

防火服素材に関する研究

赤 荻 勇*

1. はじめに

防火服は火災により生ずる熱、火炎及び落下物等の危害から消防職員の身体を保護するために用いられるもので、防火服としての必要条件としては、耐熱、耐火性にすぐれ、かつ軽量で機能性及び防水性を有する他に、維持管理が容易であることがあげられる。これらの条件を満たすための技術開発によって、防火服に使用される繊維も、また表面処理方法も大きく変化している。現在防水性及び耐熱、耐火性を向上させるために施されている処理方法を大別すると、当庁が使用している防火服のようにゴムにアルミ粉末を混ぜたものを基布繊維表面に張ったもの、フィルムの片面及び面にアルミ蒸着したものを基布繊維に張ったもの、フィルム等にアルミ蒸着したアルミ幕だけを

を基布繊維に転写したものの3種に分けられる。又、繊維も天然繊維から合成繊維に変わり、さらに難燃性合成繊維が用いられるようになってきた。これらの素材や表面処理方法が現在の消防活動上及び維持管理上適しているか否かを調査するため各種実験を行い。その結果を得たので報告する。

2. 供 試 試 料

供試試料の仕様は、表1のとおりである。

3. 実験及び試験

(1) 実験項目及び方法

ア 洗濯処理実験

表1 供 試 試 料

試料番号	基布繊維	重量 (g/m ²)	厚さ (μ)	表面処理方法
1	ガラス繊維	548.1	41	ポリエステルフィルムの両面にアルミ蒸着を行い基布に張合せたもの
2	フェノール系繊維	793.2	76.7	ゴムにアルミ粉末を混入したものを基布に張合せたもの
3	芳香族ポリアミド繊維	413.4	48	24μのポリイミドフィルム内側片面にアルミ蒸着を行い、基布に張合せたもの
4	レーヨン繊維	581.7	79.7	ポリエステルフィルムの両面にアルミ蒸着を行い基布に張合せたもの
5	ガラス繊維	379.8		フィルムに蒸着させたアルミ幕を基布に転写したもの
6	〃	399.0	28.5	ポリエステルフィルムの両面にアルミ蒸着を行い、基布に張合せたもの
7	ビニロン繊維	317.3	47	フィルムに蒸着させたアルミ幕を基布に転写したもの
8	〃	322.1	48	ポリエステルフィルムの両面にアルミ蒸着を行い基布に張合せたもの
9	芳香族ポリアミド繊維	548.1	47.5	ゴムにアルミ粉末を混入したものを基布に張合せたもの
10	芳香族ポリアミド繊維	538.4	49.5	ゴムにアルミ粉末を混入したものを基布に張合せたもの
11	〃	504.8	48	〃

* 第1研究室

防火服地の洗濯回数の差による素材の変化を把握するため、洗濯機を用いて一定の条件のもとで洗濯を1回から5回繰返し、収縮率、曲げ反発性、引裂き強度、強伸度、摩擦強さ、熱反射率及び熱通過温度の変化をみた。

イ 汚染洗濯処理実験

防火服表面の汚れに対する強さを把握するため、合成樹脂（ナイロン、塩化ビニール、ポリエチレン及び木材）を一定量燃焼させた環境内に防火服素材を暴露させ、下記の条件で洗濯した後の防火服表面の状況、熱反射率及び熱通過温度の変化をみた。

洗濯条件：電気洗濯機使用、洗剤 20g
水 30ℓ（水温常温）

ウ操作：渦巻水流洗濯5分→渦巻水流すすぎ5分→自然乾燥

ウ 老化実験

防火服表面の経年変化による性能の劣化を把握するため、老化試験機を用いて一定の条件のもとで、防火服表面に紫外線を、200時間暴露させ、表面の状況、熱反射率及び熱通過温度の変化をみた。

条件 室内温度：35℃、室内湿度：65%
スプレー時間：1時間周期で12分

エ 防水実験

防火服地の耐水性を把握するため、水圧ポンプを利用し、服地に2及び3kg/cm²の圧力をかけ水の漏れ等を見た。

オ 接炎実験

防火服地の接炎性能を把握するため、防炎性能試験機を用い、防火服表面にガスの炎を12秒、60秒及び120秒間の3段階にわたり接炎させ、防火服表面及び裏面の状況並びに燃焼の有無を見た。

