

新型防火衣のヒートストレス等の検証

鈴木 峻^{*}、清水 祐二^{**}、清水 鉄也^{**}

概要

当庁が装備する防火衣は ISO（国際標準化機構）が策定する規格の性能を有し、平成 8 年の導入以来、上衣に安全帯を取り付けた形状を仕様としている。平成 31 年 4 月 20 日に発隊した統合機動部隊の統合指揮隊用に試行され、令和 2 年 4 月より本運用された防火衣（以下「新型防火衣」という。）は、防火衣ズボンに安全帯を取り付けているため、ヒートストレスの緩和が見込まれる新たな仕様となっている。そこで本検証では、一般隊員が現在使用している防火衣（以下「現行防火衣」という。）と新型防火衣のヒートストレスによる影響や使用感等を比較し、今後の防火衣の仕様を検討する際の資料とすることを目的とした。防火衣を着装した被験者に暑熱環境下で運動負荷を与え、生理的、主観的指標を評価した。

その結果、現行防火衣及び新型防火衣のヒートストレスによる身体への影響は概ね同等であること、歩行時における主観的評価並びに防火衣の上衣及びズボンの質問紙調査における評価は新型防火衣の方が良好であることが分かった。

1 はじめに

当庁が装備する防火衣は ISO が策定する規格の性能を有し、平成 8 年の導入以来、上衣に安全帯を取り付けた形状を仕様としている。新しく発隊した統合機動部隊の統合指揮隊専用として試行され、令和 2 年 4 月より本運用された新型防火衣は、狭い車内での活動を考慮しており、防火衣外側の付属品を極力少なくし、防火衣ズボンに安全帯を取り付けているため、ヒートストレスの緩和が見込まれる新たな仕様となっている。しかし、当庁に導入されるのは初めてであり、着用時のヒートストレスについては検証されていない。

そこで本検証では、現行防火衣と新型防火衣のヒートストレスによる影響や使用感等を比較し、今後の防火衣の仕様を検討する際の資料とすることを目的とした。

2 検証方法

恒温恒湿室の試験室で暑熱環境を再現し、現行防火衣または新型防火衣を着装した被験者に対して 10 分間安静にさせ体温及び心拍数を安定させた後、歩行運動を 30 分間負荷した。その後 20 分間の休息をとらせ、合計 60 分間の生理的・主観的指標を運動中と休息中に分けて評価した。各被験者は 2 つの防火衣について、順不同で検証を実施した。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を得た。

(1) 被験者

健康診断による就業区分が「W1」（通常勤務可）に属

する消防技術安全所及び装備課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（8 名）を被験者とした。被験者は年齢 37.9 ± 5.0 歳、身長 169.3 ± 6.4 cm であった。

(2) 日程

令和元年 8 月 7 日（水）から同年 9 月 30 日（月）まで

(3) 場所

東京消防庁 消防技術安全所 2 階 運動学実験室

(4) 環境条件

恒温恒湿室（三菱重工冷熱社製）にて、試験室は室温 32°C 、湿度 60% とした。これは、東京の 2016 年から 2018 年までの 7・8 月の日の最高気温の平均値 31.4°C を参考にした¹⁾。湿度は太陽近似光照射装置（反射型メタルハライドランプ）CMR360・L/BU-N・D-TYW（GS ユアサライトニング社製）が点灯可能範囲で最も高湿度環境である 60% とし、太陽近似光を照射した。

前室は室温を 25°C 、湿度を 60% とした。これは、夏日とされる日の最高気温が 25°C 以上であり、試験室との差異を室温のみに限定するためである。なお、試験室は壁一面から給気されており、被験者が運動するトレッドミル上はほぼ無風である。

試験室内にパーテーションで区切った日影部分を設定し、そこに椅坐位で休息をとらせた（写真 1、写真 2）。

* 杉並消防署 ** 活動安全課



写真1 パーテーション設置状況

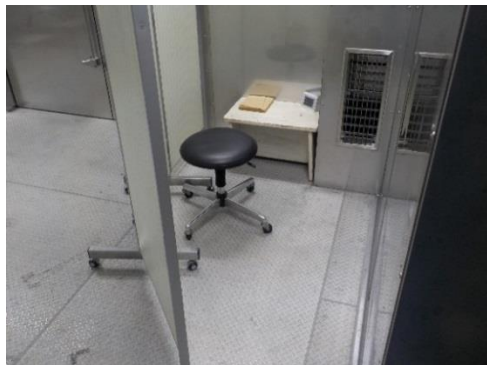


写真2 パーテーション内側

(5) 運動条件

ア 運動負荷

トレッドミル INTDX (LifeFitness 社製) 上で 30 分間の歩行運動を実施させた(写真3)。スタート時は時速 4 km、1 分後に時速 5 km、2 分後以降は時速 6 km に速度を変えた。



写真3 運動の様子

イ 運動中止基準

- (ア) 自己申告があった場合
- (イ) 測定者が中止を判断した場合
- (ウ) 以下の3つの基準のうち2つ以上満たした場合

外耳道温度が 38.0℃ に到達した時点、自覚的運動強度の値が 18 を超えた時点 (被験者には一定値を超えた時点と説明)、心拍数が 180bpm を超えた時点とした。

なお、予備検証の結果、外耳道温度が 39℃ を超える可

能性もあったため、外耳道温度が 39℃ を超えた場合は他の基準を満たさなくても運動を中止させた。

(6) 着衣条件

執務服の上から個人装備品 (防火衣、防火マスク、防火帽、災害現場用手袋の順) を着装した。

(7) 休息条件

ア 休息时间

個人装備品を着装した状態で 20 分間とした。

イ 休息中の水分補給

休息開始直後に 200mL の冷水 (冷蔵庫で冷やした 7 ± 1℃ のもの) とした。

(8) 個人装備品

本検証で使用した個人装備品の重量を表 1 に示す。なお、現行防火衣及び新型防火衣を表 2 に示す。

表 1 個人装備品の重量 (kg)

