

消防隊員の受熱による影響等に関する検証

朝日 翔*, 清水 祐二*, 清水 鉄也*

概要

消防隊員の受熱による生理的、主観的影響を明らかにし、また、検索救助活動時における「温度表示テープ」の有効性を明らかにすることを目的とした。装備品を完全装着した状態で高温環境での運動を行い、生理的、主観的指標を測定した。また、視界の悪い環境での温度表示テープの視認性を評価した。その結果、高温環境で最も熱を感じやすい部位は手部であり、温度表示テープは色で表示するタイプが見やすく、貼り付け部位は自分の目に近づけられる部位が見やすいことが分かった。手部は空気層が薄く、温度感受性が高いことから熱を感じやすかったと考えられ、また、温度表示テープは温度表示の大きさや煙の中でのわずかな距離の差が視認性に影響を与えたと考えられる。個人装備品は改良により耐熱性が高くなっているものの、最も熱を感じやすい部位は手部であること、また、温度表示テープは視界の悪い濃煙環境の中であっても、部位によっては視認可能なため、環境温度を把握する術として有効であると考えられる。

1 はじめに

消防隊員が火災の熱や炎から身を守る防火衣や災害現場用手袋等の個人装備品は、ISO (国際標準化機構) 規格等の基準を基礎とし、消防隊員がより安全に消火活動を行うために改良が重ねられている。しかし、火災や放射熱等に曝露した際の防護性能には限界があり、100℃に満たない程度の熱環境であっても、滞在時間によっては熱傷の危険性に配慮しなければならない¹⁾。平成 19 年度には、室温 70℃、湿度 60%の環境で消防隊員の受熱による影響を検証したが、入室から約 2 分後に被験者全員が耐熱限界を感じ、実験を中止している。この検証では、実験中最初に熱を感じた部位は手部であったことから、個人装備品を完全に装着した状態で外的温度状況を把握する手段として、特に手部の温覚に留意する必要があるとしている²⁾。しかし、検証を実施してから現在まで 10 年以上が経過しており、個人装備品も改良されているため、改めて検証する必要があると考えた。

そこで本検証は、現行の個人装備品を装着した状態で、改めて消防隊員の受熱による影響を明らかにし、隊員の安全管理に資することを目的とした。また、一般に市販されており、温度環境を色や数字で視認可能な 2 種類の「温度表示テープ」の有効性について明らかにし、検索救助活動時における退避目安及び隊員が外的温度環境を把握できる装備品を提案することを目的とした。

2 検証方法

個人装備品を装着し、空気呼吸器及び面体を装着した状態 (以下「完全着装」という。) で、高温環境において運動中の生理的、主観的指標を測定した。また 2 種類の温度表示テープについて、視界の悪い環境下での視認性について評価した。

(1) 消防隊員の受熱による影響に係る検証

被験者を恒温恒湿室の前室で待機させ、体温及び心拍数を安定させた。その後、完全着装させ、高温環境を再現した試験室へ移動させ火災室内の要救助者を検索及び救出する動作を負荷し、運動中の生理的、主観的指標を測定した。各被験者は 4 つの環境条件を順不同で検証した。

ア 被験者

東京消防庁職員健康管理規程による就業区分が「W 1」(通常勤務可) に属する消防技術安全所の消防司令補以下の男性消防吏員のうち、本検証を実施するにあたり検証の目的及び危険性を説明し、被験者となることの同意を得られた者 6 名を被験者とした。被験者は年齢 35.7 ± 6.7 歳、身長 173.2 ± 5.0 cm (平均値 ± 標準偏差) であった。

イ 日程

令和 2 年 10 月 5 日 (月) から同年 10 月 22 日 (木) まで

ウ 場所

*活動安全課

東京消防庁 消防技術安全所 2階 運動学実験室
エ 環境条件

温度と湿度を任意に設定できる恒温恒湿室（三菱重工冷熱社製）にて、先行研究²⁾を参考にし、恒温恒湿室の試験室（以下「試験室」という。）は室温 50℃、60℃、70℃及びコントロール群として 20℃とした。火災室内の湿度は放水により 70%以上になると考えられるが、被験者の安全に配慮して試験室の湿度は 60%に統一した。

恒温恒湿室の前室（以下「前室」という。）は室温を 25℃、湿度を 60%とした。なお、恒温恒湿室は壁一面から給気されており、被験者が運動する範囲はほぼ無風である。

オ 運動条件

(7) 運動負荷

先行研究²⁾を参考にし、火災室内の要救助者を検索及び救出する動作を行った（写真 1）。なお、動作の内容を表 1 に、試験室の状況を図 1 に示す。



写真 1 検索動作中の様子

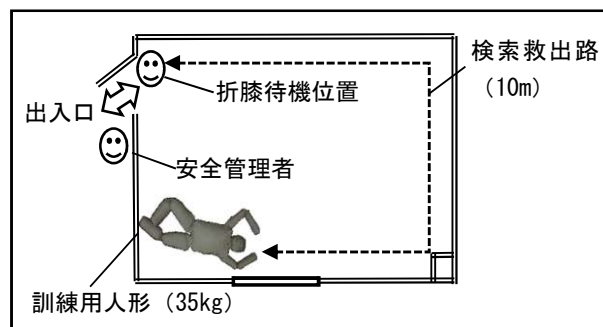


図 1 試験室の状況

カ 着衣条件

執務服の上から防火マスク、長靴、防火衣、空気呼吸器、防火帽、災害現場用手袋の順に、運動開始 5 分前に着装した。さらに、運動開始 2 分前に面体を着装し完全着装とした（写真 2）。



写真 2 完全着装の状態

表 1 動作の内容

順番・項目	時間	動作内容
①進入	3分	防火衣、呼吸器及び面体を着装し 進入
②折膝待機		待機位置で折膝の姿勢にて待機
③検索	1分	10mの検索路を左壁伝いにて検索 (メトロノームにて速度を管理)
④救助	1分	10mの救出路を後襟引張救出により救出 (メトロノームにて速度を管理)
⑤脱出		安全員の誘導で脱出

(4) 運動中止基準

- a 自己申告があった場合
- b 測定者が中止を判断した場合
- c 皮膚温度が 39℃を超えた時点
- d 心拍数が 180bpm を超えた時点

キ 測定項目

(7) 完遂割合

完遂割合は被験者の運動を時間管理し、全 6 名の被験者のうち 5 分間の運動を完遂した者と完遂しなかった者の人数を条件ごとに計数した。

(4) 心拍数

心拍数は心拍数計 RS800CX（ポラール社製、写真 3 右）、測定器 WearLink w. i. n. d（ポラール社製、写真 3 左）を使用し、測定した。測定器を被験者の胸部にバンドで装着し、測定は検証中経時的に実施した。心拍数データは心拍数計へ無線により伝送され、恒温恒湿室前室内で測定者が随時観察した。

(7) 外耳道温度

外耳道温度は高機能温度計 LT-2（グラム社製、写真 4）を使用し、測定した。耳栓型温度センサ LT-2N-13（グラム社製、写真 5）のプローブを被験者の右耳孔に挿入し、測定は検証中経時的に実施した。データは高機能温度計のメモリに記録させた。