(2) 試験項目及び方法

ア 収縮率試験

J I S O217-76, 105法準拠
電気洗濯機使用、洗剤：2g/ℓ
操作：弱水流洗濯5分（水温30℃）→弱水流すすぎ2分（水温常温）→弱水流すすぎ2分（水温常温）→自然乾燥

イ 曲げ反発試験

J I S L1079-76, A法（ガーレ法）に

準拠

ウ 引裂き強度試験

J I S L1079-76, C法（エレメンドルフ形引裂き強さ試験機使用）に準拠

エ 強伸度試験

J I S L1068-64, カットストリップ法に準拠、ショッパー型試験機使用、試験長：10cm、試験幅：3cm、引張速度：10cm/min

オ 摩擦強さ試験

J I S L1084-77, A2法（フラット法）に準拠、学振型試験機使用、荷重：200gf
摩擦回数：100回、摩擦子：耐水研磨紙600#

カ もみ摩擦強さ試験

J I S L1079-76, B法（スコット法）に準拠、押圧荷重：1kg、摩擦回数：100回

キ 熱反射試験

防火服表面の熱反射性能を測定する試験で、赤外線ランプの熱量を直接放射計で測定した値と、赤外線ランプに対して45度の角度にセットした防火服表面にランプを照射し、反射してくる熱量を測定し、前記値との比を求める。

ク 熱通過試験

防火服地の遮熱性能を測定する試験で、防火服地に0.05cal/cm²secの放射熱を与え、放射熱を受けてから30秒後における裏面の温度の上昇を測定する。

4. 実験結果

(1) 洗濯処理実験

ア 収縮率試験

収縮率試験の結果は表2のように、試料No.4が一番大きな値を示し、洗濯1回では縦方向3.9%、横方向5.6%、洗濯5回では縦方向6.4%、横方向6.8%であった。続いてNo.7、8の順位で洗濯5回で縦方向は4%以上の値を示した。その他のものについては、収縮率2%以下の値であった。洗濯回数による収縮率の差をみると、洗濯回数が増えると収縮率は大きくなっており、特に試料No.7、8は2倍の収縮率を示している。繊維の縦方向と横方向では、縦方向のほうが収縮率が大きいのが、試料No.2、4は逆の傾向を示した。

表2 収縮率試験結果

(%)

試料番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
洗濯処理一回	縦方向	0.8	0	0	3.9	0.3	1.1	1.8	1.8	0.1	0.7	0.3
	横方向	0.3	0	0.1	5.6	0.5	0.7	1.0	1.0	0	0.1	-0.3
" 五回	縦方向	1.5	0.2	0	6.4	1.0	2.1	4.3	4.6	0.8	1.6	1.1
	横方向	0.6	-0.7	0.3	6.8	0.8	1.6	2.4	2.9	-0.4	0.1	-0.4

イ 曲げ反発試験

曲げ反発試験の結果は表3のように、試料No.1から4までは他の試料より大きい値を示

し、特にNo.3は洗濯処理前の横方向をのぞき500mg以上の値を示すとともに、洗濯回数が増すにしたがって値も大きくなっている。

表3 曲げ反発試験結果

(mg)

試料番号	洗濯処理なし		洗濯処理1回		洗濯処理5回	
	縦方向	横方向	縦方向	横方向	縦方向	横方向
1	551	366	541	261	556	336
2	466	351	556	426	526	356
3	547	383	727	586	767	641
4	405	236	411	205	346	196
5	226	236	221	236	200	200
6	321	377	291	276	256	256
7	190	241	221	185	261	195
8	291	221	226	236	316	251
9	200	190	190	195	200	200
10	216	186	231	210	210	205
11	216	201	241	226	195	205

ウ 引裂き強さ試験

引裂き強さ試験の結果は表4に示すとおりである。試料No.1, 4, 7及び8は12,800gfを越える大きな値を示したが、試料No.9, 10及び11は3000gf以下で前者の1/4以下であ

った。洗濯回数と引裂き強さの関係は、洗濯回数が増すと引裂き強さは小さくなる傾向であるが、試料No.3は洗濯回数に比例して大きくなっている。

表4 引裂き強さ試験結果

(gf)

