

火災周辺温度分布の研究 (第2報)

松 川 渉*
 未 吉 道 生**
 小 方 義 信**

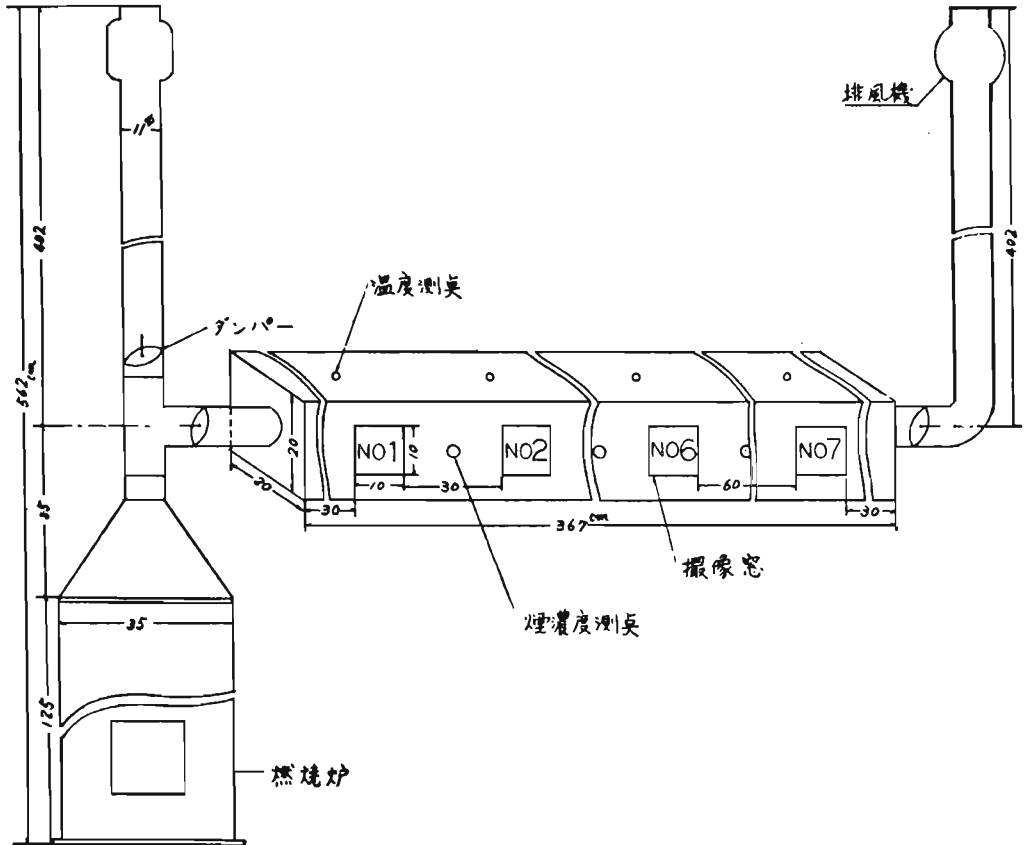
1. はじめに

赤外線撮像装置によって被写体温度を測定するには、被写体放射率に合わせて赤外線撮像装置の放射率補正を必要とするが、第1報(所報12号)の基礎実験の考察で述べたとおり、測温被写体が燃焼炎や燃焼生成ガス・熱気流の場合には、これら被写体の「赤外線撮像装置放射率補正值(被写体の放射率)」を解明しなければ赤外線撮像装置による温度測定は不可能であ

る。

本研究は、大火災等から発生する熱気流温度とその分布を研究することを目的とするため、今回は、①燃焼物質別の燃焼生成ガス(熱気流)の温度測定に必要な赤外線撮像装置・補正放射率の究明と、②煙濃度及び煙層長さが赤外線の減衰にどのように作用するかを究明するため、各種実験を実施したのでその結果を報告する。

