

防火服の改良について (第4報)

Improvement of Fire Coat (Series 4)

横 山 久 磨 尾**
 国 本 由 人*
 小 林 秀 俊*
 宇 田 川 英 雄*

Zirpro-processed wool fibers that are excellent in flame retardation and heat resistance as material for fire coats has been developed attracting people's attention.

However, wool fibers are inferior in strength than synthetic ones.

We developed cloth by mixed-spinning wool fibers and aromatic polyamide fibers, and compared their properties through various experiments with the following results.

1. はじめに

火災現場において、消防隊員は種々の状況下におかれています。その状況のなかで隊員が十分な消防活動を行うには、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防火服が必要である。

防火服として具体的には

- (1) 消防隊員の火災現場における、現場行動を踏え、活動性・作業性に富み機能的である。
- (2) 防火服の構造として、軽量であり、吸湿性に勝っており、隊員の疲労を軽減できるものである。
- (3) 火災現場における、熱や炎から隊員の身体を保護する効果を有している。

等のことが考えられる。

2. 目 的

本来、天然繊維であるウール繊維は、繊維自身が防炎性をそなえている。燃焼性の点から言えば、難燃繊維とみなされる。

例えば、ウール繊維に、特に強い火源を近づけると着火をするが、この火源を取り除くと燃焼を持続することがなく、わずかの間くすぶる位であり、発火した時に溶触をしないので、皮膚を痛めたり、炎を拡大しない性質がある。

また、輻射熱に対しても、残留熱が低く、熱移動が少なく、天然繊維の特質として、吸湿性、はっ水性にも勝れている。そして、柔軟性があり、軽量である。これら、ウール繊維自身が本来そなえている長所を生かし、防熱・防炎性能を一層向上させるために、ザプロ加工が施され、その加工を施したウール繊維が防火服用の生地として開発された。だが、ウール繊維は機械的な強度に弱く水洗い洗濯を実施すると収縮や外観変化が激しい点がある。

今回は、ウール繊維の特長を生かしながら、機械的な強度、洗たく性を改良するために、防火服用の生地として、ウール繊維と芳香族ポリアミド繊維の混用生地の試作を行ない、混用率と織り方の異なる6種類の試作生地と東京消防庁(以下「当庁」という)で現在使用している、芳香族ポリアミド繊維を基布としてアルミ粉末入りのゴムをコーティングした生地との比較性能試験を実施した。

※ ザプロ加工

羊毛繊維のもつ天然の防炎性を、本来もっている保温性・吸湿性・弾力性・染色性などの特性をそこなわないで防炎性能を強化させる処理をいう。

特長として、手触りが変化しない、煙の発生が増大しない、水・洗濯・ドライクリーニング・汗に対しても十分堅牢であり、着用に耐久性がある等である。

※ はっ水性

* 西新井消防署長 * 第一研究室

繊維自身がそなえている水の浸透を防止する、はねちらす性質。はっ水加工は、繊維にはっ水性を与える加工法で、織物の通気性を害しないために織物の多孔性を残して処理する方法をいう。また防水加工は、織物の表面を油脂類・ワックス・ゴム・ビニール樹脂・ウレタン樹脂などでおおい、水の浸透を防ぐ方法で、したがって通気性が悪い。

3. 試料

試料は、表1のとおりである。

表1

No	試験試料	混用率 (%)	糸 使 い		備 考
			経	緯	
1	サージ	W 75 APA 25	W 50 APA 50 2/52	W 100 2/36	
2	ハイサージ	W 60 APA 40	W 60 APA 40 2/52	W 60 APA 40 2/52	
3	ハイサージ	W 50 APA 50	W 50 APA 50 2/52	W 50 APA 50 2/52	
4	トロピカル	W 50 APA 50	W 50 APA 50 2/52	W 50 APA 50 2/52	夏服用生地
5	カルゼ	W 50 APA 50	W 50 APA 50 2/52	W 50 APA 50 2/52	
6	サージ	W 25 APA 75	APA 100 30/2	W 100 APA 50 2/52	
7	当 庁	APA 100	APA 100 30/2	APA 100 30/2	アルミ粉入りゴムコーティング

