

防火衣の被服内滞留熱の発散性の向上方策に関する研究（第2報）

安居院 克巳*, 吉村 延雄*, 鎌形 健司*, 山崎 保志*, 大竹 晃行**

概 要

現在の防火衣は、外の高湿環境に対して優れた耐性をもつ反面、防火衣内が高湿多湿となり、着用する隊員に身体的負担を課している。当庁においては平成15年中、災害活動中受傷者のうち約11%が熱中症によるものであった。このことから、防火衣内の熱発散性の向上を目的とし、平成14年度は防火衣を構成する素材面に着目し研究を行った。今回、その研究を基に素材の改良を行い、防火衣の試作・着用試験を行った結果、以下の結論を得た。

- 1 ガラスコーティング、金属コーティング外衣生地と新素材の內衣^{※1})を用いた防火衣は、火炎・輻射熱防護性能ともに、現用品と同等またはそれ以上の性能を有している。
- 2 新素材の內衣は現用に比べ透湿性に優れており、この內衣を用いた防火衣の熱の発散性能は向上した。
- 3 ニット生地を用いた內衣は、特に長時間の活動時に身体への負担軽減が期待できる。
- 4 素材面だけでなく、防火衣の形状・感触面から見た通気性や快適性についても考慮する必要がある。

※1)形状記憶ポリマとアラミド繊維ニット生地で構成される透湿防水・断熱素材

1 はじめに

従来の防火衣は、コート型の上衣を着用し、下肢は膝カバー付の長靴で守るといったものが主流であった。しかし、現在では火災そのものが変化してきており、防火造建物火災のフラッシュオーバーやビルなどの密閉された空間における建物火災では、一般の木造建物火災に比べ、強い熱量を受ける。これらの火災を前にコート型では特に、下肢の守りの不安が拭き切れない。そこで、防火ズボンと併用するようになり、上下のセパレート型が広まって行った。現在の防火衣は、耐熱性や耐切削性などに優れ、下半身の防護は格段に優れたものとなったが、外の高湿環境に対し強い耐性を持つ反面、防火衣内は高温多湿といった環境にあり、隊員の身体的負担は大きく、熱中症等の原因になっていると考えられる。

このことから、本研究では平成14年度に引き続き防火衣の生地そのものの素材を評価、改良するとともに防火衣を試作し、着用試験を行った。

2 素材の改良

前年度の研究結果より課題となった外衣生地の防水性能について表1、2のように改良を行った。

表1 ガラスコーティング

14年度	ガラスコーティング後、はっ水加工
15年度	ガラスコーティング後、架橋剤を添加、はっ水加工

表2 金属コーティング

14年度	片面に金属コーティング後、難燃・はっ水加工
15年度	両面に金属コーティング後、難燃・はっ水加工

その結果、改良したガラスコーティング生地は14年度と比較して優れたはっ水性を得たが、金属をコーティングした生地は14、15年度ともほぼ同様な結果となり、加工法による差異はないと考えられる。

また、外衣生地、透湿防水層、断熱層からなる積層構成品について積層構成(表3)を変え、ISO(国際標準化

表3 積層構成

試料番号	外衣生地	內衣構成	
		透湿防水層	断熱層
積層1	標準品(生地番号30/2) ^{※2} (アラミド繊維・綾織り)	多孔質透湿防水素材	アラミド繊維ストライプ地
積層2			形状記憶ポリマ
積層3	ガラスコーティング(15年度)		
積層4	金属コーティング(15年度)		
積層5	ガラスコーティング(14年度)	多孔質透湿防水素材	アラミド繊維ストライプ地
積層6	金属コーティング(14年度)		
積層7	ガラスコーティング(14年度)		

※2) 当庁一般隊員用は20/2

* 第一研究室 ** 特殊災害課

機構)の基準に準拠した、火炎に対する防護性能試験 (ISO9151、写真1)、輻射熱に対する防護性能試験 (ISO6942、写真2)を行った。その結果を図1に示す。

表4 ISO9151、ISO6942 試験概要

火炎防護性能試験 (ISO9151)	積層試料表面に80kW/m ² の火炎を接炎させ、裏面の温度が24℃上昇するまでの時間(熱伝達指数)を計測する方法。
輻射熱防護性能試験 (ISO6942)	熱源から40kW/m ² になる距離に試料を被せたカロリメータをセットし、加熱開始からカロリメータの温度が12℃および24℃上昇する時間 t ₁₂ 、t ₂₄ を求めると共に、元の熱流束が布地によりどの程度減衰して透過するか(熱透過率%)を求める方法。



