

火源探知器(スペクトラム比較方式)について(第2報)

河 合 道 夫*

1. はじめに

昭和54年度の研究として、試作開発した火源探知器(スペクトラム比較方式)の煙中における火源探知能力試験を行い、ここに、その結果を得たので報告する。

2. 試験の目的

本試験は、次の3項目について試験を行い、試作火源探知器の総合的な性能の把握と、必要な改善を行うために実施した。

- (1) 視野感度特性試験
- (2) 警報音持続時間の測定試験
- (3) 煙中探知能力確認試験

3. 試験及び試験方法

(1) 視野感度特性試験

ア 試験概要

本火源探知器は、サーモカメラや当庁で使用されている赤外線直視装置(プローブアイ)が自動的に探査(スキャン)を行っているのとは異なり、探知を行おうとする範囲を手動によりスキャンしなければならない。ここで問題となるのは、探知器の視野の広さと視野内の感度である。視野を狭くすると分解能が良くなる反面、感度が低下する。反対に視野を広くすると分解能が悪くなる反面、感度が良くなる。火源探知器として求められる性能には、操作の簡便さ、正確な火源方向の探知があるが、これらは互に相反するものである。なぜなら、より正確な火源の方向を求めようと視野を狭くすれば、手動によるスキャンの回数が増加し、また、手ぶれ等による掃き残しがあったり、感度の低下

により操作が容易でなくなる。一方、操作性を追求すると視野を広げ、スキャンの回数が減り、掃き残しが少なくなるが、極小火源については、方向性があいまいになる。それでは視野をどの程度にしたらよいかという問題になると、火源探知後に、その方向へ消火注水するため、注水が有効となる放水展開角度で方向が探知できればよいことになる。本器では、消火注水が一般に何度で行われているか調べていないが、仮に10mの地点で60cmとして、これに相当する視野を決定した。次に視野内の感度特性については、放射エネルギー量を測定する一般的な火源探知器では視野内の感度が一定である必要があるが、スペクトラム比較方式を採用した本器においては、その基本原理が3.8 μ 成分と4.4 μ 成分の出力比(研究所報第16号P35の⑤式参照)により行われているため、さらに、この2つの波長成分の検知感度のバランスが保たれている必要がある。このバランスが崩れた場合、正しい測定が行えなくなる。本試験は前記内容に基き、視野及び視野内の3.8 μ 成分と4.4 μ 成分の視野感度特性試験を行った。

イ 試験方法

- (ア) 基準黒体炉から70cm離れた位置にセンサー部を水平にセットし両者を互いに正確に正対させた。
- (イ) 基準黒体炉の温度を最大設定温度の300 $^{\circ}$ Cにセットした。
- (ウ) センサー部の3.8 μ 成分と4.4 μ 成分の各出力をデジタルボルトメータの入力に持続した。
- (エ) 基準黒体炉の位置をセンサーを中心に左右0.5 $^{\circ}$ ずつ4 $^{\circ}$ まで移動し、各波長成分の出力を測定した。

* 赤羽消防署

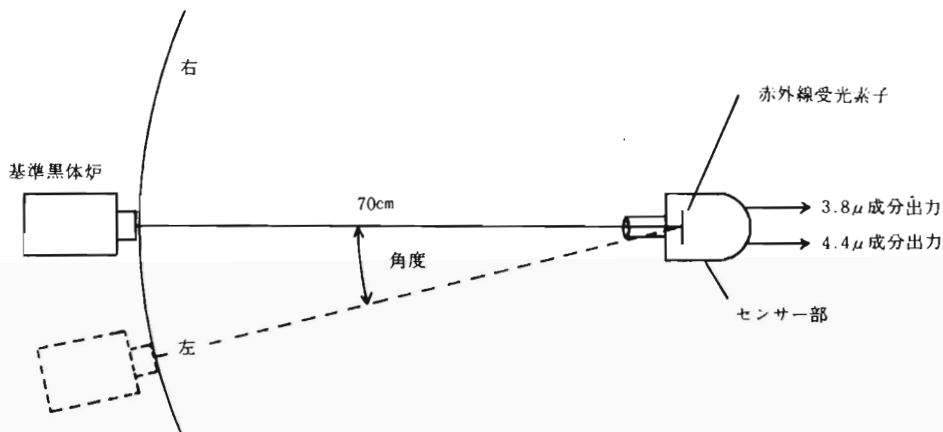


図1 視野感度特性試験図

(2) 警報音持続時間の測定実験

ア 試験概要

本火源探知器は各波長成分の検出感度のバラツキをなくすために単一の赤外線受光素子を用いて差動アンプによる減算処理により3.8μ成分と4.4μ成分出力に分離している。この減算回路にはサンプリングにおける脈流の整流及び内部雑音等のノイズからの誤動作を少なくして安定な検出ができるように自己保持性をもたせている。このため検知時に警報音が持続する。本試験は上記理由による警報音の持続時間を測定するため行ったものである。