W-WOOL (ウール) APA-AROMATIC POLYAMIDE (芳香族ポリアミド繊維)

4. 試験の内容

試験の内容は、次のとおりである。

(1) 機械的強度試験

ア. 引張試験

JIS規格に準じインストロン型万能試験機を用いて、定速伸長を行い、試験片のそれぞれたて方向・よこ方向について3回ずつ実施し、その測定値の平均値で表す。試験片の幅は50mm、長さ200mm、つかみ間隔100mmとし、引張速度は100mm/minとして試験を実施した。

イ. 引裂試験

JIS規格に準じ2種類の方法で試験を実施した。

第1は、インストロン型の万能試験機を用いて、試験片をたて方向・よこ方向、それぞれ3枚採取し、それぞれの測定値の最大荷重を測定し、それぞれの平均値で表わす。

第2は、エレメンドルフ形の引裂試験機を用いて実施したもので、試験片をたて方向・よこ方向、それぞれ3枚採取し測定しそれぞれの引き裂れた荷重のたて方向・よこ方向のそれぞれの平均値で表わす。

試験片の大きさは、63mm×100mmで長辺の中央に辺と直角に20mm切れ目を入れ残り43mmの試験片が引き裂れたときの荷重を測定する。

ウ. 破裂試験

JIS規格に準じインストロン型の万能試験機（定速伸長形法）を用いて、図1に示すように実施する。

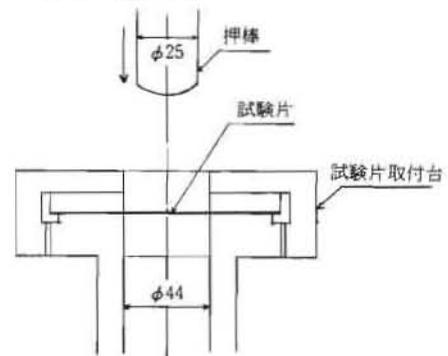


図1 破裂試験(インストロン型)

直径約80mmの試験片を5枚採取し、しわやたるみが生じないように、均一な張力を加えて、クランプに取り付ける。加圧速度100mm/minで押棒が試験片を突き破る時の強さをはかり、その平均値で表す。

(2) 熱的性能試験

ア. 燃焼試験 (45°マイクロバーナー法)

JIS規格に準じて実施する。燃焼試験箱(図2)を用い、試験片の大きさを350mm×250mmとし、たて方向、よこ方向それぞれ3枚採取し試験を実施する。

採取した試験片を支持わくに、たるみの

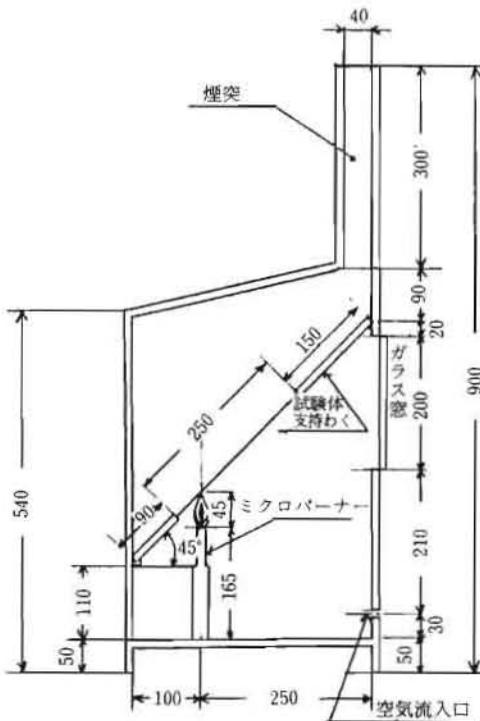


図2 燃焼試験(45°マイクロバーナー法)

