

第5章 実験

第1節 実験の目的

七輪等を火気器具（調理器具）として調理に使用する際の上引きダクトに係る火災は近年増加傾向にあり、その対策は喫緊の課題となっている。しかし、上引きダクトの位置や構造については、火災予防条例上の規制はない。

また、火気器具から吸込み口までの距離（ダクト離隔距離）、ダクトの吸い込み風速及び火気器具の使用条件の違いが、上引きダクトに係る火災に大きく影響していると考えられるが、その詳細な関係性は明らかとなっていない。一方、店内臭気、空調負荷から影響を受ける電気料金など、ダクトの吸い込み風速は、店舗での営業における現実的な基準でなければならない。

そのため着火実験は、火災に起因する各要因の関連性を明らかにするとともに、店舗側が受け入れ可能で効果的な対策を提案することのできる、今後の火災予防対策に資する基礎的資料を得ることを目的とする。

第2節 実験概要等

1 実験概要

実験は、模擬火源設定実験、温度測定実験、着火実験の3段階に分けて行った。

模擬火源設定実験では、七輪で肉を焼いた際の発熱速度、総発熱量及び炎の高さなどの燃焼挙動を安定して再現するため、焼く肉の量に応じた液体燃料による模擬火源の決定を行った。

温度測定実験では、選定された模擬火源を用い、火気器具から吸込み口までの距離（ダクト離隔距離）、ダクトの吸い込み風速及び火気器具の大きさや肉の量（模擬火源）の組み合わせごとに、ダクト外側の温度、排気捕集率を計測した。

着火実験では、模擬火源を用い、ダクト内側に油塵を塗布し実店舗の使用状態を模した上引きダクトへの着火の有無について、ダクト離隔距離、ダクトの吸い込み風速及び火気器具の大きさや肉の量（模擬火源）の組み合わせごとの確認を行い、その際のダクト外側の温度測定を行った。

2 実験場所

東京理科大学 野田キャンパス 火災科学研究センター実験棟
千葉県野田市山崎 2641

第3節 模擬火源設定実験

1 計測項目

模擬火源の決定のため、炭を熱源として七輪の上で肉を焼き、発熱速度、炎の高さ及び放射熱流束の測定を行った。

発熱速度は、写真5-1に示す集煙フード(2m×2m)直下で肉を焼き、集煙フードに接続されたダクト内におけるガス(O_2 、 CO_2 及びCO)の計測を行った。なお、計測には、ガス分析装置（SERVOMEX 社製）（写真5-2）を用いた。

火炎の高さは、大型定規を火源背面に置き、目視により測定した。

放射熱流束は、七輪の焼き網の上方に設置（表面より垂直距離 50mm、網の端部より水平距離 500mm）した熱流束計で測定した。



写真 5－1 集煙フード（2m×2m）



写真 5－2 ガス分析装置

2 実験条件の設定

- (1) 火災統計や店舗での聞き取り結果から、焼肉店において火災に至る発生しやすいケースとして「週末夜に比較的リーズナブルな価格のホルモン提供店において、七輪の網上に多量のホルモンをのせ、焼き続けた後、有効な消火を行わなかった」という利用状況を想定した。
- (2) 火源は、火災が発生した際に多く使用されていた火気器具として、木炭七輪こんろとし、大きさは、火災の発生した店舗で多く使用されていたものに近い、焼き面直径 31.5cm（以下「七輪大」という。）及び焼き面直径 24cm（以下「七輪小」という。）の大小 2 種類とした。

3 実験手順

集煙フード下にて、木炭七輪こんろ上の網でホルモン（牛の大腸）を焼き、着火後も自然鎮火まで消火せず、その燃焼発熱挙動を記録した（図5－1及び写真5－3）。

七輪大では、ホルモンを焼き網の上に重ならないように万遍なく載せると 500g になるため、燃焼実験は 50g から開始し、50g ずつ加えていき、合計 10 回の実験を行った。

七輪小は、ホルモンを焼き網の上に重ならないように万遍なく載せると 300g になるため、50g から開始し、50g ずつを加えていき、合計 6 回の実験を行った。

七輪大小 16 回の実験では、実店舗で提供されていることを想定しタレ付のホルモンを使用したが、タレによる燃焼への影響を確認するため、タレなし 100g、200g、300g を七輪小にて燃焼させる実験も行った。

詳細な実験手順は以下のとおりであり、実験中の様子は写真5－4のとおりである。

- ① 実験開始 60 秒前より、発熱速度及び熱流束の記録を開始
- ② 実験開始 0 秒に燃焼している炭の入った七輪（ホルモン及び網無し）を設置
- ③ 実験開始 60 秒後ホルモンを載せた焼き網を七輪へ設置
- ④ 着火時点と鎮火時点を記録

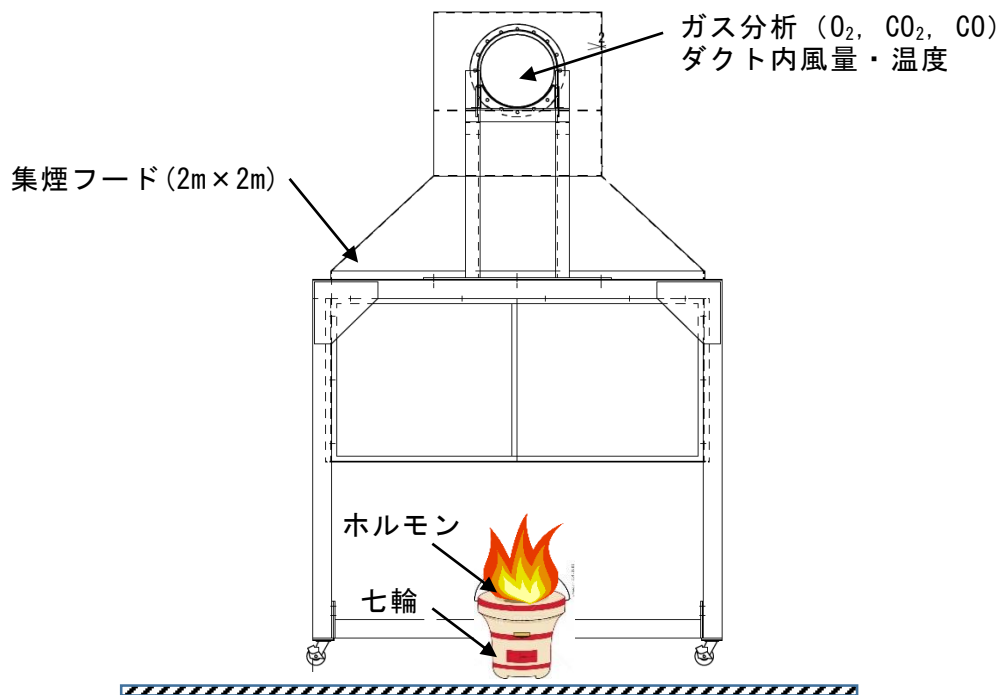


図5－1 燃焼発熱挙動の計測時の概略



写真 5 - 3 集煙フード (2m×2m) に設置した七輪の状況



写真 5 - 4 燃焼発熱挙動の計測状況 (七輪大ホルモン 500g)

4 実験結果

実験結果を図 5-2 から図 5-10 及び表 5-1 に示す。

焼き網にのせたホルモンは、炭の熱により脂が溶け滴下し炭上で着火し炎となる。焼き初めは間欠的な炎であるが、やがて連続的な炎となりホルモン全体をさらに加熱しホルモンに着火する（写真 5-4）。その挙動については、図 5-2 から図 5-4 に示す発熱速度の変化に表れており、実験開始 60 秒後にホルモンを載せた焼き網を置いた後、約 100 秒頃までは発熱速度の細かな上下を繰り返しながら推移し、ホルモンへ着火後に急激に上昇する様相を呈していることが確認できる。

最大発熱速度は、全体としてはホルモンの量に比例する傾向にある。七輪大はホルモン 500g 燃焼時に 35.83kW、七輪小は、タレ付きがホルモン 300g 燃焼時に 19.44kW、タレ無しがホルモン 200g 燃焼時に 17.63kW がそれぞれ最大値となった。

総発熱量は、焼き網に載せたホルモンの量に比例し、七輪の大きさやタレの有無に関わらずほぼ同じ値を示した。七輪小はタレ付き、タレ無し共に、ホルモン 300g 燃焼時に 6.92MJ、七輪大はホルモン 500g 燃焼時に 11.38MJ がそれぞれ最大値となった。

熱流束も総発熱量と同じ傾向がみられ、七輪大はホルモン 500g 燃焼時に 3.26kW/m²、七輪小は、タレ付きがホルモン 300g 燃焼時に 1.43kW/m²、タレ無しがホルモン 300g 燃焼時に 1.19kW/m² がそれぞれ最大値となった。

着火までの時間に傾向はみられず、七輪に焼き網を載せてから、早いもので 10 秒、遅いもので 43 秒であった。鎮火までの時間についても傾向はみられず、七輪に焼き網を載せてから、速いもので 318 秒、遅いもので 940 秒であった。

炎の高さは、ホルモンの量に比例し高くなり、七輪大はホルモン 500g 燃焼時に 120cm、七輪小は、タレ付きがホルモン 300g 燃焼時に 95cm、タレ無しがホルモン 300g 燃焼時に 100cm がそれぞれ最大値となった。