試料番号	洗濯処理なし		洗濯処理1回		洗濯処理5回	
	縦方向	横方向	縦方向	横方向	縦方向	横方向
1	12800以上	12800以上	12800以上	12800以上	12800以上	12800以上
2	3700	2350	3900	2500	3650	2750
3	8500	7950	8300	8300	8950	7950
4	12800以上	12800以上	12800以上	12800以上	12800以上	12800以上
5	4300	4250	2900	4100	3550	2950
6	5650	4150	5000	3200	4300	3500

7	12800 以上	12800 以上	12800 以上	12800 以上	7650	11600
8	12800 以上	12800 以上	11200	11700	9200	9650
9	2550	2300	2650	2100	2550	1950
10	2619	1800	2400	1900	2200	1750
11	2800	2000	2700	2500	2350	1900

エ 強伸度試験

強伸度試験の結果は表5に示すとおりである。試料No.1, 7及び8は縦及び横方向とも100kg以上の値を示している。試料No.3及び4は縦方向については高い値を示しているが、

横方向は $\frac{1}{2}$ 程度の強さしかなかった。伸度についてみると、試料No.1, 5及び6は10%以下の伸度しかないが、その他は20%以上の値を示した。

表5 強伸度試験結果

試料番号	方向	洗濯処理なし		洗濯処理1回		洗濯処理5回	
		強度(kg)	伸度(%)	強度(kg)	伸度(%)	強度(kg)	伸度(%)
1	たて	173.0	4.3	195.7	1.8	178.0	2.5
	よこ	144.5	6.1	200.0	5.8	200.3	4.2
2	たて	66.8	29.3	65.8	27.0	66.0	28.0
	よこ	42.4	35.5	40.3	36.0	41.0	53.0
3	たて	121.1	36.6	117.8	35.3	88.2	24.7
	よこ	78.0	32.8	79.2	32.0	80.8	31.7
4	たて	133.7	27.3	130.7	28.7	123.7	28.3
	よこ	53.5	29.5	57.5	30.0	51.2	28.0
5	たて	77.9	7.5	74.3	10.3	51.0	9.7
	よこ	78.1	10.2	57.7	8.5	42.0	9.3
6	たて	89.4	9.0	45.5	10.7	27.2	12.3
	よこ	93.3	8.8	49.2	8.0	40.3	12.0
7	たて	155.8	25.2	137.7	22.3	141.1	22.0
	よこ	141.6	23.8	116.3	21.7	132.7	25.7
8	たて	163.9	22.2	138.2	20.0	145.7	23.3
	よこ	120.4	26.2	125.7	23.7	113.7	23.7
9	たて	77.8	31.0	74.5	33.7	72.7	32.0
	よこ	64.3	34.7	60.7	34.3	54.7	29.3
10	たて	73.3	46.7	63.8	41.0	61.7	42.7
	よこ	43.4	36.3	51.7	43.7	51.7	45.7
11	たて	82.3	41.3	72.7	32.3	71.8	36.0
	よこ	62.2	40.0	62.7	37.3	58.3	36.7

オ 摩耗試験

摩耗試験の結果は表6のとおりである。試料No.2, 9, 10及び11はこすった部分が濃い灰色となっている。試料No.5及び7は凸部の

アルミが一部剝離しているが、試料No.1, 3, 4, 6及び8はアルミ表面の光沢がにぶった程度であった。

表6 摩耗試験結果

試料番号	表面の状態	試料番号	表面の状態
1	アルミ表面の一部がうっすらと光沢にぶる	7	アルミ表面凸部アルミ剝離
2	アルミ表面の全面が薄い灰色となり光沢なし	8	アルミ表面の一部うっすらと光沢にぶる
3	表面の光沢にぶる	9	アルミ表面の全面が灰色となり、光沢なし
4	〃	10	アルミ表面の全面にわたり濃灰色となり、光沢なし
5	アルミ表面一部剝離灰色となる	11	〃
6	アルミ表面の一部うっすらと光沢にぶる。		

カ もみ摩耗試験

もみ摩耗試験の結果は表7のとおりである。試料No.5及び6は裏の繊維が完全になくなってしまい、アルミ幕と接着層だけが残っていた。試料No.7及び8はもみ摩耗した部分のアルミが一部はげており、その度合は洗濯回数が増加するにしたがって減っている。試料No.1は裏面繊維の毛羽立ち及び小さなシワが目立った。

