

# 活動環境危険警告に関する基礎検証

相河 好江\*、大滝 英一\*、徳永 敦司\*\*

## 概要

消防隊員の熱傷による事故を防止するため、消火活動時の熱環境の変化に基づき警告を発する装置について検証を行ってきた。しかし、外部環境の一点の温度から熱傷危険について判断することは困難であるとともに、消防隊員の「熱さ」に対する主観的評価と、警告装置の作動状況に乖離があり、有益な結果を得られなかった。

そこで、皮膚表面の温度変化に基づき警告を発する装置を用いて、熱環境下における消防隊員の「熱さ」に対する主観的評価、警告装置の作動状況の関係について検証を行った。

その結果、熱環境下において、個人装備品（防火衣）を通して被験者の皮膚表面に熱が伝わる時間は個人差が大きい。が、皮膚表面で感じる「熱さ」の主観的評価は、個人差は少なく概ね共通していることを確認した。

## 1 はじめに

これまでに消防隊員の熱傷による事故を防止するため、温度や熱流束等の外部環境の変化に基づき警告を発する複数の装置について検証を行ってきた。しかし、温度、湿度、空気（熱）の対流、放射熱及び個人装備品の状態等（防火衣の空気層等）、多数の要因が複雑にある熱環境下において、外部環境の一点の温度から消防隊員の熱傷危険について判断することは困難であった。また、消防隊員の熱に対する「熱さ」の主観的評価と警告装置の作動が乖離する等、消防活動上有益なものとなり得る結果を得られなかった。

そこで本検証では、防火衣内部の皮膚表面の温度変化により警告を発する装置を用いて、熱傷防止の予測の可能性について検証を行った。

## 2 検証方法

### (1) 概要

温度変化に基づき警告を発する装置（以下「警告装置」という）を、被験者の膝部皮膚表面に取り付け、熱環境を再現した区画内に待機させる。その際の、「熱さ」に関する主観、区画内部温度、警告装置の鳴動状況及び脱出時間について記録した。

### (2) 実施日

平成 28 年 2 月 29 日から 3 月 2 日までの 3 日間

### (3) 検証場所

東京消防庁 消防技術安全所総合実験室

### (4) 実験条件

#### ア 区画

外観を写真 1、寸法及び熱電対測定位置を図 1 に示す。なお、熱電対の水平位置は、壁から 5 cm 離れた位置とする。



写真 1 検証区画

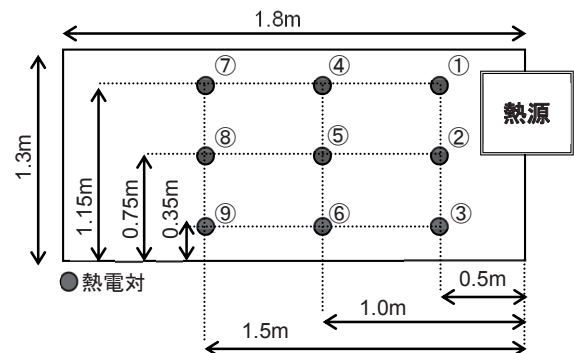


図 1 区画内立面図（断面）

\* 装備安全課 \*\* 防災安全課

イ 熱源

熱風機 (SHIZUOKA 製機) (表 1、写真 2)

表 1 熱源性能

	熱種別	発熱量
熱風機	対流熱	(弱) 26,750Kcal/h (強) 35,940Kcal/h

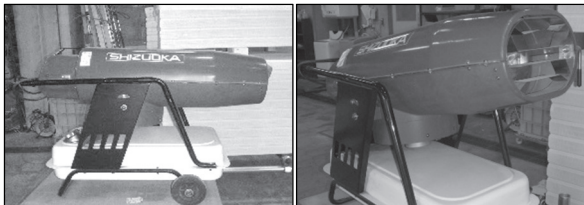


写真 2 熱源 (熱風機)

ウ 熱環境

「消防隊員用個人防火装備に係るガイドライン」<sup>1)</sup>(以下「ガイドライン」という)では、消防活動時の熱環境を火災初期での消火活動のような低い熱環境から、フラッシュオーバー時の消火活動のような高い熱環境まで4つの領域に分けて示している(表2)。

