

消防隊員用個人防火装備の動作性比較検証

徳永 敦司*, 佐藤 良行*, 山内 一弘*, 山本 将**, 田沼 宏志***

概要

消防隊員用個人防火装備について、その性能を定める規格の差異が消防活動に与える影響を把握するため、当庁現行、EN（ヨーロッパ標準化委員会）規格適合品及び NFPA（米国消防協会）規格適合品の動作性等を比較した。その結果、活動内容によって、規格の差異等により動作性が著しく低下するところがあることを確認した。

1 はじめに

消防隊員用個人防火装備品（以下「装備品」という。）の外国規格である EN 規格、NFPA 規格のそれぞれに適合した装備品を着装し、当庁で定める要領に沿った消防活動を実施した場合、当庁で使用している現行の装備品（以下「現行」という。）と比較し、どのような差異が生じるかを把握するため検証を実施した。

2 検証方法等

(1) 検証方法

現行、EN 規格適合品（以下「EN」という。）、NFPA 規格適合品（以下「NFPA」という。）について、それぞれ防火着、面体着、三連はしご操作の順に実施し、操作実施後の心拍数の測定、各動作に要した時間の測定、赤外線熱画像の撮影及びアンケートから、現行、EN 及び NFPA の差異を検証した。検証手順等について表 1 に示す。

なお、装備品の装着順序によって検証結果に違いが出ることから、EN、NFPA の順に着装する者と、NFPA、EN の順に着装する者がおおむね同数となるよう指定した。

表 1 検証手順

項目	手順
1 安静時心拍数の測定 赤外線熱画像撮影	1 パルスオキシメータにより安静時の心拍数を測定する。 2 赤外線熱画像を撮影する。
2 防火着時間測定	1 測定者の「操作始め」の合図で測定を開始。 2 防火衣、防火帽、手袋、長靴、防火マスク、空気呼吸器の着が全て完了するまでの時間を測定する。
3 面体着時間測定	1 測定者の「操作始め」の合図で測定を開始。 2 手袋を着装した状態で、面体、防火マスクの着が完了するまでの時間を測定する。

4	三連はしご操作 時間測定 (30名のみ実施)	1 架梯位置から10m離れた地点に待機する。 2 測定者の「操作はじめ」の合図で測定を開始し、補助者とともに三連はしごを架梯位置に搬送する。 3 架梯位置で全伸梯し、引綱を結着する。 4 架梯後登梯し、二連目の下から3段目の横さんの位置で作業姿勢を取った時点で測定を終了する。
5	実施後心拍数測定 赤外線熱画像撮影 アンケート用紙記入	1 パルスオキシメータにより実施後の心拍数を測定する。 2 赤外線熱画像を撮影する。 3 アンケートに回答する。

アンケートは、各質問項目について、EN、NFPA それぞれに対する主観的評価により、現行を基準として5段階で評価を実施し（表 2）、併せて、長所及び短所について自由に意見を記入する方式とした。

表 2 評価及び点数

悪い	やや悪い	普通	やや良い	良い
-2	-1	0	1	2

(2) 被験者

目黒消防署に交替制で勤務する消防司令補以下の階級にある職員 24 名及び第三消防方面本部消防救助機動課に交替制で勤務する消防司令補以下の階級にある職員 26 名の計 50 名とした。被験者の身体特性等について表 3 に示す。

表 3 被験者の身体特性等

項目	年齢 (歳)	警防経験 (年)	身長 (cm)	体重 (kgf)
最大値	57.0	39.0	185.0	90.0
中央値	32.0	8.0	173.0	68.5
平均値	32.4	9.6	171.8	70.1
最小値	20.0	0.1	162.0	57.0
標準偏差	6.6	7.6	13.9	7.5