ないようにはさみ、これをすでに調整済みの燃焼箱に取り付け1分間加熱し、残炎時間、残じん時間を測定する。次に試験片を支持わくからはずし、炭化面積をプランメーターを用いて測定する。

イ. 防熱性試験

JIS規格に設定されている「火災試験法」による方法を用いて試験を実施する。

この試験は、試験片を単一、または組合せたものを水平に図3のように水平にセットして、下方よりガス爆発の瞬間的に炎上した場合の火災に相当する熱量2.0Cal/cm²secのバーナー炎(約1000°C)を接炎し、試験片の裏面の温度上昇を時間経過に伴い測

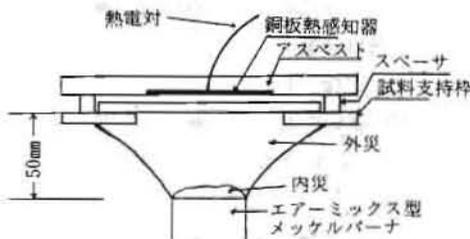


図3 防熱性試験 残留熱試験

定する。

この時間——温度上昇曲線が、Stoll—Chiantaの実験式から導かれた皮膚反応曲線の第1度火傷曲線(痛み)と第2度火傷曲線(水泡)との交点を求め、火傷に至る時間の長短あるいは透過熱流量の大小と防熱率からその素材の熱遮断特性の皮膚への影響を評価する。

ロ. 残留熱試験

防熱試験の装置を使用して、防熱試験に使用した同素材の新しい試験片に取り換え防熱試験で得られた第1度火傷(痛み)に達するに要した時間だけ(2素材の絶対比較を行う場合は同一時間だけ)接炎した後バーナー炎を除去し、その後の温度上昇変化の経過を測定する。

たとえば、第1度火傷に到達する時間は同じであっても、第2度火傷に至らず温度が下降した場合はひどい火傷を免れる結果となる。だが、第2度火傷以上に温度が上昇する場合は、痛みを感じた時点で火源から脱出しても残熱による温度上昇によって水泡以上の第3度の火傷を負うことになる。

(3) その他の試験

ア. 洗濯試験

JIS規格による洗濯試験により、電気洗濯機を使用し試験装置の水槽の一番上の線まで、液温40°Cの水を入れ、水1ℓに対して2gの割合で衣料用合成洗剤を添加して溶解し洗濯液として洗濯試験を実施する。

この洗濯液に浴比が1対30になるように試料及び必要に応じて負荷布を投入して試験を行う。

試験は350mm×800mmの長方形に裁断し端ミシンをかける。その試験布を同筒形に縫製し、5回、10回、15回、20回洗濯用として試験布を作成する。

洗濯機で洗濯を繰返し洗濯5回、10回、15回、20回後の試験布の外観・収縮などの状況を調べる。

5回、10回、15回、20回の繰返し洗濯を下図のように組み合わせ、常に試験布6種類各1枚同浴で実施した。

回数 試験布 試験布

- 5 回洗濯 ① 5回 ② 15回
 10 回洗濯 ② 15回 ③ 20回
 10 回洗濯 ③ 20回 ④ 10回

洗濯後、5回洗濯用、10回洗濯用、15回洗濯用、20回洗濯用各種試験布と各原布とをそれぞれ比較し、外観（変色、縮み、柔軟さ、逢目のほつれ等）・収縮等の判定を行う。

5. 試験の結果

(1) 機械的強度試験

試験結果としては、表2に示すように①No 6 サージ (W25% APA75%) ②No 5 カルゼ (W50% APA50%) ③No 3 ハイサージ (W50% APA50%) ④No 2 ハイサージ (W60% APA40%) の順であった。

