

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

吉村 延雄*, 山崎 保志*, 大竹 晃行*

概 要

防火衣に関する研究はこれまで数多くなされてきており、現在の防火衣はより高い耐熱性及び防水性を兼ね備えるまでに至った。しかしながら、外の高湿環境に対しては強い耐性を持つ反面、防火衣内においては高温多湿といった身体的負担を隊員に課している。

このことから、防火衣内の熱発散性の向上を目的とし、防火衣を構成する素材面から調査・検討を行い、数種類の新素材を選定した。それらの新素材について、防火衣への適応性に関する各種試験を実施し、次のような結果を得た。

- 1 ガラス質コーティング及び金属被覆を外衣生地に施すことによって、通気性を確保した状態で、はっ水性、防汚性及び熱反射性等の向上が期待できる。
- 2 ガラス質コーティング及び金属被覆加工を外衣生地に施しても、素材の機械的強度及び熱伝達指数は現用と同等の性能を維持していた。
- 3 透湿防水層としての形状記憶ポリマーは、試験方法によっては現用よりも大きな透湿性が得られた。
- 4 積層構成に新素材を用いた場合でも、現用と同等の耐熱性能が得られた。

1 はじめに

火災現場において、消防隊員は種々の危険な状況下におかれている。その中で隊員が安全かつ効率的に消防活動を行うためには、火災現場に即した隊員の活動性・作業性を考慮すると同時に、隊員の身体を保護できる装備が必要である。その中で空気呼吸器やヘルメット等とならび、防火衣は重要な装備品の一つである。

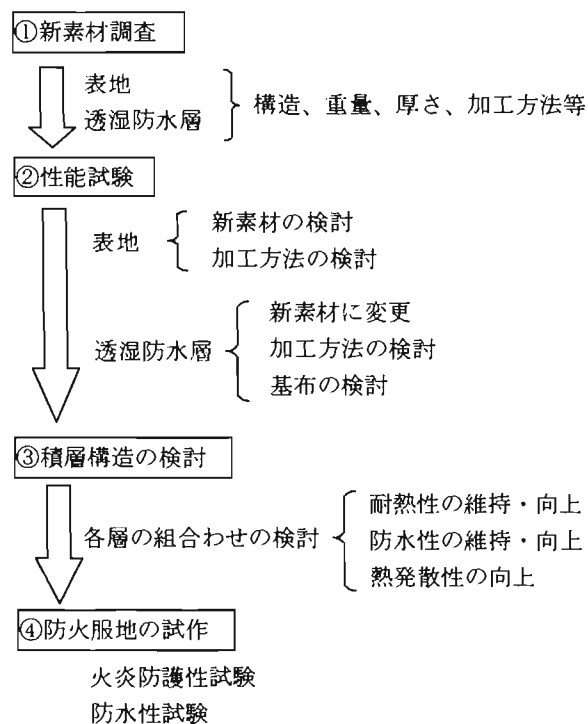
防火衣は、火災現場で着用するものであり、人体に対して危害が加わった場合でも、身体を保護し、これらの影響を緩和できることが必要であり、消防活動に適したものでなければならない。

現在使用されている防火衣は、外衣生地、透湿防水層及び裏地(断熱層)からなる3層構造となっており、当庁においては、仕様書により各層についての基準が定められている。しかしながら、被服内滞留熱の発散性能に関する基準は明確ではなく、隊員に課される身体的負担は大きく、熱中症等の危険性が考えられる。

このことから、本研究では現用防火衣に使用されている素材の性能を基準とし、新素材との性能比較・検討を行い、積層構造とした時の性能を踏まえ、素材面での熱発散性能の検証を行った。

2 研究フロー

次のような段階において、調査・検討を行い、防火服地の試作から性能試験を行った。



3 防火衣の変遷

現在、当庁で使用している防火衣は芳香族ポリアミド繊維を用いた、外衣、透湿防水層及び断熱層からなる3層構造であり、上衣とズボンに分かれたセパレート式となっている。セパレート式になるまでは、芳香族ポリアミド繊維にアルミ粉末ゴムコーティング加工を施したコート式のものであった。主な仕様を表1に示す。

以前使用されていたアルミックス防火衣は、単層かつコート式であったため熱防護性に問題があった。それに比べ現用防火衣は、3層構造とすることにより高い熱防護性を確保し、セパレート式を採用することにより、活動性の向上と身体の密閉性を高めている。これによって現用防火衣はISO（国際標準化機構）による「消防隊用防護服」の規格に定められる熱防護性能を満足している。