* 装備安全課 ** 消防技術課 *** 国分寺消防署

(3) 測定機器

検証に使用した測定機器を表4に示す。

表4 測定機器

名称	写真	仕様	
パルスオキシメータ		型番 製造会社 測定方法 測定範囲 測定対象者	B0-800 日本精密計測株式会社 2波長吸光度測定法 30~240 拍/分 (±3%) 成人
熱画像装置		型番 製造会社 温度性能 焦点距離 検出器 温度精度 画素数	ThermoShotF30W NEC Avio 赤外線 テクノロジー -20~350°C 10cm~∞ 二次元非冷却センサー ±2°C または 2% 160×120 ピクセル

(4) 装備品

検証に用いた装備品について表5から表7に示す。

表5 現行装備品






名称	写真	主な素材	
		重量	
防火衣上衣		アラミド繊維 (メタ・パラ混紡)	1.84kgf
防火衣下衣		アラミド繊維 (メタ・パラ混紡)	1.12kgf
防火帽		ポリエステル樹脂 強化プラスチック	0.95kgf
手袋		アラミド繊維	0.16kgf
長靴		配合ゴム	2.32kgf
総重量			6.39kgf

表6 EN 装備品

名称	写真	主な素材	
		重量	
防火衣上衣		アラミド繊維 (メタ系)	1.53kgf
防火衣下衣		アラミド繊維 (メタ系)	1.49kgf









防火帽		グラスファイバー
		1.40kgf
手袋		皮革
		0.29kgf
長靴		皮革
		2.82kgf
総重量		7.53kgf

表7 NFPA 装備品

名称	写真	主な素材	
		重量	
防火衣上衣		アラミド繊維 (メタ系)	1.86kgf
防火衣下衣		アラミド繊維 (メタ系)	1.72kgf
防火帽		グラスファイバー	1.32kgf
手袋		皮革	0.35kgf
長靴		配合ゴム	3.46kgf
総重量			8.71kgf

3 結果

(1) 測定結果

測定結果について表9から表12に示す。

各表中の用語等については表8のとおりである。

表8 用語等

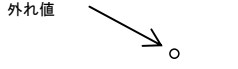
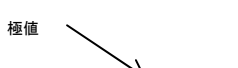
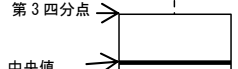
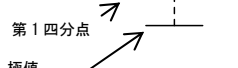
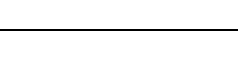
用語	説明	例
極値	四分位数から四分位範囲の1.5倍以内の最大(小)値	外れ値 
第3四分点	値を昇順で並べた際の小さい値から75%の点	極値 
中央値	値を昇順で並べた際の小さい値から50%の点	第3四分点 
第1四分点	値を昇順で並べた際の小さい値から25%の点	中央値 
外れ値	極値より大きい(小さい)値	第1四分点 

表9 防火着装時間(秒)

	現行	EN	NFPA
最大値	99.0	169.0	178.0
第3四分点	57.8	99.3	89.8
中央値	53.5	80.5	78.0
平均値	54.2	85.7	82.1
第1四分点	48.0	70.0	69.0
最小値	39.0	59.0	52.0
標準偏差	9.9	21.9	22.3

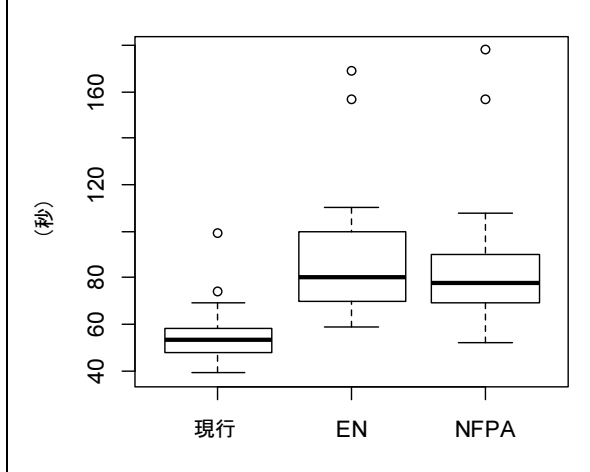


表11 三連はしご操作時間(秒)