	現行	新型
防火帽	1.05	1.05
防火衣上衣	2.65	1.60
防火衣ズボン	1.15	2.00
防火マスク		0.12
災害現場用手袋		0.90
長靴		2.5
総重量	8.32	8.17

表 2 現行及び新型防火衣

	現行	新型
防火帽		
防火衣上衣		
防火衣ズボン		

(9) 測定項目

ア 運動時間及び休息時間

運動時間は卓上型デジタル時計 wave ceptor ID-52J (カシオ社製) を使用し、時間管理した。

イ 推定発汗量

推定発汗量は検証開始前と検証終了後に体組成計 innerScan DUAL (タニタ社製) で裸体重を測定し、式 (1) により 1 分あたりの推定発汗量を算出した。
 推定発汗量 (mL/m) = {検証開始前の体重(kg) - (検証終了後の体重(kg) - 休息時の水分摂取量(L))} / 試験室に入室してから休息終了までの時間(m) × 1,000 (1)

ウ 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。耳栓型温度センサー 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デジタル画面に表示され、その画面を恒温恒湿室試験室内で測定者が随時観察した。

エ 平均皮膚温度

皮膚温度は高機能温度計 LT-2 を使用し、Roberts らの 3 点法²⁾ にて測定し、式 (2) により平均皮膚温度を算出した。皮膚温センサー LT-2N-12 (グラム社製、写真 6) のプローブを胸部、上腕部、大腿部にそれぞれサージカルテープ 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 左:裏 (シール部分)、右:表) 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。測定は検証中経時的に実施した。データは高機能温度計のデジタル画面に表示されるが、防火衣の胸ポケットに挿入し、太陽近似光や外気温から保護した。

平均皮膚温度 (°C) = 0.25 × 皮膚温度(腕) + 0.43 × 皮膚温度(胸) + 0.32 × 皮膚温度(大腿) (2)

オ 心拍数

心拍数は心拍数計 RS800CX (ポラール社製、写真 8 右) を使用し、測定した。測定器 WearLink w.i.n.d (ポラール社製、写真 8 左) を装着したバンドを被験者の胸部に装着し、測定は検証中経時的に実施した。心拍数データは腕時計型受信機へ無線により伝送され、恒温恒湿室試験室内で測定者が随時観察した。

カ 防火衣内の温度及び湿度

防火衣内の温度及び湿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 9 左) を使用し、通気孔があるプラスチックケースに入れ (写真 9 右)、安全ピンで防火衣の内衣生地に固定し測定した。測定箇所は防火衣内の胸部、腹部、背部、腰部、大腿部、膝部に設定し、運動中経時的に測定を実施した。

キ 主観的指標

熱的感觉、熱的快適性、自覚的運動強度、筋肉疲労を試験室に入室してから、10 分毎に測定した。



ク 質問紙調査

質問紙にて、防火衣等の快適性等について各検証終了後に調査した。

(10) 統計に基づく分析

分析に使用した統計検定法を表 3 に示す。統計ソフトは IBM SPSS Statistics Version21 を使用し、自由記述にあつては KH Coder (2.00f) を使用した。なお、有意確率 1% 及び 5% を統計学的に有意とした。

表 3 使用した統計検定法

検定項目	検定法
運動時間及び休息時間	t 検定 (対応あり)
推定発汗量	
外耳道温度	二要因分散分析 (対応あり) 多重比較は Bonferroni 法
平均皮膚温度	
心拍数	
防火衣内の温度及び湿度	主観的指標
質問紙調査 (各項目)	
質問紙調査 (自由記述)	計量テキスト分析 (テキストマイニング)

3 結果

各項目の測定結果については、被験者 8 名のものとし、平均値 ± 標準偏差とする。以下、図中の n.s. は有意差なし、** は有意確率 1% 水準、* は有意確率 5% 水準で有意であることを表す。

(1) 運動時間及び休息時間

運動時間を図 1、休息時間を図 2 に示す。被験者 8 名のうち、運動 30 分を完遂した者は現行防火衣で 4 名、新型

防火衣で4名であった。現行防火衣及び新型防火衣では、運動中止基準に達した4名はそれぞれ、外耳道温度が38℃及び自覚的運動強度が一定値に達した者が1名、外耳道温度が38℃及び心拍数が180bpmに達した者が1名、外耳道温度が39℃に達した者が2名だった。また、休息20分を完遂した者は現行防火衣で7名、新型防火衣で7名だった。現行防火衣及び新型防火衣で休息を中止した1名は自己申告により、休息を中止した。

運動時間及び休息時間について、現行防火衣と新型防火衣に有意な差は認められなかった。

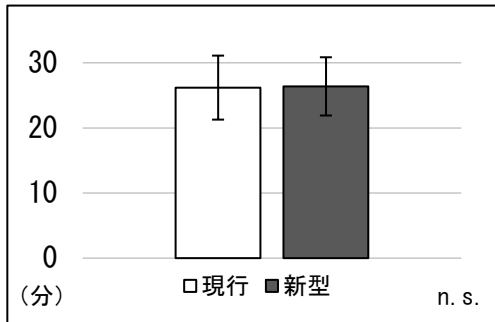


図1 運動時間

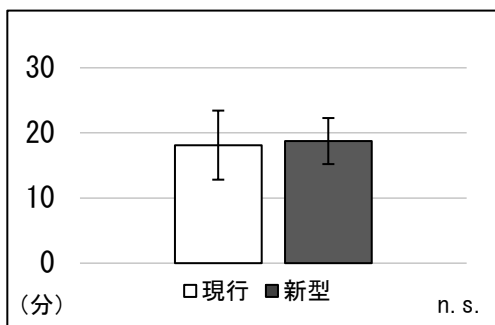


図2 休息時間

(2) 推定発汗量

被験者によって運動時間や休息時間が異なるため、1分あたりの推定発汗量を算出し、図3に示す。推定発汗量について、現行防火衣と新型防火衣に有意な差は認められなかった。