また、中衣に透湿防水層を設け、防水性を確保しながらも透湿性を付加することにより、蒸れの防止を図っている。

表1 主な仕様

形状	素材・構成	特徴
以前の防火衣 コート式 (アルミックス)	<単層> 芳香族ポリアミド平織にアルミ粉末ゴムコーティング加工	<ul style="list-style-type: none"> ・高い防水性をもつ ・熱反射性がよい ・着装に時間がかからない ・透湿性、通気性がほとんどない ・股間部、大腿部を保護できない
現用防火衣 上下 セパレート式 (ハーフコート)	<3層構造> 外衣 芳香族ポリアミド繊維 透湿防水層 芳香族ポリアミドの基布に透湿防水加工 断熱層 芳香族ポリアミド平織生地にストライプ状の凹凸をつけたもの	<ul style="list-style-type: none"> ・高い熱防護性をもつ ・透湿性、通気性に優れている ・股間部、大腿部を保護できる ・熱反射性がない ・汚れが付きやすい ・防水性を持たせるため特殊な加工が必要

4 現用防火衣の生地構成

現用防火衣はISO 11613に準拠しており、図1のような3層構造となっている。各層はJIS規格等に準拠した試験により、引張・引裂強度等の機械的強度や防水性、またISO 9151に準拠した試験による火炎防護性などの性能も有しており、積層とすることによりトータル的に防火衣としての性能を確保している。

なお、各層における現用防火衣が有している主な機能については、次のとおりである。

(1) 外衣生地

メタ系芳香族ポリアミドにパラ系芳香族ポリアミドを混紡し、耐熱性ととも耐切削性を確保している。また、表面をフッ素樹脂コーティングすることにより、はっ水性の向上を図っている。

(2) 透湿防水層

芳香族ポリアミドの基布の片面にフッ素系樹脂膜をラミネートしたもので、身体から発生した水蒸気を外に排出して蒸れの解消を図りながらも、表地では確保できなかった耐水性や耐薬品性をこの層により確保している。

(3) 裏地

断熱層ともよばれ、この層において空気層を設け断熱性の向上を図っている。現用防火衣では芳香族ポリアミドを主体とした難燃生地にアラミド繊維の糸をストライプ状に縫い付け、その凹凸によって図2のように裏地と透湿防水層の間に空気層を確保している。

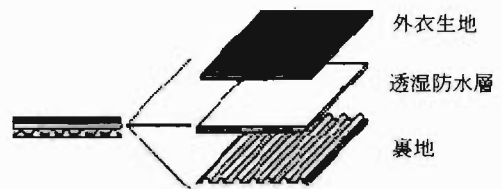


図1 現用防火衣の積層構造

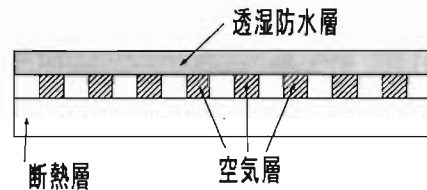


図2 断熱構造

5 素材の調査

(1) 防火衣に求められる性能

防火衣の置かれる環境は極めて過酷な状況がほとんどである。ISO 11613にも規定されているように、隊員の身体を熱から防護するために防火衣は重厚かつ密閉された構造になっている。そのため、隊員への身体的負担を和らげるためには、構成素材が有する熱発散性能の向上が必要不可欠である。

防火衣に用いられる素材は、引張・引裂強度等の機械的強度や耐熱性はもちろんのこと、はっ水度、はっ油度及び耐水度などの防水性も確保しなければならない。その上で、防火衣内の滞留熱を発散させるための通気性や透湿度を向上させる必要がある。一般に、防水性と通気性は相反するものであり、両立させるのは困難といわれている。現用防火衣では、透湿防水層を設けることにより、それらを満足している。

しかしながら、防水性は十分であっても熱中症予防の面からみると、透湿性が不十分であるのが現状である。

ア 防水性

防水性とは、繊維製品の水の通過、浸透及び湿潤に対する抵抗性をいい、その抵抗度を耐水度、漏水度及びはっ水度で表し、これらを防水度と総称する。

火災現場では、防火衣の水濡れによる耐熱性能の低下等、防火衣への影響が考えられる。そのため、当庁では耐水度及びはっ水度が仕様の中に定められている。

(ア) 耐水度

水の通過する抵抗度で、耐水度試験機 (JIS L 1092 B) により布の一面に水圧をかけた場合水が布を通過して他面に出てきた時の水圧、又は一定水圧の下で水が布を通過して出てくる時間で表す。耐水性をもつものは、通気性がない場合が多い。