（実験で使用した炭は連続で使用し、目視により体積が減少した際に適宜追加をした。）

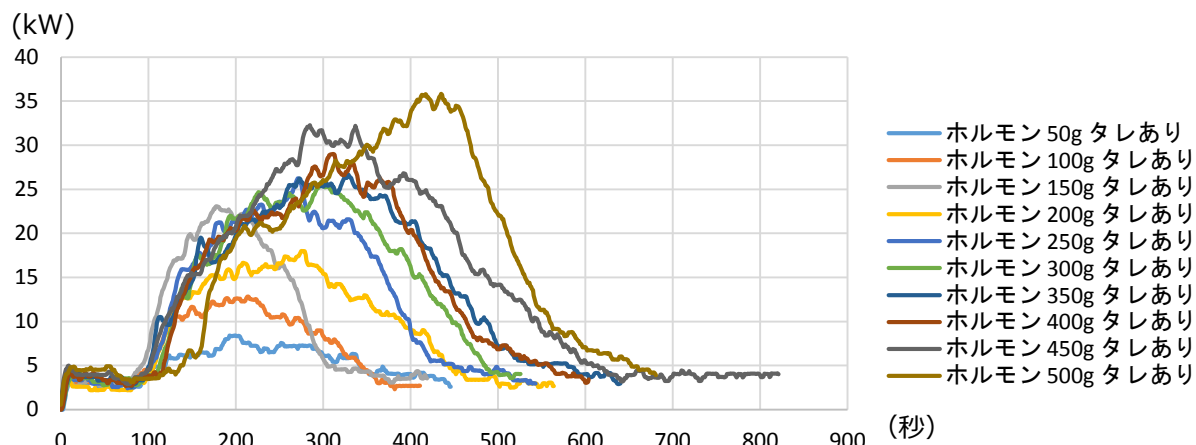


図 5-2 七輪大でホルモン（タレあり、50g から 500g）燃焼時の発熱速度

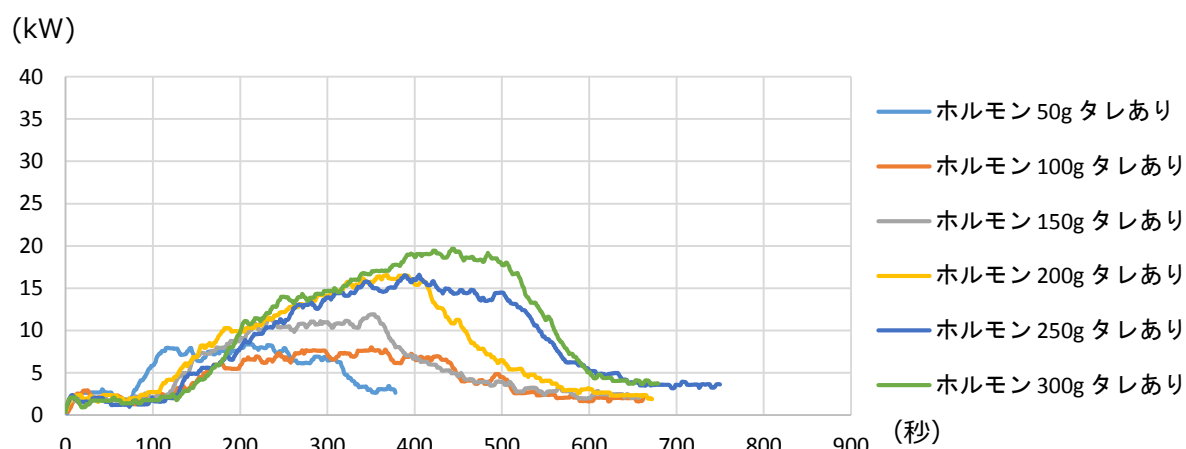


図 5-3 七輪小でホルモン（タレあり、50g から 300g）燃焼時の発熱速度

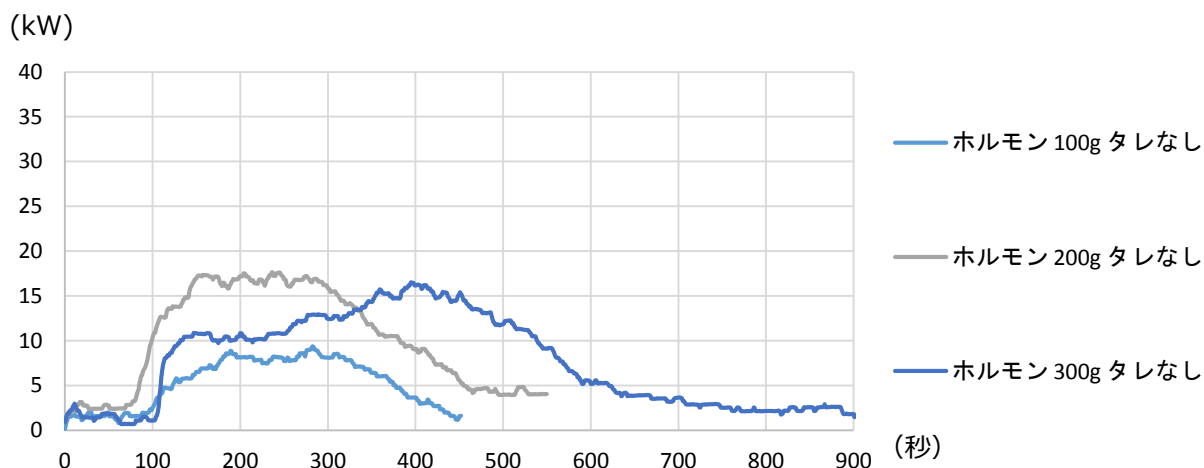


図 5-4 七輪小でホルモン（タレなし、100g から 300g）燃焼時の発熱速度

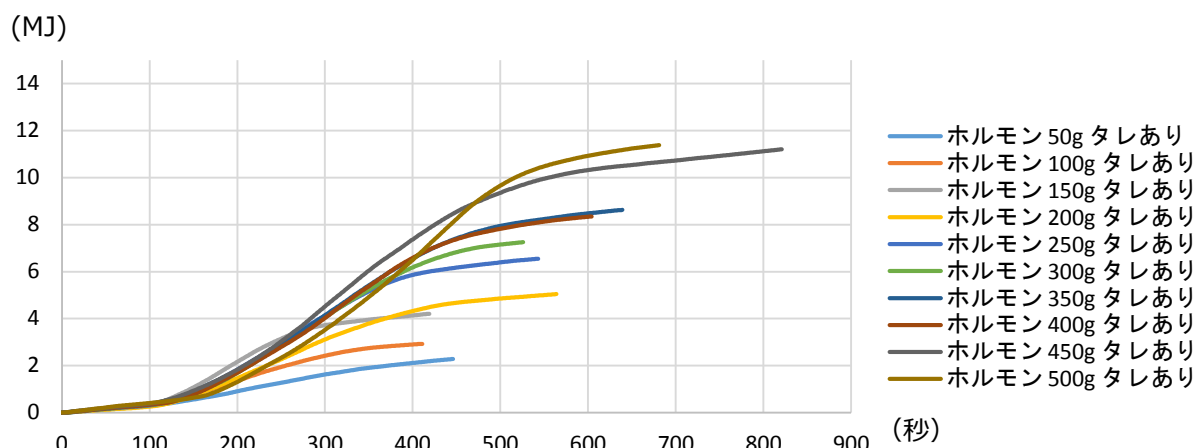


図 5-5 七輪大でホルモン（タレあり、50g から 500g）燃焼時の総発熱量

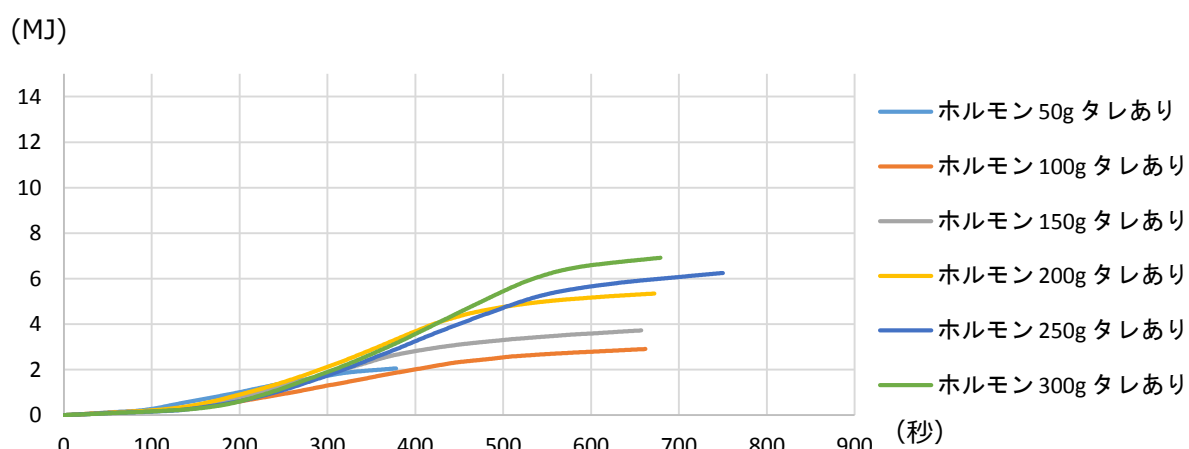


図 5-6 七輪小でホルモン（タレあり、50g から 300g）燃焼時の総発熱量

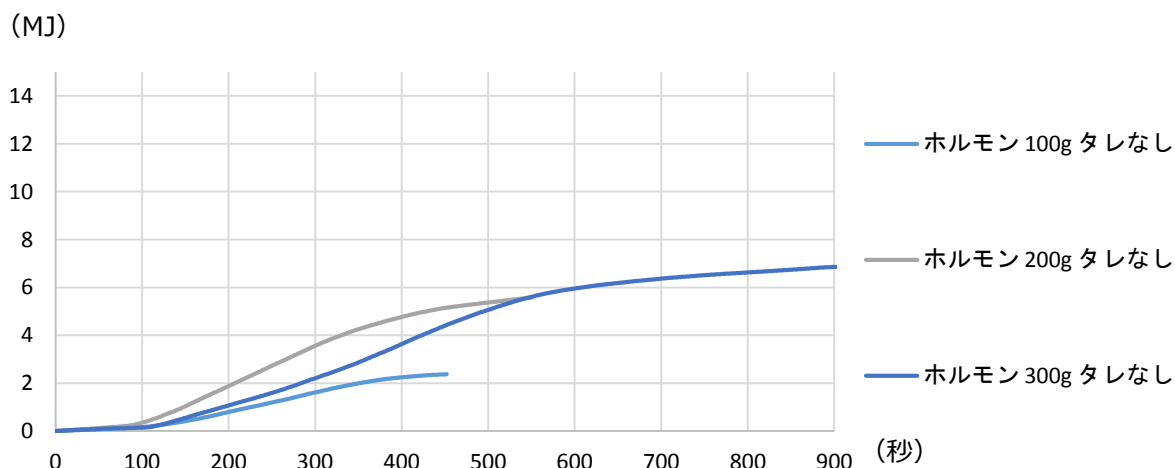


図 5-7 七輪小でホルモン（タレなし、100g から 300g）燃焼時の総発熱量

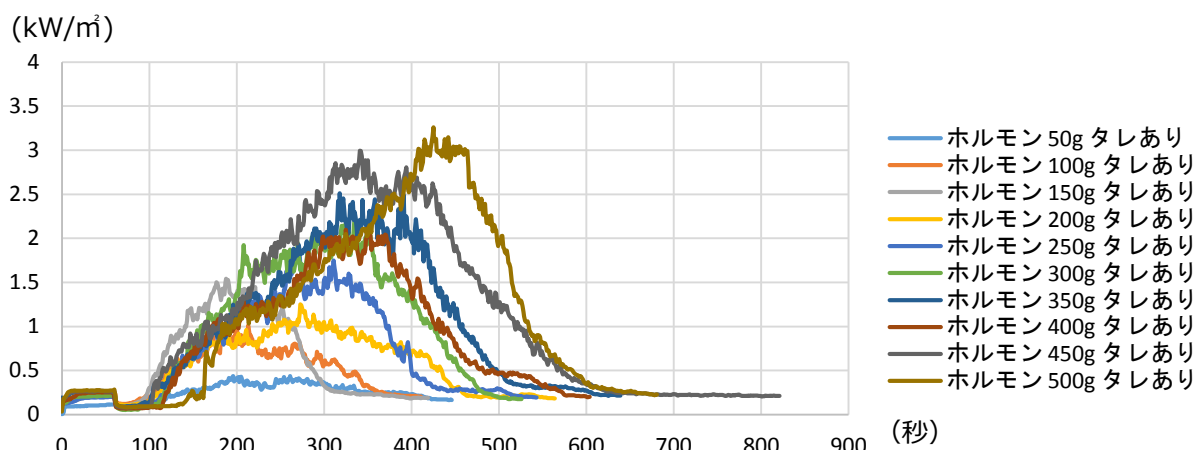


図 5-8 七輪大でホルモン（タレあり、50g から 500g）燃焼時の熱流束

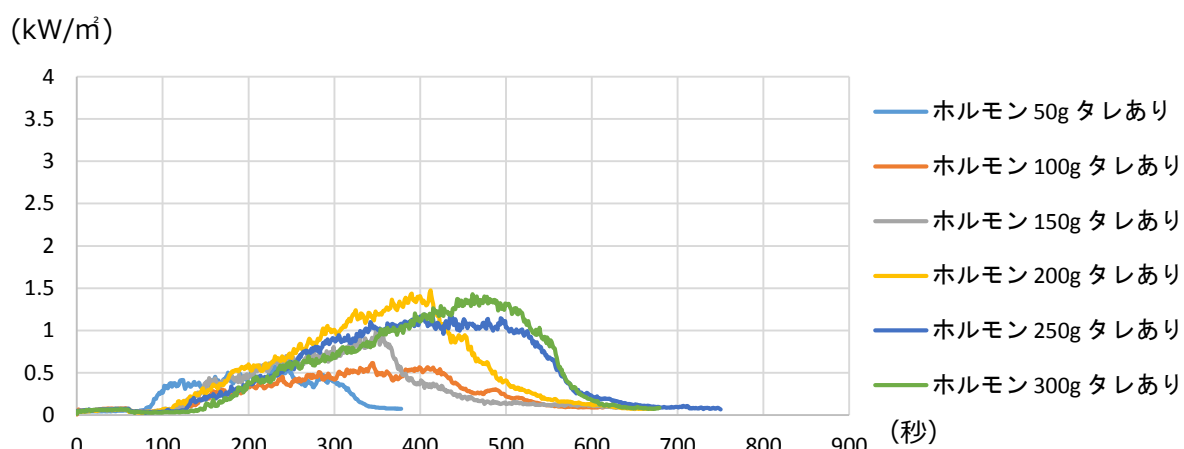


図 5-9 七輪小でホルモン（タレあり、50g から 300g）燃焼時の熱流束

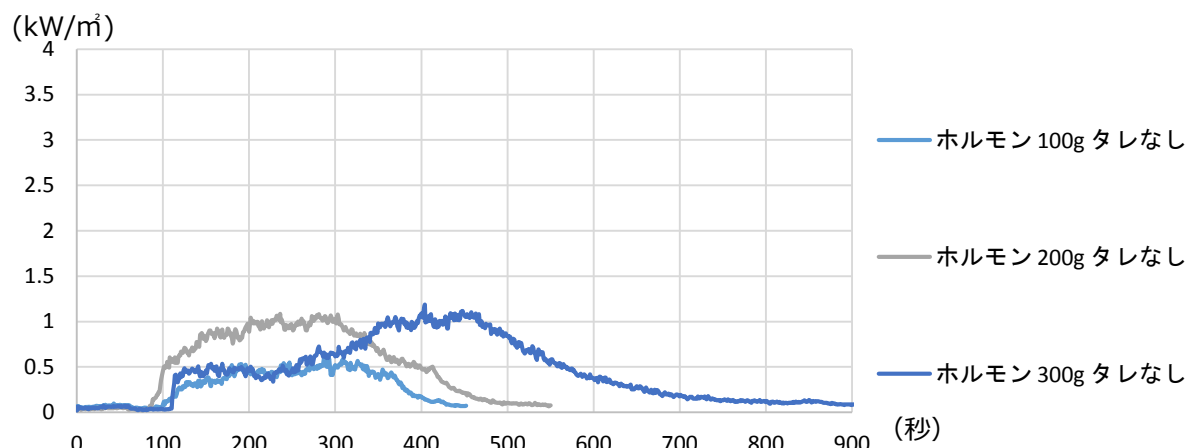


図 5-10 七輪小でホルモン（タレなし、100g から 300g）燃焼時の熱流束

表 5—1 全条件の結果

七輪	タレ	肉の量 (g)	総発熱量(MJ) (炭の熱量含む)	最大発熱速度 (kW)	焼き開始からの 着火時間(s)	焼き開始からの 鎮火時間(s)	最大熱流束 (kW/m ²)	最大炎高(cm)
大	あり	50	2.28	8.42	17	386	0.44	50
		100	2.93	12.83	15	351	1.01	65
		150	4.21	23.09	16	359	1.54	100
		200	5.04	18.02	26	504	1.25	100
		250	6.55	26.24	21	483	1.88	100
		300	7.25	25.84	12	466	2.25	100
		350	8.62	26.69	14	579	2.51	105
		400	8.35	29.02	17	544	2.12	110
		450	11.20	32.21	16	761	2.99	115
		500	11.38	35.83	20	621	3.26	120
小	あり	50	2.05	8.56	10	318	0.58	60
		100	2.91	8.12	22	602	0.62	70
		150	3.72	12.14	28	597	1.03	70
		200	5.34	16.51	25	612	1.47	80
		250	6.25	16.59	25	690	1.19	90
		300	6.92	19.44	43	619	1.43	95
	なし	100	2.37	9.36	22	392	0.6	70
		200	5.58	17.63	22	490	1.08	80
		300	6.92	16.52	23	940	1.19	100

※着火は、ホルモンを載せた焼き網を七輪に置いてからの時間

5 模擬火源燃料の選定

前4の実験結果を踏まえ、発熱速度、総発熱量及び炎の高さの再現性を考慮して、模擬火源としてヘプタンを採用した。

また、七輪の大小それぞれにおける燃焼の挙動を再現するために燃料の量と燃やし方の工夫をした。例として、七輪大にてホルモン 500g を燃焼させた場合の発熱速度の上昇特性及び総発熱量に近づけるため、20 cm の火皿にヘプタン 247.5g を投入し、開口部直径 10cm の蓋を設置、着火 70 秒後に蓋を取り外す事で再現した。七輪小では、ホルモン 300g を燃焼させた場合の発熱速度の上昇特性及び総発熱量に近づけるため、15 cm の火皿にヘプタン 155g を投入し、開口部直径 8 cm の蓋を設置、着火 50 秒後に蓋を取り外す事で再現した。

ホルモン 500g を焼いた際とヘプタン 247.5g を燃焼させた際の発熱速度と総発熱量の関係は図 5-11 及び図 5-12 に示すとおりで、ホルモン 300g を焼いた際とヘプタン 155g を燃焼させた際の発熱速度と総発熱量の関係は図 5-13 及び図 5-14 に示すとおりであり、いずれも燃焼の挙動が概ね再現できていることが確認できる。