	現行	EN	NFPA
最大値	92.0	127.0	110.0
第3四分点	58.3	67.0	69.0
中央値	47.0	57.5	58.5
平均値	51.4	60.0	61.8
第1四分点	41.8	48.0	52.8
最小値	34.0	34.0	37.0
標準偏差	13.6	17.8	14.5

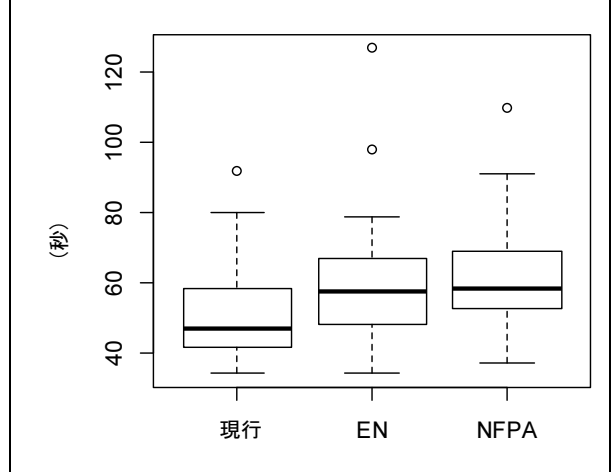


表10 面体着装時間(秒)

	現行	EN	NFPA
最大値	57.0	229.0	173.0
第3四分点	35.0	71.8	82.3
中央値	28.0	50.5	57.0
平均値	31.0	65.7	66.8
第1四分点	23.3	41.0	42.3
最小値	13.0	28.0	32.0
標準偏差	10.5	43.1	33.0

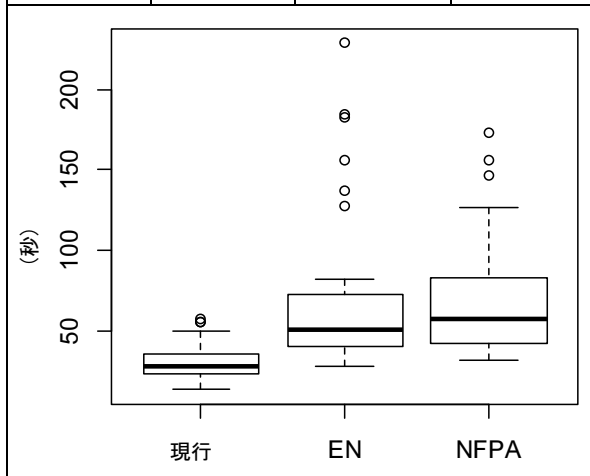
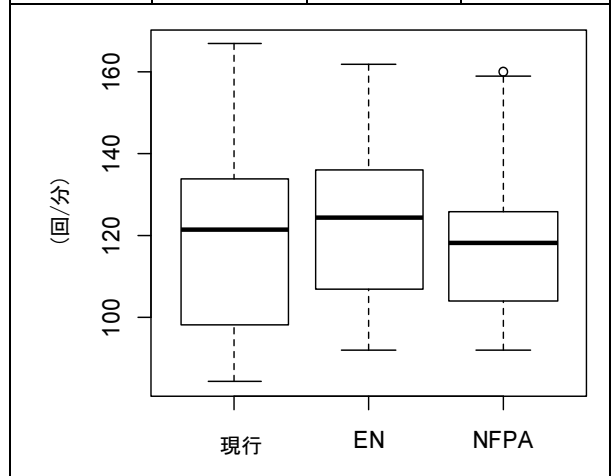


表12 実施後心拍数(回/分)

