

厨房ダクト火災の延焼危険について

Hazard of Spreading Kitchen Duct Fires

内	田	稔	*
長	嶋	敏	昭*
平	沢	正	己*
脇	田	邦	夫*
高	見	治	樹**
渡	辺	昭	一***
薩	佐	之	久****

Temperature distribution and wind structure were measured in a full-scale exhaust duct exposed to burning fatty oil in order to estimate the hazard of fire spread from kitchen duct fires.

Flames got into the duct through the grease filter equipped in a hood and increased the velocity of gas flow in the duct rapidly for a short period. The temperature of hot gas in the duct rose to as high as 1000°C after the ignition of the grease applied instead of the oil mist accumulated in a duct, which lead to a more hazardous stage of fire.

From the observation of temperature distribution and wind structure, it was found out that the bends in the duct were relatively hazardous locations from where a fire could spread to surrounding areas. This fact was also endorsed by the estimation of the local Stanton numbers.

1. はじめに

最近5年間の火災統計によると、ダクト火災は、東京消防庁管内で毎年50件前後発生している。そのうち、レストランやホテル等の調理場に設けられた排気ダクト、いわゆる厨房ダクトの火災は、年々増加する傾向にあり、昨年は、全ダクト火災件数の66%を占めた。

火災事例を調べると、調理場で揚げ物中にその場を離れたり、ガスコンロの火を消し忘れていたりして、天ぷら油が過熱されて着火し、フードから厨房ダクト内に延焼したケースが多く、ダクト内に付着、堆積した油塵が燃焼することによって、ダクトを通じて遠方まで延焼拡大したり、ダクト周辺に延焼した事例も少なくない。

最近では、オイルミストがダクト内に入るのを防ぐためのグリスフィルターを設置した厨房ダクトが多くなっている。しかし、グリスフィルターの

オイルミスト除去率は60%以上と保証値が低く、ある程度のミストがダクト内に進入することは明らかである。実際、グリスフィルターが設置されているにもかかわらずダクト内に延焼した例も多く、グリスフィルターは、厨房から立上った火災がダクト内に入るのを阻止できないことを認識しなければならない。また、防火区画として設置された防火ダンパーに、多量の油塵が付着していたために完全に作動しなかった例もある。

本研究は、以上の点を踏まえて、火災予防の立場から厨房ダクト火災の性状を明らかにし、延焼危険について検討することを目的としている。

2. 実験

(1) 実験に使用したダクト

スケールアップによる実験結果への影響を無くすため、延長9.7m、最小口径が縦30cm、横25cm、最大口径が縦50cm、横80cmの実大規模の亜鉛鉄板製排気ダクトを使用した。このダクト全体の概観を写真1に示す。

• 第二研究室 • 臨港消防署 • • • 矢口消防署
• • • • 立川消防署

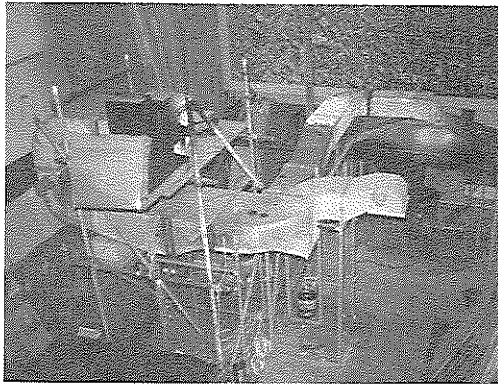


写真1 ダクトの外形

天蓋内には、火災予防条例第3条の2に定める基準に適合したグリスフィルターが設置されている。また、ダクト出口には、天蓋中央から10.7mの位置に排気ファンが取り付けられており、負荷状態での排気量は約 $33\text{m}^3/\text{min}$ である。

(2) 火源

完全燃焼時の発熱量が $9,285\text{cal/g}$ の天ぷら油を中華鍋（直径55cm、深さ16cm）中にて、ガスコンロ（発熱量 $7,020\text{kcal/h}$ ）で加熱した。なお、油面は、グリスフィルターから約1mの位置となる。

(3) 温度、気流速度、煙濃度の測定

ア、座標の設定

ダクト各部の位置を表すため、ダクトの入口から出口までの軸方向を x 方向、 x 方向に垂直な面の水平方向を y 方向、 x 、 y 方向に垂直な方向を z 方向として、 x 、 y 、 z のそれぞれの原点を、天蓋の中央部、ダクト断面の中央、及びダクト天井面とした。

イ、温度の測定

ダクト内部及び表面の温度分布を調べるためCA熱電対（ $\phi=0.65\text{mm}$ ）及びCC熱電対（ $\phi=0.3\text{mm}$ ）を図1に示すように x 軸に垂直なA~J面に合計81点設置し、デジタル記録計にて、1分毎に各点ほぼ同時（9秒以内）に温度測定を行った。同時に、室温、天ぷら油の温度、排気温度も測定した。

ウ、気流速度の測定

ダクト内の気流速度分布は、 500°C まで使用可能なanemometerを用いて、図1に

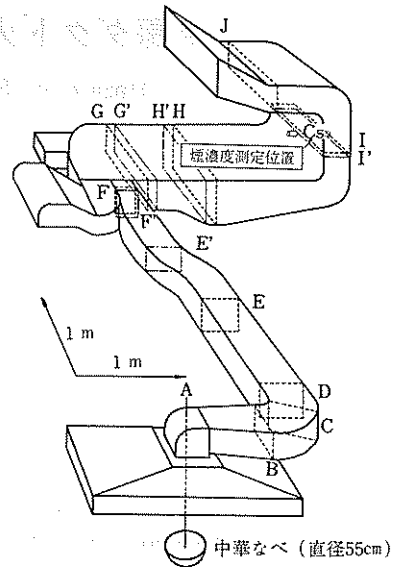


図1 ダクトの概略及び温度、風速並びに煙濃度測定位置

示すE'面で24点、F'面で15点、G'、H'面で各48点、I'面で18点を等間隔で測定した。気流方向の確認には、毛糸法⁽¹⁾を利用した。エ、煙濃度の測定

煙濃度はCdSセル及びタングステンランプから成る減光率計を用いて、図1に示す位置で測定した。本実験では、高濃度の煙が発生するため、CdSセルの表面に清浄な空気層（エアフィルター）を形成して、煙の付着による測定誤差が生じるのを防止した。