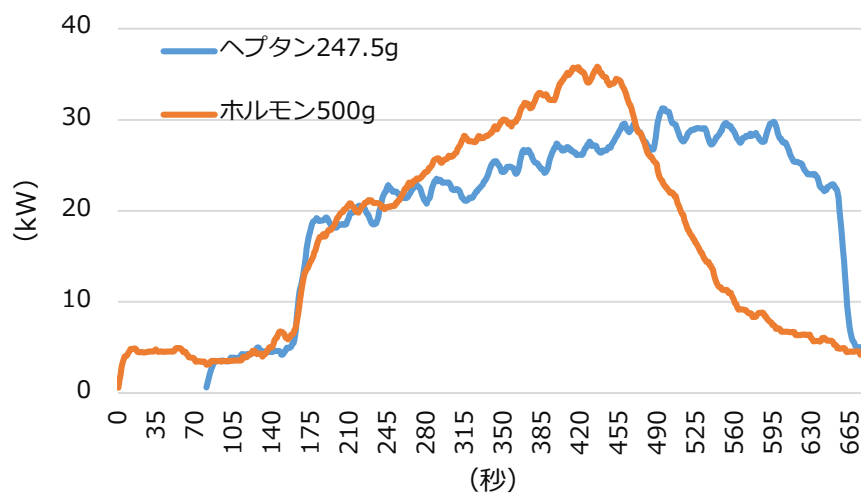


図 5-11 ホルモン (500g) と模擬火源の発熱速度

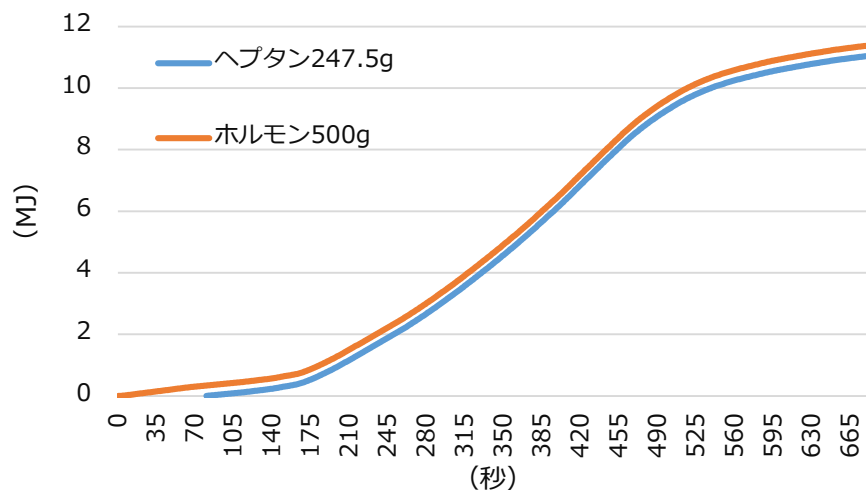


図 5 - 12 ホルモン (500g) と模擬火源の総発熱量

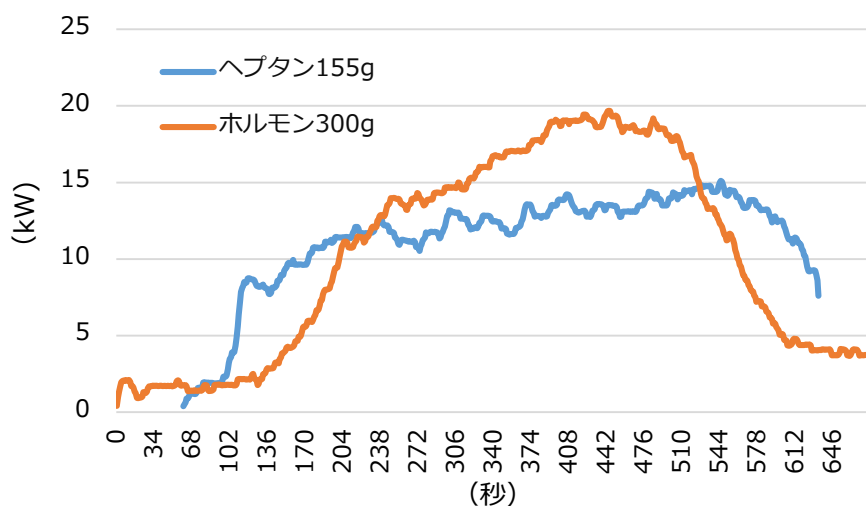


図 5 - 13 ホルモン (300g) と模擬火源の発熱速度

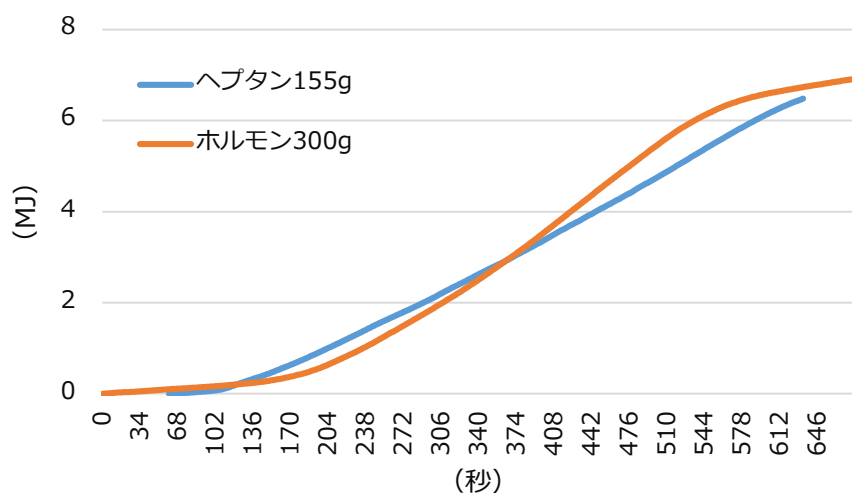


図 5 - 14 ホルモン (300g) と模擬火源の総発熱量

第4節 温度測定実験

模擬火源として選定したヘプタンを用い、ダクト離隔距離、ダクトの吸い込み風速及び火気器具の大きさや肉の量（模擬火源）の組み合わせごとに、ダクト外側の温度、排気捕集率等を計測した。

1 計測項目

(1) 温度

熱電対（ガラス被覆K熱電対、 $\phi 0.32$ ）を使用し、上引きダクト外側の温度分布を測定する。吸込み口より上引きダクト外側に5cm間隔で12点（図5-15、写真5-5）取り付け測定した。

(2) 風速

熱源を使用していない状態において、風速計（日本カノマックス社製、型式：アネモマスターMODEL6306/6305）（写真5-6）を用いて吸込み口におけるダクト断面の円中心において測定した。

(3) 捕集率

集煙フード（5m×5m）に接続したダクト内においてガス分析装置（写真5-2）を用いて測定する。

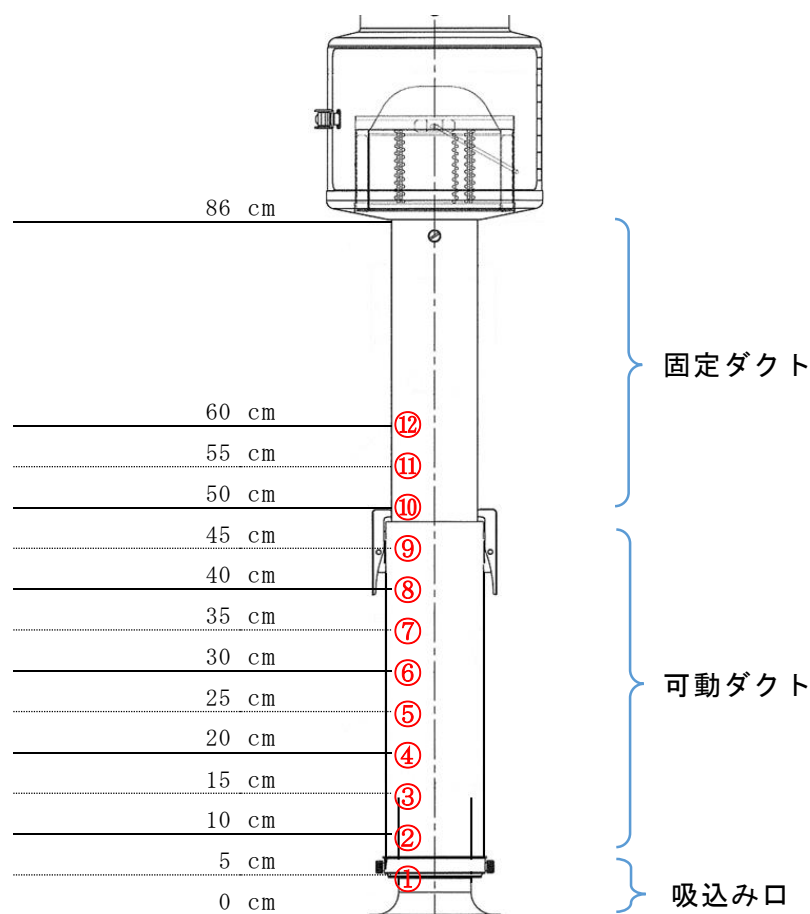


図5-15 上引きダクトへの熱電対の設置位置



写真 5－5 ダクト外側の熱電対設置位置



写真 5－6 風速計

2 実験条件

- (1) 温度測定実験で使用する装置の概要は図5-16に示すとおりであり、上引きダクト部分については、フード無し、固定ダクト直径102.5mm、長さ465mm、可動ダクト直径116.5mm、長さ395mmの可動式のものを使用した（ただし、伸ばした状態で調節せずに使用）。
- (2) 風速は、ダクト吸込み口中心の計測で3m/s、5m/s、7m/sの3つの風速とした。なお、吸い込み口の風速5m/sは、店舗における実態調査の平均であり、上引きダクトメーカーの設計基準でもある。

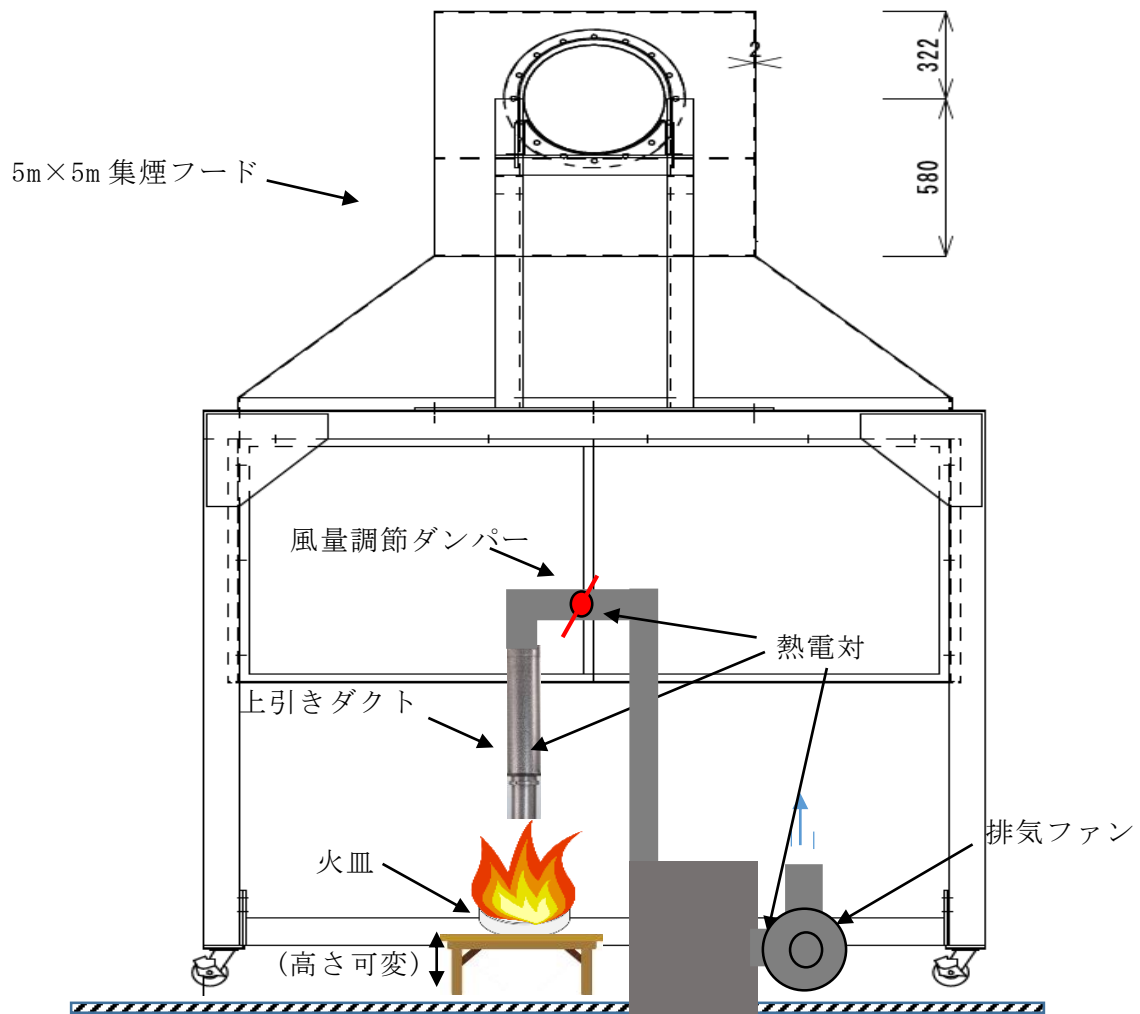


図5-16 ダクト外側温度分布の計測概要

(4) 排気捕集率の算出

捕集率を高めるフード（写真5-7）を設置した実験にて測定したCO₂濃度を排気捕集率100%と仮定し、各実験で測定されたCO₂濃度との比を捕集率とする。排気捕集率は、排気ファン吐出口で測定したCO₂濃度より求めた。

それぞれの実験において、点火から鎮火までの平均CO₂濃度を混合平均CO₂濃度、実験開始から点火までの1分間の平均CO₂濃度を外気平均CO₂濃度、混合平均CO₂濃

度から外気平均 CO_2 濃度を引いたものを排気平均 CO_2 濃度とし、排気捕集率の算出には、排気平均 CO_2 濃度を用いた。

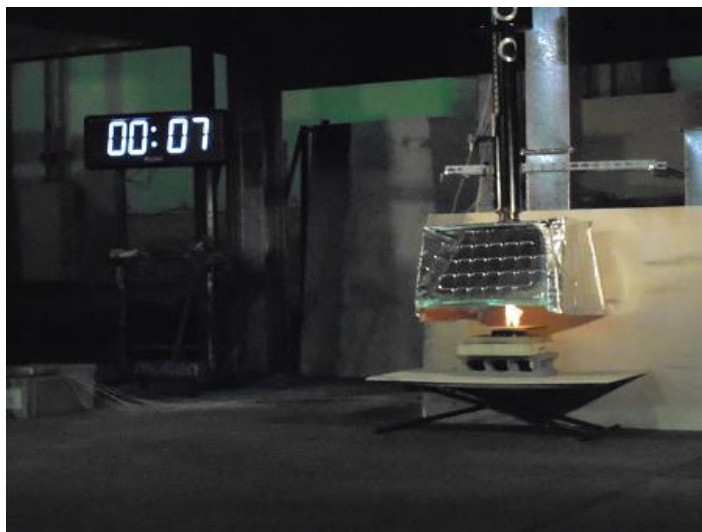


写真 5－7 100%捕集用フード

3 実験手順

実験手順を下記に、実験条件を表 5－2 に示す。

- (1) 実験開始 60 秒前より、温度測定 of 記録を開始
- (2) 実験開始 0 秒にヘプタンに点火、初期燃焼状態の緩慢な発熱速度を再現するため、15cm 火皿には直径 8 cm の開口部を設けた蓋を設置、20cm 火皿には直径 10cm の開口部を設けた蓋を設置
- (3) 15cm 火皿は 50 秒後、20cm 火皿は 70 秒後に先の蓋を取り外して最大燃焼時を再現
- (4) 燃焼終了とともに実験終了