(2) 皮膚表面温度

皮膚表面温度は生理的指標としての測定及び運動中止基準となる温度の測定をそれぞれ異なる測定器で実施した。生理的指標としての測定は高機能温度計 LT-2 を使用した。皮膚温センサ LT-2N-12 (グラム社製、写真6) のプローブをサージカルテープ 1530-0 (3M 社製) で貼り付け、体表用断熱カバーP252 (日本光電工業社製、写真7) で覆い、さらに汎用医療補助用テープ No. 75 (ニチバン社製) で覆った。測定箇所は左胸部、左手背部、左膝部とし、測定は検証中経時的に実施した。計測データは高機能温度計のメモリに記録させた。運動中止基準となる温度の測定は熱電対を測定可能な熱流計 LR8432 (日置電機社製、写真8) を使用した。熱電対付熱流センサ Z2016-01 (日置電機社製、写真9) をサージカルテープ 1530-0 (3M 社製) で貼り付け、皮膚温センサと同様にテープとカバーで覆った。測定箇所は右膝部とし、測定は検証中経時的に実施した。データは熱流計のデジタル画面に表示され、その画面を恒温恒湿室の前室で測定者が随時観察した。

(4) 衣服内温度

衣服内の温度は温湿度ロガーハイグロクロン (KN ラボラトリーズ社製、写真 10 左) を使用し、プラスチックケースに入れ (写真 10 右)、安全ピンで衣服の內衣生地へ固定し測定した。測定箇所は執務服内の胸部、防火衣内の胸部及び大腿部とし、運動中経時的に測定を実施した。計測データは温湿度ロガーハイグロクロンのメモリに記録させた。

(5) 質問紙調査

運動実施後に、被験者に質問紙を手渡し、運動中の温覚や不安度について調査した。

(2) 温度表示テープの有効性に係る検証

完全着装し、温度表示テープを防火衣の外衣生地等に貼付した被験者に、暗闇、濃煙及び高温環境における温度表示テープの有効性や視認性を確認させた。

ア 暗闇及び濃煙環境での視認性について

燃焼実験棟 (後述) において、暗闇及び濃煙環境を再現した。当庁では、火災現場における検索救助活動は原則二人一組で実施することを踏まえ、温度表示テープを被験者自身 (以下「自己」という。) 及び係員 (以下「他者」という。) の防火衣の外衣生地等に貼付し、被験者に自己及び他者の温度表示テープの視認性を評価させた。被験者は2つの環境条件を暗闇、濃煙の順に連続して検証した。

(7) 被験者

前(1)、アと同じ被験者6名とした。

(4) 日程

令和2年9月28日 (月) 及び同年9月29日 (火)



(7) 場所

東京消防庁 消防技術安全所 燃焼実験棟

(2) 燃焼実験棟の概要

当施設は、物質を燃焼させて火災性状等を明らかにするための施設であり、棟内に居室に見立てた移動実験室 (内寸: 奥行 3.6m、幅 3.3m、高さ 2.4m) という区画を設けている。本検証は移動実験室 (以下「実験室」という。) を使用した。実験室の外観を写真 11 に示す。



写真 11 実験室の外観

(ア) 環境条件

暗闇及び濃煙環境の2条件とした。暗闇環境は燃焼実験棟及び実験室の各扉を閉鎖し遮光することにより再現した。濃煙環境は遮光した実験室内で発煙筒を使用し白い煙を充満させて再現した。なお、濃煙環境の煙の濃度は、投光器を使用した際に概ね 1.5m 先が見える程度の状況で実施し、煙濃度計を使用して検証中経時的に測定した。その結果、煙による見通しの悪さを表す減光係数は、検証中 0.9~2.7(1/m)であった。

(イ) 検証で使用した温度表示テープ

本検証では、温度を色で表示するタイプ（以下、「色タイプ」という。）と、数字で表示するタイプ（以下、「数字タイプ」という。）の2種類の温度表示テープを使用した。各種類の仕様を表2に示す。また、温度表示テープの貼付部位を表3に、貼付状況を写真12及び13に示す。なお、表3の各部位の番号は視認性の評価を実施した順番であり、写真12及び13中の番号は表3の番号と対応している。

表2 温度表示テープの仕様



	色タイプ	数字タイプ
外観		
表示形式	色	数字
寸法(mm)	縦幅 52、横幅 48	縦幅 10、横幅 92
地色	黒	黒
温度表示域	50°C未満：緑 50~70°C：橙 70°C超：赤	50~100°C (5°Cピッチ)
その他	可逆性あり、シールタイプ	

表3 温度表示テープの貼付部位

対象者	評価実施順・部位
自己（被験者）	①手袋甲部
	②上衣袖
	③膝
	④長靴
	⑤防火帽の後ろ
	⑥腰
	⑦ズボン裾の後ろ
他者（係員）	⑧しころ
	⑨上腕外側
	⑩防火帽の前
	⑪圧力調整器
	⑫ズボン裾の前
	⑬長靴

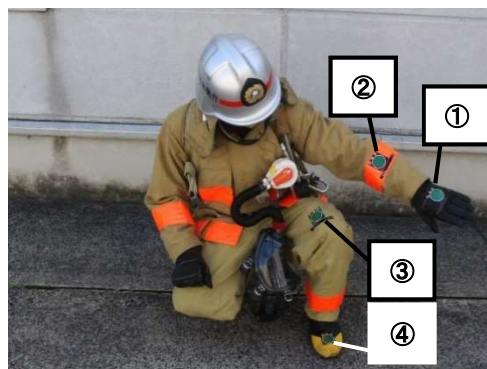


写真12 自己への貼付状況

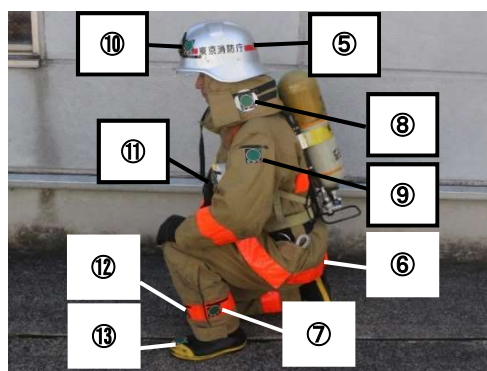


写真13 他者への貼付状況

(ロ) 評価方法

完全着装し、各部位に温度表示テープを貼付した被験者及び他者を実験室内に入室させ、両者間 1.5m の距離を空けて折膝姿勢をとらせ、温度表示テープの視認性を1部位ずつ評価させた。温度表示テープの視認性は、「非常に見やすい」、「見やすい」、「どちらとも言えない」、「見にくい」、「非常に見にくい」の5件法で評価させた。なお、被験者及び他者は携行したトランシーバーで測定者と交信し、被験者は測定者が指示した部位毎に見やすさを連絡した。他者は測定者の指示で向きを変え、開始から「ズボン裾の後ろ」までは被験者に対し背を向け、「しころ」及び「上腕外側」は被験者に対し左手側を向け、「防火帽の前」以降は被験者に対し正対した。測定者は、被験者から連絡のあった部位毎の見やすさをその都度質問紙に記入した。全ての部位を評価後、被験者及び他者を燃焼実験室から退室させた。評価の実施後に、被験者に質問紙を手渡し、各環境条件下での温度表示テープの視認性及び有効性に対するコメントを自由に記述させた。

