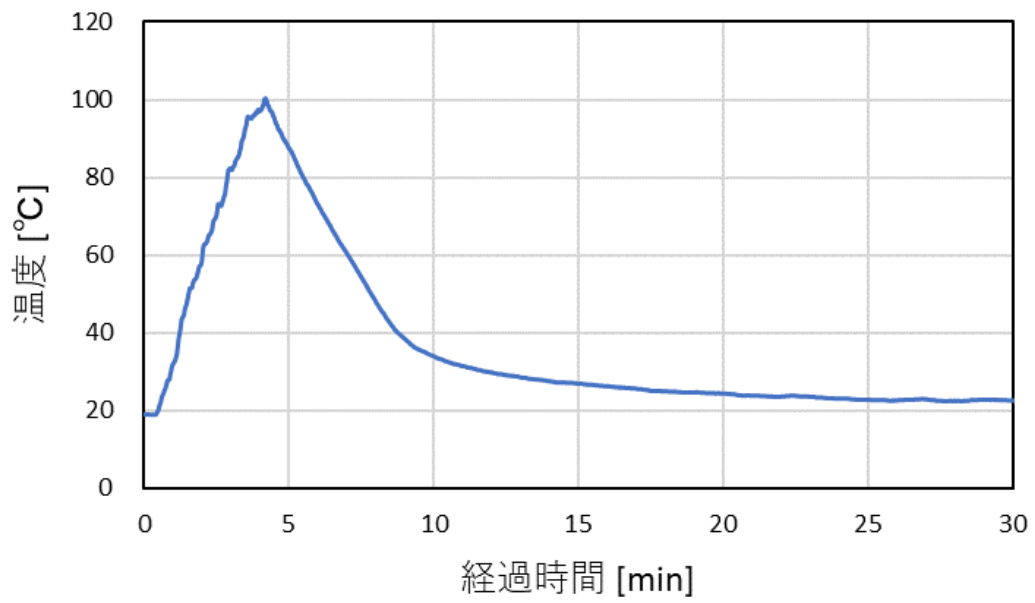


図 31 排気ダクト内の気流温度

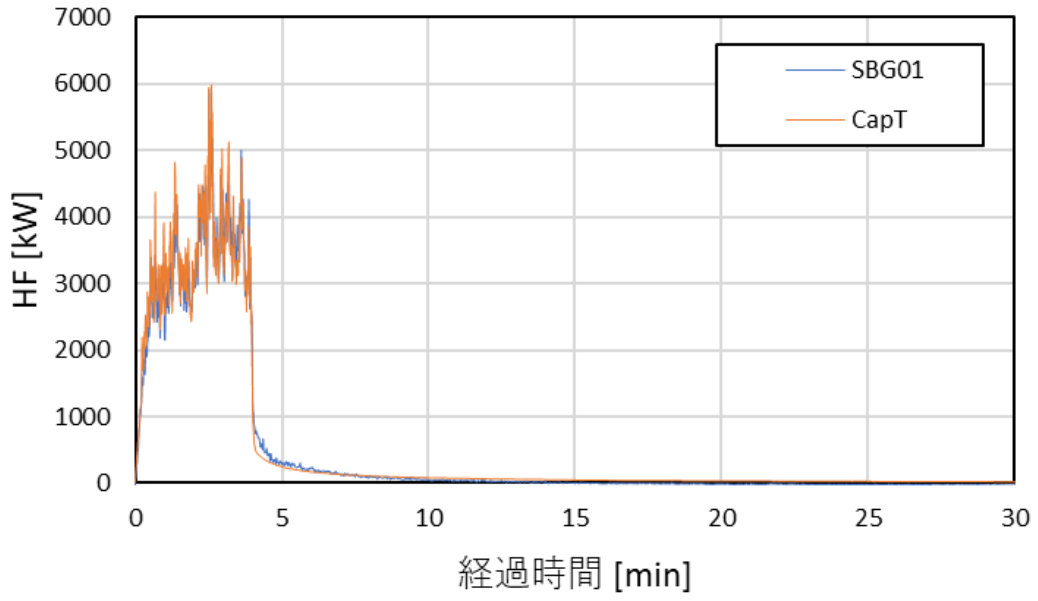


図 32 火皿中心から 7m 地点の熱流束

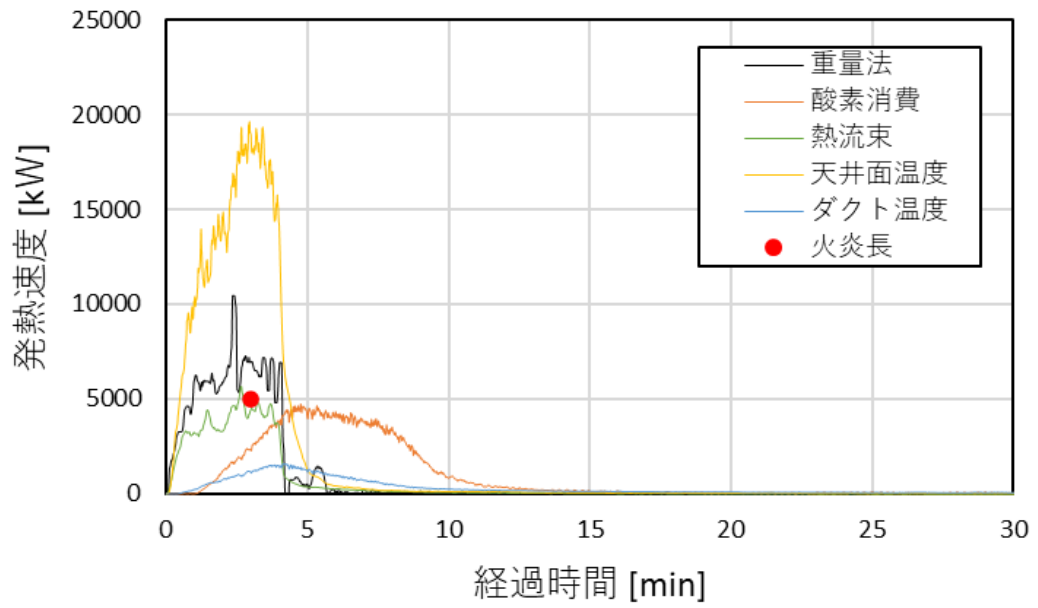


図 33 予備実験 3 発熱速度

3.3 補正係数の算出

重量法による HRR が正しいとして、各種計測による HRR の補正値を求めた。なお、計測値には時間遅れがみられる場合があるため、重量法の HRR は定常燃焼時の、その他はピーク時の HRR を用いた。

表 4 追加実験 1 の結果による補正係数

各計測による HRR (①) kW	重量法による HRR (②) kW	補正係数 (②/①)
HRR (酸素消費法) : 1509	2280	1.51
HRR (熱流束) : 1481		1.53
HRR (天井下気流) : 5718		0.39
HRR (ダクト温度) : 378		6.03
HRR (火炎高さ) : 1513		1.51

表 5 追加実験 2 の結果による補正係数

各計測による HRR (①) kW	重量法による HRR (②) kW	補正係数 (②/①)
HRR (酸素消費法) : 2267	2366	1.04
HRR (熱流束) : 1727		1.37
HRR (天井下気流) : 4550		0.52
HRR (ダクト温度) : 785		3.01
HRR (火炎高さ) : 1493		1.58

表 6 追加実験 3 の結果による補正係数

各計測による HRR (①) kW	重量法による HRR (②) kW	補正係数 (②/①)
HRR (酸素消費法) : 4463	6622	1.48
HRR (熱流束) : 4559		1.45
HRR (天井下気流) : 18274		0.36
HRR (ダクト温度) : 1472		4.50
HRR (火炎高さ) : 4962		1.33