	現行	EN	NFPA
最大値	167.0	162.0	160.0
第3四分点	133.0	135.8	126.0
中央値	121.5	124.5	118.0
平均値	119.4	122.7	119.0
第1四分点	98.5	107.8	104.8
最小値	84.0	92.0	92.0
標準偏差	21.9	17.7	19.3



(2) 赤外線熱画像装置による撮影結果

赤外線熱画像装置による撮影結果について、表 13 及び表 14 に装着順序ごとの例を示す。

表 13 EN・NFPA の順に装着した被験者の例

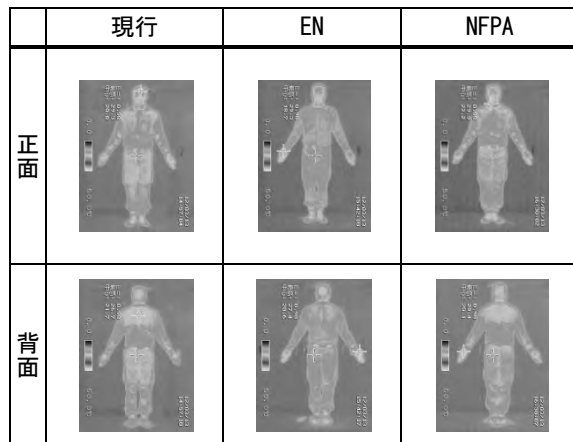
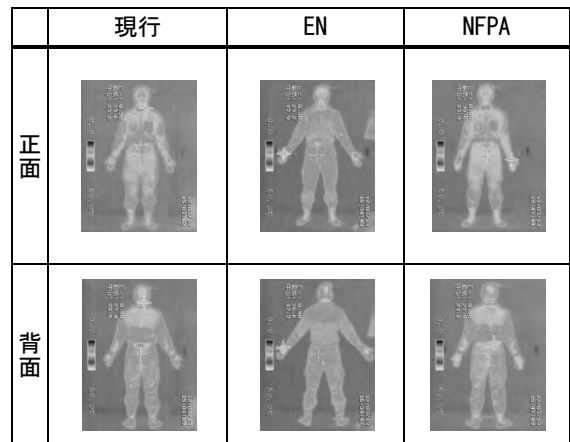


表 14 NFPA・EN の順に装着した被験者の例



(3) アンケート結果

表 2 に基づき評価したアンケート結果の平均値及び主観的意見（長所及び短所）の上位 5 件を表 15 から表 18 に示す。

表 15 防火衣のアンケート結果

EN		NFPA	
長所 (全 21 件)		長所 (全 10 件)	
軽い (上衣・下衣)	8	軽い (上衣のみ)	2
動作性が良い	5	軽い (上衣・下衣)	2
上衣が軽い	3	動作性が良い	2
下衣のファスナーがなく早く着装できる	2	容易に着装できる	2
フィット感が良い	2	緊急救助用の背中のスリングが良い	1
短所 (全 29 件)		短所 (全 37 件)	
上衣のファスナーがプラスチック製で引っかかる、強度が弱い	6	上衣ファスナーが現行と左右逆のため使いづらい	18
指を通すループが小さく時間を要する	5	襟のストラップが現行と左右逆のため閉めづらい	4
熱がこもりやすく、蒸れる	3	襟のストラップが小さく、閉めづらい	3
襟のストラップが小さく、閉めづらい	3	安全帯がセットできない	2
安全帯がセットできない	2	熱がこもりやすい	2

表 16 防火帽のアンケート結果

EN		NFPA	
長所 (全 19 件)	件数	長所 (全 8 件)	件数
シールドが設定しやすい	6	シールドが設定しやすい	2
視認性が良い	4	フィット感が良い	2
フィット感が良い	4	しころがないため、視認性が良い	2
ダイヤル式でサイズの調整しやすい	2	しころがないため、音が聞き取りやすい	1
ツバがないので動きやすい	1	サイズ調整がしやすい	1
短所 (全 77 件)	件数	短所 (全 85 件)	件数
面体・防火マスクの装着が困難	40	面体・防火マスク装着が困難	29
重い・首が疲れる	11	呼吸器と接触し、活動に支障がある	17
あごひもの調節が困難	11	重い・疲労感がある	10
呼吸器を着装していると上が向けない	4	あごひもの調節が困難	8
面体とフードが干渉する	4	扱いづらい	6