(4) 実験の方法

排気ファンは、終始駆動状態にしておき、中華鍋中の常温の天ぷら油を、全開にしたガスコンロの炎で加熱し続け、発火させた。この場合、ガスコンロの炎は、天ぷら油が燃え尽きるまで消さなかった。前述の温度及び煙濃度の測定は、ガスコンロの点火と同時に開始し、天ぷら油が消火した後も、ダクトが冷却してすべての測定点の温度が 100°C 以下になるまで継続して行った。なお、気流速度の測定は、天ぷら油が発火した直後から、E'面の中央において行った。

天ぷら油の量は、通常使用され则认为られる1、2、3及び4ℓとしたが、燃焼性状及び発煙特性の検討のため、必要に応じて0.1

0.6ℓについても実験した。

次に、油塵が燃焼した場合を想定して、油塵の代わりに、発熱量10,380cal/gのグリースを0.21㎡の石綿布に一様に塗布し、図1のB面の手前の底面に置き、同様な実験を行った。この場合、グリースの量は100, 200, 及び300gとし、着火源となる天ぷら油の量はすべて2ℓとした。

3. 実験結果及び考察

(1) 平常使用状態のダクト内気流性状とダクト各部の温度分布

排気ファン駆動状態のダクト内気流速度分布の測定の結果、図2に示すように、ダクト

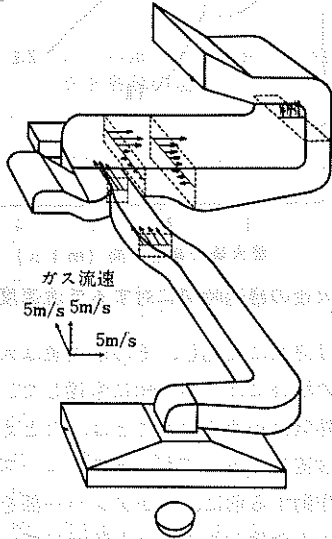


図2 排気ファン駆動状態におけるダクト内風速分布

の直線部分の気流速度は、 y 方向、 z 方向とも変化が少なくほぼ平均化されているが、曲折部分では、ダクト径が急に大きくなるG'、H面での y 方向の気流速度変化が大きく、曲がりに対して外側と内側では方向が逆になって測れていることが判明した。一例として、G'面の中央($z = -17$ cm)における気流性状を図3及び写真2に示した。

天ぷら油が着火しなければ、ダクト各部の温度は殆ど変化せず、最も高くなると考えられるグリスフィルター下面の温度が、室温より32℃高い44℃、天蓋内が29℃、ダクト内の最高温度が29℃で、 z 方向に進むに従って室

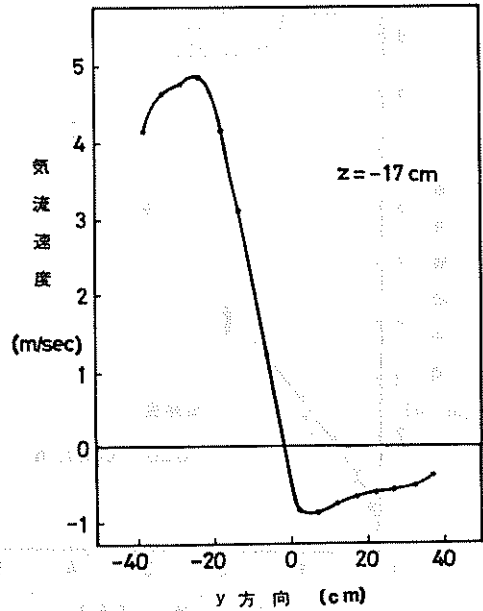


図3 G'面における気流速度の水平(y)方向分布

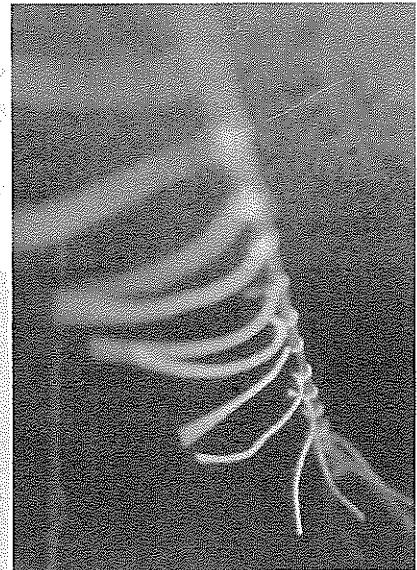


写真2 ダクト内の気流状態

温に近づき、温度的には殆ど問題ない。

(2) 天ぷら油の燃焼に伴う気流速度の変化及びダクト各部の温度変化

天ぷら油の量と、着火した場合の燃焼継続時間は、図4に示すように一次関係にあり、油量1ℓ以上では燃焼速度はほぼ一定であることがわかる。この場合、天ぷら油の燃焼速度は、ガスコンロの炎からの熱量と油の燃焼炎からの放射熱量とによって決定する油の蒸

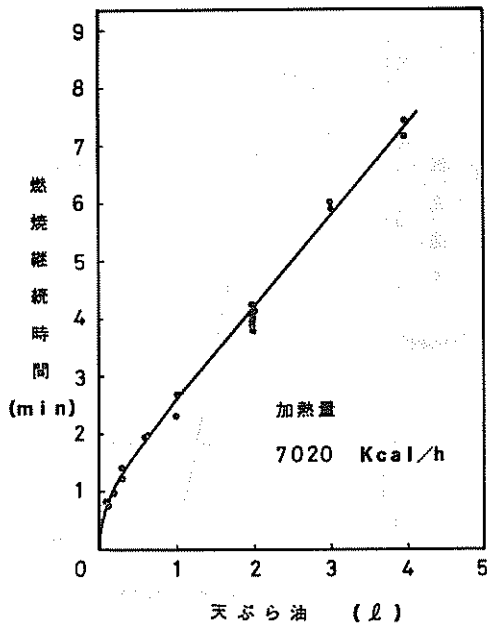


図4 天ぶら油の量と燃烧継続時間の関係

発速度に依存しており、油量1ℓ以上の場合には、油の燃烧界面が中華鍋全面に拡大し、写真3に示すように炎はグリスフィルターに達し、定常燃烧していると考えられる。なお火炎温度も1ℓ以上では972~990℃の一定範囲内にあった。