第1図



* 研究所付 * 第一研究室

2. 実 験

(1) 燃焼生成ガス(熱気流)の放射率(赤外線撮像装置の補正放射率)測定実験

ア 実験装置

燃焼生成ガス及び煙を誘引するための装置で、第1図に示すとおり、燃焼炉の排気筒から分岐して水平煙道を取付け、さらに4m立ち上げ末端に排風機を設けた。

測定する誘引ガス温度は30°C~100°Cの範囲を確保するため、燃焼炉直上部、水平煙道入口及び出口にダンパーを付け、さらに水平煙道に赤外線撮像装置による温度測定用窓を7個(No.1~No.7)設けた。各窓はマイラーフィルムで密封し、同窓中央の煙道内部に別途に温度測点を設けた。煙濃度の測定は窓(No.1)と(No.2)、及び窓(No.6)と(No.7)の中間2箇所とした。

イ 実験方法

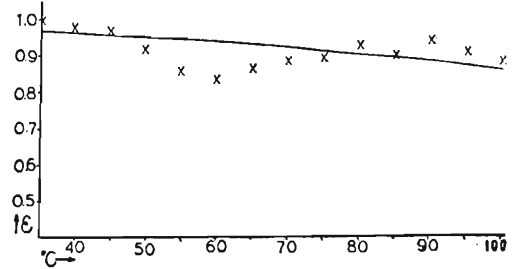
燃焼炉で木材、紙、畳、塩化ビニール、毛布、ウエス、麻袋、ガソリン等について、それぞれまたは同時に継続燃焼させながら、煙・ガスを水平煙道に誘引し、各窓の中央位置で熱電対温度計により真の温度を測定する。そして各窓を通過する煙・ガスの温度が、30°C~100°Cの範囲内のある一定温度を持続する窓を選んで、当該窓から赤外線撮像装置により温度測定

