

# 煙中の人体検索機器及び火源探知機器に関する研究

—Study of the Body Scanner and the Heat Scanner—

平 沢 正 己\*  
 武 田 松 男\*  
 大神田 郁 夫\*\*

## 概 要

赤外線・紫外線センサー、赤外線映像装置を用いて、煙中における人命検索及び火源探知を行い、その利用の可能性及び活用性について検討を行った。

実験結果の概要は次のとおりである。

1. 赤外線・紫外線センサーは、目視で人を確認できる程度の煙中でさえ人体や炎を検出できず、検索機器への利用は困難であった。
2. 赤外線映像装置は、火災室内の燃焼状況を明瞭な画像としてとらえることができ、消防活動に対し有効な活用が可能である。

Looking for the trapped persons and the seat of fire is indispensable for fire fighting.

Infrared and ultraviolet sensors and infrared reflectors were tested to detect the human body and the seat of fire in the smoke.

The results were as follows.

1. Infrared and ultraviolet sensors could detect neither the human body nor the flame in the smoke where man could manage to see them.
2. The infrared reflector could show the clear image of flame and could be used heat scanner at the fire scene.

## 1 はじめに

火災現場で活動する消防隊員にとっての大きな障害として濃煙中での人命検索、火点及び燃焼状況の確認が掲げられ、大規模な耐火建築物、地下施設内の火災時には、煙対策上極めて重要である。

当庁においても、煙の中を透過するため、赤外線を使用した映像装置を特別救助隊などに配置し活用している状況であるが、高価なため配置には多くの予算を必要とする。

そこで、一般に市販されている安価なセンサー（赤外線センサー、紫外線センサー）を活用して、煙中での人体検索、火源探知の機器として利用できるかその可能性を探る実験を行った。また、赤外線を使用した映像装置による効果的な活用方策について研究を行った。

## 2 センサー

### (1) 波長の選択

検出素子の波長の選択は、プランクの放射則により

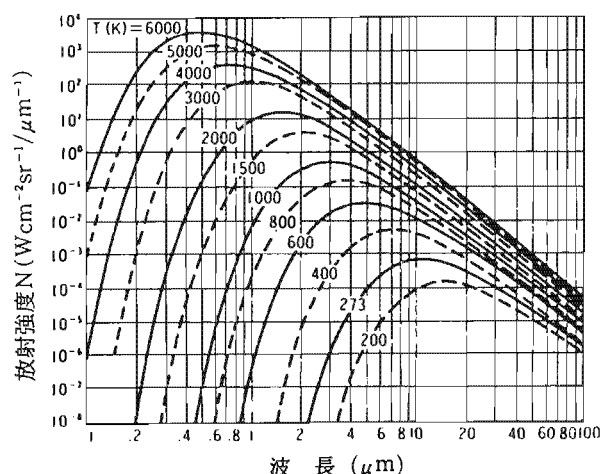


図1 プランクの放射則

\*第一研究室 \*\*北多摩西部消防署

選択した。

プランクの放射則を図1に示す。

物体の温度が高くなるほど最大放射強度の波長域が、短波長の方へ、温度が低くなると長波長へ移動するため、火源探知は、波長3~5 $\mu\text{m}$ の素子を選択した。

人体検索は、プランクの放射則及び人体から放射される赤外線は、約10 $\mu\text{m}$ をピークとして放出しているため、波長8~14 $\mu\text{m}$ の素子を選択した。

(2) 人体検索機器

人体検出は、赤外線センサー及び赤外線映像装置を使用した。

この諸元性能を表1に示す。

表1 諸元性能

検出素子	検知波長領域	最小検出温度差	素子冷却	
赤外線センサー	焦電型	7~14 $\mu\text{m}$	$\pm 3^{\circ}\text{C}$	なし
赤外線映像装置	HgCdTe	8~13.0 $\mu\text{m}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$	液体窒素
	焦電型ビジコン	8~14.0 $\mu\text{m}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	なし

赤外線センサーは、現在、量産され安価であり、波長7~14 $\mu\text{m}$ の赤外線を検出するセンサーであり、用途として自動ドア、自動玄関灯などの人センサーとして活用されている。(写真1参照)