写真1 火炎に対する熱防護性能試験



写真2 輻射熱に対する防護性能試験

熱伝達指数は、各積層品とも当庁の仕様(13以上16以下)とISO規格を満足するものとなった。また、積層構成による差異は見られなかった。

熱透過率、t₂₄、t₂₄-t₁₂ともに外衣生地、內衣構成の違いによる大きな差異は見られなかったが、各値ともISO11613:1993の性能要求に相当するISO6942:2002(Cu)の耐熱性基準値³⁾と同等、またはそれ以上となった。このことから、現用品に最も近い積層7と比較しても積層2~6までの各積層品は、現用と同等またはそれ以上の輻射熱に対する防護性能を有していると考えられる。

3 着用試験

平成15年8月5日~9月8日の間の延べ7日間、A消防署の協力を得て着用試験を行った。

当庁現用の第二種執務服と素材・構成の異なる5種類の防火衣(表5、写真3)をそれぞれ着用し、消防活動モデル(表7、写真4)を行った場合の身体的変化等について測定し、また、活動終了後アンケート調査を実施した。

表5 防火衣の主な素材

試料	素材・構成		質量 ³⁾ [g]
	外衣	內衣	
執務服	(当庁現用の第二種執務服)		765
防火衣1 一般隊員用	アラミド繊維 (綾織り)	多孔質透湿防水素材 +アラミド繊維 ストライプ生地	2890
防火衣2 指揮隊員用	アラミド繊維 (平織り)	多孔質透湿防水素材 +アラミド繊維 ワッフル生地	2480
防火衣3		アラミド繊維 ワッフル生地 (透湿防水層なし)	2155
防火衣4	ガラス コーティング	形状記憶ポリマ +アラミド繊維 ニット生地	2850
防火衣5	金属 コーティング		3182

※3) 質量は上衣とズボン(ともにLサイズ)の合計

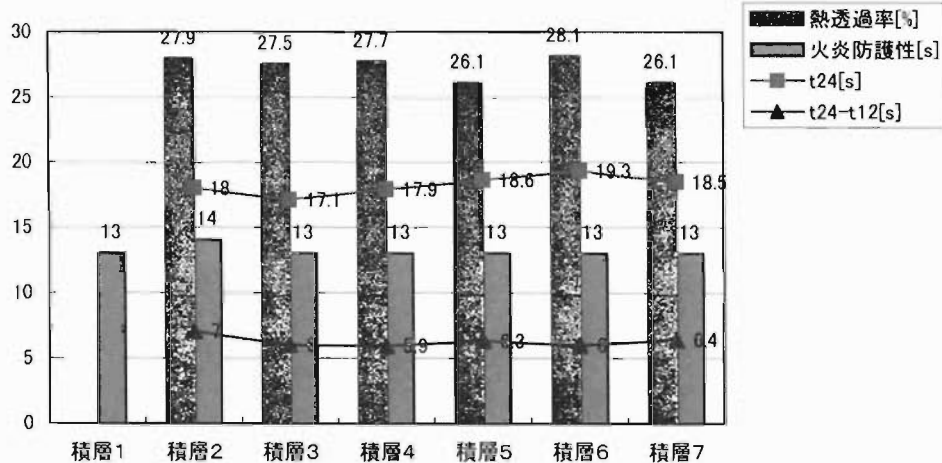


図1 積層品の比較



写真3 着用試験に用いた試料 (左から執務服、防火衣1~5)

(1) 被験者

A 消防署本署二部警防隊員4名、平均31歳

(2) 測定項目

ア 蒸発汗量

被験者の裸体重と防火衣等装備時の体重を測定し、それぞれ実験前後の差を蒸発汗量、防火衣等装備時の差を蒸発汗量とした。

イ 防火衣内温・湿度

温湿度センサを防火衣のインナとTシャツの間の胸部左側に取付け、1回/秒で測定した。

ウ 体表面温度

温度センサを胸部左側体表面に取付け、1回/秒で測定した。

エ 心拍数

心拍測定器具を用いて、1回/5秒で測定した。

オ アンケート調査

快適性や機能性についてのアンケート調査を実施した。

(3) 試験当日の平均温・湿度 (表6)

表6 試験当日の平均温・湿度

	温度[°C]	湿度[%]
執務服	33.4	56.2
防火衣1	23.4	80.2
防火衣2	31.2	57.8
防火衣3	25.3	61.5
防火衣4	31.7	55.9
防火衣5	27.6	62.9

表7 消防活動モデル (耐火造)