し、熱像図の温度解読値が、当該窓を通過する煙道内煙ガスの真の温度と一致する赤外線撮像装置の補正放射率を究明する。

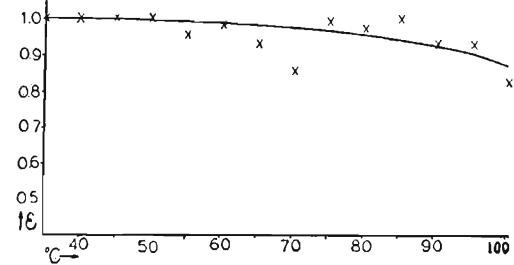
ウ 実験結果

各燃焼物別煙・ガスの赤外線撮像装置の各温度における補正放射率は第1表、第2~第12図に示すとおりであった。

第2図 木 材



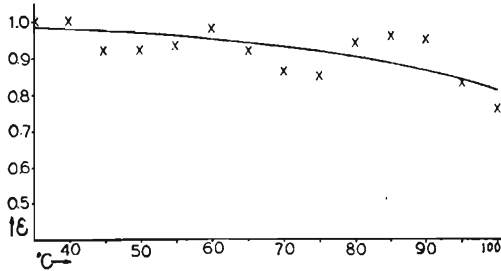
第3図 紙



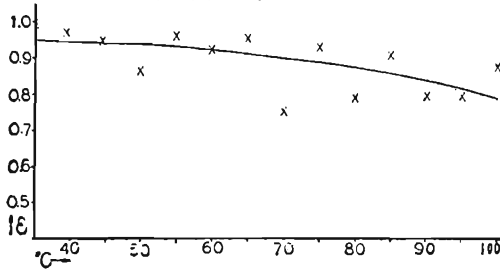
第 1 表

燃焼物 温 度	①木材	② 紙	③ 畳	④ビニ ー ル	⑤毛布	⑥ ウ エ ス	⑦ タ ル オ	⑧ 麻	⑨アル コ ール	⑩ガソ リ ン	⑪ 1, 2, 3 4, 5, 6, の 混在物
35	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.94	1.00
40	0.98	1.00	1.00	0.97	0.85	1.00	0.99	0.96	0.96	0.93	1.00
45	0.97	1.00	0.92	0.95	0.94	1.00	0.95	0.92	0.97	0.92	1.00
50	0.92	1.00	0.92	0.86	0.98	0.94	0.94	0.91	0.96	0.94	0.89
55	0.86	0.95	0.93	0.96	0.94	0.94	0.80	0.92	0.90	0.94	0.90
60	0.84	0.98	0.98	0.92	0.82	0.90	0.91	0.86	0.90	0.81	0.88
65	0.87	0.93	0.92	0.95	0.80	0.85	0.84	0.92	0.87	0.82	0.87
70	0.89	0.85	0.86	0.75	0.78	0.81	0.85	0.92	0.85	0.84	0.79
75	0.90	0.99	0.85	0.93	0.88	0.81	0.84	0.83	0.83	0.94	0.78
80	0.93	0.97	0.94	0.79	0.81	0.83	0.83	0.83	0.82	0.97	0.74
85	0.91	0.99	0.96	0.91	0.86	0.76	0.76	0.88	0.76	0.86	0.77
90	0.95	0.93	0.95	0.80	0.71	0.71	0.72	0.75	0.74	0.81	0.83
95	0.97	0.92	0.83	0.80	0.80	0.81	0.70	0.80	0.57	0.76	0.76
100	0.89	0.82	0.76	0.88	0.77	0.75	0.70	0.74	0.52	0.84	0.72

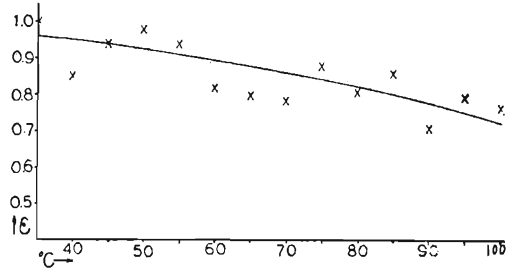
第4図 畳



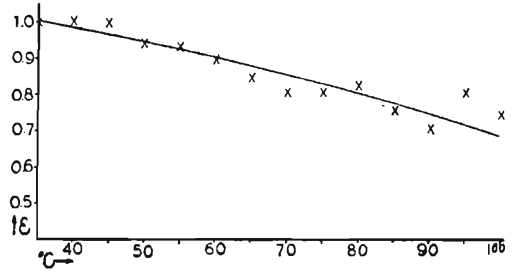
第5図 塩化ビニール



第6図 毛布



第7図 ウエス



ニ 考 察

第1表は、各燃焼物質別における各温度毎の赤外線撮像装置補正放射率（前イの方法によって、真の温度と赤外線撮像装置の熱像図解読温度が一致したときの当該装置放射率補正ダイアルの指示値）を示したものである。

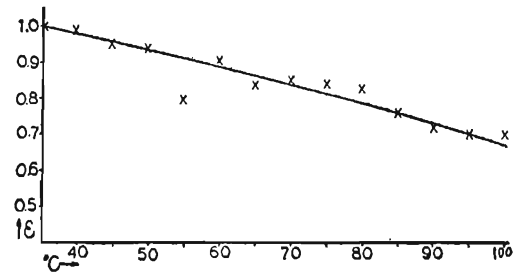
赤外線撮像装置は、被写体放射率に等しく赤外線撮像装置の放射率補正ダイアルを合わせることによって、はじめて熱像図の解読温度が真の被写体温度を示す機能を備えているものであるから、第1表の補正放射率は当該燃焼物質・ガスの当該温度における放射率とみなすことができるのであるが、しかし撮像装置個々の特性を考慮すると、第1表の数値は本実験で使用したCT-4B (No.740802)赤外線撮像装置の補正放射率とみるべきであろう。