今回の検証では表2のHazardousにあたる、通常の消火活動時の雰囲気温度 100℃~160℃程度の熱環境の範囲で実施した(図2)。

表 2 消防活動時の熱環境

	熱環境	雰囲気温度 (°C)	熱流速 (kW/m <sup>2</sup> )
Routine	火災初期及び残火処理時の消火活動時	~100程度	~1
Hazardous	活動に制限を受けない通常の消火活動時	100~160程度	1~4
Extreme	活動が制限される火災が拡大した時	160~235程度	4~10
Critical	放射熱の範囲が広く火炎に巻き込まれた時及びフラッシュオーバーが発生し、短時間で避難しなければならない時	235程度~	10~

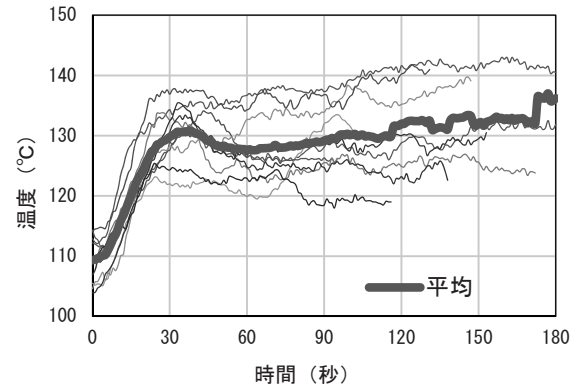


図 2 熱電対⑥の温度変化 (全実験の測定値)

(5) 警告装置及び測定機器

ア 警告装置 (写真 3)

皮膚に痛みを感じる I 度熱傷は 44℃から始まるとされているため、皮膚表面の温度を感知し、38℃から 46度まで 2℃上昇するごとに異なる警告音を発する装置を作成した(写真3)。仕様を表3に示す。また、それぞれの温度で警告装置の鳴動パターンを表4のように設定した。

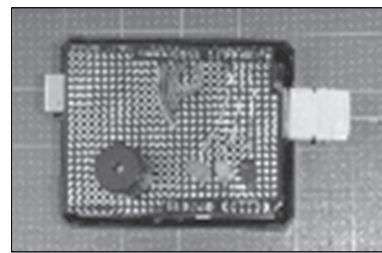


写真 3 警告装置 (外観)

表 3 警告装置仕様

名称	仕様
マイクロコンピュータ	Arduino UNO
熱電対アンプ	MAX 社製 31855
センサー	K 熱電対 (薄型)
ブザー	音圧 80 (dB)

表 4 警告鳴動種別

温度	鳴動パターン
38℃	●
40℃	●●
42℃	●●●
44℃	■ ■ ■ ■
46℃	●●●● ■

■ : 1.0 秒 ● : 0.5 秒



(8) 測定値

ア 区画内温度9点 (図1)

イ 警告装置鳴動開始時間 (秒)

ウ 区画内滞在時間 (秒)

エ 「熱さ」の主観

### 3 検証結果

被験者1名につき2回検証を行ったため、検証を行った順に、1回目(もしくは①)及び2回目(もしくは②)と記載する。

10回の検証で脱出前に44℃の警告が作動したのは3回のみであった。

一方、40℃の警告は10回の検証中7回作動しており、全ての被験者で左右いずれかは作動していた。このことから、40℃の警告作動時を中心として、結果及び考察を行う。

(1) 時間と「熱さ」の主観の関係

各被験者の「熱さ」の主観(脱出時及び40℃警告装置鳴動時)について図5に示す。

各被験者の40℃の警告装置鳴動時間と脱出時間について表6に示す。

脱出時間と「熱さ」の主観との関係を図6に示す。

各被験者における1回目及び2回目の、「熱さ」主観値及び脱出時間の関係を表7に示す。

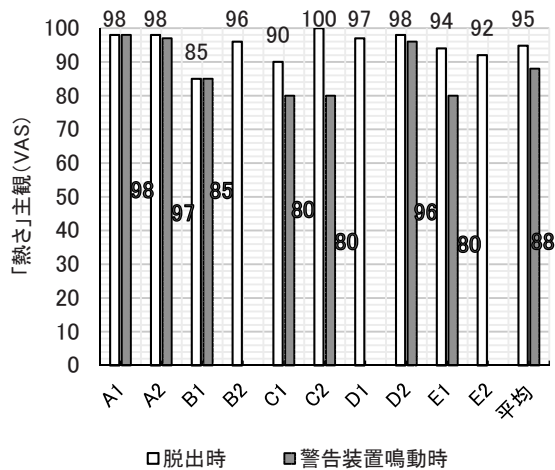


図5 「熱さ」の主観

表6 警告装置鳴動時間及び脱出時間 (秒)