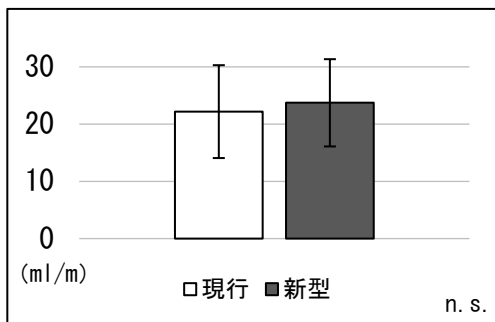


図3 1分あたりの推定発汗量

(3) 外耳道温度

試験室へ移動する10分前(着装)を基準とし、経時的な外耳道温度を図4に示す。外耳道温度について、現行防火衣と新型防火衣に有意な差は認められなかった。

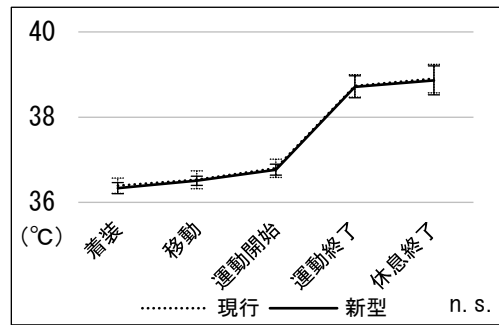


図4 外耳道温度

(4) 平均皮膚温度

試験室へ移動する10分前(着装)を基準とし、経時的な平均皮膚温度を図5に示す。平均皮膚温度について、現行防火衣と新型防火衣に有意な差は認められなかった。

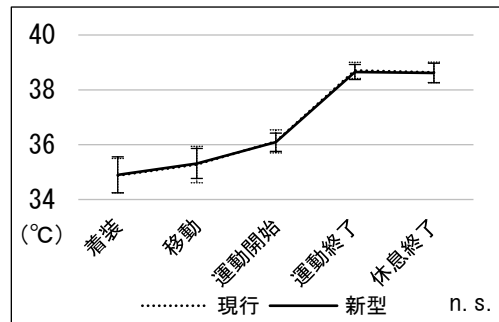


図5 平均皮膚温度

(5) 心拍数

運動終了直前の10秒間の平均値(最高値)、運動中の平均値、休息中の平均値を図6に示す。心拍数について、現行防火衣と新型防火衣に有意な差は認められなかった。

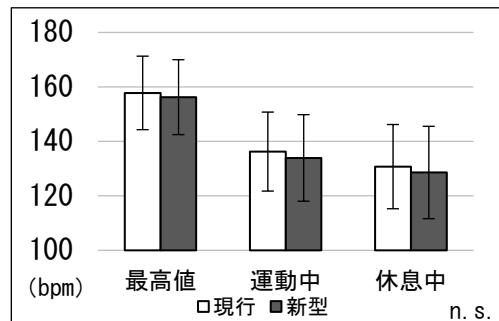


図6 心拍数

(6) 防火衣内温度及び湿度

試験室へ移動する 10 分前（着装）を基準とし、経時的な防火衣内温度及び湿度を図 7 から図 18 に示す。休息中の評価にあつては、「運動終了」を「休息開始」と読み替えるものとする。また、「着装」から「運動終了」を「運動中」とし、「休息開始」から「休息終了」を「休息中」とする。

防火衣内温度については、運動中の腹部及び背部において、現行防火衣と新型防火衣に有意な差が認められた。腹部にあつては、交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、着装時（現行 $27.7 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 、新型 $27.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$ ）、移動時（現行 $30.4 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 、新型 $28.4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ）、及び運動開始時（現行 $33.1 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、新型 $31.3 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ）において、新型防火衣の方が低いことが分かった。背部にあつては、交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、運動終了時（現行 $41.3 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、新型 $39.4 \pm 0.9^\circ\text{C}$ ）において、新型防火衣の方が低いことが分かった。また、休息中の背部及び大腿部において、現行防火衣と新型防火衣に有意な差が認められた。背部にあつては、交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、休息開始時（現行 $41.3 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 、新型 $39.4 \pm 0.9^\circ\text{C}$ ）において、新型防火衣の方が低いことが分かった。大腿部において、現行防火衣の方が低いことが分かった。

防火衣内湿度については、運動中の腹部、背部及び膝部において、現行防火衣と新型防火衣に有意な差が認められた。腹部にあつては、交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、運動終了時（現行 $71.9 \pm 7.8\%$ 、新型 $64.7 \pm 4.9\%$ ）において、新型防火衣の方が低いことが分かった。背部及び膝部にあつては、現行防火衣の方が低いことが分かった。また、休息中の腹部、背部及び大腿部において、現行防火衣と新型防火衣に有意な差が認められた。腹部にあつては、新型防火衣の方が低いことが分かった。背部にあつては、現行防火衣の方が低いことが分かった。大腿部にあつては、交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、休息終了時（現行 $86.3 \pm 2.3\%$ 、新型 $80.3 \pm 4.1\%$ ）において、新型防火衣の方が低いことが分かった。