実験で求めた補正放射率は7~8回程度測定した結果の平均値を示したものであるが、第1表及びグラフで見るとおり、各燃焼物質のいずれの煙・ガスも温度が高くなるほど補正放射率が漸減する傾向を示すが、ばらつきも見られる。本実験では多いものでは同一燃焼物の煙ガスについて20回以上測定したが、補正放射率はそれぞれ異なる値を示した。しかし同一物質の煙・ガスの同一温度における補正放射率の上限と下限の差は、最大0.2程度でほとんどの範囲内にとどまった。

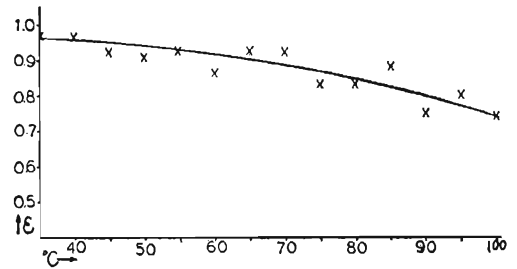
ここで、ばらつきの原因と考えられるものを列記すると

- (ア) 燃焼炉内への空気流入量が一定であり得ないこと。

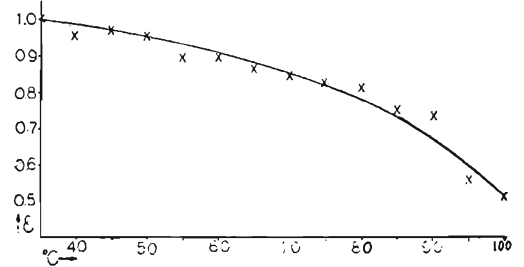
第8図 タオル



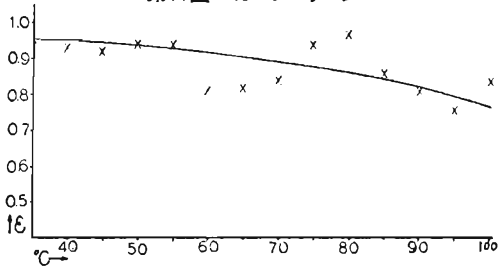
第9図 麻



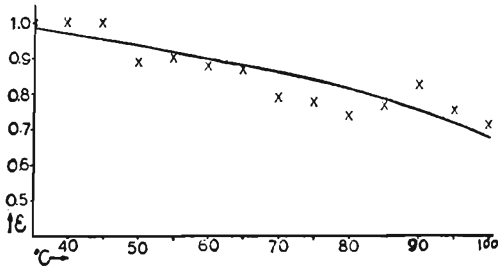
第10図 アルコール



第11図 ガソリン



第12図 混在物 (第1表①②③④⑤⑥)



- (イ) 燃焼炉内における同一燃焼状態があり得ないこと。
- (ウ) 前(イ)により燃焼生成ガス量及び発煙量等が変化する。
- (エ) 煙道を通過する煙・ガスが均一な状態で継続して移動することは考えられないこと。
- (オ) デジタル温度計による温度測定と、赤外線撮像

装置による温度測定には、最大1秒間程度の測定時間のずれがあること。

- (カ) 煙道の窓を密閉したマイラーフィルムの、水蒸気すす等附着によるくもりの相違
 - (キ) その他
- 等が考えられる。

煙・ガス等の放射は、 CO_2 、 H_2O 、 NH_3 、 CO 等高温のガス、すす・煙の微粒、及び炭粉等からの放射が総合されたもので決まると考えられるが、これらの発生量は前記(ウ)、(イ)、(ウ)、(エ)に掲げたとおり変化することが考えられるため、煙・ガスの赤外線撮像装置補正放射率も、測定時点毎に逐一変化することは当然予測できることである。実験では同時に煙濃度を測定したが、煙濃度と補正放射率との関連性は認められなかった。