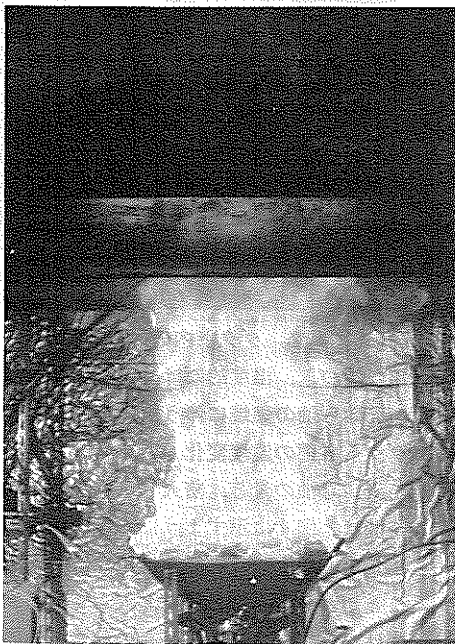


写真3 定常燃烧している天ぶら油

実験に用いたダクトの平常時の平均体積速度は0.4~0.5m³/secで、入口から4.5mまでの平均流速は、約3m/secである。しかし、火炎がダクト内に入ると、図5に示すように

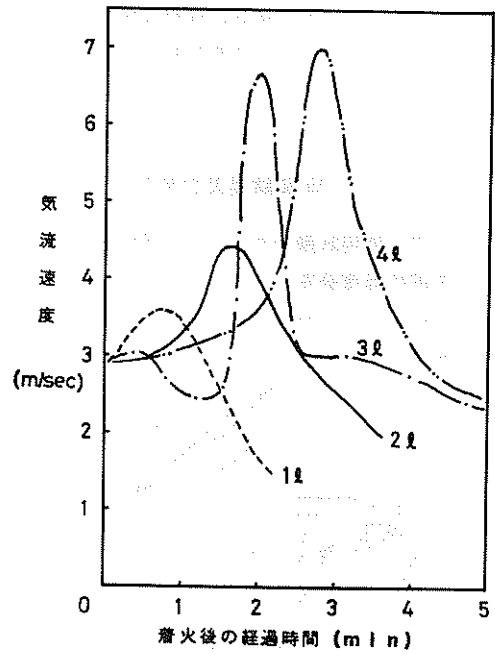


図5 着火後の経過時間に対する気流速度の変化

流速は急激に変化し、その最大値は天ぶら油4ℓの場合には7m/secにも達した。このように熱気流が速くなることは、たとえダンパーが設置してあっても、そのヒューズが溶融して作動する前に、炎がダンパー部を越えて伝播する危険があることを暗示している。

ところで、C.K. Leeら⁽²⁾は、炭坑火災研究の一環として、ダクト火災と換気流との関係について報告しており、その中で、火災が発生してダクト内に高温のガスが流れると、ファンによって強制換気されていた流れが乱され、流動抵抗が生じるため、流速が約 $\frac{1}{2}$ にまで減少するとしている。このような現象は、本実験においても観察されたが、それは、流速が一度速くなった後で、火炎がダクト内に入ってから約1分後であった。

ダクト各部の最高温度を、天ぶら油1ℓ~4ℓの各実験について、表1-1~表1-4に示す。

これらの表から明らかなように、油量が多くなる程、対応場所の温度が高くなっている

表1-1 天ぷら油1ℓが燃焼した場合のダクト各部の温度

位置	ダクト入口からの距離(m)	ダクト内中央の温度(°C)	ダクト表面の温度(°C)			
			上面	下面	右側面	左側面
A	1		282			
B	0.85	417	204	223	195	
C	1.25	408	212	253	229	216
D	1.65	411	211	237	240	
E	2.85	363	167	223	184	
F	4.45	320	140	106	133	
G	5.05	240	127	76	90	138
H	5.80	243	111	60	100	128
I	7.60	248	95	101	81	
J	8.80	171	79	74	67	

表1-4 天ぷら油4ℓが燃焼した場合のダクト各部の温度

位置	ダクト入口からの距離(m)	ダクト内中央の温度(°C)	ダクト表面の温度(°C)			
			上面	下面	右側面	左側面
A	0		733			
B	0.85	839	538	573	544	
C	1.25	830	452	382	585	
D	1.65	787	479	506	576	668
E	2.85	630	385	475	426	
F	4.45	535	320	248	310	
G	5.05	396	260	177	205	320
H	5.80	390	225	141	207	234
I	7.60	375	195	-	175	
J	8.80	280	160	179	134	

表1-2 天ぷら油2ℓが燃焼した場合のダクト各部の温度

位置	ダクト入口からの距離(m)	ダクト内中央の温度(°C)	ダクト表面の温度(°C)			
			上面	下面	右側面	左側面
A	0		363			
B	0.85	476	278	302	275	
C	1.25	469	281	332	303	355
D	1.65	452	282	307	308	
E	2.85	413	220	286	239	
F	4.45	374	187	143	179	
G	5.05	281	159	105	119	181
H	5.80	283	117	84	129	165
I	7.60	281	125	130	105	
J	8.80	206	103	110	88	