	警告装置鳴動時間 (秒)					脱出時間 (秒)
	警告種別					
	38℃	40℃	42℃	44℃	46℃	
A 1	-	171	180	-	-	180
A 2	-	140	-	-	-	180
B 1	-	126	-	-	-	126
B 2	69	-	-	-	-	93
C 1	-	110	113	165	180	180
C 2	34	49	72	108	-	148
D 1	-	-	-	-	-	135
D 2	35	52	75	96	-	117
E 1	54	85	119	-	-	133
E 2	65	-	-	-	-	156
平均	51	105	112	123	180	145

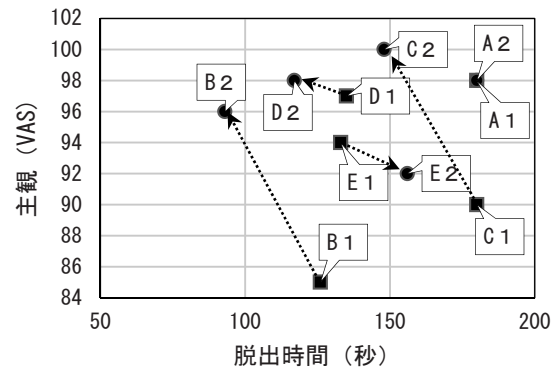


図6 脱出時間と「熱さ」主観

表7 「熱さ」主観値及び脱出時間の関係

被験者	主観値 (大小)	脱出時間 (大小)
A	1回目=2回目	1回目=2回目
B	1回目<2回目	1回目>2回目
C	1回目<2回目	1回目>2回目
D	1回目<2回目	1回目>2回目
E	1回目>2回目	1回目<2回目

表6より、40℃の警告装置鳴動時間は平均105秒(変動係数43%)であり、個人差が大きかった。

表6及び図7より、検証1回目より2回目の方が同程度の区画内温度での「熱さ」の主観値が高いもしくは同程度であったが、逆に、脱出を判断する時間(区画内滞在時間)は、2回目の方が短い傾向が確認できた。

(2) 時間(脱出)と温度(区画内)の関係

脱出時間と区画内温度との関係を図7及び図8に示す。

なお、図7は、温度⑥(被験者膝部付近)を、図8は温度④(区画内高温箇所)を示している(図1参照)。

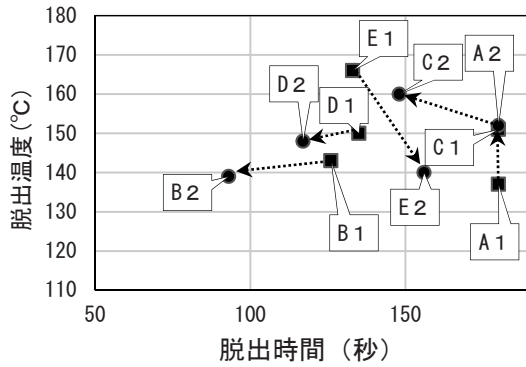


図7 脱出時間と温度⑥（被験者膝部付近）

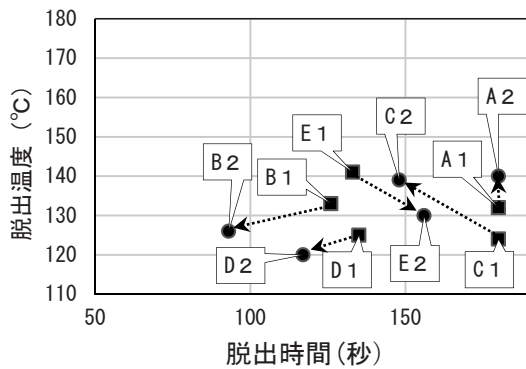


図8 脱出時間と温度④（区画内高温箇所）

各被験者における1回目及び2回目の脱出時の区画内温度を表8に示す。

表8 脱出時の区画内温度

被験者	温度⑥ (°C) 被験者膝部付近	温度④ (°C) 区画内高温箇所
A 1	132	137
A 2	140	152
B 1	133	143
B 2	126	139
C 1	124	151
C 2	139	160
D 1	125	150
D 2	120	148
E 1	141	166
E 2	130	140