ルミが一部はげており、その度合は洗濯回数が増加するにしたがって減っている。試料No.1は裏面繊維の毛羽立ち及び小さなシワが目立った。

表7 もみ摩耗試験結果

試料番号	表面及び繊維の状況	試料番号	表面及び繊維の状況
1	縦面表面シワ多く、繊維毛羽立多い	7	縦目横目とも表面灰色となり光沢なし
2	縦目表面ゴム層亀裂縦繊維変化なし	8	縦目横目とも表面シワ有り
3	表面、繊維とも変化なし	9	表面、繊維とも変化なし
4	縦面表面若干シワ有り	10	〃 〃
5	縦目、横目とも縦繊維剝離、表面灰色	11	〃 〃
6	〃		

キ 熱反射試験

洗濯処理実験の熱反射試験の結果は図1のとおりである。洗濯処理前の熱反射率は試料No.4、6及び8は80%以上の高い熱反射率を示したが、試料No.2、9、10及び11は30%台と1/2以下の値であった。洗濯回数による熱反射率の変化をみると、各試料とも洗濯回数が多くなると熱反射効果も低下しており、特に試料No.4は洗濯1回で85.4%から31.2%と50%以上も低下している。(写真1参照)一方試料No.3は洗濯5回後においても14.2%低下しただけで64.4%と一番高い値を示し、(写真2参照)、試料No.2は洗濯回数に関係なく、ほぼ一定の値であった。

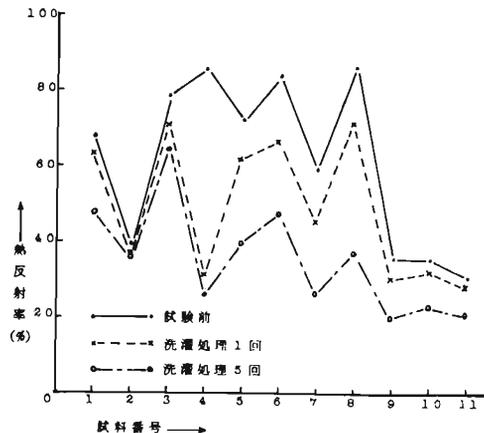


図1 熱反射率試験結果(洗濯処理実験)