4. 補正係数による本実験の発熱速度の補正

3.3 で算出した係数を用いて本実験の発熱速度を補正する。

4.1 A 火災想定実験時

A 火災想定実験時の発熱速度を補正した結果を図 34~36 に示す。

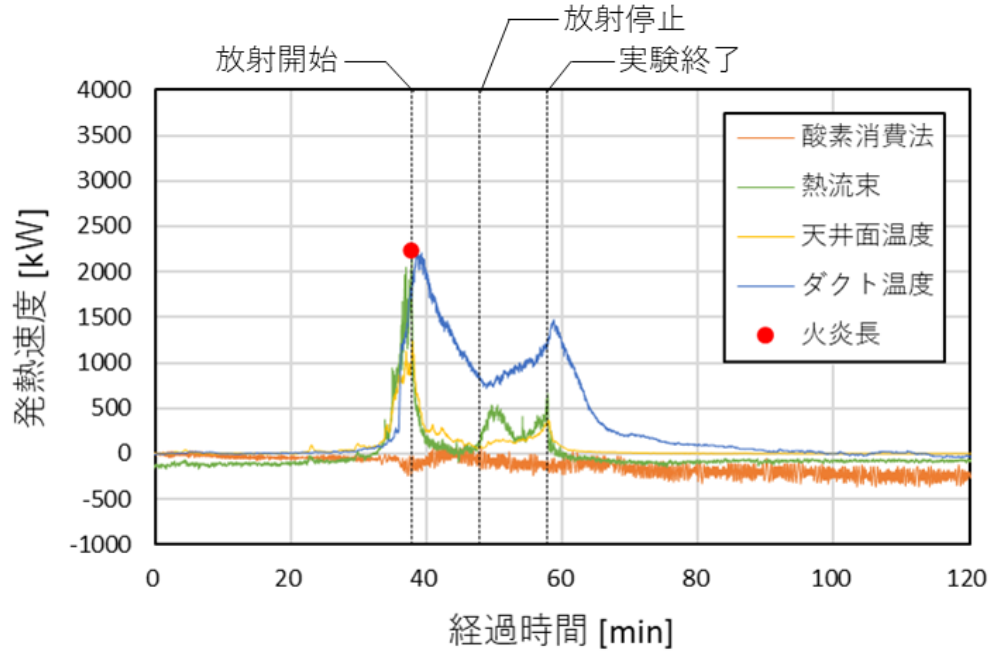


図 34 本実験 A 火災想定発熱速度 追加実験 1 による補正

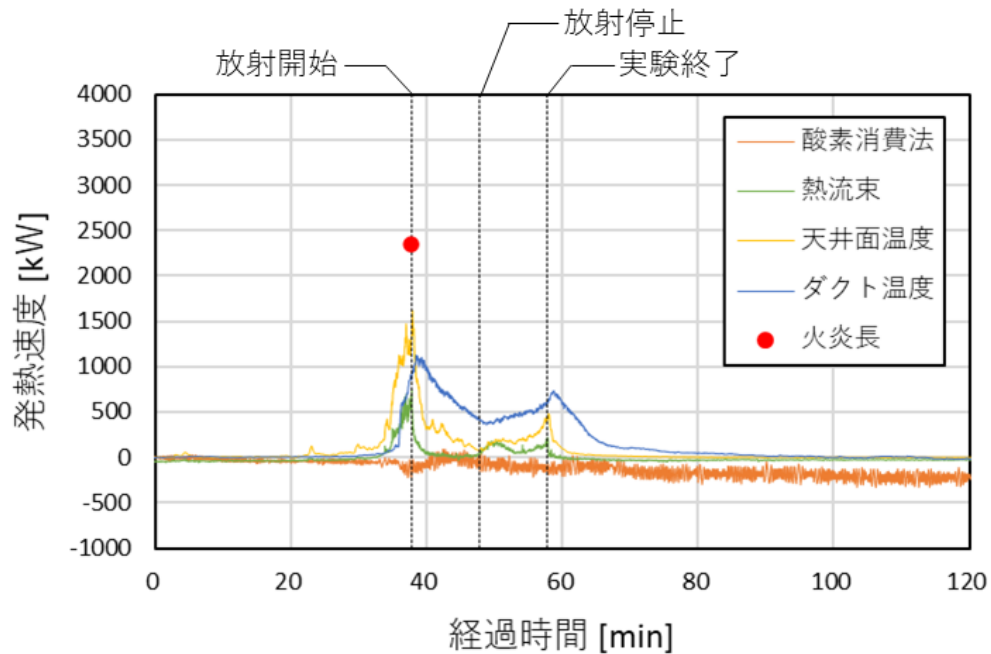


図 35 本実験 A 火災想定発熱速 追加実験 2 による補正

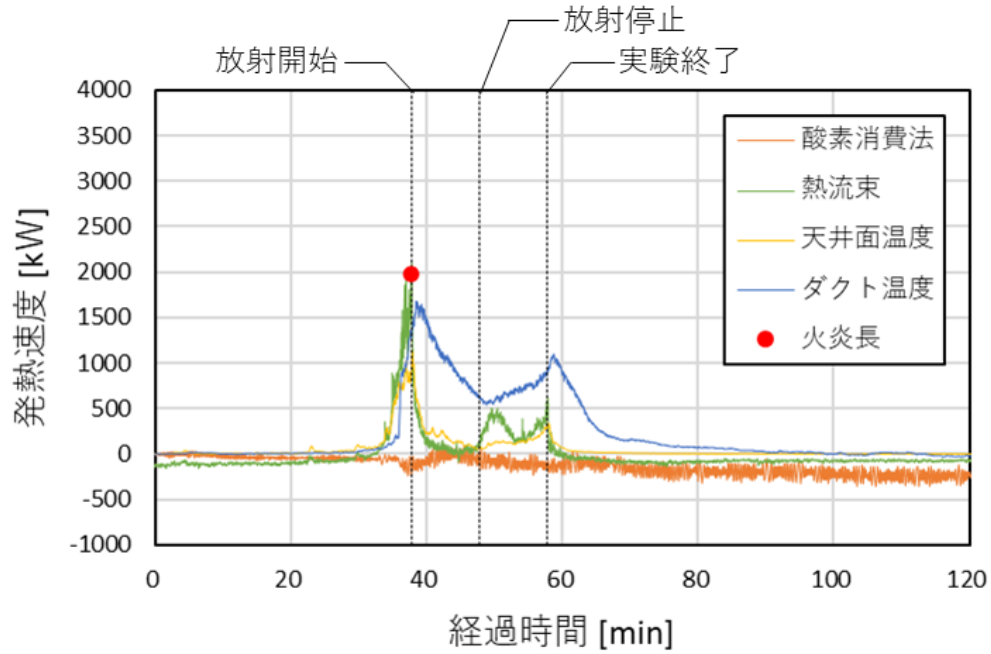


図 36 本実験 A 火災想定発熱速度 追加実験 3 による補正