各被験者における1回目及び2回目における、脱出時間、脱出時温度の大小及び温度差の関係を表9に示す。

表9 脱出時間と温度（1回目、2回目）の関係

被験者	温度 (高低)	脱出時間 (大小)	温度差(°C) (1回目と2回目)	
			⑥ (膝部)	④ (区画内)
A	1回目<2回目	1回目=2回目	8	15
B	1回目>2回目	1回目>2回目	7	4
C	1回目<2回目	1回目>2回目	15	9
D	1回目>2回目	1回目>2回目	5	2
E	1回目>2回目	1回目<2回目	11	26

表9より、被験者E以外は、脱出を判断する時間（区画内滞在時間）は、2回目の方が短かく、もしくは同程度になる傾向が確認できた。

(3) 温度（脱出時）と「熱さ」の主観の関係

脱出時温度（図1の⑥及び④の位置）と「熱さ」の主観との関係を図9及び図10に示す。

なお、図9は、温度⑥（被験者膝部付近）、図10は温度④（区画内高温箇所）の脱出温度を示している（図1参照）。

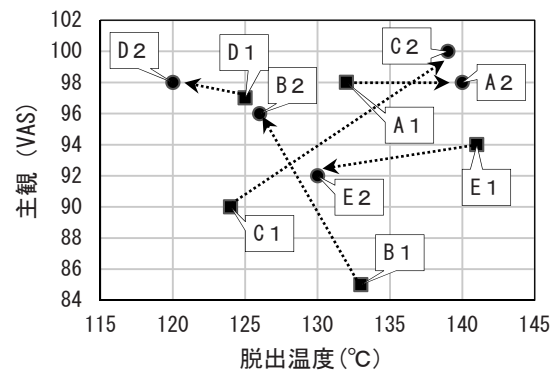


図9 温度⑥（被験者膝部付近）と主観

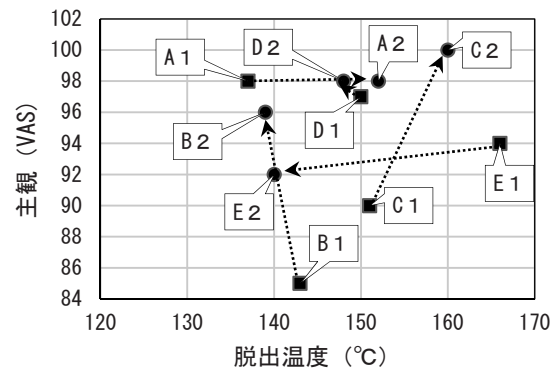


図10 温度④（区画内高温箇所）と主観

各被験者における1回目及び2回目の、主観値、脱出時温度の大小及びその際の温度差の関係を表10に示す。

表10 「熱さ」主観値と温度(図1⑥及び④)の関係

被験者	主観差 (大小)	温度 (高低)	温度差(°C) (1回目と2回目)	
			⑥ (膝部)	④ (区画内)
A	1回目=2回目	1回目<2回目	8	14
B	1回目<2回目	1回目>2回目	7	4
C	1回目<2回目	1回目<2回目	15	9
D	1回目<2回目	1回目>2回目	5	2
E	1回目>2回目	1回目>2回目	11	24

表10より、検証1回目より2回目の方が「熱さ」をより感じ主観値が高い、もしくは同程度になる傾向が確認できた。

(4) 警告装置作動状況

各被験者における1回目及び2回目の警告装置作動時の区画内温度及び主観値を表11に示す。

なお、警告作動時は40°Cの警告音が鳴動した時とする。

表11 警告装置鳴動時(40°C)の区画内温度と主観

被験者	温度⑥(°C)	温度④(°C)	主観
	被験者膝部付近	区画内高温箇所	
A 1	132	139	98
A 2	143	150	97
B 1	133	143	85
B 2	-	-	-
C 1	124	150	80
C 2	128	156	80
D 1	-	-	-
D 2	124	145	96
E 1	135	164	80
E 2	-	-	-