表 5－2 実験条件

離隔 距離	火皿 15cm			火皿 20cm		
	3 m/s	5 m/s	7 m/s	3 m/s	5 m/s	7 m/s
50cm	－	(5)	(9)	－	(17)	(21)
40cm	(2)	(6)	(10)	(14)	(18)	(22)
30cm	(3)	(7)	(11)	(15)	(19)	(23)
20cm	(4)	(8)	(12)	－	(20)	(24)

※表中の数字は、実験ごとの固有番号を表す。なお、－は他の実験から類推できるので未実施。

4 実験結果

(1) ダクト外側温度測定の結果

図 5-17 から図 5-27 までは火皿 15cm、図 5-28 から図 5-37 までは火皿 20cm による燃焼実験時のダクト外側温度分布計測の結果である。

火皿 15cm を図 5-17 から図 5-27、火皿 20cm を図 5-28 から図 5-37 に示す。

最高温度の上がる傾向として、総発熱量の多い火皿 20cm の方が火皿 15cm に比べダクト外側温度は高くなる。また、風速は速いほど室内空気を多く吸い込むことによる冷却効果が得られ、遅い時に比べダクト外側温度は低くなる。ダクト離隔距離については、風速の遅い場合は近い方が高温となる傾向だが、風速の速い場合には逆転する箇所もあり、組み合わせによっては最高温度の傾向が変化する。

ダクト外側の温度を時間経過で見た場合、熱電対①から⑫にかけては、炎に近い位置となるため、炎の揺らぎに応じて温度の上昇と下降を繰り返しながら頂点へと上がっていく傾向にある。

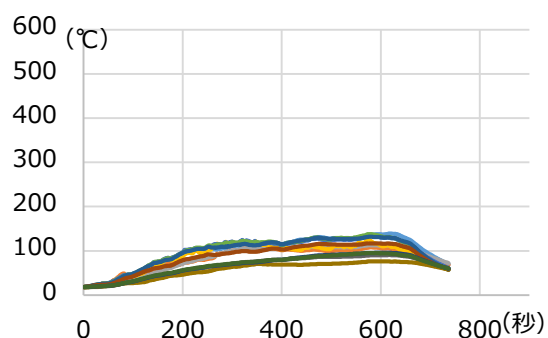


図 5 - 20 実験 (5) 風速 5m/s 離隔 50cm

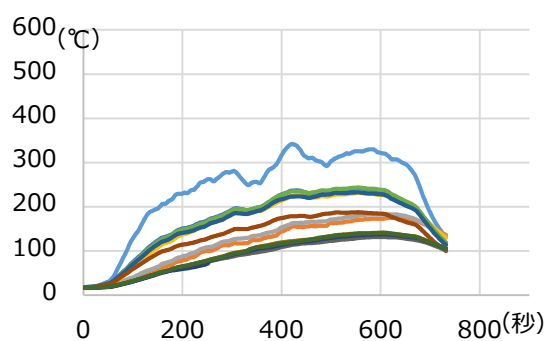


図 5 - 17 実験 (2) 風速 3m/s 離隔 40cm

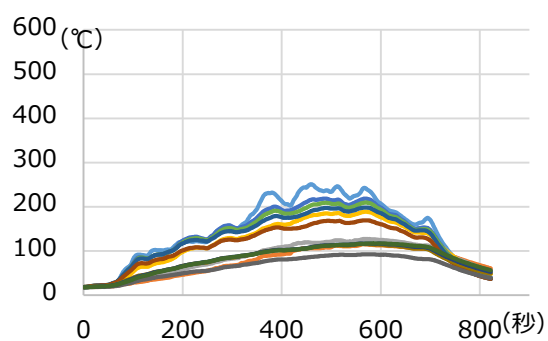


図 5 - 21 実験 (6) 風速 5m/s 離隔 40cm

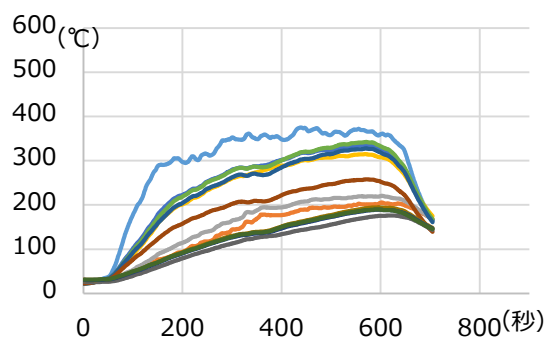


図 5 - 18 実験 (3) 風速 3m/s 離隔 30cm

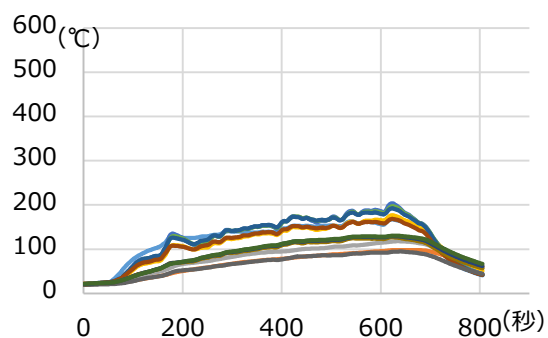


図 5 - 22 実験 (7) 風速 5m/s 離隔 30cm

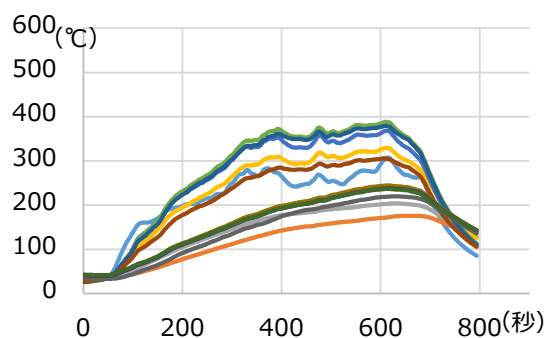


図 5 - 19 実験 (4) 風速 3m/s 離隔 20cm

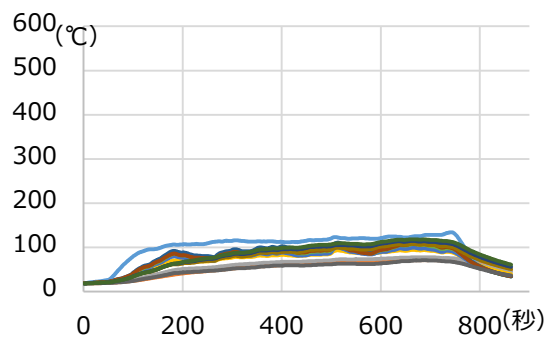


図 5 - 23 実験 (8) 風速 5m/s 離隔 20cm

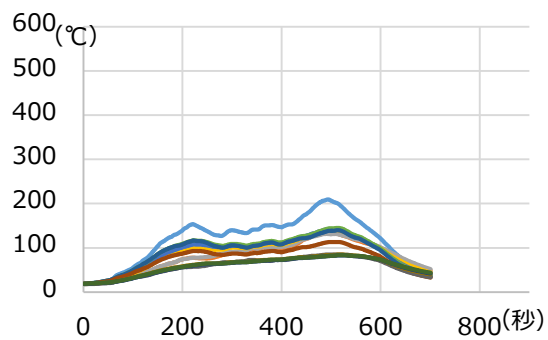


図 5 - 24 実験 (9) 風速 7m/s 離隔 50cm

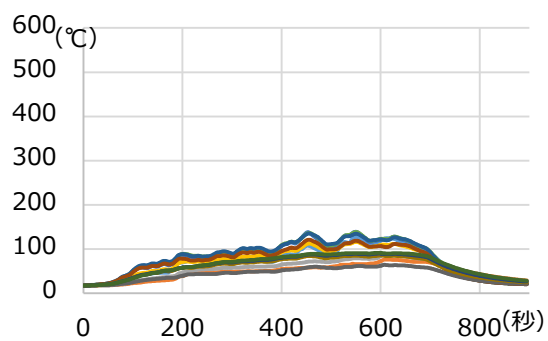


図 5 - 25 実験 (10) 風速 7m/s 離隔 40cm

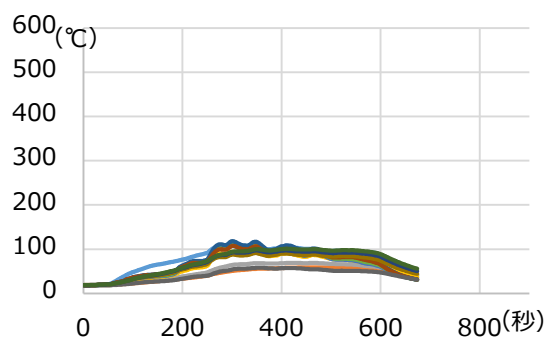


図 5 - 26 実験 (11) 風速 7m/s 離隔 30cm

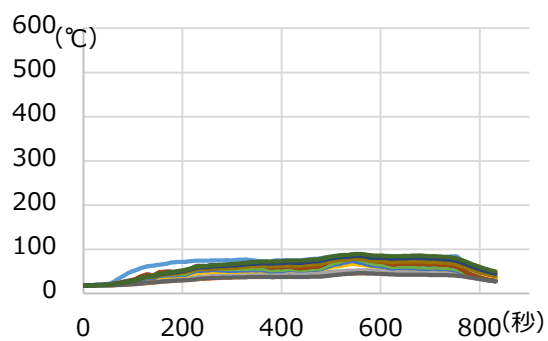


図 5 - 27 実験 (12) 風速 7m/s 離隔 20cm

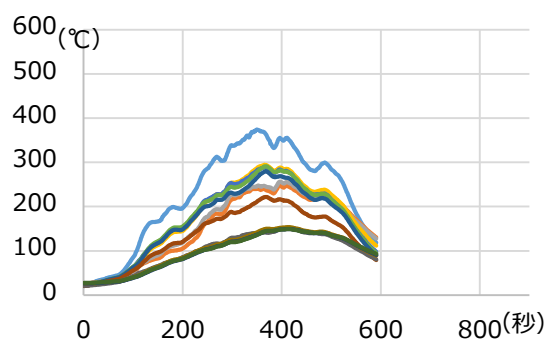
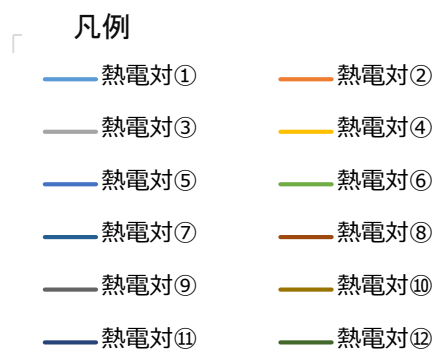