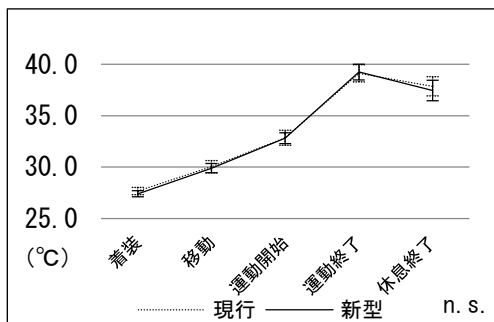


図 7 防火衣内温度（胸部）

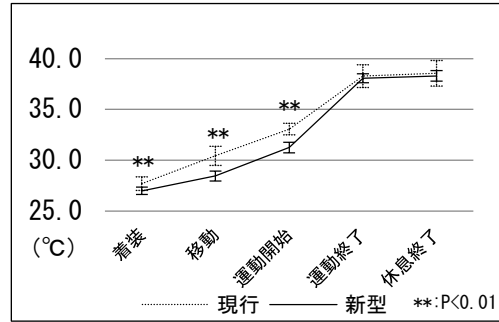


図 8 防火衣内温度（腹部）

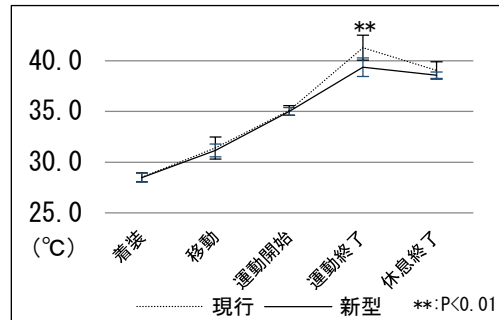


図 9 防火衣内温度（背部）

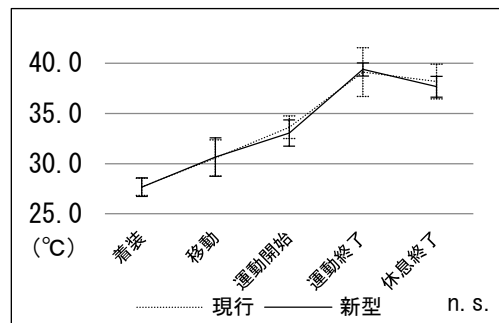


図 10 防火衣内温度（腰部）

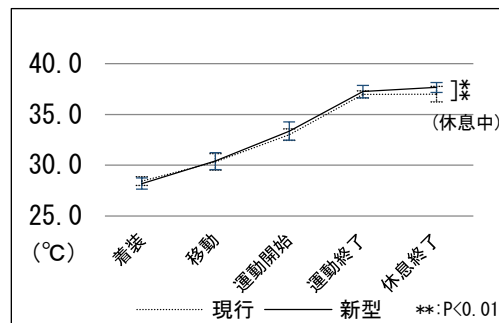


図 11 防火衣内温度（大腿部）

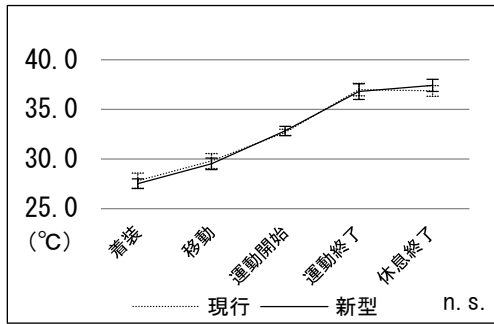


図 12 防火衣内温度 (膝部)

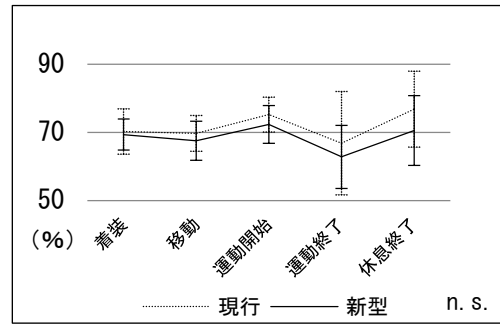


図 16 防火衣内湿度 (腰部)

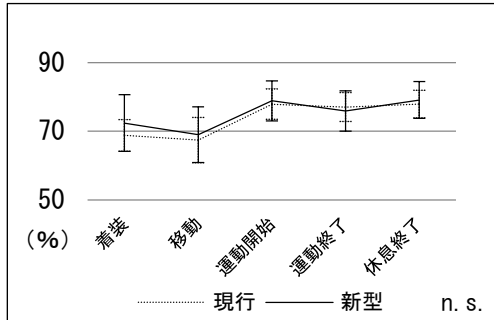


図 13 防火衣内湿度 (胸部)

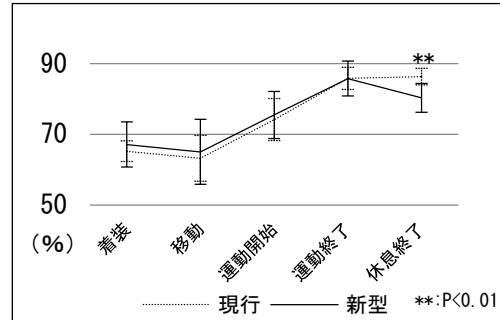


図 17 防火衣内湿度 (大腿部)

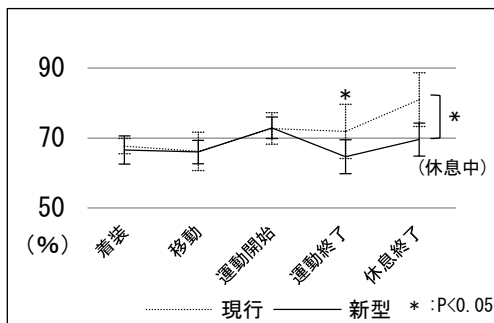


図 14 防火衣内湿度 (腹部)

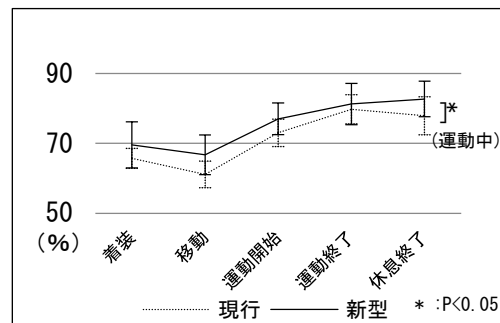


図 18 防火衣内湿度 (膝部)

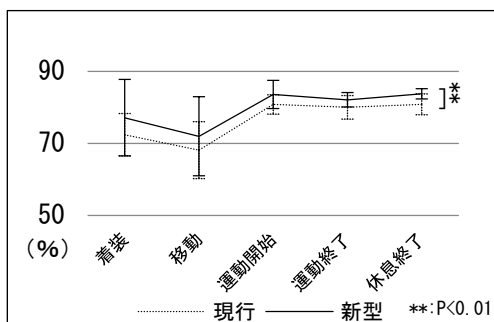


図 15 防火衣内湿度 (背部)