消防活動	活動内容	平均活動時間 ^{※4)}
ホースカー えい航	ホースカー (総重量250kg) を60mえい航する	2分20秒
ホース搬送	フログガンと40mmホース2本 (計16.3kg) を3階まで搬送する	
ホース増加	40mmホース1本 (7kg) を3階まで吊り上げる	
移動	3階から1階へ戻る	
休憩 (2分間)		
連結送水管 セット搬送	連結送水管セット (計9.5kg) を1階より3階へ搬送する	1分15秒
移動	3階から1階へ戻る	
休憩 (2分間)		
投光器・発動 発電機搬送	投光器・発動発電機 (計22kg) を1階より3階へ搬送する	1分18秒
移動	3階から1階へ戻る	
休憩 (2分間)		
検索・救助	10m検索後、ダミー (40kg) を10m引っ張り救助する	39秒
休憩 (5分間)		

※4) 平均活動時間: 今回の被験者4名が活動に要した平均時間

消防活動モデル (耐火造) とは、東京消防庁管内で実際に発生した耐火造火災に最先着した消防隊員の行動調査をもとに、活動頻度の高い消防作業を抽出しモデル化したもの。



写真4 消防活動モデルを行う消防隊員

4 着用試験結果

(1) 発汗量

被験者4名の試料ごとの発汗量(平均)を図2に示す。防火衣1、3の発汗量が少なく、防火衣2、4の発汗量が多く、また、防火衣1、3に比べ執務服の時のほうが、

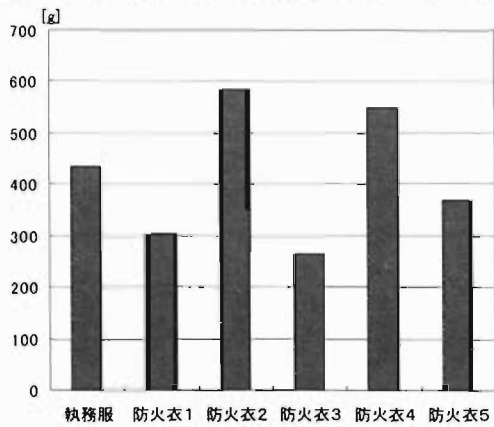


図2 発汗量 (平均)

発汗量が多い結果となった。これは、着用試験当日の気温・湿度等の環境条件が大きく影響しているためであると考えられる。

図3に試料ごとの発汗量に対する蒸発汗量の割合(被

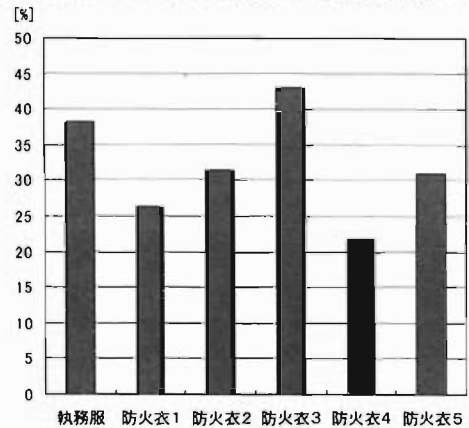


図3 蒸発汗量の割合 (平均)

験者4名の平均)を示す。透湿防水層のない防火衣3が最も高く、外気温の高かった防火衣4が最も低かった。執務服のとき、外気温は高かったが、通気性が高いためその割合も高くなったものと考えられる。外気温のほぼ同じ防火衣2、4を比較すると防火衣2の方が良いが、外衣の通気性が影響したものと考えられる。

(2) 防火衣内温度

被験者4名の防火衣内温度の平均を図4に示す。各被験者ともに、防火衣1、3、5のとき活動開始とともに防火衣内温度が上昇、防火衣2、4はほぼ横ばいに推移している。執務服、防火衣2、4のとき、高く推移しており、着用試験当日の環境条件の影響を強く受けていると考えられる。また、発汗量が多いと温度上昇が抑制される可能性がある。

汗が蒸発する際に周囲から熱を奪うため発汗があれば防火衣内温度、体表面温度は下がると考えられるが、そのような傾向が見られないのは発汗量が多いため防火衣を含めた、衣服による吸収・蒸発・乾燥の行程が機能していないためであると考えられる。

(3) 防火衣内湿度

被験者4名の防火衣内湿度の平均を図5に示す。各試料ともに、活動開始後に一旦下がった後、上昇する傾向にある。また、執務服のときは活動中に下がり、休憩中に上昇している。これは、活動開始とともにホースカーをえい航する際に衿元等から衣服・防火衣内に外気が流入し一旦下がった後、発汗により上昇したためであると考えられる。執務服の時は外気の流入が容易なためであると考えられる。