防火衣には、放水による防火衣内への浸透を防ぐ目的で耐水性が要求されている。また、感染防止のための耐血液性を含めた耐薬品性も定められている。

(イ) はっ水度

布が水を反発する程度で、スプレー試験機 (JIS L 1092) を用い布の表面に一定量の水を散布した時の布の湿潤状態を比較見本と照合して判定する。

外衣生地にははっ水性を確保することにより、雨水等の浸透、防汚性及び水の染み込みによる防火衣の重量化を防いでいる。

しかしながら、はっ水性は長時間の使用や、洗浄等により効果が低下してしまうため、洗浄方法に制限があるほか、定期的にはっ水処理を行う必要がある。

イ 防水加工

一般に、天然繊維は親水性であり、疎水性の化学繊維類も防水性は不十分であるので、これら繊維に防水性を与えるためには、防水加工が不可欠である。防水加工には不通気性防水加工と通気性防水加工とがある。

(ア) 不通気性防水加工

水の通路となる布内部の隙間をなくし、布面に加えられる水圧に対し水や布の表面張力等に基づく抵抗力を大きくして水の浸透を阻止するため、天然ゴム等で布内部の隙間を充填したり、表面をコーティングする方法である。

この加工を施した布類は、十分な耐水性をもつが空気、水蒸気の流通が全く無くなってしまふ。以前使用されていたアルミックス防火衣は不通気性防水加工である。

(イ) 通気性防水加工

一般に繊維業界でははっ水加工と呼ばれているもので、布の表面を疎水化し、布面に当たる水滴をはじくように、パラフィンワックス類等で加工するもので、布の間隙は残るので空気、水蒸気の流通が確保される。そのため、レインコートなどの外衣類に使用される。

はっ水性は水と材料の引き合う力 (付着力) よりも、水の分子どうしが引き合う力 (凝集力) の方が大きい時大きくなる。図3のように接触角 θ が 90° より小さい場合濡れた状態となり、 90° より大きい場合はっ水性を示す。

材料に撥水性を持たすためには、水の表面張力よりも小さい表面張力をもつ樹脂等を材料の表面にコーティングすればはっ水性が得られる。

現在、防火衣に使用されているフッ素系のはっ水剤は、特に表面張力が小さいため、はっ水性のみならずはっ油性も得られる。

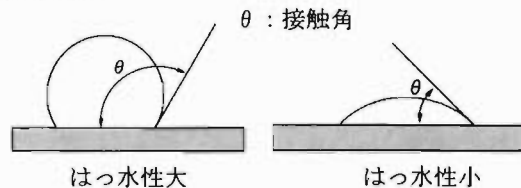


図3 材料表面の水滴と接触角

ウ 透湿性

透湿性は、防火衣内の蒸れの解消を図るために当庁仕様の中に盛り込まれており、現用防火衣においては、透湿性ととも防水性も確保するため透湿防水素材を用いている。図4に透湿防水の機構を示す。透湿防水性素材は、水蒸気 (直径 $0.0004 \mu\text{m}$) は透すが、霧や水などの水滴 (直径 $100 \sim 3000 \mu\text{m}$) は透さないというものである。

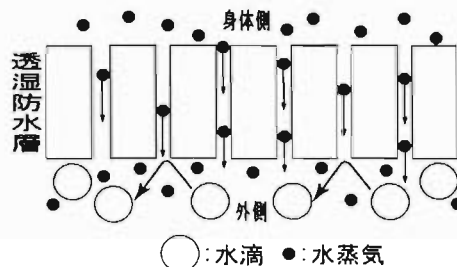


図4 透湿防水機構

透湿防水素材には、多孔質構造の有無、膜の有無、コーティング又はラミネートなどの分類がある。コーティング加工とは塗布することをいい、ラミネート加工は布地とフィルムを接着し、積層にする加工をいう。それに対し、高密度織物は表面に特殊な加工を施さず、織物の状態であるため、高い通気性及び透湿性が得られる反面、高い耐水度は期待できない。一方、ラミネート加工は膜状のものを布地に貼り付けるため、高い耐水度を得ることができるが、高密度織物に比べると透湿性や通気性は劣る。