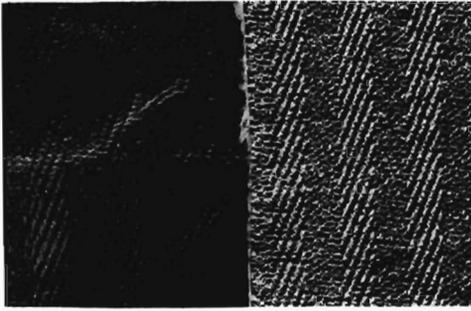


写真1 試料No.4 左側洗濯前 右側洗濯5回後

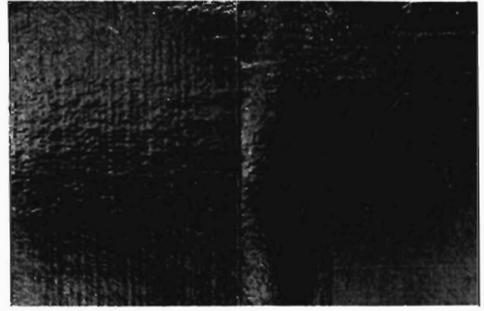


写真2 試料No.3 左側洗濯前 右側洗濯5回後

ク 熱通過試験

熱通過試験の結果、図2のように試料No.2, 3, 4, 8, 9, 10及び11は洗濯回数に関係

なくはは一定の温度上昇であったが、他のものは洗濯5回後では2℃以上の温度上昇がみられた。

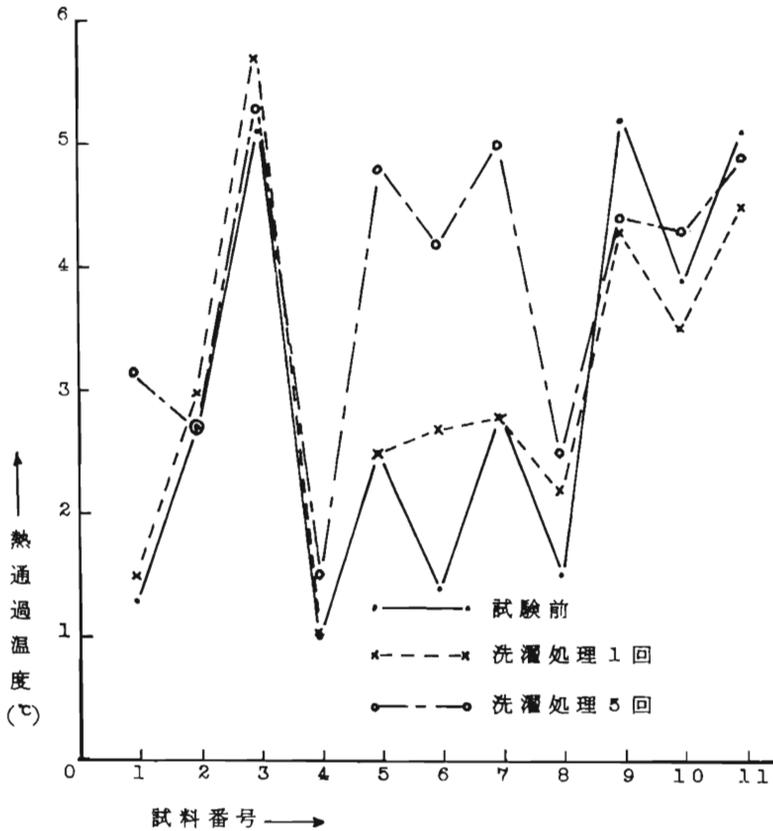


図2 熱通過試験結果 (洗濯処理実験)

(2) 汚染洗濯処理実験

ア 服地の状況

服地の状況は表8のとおりであるが、汚れ洗濯処理1回では試料No.2, 7, 9, 10及び11は、色は灰色となり光沢もなくなっている。又、試料No.5は表面のアルミ幕の一部がはくりしたが、その他のものは汚染洗濯処理前と

大きな差はみられない。汚染洗濯処理2回では、試料No.3及び8が薄汚れただけにとどまり、その他のものは大きな差を見せ、試料No.5及び7は表面のアルミ幕が全面にわたり剝離し接着剤層が見えている。また試料No.2, 9, 10及び11は濃い灰色となり、一見して反射効果が少ないことがわかるほどであった。

表8 服地の状況

試料番号	表面状況	
	汚染洗濯処理1回	汚染洗濯処理2回
1	汚れなし	ポリエステルフィルム50%はくり
2	灰色, 光沢なし	表面濃灰色
3	汚れなし	薄汚れ
4	汚れはないが, 表面の凹凸大きい	表面薄汚れ, 繊維70%溶解
5	うすい灰色となり, 一部アルミはくり	アルミ全面はくり
6	汚れなし	斑点状に汚れ
7	光沢なく, 薄灰色で凹凸少々有り	アルミ全面はくり
8	汚れなし凹凸少々有り	一部汚れあり
9	灰色光沢なきし	濃灰色
10	"	"
11	"	"

イ 熱反射試験

汚染洗濯処理実験の熱反射試験結果は図3のとおりである。熱反射率は処理回数が多くなるにしたがって全試料とも低下しており、処理前と2回処理後の値を個々に比較すると、

試料No.1は差が14.2%と一番少なく値も53.7%を示していた。(写真3参照)一番大きな差を示したのは試料No.5で、66.5%も低下し、試料No.2, 7, 9, 10及び11と同様に10%以下に下がっている。(写真4参照)

