

簡易型火源探知器具の研究開発 (第2報)

有山 修平*, 鈴木 照雄*, 鎌形 健司*, 吉村 延雄**

概 要

昨年度、カラー表示の熱画像を出力する軽便な器具「簡易型火源探知器具」を試作した。

今年度は、試作機を用いて実際の活動等を想定した各種実験を行い、その有効性を確認した。

- 1 簡易型火源探知器具は、「温度分布を把握しやすく有効である」とのアンケート結果が得られた。
- 2 1000画素程度の熱画像であっても、消防隊員の個人装備品としては必要最小限の性能を確保できる。

1 はじめに

人間は非常に優れた感覚器（センサ）を有しており、我々消防職員も、五感を最大限に活用して現場活動をしているところである。しかし、離れた場所から温度分布を把握する能力については、我々は持ち合わせていない。一部の爬虫類のみが有しているこの能力は、消防活動上非常に有効な方策であり、実際に「熱画像装置」等の資器材は多くの消防機関で導入が図られ、有効活用されているところである。

本研究は、この熱画像装置を、各隊員が携帯可能な装備品とするために、必要最小限の機能を有しながらも、小型軽量で安価なものにすることを目的としたものである。本年度は、平成15年度に試作した携帯型の熱画像装置（以下「簡易型火源探知器具」と言う）を用いて、消防隊員が火災現場活動時に遭遇する場面を想定した各種検証を実施し、その有効性を確認したものである。

また、機器の能力を検証するために、天ぷら油火災についても再現実験を行った。

尚、本稿については白黒印刷であり、色彩についての説明が、判読しづらい点をご容赦願いたい。

2 機器の概要

製作した簡易型火源探知器具についての説明は、平成16年消防科学研究所報第41号で述べた。このため本稿ではその概要について簡記する。

本機器は、携帯可能な大きさの画素数約1000画素の熱画像装置である。乾電池（単三乾電池4本）で駆動し、毎秒3フレーム程度のフレームレートで画像の更新が行われる。画像も比較的粗い動画ではあるが、実用に耐えうる必要最小限の機能を持たせること念頭において製作した。（表1、写真1～2、図1参照）

表1 簡易型火源探知器の諸元

大きさ・質量	縦217×横78.5×高さ80mm・約600g（電池含む）
画面	3.8インチカラー液晶
計測温度レンジ	80～200℃（中温レンジ）、200～450℃（高温レンジ）
表示方式	熱画像表示（カラー表示）
記録方式	内蔵メモリ最大80画像記録可能



写真1、2 外観及び表示画像例

高温レンジ	200	330	450℃
中温レンジ	80	140	200℃
濃紺 青 水色 黄緑 黄 赤 桃色 白			

図1 温度別色表示

*第一研究室 **世田谷消防署

3 実験

製作した簡易型火源探知器具を用いて、各種実験を実施した。

(1) 残火処理を想定した再現実験（実験 1）

残火処理時に高温部分の探知をすることを想定した実験を実施した。

ア 設定

角材（太さ 35mm）で組んだ井桁を、炭化状態で燃焼させ、熱画像と実画像で約 3 m 離れた位置から撮影した。熱画像については、中温レンジと高温レンジそれぞれを用いて撮影した。

イ 結果


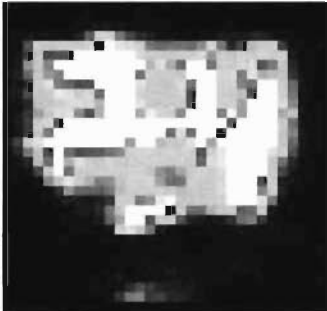
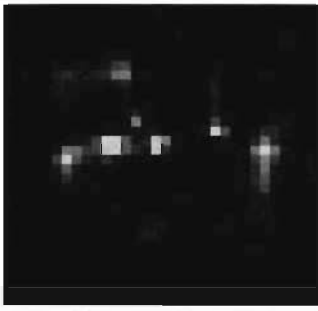
結果は表 2 のとおり。↗