(3) 火源探索機器

火源探知は、紫外線センサ(炎センサー)及び赤外線映像装置を使用した。

紫外線センサーは、現在、量産され安価であり、波長260nm以下の紫外線を検出するセンサーであり、用途としてバーナーの燃焼監視装置などに使用されている。(写真2参照)

この諸元性能を表2に示す。

表2 諸元性能

検出素子	検知波長領域	最小検出温度差	素子冷却	
紫外線センサー	UVtron	185~260nm	なし	
赤外線映像装置	InSb	3~5.4 $\mu\text{m}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$	アルゴンガス
	IRCSD	3~5.0 $\mu\text{m}$	0.15 $^{\circ}\text{C}$	スターリングサイクルクーラ

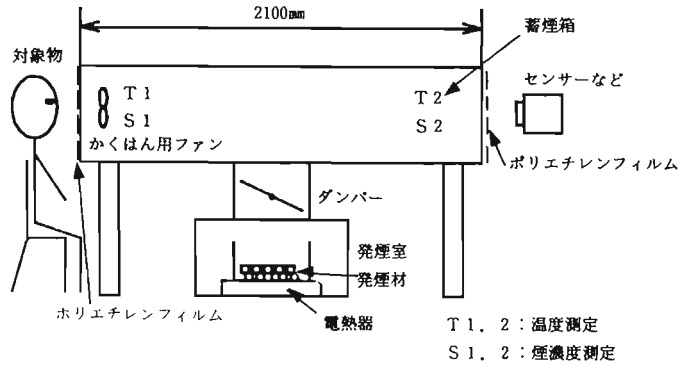


図2 実験装置

3 実験装置の概要

図2に実験装置を示す。蓄煙箱は、アルミニウム製(径350mm、長さ2100mm)で、箱内部に煙濃度計2台(光路長30cm)、煙の温度測定用に熱電対(K線、直径0.65mm)2点、煙のかくはん用ファン1台を設けた。

窓材は、赤外線の感度波長範囲に対する窓材による影響(電磁波の吸収)を考慮し、赤外線の透過性の高い、赤外線センサーのレンズとして使用されている素材と同一のポリエチレンフィルムを使用した。

発煙材は、火災のときの煙は、主に木材の燃焼に伴う煙であるため杉材(20mm $\times$ 20mm $\times$ 10mm)チップを使用した。

発煙室には、加熱用電熱器(最大600W)を設け、電熱器に発煙材を入れた鋼製かんを乗せ、加熱、燻焼させた。

温度、煙濃度、センサーの出力はパーソナルコンピューター(NEC PC9801)、データロガー(TEAC DL9060)で集録し、赤外線映像装置の画像出力をビデオテープレコーダーにより記録した。

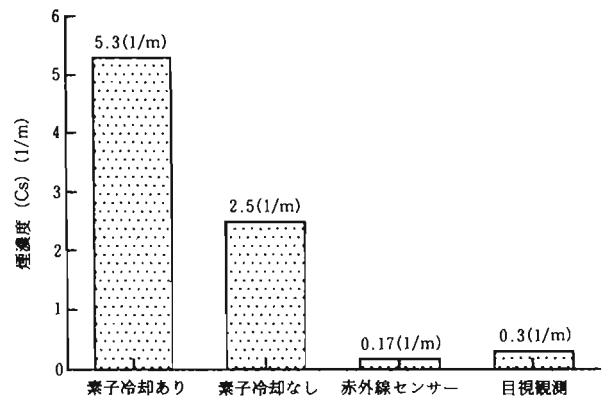


図3 人体検索結果

表3 実験結果

		赤外線センサー (焦電型)	紫外線センサー (UVtron)	赤外線映像装置 (3~5μm)	赤外線映像装置 (8~14μm)	
					素子冷却機構あり	素子冷却機構なし
人体検出	煙層内透過	0.17(1/m)			5.3(1/m)	2.5(1/m)
火源探知	煙層内透過		0.05(1/m) この時、目視 で炎を確認	15(1/m)以上		