(リ) 実験中止基準

- a 自己申告があった場合
- b 測定者が中止を判断した場合
- イ 高温環境における有効性について

(1)の検証と併せて実施した。被験者、日程及び場所は前(1)、アからウと同じとした。温度表示テープを前ア、(イ)、表2に示す自己の4部位に貼付した被験者に、試験室内での運動中に温度表示テープを確認させ、運動中に温度表示

テープを確認できたかどうか、温度表示テープの色の変化を確認できたかどうかを運動後に回答させた。なお、温度表示テープの確認部位は任意とした。前(1)、キ、(カ)の質問紙の続きに質問項目を設け、さらに温度表示テープの有効性に対するコメントを自由に記述させた。

(3) 分析について

前(1)及び前(2)、イの温度条件別の比較については、高温環境での絶対的な危険性及び温度表示テープの有用性を評価する目的から記述統計とした。前(2)、アについては統計ソフト IBM SPSS Statistics Version21 を使用し、二要因分散分析 (対応あり、多重比較は Bonferroni 法) を行った。また、自由記述の分析は KH Coder

(2.00f) を使用し、計量テキスト分析 (テキストマイニング) で頻出した語を抽出して、その語同士のつながりを共起ネットワーク図で示した。共起ネットワークとは語のつながりを線で表すものであり、多く出現した単語ほど大きな円で描写され、つながりの強さを線の太さで表している。なお、特徴的な語を認識しやすくするため、共起ネットワーク図上に円を追記した。

(4) 倫理的配慮について

全ての被験者に対して検証の目的、方法を説明するとともに、検証への参加の同意を書面にて得た。なお、本検証は東京消防庁技術改良検証倫理審査専門部会の承認のもと、安全面に十分に配慮し実施した。

3 結果

(1) 受熱による影響に係る検証

測定結果に示す数値は被験者 6 名のものとし、特に断りのない限り平均値±標準偏差とした。

ア 完遂割合

運動の完遂割合について、全ての条件において全ての被験者が 5 分間の運動を完遂した。

イ 心拍数

心拍数について、運動開始時から運動終了時までの平均値を図 2 に示す。心拍数は 70℃条件 (115±12.59bpm) が最も高く、次いで 60℃条件 (99±9.22bpm)、50℃条件 (99±10.39bpm) が同程度で高く、20℃条件 (91±8.61bpm) が最も低かった。

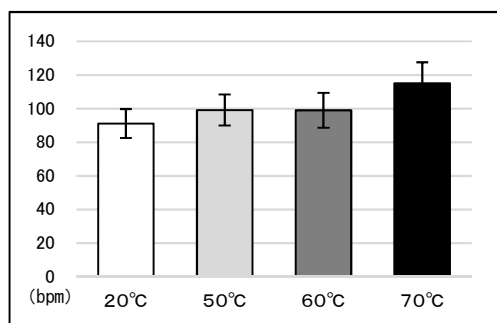


図 2 心拍数

ウ 外耳道温度

外耳道温度及び外耳道温度 (上昇値) について、運動開始時から運動終了時までの 1 分毎の推移を図 3、図 4 に示す。外耳道温度は全ての環境条件において 37℃未満であった。上昇値では、運動終了時で 70℃条件が最も高く (0.41±0.09℃)、次いで 60℃条件、50℃条件、20℃条件であった (60℃ : 0.31±0.11℃、50℃ : 0.27±0.09℃、20℃ : 0.14±0.06℃)。

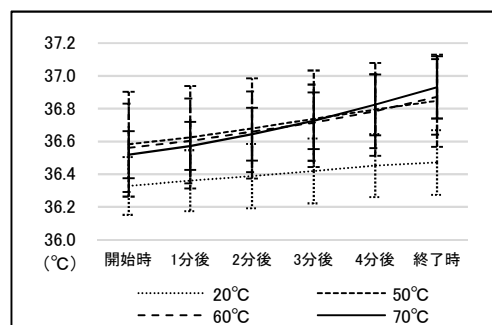


図 3 外耳道温度

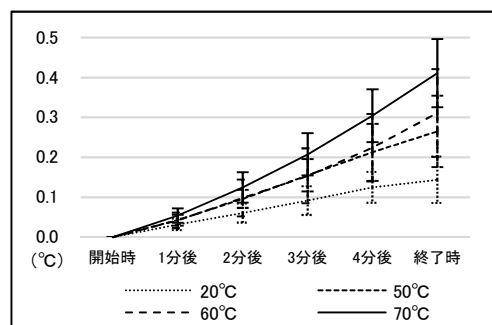


図 4 外耳道温度 (上昇値)

エ 皮膚表面温度

皮膚表面温度について、各部位の運動開始時から運動終了時までの 1 分毎の推移を図 5 から図 7 に示す。皮膚表面温度は全ての部位において 70℃条件で最も温度が上昇したが、胸部においては運動終了時の 50℃条件の温度が 60℃条件より高かった (50℃条件 : 36.6±0.29℃、60℃条件 : 36.52±0.76℃)。また、最も高温である 70℃条件について、部位別の比較を行った (図 8)。運動終了時では、手背部と膝部が同程度で高く (手背部 : 38.48±0.75℃、膝部 : 38.46±0.55℃)、胸部は他の 2 部位より低かった (37.11±0.25℃)。

オ 衣服内温度

衣服内温度について、各部位の運動開始時から運動終了時までの 1 分毎の推移を図 9 から図 11 に示す。衣服内温度は全ての部位において 70℃条件で最も温度が上昇した。また、最も高温である 70℃条件について、部位別の比較を行った (図 12)。運動終了時では、防火衣内 (大腿部) が高く (41.0±1.09℃)、次いで執務服内 (胸部) と防火衣内 (胸部) が同程度であった (執務服内 (胸

部) : $35.8 \pm 1.17^{\circ}\text{C}$ 、防火衣内 (胸部) : $35.8 \pm 1.88^{\circ}\text{C}$ 。

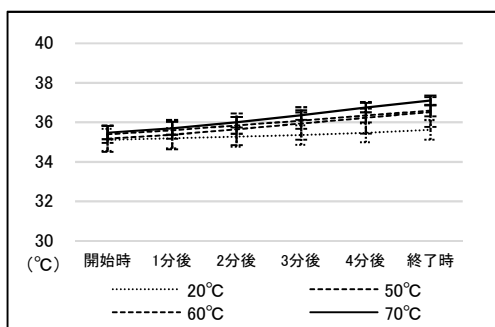


図 5 皮膚表面温度 (胸部)

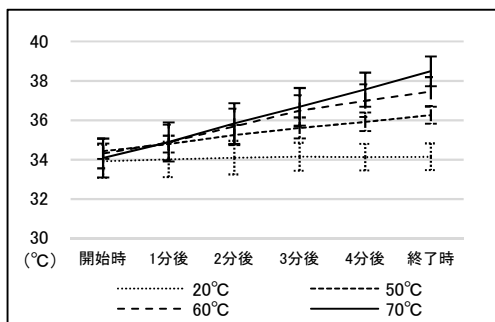


図 6 皮膚表面温度 (手背部)