図 5-30 実験(17)風速 5m/s 離隔 50cm

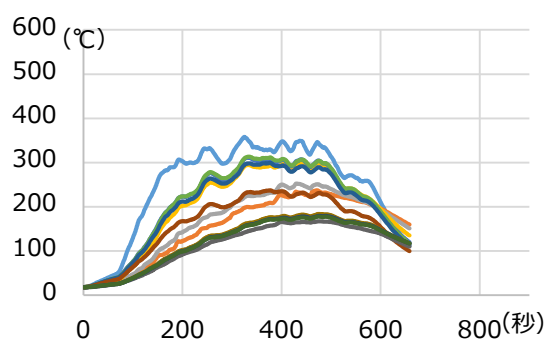


図 5-28 実験(14)風速 3m/s 離隔 40cm

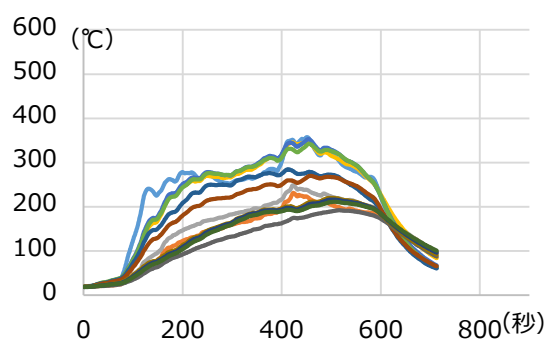


図 5-31 実験(18)風速 5m/s 離隔 40cm

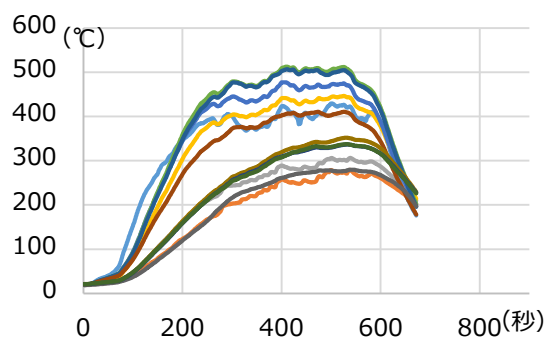


図 5-29 実験(15)風速 3m/s 離隔 30cm

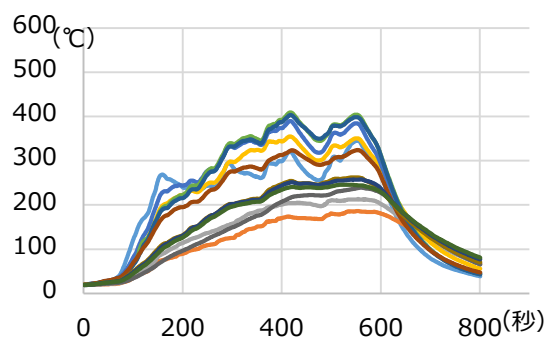


図 5-32 実験(19)風速 5m/s 離隔 30cm

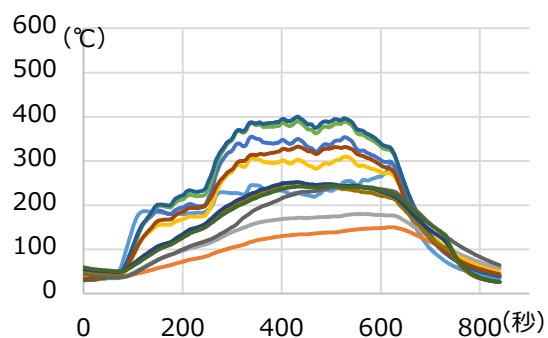


図 5-33 実験(20)風速 5m/s 離隔 20cm

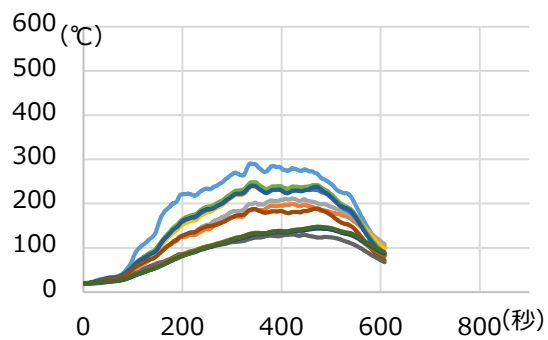


図 5-34 実験(21)風速 7m/s 離隔 50cm

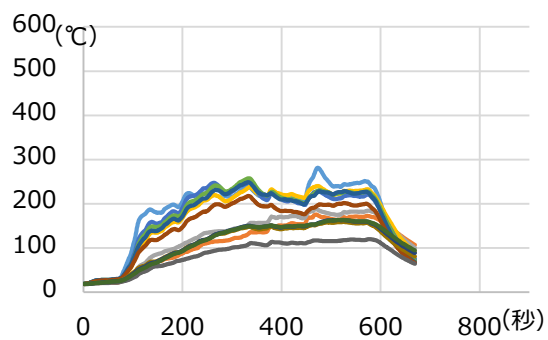


図 5-35 実験(22)風速 7m/s 離隔 40cm

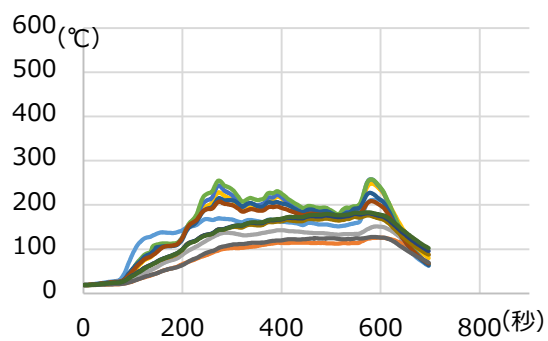


図 5-36 実験(23)風速 7m/s 離隔 30cm

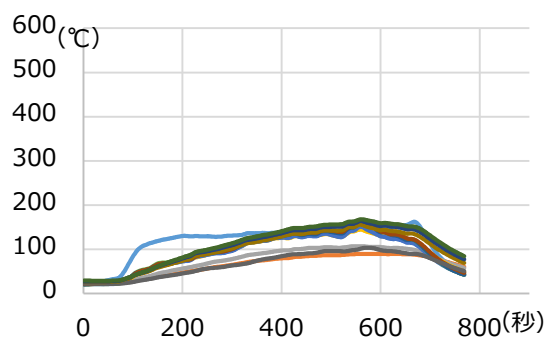


図 5-37 実験(24)風速 7m/s 離隔 20cm

(2) 排気捕集率測定結果

排気捕集率の測定結果を表 5－3 及び図 5－38 から図 5－40 に示す。

各風速における排気捕集率はダクト離隔距離により変化するが、最大捕集率はいずれも 50%弱となっている。風速 5 m/s、風速 7 m/s のダクト離隔距離に対する捕集率の変化は類似しており、ダクト離隔距離 30cm で最大値を示している。

また、3 m/s の場合はダクト離隔距離 20cm で最大値を示している。

3 m/s の捕集率 100%の実験は、高温になり過ぎるおそれがあるため行えなかったもので、5m/s 捕集率 100%の排気平均 CO2濃度を基準値とし、比例計算により求めた。

表 5－3 排気捕集率測定結果

		火皿15cm			
		風速 (m/s)			
		7	5	3	
100% 捕集時		外気平均CO2 (%)	0.0441	0.0441	
		混合平均CO2 (%)	1.0217	1.3673	
		排気平均CO2 (%)	0.9776	1.3232	
離 隔 距 離 (c m)	50	外気平均CO2 (%)	0.0459	0.0449	
		混合平均CO2 (%)	0.4029	0.5644	
		排気平均CO2 (%)	0.357	0.5195	
		捕集率 (%)	36.5%	39.3%	
	40	外気平均CO2 (%)	0.0485	0.0513	0.0446
		混合平均CO2 (%)	0.4391	0.6144	0.699
		排気平均CO2 (%)	0.3906	0.5631	0.6544
		捕集率 (%)	39.9%	42.6%	29.7%
	30	外気平均CO2 (%)	0.0486	0.0524	0.0446
		混合平均CO2 (%)	0.5218	0.6855	0.8554
		排気平均CO2 (%)	0.4732	0.6331	0.8108
		捕集率 (%)	48.4%	47.8%	36.8%
	20	外気平均CO2 (%)	0.0512	0.0554	0.0451
		混合平均CO2 (%)	0.4433	0.6114	1.0662
		排気平均CO2 (%)	0.3921	0.5560	1.0211
		捕集率 (%)	40.1%	42.0%	46.3%

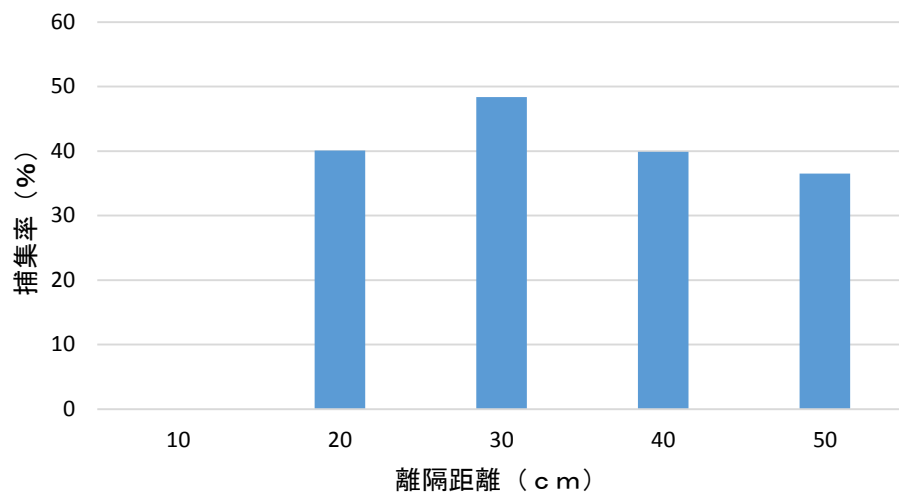


図 5 - 38 火皿 15cm 風速 7m 捕集率

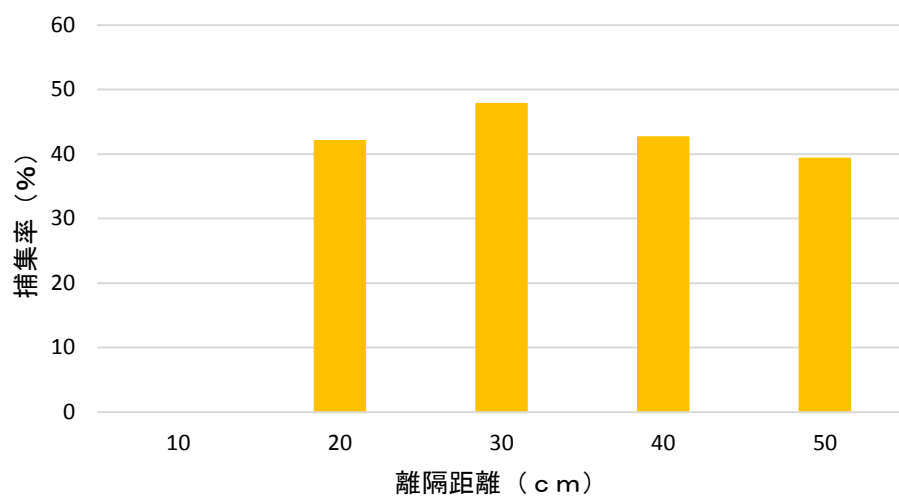


図 5 - 39 火皿 15cm 風速 5m 捕集率

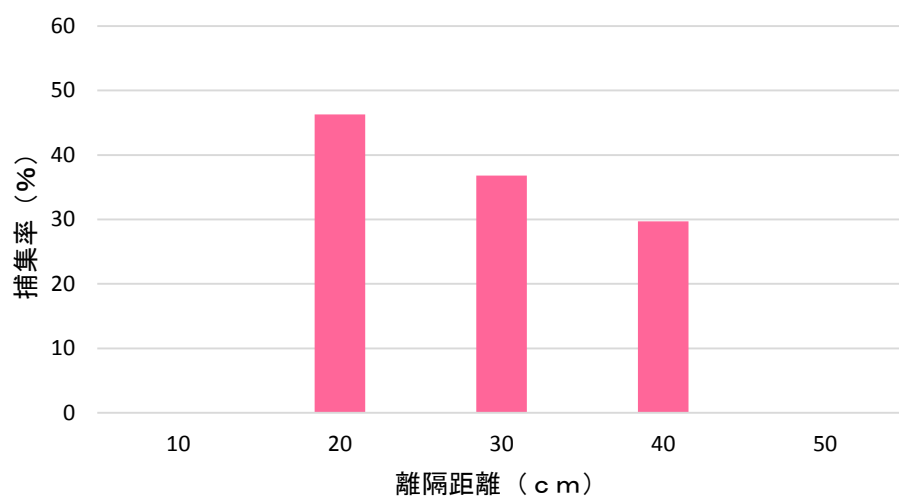


図 5 - 40 火皿 15cm 風速 3m 捕集率

第5節 着火実験

実態調査及び第3章火災の統計を参考に着火実験で焼肉店舗を模した上引きダクトを設置した。風速やダクト離隔距離等の使用条件を変え、油塵を塗布した上引きダクトへの着火の有無、温度分布状況を確認する。

1 計測項目

着火実験における計測項目を下記に示す。

(1) 温度

熱電対を使用し、上引きダクトへ油塵を塗布した状態のダクト外側温度分布を測定する。吸込み口より上引きダクト外側に5cm間隔で12点、風量調節ダンパーの外側に1点、ファン吸込み外側に1点取り付ける。

(2) 温度分布

赤外線サーモグラフィー（NEC Avio 赤外線テクノロジー社製、型式：クラス2レーザー製品 1mWMAX 635nm JIS C 6802）（写真5－8）を使用し、ダクト外側表面の温度分布を撮影する。放射率設定値は1.0とする。

(3) 風速

熱源を使用していない状態において、風速計を用いて吸込み口におけるダクト断面の円中心において測定する。



写真5－8 赤外線サーモグラフィー

2 実験条件

- (1) 温度測定実験で使用した上引きダクトと同様のものを使用し、熱電対の設置位置も同様とした（図 5－15）。
- (2) 上引きダクト火災の発生した焼肉店にて、ダクトに付着した油塵の厚さを測定した結果、5 件中 3 件が 0.4mm 程であった。

また、ダンパーの固着が 0.2mm で始まるというデータが示されている（JADCA スタンダード 2018 厨房版：一般社団法人日本空調システムクリーニング協会）事から実験の時のダクト内部へ塗布する油塵の厚さは 0.4mm 程とした。塗布は、固定ダクト面積 0.150 m²、可動ダクト面積 0.144 m²の合計 0.294 m²に厚さ 0.4mm 塗布する事を想定し、およそ 118mL とした。塗布後は、簡易油塵測定ゲージにて厚さを測定し概ね 0.4mm であることの確認を行った（写真 5－9）。

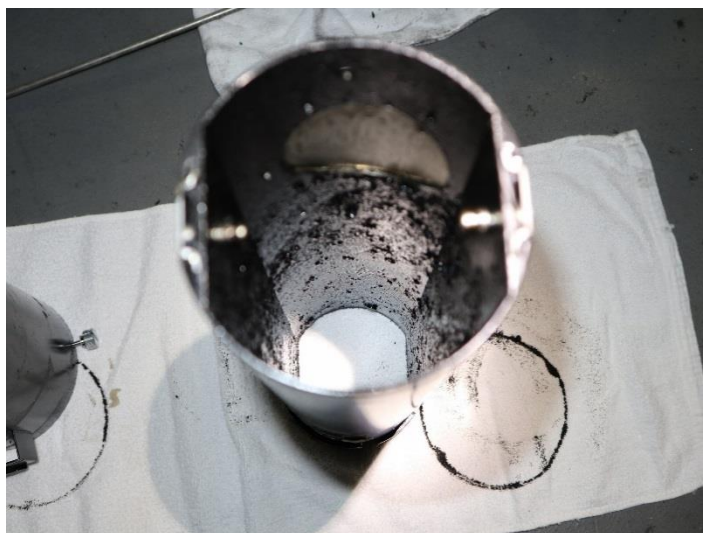


写真 5－9 油塵を塗布したダクト内部の様子

3 実験手順

実験手順を次の(1)から(4)に、実験条件を表 5－4 に示す。

- (1) 実験開始 60 秒前より、温度測定 of 記録を開始
- (2) 実験開始 0 秒にヘプタン（15cm 火皿は 155g、20cm 火皿は 247.5g）に点火、初期燃焼状態の緩慢な発熱速度を再現するため、15cm 火皿には直径 8cm の開口部を設けた蓋を設置、20cm 火皿には直径 10cm の開口部を設けた蓋を設置
- (3) 15cm 火皿は 50 秒後、20cm 火皿は 70 秒後に先の蓋を取り外して最大燃焼時を再現
- (4) 燃焼終了とともに実験終了

表 5－4 実験条件

離隔距離	火皿 15cm			火皿 20cm		
	3m/s	5m/s	7m/s	3m/s	5m/s	7m/s
40cm	－	⑥	⑩	⑭	⑱	㉒
30cm	③	⑦	⑪	⑮	⑲	㉓
20cm	④	⑧	⑫	－	㉔	㉖

※表中の数字は、実験ごとの固有番号を表す。温度測定実験の実験番号()を○とした。

- (5) 着火の判定

ダクト外側の温度上昇、内部撮影カメラ、上引きダクトに設置した内部確認用の見え窓、火皿からの炎の鎮火後、内部の目視確認により着火の有無を確認した。写真 5－10 から写真 5－12 まではダクト内の着火を確認した際の様子である。