表 17 手袋のアンケート結果

EN		NFPA	
長所 (0 件)		長所 (0 件)	
短所 (全 109 件)	件数	短所 (全 109 件)	件数
操作性が悪い・細かい作業が困難	41	操作性が悪い・細かい作業が困難	44
作業に握力を使う・疲れる	17	作業に握力を使う・疲れる	16
分厚い	15	分厚い	15
すべりやすい・グリップ力が悪い	10	フィット感が悪い・安定しない	5
フィット感が悪い・安定しない	7	指部分が短い・指の形が合わない	5

表 18 長靴のアンケート結果

EN		NFPA	
着脱時間	-1.20	着脱時間	0.95
着脱容易性	-1.39	着脱容易性	0.84
フィット感	0.09	フィット感	0.27
動作時の安定感	0.15	動作時の安定感	0.15
柔軟性	-0.54	柔軟性	-0.18
体感温度・湿度	-0.35	体感温度・湿度	-0.04
重量感	-0.70	重量感	-0.38
脚の上げ下ろし	-0.61	脚の上げ下ろし	-0.27
疲労感	-0.52	疲労感	-0.07
長所 (全 12 件)		長所 (全 47 件)	
フィット感がいい、動きやすい	7	履きやすい	15
安全性が高い	2	取手があり、履きやすい・使いやすい	12
足首がしっかりと固定していて良い	1	紐・ファスナーがないので迅速に履くことができる	12
軽い	1	フィット感が良い・履き心地が良い	7
座ったときに楽	1	当庁現行と似ていて良い	1
短所 (全 58 件)		短所 (全 26 件)	
ファスナーの位置・操作性が悪い	17	重い	5
着脱が困難	14	作業姿勢を取りづらい	5
活動しづらい・機動力が落ちる	5	重い・疲労感がある	3
重い・疲労感がある	7	長い・膝裏に当たる	3
フィットしすぎて動きづらい・足が入らない	4	硬い	2

4 考察

(1) 測定結果

ア 統計解析

各測定結果について、統計解析を行った結果を表 19 に示す。同一被験者が 3 種類の装備品を着装して検証を実施したことから、対応のある 3 群の検定を行った。検定には統計解析ソフト「R」を用い、有意水準は 1% とした。

なお、以下において統計的有意差を「有意差」とする。

表 19 各装備品間の有意差

項目	現行-EN	現行-NFPA	EN-NFPA
防火着装時間	有	有	無
面体着装時間	有	有	無
三連はしご操作時間	無	無	無
実施後心拍数	無	無	無

イ 防火着装時間

表 9 に示すように、現行と比較して EN 及び NFPA は着装に時間を要しており、表 19 に示すように現行と EN、現行と NFPA の間にはそれぞれ有意差がある。

EN で着装に時間を要した原因として、表 15 に示すように、防火衣上衣のファスナー形状が引っ掛かりやすかったこと、長靴のファスナーの位置及び形状が現行と大幅に異なっていたことが考えられる。

NFPA は、表 18 に示すように、長靴にファスナーが無いことが評価されている一方、防火着装時間の短縮は顕著には認められなかった。

EN、NFPA とともに共通して時間を要した項目としては、表 15 に示すように、襟のストラップ、安全帯、ファスナー、手袋と防火衣の接合部の着装が考えられる。

なお、EN と NFPA の間に有意差は認められない。

ウ 面体着装時間

表 10 に示すように、現行と比較して EN 及び NFPA は着装に時間を要しており、表 19 に示すように、現行と EN、現行と NFPA の間にはそれぞれ有意差がある。EN、NFPA とともに手袋を着装した状態で指先を使う操作が困難であるため、面体の締付けバンドをつかむ、防火マスクの縁をつかむ、防火帽の顎紐を調整するといった動作ができなかったことが主な要因である。