(7) 主観的指標

前室から試験室へ入室してから 10 分毎に測定した主観的指標を図 19 から図 25 に示す。休息中の評価にあつては、「運動終了」を「休息開始」と読み替えるものとする。また、「着装」から「運動終了」を「運動中」とし、「休息開始」から「休息 20 分」を「休息中」とする。

熱的感覚は、「非常に寒い (-4 点)」から「非常に暑い (4 点)」の 9 件法 (1 点単位) で尋ねた。熱的感覚について、運動中及び休息中において現行防火衣と新型防火衣に有意な差は認められなかった。

熱的快適性は、「非常に不快 (-3 点)」から「快適 (0 点)」の 4 件法 (1 点単位) で尋ねた。熱的快適性について、運動中及び休息中において、現行防火衣と新型防火衣に有意な差は認められなかった。

自覚的運動強度は、「非常に楽」から「非常にきつい」の疲労度を 6~20 の等級で尋ねた。自覚的運動強度について、休息中において、有意な差が認められ、新型防火衣

の方が低いことが分かった。

各部位の筋肉疲労は「全く疲れていない（0点）」から「非常に疲れている（3点）」の7件法（0.5点単位）で尋ねた。筋肉疲労について、運動中の下肢にあつては、交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、運動終了時（現行 1.7 ± 0.3 点、新型 1.3 ± 0.4 点）において、新型防火衣の方が低いことが分かった。

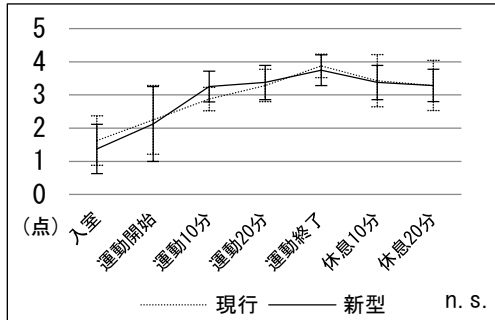


図 19 熱的感覚

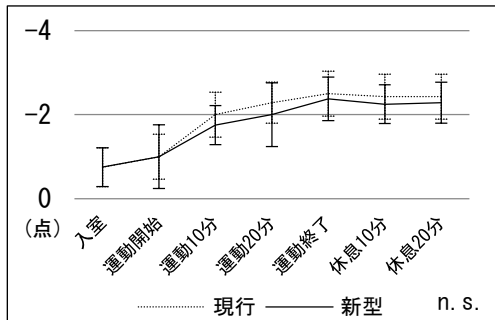


図 20 熱的快適性

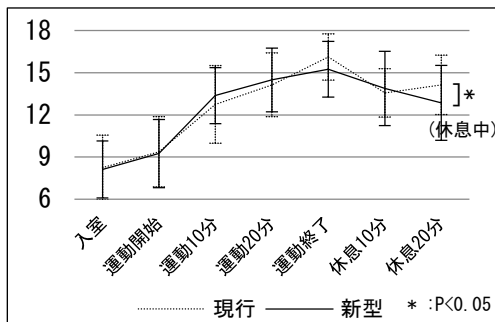


図 21 自覚的運動強度

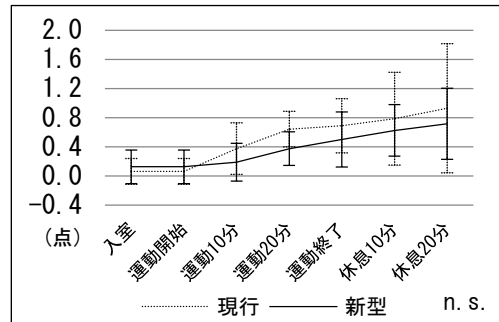


図 22 筋肉疲労(首)

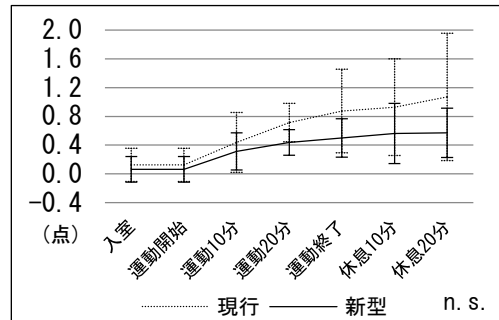


図 23 筋肉疲労(肩・背中)

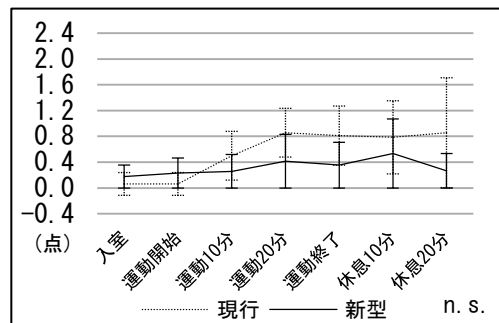


図 24 筋肉疲労(上肢)

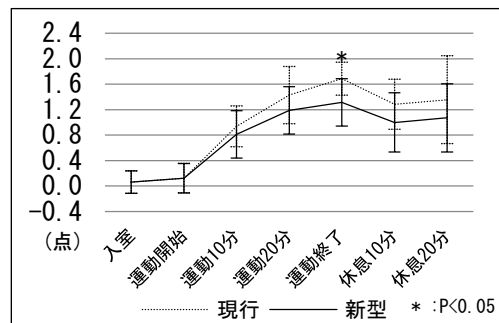


図 25 筋肉疲労(下肢)

(8) 質問紙調査

防火衣等の各質問項目については、点数化し、統計解析した。また、新型の防火衣等に対する自由記述は計量テキスト分析で頻出した語を抽出し、その語同士のつながりを共起ネットワーク図で示す。共起ネットワークとは、多く出現した単語ほど大きな円で描写され、語のつながりを線