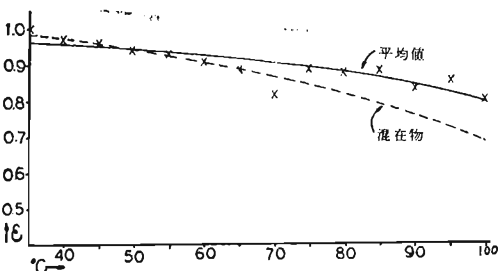
しかし、本実験は燃焼物個々のある燃焼状態における一瞬間の煙・ガスの補正放射率を求めることを目的とするのではなく、各種火災の熱気流温度とその分布範囲をつかむための、より普遍性の高い補正放射率を知ることを目的とするものである。

そこで第1表に示した各燃焼物のうち、建物等の構成物及び建物内に最も大量に収納されていると考えられる①木材、②紙類、③畳、④塩化ビニール、⑤毛布、⑥衣類について、それぞれの各温度における補正放射率の平均値(第2表)を基にグラフにすると第1図の通りである。

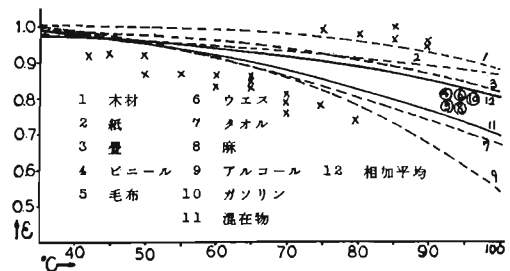
第2表 各燃焼物補正放射率平均値

温度 °C	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
補正放射率	1.00	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.82	0.89	0.88	0.89	0.84	0.86	0.81

第13図



第14図



次に、比較を容易にするため、第2～13図の類推補正放射率曲線の一つにまとめたのが第14図である。

グラフ図14で見るとおり、⑨のアルコールが80°C以上の温度において、補正放射率が大きく低下しているが、アルコールだけの火災は特異な火災として極めて限定されるので、80°C以上のアルコールの補正放射率

については一応ここでは無視して考察すると、補正放射率の最も大きいのは①の木材で、総体的に最も小さいのが⑦のタオル布地の燃焼煙・ガスである。この双方の補正放射率の差は温度が低い場合ほど小さく、温度が高くなるほど漸増するが、最大となる100°Cの場合で0.2(35°Cの場合0.02)程度である。

X印は第1表に示した各可燃物の補正放射率のうち、①と⑦のグラフに囲まれた範囲をはみ出しているものを各温度毎にプロットしたものである。木材、紙、畳、塩化ビニール、毛布及びウエスを同時に燃焼させた場合のグラフ⑪(第12図)は、それらを個々に燃焼させた場合の補正放射率の平均値を基にして描いたグラフ⑫と、ほぼ同じ曲線となることを予測したが、実際には補正放射率が最大0.1(100°Cの場合)の差を示した。

また、11種類の燃焼物質のうち補正放射率が⑫(平均値)より高い値を示すのは、①(木材)、②(紙)、及び③(畳)の3種類で、⑪(混合物)より低い値を示すのは⑦のタオル布地(アルコールは除く)だけである。それ以外の塩化ビニール、毛布、ウエス、麻袋及びガ

ソリンは、グラフ⑫とグラフ⑪に囲まれた範囲に含まれたので図示することは省略した。

オ 結論

第13図でも明らかとなり、どのような可燃物がどんな割合で燃焼するか全く予測のできない火災等の、熱気流分布を測定するための赤外線撮像装置の絶対的な補正放射率はありませんので、前述したとおりある程度の誤差を容認すれば、第13図⑫の平均補正放射率曲線が、実験各可燃物全体のはほぼ平均曲線を示しているが、もっとも補正放射率の高い①木材ともっとも低い⑦ウエスタオル及び50°C以下においては⑫の平均曲線(⑨アルコールは除外)に囲まれた範囲の中央が、より普遍性の高い補正放射率(第3表)と考えられる。

第3表

温度	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
補正放射率	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.88	0.86	0.83	0.81	0.77
概ね誤差 範囲(ε)	+	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
	-													0.1

なお第14図の類推補正放射率曲線は、第1表の測定補正放射率(総数168)をもとにしたものであるが、そのうちカーブ①以上及びカーブ⑦以下にはみ出したもの(X印23個)13%分については除外した。