4 実験結果

煙濃度は、減光係数 $C_s$ 値 (1/m) で示す。

実験結果を表3に示す。

(1) 人体検出について

煙層の厚さ2.1mにおける人体検出結果を図3に示す。

ア 赤外線センサー

煙のない状況下での検出限界距離は約7mであったが、煙層内の透過は、 $C_s=0.17(1/m)$ で、人体からの赤外線を検出できなかった。

なお、目視観測では、 $C_s=0.2\sim0.3(1/m)$ で、人の顔として確認することは困難であった。

イ 赤外線映像装置

波長8~14μmの検出素子については、素子冷却機構あり(液体窒素使用)、素子冷却機構なし(当庁保有(特別救助隊))について実施し、結果を次に示す。

(ア) 冷却機構有り

煙層内の透過は、 $C_s=約5.3(1/m)$ において、人の顔としての画像とノイズとの区別がつかない状況であった。

(写真3 参照)

(イ) 冷却機構なし

煙層内の透過は、 $C_s=約2.5(1/m)$ において、人の顔として区別できない状況であった。

(写真4 参照)

(2) 火源探知について

煙層の厚さ2.1mにおける火源探知結果を図4に示す。

ア 紫外線センサー

紫外線センサーは、煙のない状況下での検出限界距離は約14m(炎の大きさ3~4cm)、煙層内の透過は、 $C_s=0.05(1/m)$ で、炎からの紫外線を検出で

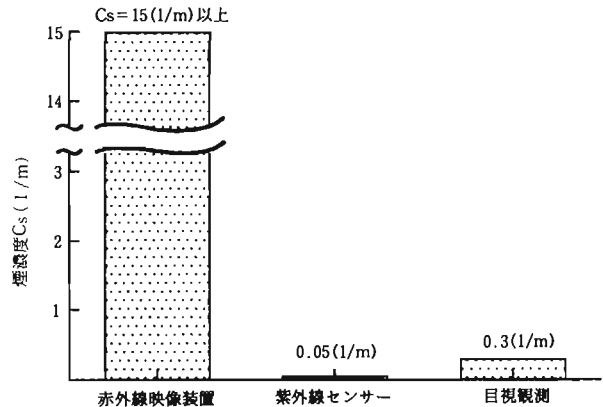


図4 火源探知結果

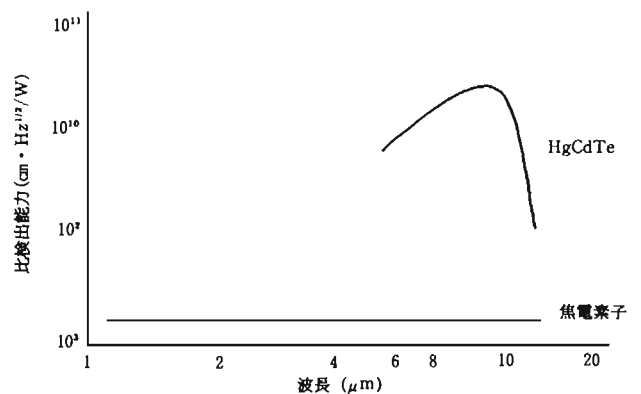


図5 素子の感度曲線

きなかった。(この時の目視観測においては、炎を確認することができた。)

## イ 赤外線映像装置

煙層内の透過は、 $C_s=15.0(1/m)$ をこえても画像としてとらえることが可能であった。

(写真5 参照)

## 5 考察

### (1) 人体検出

#### ア 赤外線センサー

過去の実験から明らかなように、赤外線は、煙による減衰を受けながら透過していくため、煙層を透過した赤外線の強さは、煙濃度に大きく影響される。従って、放射される赤外線の強さと減衰量は、検出限界に大きな影響を与える。このため、人体検出には、微弱な赤外線を検出できる感度を必要とする。

図5に赤外線センサーと赤外線映像装置の検出素子の感度を示す。

この図より赤外線映像装置(HgCdTe)に比較して赤外線センサー(焦電素子)の感度は100倍以上劣っていることを示している。今回用いた赤外線センサーは、人の目より感度が低く、煙中での人体の検索機器としての利用は困難である。

#### イ 赤外線映像装置

煙による赤外線の減衰が、可視光の減衰と比例関係にあると仮定し、Lambert-Beerの法則に従うと、煙濃度(減光係数)と見通し距離は、以下のように反比例の関係が成り立つ。

$$D = L / C_s$$

D：見通し距離(実験では、煙層の厚さ2.1m)

L：定数

$C_s$ ：減光係数(1/m)