で表し、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。

ア 防火帽

防火帽については、快適性、着脱性、視界、フィット感、重量感を「非常に悪い（1点）」から「非常に良い（7点）」あるいは、「非常に重い（1点）」から「非常に軽い（7点）」の7件法（1点単位）で尋ねた。防火帽の質問紙調査の結果を図26に示す。各項目において、有意な差は認められなかった。また、自由記述の共起ネットワーク図を図27に示す。現行と比較して、新型は違和感がないことや変化を感じないことが意見として挙げられていた。

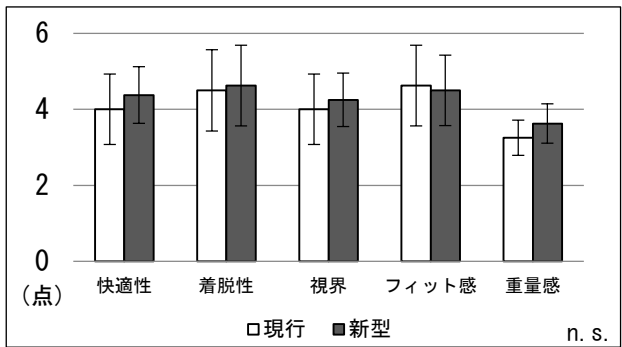


図26 防火帽の質問紙調査結果

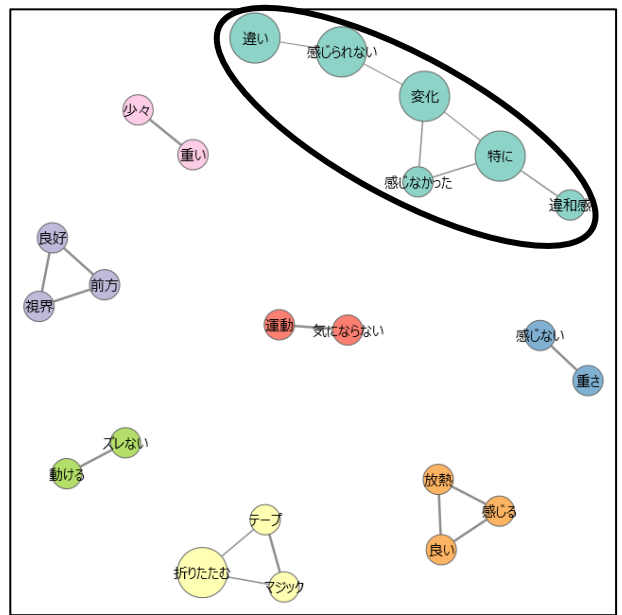


図27 防火帽の共起ネットワーク図

イ 防火衣上衣

防火衣上衣については、快適性、動作性、着脱性、フィット感、重量感を「非常に悪い（1点）」から「非常に良い（7点）」あるいは、「非常に重い（1点）」から「非常に軽い（7点）」の7件法（1点単位）で尋ねた。防火衣上衣の質問紙調査の結果を図28に示す。動作性（現行3.9

±1.1点、新型5.3±1.0点）、フィット感（現行4.4±0.9点、新型5.3±0.9点）及び重量感（現行3.3±0.5点、新型5.1±0.6点）において、有意な差が認められ、新型の方が動作性に優れ、フィット感があり、重量感が軽減されていることが分かった。また、自由記述の共起ネットワーク図を図29に示す。現行と比較し、新型の方がフィットしているが窮屈さはなく、安全帯がない分、軽くて動きやすいこと、座ると通気性が悪く防火衣内の熱が抜けないことが意見として挙げられていた。

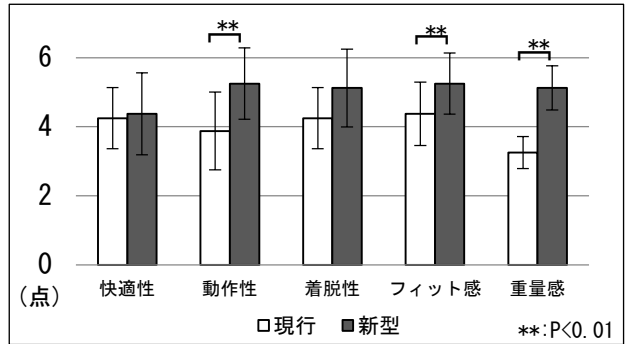


図28 防火衣上衣の質問紙調査結果

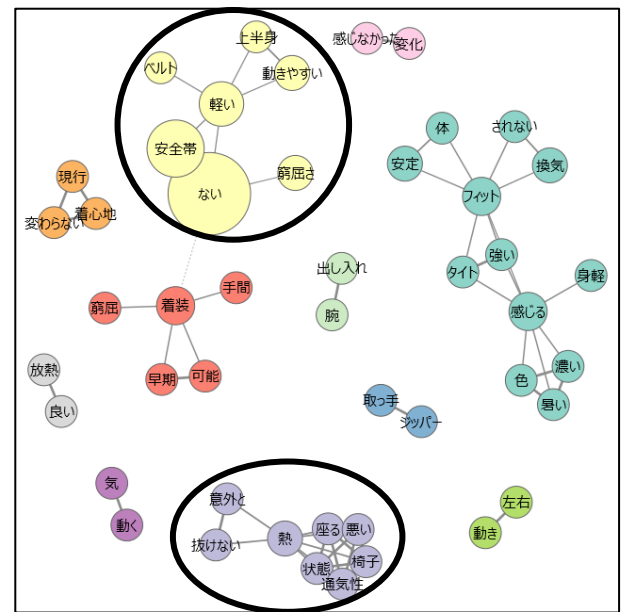


図29 防火衣上衣の共起ネットワーク図

ウ 防火衣ズボン

防火衣ズボンについては、快適性、動作性、着脱性、フィット感、重量感を「非常に悪い（1点）」から「非常に良い（7点）」あるいは、「非常に重い（1点）」から「非常に軽い（7点）」の7件法（1点単位）で尋ねた。防火衣ズボンの質問紙調査の結果を図30に示す。フィット感（現行4.3±0.5点、新型4.9±0.6点）において、有意な差が認められ、新型の方がフィット感があることが分かった。また、自由記述の共起ネットワーク図を図31に示す。