イ 試験方法

タバコの火、ガスライターの炎等を火源探知

器により検知し、安定を期するため5秒間これを続け火源を取り去って警報音持続時間を計測した。

(3) 煙中探知能力確認試験

ア 試験概要

火源探知器は、本来の使用目的が煙中における火源の探知であり、この煙中での探知能力が最も重要な性能となる。本実験は、本火源探知器の2つの機能、つまり高温物体検出機能、炎検出機能が理論上ではなく、実用上使用可能かを確認するため行ったもので、実際に多用されている建築材料等を使用し、火源探知器の煙に対する探知能力と目視距離との比較試験を行った。

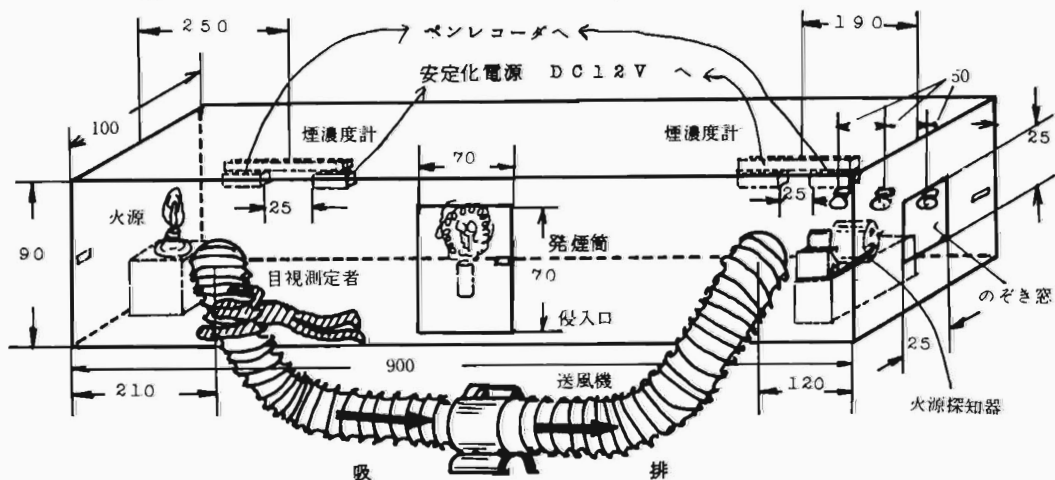


図2 煙中探知能力試験装置図(単位cm)

イ 試験装置の説明

試験に使用した煙室の概要は図2のとおりである。煙室の大きさは設置場所(研究所3階陸屋根上)の関係と入手できた材料により決めた。煙濃度計の設置位置には、高さを煙室の中心に設置するのが望ましいが設置しやすさと、実験作業のしやすさを考えて天井面に設置した。この場合内部の煙が攪拌されないと上部天井部分の煙濃度が高くなるため送風機により煙を循環させ、さらに正確に測定するため煙濃度計を2台設置した。循環用ダクトの穴は火源の安定燃焼のため火源から離れた。煙濃度の補助的な目安として、のぞき窓から50cm間隔で20Wシリカ電球を5個設置した。実験用煙源としてケムゲン及び色付発煙筒を使用した。木材、プラスチック等の煙源は、燃焼炉を必要とするので今回は使用しない。

ウ 試験方法

- (ア) ベンレコーダーを紙送りストップの位置にして0調整を行い煙濃度計用の安定化電源のスイッチを入れDC12Vに調整する。
- (イ) 火源探知器の光軸を火源に一致させ電源スイッチを入れる。
- (ロ) 煙発生扉からパイプ付面体を着装し煙室へ入り火源に点火する。