3(1)の表6及び図5より、脱出時及び警告音鳴動時(40°C)における「熱さ」の主観値の差及び警告装置鳴動から脱出までの時間差の関係を図11、表12に示す。

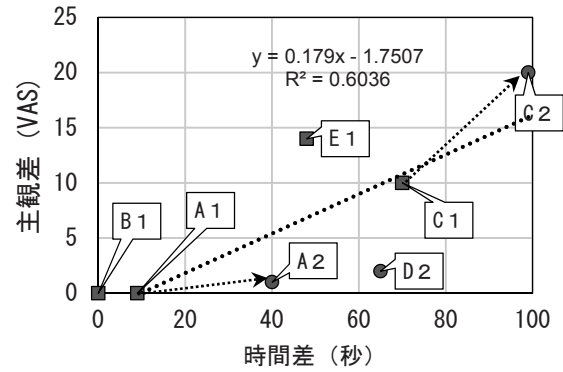


図11 警告装置鳴動から脱出までの時間差

表12 警告装置鳴動から脱出までの時間差

被験者	主観値差 (VAS)	時間差 (秒)
A 1	0	9
A 2	1	40
B 1	0	0
B 2	-	-
C 1	10	70
C 2	20	99
D 1	-	-
D 2	2	65
E 1	14	48
E 2	-	-

(5) アンケート結果

ア 熱を感じた部位

アンケートにより、被験者が熱を感じた部位について調査した。最も多かったのは膝が14件で66%、次いで手甲部が7件で33%であり、この2か所で9割以上を占めた(写真7、図12)。

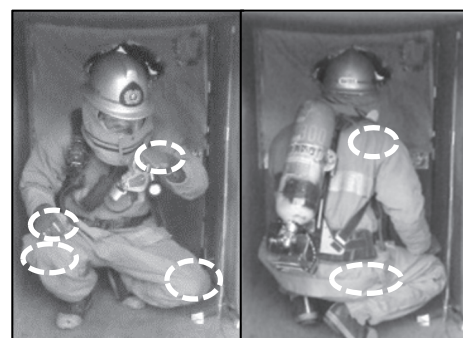


写真7 熱を感じた部分

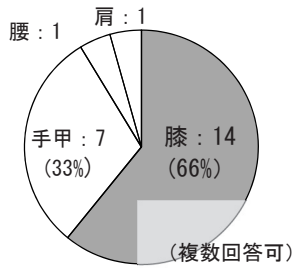


図 12 熱を感じた部分

熱の感じ方については、「ヒリヒリする」、「しびれる」、「痛みを感じる」等の回答を得た。

#### イ 警告装置に関する意見(抜粋)

##### (ア) 肯定的意見

- a 外部温度で警告音を発する装置より有効である。
- b 44℃を感知した時は熱すぎると感じた。警告としては40℃が良いと思う。
- c 温度で警告を出すことで受傷を避けることにつながると感じた。

##### (イ) 否定的意見

- a どの温度(膝、手背、腰部)をとるかで、温度が大きく変わるので、現場で危険を感じるのが難しいと思う。
- b 防火帽の外の温度で鳴動させたほうが良い。

## 4 考察

### (1) 区画内温度と「熱さ」の主観(VAS)の比較

#### ア 警告装置鳴動時(40℃)

(ア) 表 11 より、警告装置鳴動時(40℃)における区画内温度(図 1 の⑥の位置)と「熱さ」の主観(VAS)の相関係数は、

- ・⑥被験者膝部付近:  $R=0.299$  ( $-1 \leq R \leq 1$ )
- であり、警告装置鳴動時(40℃)における区画内温度と「熱さ」の主観には相関はほぼないといえる。

(イ) 図 11 及び表 12 より 40℃警告装置鳴動後から脱出するまでの時間と、40℃警告装置鳴動時における「熱さ」の主観と脱出時の「熱さ」の主観の差における相関係数は、

- ・ $R=0.78$  ( $-1 \leq R \leq 1$ )
- であり中程度の相関しか確認できなかった。

#### イ 区画内脱出時

図 5 及び表 8 より、区画内温度(図 1 の⑥の位置)と「熱さ」の主観(VAS)の相関係数は、

- ・⑥被験者膝部付近:  $R=0.092$  ( $-1 \leq R \leq 1$ )
- であり、脱出時区画内温度と、「熱さ」の主観には相関はほぼないといえる。

上記ア及びイより皮膚側に警告装置を設置した場合、40℃の警告に基づいて脱出を判断することは概ね妥当で

あると考えられる。しかしながら、表 6 より、被験者により鳴動時間の差が大きく警告音作動状態が一定していない。

また、防火衣等の個人装備品を通して皮膚に熱が伝わる時間、「熱さ」の感じ方及び「熱さ」の限界は個人により大きく異なる。

これらの要因として、以下のことが考えられる。

- ・発汗量による防火衣内部の湿度
- ・警告装置センサー取り付け位置
- ・被験者の体格差及び防火衣サイズ
- ・防火衣の空気層の有無

なお、被験者 E に関しては「熱さ」の主観及び脱出時間の傾向が逆になった。これは、表 8 より、1 回目と 2 回目では区画内最高温度の差が 25℃以上あったため、逆の傾向になったと考えられる。