ウ 考察

目視では見分けることが困難な、炎を伴わない燃焼であっても、高温部分とそうでない部分の違いを検出することができた。天井や壁体上部などのような、直接触って温度の確認が困難な状況でも、温度分布を把握することが可能で、再燃防止のための効果・効率的な残火処理作業への利用に期待が持てる。

作業の性質上、周囲と比較して温度の高い部分に対し、再燃の危険性を疑う必要があることから、この用途で使用するレンジは、低温の温度変化も感知可能な、中温レンジが望ましいと考えられる。

表 2 残火処理想定実験結果

実画像	熱画像（中温レンジ）	熱画像（高温レンジ）
		

(2) 布団の火災を想定した再現実験（実験 2）

ア 設定

座布団（50×50cm、厚さ約 5 cm）上に、燃焼中の紙を置き燃焼させ、有炎燃焼及び無炎燃焼中の状況を、熱画像と実画像で撮影する。

イ 結果


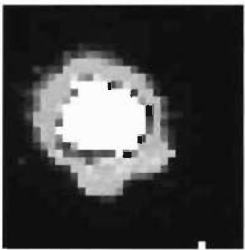

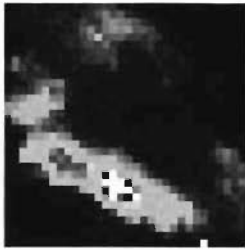
観測の間、燃焼は、表面カバーを伝うように拡大し、一部は内部を燃焼させた。実験終了後、内部の燃焼は自然消火した。

熱画像と実画像の状況は表 3 のとおり。（熱画像は、中温レンジ撮影である）

ウ 考察

布団の温度分布についても、人間の眼による視認だけでは判断できない高温部分の把握が可能であった。しかし、他の赤外線を使用した機器と同様に表面温度を検知するため、高温部分が外部に露出しないで、内部に入り込むような（低温部分に囲まれてしまった等の）場合には、内部の高温部分の状況が熱画像に反映されない可能性もあり、注意が必要である。消防隊の残火処理時には、そのような特性を理解した上で使用する必要がある。なお、本用途に使用する場合にも、実験 1 と同様の理由から、中温レンジ使用が望ましい。

表 3 布団課再想定実験結果

点火直後の状況		内部で燻ぶっている状況	
実画像	熱画像	実画像	熱画像
			

(3) 金属板の裏側の燻り再現実験（実験3）

この実験は、金属板の裏側が燻っている状況を再現したもので、消防隊が、目視では確認しづらい熱の状況を探知する事を検証したものである。

ア 設定

角材（太さ 35mm）を井形に組んでベニヤ板（厚さ 3mm 大きさ 90cm×50cm）で挟んだものに、同じ大きさの鉄板（厚さ 0.5mm）を貼り付けた（写真3参照）。この試験体を、鉄板の裏側（ベニヤ板側）から炎であぶって加熱し、試験体が燻り始めたところで、炎を止め、鉄板側から熱画像（中温レンジ撮影）と実画像で撮影をした。（写真4～5）参照。