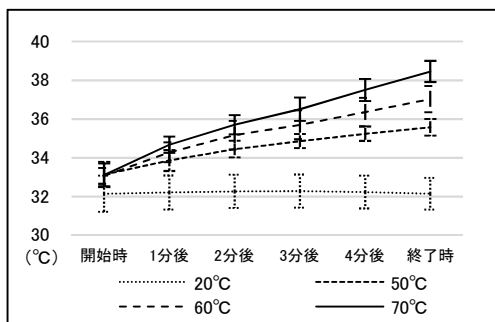


図 7 皮膚表面温度 (膝部)

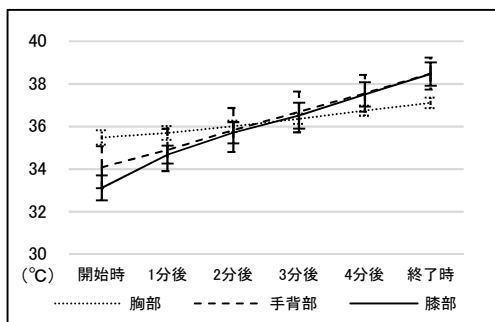


図 8 皮膚表面温度 (部位比較、70°C条件)

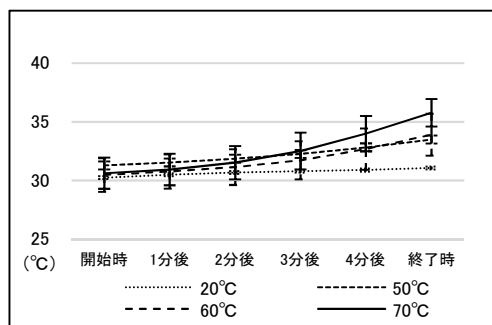


図 9 執務服内温度 (胸部)

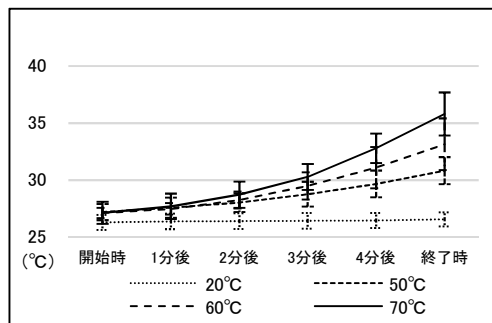


図 10 防火衣内温度 (胸部)

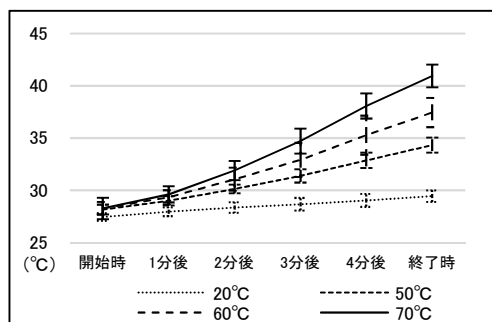


図 11 防火衣内温度 (大腿部)

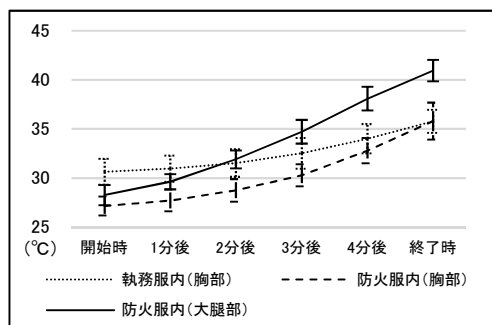


図 12 衣服内温度 (部位比較、70°C条件)

カ 質問紙調査

検証中における熱による感覚及び不安度に関する 5 項目について回答させた。

(7) 最も熱を感じた部位

検証中に最も熱を感じた部位について、人体図の該当箇所を黒く塗りつぶして回答させた結果を図 13 に示す。

回答された部位は「手背部」と「膝部」の2部位のみで、全ての環境条件において「手背部」が最も多く(50℃条件: 66.7%、n=4、60℃条件及び70℃条件: 83.3%、n=5)、次いで「膝部」であった(50℃条件: 33.3%、n=2、60℃条件及び70℃条件: 16.7%、n=1)。なお、20℃条件では全ての被験者が熱を感じなかったため、不感とした(100%、n=6)。

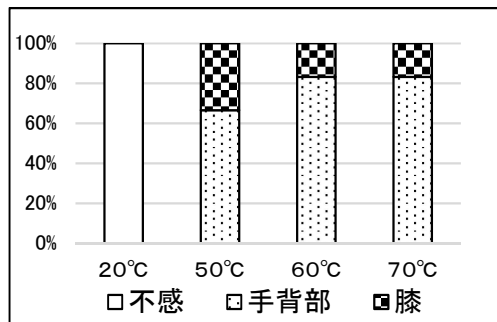


図 13 最も熱を感じた部位

(i) 熱の感覚の度合い

(7)で回答した部位における熱の感覚の度合いについて、「温かい」、「熱い」、「痛い」の3件法で回答させた結果を図14に示す。なお、(7)で回答がなかった被験者には、本項目は回答させなかったため不感として扱った。70℃条件では「痛い」が最も多く(66.7%、n=4)、次いで「熱い」であった(33.3%、n=2)。60℃条件では「温かい」が最も多く(83.3%、n=5)、次いで「熱い」であった(16.7%、n=1)。50℃条件では全員が「温かい」と回答した(100%、n=6)。20℃条件では全員が不感であった(100%、n=6)。

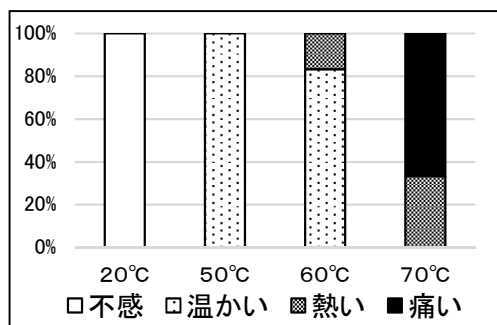


図 14 熱の感覚の度合い

(ii) 熱の感覚が生じた時点

(i)で回答した感覚が生じた時点について、「折膝待機時」、「行き」、「帰り」、「脱出後」の中から回答させた結果を図15に示す。なお、(7)で回答がなかった被験者には、本項目は回答させなかったため不感として扱った。70℃条件では「折膝待機時」、「行き」、「帰り」がそれぞれ同数であった(33.3%、n=2)。50℃及び60℃条件では「折膝待機時」が最も多く(83.3%、n=5)、次いで「帰り」であった(16.7%、n=1)。20℃条件では全員が不感