また、防火帽の形状や顎紐の仕様により、防火帽をずらす、面体を着装する、防火マスクを着装するといった一連の動作が、現行と同様に行うことができなかったことも要因である。

エ 三連はしご操作時間

NFPA では、防火帽と呼吸器が干渉し、上方確認ができないことや、顎紐の構造と重量バランスが悪く、伸梯時、登梯時に呼吸器と接触しただけで落下してしまう事例が散見された (写真 1)。



写真1 登梯時にNFPAの防火帽が離脱した例

また、EN、NFPAともに手袋は材質が皮革であり、フィット感が無いため力を入れにくく、滑りやすかったという意見も多かった。表11に示すように、現行と比較してEN及びNFPAでは、平均値及び中央値ともに10秒程度時間を要している。

しかし、表19に示すように、統計解析の結果は誤差の範囲内であり、有意差があるとはいえない。これは、いずれの要因も三連はしご操作全体に占める時間の割合が少ないため、操作時間全体への影響が少なかったものと考えられる。

オ 実施後心拍数

三連はしご操作は、重量物の搬送、引上げ動作、脚部の上下運動等、負荷の高い動作が多く、装備品の重量が実施後心拍数に影響するものと考えられた。しかし、表19に示すように現行、EN、NFPAそれぞれの間に有意差は無い。

(2) 赤外線熱画像装置による撮影結果

表13及び表14に共通して見られる傾向として、現行と比較するとEN、NFPAの手掌部の温度が高くなっている。これは、表6及び表7に示すとおり、EN、NFPAは素材に皮革を使用していることが要因と考えられる。

また、表13及び表14より、着装順序を問わずENの表面温度が低くなっている傾向が見られる。これは、表20に示すように、ENには凹凸のついた裏地が使用されているため、体表面との接触面積が小さかったことが要因として考えられる。

表20 防火衣上衣の裏地

現行	EN	NFPA

(3) アンケート結果

ア 防火衣 (表15参照)

(ア) EN 防火衣の長所

重量感が0.57点であり、最も高い値を示した。「軽い」(上衣・下衣含め)という意見が最も多く11件であり、

「動作性が良い」という意見が5件であった。実際の重量は現行とほぼ同じである。これは、現行は安全帯が一体になっているのに対し、ENには安全帯を通すループが無く、上衣着装後に安全帯を着装するため、上衣単体での重量感を評価したのと考えられる。

(イ) EN 防火衣の短所

着脱時間は-0.05点、着脱容易性は0.00点と、現行と同等を示す値であったが、ファスナーや指を通すループ、襟のストラップ等の構造に関する意見が多く挙げられた。

(ウ) NFPA 防火衣の長所

重量感が0.38点と高く、「軽い」という意見が計4件挙げられているが、実際の重量は現行より上衣下衣合計で0.62kgf重い。これは、現行は安全帯が一体になっているのに対し、NFPAには安全帯を通すループが無く、上衣着装後に安全帯を着装するため、上衣単体での重さを評価したのと考えられる。

(エ) NFPA 防火衣の短所

着脱時間は-0.27点、着脱の容易性は-0.21点を示した。「現行とファスナー、襟のストラップが逆についていることにより着装が困難であった」という意見が計22件挙げられ、このことが影響しているものと考えられる。

イ 防火帽 (表16参照)