### (2) 区画内滞在時間と区画内温度の関係

被験者の自己判断により区画内から脱出したのは、10 回中 7 回であった。区画内滞在時間とその際の区画内温度(図 1 の④及び⑥の位置)の関係を図 13 に示す。

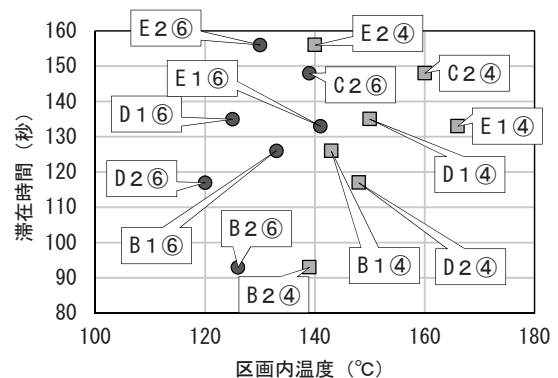


図 13 区画内滞在時間と区画内温度  
(④区画内最高温度、⑥被験者膝部温度)

自己判断により脱出するまでの区画内滞在時間と、その時の区画内温度の相関係数は、

- ・⑥被験者膝部付近:  $R=0.460$  ( $-1 \leq R \leq 1$ )
- であり、脱出を判断する時間と、区画内温度はある程度の相関が確認できた。

このことから、脱出を判断する要因は区画内温度及び、滞在時間に依存していることが考えられる。

しかしながら、表 9 より、一定区画内において区画内温度変化が±15℃程度であれば、周囲の雰囲気温度の温度変化が脱出を判断する要素ではないと考えられる。

## 5 まとめ

### (1) 警告装置の設定

ガイドラインでは、皮膚表面温度が 44℃になると皮膚に痛みを感じる等熱傷危険が始まる温度としていたが、

防火衣内部に警告装置を設定する場合、熱環境下からの脱出を考慮し40℃程度の設定がおおむね妥当である。

しかしながら、皮膚側における警告装置の設置には、防火衣内部状況や、センサーの位置等の多くの課題がある。

(2) 「熱さ」主観、温度、時間

ア 表2のHazardousにあたる熱環境から、脱出を判断する要因は外部温度や熱環境滞在時間以外にも多く存在する。長時間における活動時は進入する外部温度等を常に意識する必要がある。

イ 同程度の熱環境下（温度変化±15℃程度）であっても、熱環境への進入を繰り返すことにより熱による蓄積は避けられない。進入管理者は早期の脱出させる判断を常に意識する必要がある。

## 6 おわりに

本検証では、皮膚表面の温度変化に基づき警告を発する装置を用いて、熱環境における消防隊員の「熱さ」の感じ方、熱環境からの脱出を試みる状況等について検証を行った。

今後、本検証で実施した条件以外に、以下の条件を付与した場合についても検討する余地がある。

- ・放射熱による熱源
- ・外部及び内部の湿度状況
- ・広範囲の区画
- ・被験者数の増大
- ・センサーの精度、取り付け条件

[参考文献]

- 1) 総務省消防庁：消防隊員用個人防火装備に係るガイドライン、2011年5月



# Basic Study on the Hazard Notices in Operational Environments

Yoshie AIKAWA\*, Atsushi TOKUNAGA\*\*, Hidekazu OTAKI\*

## Abstract

In order to protect firefighters from heat injuries, the Fire Technology and Safety Laboratory conducted research on the warning device that responds to temperature changes around the firefighters in operation. However, the study did not produce helpful results because of the difficulty in judging the heat burn risks by a single point temperature around the firefighters and also of the discrepancy between the firefighters' subjective evaluation of heat and the equipment' s evaluation of heat.

Accordingly, the Fire Technology and Safety Laboratory conducted another study with a different type of warning devices that measures and reacts to the temperature on the skin in order to explore the relationship between the firefighter' s evaluation and the equipment' s evaluation. The result showed that the firefighters generally made similar evaluations regarding the heat on their skins, though there was a major individual difference in the time that it takes for heat to reach their skins through the personal protective gears (fire coats).