であった(100%、n=6)。いずれの条件でも「脱出後」と回答した者はいなかった。

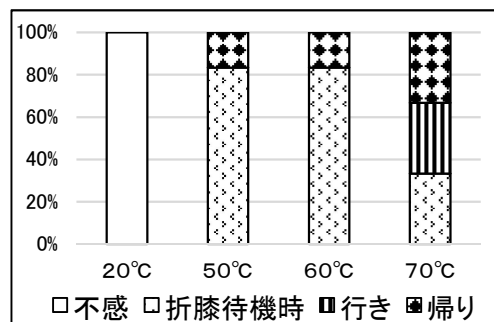


図 15 感覚が生じた時点

(iii) 不安度

検証中に感じた不安の程度について、「低い」、「ふつう」、「高い」、「非常に高い」の4件法で回答させた結果を図16に示す。70℃条件では「高い」が最も多く(66.7%、n=4)、次いで「ふつう」及び「非常に高い」が同数であった(16.7%、n=1)。60℃条件では「ふつう」が最も多く(66.7%、n=4)、次いで「低い」であった(33.3%、n=2)。50℃条件では「低い」が最も多く(83.3%、n=5)、次いで「ふつう」であった(16.7%、n=1)。20℃条件では全員が「低い」と回答した(100%、n=6)。

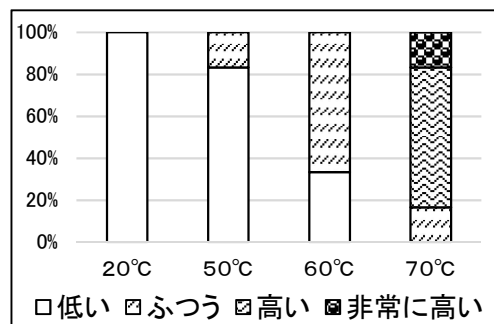


図 16 不安度

(iv) 不安が生じた時点

(ii)で回答した不安を最初に感じた時点について、「入室前」、「折膝待機時」、「行き」、「帰り」、「脱出後」の中から回答させた結果を図17に示す。なお、(ii)で「低い」と回答した被験者には、本項目は回答させなかったため不感として扱った。70℃条件では「帰り」が最も多く(50%、n=3)、次いで「折膝待機時」、「行き」であった(折膝待機時: 33.3%、n=2、行き: 16.7%、n=1)。60℃条件では「帰り」が最も多く(50%、n=3)、次いで不感、「行き」であった(不感: 33.3%、n=2、行き: 16.7%、n=1)。50℃条件では不感が最も多く(83.3%、n=5)、次いで「入室前」であった(16.7%、n=1)。20℃条件では全員が不感であった(100%、n=6)。いずれの条件でも「脱出後」と回答した者はいなかった。

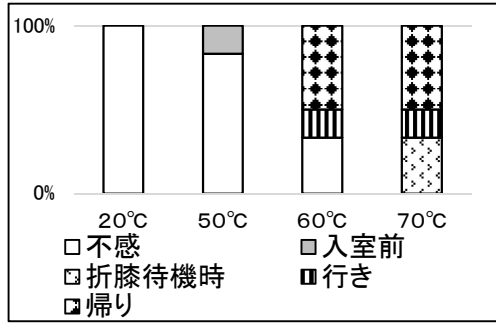


図 17 不安が生じた時点

(2) 温度表示テープの有効性に係る検証

ア 暗闇及び濃煙環境での検証

⑦ 暗闇環境での視認性

暗闇環境での視認性について、各部位における2種類の温度表示テープの視認性を評価した結果を図18に示す。

分析の結果、交互作用が認められたため単純主効果の検定を行った。部位に関しては有意な差は認められなかったが、種類に関しては、「防火帽うしろ」、「ズボン裾うしろ」及び「他者・長靴」で色タイプが数字タイプより有意に高いことが分かった。

自由記述の結果を、共起ネットワーク図(図19)で示す。「手袋甲部」、「上衣袖」及び「腰部」が見やすいこと、「膝」及び「長靴」は面体が邪魔で見づらいことが意見として挙げられていた。

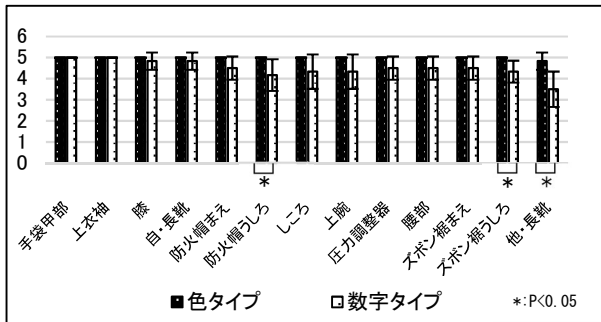


図 18 視認性 (暗闇)

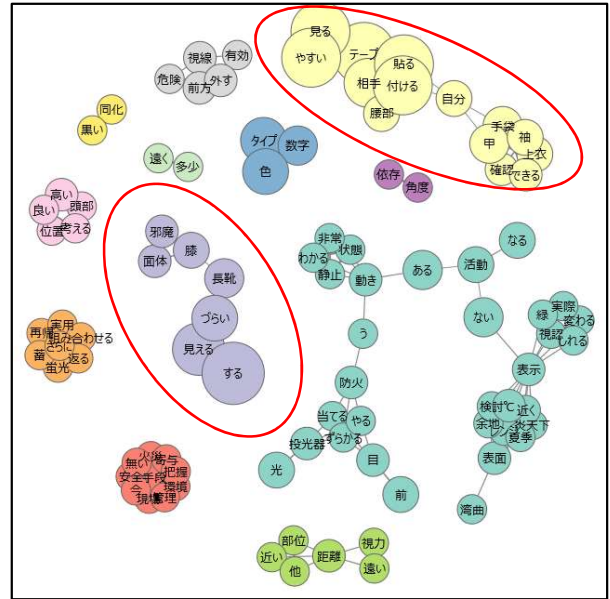


図 19 共起ネットワーク図 (暗闇)

(4) 濃煙環境での視認性

濃煙環境での視認性について、各部位における2種類の温度表示テープの視認性を評価した結果を図20に示す。

分析の結果、交互作用が認められたため単純主効果の検定を行った。部位に関しては数字タイプで有意な差が認められ、「手袋甲部」が「防火帽うしろ」及び「他者・長靴」より、「上衣袖」が「防火帽うしろ」及び「他者・長靴」より、「膝」が「防火帽うしろ」及び「他者・長靴」より、「自己・長靴」が「他者・長靴」よりそれぞれ有意に高いことが分かった。なお、色タイプでは部位間で有意な差は認められなかった。また、種類に関しては、「防火帽うしろ」、「しころ」、「上腕」、「腰部」、「ズボン裾まえ」、「ズボン裾うしろ」及び「他者・長靴」で色タイプが数字タイプより有意に高いことが分かった。

自由記述の結果を図21に示す。数字タイプはテープ全体の地色が黒色のため見にくいこと、長靴と手袋はテープが剥がれやすいこと、相手(他者)に貼り付ける部位は自分から近い方が見やすいこと、高い位置の貼り付け部位は投光器の光を上に向けるのに手間が掛かることが意見として挙げられていた。