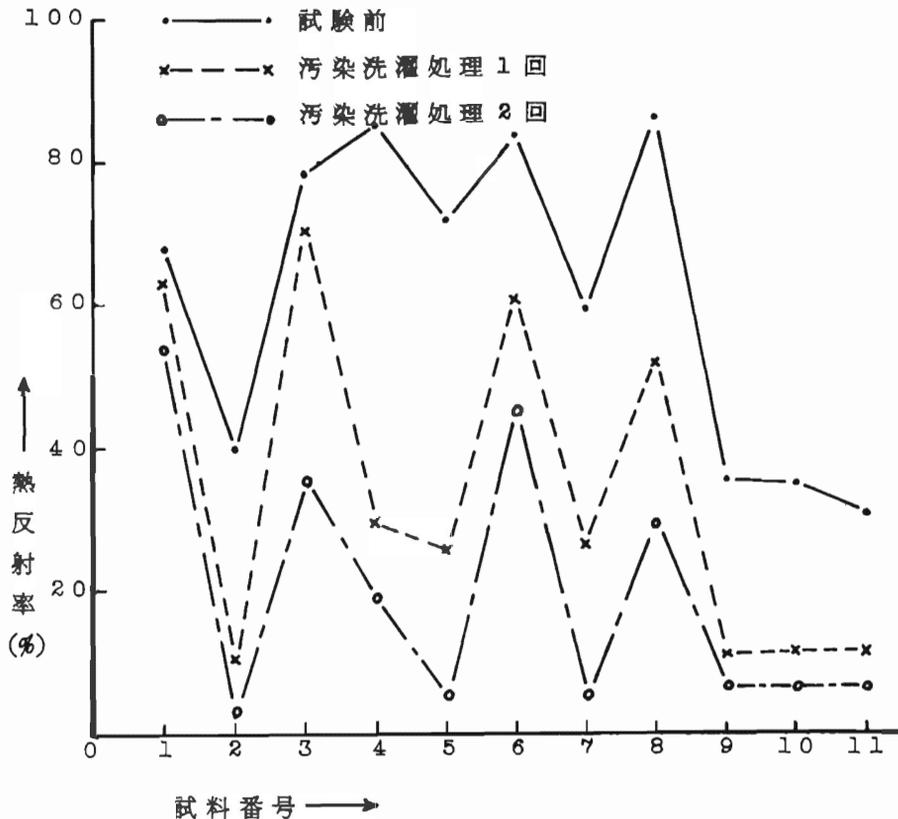


図3 熱反射率試験結果 (汚染洗濯処理実験)

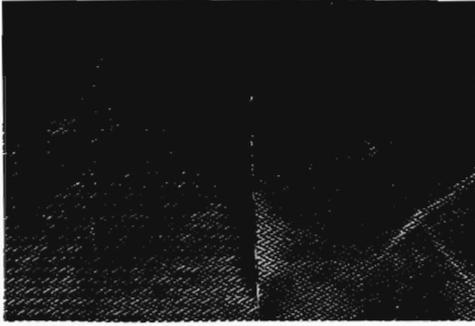


写真3 試料No.1左側 試験前 右側汚染洗濯処理1回後

ウ 熱通過試験

熱通過試験の結果、防火服の裏面温度は図4のように、処理回数とともに裏面温度の上昇も多くなり、処理前に4℃以下の温度上昇しか示さなかった防火服地も1回処理しただけで全部が4℃以上の温度上昇を示し、試料No.5は10℃と4倍もの温度上昇を示した。2回処理後では試料No.2、10及11は1回処理後より下がっているが、その他のものは温度の上昇を示し、試料No.7及び8は3℃以上、上昇している。

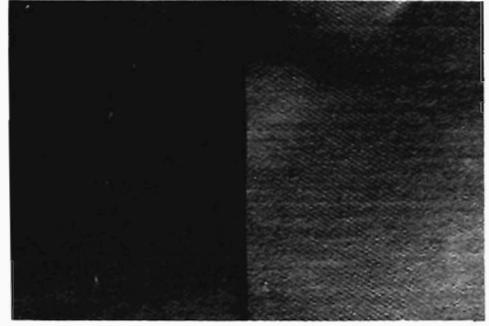


写真4 試料No.2左側 試験前 右側汚染洗濯処理1回後

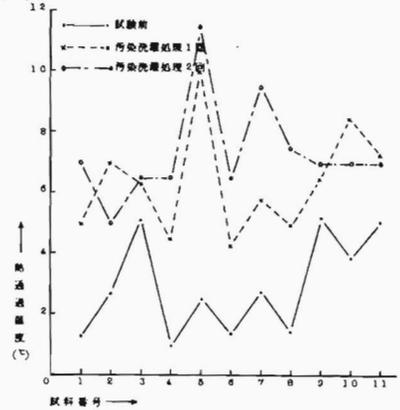


図4 熱通過温度試験結果(汚染洗濯処理実験)

(3) 老化実験

ア 熱反射試験

老化実験による熱反射率の変化は図5のとおりである。老化実験後はほとんどの防火服地の反射率が低下しているが、試料No.6は若干であるが良くなっている。実験後一番高い値を示したのは試料No.6の86%で、一番低い値は試料No.9の21%であった。反射率の低下が一番大きいものは試料No.7で47%も下がっている。