表 2

試験内容 試験片	引張試験	引裂試験 (イレンスト ロン形)	引裂試験 (エンテン ドルフ形)	破裂試験
No 1 サージ	76.92	5.66	2.87	74.24
No 2 ハイサージ	104.4	6.28	4.64	107
No 3 ハイサージ	112.6	7.83	5.48	113.2
No 4 トロブカル	80.14	4.13	4.36	87.9
No 5 カルゼ	135.83	7.8	裂けず	135.5
No 6 サージ	135.89	8.87	5.9	139
No 7 当 庁	138.43	5.21	3.84	160.7

(kg・f)

結果として、No 6 サージが強度の面で一番良かったのは、芳香族ポリアミド繊維の混用率が75%であるためであり、またウール繊維と芳香族ポリアミド繊維の混用率が同じであるNo 3 ハイサージとNo 5 カルゼを比較するとNo 5 カルゼの方が約20%強度が勝っている。その理由は、生地織り方の違いによるもので、カルゼ織りの場合は、平織りの場合よりも組織があまり緊密でなく、地あいが柔軟で

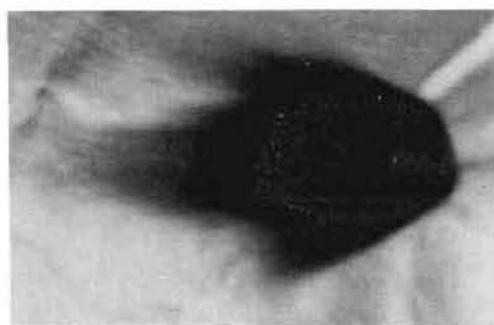
厚味があり、比較的強度があるのが特長である。

(2) 熱的性能試験

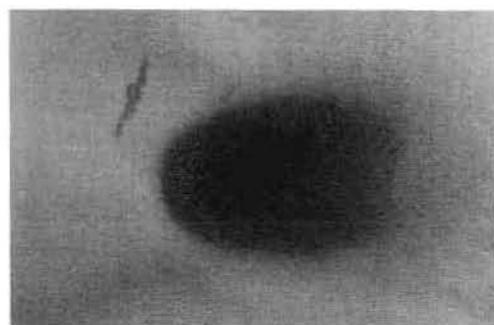
燃焼試験(45°法)の場合、試験片表面の炭化面積を比較すると、No 4 トロブカル、No 5 カルゼの炭化面積が少なく、当片(アルミ粉末入りゴムコーティングをしたもの)で採用しているものが、その面積は最も多い。

写真1、2に見られるように、接炎した生地表面の状況で理解できるように、当庁で採用している生地の場合、芳香族ポリアミド繊維を基布として表面にアルミ粉末入りのゴムをコーティングしているために、生地表面に接炎をすると着火が速やく、表面が燃え広がりが火災を避しても燃焼を持続する。そして裏面を見ると、基布である芳香族ポリアミド繊維が焦げている。

また、ウール繊維の生地は、火炎を接炎した場合、炎のあつた箇所の範囲で燃焼をするが、火炎を生地から離すと燃焼が止まり、若干くすぶるが溶融せずに、炭化層が生成される。その炭化層が生成されることにより、熱に対する保護効果を発揮する。

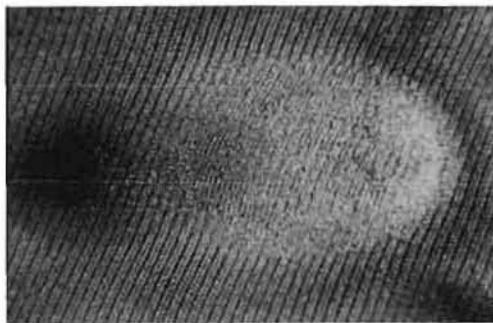


表面



裏面

写真1 当庁の燃焼状況



表面



裏面

写真2 No.5カルゼ（ウール50%芳香族ポリアミド50%を混用したカルゼ織）の燃焼状況。

また、防熱性試験・残留熱試験の結果については、まず防熱性試験の場合、当庁の生地とウール繊維を比較するならば、図4に明らかのように当庁の生地の方が、第1次火傷曲線および第2次火傷曲線に到達時間が他のウール繊維と比べるならば長くかかり防熱性については勝っている。