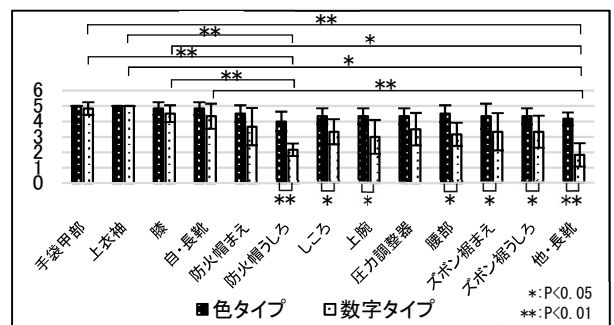


図 20 視認性 (濃煙)

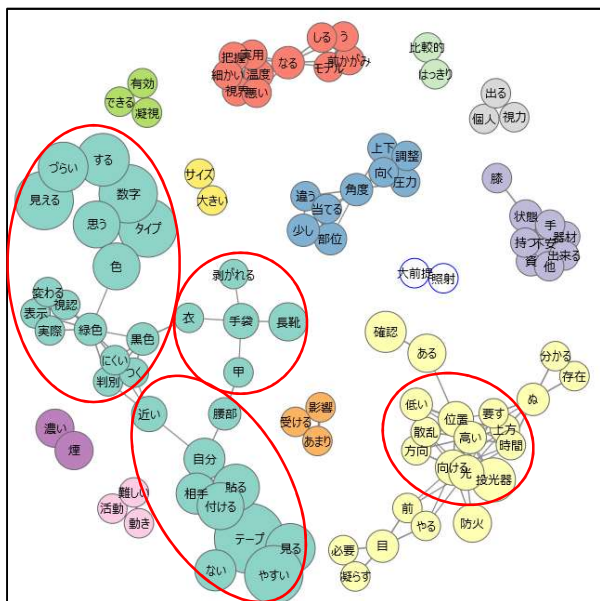


図 21 共起ネットワーク図 (濃煙)

イ 高温環境における有効性

(ア) 運動中の温度表示テープの確認について

運動中に温度表示テープを確認できたかどうかについて、「はい」または「いいえ」で回答させた。全ての環境条件において全員が「はい」と回答した。

(イ) 温度表示テープの色の変化

運動中に温度表示テープの色の変化を確認できたかについて、「はい」または「いいえ」で回答させた結果を図 22 に示す。なお、温度表示テープは表示に変化が表れるのが両タイプとも 50℃からであることから、20℃条件の結果は記載しない。70℃及び60℃条件では、「はい」が最も多く(83.3%、n=5)、次いで「いいえ」であった(16.7%、n=1)。なお、50℃条件では温度表示テープの表示は変化しなかったため、変化せずとして扱った。

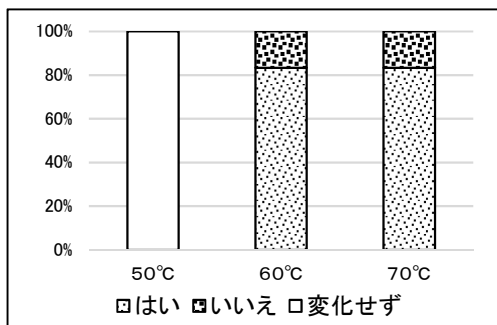


図 22 色の変化の確認の有無

(ウ) 温度表示テープの有効性

温度表示テープの有効性についての自由記述の結果を、環境条件別に共起ネットワーク図(図 23 から図 26)で示す。20℃条件では、熱を感じなければテープを確認する必要がないこと、顔に近づけやすい手袋甲部が見やすいこと

が意見として挙げられていた。50℃条件では、温度環境を把握する術として有効であること、温度レンジは検討の余地があること、手袋甲部は確認しやすいことが意見として挙げられていた。60℃条件では、活動中は色の変化を確認できないこと、上衣袖は腕を前に出す動作に手間が掛かること、緑色からオレンジ色に変わる微妙な温度だったため安全だと思ったことが意見として挙げられていた。70℃条件では、手袋甲部は見やすいこと、帰り(救出中)は見る余裕がないこと、熱による痛みで危険を体感したため、テープの色の変化はいつでもよかったことが意見として挙げられていた。

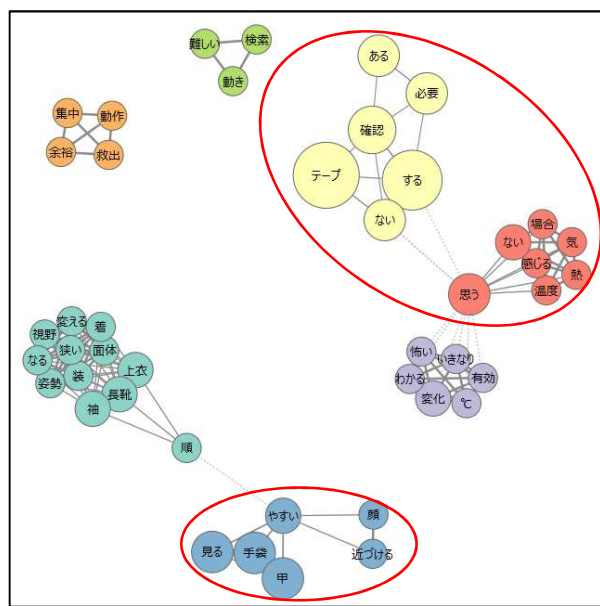


図 23 共起ネットワーク図 (20℃)

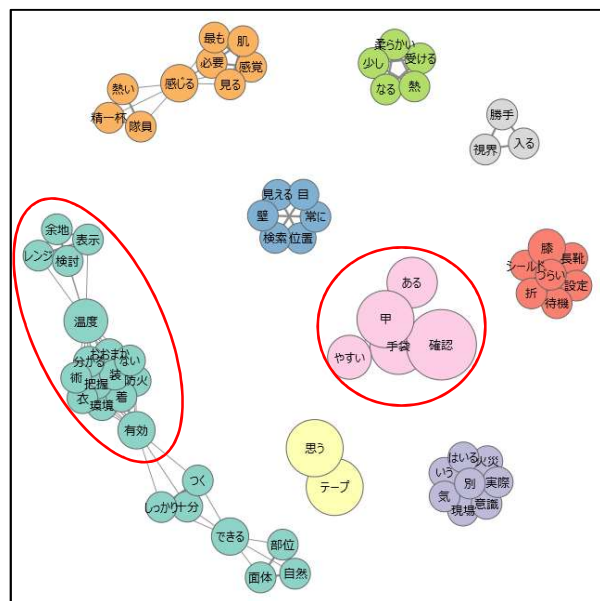


図 24 共起ネットワーク図 (50℃)

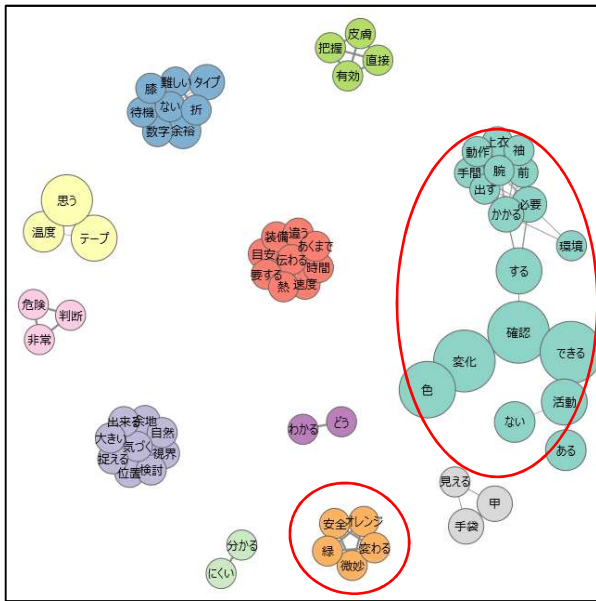


図 25 共起ネットワーク図 (60°C)