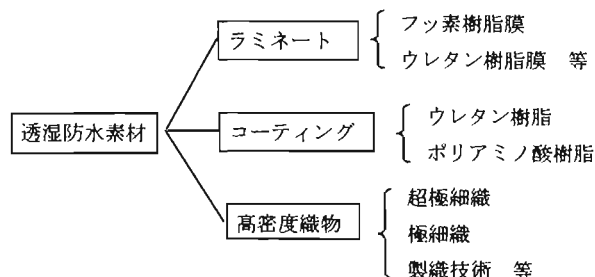


図5 透湿防水加工の分類

(2) 新素材の必要性能

防火衣の特殊性を考慮したうえで、次のような項目を中心に素材の調査を行った。

① 現用の透湿防水素材よりも透湿度の向上が期待できる素材の調査

透湿性を改善し、現用以上に蒸れの解消を図る。

② 外衣生地防水性を強化できる素材または加工方法の調査

防水性の強化によるはっ水効果の長期化、防汚性及び洗濯性の向上を図る。また、透湿防水層による必要防水性能を緩和し、透湿性の向上を図る。

③ 熱反射性の期待できる素材または加工方法の調査

アルミックス防火衣の特徴であった輻射熱の反射特性を、通気性を維持した状態で付与し、滞留熱の蓄積緩和を図る。

(3) 新素材の選定

以上のことを踏まえ調査・検討を行った結果から、次のような素材を選定した。

ア 外衣生地

- ・ ガラス質コーティング (写真2)

芳香族ポリアミド繊維表面にガラス質をコーティングすることにより、通気性を確保した状態で、芳香族ポリアミド本来の特徴に加え、はっ水性、防汚性、耐摩耗性及び低吸水性等の特性を付与するとともに、耐切創性の向上が期待できる。

- ・ 金属被覆 (写真3)

金属被覆(メッキ)は一般に金属を被覆するものであったが、無電解メッキを用いると合成樹脂、木材等の非金属材料表面にもメッキが可能となる。ガラス質コーティングと同様の性質を持ち、表面に金属被覆が施してあるため、高い熱反射性も期待できる。以前使用していたアルミックス防火衣に比べ、金属被覆は、加工後も通気性が確保されているところに特徴がある。



写真1 現用外衣生地 (×50)



写真2 ガラス質コーティング (×50)

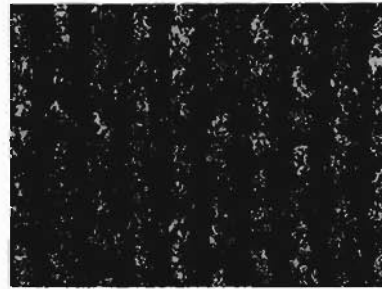


写真3 金属被覆 (×50)

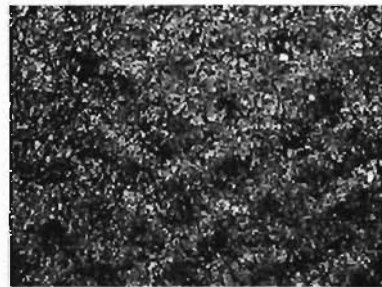


写真4 アルミックス (×50)

イ 透湿防水素材

- ・ 形状記憶ポリマー

現用防火衣に使用されている透湿防水素材に比べ、このポリマーは柔軟性が高い。伸縮性のある基布にラミネートすることにより着用時の風合い、活動性の向上が期待できる。

6 素材の性能試験

選定した新素材の防火衣への適応性を確認するため、性能試験を実施し、現用素材との比較、検討を行った。

(1) 仕様

試験に用いた素材の主な仕様を表2に示す。外衣生地は番手を統一するため30番手としたことから、現用品と同等素材を準備し、標準品と呼称した。

表2 主な仕様

種別	仕様	
外衣生地	標準品 (現用とほぼ同等)	混用率：縦・横アラミド 100% 密度：縦 85、横 55 組織：2/1 綾 番手：30/2 (現用は 20/2)
	ガラス質コーティング	上記の生地にそれぞれを加工したもの
	金属被覆	
透湿防水層	現用	芳香族ポリアミド 100%の基布の片面に多孔質防水素材をラミネート加工したもの
	形状記憶ポリマー	芳香族ポリアミド 100%の基布の片面に形状記憶ポリマーをラミネート加工したもの