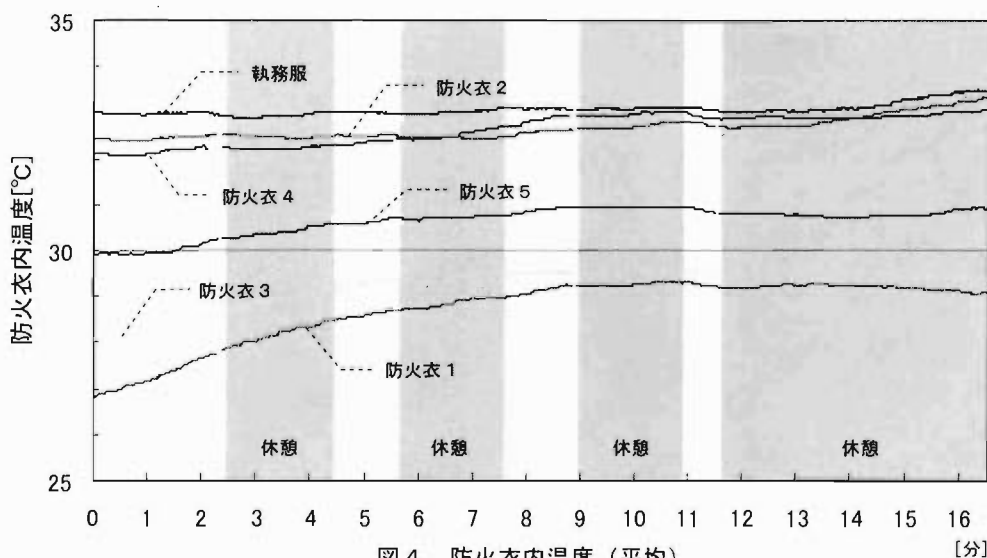


図4 防火衣内温度 (平均)

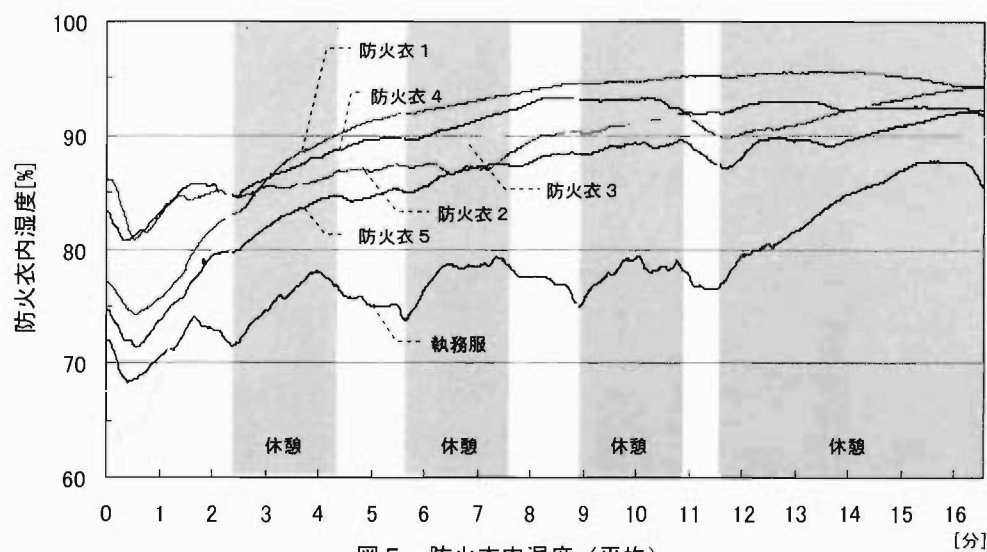


図5 防火衣内湿度 (平均)

(4) 体表面温度

被験者4名の体表面温度の平均を図6に示す。各試料とも、第1回目の休憩以降、上昇する傾向にある。これは、個人差はあるものの高温多湿下において活動を行ったことにより心拍数・血流量の増加に伴って体温が上昇したためであると考えられる。よって、体表面温度の上昇は環境条件よりも心拍数に依存すると考えられる。

(5) 心拍数

被験者4名の心拍数の平均を図7に示す。執務服のとき、もっとも高く推移しているが、これは試験当日の外気温が最も高くまた、着用試験初日で体が負荷に対し順応できていないためであると考えられる。このことから、心拍数は個人の運動負荷に対する身体強度と環境条件に依存すると考えられる