(2) 煙濃度に対する赤外線減衰率測定実験

ア 実験装置

測温被写体と赤外線撮像装置の間に煙が介在する場合に被写体から放射される赤外線がどのように減衰するかを確認するため、第14図に示す実験装置を用いた。

集煙箱は煙濃度測定装置、発煙装置及び煙拡はん用ファン等を収納できる断面が80cm×80cm、長さが243cmの大きさとし、各面はアクリル樹脂(一部ベニヤ、スレート板)を用いた。

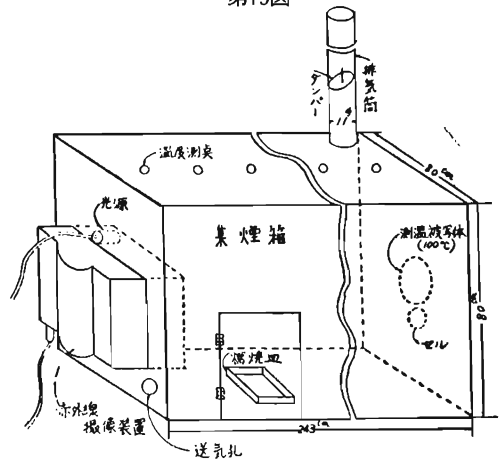
測温被写体は常時一定温度を必要とするため、赤外線撮像装置と相対する面の中央部をくり抜き、外側にアルミ容器を置き、実験中は沸騰できるようにした。

赤外線撮像装置の測定用窓は測温被写体に相対する撮像部の大きさにくり抜き、マイラーフィルムを取り付けた。

燃焼装置は集煙箱内床面に3箇所(300W電熱器)、煙を均一に充満させるための拡はん用ファン3個を交互に配列し、箱の上面片隅に排気口、その対角直近に送気口を設けた。また煙濃度測定装置は2箇所、温度測定点は箱内中央に3箇所設けた。

イ、実験方法

第15図



基準温度源となる被写体を沸騰させ、赤外線撮像装置によって温度を測定し、熱像図解読温度が正確に100°Cを示すことを確認後、集煙箱内においてオガくず等発煙物をくん焼させ、集煙箱内の煙層を均一に保つため逐次ファンによって煙を攪拌する。くん焼終了後もっとも煙濃度の高い時点から、赤外線撮像装置による温度測定を継続的に実施する。同時に排気口、空気流入口を開放し、煙を自然放出させながら煙濃度の変化を測定して、基準温度源から放射される赤外線の減衰回復状態を赤外線撮像装置の解読温度によって確認する。

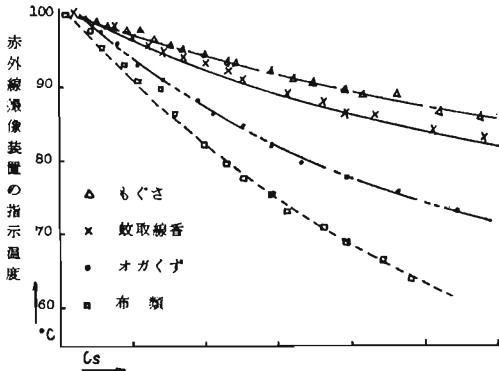
なお、発煙物はオガくず、布類、もぐさ、蚊取線香

を用いた。

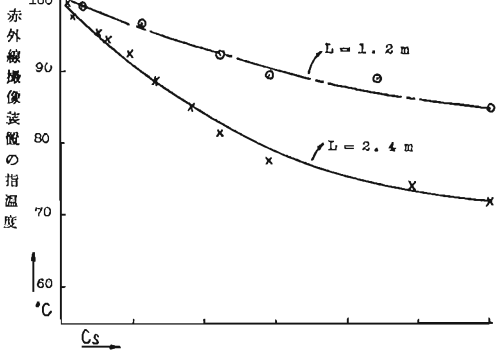
ウ 実験結果

実験の結果は第16, 17図に示すとおりであった。

第16図



第17図 発煙物質オガくず



第4表 発煙物質とガス濃度 (%)