表1-3 天ぷら油3ℓが燃焼した場合のダクト各部の温度

位置	ダクト入口からの距離(m)	ダクト内中央の温度(°C)	ダクト表面の温度(°C)			
			上面	下面	右側面	左側面
A	0		546			
B	0.85	616	315	413	379	
C	1.25	616	392	440	421	483
D	1.65	540	343	434	445	
E	2.85	507	293	314	321	
F	4.45	437	235	181	230	
G	5.05	332	202	131	151	231
H	5.80	331	157	107	158	200
I	7.60	323	151	161	133	
J	8.80	240	123	138	105	

が、これは前述のように燃焼速度による差ではなく燃焼継続時間の差によるものである。また、各部の温度分布については、予想されるようにダクト入口から遠ざかるにつれて低下するが、G、H面の左側面のように局所的に温度が高い部分がある。このことは、図3に示した気流速度分布から容易に説明される。即ち、高温の主流がG面の左側面に沿って流れるため、その結果生じるy方向の気流温度分布は、図6に示すように、気流速度分布と良く一致している。

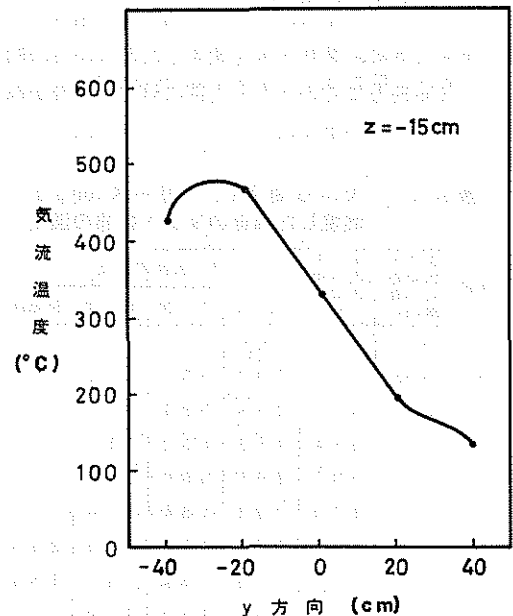


図6 G面における気流温度の水平(y)方向分布

(3) ダクト内可燃物に着火した場合のダクト各部の温度変化

天ぷら油1ℓを燃焼させた場合には、炎はグリスフィルターを通してダクト内に入るが、予備実験において、ダクト内のグリスに着火しない場合があったので、確実に延焼させるため油量は2ℓとした。この場合、ダクト内の底面の温度はB、C、D面において、最高410℃となり、油塵が堆積していれば十分着火する温度である。今回の実験では、グリスへの延焼は、グリス量100~300gのどの場合にも天ぷら油の発火後1分以内に起こり、グリスの燃焼炎は、曲折部のC面を越え、瞬間的にはダクト入口から4.5mのF面にまで達した。

グリス量100、200及び300gの各実験におけるダクト各部の温度を、それぞれ表2-1~表2-3に示した。

グリスの塗布量に対応して、ダクト各部の温度は上昇するが、特にグリスが置かれた付近は、直接炎にさらされるため、非常に高温となる。このグリスの燃焼による影響を評価するため、基準となる油2ℓのみが燃焼した場合との温度差 $\Delta\theta$ と、その温度を与える時間 Δt との積、 $\Delta t\Delta\theta$ を、ダクトの上部表面及びダクト下部表面について各々計算した。その結果、それぞれ図7及び図8に示すように、グリスを塗布した部分から、約2m前方までのダクト上部に対する影響が高いことがわかった。

表2-1 天ぷら油2ℓ、グリス100gが燃焼した場合のダクト各部の温度

位置	ダクト入口からの距離(m)	ダクト内中央の温度(℃)	ダクト表面の温度(℃)			
			上面	下面	右側面	左側面
A	0		566			
B	0.85	748	592	554	232	
C	1.25	677	288	384	287	325
D	1.65	684	482	452	319	
E	2.85	536	295	360	265	
F	4.45	470	206	184	216	
G	5.05	330	171	118	139	260
H	5.80	329	138	84	140	156
I	7.60	318	132	142	119	
J	8.80	209	109	122	98	

表2-2 天ぷら油2ℓ、グリス200gが燃焼した場合のダクト各部の温度

位置	ダクト入口からの距離(m)	ダクト内中央の温度(℃)	ダクト表面の温度(℃)			
			上面	下面	右側面	左側面
A	0		602			
B	0.85	896	622	576	270	
C	1.25	767	353	562	566	298
D	1.65	751	603	543	199	
E	2.85	636	336	413	300	
F	4.45	533	225	208	242	
G	5.05	381	191	120	158	285
H	5.80	380	159	99	158	183
I	7.60	361	148	158	136	
J	8.80	226	121	131	107	

表2-3 天ぷら油2ℓ、グリス300gが燃焼した場合のダクト各部の温度

位置	ダクト入口からの距離(m)	ダクト内中央の温度(℃)	ダクト表面の温度(℃)			
			上面	下面	右側面	左側面
A	0		495			
B	0.85	1030	734	544	580	
C	1.25	950	570	380	646	700
D	1.65	997	639	460	445	
E	2.85	842	319	537	435	
F	4.45	662	283	252	294	
G	5.05	457	232	144	190	346
H	5.80	459	181	109	180	218
I	7.60	437	168	191	162	
J	8.80	250	135	152	124	