(6) アンケート調査結果 (図8～13)

活動終了後、各資料についてアンケート調査を実施し、各被験者の評価を+2点から-2点の5段階で点数化し、

その平均値を算出した。

防火衣2、3、4は、マイナス評価はなく、特に防火衣3は全項目+1点以上となっている。これは、防火衣2、3は重量が軽く、特に防火衣3は透湿防水層がないため快適でありまた、機能的であったためと考えられる。防火衣4は、内衣にニット生地を使用したことにより、消防活動のような激しい動きにも内衣が追従できることで機能が向上し、また、べとつきがないとの項目で良い評価を得たと考えられる。

当庁の消防隊が通常着用する防火衣構成の中では、防火衣4が全体に良い評価を得た。防火衣1は、フィット感や動きやすさといった点で良い評価を得ているがこれは、現用の防火衣で着慣れていることが大きく影響していると考えられる。防火衣5は金属を被覆したためごわつきや硬さが増し、快適性・機能が失われたため、活動中に暑さや蒸れがあるとの回答があったものと考えられる。

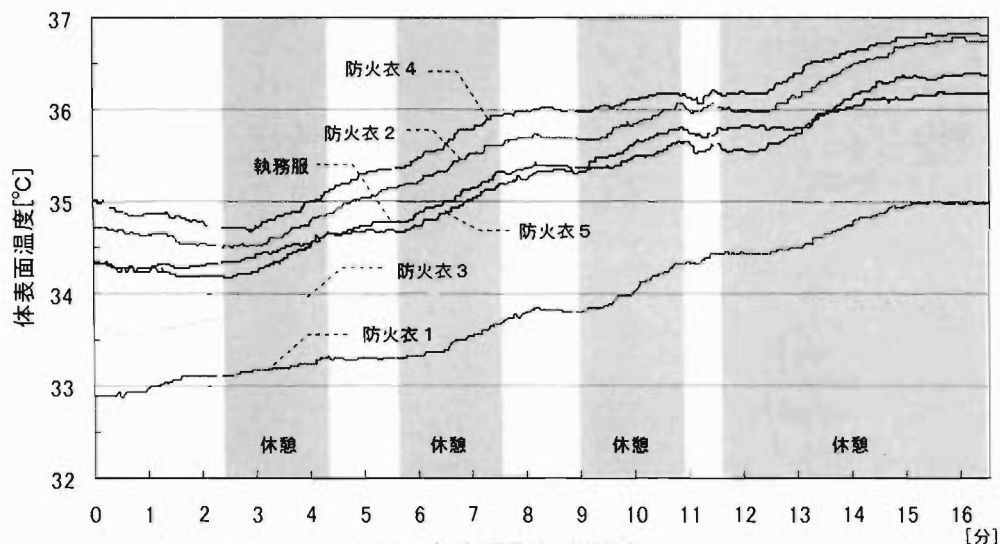


図6 体表面温度 (平均)

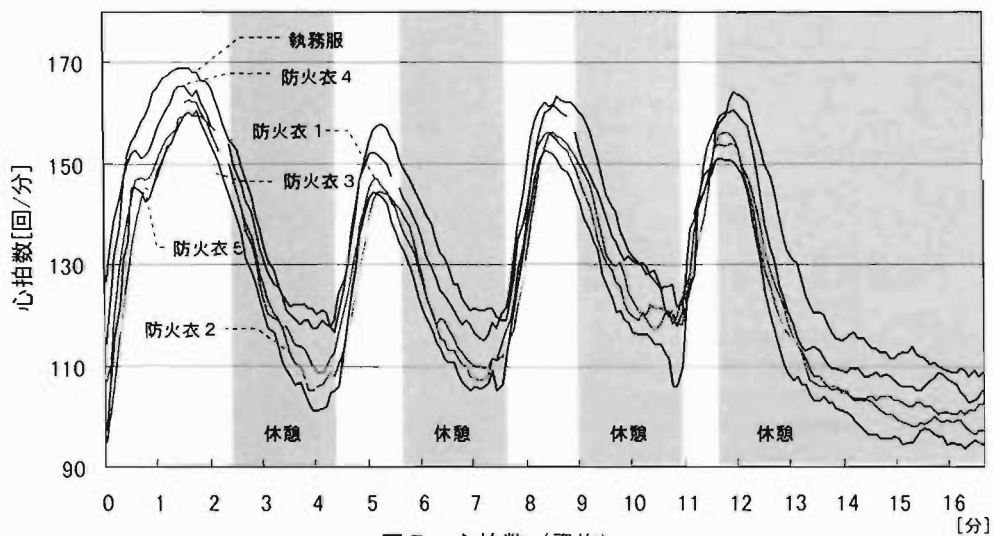


図7 心拍数 (平均)