新型には安全帯が付いており、現行に比べ墜落時のダメージが軽減されるという意見が挙げられていた一方で、前立てには露出防止用のまちが付いているため、開きにくく着装が困難という意見も挙げられていた。また、安全帯が付いている分、着装時には重さを感じるが運動中は特に感じないという意見が挙げられていた。

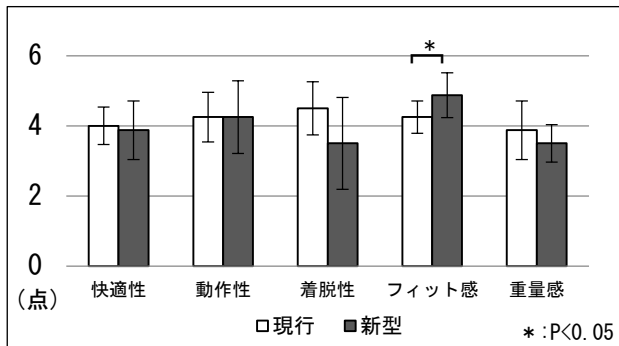


図 30 防火衣ズボンの質問紙調査結果

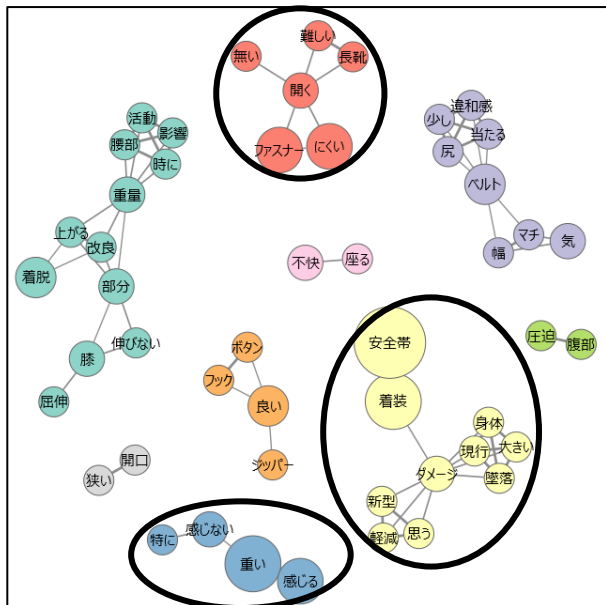


図 31 防火衣ズボンの共起ネットワーク図

4 考察

(1) 運動時間及び休息時間

運動時間及び休息時間について、有意な差は認められなかった。現行防火衣及び新型防火衣は ISO が策定する国際規格の性能を満たすものであり、生地や構造等は同等の性能を有している。また、装備の総重量は新型の方が 0.15 kg 軽量であり、安全帯の位置が異なっているため、局所的な身体的負担は異なるが、差異は小さく、全体的な身体的負担は同等であったと考えられる。

(2) 推定発汗量

1 分あたりの推定発汗量について、有意な差は認められなかった。着衣の日射吸収率は、色彩によって異なること

れ³⁾、黒のように濃い色は高く、白のように明るい色は低い。新型防火衣の大部分の色相は濃紺であり、特に上衣は太陽近似光の放射熱を吸収しやすく、身体への影響があると推測されたが、現行と同等の熱伝達性（放射熱暴露）を有していることから、外気から受ける身体への影響は同等であったと考えられる。

(3) 外耳道温度

着装から休息終了までの外耳道温度について、有意な差は認められなかった。外耳道温度は鼓膜から放射される熱量を含む外耳道周辺の温度であると考えられ⁴⁾、鼓膜から放射される熱量は内頸動脈の温度の影響が大きいとされている⁵⁾。また、身体運動により活動筋で生じた熱は血流によって全身に運ばれる。これらのことから、身体的負担が同等であったため、活動筋による産熱量も同等であり、防火衣の放熱性も同等であったと考えられる。

(4) 平均皮膚温度

着装から休息終了までの平均皮膚温度について、有意な差は認められなかった。発汗によって蒸発性熱放散が増せば皮膚温は下降する⁶⁾。推定発汗量も同等であったことから、胸部、上腕部及び大腿部周辺における防火衣の放熱性や通気性、透湿性は同等であったと考えられる。

(5) 心拍数

着装から休息終了までの心拍数について、有意な差は認められなかった。長時間の運動中の心拍数の増加の主な要因は水分不足によるとされ⁷⁾、運動中の体内水分量の減少の主な要因は発汗によるものである。また、心拍数は環境条件や身体負荷等の外的要因や疲労等の内的要因の両方を含む身体的負担の指標である⁷⁾。推定発汗量も同等であったことから、身体的負担も同等であったと考えられる。

(6) 防火衣内の温度及び湿度

ア 温度

運動開始以前の腹部及び運動終了時の背部においては新型防火衣の方が低く、休息中の大腿部においては現行防火衣の方が低いことが分かった。構造の特徴として、新型防火衣は現行防火衣より細い形状になっており、安全帯は現行防火衣においては上衣に、新型防火衣においてはズボンに取り付けてある。防火衣上衣の腹部に関して、現行の腹部に付けた温湿度ロガーは安全帯の位置にあるため、熱源である皮膚に近くなったと考えられる。背部における防火衣内温度は、運動終了時の平均皮膚温度が 40℃ に達していないにもかかわらず、40℃ を超えていた。新型防火帽のしころは首にかかる部分の幅が現行よりも約 4.5 cm 長くなっており、背部の温湿度ロガー設置部分が新型のしころと重なったため、断熱性が増大したと考えられる。また、防火衣ズボンにおいて、新型の方がズボンの裾が細く、休息中は椅坐位であったことから、温湿度ロガーが熱源である皮膚に近くなったと考えられる。