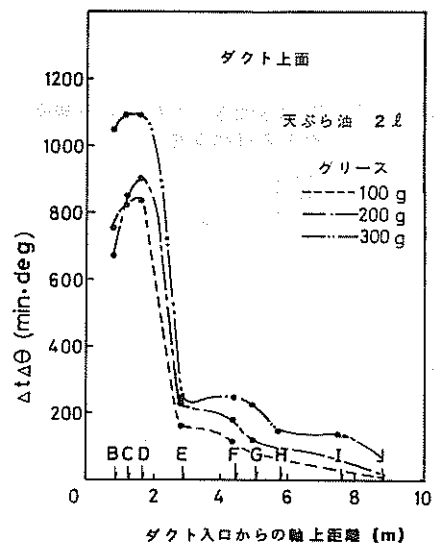


図7 ダクト入口からの距離とその場所におけるダクト上面での $\Delta t\Delta\theta$ との関係

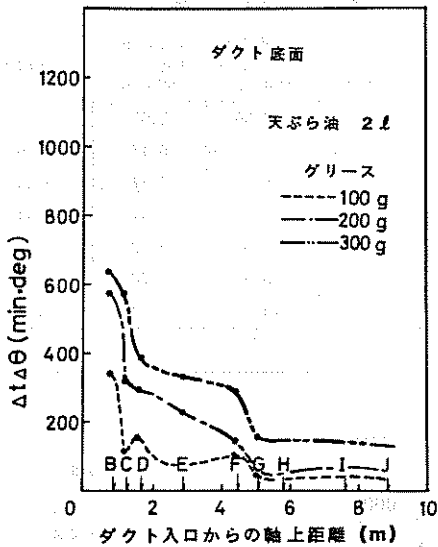


図8 ダクト入口からの距離とその場所におけるダクト下面での $\Delta t\theta$ との関係

(4) 熱気流に伴って移動する熱量

ダクト内の x 軸上の任意の位置 x と、 $x + \delta x$ において、 x 軸に垂直な2平面と、 y 方向の長さ Y 、 z 方向の長さ Z のダクト面によって囲まれた部分の体積片 $\delta x Y Z$ 内の熱収支を考えると、

$$\dot{q}_{g,in} - \dot{q}_{w,out} - \dot{q}_{g,out} = 0 \quad \dots\dots(1)$$

$\dot{q}_{g,in}$ は気流に伴ってこの $\delta x Y Z$ 内に入ってくる熱量、 $\dot{q}_{g,out}$ は気流に伴って $\delta x Y Z$ から出ていく熱量で、 $\dot{q}_{w,out}$ は気流から壁面に移動する熱量を示す。

気流が運ぶ熱量は、次式で表される。

$$\dot{q}_g = f(x, t) = \rho C_p V (T_g - T_\infty) \quad \dots\dots(2)$$

$$V = \int u dS \quad \dots\dots(3)$$

$$T_g = \frac{\int \theta u dS}{\int u dS} \quad \dots\dots(4)$$

ただし ρ : 気流の密度 (g/m³)

C_p : 気流の比熱 (cal/g, deg)

T_g : 気流の体積速度 (m³/sec)

T_∞ : 雰囲気温度 (°C)

θ : 微小面 dS における温度 (°C)

u : 気流速度 (m/sec)

ここで、 ρ 、 C_p を空気に対する値で近似すると、

$$\rho = 1293H/760 (1 + 0.00367T_g) \quad \dots\dots(5)$$

$$C_p = 0.2238 + 0.5691 \times 10^{-4} T_g - 0.6757 \times 10^{-8} T_g^2 \quad \dots\dots(6)$$

ただし、 H は空気圧力 (mmHg) である。

位置 x における断面を通過する全熱エネルギー qg は(2)式を時間 t で積分して、

$$qg = f(x) = \int \rho C_p V (T_g - T_\infty) dt \quad \dots\dots(7)$$

ρV は、質量速度(g/sec)となって、連続した流れでは保存されるので、一定点で測定した値を用いた。また、 T_g は図9に示すような

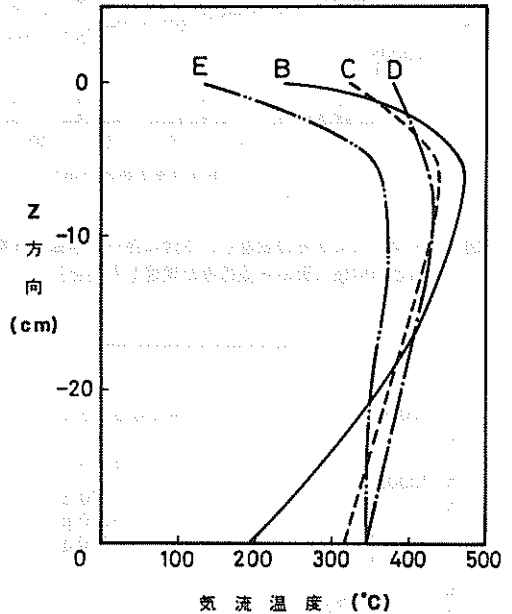


図9 B, C, D, E面における気流温度の垂直(z)方向分布(天ぷら油1ℓが燃焼した場合)

垂直分布があるので、各面での平均値を図積分によって求めた。これらの値を用いて、(3)~(7)式に基づいて気流に伴って移動する熱エネルギーを計算した結果を、天ぷら油のみを燃焼させた場合と、グリースに着火させた場合の各々について、図10及び図11に示した。

ダクト内通過距離に対する熱エネルギーの減少は、ほぼ直線的であり、気流の全エネルギーが高い程その減少率が大きくなっている。また、図10の y 切片は、燃焼している天ぷら油から気流に伴ってダクト内に流入する熱量を示している。一方、図11の y 切片は、グリースの燃焼熱も含んだ熱量である。これらの値と、天ぷら油あるいはグリースが完全燃焼した場合の値を表3に示す。

表3 火源から発生する熱量

天ぷら油(ℓ)	グリース(g)	完全燃焼時の発熱量(kcal/g)	気流が運ぶ熱量(kcal/g)	燃焼効率
1	0	8.36	3.69	0.65
2	0	16.7	5.15	0.46
3	0	25.1	7.57	0.45
4	0	33.4	9.91	0.44
2	100	17.8	5.19	0.45
2	200	18.8	5.70	0.45
2	300	19.8	6.79	0.51