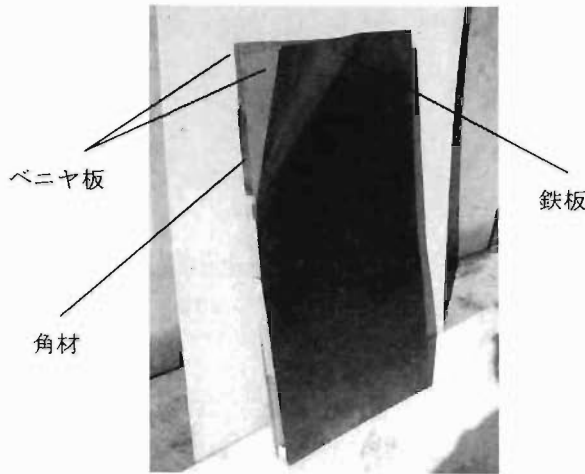


写真3 試験体の状況

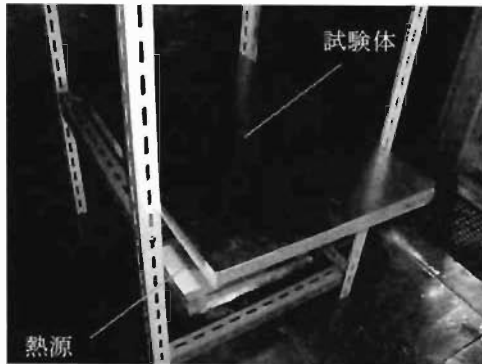


写真4 加熱の状況

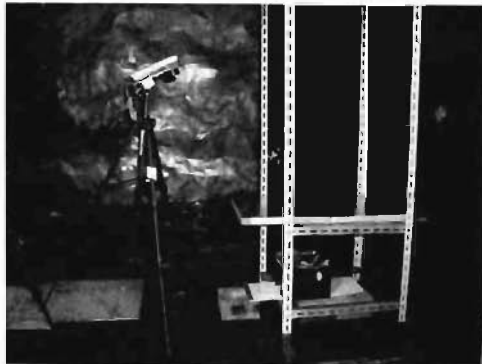


写真5 撮影の状況

イ 結果

燻り始めてからは、しばらくの間は燃焼が緩慢であったが、やがて燃焼が拡大しはじめた。熱画像と実画像については、表4のとおり。

表4 燃焼中の実画像

燃焼初期の状況	実画像	
	熱画像	
内部燃焼中の状況	実画像	
	熱画像	

ウ 考察

本実験では、金属板の熱で変色している高温部分については、温度の変化を感知することが出来た。しかしながら、光沢のある部分の温度検出については、ほとんどその変化が確認できなかった。これは、光沢部分の反射率が高いことが影響したものである。このことから、反射率の高い材質についての温度検出は、赤外線を用いて温度の検出を行う一般的な機器と同様に注意が必要である。（今回の試作品には、反射率の補正機能は付加していない）

(4) 天ぷら油火災再現実験（実験4）

本実験の想定は、消防隊員が使用する機器の使用状況には当てはまらないが、機能面からの性能を検証するため、段階的な温度上昇を伴う火災現象を再現し計測したものである。

ア 設定

直径 15cm の鍋に、食用油を深さ約 1.5cm (250ml) 入れ、ガスコンロ (約 3.5kW) で加熱した。鍋内部の油温を計測するため、熱電対を設置し、温度の計測も行った。熱画像及び可視画像の撮影は鍋から横方向に 50cm、縦方向に 90cm 離れた位置から 20 秒毎に実施した。火源探知器具の温度範囲は中温域レンジ (80~200℃) 及び高温域レンジ (200~450℃) の両方で撮影した。(写真6参照)

イ 結果

実験開始後 2 分後位から白煙が出始め、その後更に白煙が激しくなり、4 分 13 秒で発火した。

熱画像及び可視画像の状況を及び温度の状況を表 5 に示す。(本稿では、40 秒毎の結果を示す)



表 5 天ぷら油火災再現実験結果

時間	実画像・油温	熱画像(中温レンジ)	熱画像(高温レンジ)	時間	実画像	熱画像(中温レンジ)	熱画像(高温レンジ)
0分0秒	油温 13℃ 点火			2分40秒	油温 268℃		
0分40秒	油温 75℃			3分20秒	油温 313℃		
1分20秒	油温 150℃			4分0秒	油温 360℃		
2分0秒	油温 213℃			4分13秒	油温 374℃ 発火		