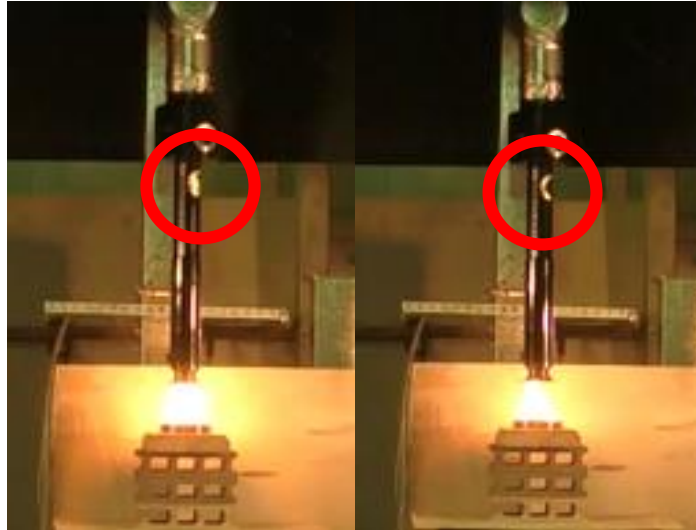


写真 5－10 見え窓からの炎の様子（左：着火有、右：着火無）



写真 5－11 ダクト内部に着火した状況（着火有）



写真 5－12 鎮火後、ダクト内部の状況（着火有）

4 実験結果

(1) 着火判定結果

温度測定結果、目視状況、実験後の状況から実験④、実験⑭、実験⑮、実験⑲、実験⑳でそれぞれ着火が確認できた（表 5－5）。

着火したダクト外側最高温度は、300℃をいずれも超えており、着火したものは、油塵が燃焼するために最高温度が 500℃を超えるものもあった（図 5－41 から図 5－45）。

また、徐々に温度が上昇しているものは着火のタイミングで温度が急上昇していた（図 5－41）。実験④では温度の上昇が当初は緩慢であったが、着火のタイミングで温度の急上昇が確認できる（図 5－41）。

表 5－5 着火判定結果

離隔距離	火皿 15cm			火皿 20cm		
	3m/s	5m/s	7m/s	3m/s	5m/s	7m/s
40cm	－	⑥無	⑩無	⑭着火	⑮無	⑳無
30cm	③無	⑦無	⑪無	⑮着火	⑲着火	㉓無
20cm	④着火	⑧無	⑫無	－	㉔着火	㉕無

※表中の数字は、実験ごとの固有番号を表す。なお、－は他の実験から類推できるので未実施。

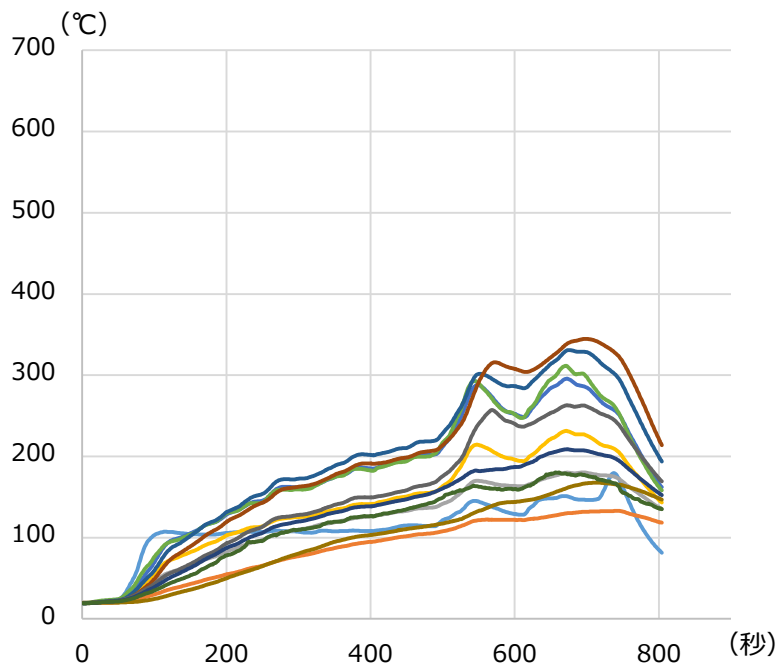


図 5－41 実験④離隔 20cm 風速 3m/s

熱電対① 熱電対② 熱電対③ 熱電対④ 熱電対⑤ 熱電対⑥
熱電対⑦ 熱電対⑧ 熱電対⑨ 熱電対⑩ 熱電対⑪ 熱電対⑫

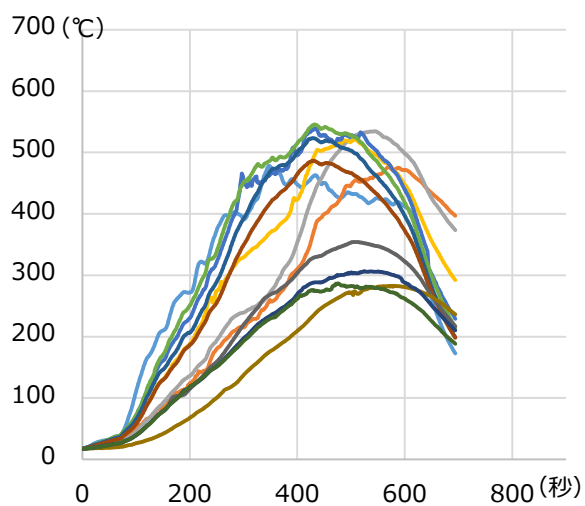


図 5 - 42 実験⑭離隔 40cm 風速 3 m/s

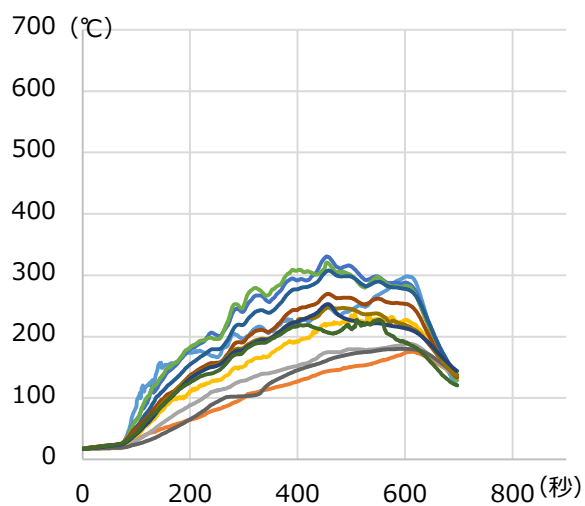


図 5 - 44 実験⑲離隔 30cm 風速 5 m/s

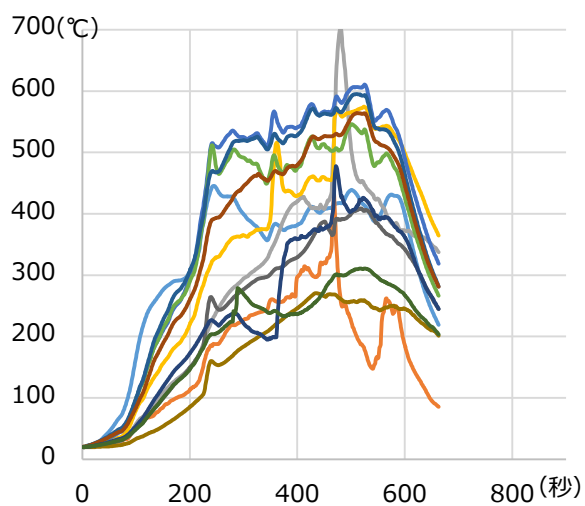


図 5 - 43 実験⑮離隔 30cm 風速 3 m/s

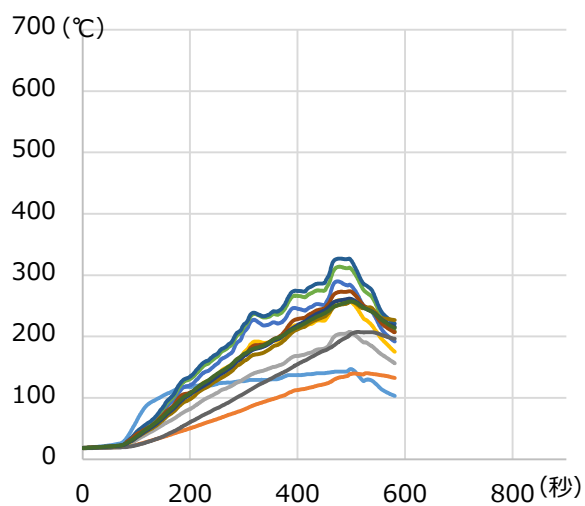


図 5 - 45 実験⑳離隔 20cm 風速 5 m/s

熱電対① 熱電対② 熱電対③ 熱電対④ 熱電対⑤ 熱電対⑥
 熱電対⑦ 熱電対⑧ 熱電対⑨ 熱電対⑩ 熱電対⑪ 熱電対⑫

(2) ダクト外側温度測定の結果

油塵を塗布した着火実験のでは、同設定時の温度測定実験の結果と比較すると温度の上昇勾配及び最高温度が抑制されたものが多い。

ダクト外側の温度は、火皿小よりも火皿大の方が温度が高くなる傾向にある。

熱電対ごとの最高温度を火皿、ダクト離隔距離、風速ごとに示したものが図 5 - 46 から図 5 - 51 である（図中の風速の赤下線は、着火有を示す）。

ダクト外側の温度はダクト吸込み口より 15cm から 35cm（④から⑧）付近が高くなる傾向がある。熱電対②と③及び⑨と⑩は重ねしろに位置しており、重ねしろに空間が出来ている事から空気壁が存在し熱伝導を妨げているため、④から⑧付近と比較すると低くなっている。当該結果はサーモカメラの撮影結果からも見てとれる（図 5 - 52）。