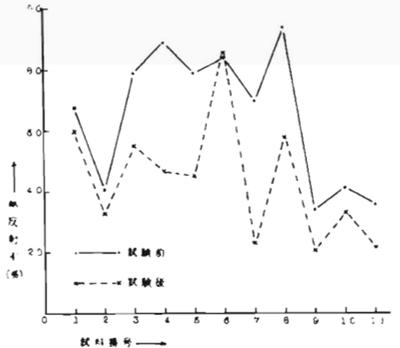


図5 熱反射試験結果(老化実験)

イ 熱通過試験

熱通過試験の結果は図6に示すが、ほとんどの防火服地が実験前より実験後のほうが高い温度を示し、試料No.1及び5は1.75℃の温度上昇を示したが、他の防火服地の温度上昇は1℃以下であった。

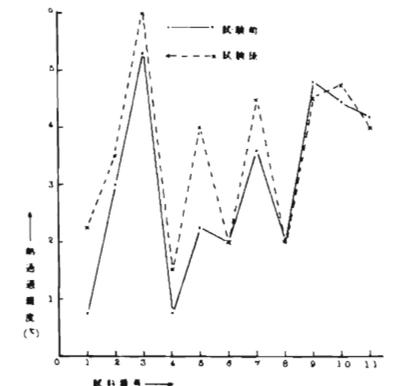


図6 熱通過試験結果(老化実験)

表9 防水試験結果

試料番号	水 圧 2 kg/cm ²	水 圧 3 kg/cm ²
1	良 好	良 好
2	〃	〃
3	〃	〃
4	〃	〃
5	にじみ出る	にじみ出る
6	〃	〃
7	〃	〃
8	良 好	良 好
9	にじみ出る	にじみ出る
10	良 好	良 好
11	〃	〃

(5) 接炎実験

接炎実験の結果は表10に示すが、この実験により着火燃焼したものは試料No.7及び8だけで(写真5参照)、他の試料で燃焼したものはなかった。しかし全試料とも繊維は焦げたり、炭化したりしており、特に試料No.4は真黒に炭化し、一部が脱落している。アルミ蒸着した試料のアルミの熔融状況及び繊維の炭化面積をみると、一般的傾向として接炎時間が長くなるにしたがい熔融状態が顕著になり、炭化面積も大きくなっている。各試料について比較すると表面

の状況及び炭化面積とも、試料No.1、5及び6は同じ状況で120秒接炎するとアルミの一部が熔融し接着層も炭化している。試料No.2、9、10及び11は接炎12秒でアルミの一部が熔融剝離し、120秒では接炎部全体のアルミ及び接着層が完全に剝離している。試料No.3は表面のフィルムが炭化しているが、完全に残っていた。接炎による繊維の収縮状況を見ると、試料No.1、5及び6はまったく収縮がなく(写真6参照)、他の繊維はいずれも収縮が見られ、接炎時間が長くなるにしたがい収縮も大きくなっている。

表10 接炎試験結果

接炎時間	炎温度	試料番号	裏面温度	繊維収縮状況	繊維の燃焼状況	裏面炭化面積直径
12秒	760度	1	225	なし	アルミ若干熔融	40mm
		2	80	微少	アルミ若干熔融しゴム浮く	32
		3	170	少	フィルム一部炭化	29
		4	220	微少	アルミ熔融	29
		5	200	なし		34
		6	200	なし		34
		7		多	2~3秒着火	
		8		多	〃	
		9	125	中	アルミ熔融	15
		10	180	〃	〃	33
		11	130	〃	〃	27
		1	310	なし	アルミ若干熔融	56
		2	240	微少	アルミ熔融ゴム一部はくり	62
		3	290	中	フィルム炭化	39
		4	345	中	アルミ熔融、繊維亀裂	39

60 秒	750 度	5	290	なし	アルミ溶融	36
		6	310	なし	"	37
		7				
		8				
		9	290	多	アルミ溶融一部脱落	33
		10	275	"	"	55
		11	365	"	"	41
120 秒	875 度	1	310	なし	アルミ溶融	60
		2	225	少	ゴムはくり	62
		3	340	多	フィルム炭化, 収縮する	40
		4	340	多	繊維炭化脱落	73
		5	290	なし	アルミ溶融一部はくり	41
		6	305	なし	アルミ溶融一部はくり	40
		7				
		8				
		9	380	多	アルミ溶融脱落	37
		10	300	"	"	55
		11	350	"	"	55