ウ 考察

本実験では、段階的に上昇する物体温度を画像的に把握することができた。当初は、このような定点観測を目的とした使用は想定していなかったが、多面的な機器の応用についても検討の余地があると考え、本考察ではこのような使用形態についても論じたい。本機器は、消防隊員用の装備品として開発したものであるが、ここでは試験的に『火災を未然に防ぐための機器』としての有効性を検討した。

天ぷら油の発火温度は 370℃付近とされている。また、天ぷら料理の適温は 160℃～180℃とされている。このことから、概ね 200℃から発火温度までの範囲の温度を検知し、発火危険の状態であることが警告できれば、火災を未然に防ぐ手段として有効であると考えられる。

今回の実験では、2分経過後には既に油温は 200℃を超えており、比較的少量の油で実験したにもかかわらず 200℃を超えてから発火まで更に 2分以上の時間があった。今回の試作機での実験結果を見ると、この 2分間の状況を「異常な加熱」として検知することは、高温レンジ計測により可能であった。200℃を超え、熱画像に薄い水色の部分が広がり始め、やがて鍋の内容物全体が水色になり発火していることから（本稿では白黒印刷のため判別しづらいが）計測範囲の鍋の内容物に当たる部分が、この温度分布となったと感知したときに「警報」や「ガスの遮断」等が出来るような制御を行うことにより、効果的な火災予防対策の一方策となりうるであろう。

現在、厨房機器には、サーミスタや温度ヒューズ等を用いて、火災を未然に防止する機構を備えたものもあるが、そのような機構を備えていない場合でも、今回の試作品のような機器を感知器として取り付けることにより、火災の未然防止を図ることが期待できる。また、厨房機器に限らず、異常な加熱を検知できる状況であれば、暖房器具の異常燃焼や、火気の無いところでの異常な熱なども感知できる。

通常、火災警報器の感知器は、天井部分に取り付けられていることが多く、当然のことながら、天井付近で一定温度以上あるいは急激な温度上昇のあった段階で発報するものであるが、今回の試作機のような赤外線センサによる感知は、それよりも早い発火前の段階で、危険性を感知することが可能と言える。

(5) 使用実験（実験5）

消防吏員に濃煙内での高温部分の探知を行わせ、使い勝手などについてアンケート調査を行った。

ア 設定

縦 3.3m、横 3.7m、高さ 2.1mの部屋内部に、熱源（井桁に組んだ太さ 35mm 長さ 15cm の杉材 10本を燃焼させたもの）を置き、更に燃焼物体が見えないようにスモークマシンで煙を充満させた。被験者には、現場到着時、煙が充満した状況でどこが燃えているのかを把握するという想定で機器を使用させ、その後アンケートを実施した。（写真7、図2参照）



写真7 実験状況

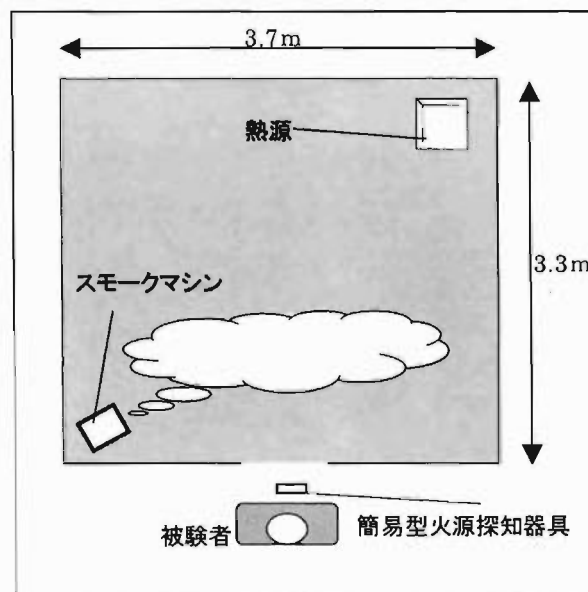
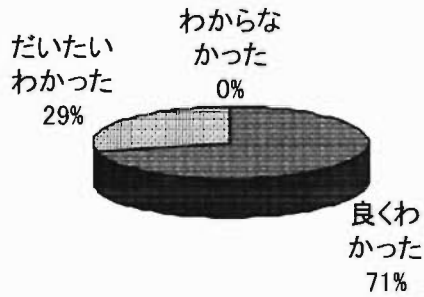