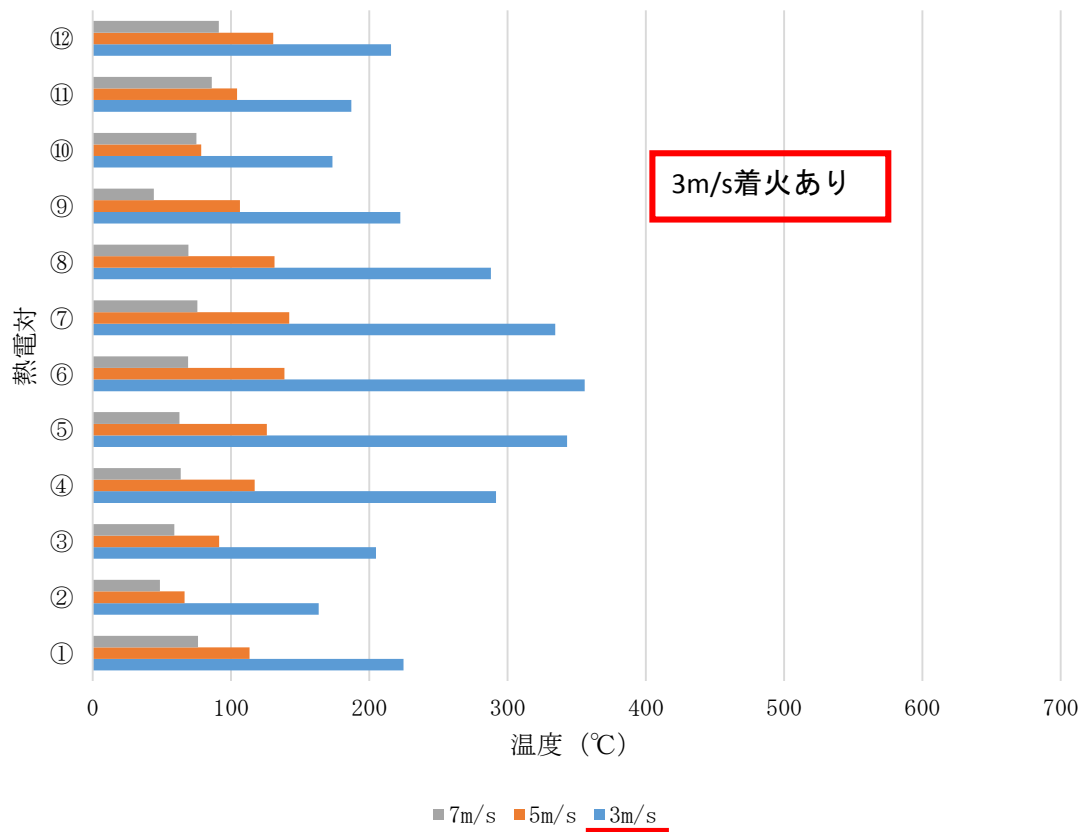


図 5-46 火皿 15cm、離隔距離 20cm ダクト外側最高温度

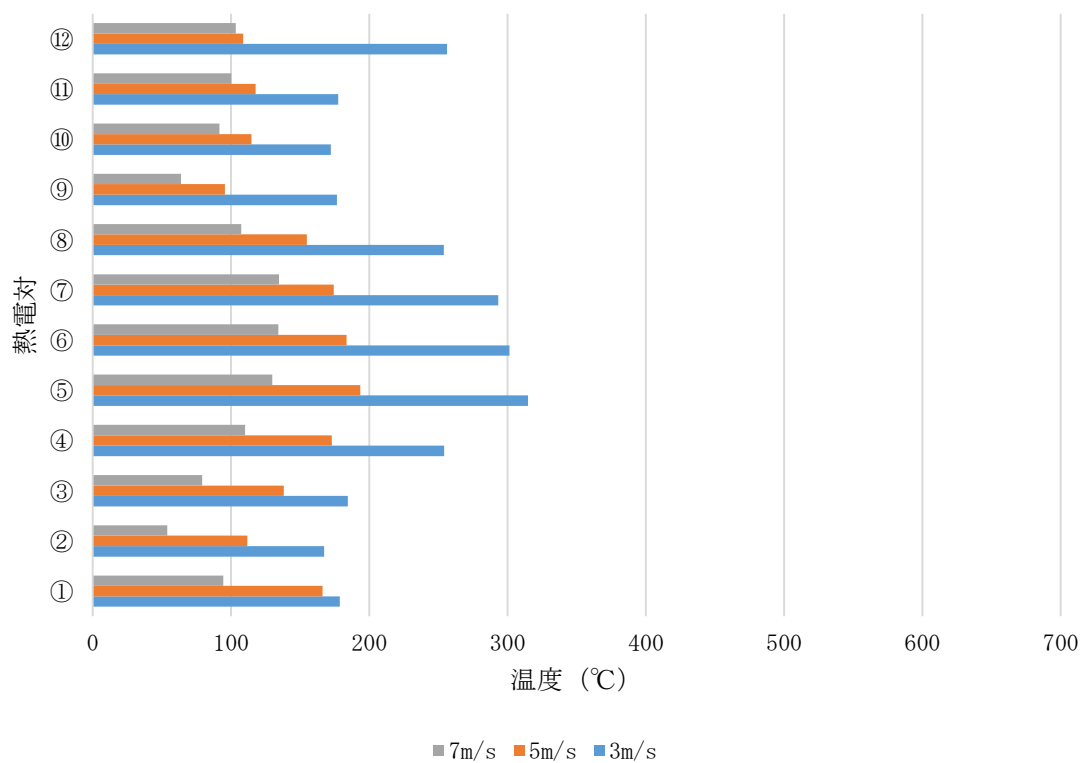


図 5-47 火皿 15cm、離隔距離 30cm ダクト外側最高温度

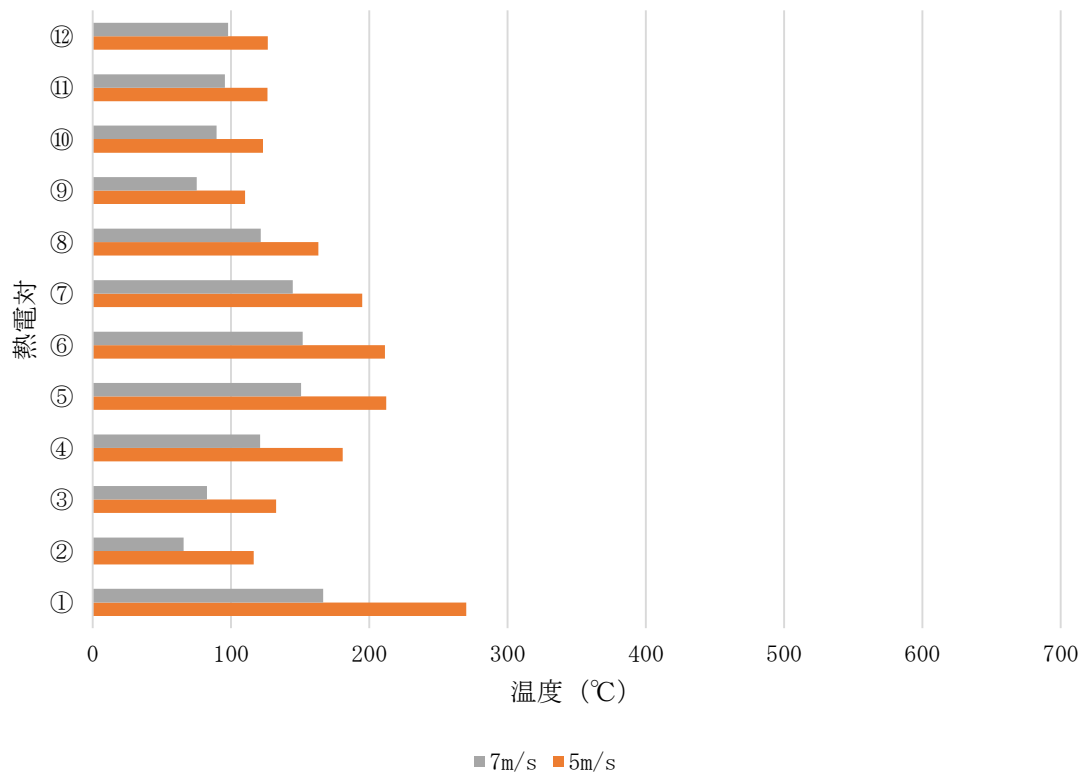


図 5-48 火皿 15cm、離隔距離 40cm ダクト外側最高温度

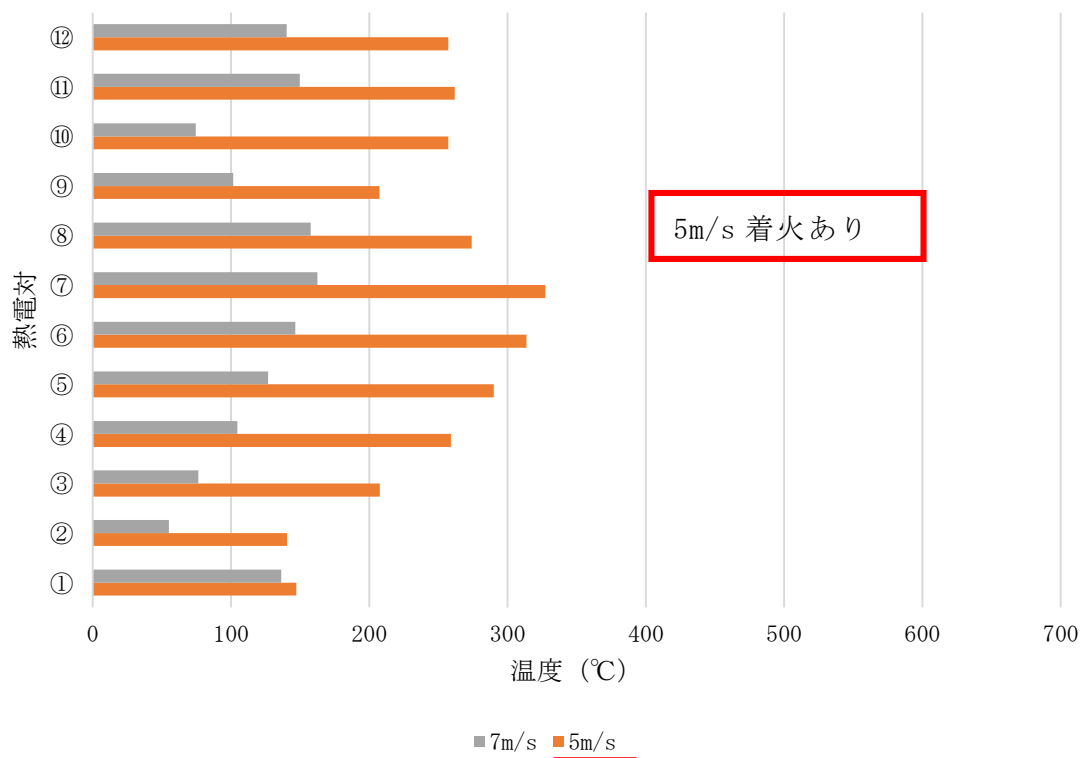


図 5-49 火皿 20cm、離隔距離 20cm ダクト外側最高温度

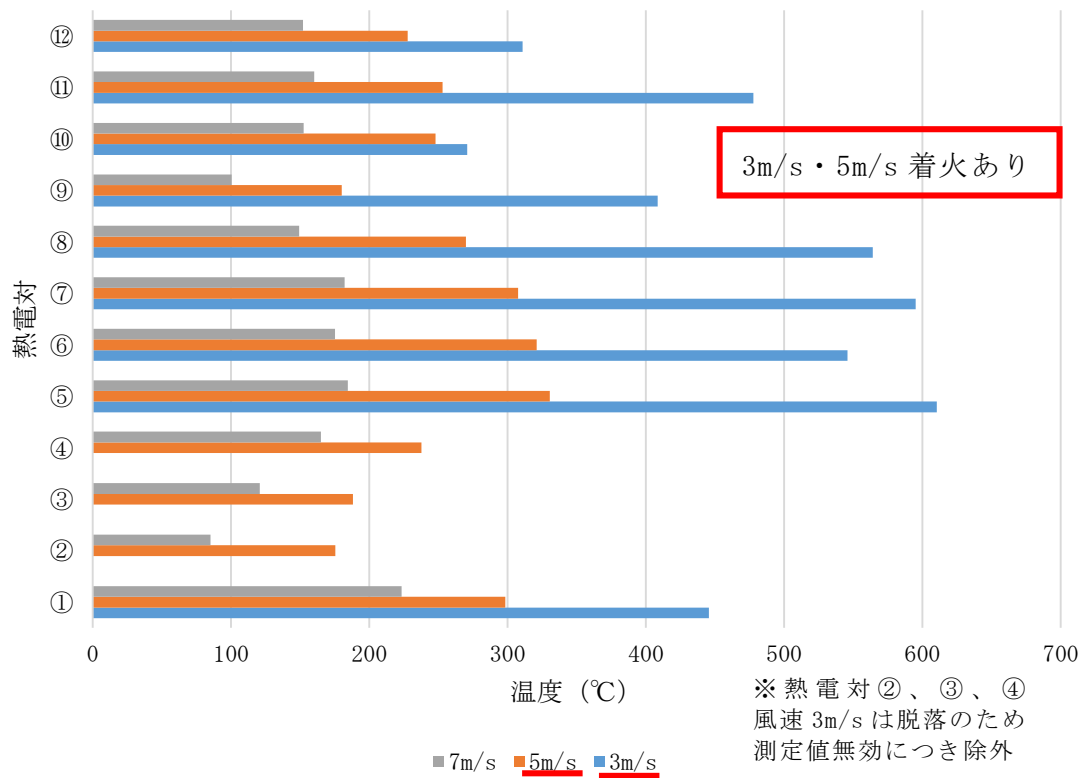


図 5-50 火皿 20cm、離隔距離 30cm ダクト外側最高温度

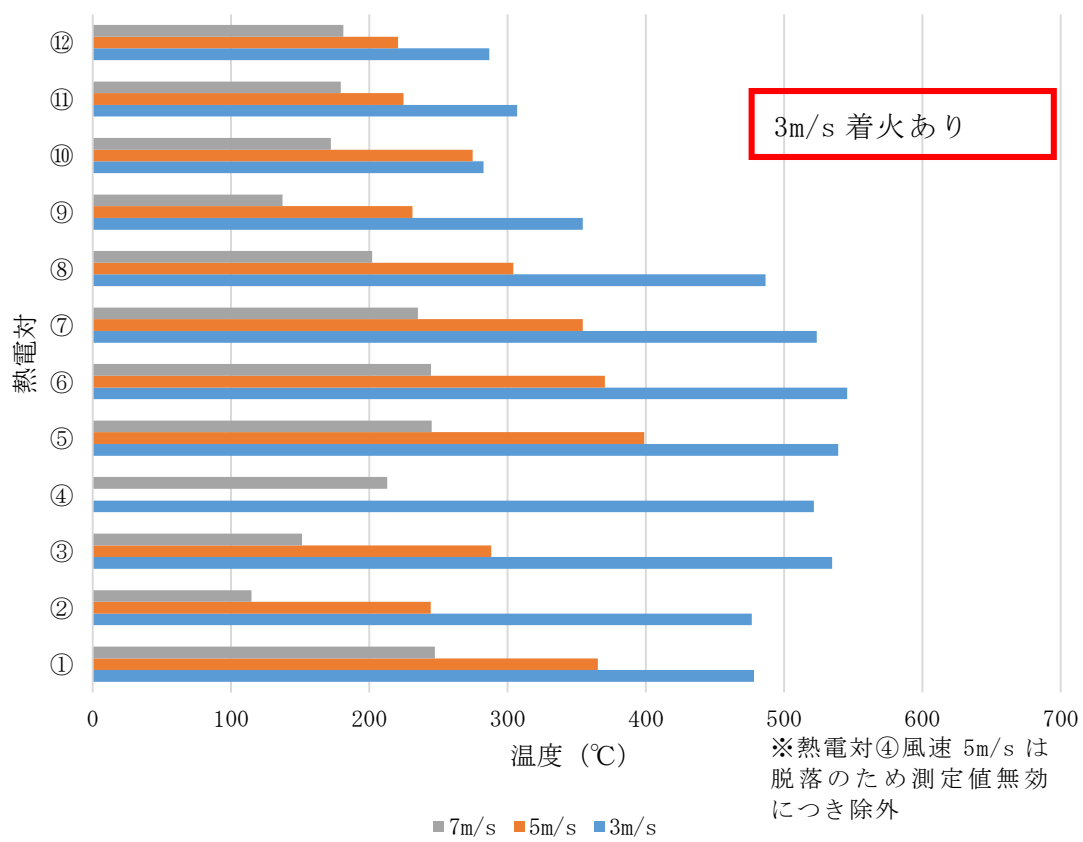


図 5-51 火皿 20cm、離隔距離 40cm ダクト外側最高温度

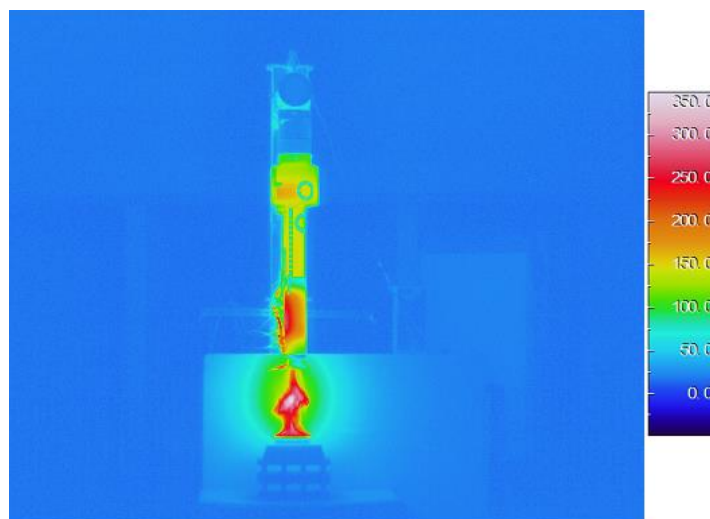


図 5－52 サーモグラフィー撮影結果（距離 40cm 風速 7m/s 火皿 20cm 点火後約 7 分）

※サーモグラフィーによる温度分布撮影は、撮影対象物の放射率を利用している。今回の実験では、ダクト外側を対象とした放射率を設定しているため、炎及び周辺の温度については正確に測定できていない可能性がある。

第6節 考察

ダクト離隔距離を変更する際には火源設定位置の高さを移動させていたため、ダクトに入り込む炎の長さが変化する。よって、ダクト離隔距離を短くする際には火源設定位置の高さを上げるため、ダクト内の温度分布は全体的に上方にずれると考えられる。ただし、いずれにしても今回の実験ではダクトにおける最高温度は熱電対⑤から⑦付近において計測される傾向にあるため、今回は代表として⑥において考察する。

1 温度測定実験

今回の実験では、2つの大きさの火源に対して、ダクト離隔距離と風速を変化させたときの温度変化を経時的に測定したものであり、加えてダクト離隔距離の変化が捕集率に与える影響についての測定も行った。

それぞれの要因についての考察は以下のとおりである。

(1) ダクトの最高温度について

今回の実験ではダクトにおける最高温度は熱電対⑤から⑦付近において計測される傾向にある。これは、ダクトの形状に伴う重ねしろが影響していると考えられる。

⑥における各条件の最高温度を表5-6にまとめた。(図5-53から図5-56)。

(2) 火源について

火皿 15cm 及び火皿 20cm のダクト離隔距離及び風速が同条件において、熱電対⑥の最高温度を比較した場合、いずれも火皿 20cm の方が高くなっていた。特に「風速 5m/s、ダクト離隔距離 20cm」では、火皿 20cm における熱電対⑥の最高温度 (390℃) は、火皿 15cm における熱電対⑥の最高温度 (108℃) の約 3.6 倍になっていた。これは火皿 20cm の総発熱量が火皿 15cm の総発熱量よりも大きいためである (表5-6)。

また、ラードの引火点が 304℃ (大阪市立大学生活科学部紀要・第 40 巻天ぷら油火災の発生要因に関する研究より引用) であるが、「火皿 15cm、風速 5m/s 及び 7m/s」「火皿 20cm、風速 7m/s」では、いずれにおいてもダクト外側温度が着火が想定される 300℃を超える事は無かった。