(ア) EN 防火帽の長所

シールドの操作性が0.25点を示し、「シールドが操作しやすい」という意見が6件であった。

(イ) EN 防火帽の短所

面体着装動作が-1.71点を示し、「面体・防火マスクの着装が困難である」という回答が40件で最も多かった。また、重量感-0.84点であり、「重い・首が疲れる」という意見が11件であった。実際の重量は0.45kgf重く、重心が中心部に集中する形状となっていることが原因と考えられる。

その他、写真2に示すように、面体着装時にはシールドが面体と干渉し、最下部まで下ろせないため、当庁で定める活動要領等に沿った着装で活動を行うことができない。



写真2 面体とシールドの干渉

(ウ) NFPA 防火帽の長所

シールドの操作性が 0.29 点を示し、「シールドが設定しやすい」との意見が 2 件あった。

(エ) NFPA 防火帽の短所

面体着装動作が-1.48 点を示し、「面体・防火マスクの着装が困難」との意見が最も多く、29 件であった。また、面体着装感が-1.05 点、呼吸器との接触が-1.02 点を示し、写真 1 にも示したように「呼吸器と接触し活動に支障がある」との意見が二番目に多く、17 件であった。呼吸器無しでの上方の視認性が-0.46 点、呼吸器有りでの上方の視認性が-0.88 点であることから、呼吸器との接触が視界を狭めていることが考えられる。

ウ 手袋 (表 17 参照)

(ア) EN 手袋の長所

特になし。

(イ) EN 手袋の短所

巧緻性が-1.77 点、面体着装動作が-1.75 点であり、「操作性が悪い・細かい作業が困難」との意見が最も多く 41 件であった。また、疲労感は-1.05 点であるが、「作業に握力を使う・疲れる」という意見は 17 件で 2 番目に多かった。

(ウ) NFPA 手袋の長所

特になし。

(エ) NFPA 手袋の短所

面体着装動作が-1.77 点、巧緻性が-1.66 点となり、「操作性が悪い・細かい作業が困難」との意見が最も多く 44 件であった。また、疲労感は-0.91 点であり、「作業に握力を使う・疲れる」という意見は 16 件で 2 番目に多かった。

エ 長靴 (表 18 参照)

(ア) EN 長靴の長所

動作時の安定感が 0.15 点、フィット感が 0.09 点を示し、「フィット感がいい、動きやすい」という意見が最も多く 7 件であった。

(イ) EN 長靴の短所

着脱容易性が-1.39 点を示し、「ファスナーの位置・操作性が悪い」との意見が最も多く 17 件であり、「着脱が困難」との意見が 14 件と二番目に多かった。

また、長所に挙げられたフィット感に関して、「フィットしすぎて動きづらい」という意見が 4 件あり、個人差が見られた。

(ウ) NFPA 長靴の長所

着脱時間が 0.95 点と最も高く、次いで着脱容易性が 0.84 点となった。「履きやすい」という意見が 15 件、「取手があり、履きやすい・使いやすい」が次いで各 12 件であった。

(エ) NFPA 長靴の短所

重量感が-0.38 点、足の上げ下ろしが-0.27 点を示し、「重い」「作業姿勢を取りづらい」という意見が各 5 件であった。実際の重量は現行より 1.14kgf、EN より

0.64kgf 重いにも関わらず、重量感の平均値が EN の -0.70 点より 0.32 点高い値を示している。

5 おわりに

現行と異なる規格の装備品を使用し、当庁で定める活動要領等に沿った特定の活動を行う場合、本検証の条件では、現行、EN 及び NFPA の重量と活動直後の心拍数の間に相関は見られなかったが、手袋及び防火帽の操作性の低下による活動時間の増加が顕著に認められた。操作性の低下により、装備品の不完全着装、活動の迅速性の低下等が懸念されるため、既存の消防活動要領との整合性、空気呼吸器等の装備品との干渉等を十分に検討する必要がある。

謝辞

本検証の実施に際し、ご協力いただきました目黒消防署及び第三消防方面本部消防救助機動課の皆様は厚く御礼を申し上げます。