イ 湿度

運動終了時の腹部においては新型防火衣の方が低く、着装から運動終了までの背部及び膝部においては現行防火

衣の方が低いことが分かった。また、休息中の腹部及び休息終了時の大腿部においては新型防火衣の方が低く、休息中の背部においては現行防火衣の方が低いことが分かった。上衣に関して、運動中は現行と新型に関わらず、運動開始すると低下する傾向が見られたことから、歩行運動の腕ふりにより防火衣内で空気層の循環があったと考えられる。その中でも、腹部における新型防火衣内の湿度の低下は著しく、安全帯の影響があると考えられる。休息中においては、座ることで新型防火衣の裾回りも現行と同様に閉鎖され、湿度が上昇していくことが分かった。大腿部において、現行の方が太い形状であることから、座ることにより防火衣内の空気層が圧迫され、外部に放出されるため空気の循環が生じると考えられたが、本検証では新型の方が低下した。膝部においても、運動中は裾が太い現行の方が摩擦により防火衣内の空気の循環が生じると考えられたが、安静時も現行の方が低かった。新型の膝当てには、ゴムシーティング（ゴムコーティング）加工が施されており、膝部周辺の透湿性に影響したと考えられる。

(7) 主観的指標

ア 熱的感覚

着装から休息 20 分までの熱的感覚について、有意な差は認められなかった。着衣の色彩によって日射吸収率が異なるため、大部分の色相が濃紺である新型防火衣の方が熱的感覚は高くなると推測されたが、現行と同等の熱伝達性（放射熱暴露）を有していることから、身体への影響は同等であったと考えられる。

イ 熱的快適性

着装から休息 20 分までの熱的快適性について、有意な差は認められなかった。温熱的快適感には身体の部位差があり、暑熱環境下では頭部の加温により強い不快感が生じる⁸⁾。本検証で使用した現行と新型の防火帽は同等の性能を有していることから、頭部への影響は同等であり、熱的快適性に影響を与えなかったと考えられる。

ウ 自覚的運動強度

休息中の自覚的運動強度について、新型防火衣の方が低いことが分かった。自覚的運動強度は主観的負担度を数字で表したもので、その数字を 10 倍するとほぼ心拍数になるように工夫されているが、生理的指標である心拍数では有意な差は認められなかった。休息中は椅坐位であったが、現行防火衣の上衣には安全帯が取り付けられているため、被験者の上半身への負担が大きく、安全帯が取り付けられていない新型防火衣の上衣の方が被験者への負担は小さかったと考えられる。

エ 筋肉疲労

運動終了時の下肢における筋肉疲労について、新型防火衣の方が低いことが分かった。現行防火衣よりも新型防火衣の方が細い形状となっているため、歩行時に左右の裾の摩擦が少なく、身体的負担は小さかったと考えられる。また、統計的に有意な差は認められなかったが、筋肉疲労を測定した各部位で、新型の方が低く推移していることから、

安全帯の位置や防火衣の形状、重量 0.15 kg の差が自覚する筋肉疲労に影響したと考えられる。

(8) 質問紙調査

ア 防火帽

防火帽について、主観的評価に有意な差は認められなかった。防火帽は頭部と接しているヘルメットは同一のものを使用しており、現行と新型の差異はしころの色と形状である。着装した際の主観的評価や自由記述から、現行と新型で変化や違いを感じなかったと考えられる。

イ 防火衣上衣

防火衣上衣について、新型の方が動作性に優れ、フィット感があり、重量感が軽減されていることが分かった。現行と新型の大きな違いは安全帯の有無と形状が挙げられる。新型は安全帯がない分、軽く、動きやすくなっている。また、外気の流入を軽減するため、細い形状になっており、身体にフィットしていたと考えられる。また、自由記述においても、安全帯がないため、軽くて動きやすいという意見が多く挙げられ、新型に対する評価は良好であったと考えられる。

ウ 防火衣ズボン

防火衣ズボンについて、新型の方がフィット感があることが分かった。現行と新型の大きな違いは安全帯の有無と形状が挙げられる。新型には安全帯が取り付けられているが、腰部に密着しており、自己確保のためのカラビナやロープは上衣の裾に隠れている。また、自由記述においても、安全帯が腰部に密着しているため、運動中に重さを感じなかったという意見が挙げられ、新型に対する評価は良好であったと考えられる。

5 まとめ

本検証では、現行防火衣と新型防火衣のヒートストレスによる身体への影響や使用感について検証した。その結果、次のような特徴が挙げられる。

- (1) 現行防火衣及び新型防火衣のヒートストレスによる身体への影響はおおむね同等である。
- (2) 歩行運動における主観的評価並びに防火衣の上衣及びズボンにおける質問紙調査の評価は新型防火衣の方が良好である。

本検証では、歩行運動による身体への影響や使用感の検証であったため、すべての災害活動に即したものではない。防火衣の仕様をさらに詳細に検討する上では、他の運動モデルでも身体への影響や使用感について、検討することが望ましいと考えられる。

[参考文献]

- 1) 国土交通省・気象庁ホームページ、観測開始からの毎月の値、<https://www.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly>
- 2) 芳田哲也：体温調節反応、森本武利監修 高温環境とスポーツ・運動、篠原出版新社、p. 9、2007
- 3) 渡邊慎一ほか 3 名：屋外における熱的快適性評価のための着

- 衣素材の日射吸収率の実測、日本生気象学会誌、Vol. 45、No. 4、pp. 121-129、2008
- 4) 松崎晴康、溝手宗昭：運動準備段階における外耳道温度と顔面温度変化、医用電子と生体工学、Vol. 37、No. 3、pp. 277-284、1999
 - 5) 岡孝子、小原繁：60分間ペダリング運動時の外耳道温度と局所発汗量の変動、徳島大学総合科学部人間科学研究、Vol. 7、pp. 1-9、1999
 - 6) 大原孝吉：皮膚温、中山昭雄編 温熱生理学、理工学社、p. 15、1981
 - 7) 山地啓司：こころとからだを知る心拍数、杏林書院、2013
 - 8) 中村真由美、彼末一之：温度感覚と温熱的快適感、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、p. 38、2010