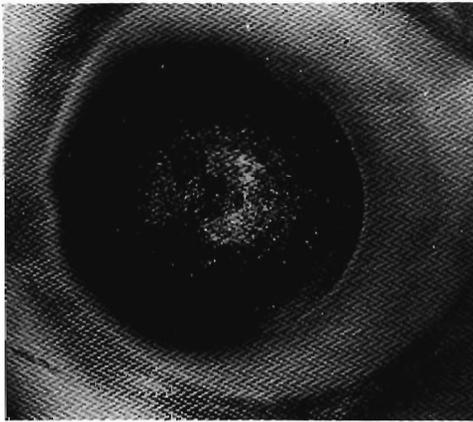


写真5 試料No.1 120秒接炎後

5. 考 察

今回の実験は、防火服表面の加工方法の相異及び素材繊維の相異が、洗濯処理及び汚染処理等の実験により熱反射性能及び熱通過温度等の耐熱性並びに耐炎性、防水性、機能性及び維持管理にどれだけ影響を与えるかを把握するため行ったものである。洗濯処理と耐熱性の関係についてみると、防火服地は洗濯により繊維の収縮とアルミ表面の酸化が発生し、熱反射性能を低下させている。特に繊維の収縮による影響が顕著で、レーヨン及びビニロン繊維のように収縮率の大きい繊維を用いた服地の低下率は50%

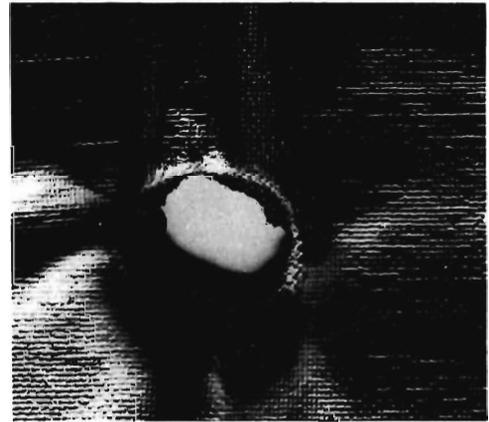


写真6 試料No.8 3秒接炎後

以上を示していることから、収縮率の大きい繊維は防火服地としては適さないと思われる。機能性及び着心地を判断するための曲げ反発試験においては、繊維の表面にフィルムを張った服地は、他の服地と比較して値が大きくなっており、フィルム厚をなるべく薄くする必要がある。熱通過温度と服地の厚さ及び熱反射率との関係を見ると、厚い服地のものは熱反射率が大きく低下しても熱通過温度にはさほど影響していないが、薄い服地のものは熱反射率の低下が熱通過温度に大きく影響しており、現在の防火服のように薄い服地を用いたものについては、

熱反射率を高めるとともに、熱反射率が低下しないように工夫する必要がある。汚染洗濯処理実験により汚れの落ち具合及び表面の変化をみたが、フィルムを繊維に張ったものは汚れが容易に落ちるが、ゴムにアルミ粉末を混ぜて繊維に張ったものは、汚れが落ちにくく、また表面が汚れと酸化により濃灰色となり、光沢がまったく無くなっている。アルミ幕を繊維に転写したのについては、洗濯処理後アルミ幕が一部剥離しており、接着強度に欠点がある。これらの表面の状態が熱反射性能にはっきりと示され、フィルムを張ったものは老化試験による結果も良好であることから、維持管理が容易と思われる。防水性については、各服地とも問題はないと思われるが、耐炎性については、ビニロン繊維を用いた服地は接炎後2～3秒で着火するところから、防火服地としては問題があると思え

る。以上のことから防火服として適した服地を作成するには、表面加工方法として両面アルミ蒸着を施したフィルムを繊維に張合せる方法を採用し、フィルム厚は着心地及び機能性の点から4 μ 以下とし、繊維は収縮性の少ない軽量で耐炎性にすぐれた繊維を使用し、繊維とフィルムの接着力を増すことにより、防火服としての条件をそなえた防火服地が出来ると思われる。

6. おわりに

今回の実験により、現在市販されている防火服地の性能及び問題点を把握することができるとともに、今後防火服を作成するにあたり、どのような防火服地を用いれば良いか一応の目安を得たが、防火服として必要である機能性及び通気性については問題点が多く、今後これらの面で改良を図っていきたい。