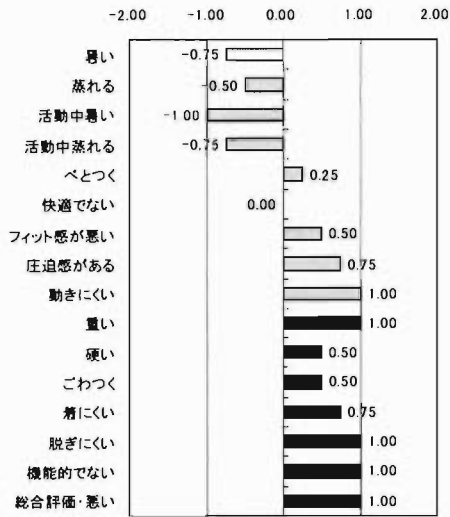


図8 執務服

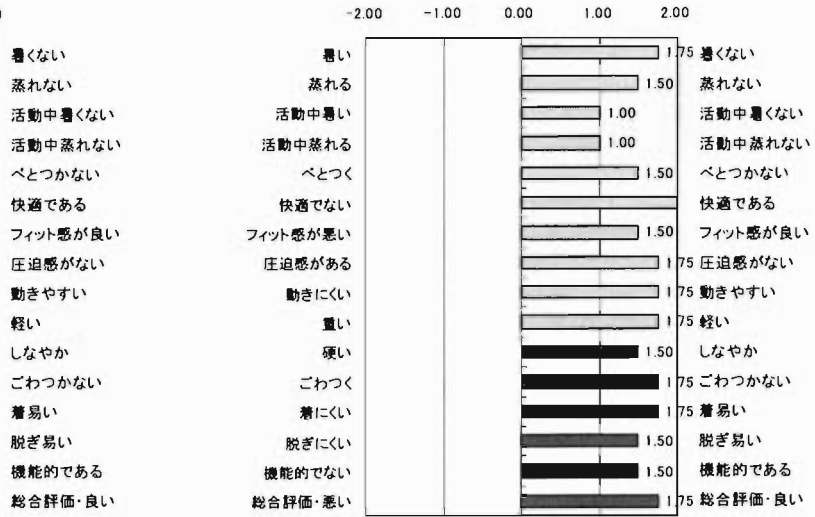


図11 防火衣3

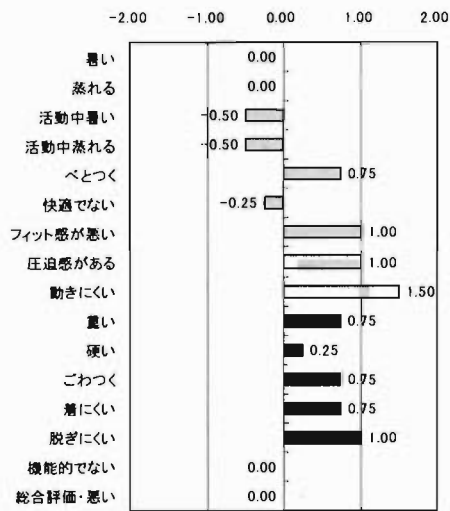


図9 防火衣1

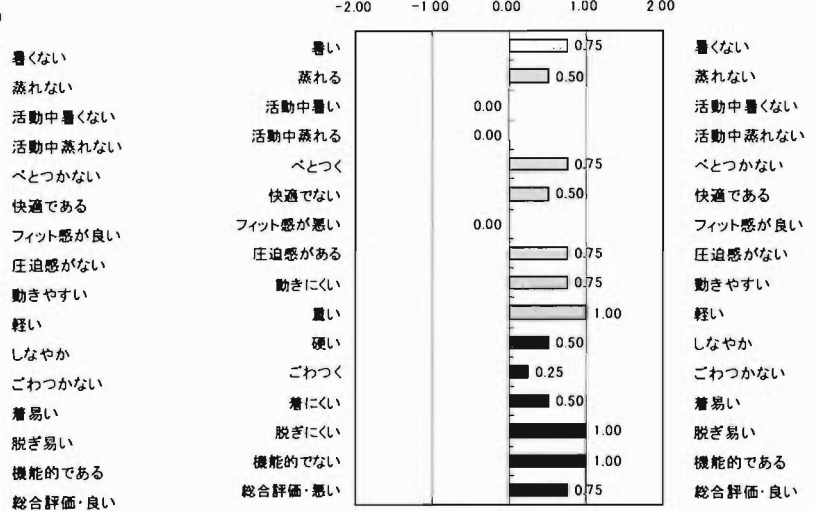


図12 防火衣4

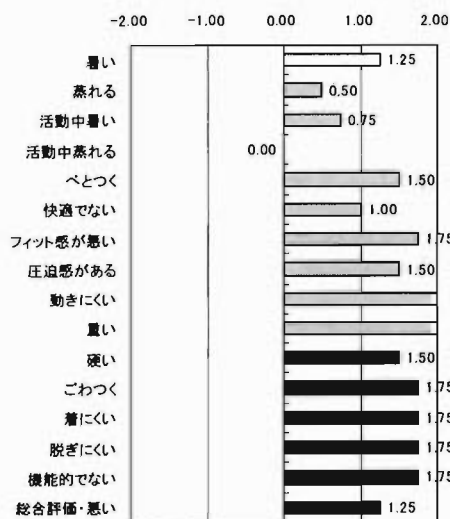


図10 防火衣2

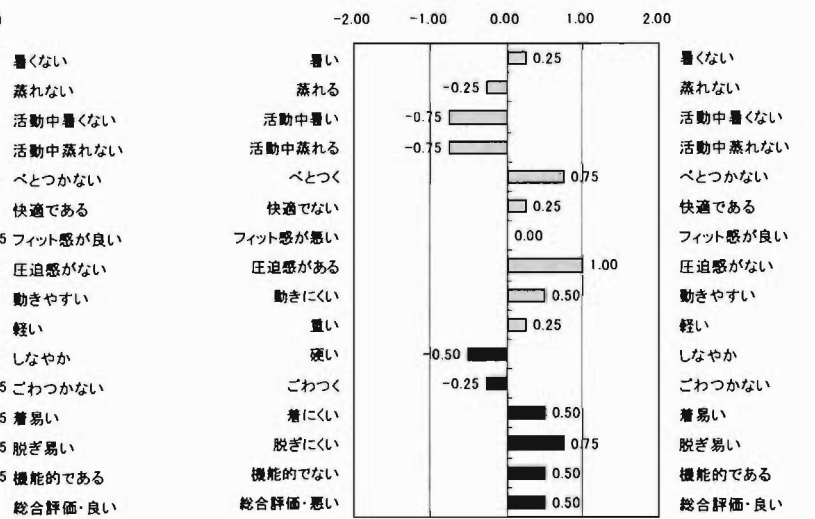


図13 防火衣5

5 着用試験に関するまとめ

- (1) 透湿防水層のない試料は、発汗量に対する蒸発汗量の割合が大きくなる。
- (2) 防火衣の素材の違いによる防火衣内温度の差異は外気温度に大きく影響される。
- (3) 透湿防水層の有無に関わらず、防火衣内湿度は外気温度が高いと防火衣内温度が高くなり発汗量が増し高くなる傾向がある。
- (4) 体表面温度は運動負荷とともに高くなり、下がらない。
- (5) 心拍数は、防火衣の素材・構成、外気温度・湿度よりも、被験者の心的・身体的負荷に対する強度に依存する。