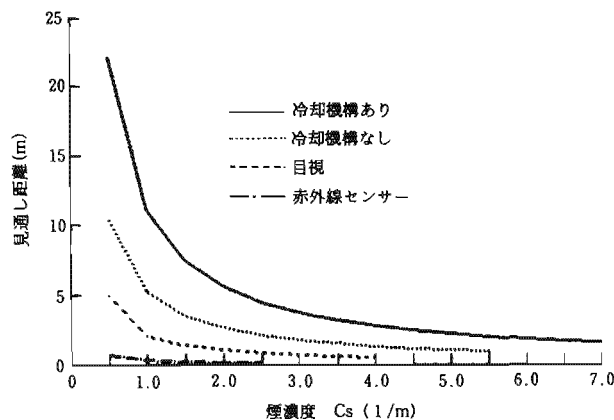


図6 煙濃度と検出距離

この関係より、人の目については、神氏の行った実験<sup>(1)</sup>における煙中での見通し距離(減光係数1(1/m)における見通し距離は、2~4(m)である。)を用いて、赤外線センサー、赤外線映像装置における煙濃度と見通し距離の関係を算出した結果を図6に示す。

この結果から、人の目と素子冷却機構における煙濃度と見通し距離の関係は、同一の煙の濃さであれば、人の約5倍の見通し距離を透視することができ、同一の見通し距離であれば、人の約5倍の煙の濃さの中を透視することができる。

人の目と素子冷却なしにおいては、同一の煙の濃さであれば、人の約2.5倍の見通し距離を透視することができ、同一の見通し距離であれば、人の約2.5倍の煙の濃さの中を透視することができる。

### (2) 火源探知

#### ア 紫外線センサー

紫外線は、煙による減衰が大きいため、煙中では人の目より感度が低く、火源探知機器としての利用は困難である。

#### イ 赤外線映像装置

旧病院施設を利用した火災実験における可視光、赤外線映像を写真6に示す。

可視光映像では、開口部からの噴出する煙により室内の確認は、困難な状況であっても、赤外線映像は、はっきりと火災室内を確認ことができ、室内状況、燃焼状況を把握することができた。

赤外線映像装置は、煙が消防活動の障害になるような場面で、有効的な利用が可能である。

## 6 まとめ

### (1) センサーによる人体検索、火源探知

煙中では、人の目より感度が低く、人体検索、火源探知としての利用は困難である。

### (2) 赤外線映像装置による人体検索、火源探知

赤外線映像装置による人体検索は、素子の冷却機構の有無により差があるが、人の目より約2.5~5倍優れていた。

火源探知機器としては、火災室内の燃焼状況を明瞭な映像をとらえることができ、耐火建築物や地下施設火災等、濃煙が消防活動の障害になるような場面で、状況把握、人命検索等に役立つと考えられる。