図2 設定状況

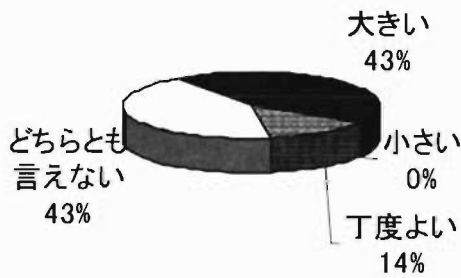
イ 結果

アンケート内容及び結果は図3のとおりである。
（被験者数7名）

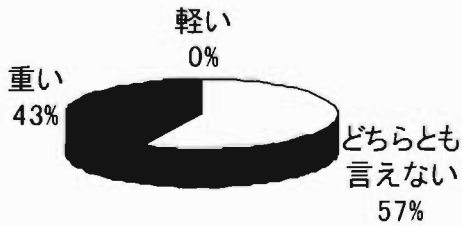
Q1 このような器具を使用した熱源の探査はいかがでしたか？



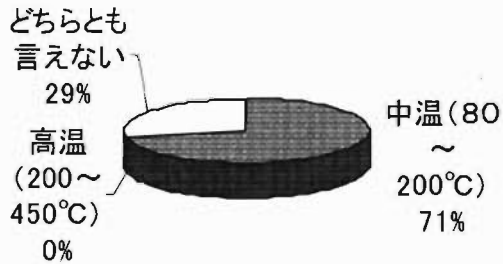
Q2 大きさについてはどのように感じましたか？



Q3 重さについてはどのように感じましたか？



Q4 温度レンジを2種類用意しましたが、どちらのレンジが有効だと思いますか？（消防隊員が使用する機器として）



Q5 このような機器は、消防隊員が使用する機器としては有効だと思いますか？

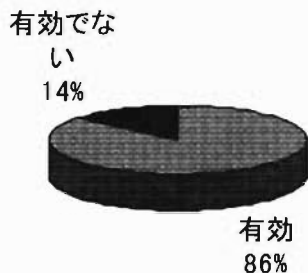


図3 アンケート内容及び結果（抜粋）

ウ 考察

今回の実験は、目視では熱源が確認できない状況下で、火災現場到着時や残火処理時に消防隊員の個人装備品として消防隊員側からの性能検証を目的としたものである。

この試作品を使用した熱源探査について、被験者全員が「良くわかった」または「大体わかった」と回答している。(Q1) これは、画素数 1000 画素程度の熱画像であっても、消防隊員の使用する機器として、ある程度の有効性が確認できたものと思われる。

大きさ及び重さについては、大部分の者が更なる小型軽量化を望んでいる。(Q2・Q3) これは、現在の消防隊員の装備品は、現装備品のみでもかなりの重量を有していることから、新しい装備品については、可能な限りの小型軽量を望む意見が強いと思われる。

温度レンジについては、中温域を望む意見が約 7 割に達した。(Q4) これは、「温度が高い物体の、どの部分が一番高温なのか」より「正常な室温の環境化で、どの場所が付近と比較して高温なのか」を探知することに重要性を感じた者が多かったためと考えられる。

機器の総合的な有効性に関する問に対しては、86%の者が「有効である」と回答した。(Q5) 個人装備品としてこのような機器を消防隊員が常に携帯するという点について、「より効率的な消防活動を実施できる可能性がある」との意見が大半を占めることが確認できた。