(3) 吸込み口の風速について

ダクト離隔距離及び火皿の条件が同じであれば、風速は遅い方がダクト外側での最高温度が高い結果となっていた。(表5-6)。これは、風速が速いほど室内空気を多く吸い込むことによる冷却効果によりダクト温度が低くなるためと考えられる。

(4) ダクト離隔距離について

「風速 3m/s」では、ダクト離隔距離が近い方が上引きダクトの熱電対⑥で測定した最高温度は高くなった。一方、「風速 7m/s」では、ダクト離隔距離が遠くなるほどダクトの熱電対⑥で測定した最高温度は高くなっている (表5-6)。これは、風速が速い場合、上引きダクトの吸込み口を火源に近づけることによって、火源の燃焼自体に影響が及んでいる可能性が考えられる。

(5) 捕集率について

「風速 3m/s」においては、火皿 15cm はダクト離隔距離 30cm 以下、火皿 20cm はダクト離隔距離 40cm 以下は全て 300℃を超えており、着火時の捕集率は検討の余地がないことから除外して検討した。

「風速 5m/s」、「風速 7m/s」においては、ダクト離隔距離が 50cm から 40cm、30cm と

短くなるにつれて捕集率が高くなりいずれもダクト離隔距離 30cm が最も捕集効率が高くなっていた（図 5—40 及び表 5—6）。

(6) 経過時間について

蓋を取り外してからラードの引火点付近の 300℃に至るまでの経過時間を見てみると、速いもので 127 秒（火皿 20cm、風速 3m/s、ダクト離隔距離 30cm）、遅いもので 446 秒（火皿 15cm、風速 3m/s、ダクト離隔距離 30cm）となった（表 5—7）。

ア 火源

吸込み口の風速及びダクト離隔距離を同条件にして比較すると、火源が大きい方が 300℃までの到達時間は短い。

イ 吸込み口風速

火源及びダクト離隔距離を同条件にして比較すると、吸込み口の風速が遅い方が 300℃までの到達時間は短い。

ウ ダクト離隔距離

火源及び吸込み口の風速を同条件にして比較すると、ダクト離隔距離が近い方が 300℃までの到達時間は短い。

表 5—6 熱電対⑥ 最高温度（℃）温度測定実験（油塵の塗布無し）

離隔距離	火皿 15cm			火皿 20cm		
	3m/s	5m/s	7m/s	3m/s	5m/s	7m/s
50cm	—	113	145	—	292	249
40cm	244	220	138	313	342	258
30cm	343	197	114	513	409	258
20cm	388	108	79	—	390	167

表 5—7 300℃到達時までの経過時間（s）温度測定実験（油塵の塗布無し）

離隔距離	火皿 15cm			火皿 20cm		
	3m/s	5m/s	7m/s	3m/s	5m/s	7m/s
50cm	—	未到達	未到達	—	未到達	未到達
40cm	未到達	未到達	未到達	①119 ⑥250	⑤284	未到達
30cm	①129 ⑤345	未到達	未到達	①99 ⑥108	⑥205	未到達
20cm	⑥239	未到達	未到達	—	⑦197	未到達

※表中の数字は熱電対番号を表す。

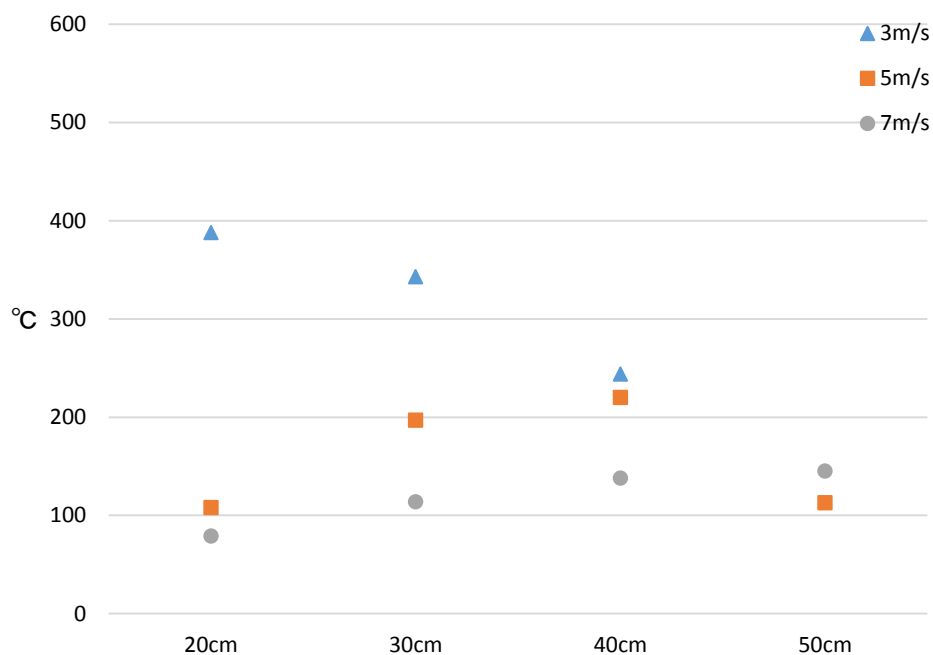


図 5 - 53 火皿 15cm 温度測定実験（油塵の塗布無し） ダクトの外側最高温度

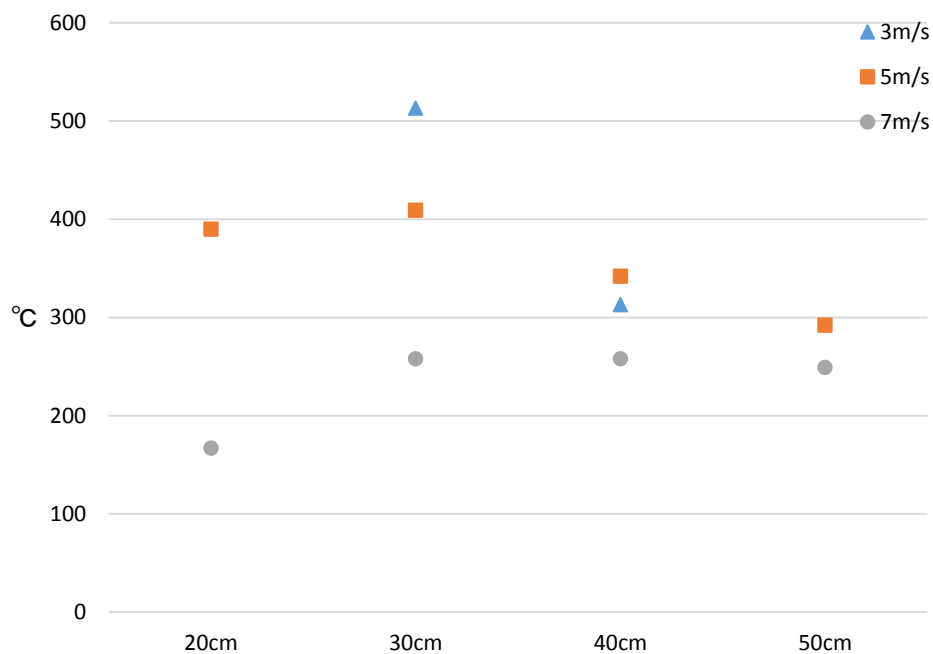


図 5 - 54 火皿 20cm 温度測定実験（油塵の塗布無し） ダクトの外側最高温度

2 着火実験

(1) ダクトの最高温度について

着火実験の温度は、温度測定実験の温度とおおむね同じか低くなっている傾向がみられ、油塵の塗布による影響と考えられる。温度測定実験よりも温度が高くなっているものは、着火時に油塵の燃えた温度によるものと考えられる。

今回の実験では着火しなかったが、着火が想定される 300℃を超えていることから、「火皿 15cm、風速 3m/s、ダクト離隔距離 30cm」「火皿 20cm、風速 5m/s、ダクト離隔距離 40cm」の条件では着火の可能性があると考えられる。

(2) 火源、吸込み口の風速及びダクト離隔距離について

火源、吸込み口の風速及びダクト離隔距離を変化させた場合の最高温度の傾向は、温度測定実験の場合とおおむね同じ傾向であった。

(3) 経過時間について

温度測定実験と比べると、300℃まで到達した条件は同じであるが、着火実験の方が経過時間は長くなる傾向がみられた。これは油塵の塗布による影響であると考えられる。

表 5—8 熱電対⑥ 最高温度 (°C) 着火実験 (油塵の塗布有り)

離隔距離	火皿 15cm			火皿 20cm		
	3m/s	5m/s	7m/s	3m/s	5m/s	7m/s
40cm	—	211	152	着火有 546	370	245
30cm	301	184	134	着火有 546	着火有 321	175
20cm	着火有 312	139	69	—	着火有 327	146

表 5—9 300℃到達時までの経過時間 (s) 着火実験 (油塵の塗布有り)

離隔距離	火皿 15cm			火皿 20cm		
	3m/s	5m/s	7m/s	3m/s	5m/s	7m/s
40cm	—	未到達	未到達	⑥158	⑤220	未到達
30cm	⑥446	未到達	未到達	⑦127	⑥309	未到達
20cm	⑥343	未到達	未到達	—	⑦389	未到達

※表中の数字は熱電対番号を表す。

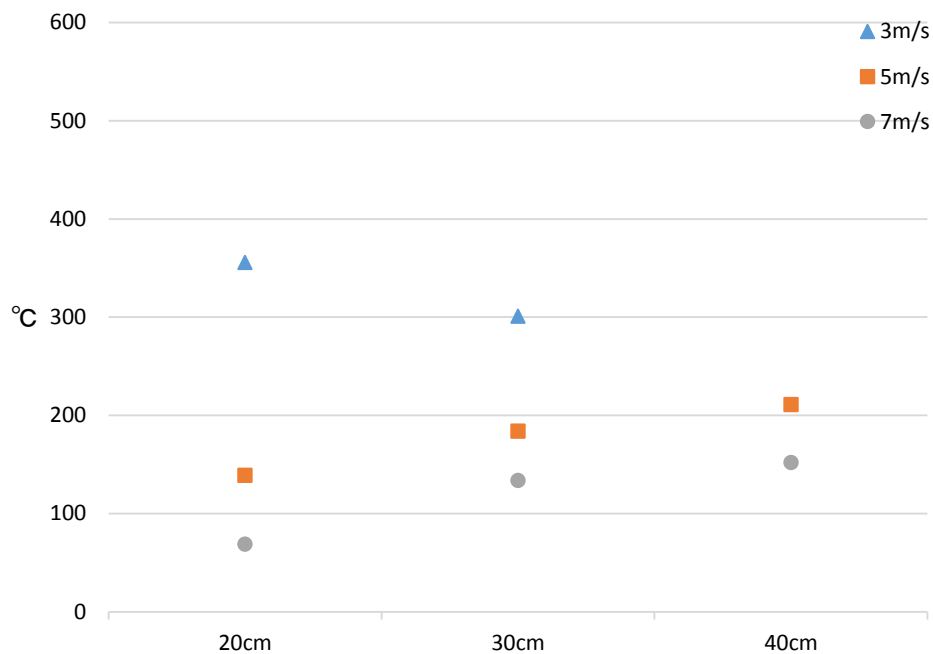


図 5 - 55 火皿 15cm 着火実験（油塵の塗布あり） ダクトの外側最高温度

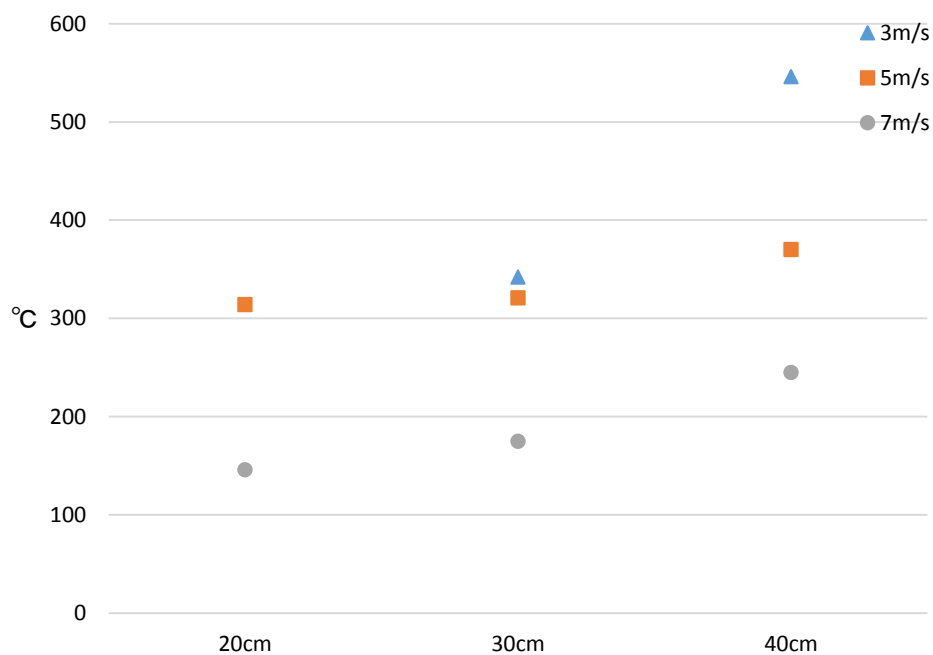


図 5 - 56 火皿 20cm 着火実験（油塵の塗布あり） ダクトの外側最高温度

3 まとめ

上引きダクトを対象にダクト温度や着火条件等に着目した実験を行い、次のような結果が得られた。

- (1) 火源、吸込み口の風速及びダクト離隔距離を変化させた場合の最高温度の傾向は温度測定実験と着火実験においておおむね同じであり、火源は熱量が多い程、風速は小さい程、高くなった。
- (2) 排気捕集率は、風速によらず類似しており、またダクト離隔距離 30cm で最大値を示し 50%弱であった。
- (3) 油塵の厚さ 0.4mm 付着させた状態では「火皿 15cm、風速 3m/s、ダクト離隔距離 20cm」「火皿 20cm、風速 3m/s、ダクト離隔距離 30cm」「火皿 20cm、風速 3m/s、ダクト離隔距離 40cm」「火皿 20cm、風速 5m/s、ダクト離隔距離 20cm」「火皿 20cm、風速 5m/s、ダクト離隔距離 30cm」の条件下、着火が確認された。
- (4) 火源は熱量が多い程、風速は小さい程、着火の危険性が増すことが確認された。更に、離隔距離、経過時間の各因子が複合的に作用することで火災は発生する。

なお、今回使用した実験装置は、火災の統計、及び実態調査の結果を検討して選定したが、吸込部にフードを設けたものや、ダクトが可動しないタイプ等の様々なダクト形状による影響も今後の課題として挙げられる。