(2) 試験方法

試験項目は当庁仕様に基づき、ISO規格及びJIS規格に準拠した試験方法により実施した。試験項目を表3に示す。

表3 試験概要

	試験項目	試験内容	規格等
外衣生地	引張強度試験	引張圧縮試験機を用い、引張強度を測定する。	JIS L 1096 A ラベル・ストリップ法
	引裂強度試験	引張圧縮試験機を用い、引裂強度を測定する。	JIS L 1096 A-1 シングルツング法
	はっ水性試験	試料表面に水を散布し、湿润状態から撥水度を測定する。	JIS L 1092 スプレー法
	通気性試験	フラジール型試験機を用い、試料を通過する空気量を測定する。	JIS L 1096 A
	耐摩耗試験	研磨紙により多方向に摩擦し、試験片が破壊したときの回数を測定する。	JIS L 1096 A-1 平面法
	熱伝達指数	試料表面に 80kW/m ² の炎を接炎させ、裏面の温度が 24℃上昇するまでの時間を測定する。	ISO 9151
透湿防水層	引張強度試験	引張圧縮試験機を用い、引張強度を測定する。	JIS L 1096 A ラベル・ストリップ法
	引裂強度試験	引張圧縮試験機を用い、引裂強度を測定する。	JIS L 1096 A-1 シングルツング法
	透湿性試験	試料に覆われた吸湿剤の重量変化により透湿度を測定する。	JIS L 1099 B-2 酢酸カリウム法
	耐水圧試験	試料を水が通過した時の水圧を測定する。	JIS L 1092 B 高水圧法
積層層	熱伝達指数	試料表面に 80KW/m ² の炎を接炎させ、裏面の温度が 24℃上昇するまでの時間を測定する。	ISO 9151



写真5 引張・引裂試験機

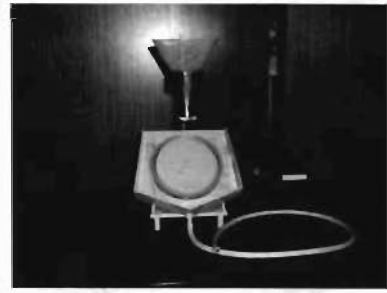


写真6 はっ水性試験機



写真7 通気性試験機



写真8 耐摩耗試験機



写真9 耐水度試験機



写真10 火炎防護性試験機

(3) 試験結果

各層における素材の試験結果を図6、図7及び表4に示す。グラフは当庁仕様を100としたときの試験結果である。外衣生地においては、熱伝達指数、耐摩耗及び通気性については当庁仕様に定められていないため、標準

品を 100 とした。

① 外衣生地

引張強度及び摩擦試験においては、ガラス質コーティング及び金属被覆とも標準品と同等の強度を有し、当庁仕様も満足していた。金属被覆については引裂強度が若干弱い、当庁仕様は満足している。また、通気性及び熱伝達指数も標準品とほぼ同等の結果であった。