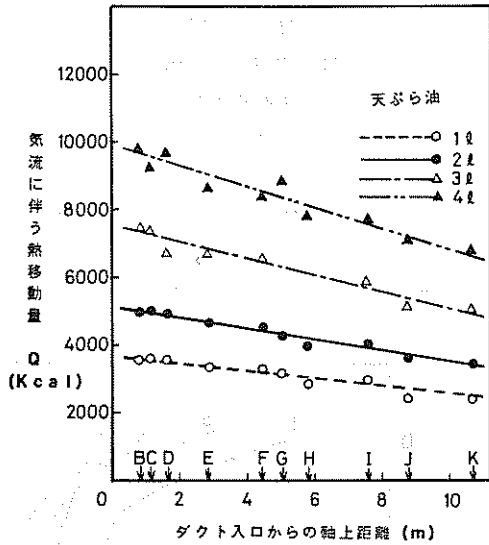


図10 ダクト入口からの距離と、気流に伴って移動する熱量との関係(天ぷら油のみが燃焼した場合)

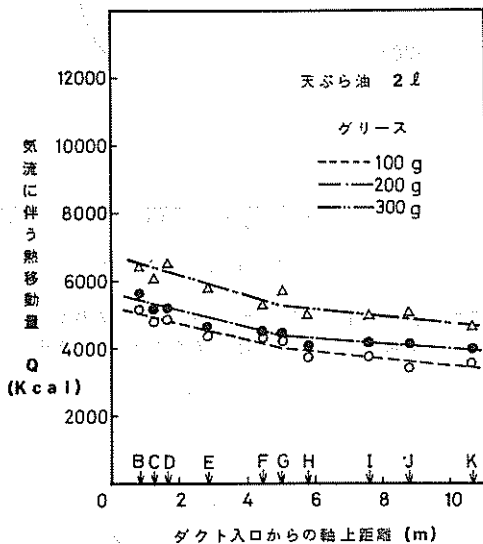


図11 ダクト入口からの距離と、気流に伴って移動する熱量との関係(天ぷら油及びダクト内のグリースが燃焼した場合)

Heselden (3)は、火源からトンネル内へ熱気流によって移動する熱量を65~70%と見積っており、この値によって計算した天ぷら油とグリースの燃焼効率を表3に示した。

今回の実験では、グリースは部分的に塗っただけの比較的少量であるため、1~2分間で燃焼してしまう。そのため、時間積分によって求めた熱量は、図11に示すように小さい

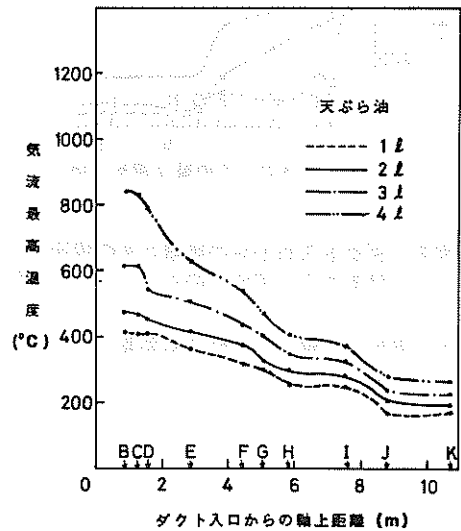


図12 ダクト入口からの距離と、気流最高温度との関係(天ぷら油のみが燃焼した場合)

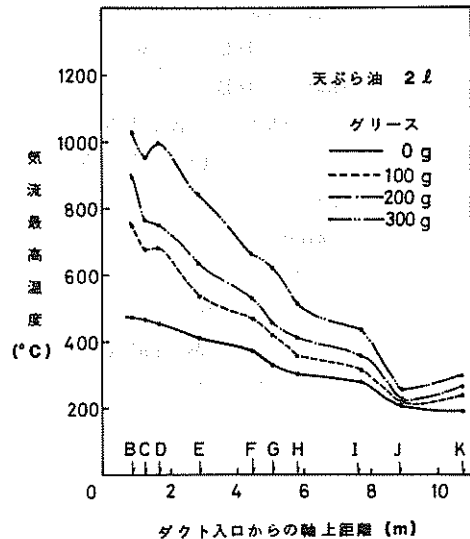


図13 ダクト入口からの距離と、気流最高温度との関係(天ぷら油及びダクト内のグリースが燃焼した場合)

が、気流最高温度は、図13に示すようにグリースの燃焼によって最高1000°Cにまで上昇し、図12に示したグリースの塗布なしの場合に比べて非常に危険度が高い。

(5) 気流から壁面への伝熱における平均局所熱伝達率の算出

気流の熱エネルギー減少は、ダクト周囲への熱移動を含めたダクト壁面への熱移動によるものである。これが(1)式における \dot{q}_w, out で、ニュートン冷却の法則から、

$$\dot{q}_w, out = hS(Tg - Tw) \dots\dots\dots(8)$$

と表される。

ここで、 h は熱伝達率 (kcal/m²・sec・deg) S は表面積 (m²)、 Tw は壁温 (°C) である。

(1), (2), (8)式から、位置 x における局所熱伝達率 $h^*(x)$ は、次式で表される。

$$h^*(x) = \frac{f'(x+\delta x) - f'(x)}{2\delta x(Y+Z)(Tg-Tw)} \dots\dots\dots(9)$$

燃焼が継続している t 秒間の、位置 x における平均局所熱伝達率 h^*m は、(9)式の分母、分子の各々 t について積分して求められる。

さらに、ダクト内壁面を、上面、底面、右側面、左側面の4面に分け、それぞれの壁温を Tw_1, Tw_2, Tw_3 , 及び Tw_4 として温度分布を考慮に入れると、

$$h^*m = \frac{\int \Delta \rho V C_p (Tg - T_\infty) dt}{\int \{\delta x Y (2Tg - Tw_1 - Tw_2) + \delta x Z (2Tg - Tw_3 - Tw_4)\} dt} \dots\dots\dots(10)$$

(10)式に基づき、位置 x において温度 100°C 以上を与える時間に関して、各実験値を代入して h^*m を求めた。その結果、各場所における h^*m は $2.6 \times 10^{-3} \sim 6.4 \times 10^{-2}$ kcal/m²・sec・deg と非常に変化しているが、これらの値は、流れている空気に対して一般に知られている値 $2.8 \times 10^{-3} \sim 7.0 \times 10^{-2}$ kcal/m²・sec・deg (4) と一致しており、妥当な値と思われる。