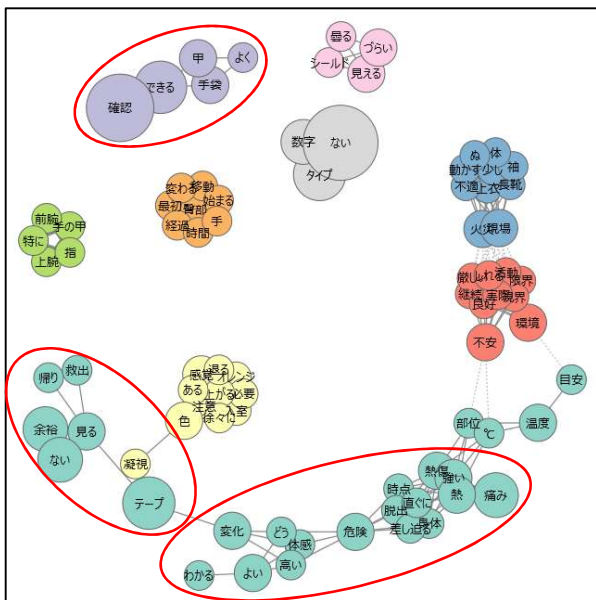


図 26 共起ネットワーク図 (70°C)

4 考察

(1) 受熱による影響に係る検証

ア 完遂割合

運動の完遂割合について、全ての被験者が5分間の運動を完遂した。先行研究では入室2分後に被験者全員が熱による手部の痛みに耐えられず、運動を中止した²⁾。本検証では熱による手部の痛みを感じた被験者がいたものの限界には達しなかった。災害現場用手袋は10年間で多層構造となり、空気層を設けたことで耐熱性能が向上したことが要因と考えられる。

イ 心拍数

心拍数について、環境温度が高くなるにつれて心拍数も

上昇する傾向が見られた。暑熱環境下では皮膚温度の上昇により皮膚血管が拡張し、皮膚血流量が増加することで心拍数の増加をもたらす。また、不安等の心情も心拍数に影響を与えたと考えられる。不安は交感神経を興奮させ、ノルアドレナリンを放出し心拍数を増加させる³⁾。皮膚表面温度は70°C条件で最も上昇し、不安度も環境温度の上昇に伴って高くなったことから、これらの要因が心拍数に影響を与えたと考えられる。なお、ISO9886⁴⁾では心拍数による熱ストレスの評価指標が示されており、作業中の持続心拍数は $[180 - (\text{年齢})]$ を超えてはならないとされている。この基準を本検証の被験者の平均年齢(35.7歳)に照らし合わせると持続心拍数は144.3回/分となるが、本検証では最も心拍数が高かった70°C条件で115回/分であったことから、心拍数に危険性は認められなかった。

ウ 外耳道温度

外耳道温度について、環境温度が高くなるにつれて外耳道温度も上昇する傾向が見られた。これは、高温にばく露し外耳道周辺の皮膚温度が上昇したことにより、外耳道温度も上昇したと考えられる。なお、ISO12894⁵⁾では暑熱環境における深部体温は38°C以下にすべきとされているが、本検証では最も外耳道温度が高かった70°C条件で36.93°Cであったことから、外耳道温度に危険性は認められなかった。

エ 皮膚表面温度

皮膚表面温度について、部位によって温度上昇幅に差が見られた。胸部は他の部位よりも皮膚表面温度が上昇しなかったが、これは折膝待機時の防火衣上衣内に空気層が十分確保されていたため外界からの熱伝導が抑制され、皮膚表面温度にあまり影響を与えなかったためと考えられる。一方、手背部と膝部は同程度で胸部より高かった。手背部の皮膚表面温度の上昇は災害現場用手袋の構造を反映していると考えられる。災害現場用手袋は多層構造になっているものの、作業性を考慮し空気層は薄い構造になっている。そのため防火衣の上衣と比較すると熱が伝導しやすく皮膚表面温度が上昇したと考えられる。また、膝部は折膝姿勢により防火衣ズボンの膝部の生地が突っ張り、防火衣内の空気層が押しつぶされ、熱伝導が促されたため皮膚表面温度が上昇したと考えられる。なお、作業時の局所皮膚温の限界値は43°Cとされているが⁶⁾、本検証では最も温度が高かった手背部と膝部でそれぞれ38.48°C、38.46°Cであったことから、皮膚表面温度に危険性は認められなかった。

オ 衣服内温度

衣服内温度について、70°C条件の終了時の執務服内(胸部)と防火衣内(胸部)は同程度であった。防火衣の表生地から皮膚までの間には積層生地、裏生地、執務服、肌着からなる多くの層が存在するため、高温環境ではより外側の層が高温になることが推測出来る。70°C条件の終了時の胸部での執務服内温度と防火衣内温度では差が見られなかったが、運動開始時点で防火衣内温度の方が低かったこ

とにより 5 分間の上昇幅では防火衣内温度が大きく、同条件で高温ばく露が 5 分を超える場合は防火衣内温度の方が高温になると考えられる。また、防火衣内 (大腿部) では顕著な温度上昇が見られ、防火衣内 (胸部) と比較すると 70℃条件の終了時で 5℃以上の差が見られた。これは、皮膚表面温度の膝部の温度上昇と同様の機序によるものと考えられ、高温環境で防火衣内の空気層が圧迫されることが防火衣内温度の上昇のリスクを高めると考えられる。

カ 質問紙調査

(7) 最も熱を感じた部位について

最も熱を感じた部位は「手背部」が最も多かった。皮膚表面温度の結果では手背部と膝部で同程度まで温度上昇したが、皮膚の温度感受性には部位差があり、手背部は膝 (下腿) よりも感受性がよいことが示されている⁷⁾。このことから、「手背部」に最も熱を感じたという回答は多くなり、改良が重ねられた災害現場用手袋を着装していても、手背部では外的温度状況を感じやすいと考えられる。

(8) 熱の感覚の度合い及び感覚が生じた時点について

熱の感覚の度合いについて、70℃条件では「痛い」が最も多かったが、「熱い」と回答した被験者もいた。また、熱の感覚が生じた時点について、70℃条件では「折膝待機時」、「行き」、「帰り」が同数であった。被験者全員が「折膝待機時」に「痛い」と感じて実験を中止した先行研究²⁾と比較すると、災害現場用手袋の耐熱性能が向上していることが確認できた。

(9) 不安度及び不安が生じた時点について

不安度について、70℃条件では「高い」または「非常に高い」の回答が 8 割程度であった。また、不安を感じた時点について、70℃条件では検索救出動作中である「行き」及び「帰り」が 7 割程度であった。熱の感覚が生じた時点においても検索救出動作中が 7 割程度であったため、出入口から離れることにより「危険を感じてもすぐに脱出が出来ない」という心理が働き、不安が生じた可能性も考えられる。