4.2 B 火災想定実験時

B 火災想定実験時の発熱速度を補正した結果を図 37~39 に示す。

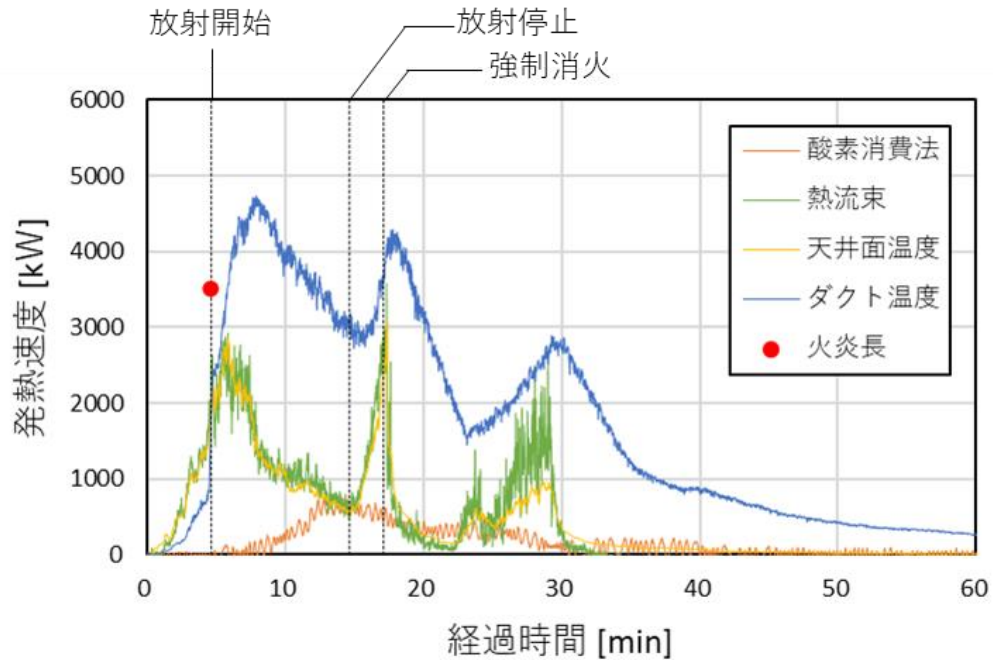


図 37 本実験 B 火災想定発熱速度 追加実験 1 による補正

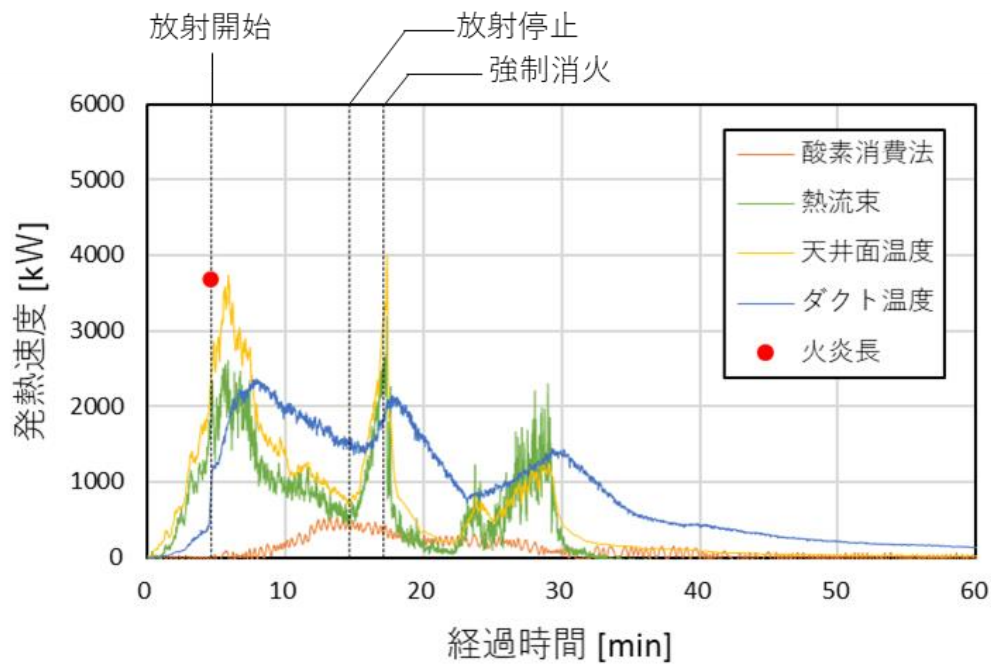


図 38 本実験 B 火災想定発熱速度 追加実験 2 による補正

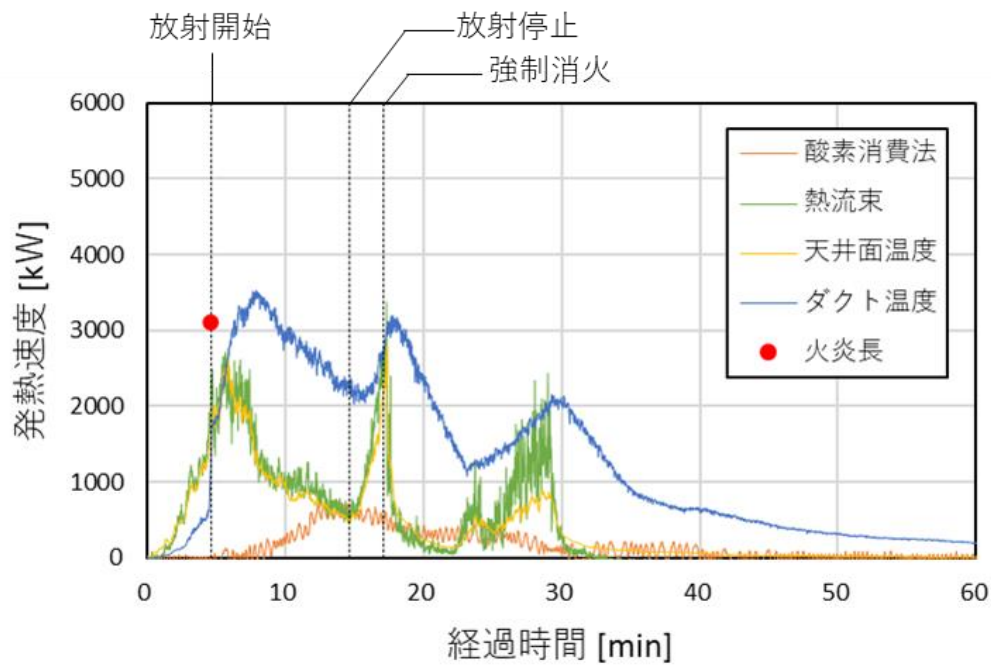


図 39 本実験 B 火災想定発熱速度 追加実験 3 による補正

4.3 ピーク時の発熱速度

A 火災想定、B 火災想定におけるピーク時の発熱速度を表 7～8 に示す。