各場所における平均局所熱伝達率 h^*m を表4に示した。

(6) 局所スタントン数の算出

火源からの距離 x , 時間 t におけるダクト内の熱エネルギー収支は、Kennedy(5)によると、次式で表される。

ここで l はダクト断面の外周の長さ (m),

$$\frac{1}{V} \frac{\partial Tg}{\partial t} + \frac{\partial Tg}{\partial x} - \frac{h\ell}{uA\rho C_p} (Tg - Tw) = 0 \dots\dots\dots(11)$$

A はダクト断面積 (m²) である。

表4 平均局所熱伝達率 $h^*m (\times 10^{-3} \text{kcal/m}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{deg})$

位置	天ぷら油 グリース (g)						
	0	0	0	0	100	200	300
B	0.971	1.29	1.60	2.37	3.73	1.26	1.71
C	1.63	1.24	1.76	6.32	1.78	2.43	2.70
D	2.11	2.18	5.43	10.2	3.48	3.31	2.58
E	1.12	1.31	1.40	2.38	1.78	2.06	1.65
F	0.922	1.11	1.17	1.21	1.44	1.71	1.73
G(左側面)	4.48	4.58	1.65	5.18	4.95	3.03	4.73
G(右側面)	0.515	0.598	0.548	0.543	0.358	0.258	0.255
H(左側面)	3.93	1.41	4.00	5.73	0.650	0.640	0.525
H(右側面)	0.815	0.533	0.858	1.06	0.565	0.308	0.420
I	0.684	0.819	0.864	0.886	1.07	1.25	1.19
J	0.693	0.692	0.749	0.732	1.10	1.16	1.08

次に、流動における遅れ時間を考慮して、還元時間 $\tau = t - x/V$ を導入すると(11)式は、

$$uA\rho C_p \left(\frac{\partial Tg}{\partial x} \right)_\tau \delta x = h\ell \delta x (Tg - Tw) \dots\dots\dots(12)$$

と書き改められる。この式の左辺は、ダクト断面を通過する熱エネルギーの距離 δx に対する減少量、右辺は、幅 δx のダクト表面 ($S = \ell \delta x$) に気流から移動するエネルギーを示している。ここで(8)式を次のように変形すると、

$$\left(\frac{\partial Tg}{\partial x} \right)_\tau = \frac{\ell}{A} \frac{h}{u\rho C_p} (Tg - Tw) \dots\dots\dots(13)$$

ℓ/A は、ダクトの位置 x によって決まる定数である。また、 $h/u\rho C_p$ はスタントン (St) 数で、一様なダクトにおいて定常状態にある場合には保存されるが、(6),(7)この実験で用いたような、曲折部や管径変化のあるダクトに対しては、場所によって変化するので、ここでは局所スタントン数 (St^*) を、前節で求めた h^*m を(13)式に代入することによって求めた。各位置における St^* を表5に示した。

St^* はダクト表面 S に伝わる熱量とダクト断面 A を通過する熱量の比に対応した値であり、 St^* が大きい程、ダクト表面への熱移動の割合が大きいことを示している。従って、 St^* はダクト表面からの延焼危険度に関係した無次

表5 局所スタントン数 St^* $\times 10^{-2}$

天ぷら油 グリース 位置	$\times 10^{-2}$						
	1	2	3	4	2	2	2
B	1.90	2.50	3.08	4.51	7.13	2.41	3.29
C	3.18	2.40	3.39	12.1	3.42	4.69	5.21
D	4.12	4.29	10.5	19.5	6.68	6.39	4.97
E	2.20	2.55	2.72	4.59	3.45	4.09	3.21
F	1.28	1.23	1.29	1.33	1.58	1.89	1.91
G(左側面)	5.49	6.42	2.68	8.48	7.92	4.92	6.92
G(右側面)	3.10	3.54	3.75	3.60	2.61	1.91	1.77
H(左側面)	5.98	2.45	7.65	11.2	1.25	1.25	0.934
H(右側面)	2.73	1.98	3.40	4.44	2.32	1.28	1.63
I	2.13	2.54	2.67	2.73	3.31	3.88	3.70
J	2.07	2.06	2.22	2.16	3.27	3.45	3.21

元数であるが、見かけの値であることに注意する必要がある。つまり、等しい熱量が通過した場合にダクトの形状によって決まる相対的な延焼危険度を示している。

一般に、ダクト内の気流温度は、静的な火源に対しては、火源からの距離に伴い指数関数的に減少し、遠方ほど延焼危険は小さいが、火炎伝播によりダクト内可燃物が燃焼するような動的火源においては、ダクトからの延焼危険はダクト内可燃物の燃焼距離に対応して遠方まで及ぶことになる。その場合に、 St^* はその場所における潜在的延焼危険を示す。

実験によって得られた St^* は、C、D面のダクト周辺及びG、H面のダクト左側面において大きな値となり、これら曲折部分周辺の潜在的延焼危険が大きいことが判明した。

(7) 厨房ダクト火災における発煙量

空調ダクト火災と同様に、発生した煙がダクトを通じて思わぬ所から噴出し、避難行動や消火活動を妨げることも厨房ダクト火災の問題点の一つである。

ダクト内を通過する気流中の煙濃度は、減光率の測定から、次式によって求められる。

$$Cs = \frac{1}{\ell} \ln \frac{I_0}{I} \dots\dots\dots(14)$$

ここで、 ℓ は光路長(m)、 I_0 、 I はそれぞれ煙の発生のない時及び煙が発生している時の透過光強度である。この実験において得た煙濃度 Cs (減光係数)の最大値を天ぷら油の