- (エ) 送風機のスイッチを入れ、ベンレコーダーの紙送りをスタートする。
- (オ) 補助者が発煙筒を点火し煙室中心に設置して扉を閉める。
- (カ) 火源が目視できる位置で火源探知器に対して赤外線をささげないように伏せ検出音を聞く。
- (キ) 検出音が止ったら、その時の目視限界位置に印を付ける。外部の補助者はベンレコーダーのチャート紙上に検出音停止と記す。
- (ク) 煙が薄まり再び検出音が聞えたら外部の補助者はチャート紙上に検出音開始と記す。
- (ケ) 試験終了後、送風ダクトを送風ファンからはずし排気を行う。各機器のスイッチを切り火源を消火し、煙濃度計のレンズをふく。

エ 試験用測定器

ベンレコーダー

日立 MODEL 056-3001 No 11251

安定化電源

菊水 PAB 18-3 No 1590372

目視距離用電球

東芝 100V 20W シリカ電球

煙濃度計

モリリカ A-1 (45φ) セレン光電池

使用レンズ 集光平行線型 間隔25cm

電球12V 12W 自動車用電球

表1 試験試料

火源種別	試料名	試料No	形状, 形態
有炎火源	杉	1	角材3×3cm口×5cm長の燃焼炎
	ろうそく	2	30φ洋ろう4~6cmの燃焼炎
	ナイロン66	3	85φ高2cmの缶にペレットを100g入れバーナーで熱した燃焼炎
	ポリエチレン	4	55φ高さ2cmの缶にペレット100g入れバーナーで熱した燃焼炎
	塩化ビニール	5	ポリエチレンに同じ
	白灯油	6	アルコールランプ使用5~10cmの燃焼炎
	白灯油	7	ストーブ用芯使用4cm芯を出した場合の炎
	アルコール	8	アルコールランプ使用6cmの燃焼炎
	東京ガス	9	ブンゼンバーナー10cmの炎
	ガソリン	10	試験管芯付 10cmの炎
	ゴム	11	55φ高さ2cmの缶にペレット100g入れバーナーで熱した燃焼炎
無炎高温火源	ガスのストーブ	01	赤外線ガスのストーブ
	電気コンロ	02	600W たて置

注1. 試料No.3, 4, 5, 11, の燃焼には炎を覆ったブンゼンバーナーを用いた。

4 試験結果及び考察

(1) 視野感度特性試験

ア 試験結果

表2 a, bは3.8 μ 成分と4.4 μ 成分の視角に対する感度を示したものである。表2 cは3.8 μ 成分と4.4 μ 成分の出力比を示したものである。図3は表2 a～cの内容をグラフにしたものである。図3からわかるように、本火源探知器の試験結果

試験結果は表2 a～表2 cの様になった。

表2 a 4.4 μ 成分出力 / at300°C

角度°	Right	Left
0	154 (mv)	
0.5	142	162
1.0	145	153
1.5	145	125
2.0	136	76
2.5	130	37
3.0	60	28
3.5	34	25
4.0	32	23

表2 b 3.8 μ 成分出力 / at300°C

角度°	Right	Left
0	140 (mv)	
0.5	135	140
1.0	125	130
1.5	120	100
2.0	117	54
2.5	100	25
3.0	45	19
3.5	25	18
4.0	20	10

表2 c $\frac{3.8\mu\text{成分出力}}{4.4\mu\text{成分出力}}$ 比 / at300°C

角度°	Right	Left
0	0.950	
0.5	0.950	0.864
1.0	0.826	0.849
1.5	0.827	0.800
2.0	0.860	0.710
2.5	0.769	0.675
3.0	0.750	0.678
3.5	0.735	0.720
4.0	0.625	0.695

注2

300°Cにおける

$\frac{3.8\mu\text{成分出力}}{4.4\mu\text{成分出力}}$ 比の

理論値は

0.8438である。

イ 考察

前記のように光軸を中心とする角度に対する感度のむらは大きく、その理由として次の3点の理由が考えられる。

- (ア) 集光ミラー一面のムラ、工作精度の影響、取付精度の影響
 - (イ) 波長選択フィルターの位置、傾き、透過特性のムラ
 - (ウ) 赤外線受光素子の受光部の波長特性ムラ
- ここで(ア)～(ウ)に対し試験結果から考察すると、まず、視野と光軸の関係が対称性を示さないの