当庁の生地の場合、芳香族ポリアミド繊維を基布として、その基布の表面にアルミ粉末の入ったゴムをコーティングしているために、基布表面にアルミ粉末入りのゴム層が形成されるために基布表面側と完全に遮断される。また、基布の表面にゴム層が形成されるために生地に厚さがあり、短い時間内においては、接炎や輻射熱の加熱に対して良い結果を出している。

残留熱試験は、接炎時間により違いがある接炎時3秒の場合、図5に示すように、ウール繊維の生地は、第1次火傷曲線に到達する時間は程んど同じであるが、第2次火傷曲線に到達する時間に違いが生じられていると共に、第2次火傷曲線を越えてからの温度上昇

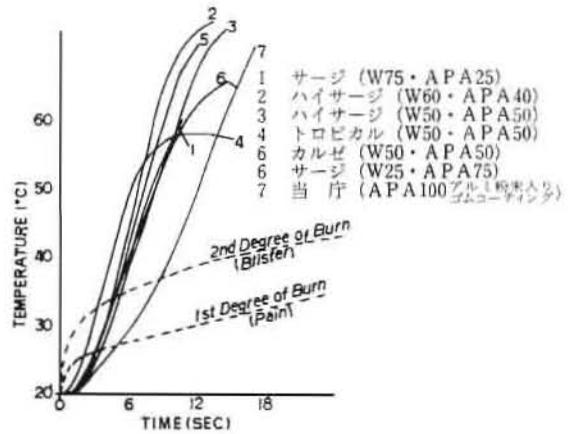


図4 防熱性試験

ピーク値に差異が生じている。No.6紗ジは、繊維の混用率がW25%、APA75%とウール繊維の混用率が少ないために温度上昇も大きい。また、No.3ハイ紗ジ(W50%、APA50%)とNo.5カルゼ(W50%、APA50%)の生

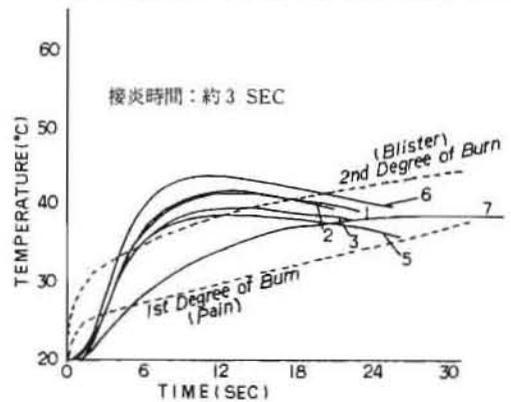


図5 残留熱試験

25-6

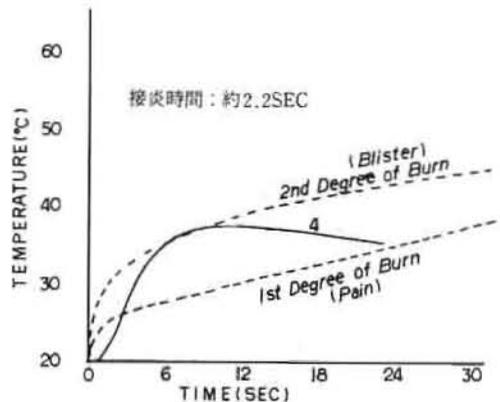


図6 残留熱試験

地を比較した場合、No5 カルゼの方が第2度火傷曲線を越えてからの温度上昇のピーク値が低下しているのは、No5 カルゼの方が生地厚みがあるために残留熱による温度上昇が少ない。