はっ水性については、新素材は当庁仕様を満足することができなかった。

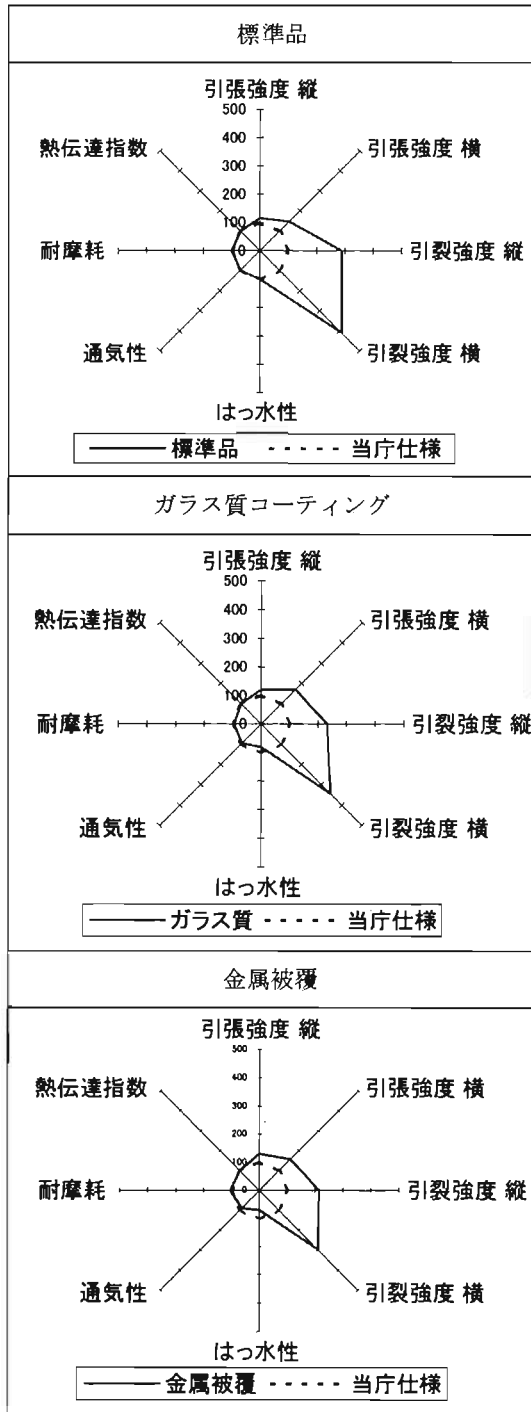


図6 外衣生地実験結果

② 透湿防水層

形状記憶ポリマーは引張、引裂強度ともに現用と同等の強度を有していた。しかし、耐水圧は当庁仕様を満足する結果は得られなかった。

透湿度は当庁仕様である B-2 法では基準に満たなかった。しかし、本来、防水性のある素材に適用される B-1 法による測定では、現用品より透湿度が大きくなり、透湿度は試験方法によって大きく異なる結果となった。

なお、グラフは B-1 法については当庁仕様に定められていないため、現用を 100 とした。

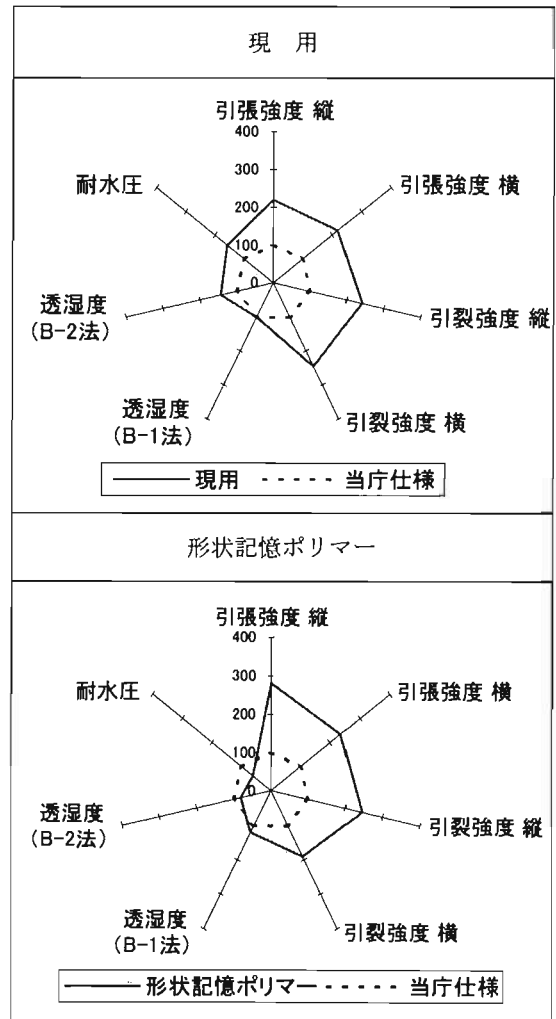


図7 透湿防水層実験結果

③ 積層構成

積層構成での熱伝達指数を表4に示す。

標準品を含め、透湿防水層及び外衣生地に新素材を用いても、ISO規格を満たしており、また、当庁仕様も満足していた。

表4 火炎防護性試験結果

構成	外衣生地	標準品		ガラス質コーティング*	金属被覆
	透湿防水層	多孔質防水素材(現用)	形状記憶ポリマー	形状記憶ポリマー	形状記憶ポリマー
	裏地	難燃生地片面に糸をストライプ状に織り込んだもの			
熱伝達指数(秒)	13	13	13	13	
	当庁仕様規格	熱伝達指数：13以上、16以下			ISO 9151