は3.8 μ 成分と4.4 μ 成分各出力に共通なものであり(ア)の理由によると思われる。2成分出力比が一定でないのは、視野角度位置の違いによる各波長成分の感度のムラがあるためで、(イ)(ウ)の理由と思われる。(ア)については光学系がミラーであるから波長による影響はない。

本器の波長及び視野角度による感度ムラが及ぼす検出温度の誤差は視野を左2°から右3°の5°に限定すれば2成分出力比は約0.75～0.95の値を取りこの値を使って導き出した温度は約250°C～400°Cとなり真の温度に対して約150°Cの温度誤差

が生じることになる。このことは単に高温物体の探知を目的とするだけなら大きな障害とはならないが、温度計としての目的には、この感度

ムラをさらに減少させる必要がある。炎の探知については、2成分出力比が0.3以下であり、この程度の誤差は問題にならない。

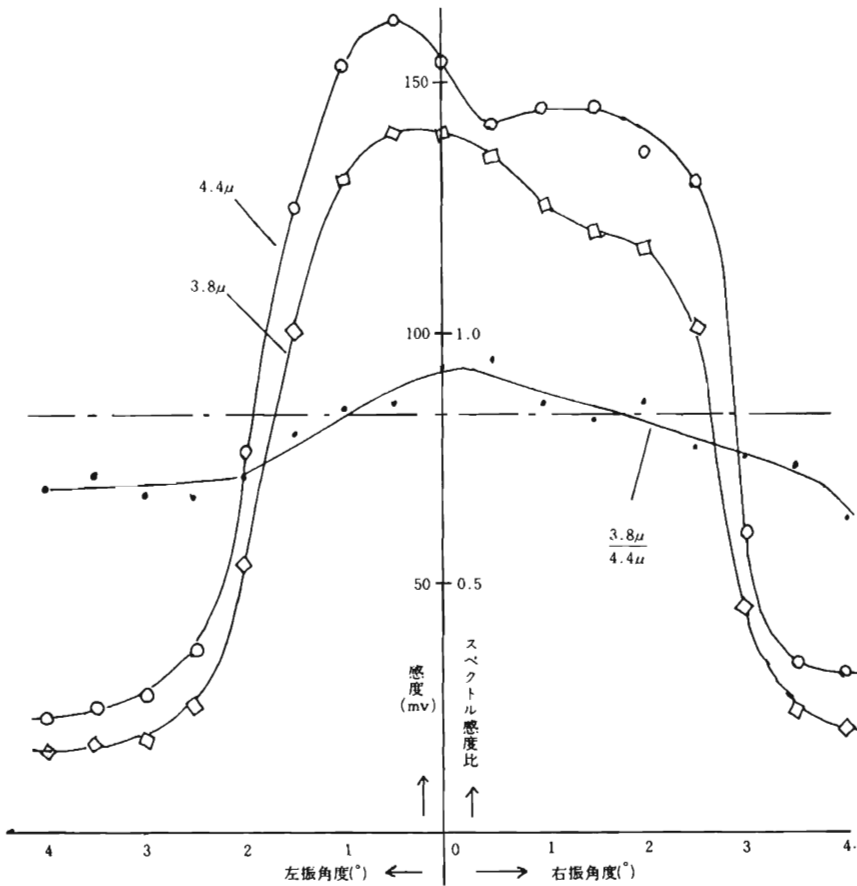


図3 視野感度特性

(2) 警報音持続時間の測定試験

ア 試験結果

表3 a タバコの火(高温物体)
5秒間検出後

角度	距離	0.5 m	1 m
中心		3 (s)	3
1°		3	3
2°		2	2
3°		1	1

表3 b 電気コンロ600W(高温物体)
5秒間検出後

角度	距離	1 m
中心		9 (s)
1°		9
2°		9
3°		9

表3 c ガスライター3 cmの炎
5秒間検出後

角度	距離	0.5 m	1 m
中心		9 (s)	5
1°		9	5
2°		9	5
3°		9	5

表3 d ガスコンロ
5秒間検出後

角度	距離	1 m
中心		9 (s)
1°		9
2°		9
3°		9

イ 考 察

表3a~3dからわかるように、各種火源の検出時の警報音最大持続時間は9秒である。0.5mより近づけても同様である。これは本火源探知器の回路図を見ればわかるように、減算回路中の積分回路のコンデンサが完全に充電され火源が取り去られたとき再放電され2成分出力比が探知の限界値（内部雑音に近い値）になるまで4.4 μ 成分、3.8 μ 成分の各成分の比が一定に保たれ警報音が発せられる訳で、火源が小さければ放