- (6) 透湿防水層がなく軽量な防火衣ほど着用感に優れている。
- (7) 外衣や內衣の生地感触や軽さは主観的快適性に加えて、軽さは主観的機能性や総合的な指標にも影響することから、形状、重量も快適性の重要な要素となると考えられる。
- (8) ニット生地を用いた內衣は、体力消耗を防ぎ、特に長時間の活動時に身体への負担軽減が期待できる。
- (9) 試験結果の多くが気象条件、特に外気温の影響を受けていることから、着用試験はその影響を受けないような、空調施設で環境温度を制御できる大型の体育館などで行うなどの必要がある。

6 熱環境室を用いた着用試験

(1) 試験概要

新素材の透湿防水層の有効性を検証するため、消防科学研究所の熱環境室にて外環境の影響を最小限にし、現用防火衣と透湿防水層を新素材のものに変えた2種類の防火衣(表8)について、踏み台昇降運動(表9)を行い着用試験同様の方法で身体的変化等について測定を行った。

表8 熱環境室における着用試験に用いる試料

試料	素材・構成	
	外衣	內衣
防火衣A 一般隊員用	アラミド繊維 (綾織り)	多孔質透湿防水素材 +アラミド繊維ストライプ生地
防火衣B		形状記憶ポリマ +アラミド繊維ニット生地