(2) 温度表示テープの有効性に係る検証

ア 視認性について

温度表示テープの視認性について、暗闇環境ではどの部位においても視認性は概ね高かった。これは、暗闇環境において温度表示テープに投光器を照射した際には光の反射により視認性に影響を与えなかったためであると考えられる。なお、温度表示テープの種類別では「防火帽うしろ」「ズボン裾うしろ」及び「他者・長靴」で色タイプが数字タイプより視認性が有意に高かったが、これらの部位は他者の僅かな姿勢の変化によって被験者の視線に対して見えにくい角度に向きやすく、表示の小さい数字タイプはその影響を受けやすいと考えられる。

濃煙環境では数字タイプで有意な部位差が認められた。煙の濃度はわずかな変化で数十 cm の見通しに影響を及ぼす。そのため、自分の目に近づけられる部位またはわずかでも自分に近い部位で視認性が高くなり、わずかでも遠い

部位は視認性が低くなる。なお、他者に貼付した部位の中で特に自分に近い部位は、「防火帽まえ」と「腰部」であり、特に自分から遠い部位は「防火帽うしろ」と「他者・長靴」である。通常、折膝姿勢では上体が前屈みになっており、他者の折膝姿勢を後方から見ると頭部はわずかながら遠くに位置する。また、「他者・長靴」は被験者の目の高さから最も低い位置にあり、わずかではあるが他の部位に比べて高低差による距離が生じた。そのため、「防火帽うしろ」と「他者・長靴」は視認性が低くなったと考えられる。温度表示テープの種類別では他者に貼付した 7 つの部位で色タイプが数字タイプより視認性が有意に高かった。その中でも顕著な差が見られたのは「防火帽うしろ」と「他者・長靴」であり、前述の部位差の原因と同様であると考えられる。なお、特に他者に貼付したほとんどの部位について数字タイプが色タイプよりも視認性が低い原因は、濃煙環境では投光器の光が煙に乱反射し視界がぼやける中、他者との距離が離れており、なおかつ数字タイプの表示が小さいためであると考えられる。

両環境条件での自由記述では、「手袋甲部」、「上衣袖」、「腰部」が見やすいこと、部位によっては剥がれやすいこと、数字タイプは見にくいこと、高い位置の貼付部位は投光器の照射に手間が掛かることが意見として挙げられていた。本検証で使用した温度表示テープの粘着力では、防火衣及び災害現場用手袋の布地及び長靴に貼付した際に剥がれやすかったため、テープが剥がれにくい材質の部位に貼付するか、テープ自体を剥がれにくくする必要がある。また、投光器を上方に照射することは手間が掛かるだけでなく、「防火帽まえ」を照射した際には他者の目に光を当てておそれがあり危険であると考えられる。

イ 有効性について

温度表示テープの有効性について、被験者全員が運動中に温度表示テープを確認することが出来たが、色の変化を確認できなかった被験者が 1 名いた。その 1 名の自由記述には色の変化を確認出来なかった理由として、60℃、70℃の高温環境では熱感覚に気を取られ、温度表示テープを確認する余裕がなかったと記述されている。実際の火災現場となれば任務へのプレッシャーや状況判断にさらに気を取られることが予想され、温度表示テープの色の変化に注意しながらの活動は容易ではないと考えられる。一方、有効性についての他の被験者の自由記述では、「手袋甲部」は環境温度に関わらず見やすいという意見が挙げられていた。これは、検索救助中に進退路を見失わないように手で壁を伝って移動する「壁伝い」を行う中で、手袋が容易に視界に入るためであると考えられる。「膝」と「長靴」は、完全着装の状態では面体及びしころが視界を狭め容易に確認できず、「上衣袖」は「手袋甲部」と同じく容易に見やすいものの、少し腕を前に出す動作が必要であるという意見が挙げられていた。また、温度表示テープの必要性に関する意見として、20℃条件では熱を感じなかったため、温度表示テープを確認する必要がなかったことや、70℃条

件では高温により瞬時に熱を体感したため、温度表示テープを確認しなくても危険であることを判断できたという意見が挙げられていた。50℃、60℃条件では温度表示テープが有効であるという旨の意見が挙げられていた。これは、50℃、60℃条件では温覚は感じるものの防火衣等を通してでは環境温度が危険かどうか判断できない、微妙な温度域であるためと考えられる。これらのことから、環境温度を把握する手段として温度表示テープは一定の効果を有すると考えられる。

5 まとめ

本検証では、消防隊員の受熱による身体への影響や温度表示テープの有効性等について検証した。その結果、次のような点が明らかとなった。

- (1) 先行研究から 10 年以上が経過したが、個人装備品を完全装着した状態で外的温度を最も敏感に感じ取れる部位は手背部であることに変わりはなかった。
- (2) 温度表示テープは色タイプが数字タイプよりも見やすく、貼付部位は自分の目に近づけられる、もしくは自分から少しでも近くなる部位が適している。推奨する部位は、自己では「手袋甲部」「上衣袖」、他者では「腰部」である。
- (3) 温度表示テープは、火災により高温となった室内での環境温度を把握する術として有効である。

[参考文献]

- 1) 相河好江ほか 4 名：防火衣の受熱に関する検証（第 2 報）、消防技術安全所報 No. 52、pp. 4-11、2015.
- 2) 三野正浩ほか 3 名：火災室内の検索救助活動時における消防隊員の生理的・心理的变化に係る検証、消防技術安全所報 No. 45、pp. 84-88、2008.
- 3) 印藤智一ほか 5 名：心拍変動を用いた新たなストレスマーカ一の検討（第 1 報）、北海道科学大学研究紀要 No. 48、pp. 1-8、2020.
- 4) ISO9886: Evaluation of thermal strain by physiological measurements、2004.
- 5) ISO12894: Ergonomics of the thermal environment、medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments、2001.
- 6) 澤田晋一：作業温熱ストレインの評価、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、p. 460、2010.
- 7) 内田幸子：皮膚温度感受性の加齢変化、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、p. 253、2010.

Study on the Heat Effects on Firefighters

ASAHI Sho*, SHIMIZU Yuji*, SHIMIZU Tetsuya*

Abstract

The purpose of this study was to clarify the physiological and subjective effects of heat on firefighters, and to clarify the effectiveness of "temperature display tapes" in search and rescue operations. Physiological and subjective indicators were measured by exercising in full equipment in a high temperature environment. The visibility of the temperature display tape in a poor visibility environment was also evaluated. The results found that the hands are most susceptible to heat in a high temperature environment and the temperature display tape was visible in color and should be pasted somewhere that is within the visual field of the user. The thin air layer and high temperature sensitivity of the hands are thought to make them susceptible to the heat, and the visibility in smoke of the temperature display tape is influenced by its size and proximity. Personal equipment has improved resistance to high heat, however the hands are most susceptible to feeling heat, and the temperature display tape is visible even in poor visibility environments, such as in thick smoke, making it an effective method of gauging the environmental temperature.

* Operational Safety Section