No7 当庁の生地は、短時間における熱遮断には効果があるが、接炎をした場合、アルミ粉末を伝導しゴム層に熱が移動する、そしてゴム層の場合は、熱の残留効果が大きい。図5に示すように、時間が3秒と短い時間であるために、温度上昇曲線は、第1度火傷曲線と第2度火傷曲線の範囲内に存在しているが、温度上昇曲線の傾向としては、第1度火傷曲線を越え更らに上昇してのびている。この傾向は、残留熱の多いことを示している。

ウール繊維の場合は、当庁の生地と比較して生地の厚みが異なり、一層であるために接炎を除去した後でも、残留熱にかなり高いのが見られるが、ピーク値に達した後は、下降線をたどっている。

次にウール繊維の生地の中で、残留熱試験で良かった、No5 カルゼの生地にインナー(W75%, APA25%)を重ね、二層にしたものとNo7 当庁の生地の残留熱試験を接炎時間を3秒、5.2秒、6秒と変化させて実施した結果図7、8、9に示すような温度上昇曲線をたどった。

当庁の生地は、輻射熱に対しては、良い効果を発揮するかも知れないが、接炎や熱の対流に対しては反対の効果を表わす結果になる。

ところが、No5 カルゼ(W50%, APA50%)にインナー(W75%, APA25%)を重ね二層構造にした場合は、コーティングした生地よりも良い結果を示している。したがって、生地の織り方の密度、厚みに関係があると共に空気層を設けることが必要である。また、比較的熱伝導率の低い繊維を使用する必要がある。同じ繊維を使用した生地でも、二層にすることにより優れた保護効果を発揮することがわかる。

(3) その他の試験

ア. 洗濯試験

洗濯試験は、洗濯機による水洗い洗濯を基本に考えて実施した。

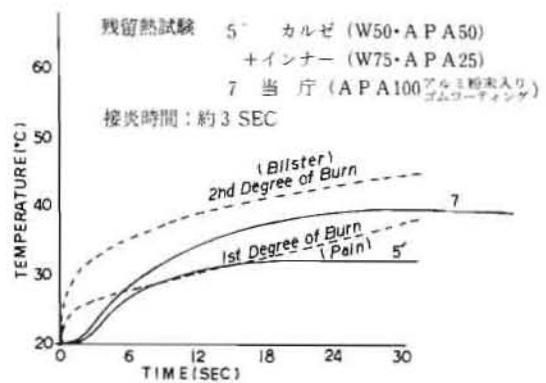


図7 残留熱試験

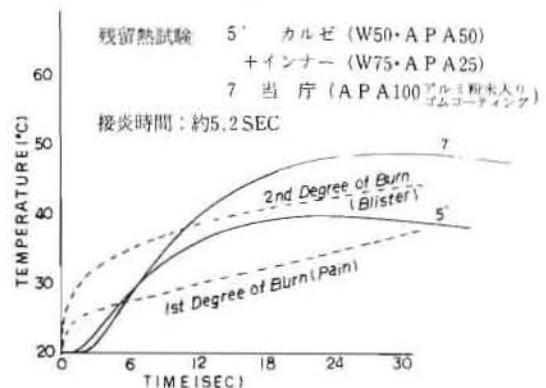


図8 残留熱試験

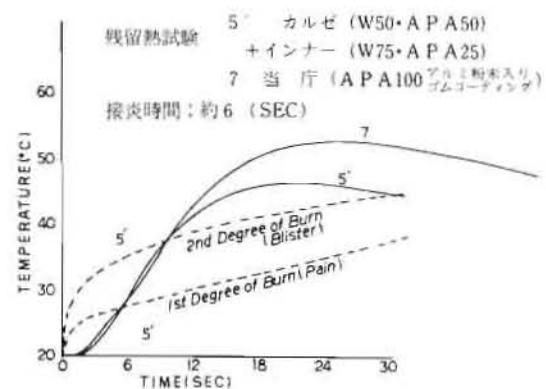


図9 残留熱試験

元来、ウール繊維の場合洗濯機による水洗いを実施すると、生地の収縮や外観の変化が著しく洗濯に欠点があった。

また、簡単に洗濯ができるということは繊維に付着した汚れを有効に除去できることであり、その汚れを除去することによりその繊維のそなえている性能(防熱性・防炎性・はっ水・はっ油性)を悪化させない