7 まとめ

(1) 外衣生地

- ・ 引張・引裂強度は、ガラス質コーティング及び金属被覆とも標準品と同等であり、防火衣として必要な機械的強度は有している。
- ・ 通気性、耐磨耗性及び熱伝達指数も標準品と同等であることから、表面加工による影響は少ない。
- ・ はっ水性は初期の点数が低いため、洗濯後はさらに低下すると思われる、当庁仕様を満足するためにはさらに改良が必要である。ガラス質コーティング、金属被覆ともに表面に加工を施してから従来どおりのはっ水処理を行ったため、本来のはっ水性能が発揮されなかったと考えられる。今後、はっ水処理の方法を改善することにより、はっ水性能の向上が期待できるものと思われる。

(2) 透湿防水層(形状記憶ポリマー)

- ・ 引張・引裂強度ともに現用品と同等であることから、防火衣に用いるための機械的強度は有している。
- ・ 透湿度は試験方法により大きく異なる結果となり、多孔質及び無孔質という素材の特徴の違いが結果に影響していると思われる。今後、透湿性能の向上を図るとともに、透湿度の試験方法についても、防火衣に用いられる透湿防水素材に最も適した試験方法を検討する必要がある。
- ・ 耐水度については仕様を満足することができなかったため、ラミネートの厚さの調整等が必要であると思われる。しかし、高い伸縮性が確認できたことから、着用時の活動性の向上が期待できるものと思われる。

(3) 積層構成

- ・ 積層構成において、外衣生地及び透湿防水層に新素材を用いても、防火衣に求められる火炎防護性能は有していた。

8 今後の予定

今回は、素材面に着目し調査・検討を行い、数種類の新素材を選定した。機械的強度は現用品と同等又は同等以上であったが、防水性能が不十分であった。各層のみならず、積層によるトータルな性能向上も含めて検討していかなければならない。また耐熱性も含め、防火衣にした時の性能評価も実施する必要がある。

今回の実験結果を踏まえ、以下の項目を中心に研究を進める予定である。

- ① 加工方法を再度検討し、各素材の性能の向上を図る。
- ② 新素材を用いた試作防火衣を作成し、着用試験を行う。アンケート調査等から新素材を機能性の面から評価する。また、防火衣レベルでの耐熱性も評価する。
- ③ 防火衣内滞留熱の発散性の向上を主眼とした、防火衣の形状に関する検討
- ④ 素材レベルでの評価結果と防火衣レベルでの評価結果の相関性の検討

[参考文献]

- 1) 横山久磨尾ほか3名：防火服の改良について、消防科学研究所報第21号、1984年
- 2) 國本由人ほか2名：今後の防火服について、消防科学研究所報第25号、1988年
- 3) 岩宮陽子、八木 修：超越紙について、機能紙研究会誌No.39
- 4) 快適性新素材の開発と応用：シーエムシー、2000年
- 5) 渡辺正元監修：高機能繊維の開発、シーエムシー、2000年
- 6) 成瀬信子：基礎被服材料学、文化出版局、1985年
- 7) 繊維製品試験マニュアル：日本規格協会、1981年
- 8) 日本規格協会編・刊：JISハンドブック

A STUDY OF METHODS FOR IMPROVING THE DISPERSION OF HEAT ACCUMULATED INSIDE FIRE COATS

Nobuo YOSHIMURA*, Yasushi YAMAZAKI*, Teruyuki OTAKE*

Abstract

Studies of protective clothing for fire fighting are abundant and have resulted in improved heat-resistance and waterproofing. However, though such protective clothing resists high temperatures in the outside environment, it results in physical burdens like high temperatures and humidity inside the suit.

With the goal of improving heat dispersion in fire coats, we conducted surveys of the materials used in coats and selected several new candidate materials. In order to test the suitability of these new materials for use in fire coats, we performed a variety of tests. Our results include the following:

1. By applying a glass or metal coating to the outer surface of the coat while maintaining good ventilation, improved water repellency, antifouling capacity, and heat reflectivity can be expected.
2. Even with glass or metal coatings, mechanical strength and heat transmission indices of the new materials can be maintained at the same levels as those of materials currently in use.
3. Depending on the test performed, a form-fitting polymer used in a permeable waterproofing layer was found to have greater permeability than the material in current use.
4. When using the new materials in a lamination structure, heat resistance properties were found to be equivalent to materials in current usage.

*First Laboratory