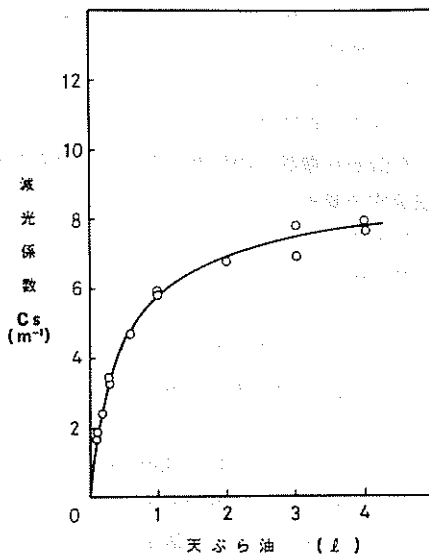


図14 天ぷら油の量と発生する煙の減光係数の関係

量に対して示すと、図14のとおりとなる。この図から煙の濃度としては、油1ℓ以上で大きな差はないことがわかる。

一方、発煙量は、ダクト内を通過する気流の体積速度 V と Cs の積を時間 t で積分することによって求められる。

$$V \cdot Cs = \int V i Cs i dt \dots\dots\dots(15)$$

あるいは、流速をほぼ一定と見なして、次式で近似的に求められる。

$$V \cdot Cs \approx V \sum_i Cs i \Delta t i \dots\dots\dots(15')$$

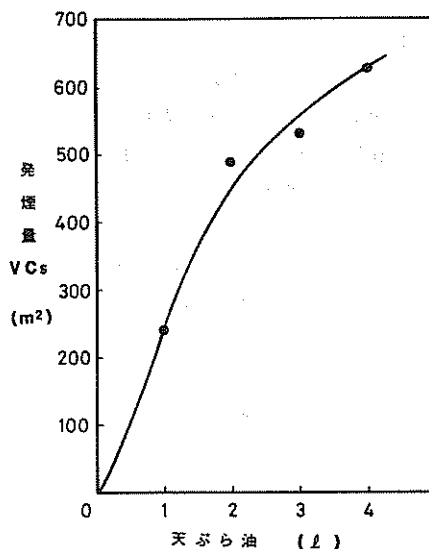


図15 天ぷら油の量と発煙量の関係

燃焼した油量と、(15)式によって求めた発煙量との関係を図15に示す。

4. おわりに

厨房ダクト火災の延焼危険の要因についてまとめると、

- (1) 天ぷら油の量が1ℓ以上の場合、燃焼速度は一定になるが、燃焼継続時間が油量にほぼ比例して長くなるため、ダクト各部の温度が対応して上昇する。
- (2) 天ぷら油の量が1ℓ以上の場合には、グリースフィルターを通過して炎がダクト内に入り、風速は3m/secから最大7m/secにまで増大するため、ダクト内に油塵等の可燃物が堆積している場合には、防火ダンパーが作動する前に火災伝播する危険があると思われる。
- (3) ダクト内の可燃物が着火した場合には、その周辺のダクトは直接炎にさらされるため非常に高温になり、延焼危険が高くなる。また気流最高温度は1000°Cにも達し、ダクト接合部の隙間やダクトに亀裂がある場合には、そこから高温の気流が吹き出し、延焼の原因となる。
- (4) 熱気流に伴って移動する熱量は、ダクト周囲への熱エネルギーの移動により、ダクト入口からの距離に対し、一次関数的に減少するが、火源が大きく熱量が高い程、その勾配が増し、ダクト表面への熱移動の割合が高くなる。
- (5) ダクトの形状の相違に基づくダクト周囲への潜在的な延焼危険度は、局所 Stanton 数によって評価でき、曲折部及びその延長部分の危険性が高く、特に、曲折部の外側は内側に比べて延焼危険が大きいことが判った。これらの結果は、壁温及び気流速度の観測結果から推定される延焼危険を裏づけるものである。
- (6) 天ぷら油の不完全燃焼によって発生した煙は、熱気流に伴ってダクト内を希釈されずに流動する。従って、ダクトが換気口等室内開口部に通じている場合には、開口部から濃煙熱気が噴き出す危険がある。

以上示してきたように、厨房ダクト火災は、天ぷら油などの最初の火源から、延焼媒体であり、

かつ、二次的な火源となる油塵等のダクト内可燃物に延焼した段階で、ダクト周囲への延焼危険のきわめて高い局面を迎える。従って、厨房ダクトは、近くに火気があることに加えて、ダクト内に油塵等が堆積しやすい点に、潜在的、かつ、本質的な火災危険があるといえる。

営業用で使用されている厨房ダクト内の油塵堆積状況について、一例を写真4に示す。実際、使用年数に応じて相当量の油塵が堆積していると推定されるが、統計的な値はまだ得られていない。しかし、過去の火災事例に関する調査の結果、厚さ1~2cm程度堆積していた場合が多く、なかには場所によって5cmも堆積していたという記録もある。

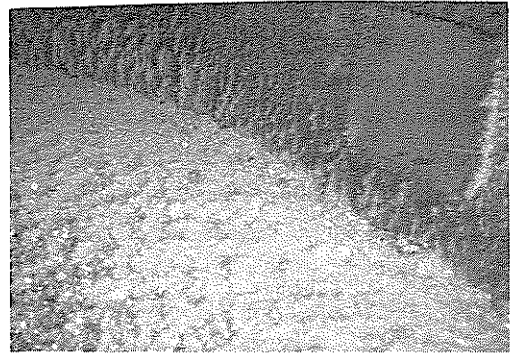


写真4 ダクト内の油塵堆積状況

今回実験で使用したグリースの量は、これらの事例から推定される油塵の量に比べてはるかに少なく、発熱量換算で $1/10$ 以下と考えられる。従って、実際の厨房ダクトの火災延焼危険は、この実験の結果以上に大きいと思われる。

営業用厨房ダクト内の油塵堆積状況の調査と、厨房ダクトの火災延焼危険を軽減する方策についても、今後の課題として取り上げ、研究を継続する予定である。

5. 参考文献

- (1) 半田隆, 浜田俊孝, 須川修身, 深谷博, 秋山忠, “実大廊下における火災気流の熱流動性状(I)” 日本火災学会論文集, Vol. 26, No.2, pp. 1-16, 1976.
- (2) C.K.Lee, R.F.Chainken and J.M.Singer; “Interaction Between Duct Fires and Ventilation Flow” Combustion Science and Technology, Vol. 20, pp. 59-72, 1979.