で維持できる。

したがって、洗濯性を良くするために、ウール繊維と芳香族ポリアミド繊維との混用を試み、ウール繊維の有している特長を維持でき、かつ洗濯性の良い混用率を考慮するならばどの生地が有効であるか、その結果、表3、4のようになった。表3の洗濯収縮は生地の経・緯の収縮状態を率で表わし、外観試験は、外観の変化の状態を1から5までの等級に分類し、5級の状態が原生地との変化がほとんどない状態を示し、4級以上ならば防火服として使用して

表3 (1) 洗濯収縮 (%)

回数 試験片	5回		10回		15回		20回	
	経	緯	経	緯	経	緯	経	緯
No1 サージ	2.8	-2.0	3.0	-1.0	3.3	0.5	4.3	0
No2 ハイサージ	2.5	0	2.5	0.5	3.5	1.0	3.5	0.8
No3 ハイサージ	1.0	0	1.0	0	1.5	0.3	1.3	0
No4 トロピカル	2.0	0	1.5	0.3	2.3	0.8	2.0	0.3
No5 カルゼ	2.0	0	2.3	0	3.0	0.5	2.8	0
No6 サージ	0.5	0	0.5	0.3	0.8	0.5	1.0	0

表4 (2) 外観試験 (級)

回数 試験片	5回	10回	15回	20回
	No1 サージ	5	4	3~4
No2 ハイサージ	5	5	4~5	4~5
No3 ハイサージ	5	5	5	5
No4 トロピカル	5	5	5	5
No5 カルゼ	5	5	5	5
No6 サージ	5	5	5	5

も支障ないと思われる。

洗濯収縮、外観試験を通して変化が少なく良好であったのは、No3 ハイサージ (W50%, APA50%), No5 カルゼ (W50%, APA50%), No6 サージ (W25%, APA75%) の3種類であった。

6. おわりに

今回実施した混用率、織り方の異ったウール繊維の生地6種類 (No4 トロピカルは夏服用) と当庁で使用している生地 (芳香族ポリアミド繊維の基布の表面にアルミ粉末入りゴムのコーティングをしたもの) の7種類について、種々の試験を実施した結果、総合的に判断するならば、No5 カルゼ (W50%, APA50%) の生地が最も良く有効な結果を得ることができた。また、インナー (W75%, APA25%) を重ね、二層構造にした場合は、防熱、防炎性能の向上と共に残留熱に対する保護効果に優れた結果を得ることができた。

これらの試験結果を基にして、当研究所ではNo5 カルゼ (W50%, APA50%) のザプロ加工を施した生地 (はっ水・はっ油加工) を使用し上衣と下衣 (ズボン) からなるセパレート式の防火衣を試作した。また、防火服用の生地として、防熱・防炎性能を向上させ、なお洗濯機による水洗い洗濯に支障を来さない混用率と織り方を考えるなら、カルゼ織によるウール繊維60%、芳香族ポリアミド繊維40%の混用率の生地が有効であると思われる。

今後、防火服に対する課題として、消防隊員が十分な消防活動を行うには、消防隊員の活動性、作業性を考慮し機能性に富んでいることであり、そして、消防隊員を安全に保護できることが必要である。

そして、これからの問題として、(1)防火服の内側に取り付けるインナーの素材、構造等を検討し吸湿性・防熱性を良くし、消防隊員の体力消耗の軽減化と安全性を高める。(2)防火服の型、構造、軽量化を考慮し活動性、作業性能を向上させる。(3)防火服の色彩について検討し、安全への視認性を強化する。(4)防火服内側の蓄熱状況やその箇所を身体の部位に従い分析し、防火服の性能向上を図っていく、等の研究・開発を行い、さらにより良い防火服の改良を目指し進めてゆきたい。