また、自由意見として、「どこを探知しているのかがわかりにくい。」という意見が挙げられた。これに対する対応策として、レーザーポインターなどを搭載し、探査している場所を指し示す機能を付加するなどの対応が考えられる。(図4参照) これにより、素早く確実な探査も期待ができると思われる。更に別の意見として、「より低温の部分も反応できるようにした方が良い。」との意見も寄せられた。火災の危険性を判断する場合、室温よりも少しでも高い温度の物体を探知することができれば、壁体内部の燃焼現象の発見等において、確認すべき疑わしい場所を効率的に発見することができ、より利便性が向上することになる。センサの性能がより向上し、本意見に対する対応が可能となれば、このような「低温レンジ」についても付加することが望ましく、有用であろうと考える。(図5)

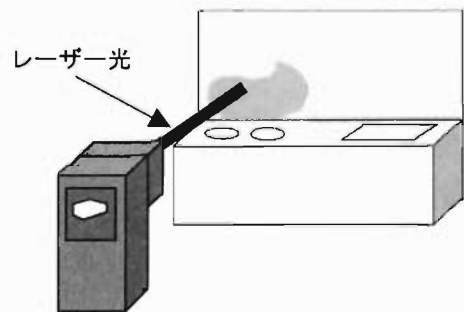


図4 レーザーポインターのイメージ

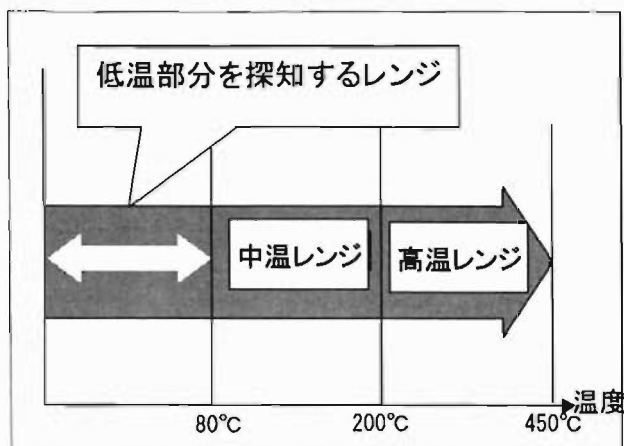


図5 低温部分用のレンジの例

4 まとめ

今回「簡易型火源探知器具」に使用したセンサについては、火源の早期発見だけでなく、火災を未然に防ぐ感知器として、また消防隊員が使用する機器として、多くの可能性を持つものであることが確認できた。

特に、本試作機のような 1000 画素程度の熱画像装置であっても、今回の検証では有効性を示すアンケート結果が得られたことから、「簡易型火源探知器具」は、個人装備品の熱画像装置として、必要最小限の機能を有していると言える。

画素数が数千画素程度の比較的安価なセンサが近い将来市場に出回った場合には、消防業務や火災予防を目的とする機器として、有効な機能を有しかつコスト面からも魅力的な機器が製作できるものと考えられる。

将来、数々の新技術が開発され、消防業務に関してもそれらを取り入れ、利用していくことは必須であり、被害の軽減や消防活動の更なる安全化のために、今回使用したセンサを利用した機器を活用する可能性についても、考慮する価値は高いものと思われる。

〔参考文献〕

- 1) 消防科学研究所報 第4、5、12～14、16、17、31、32、40号
- 2) 久野治義 赤外線工学 社団法人電気情報通信学会 1994年
- 3) 新火災調査教本 第5巻
- 4) お料理入門塾 婦人生活社 1997年

RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR A THERMAL IMAGING DEVICE

(Second Report)

Shuhei ARIYAMA*, Teruo SUZUKI, Kenji KAMAGATA*,
Nobuo YOSHIMURA**

Abstract

We developed a thermal imaging device as a fire origin detector last year. This year, we conducted some experiments, simulating fire scenes.

1. We did a questionnaire related to a thermal imaging device. The good result of "the thermal image is easy to understand at a fire scene" was obtained.
2. The thermal imaging device with a resolution of 1,000 pixels can provide the minimum performance required of the equipment of fire fighters.