電時間が短くなり、警報音持続時間が短くなり、反対に、火源が大きくなれば長くなるが、しかし火源の温度がさらに高くなったり大きくなっても入力が飽和することにより最後には一定なる。本器の警報音持続時間の9秒間は実用としては長めであり、早く火源をスキャンする場合には火源の探知方向が、あいまいになりやすい。しかし、この警報音持続時間は、前記積分回路の時定数を小さくすれば減少させることができる

(3) 煙中探知能力確認試験

ア 試験結果

表4 試験結果

火源・火源探知間距離8m 煙・ケムゲン(発煙筒)

被測定試料名	試料No.	最低検知濃度	目 視 距 離	参 考
杉	1	(cs)>14.2	27 (cm)	火源上部より煙を吸込 70cm以後真暗
ろうそく	2	6.3	58	
〃	2	6.37	62	
〃	2	6.73	55	
〃	2	3.7		
ナイロン	3	>12.3	10	
ポリエチレン	4	> 8	70	
塩化ビニル	5	>11	35	
白灯油	6	>15	30	
〃	7	>10.4	30	
アルコール	8	>12.4	36	
東京ガス	9	>10	42	検知不能
ガソリン	10	> 4.5	50	
ゴム	11			
ガストーブ	01	0.4	210	
〃	01	0.39		
電気コンロ	02	1.15	140	
〃	02	1.03	150	

(ア) 有炎燃焼する物体は、ゴムを除いて目視距離数10cmの煙濃度で火源からの距離8m離れた位置で探知可能であった。

(イ) ゴムの燃焼は大粒子の煤煙を伴う燃焼なので探知不能であった。しかし、空気を送り燃焼を良くすると探知可能となった。

(ウ) 高温物体の探知は理論どおり煙中では検出しにくく目視距離の4倍程度の探知能力しかなかった。

イ 考 察

有炎火源については、目視距離が50~60cmの

濃煙中において火源から8m離れた位置から火源探知が可能であった。この煙濃度は自分の足元もわからない程のものである。探知できる室の広さは、学校の教室程度である。

同じく、有炎火源でも、ゴム類の燃焼炎のように大量の大粒のススを発生する炎の場合は、酸素の供給不足により、燃焼温度が十分に上昇せず、CO₂共鳴放射が十分に行なわれないため炎の検出ができなくなるものと思われる。また、燃焼温度が低いため高温物体としての検出もしにくくなる。しかし、このような煤煙を含んだ

黒煙が発生する火災での火源は、従来の方式の火源探知器も探知不能であり、また、煙のうすいとき、黒煙が発生すれば火源の位置はかえって発見しやすいと思われる。次に高温物体の検出であるが、このことについては、研究所報第16号で説明したように高温物体の場合、各波長成分出力の値が大きく違わないので検出しにくいのである。この高温物体の検出は、消防活動にとっては炎の検出に比べると重要性は低いが、十分は検知性能を必要とするならば、検出スペクトルが 4.4μ より大きく離れた $2\sim 3\mu$ あたりの波長成分をさらに検出し、マイコン等で処理することにより高温物体の高精度な検出も可能と思われる。

5 おわりに

本試験を通じて、本火源探知器は、有炎火源に対して、単に周囲の物体との温度比較ではなく、正確に火源を判別できることが立証された。反面、

炎を伴わない高温物体に対しては検知性能が低いこともわかった。この高温物体という火源は、実際の火災においては、くん焼火源、赤熱金属、化学物質の燃焼が考えられるが、これら高温物体に対しては、検知性能が低いため、従来の方式を用いた方が有効であると思われる。以上のように本火源探知器に用いたスペクトラム比較方式と従来の方式は共に、一長一短があり、本火源探知器を直ちに実用化するのには難しい。このスペクトラム比較方式は、現在では、特殊なものではなく、既に、2、3社からこの方式を応用した小型の輻射温度計が市販されており、この方式を利用する場合は、これらの製品を消防用に改造して使用するのがよいと思われる。また、本方式の不利な高温物体の検出の欠点を補うために、入射エネルギー量そのものの大小により温度測定を行なう従来の方式と複合させた、より正確な火源探知器を製作するのがよいと思われる。