表 7 A 火災想定におけるピーク時の発熱速度 [kW]

	本実験	追加実験 1 補正	追加実験 2 補正	追加実験 3 補正
HRR (酸素消費法)	0.075	0.113	0.078	0.111
HRR (熱流束)	1067	1643	1462	1550
HRR (天井面温度)	2319	924.9	1206	840.5
HRR (ダクト温度)	356.8	2153	1075	1605
HRR (火炎長)	1485	2239	2353	1982
HRR (車両重量減少) ※参考	984.1	—	—	—

表 8 B 火災想定におけるピーク時の発熱速度 [kW]

	本実験	追加実験 1 補正	追加実験 2 補正	追加実験 3 補正
HRR (酸素消費法)	420.1	634.9	438.4	623.5
HRR (熱流束)	1658	2552	2272	2408
HRR (天井面温度)	6720	2680	3495	2435
HRR (ダクト温度)	765.7	4620	2307	3444
HRR (火炎長)	2329	3510	3690	3108
HRR (車両重量減少) ※参考	2550	—	—	—

参考

- (1) Alpert, R. L., Calculation of Response Time of Ceiling-Mounted Fire Detectors, Fire Technology, Vol.8, pp.181-195, 1972
- (2) 新谷祐介：建築空間における初期火災拡大性状予測に関する研究, 京都大学, 2010, 博士(工学)