生成ガス	CO	CO ₂
蚊取線香	0.28	0.85
もぐさ	0.19	0.84
おがくず	0.24	0.63
布類	0.33	0.60

エ 考察

第14図は、被写体と赤外線撮像装置の中間に煙が界在した場合の煙濃度に対する赤外線撮像装置の測定温度の低下する関係を示したもので、煙層の距離は2.4m (集煙箱の全長)である。いずれの発煙物質のくん焼煙についても、減光係数が増大するに従って赤外線撮像装置による測定温度も低下している。すなわち、基準温度 100°C の被写体から放射される赤外線が、煙層中において減衰することが明らかである。各発煙物質とも30gをくん焼させた。実験はそれぞれ数回ずつ実施したが、同一発煙物質を用い同一条件で実験しても

実験毎に減光係数に対する温度低下の傾向は若干の差を生じた。グラフは実験結果の一例を示したものである。

グラフで見るとおり、同一の実験においては減光係数に対する温度低下の割合は、ほとんどばらつきがなくなだらかな曲線を示した。

今回の実験では発煙物質は4種類であったが、発煙物質の種類によって赤外線の減衰に差異のあることを確認した。

集煙箱内のくん焼は、いずれも約20分間で終了したが、第4表は各発煙物質のくん焼後におけるCO、CO₂の最高値を示したものである。第4表で見るとおり各発煙物質のCO及びCO₂濃度には大きな変化がみられないため、発煙物質の相違による赤外線減衰率の差は、生成水蒸気及び煙の粒子径による影響が大きいと考えられる。

第17図は被写体と赤外線撮像装置との距離、すなわち煙層距離が2.4mの場合と、その2分の1(1.2m)の場合の温度低下の状態を示したものである。

本実験煙層距離の異なる実験は、集煙箱内に取付ける基準温度被写体装置の作成及び時間的制約等により、1回のみ結果であるが、煙層距離1.2mの場合の赤外線撮像装置でとらえた降下温度は、煙層距離2.4mの場合の各減光係数に対する降下温度のほぼ正確な2分の1の値を示した。

3. おわりに

燃焼生成ガスの「赤外線撮像装置補正放射率」の測定において、測定生成ガス温度を35°C~100°Cの範囲内に限定したのは、本研究が大震災火災等において、人体に危険を及ぼす最低温度の熱気流拡散範囲を知ることが目的とするため、人体が長時間耐えられる限界温度を目安にしたものである。また、火災燃焼の対象には、もろもろの物質が存在するのに対して、本実験で使用した燃焼物は火災等でもっとも大量に燃焼すると思われるもの及び実験材料として入手可能であったもの、10種類について実験した結果の結論であるが、10種類の補正放射率がいずれもほぼ同様の傾向を示していることから、それぞれの温度に対して第3表の補正放射率を用いれば同表の誤差範囲(補正放射率)内で、温度測定が可能と考える。

なお、煙・ガス被写体の真の補正放射率に対して、±0.1の補正放射率で温度測定した場合の測定温度の誤差範囲は、100°C以下の被写体については9%以下である(第1報第7表より)。従って、ある測定すべき任意の煙・ガスの温度帯域(100°C以下の場合)を測定する場合は、第3表の赤外線撮像装置補正放射率を

用いることによって、最大9%（温度が低い場合ほど補正放射率誤差範囲は小さくなるので、測温誤差も小さくなる。例：40°Cの場合の誤差は±1°C）程度の誤差範囲で測定が可能であると思われる。

煙濃度と煙層に対する赤外線減衰については、今

回は基礎的一部の実験を実施したに過ぎないので、今後より多くの発煙物質を用い、さらに燃焼生成ガス個々、及び混合した状態等もろもろの場合について継続研究が必要であると考えます。