表9 踏み台昇降運動の行程

開始	着用 待機	入室 待機	運動	休憩	運 動	休憩	退室 待機	終 了
	5分	5分	5分	5分	15分	5分	5分	

※熱環境室内温度30℃、湿度30%

(2) 試験結果

被験者2名の発汗量の平均を図14に示す。発汗量は防火衣Bの方が多く、発汗量に対する蒸発汗量の割合の平

均(図15)は防火衣Bの方が多い結果となった。これは、発汗量が多い場合においても新素材の透湿防水層の方が現用に比べ透湿性に優れているためであると考えられる。

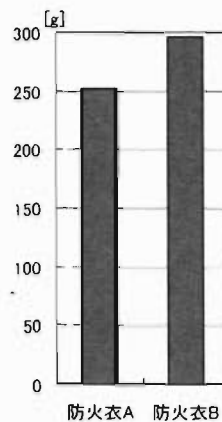


図14 発汗量 (平均)

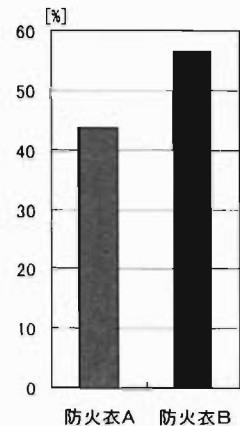


図15 蒸発汗量の割合 (平均)

7 熱環境室を用いた着用試験に関するまとめ

2名の被験者についてそれぞれ1回ずつ防火衣Aと防火衣Bを着用し、熱環境室内で踏み台昇降運動を行い発汗量、防火衣内湿度等を比較した結果、新素材の透湿防水層の方が透湿性に優れていることがわかった。

8 結論

物性試験と防火衣の着用試験を行い、以下のような結論を得た。

- (1) ガラスコーティングまたは、金属コーティングした外衣を用いた防火衣は、火炎、輻射熱防護性能ともに、現用品と同等またはそれ以上の性能を有している。
- (2) 着用試験においてガラスコーティングした防火衣は快適面、機能面で被験者から良い評価を得た。金属をコーティングした防火衣は、快適性や機能性の面で現用とガラスのものよりも劣る評価だった。
- (3) 今回行った方法でガラスコーティングすると、はっ水性の向上が期待できる。
- (4) 生地素材だけでなく防火衣の形状や感触面から見た通気性、快適性についても考慮する必要がある。
- (5) 新素材の內衣は、現用に比べ透湿性に優れており、この內衣を用いた防火衣の熱の発散性能は向上した。
- (6) ニット生地を用いた內衣は、長時間活動時に身体への負担軽減が期待できる。

[参考文献]

- 1) 独立行政法人消防研究所: 消防研究所研究資料 62号、35-42、2003
- 2) 吉村延雄、山崎保志、大竹晃行: 防火衣の被服内滞留熱の発散性の向上方策に関する研究、消防科学研究所報 40号、東京消防庁消防科学研究所、2003

A STUDY OF THE METHODS FOR IMPROVING THE DISPERSION OF THE HEAT ACCUMULATED INSIDE PROTECTIVE CLOTHING (SECOND REPORT)

Katsumi AGUI*, Nobuo YOSHIMURA*, Kenji KAMAGATA*,

Yasushi YAMAZAKI*, Teruyuki OTAKE**

Abstract

Though it has an excellent tolerance to high temperatures in a severe outside environment, the inside of the protective clothing for fire fighting becomes high in terms of temperature and humidity, causing a wearer's physical burden. As for Tokyo Fire Department, about 11% of the affected on-scene fire fighters during 2003 were the victims to heat exhaustion. With the goal of improving the heat dispersion in protective clothing, and with attention paid to the material of fireproof clothes, related research has been conducted since 2002. This time, the material was improved based on the research, and we got the following conclusion as a result of doing trial production, and trying new protective clothing.

1. The protective clothing with glass/metal outside, and with a new type of material inside proved to have the flame and radiant heat resistance equal to or higher than that of the clothing currently in use.
2. The permeability of the new material is excellent in comparison with that of the material currently in use. Accordingly, the new inner material improved the heat dispersion of protective clothing.
3. Knitwear material is especially expected to reduce a wearer's physical burden at the time of a long activity.
4. For improvement, we must review not only clothing material, but also its ventilation and "wearing comfortableness".

* First Laboratory ** Special Incidents Section