### (3) その他

赤外線映像装置は、当庁においても特別救助隊等に配置されているものであり今回、赤外線映像装置による煙中での人体、炎検出性能を把握することができ、

赤外線映像装置の活用方策としての一資料を得ることができた。

また、今回の実験では、煙濃度と赤外線の透過について実験を行ったが、今後は、煙のみならず高温多湿下について研究を行う予定である。

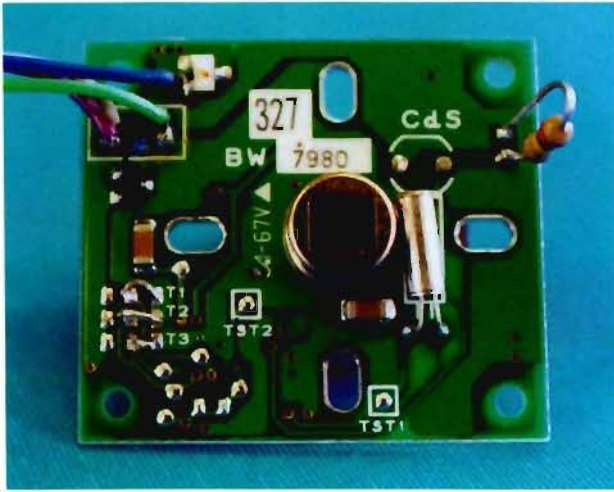
## 7 おわりに

今回の実験を実施するにあたり協力頂いた、三菱電機株式会社、株式会社日本計測器、コーンズ・アンド・カンパニー・リミテッドに対し心より感謝します。

## 8 参考文献

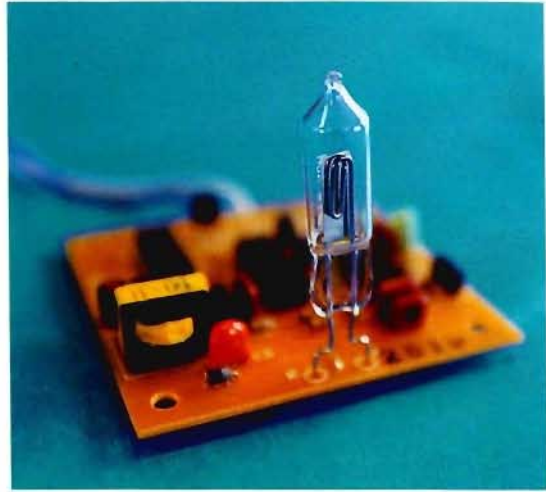
- (1) 「火災」Vol.23, No.4, 1973, 91, 「煙中の誘導標識の見え方」
- (2) 「日本火災学会論文集」Vol.28, No.1, 1978  
「火災煙による熱放射の減衰について」
- (3) 浜松ホトニクス技術資料
- (4) 赤外線工学 著者HENRY L.HACKFORTH  
近代科学社出版

写真1



赤外線センサー

写真2



紫外線センサー

写真3



Cs値 0 (1/m)



Cs値 3 (1/m)



Cs値 4 (1/m)



Cs値 5 (1/m)

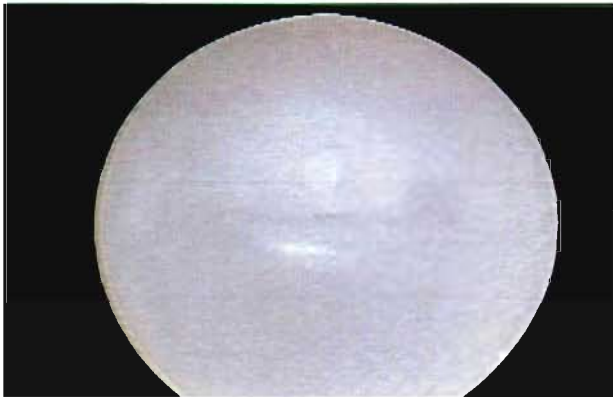
写真 4



Cs値 0 (1/m)



Cs値 1 (1/m)

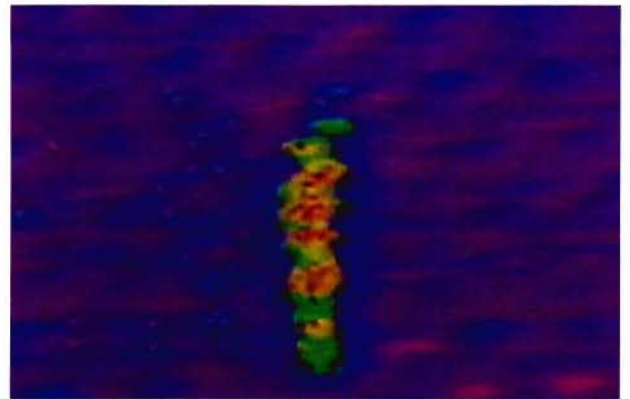


Cs値 2 (1/m)

写真 5



ライターの炎 Cs値 9 (1/m)

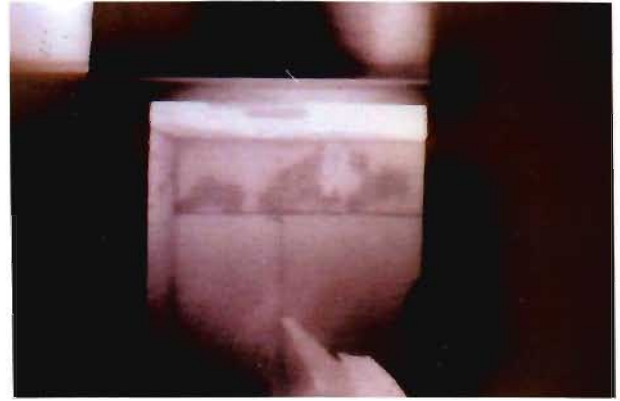


バーナの炎 Cs値 15 (1/m)

写真 6



可視光映像



赤外線映像