

耐熱性及び機械的強度に優れた化学災害用服地の開発について (第1報)

Development of cloth materials with heat and mechanical resistiveness for Chemical-protective Suits (Series1)

大塚吉男*

小林幹男**

川崎修治**

概 要

化学災害で使用される陽圧式防護衣の安全性及び活動性の向上に関する研究に着手し、化学機動中隊員を対象に、着装性、活動性、作業性に関する実態調査及び視野試験等を行ってきたところである。

また、服地に関しては、耐熱性及び機械的強度に優れた化学災害用服地を開発するため、この程、三種類の化学災害用服地を試作し各種性能試験を実施したので報告する。

主な結果は、次のとおりである。

- 1 基布に用いる糸を太くすることで、引っ張りや引裂き強度の向上が図れるが、反面、素材が硬くなり、折り曲げによるゴムの剝離など耐久性に問題が生じる。
- 2 耐切削性及耐磨耗性では、基布に用いる素材の特性が強く影響する。
- 3 素材構成により耐炎性の向上は図れるが、現行程度の厚さで熱伝導を抑えることは困難である。

We started the study of improvement on safety and mobility of Chemical-protective Suits.

So, we examined mobility, work efficiency and comfortableness about Chemical-protective Suits on the numbers of Hazardous-materials units, we studied of the visual field of the face piece of protective masks.

And in order to develop then, the cloth with heat-resistance for Chemical-protective Suits, we made three kinds of cloths and made several performance tests.

The results are as follows.

- 1 Improvement of a strength can plan it, by making a thread that we use for basis cloth big, as pulling, burst a pull, but exfoliation of rubber depending on breaking and distorting it are such as a material gets hard a question occurs for durability.
- 2 Bear cutting and bear abrasion with, a characteristic a material has an influence on it strongly.
- 3 By a material configuration resistance against a flame of improvement can plan it, but restrict heat conductance with a thickness of a current grade.

1 はじめに

消防活動を行う現場は、火災、救急、救助などに大別されるが、この様な災害形態のひとつに、毒劇性の化学薬品やガスを扱う化学災害がある。

この化学災害で扱われる物質には、毒劇性ととともに、引火の危険性も兼ね備えているものが、数多く存在している。

特に、現代のハイテク化社会を支えているICやトランジスターなどを製造する半導体製造工場等で使用されるシランやジボランなどは、両方の危険性を有する物質として一般的に知られている物質である。

また、産業分野においても工場の無人化などハイテク化の進展に伴い、災害時における活動空間は減少し、陽圧式防護衣の様な多くの活動面積を必要とする衣服には切削等の破損の危険性が危惧される。

この様な状況から化学災害で使用される服地に耐熱性及び機械的強度を向上させることは、ハイテク化の発展など今後の化学災害に対応していく上で、重要な課題と言える。

今回は、素材の異なる3種類の試作素材を製作し、研究開発の第1段階として、機械的強度及び耐熱性について試験を終了したので、ここに第1報としてその内容を報告する。

*査察課 **第一研究室

覆い用及び気密用のゴム引布の規定 (K6328) 及び国際標準化機構で策定中の対流熱試験等に準拠して行った。

2 試験項目及び実験装置等について

試験項目及び試験方法を表 1 に示す。又、各試験の実施状況を写真 1 に示す。

実験は、日本工業規格で定められた衣料用、雑貨用、

表 1 試験項目及び試験方法等について

試験項目	試験方法	備考
引張試験 (ストリップ法)	<p>試料から、縦方向にたて糸に平行な長さ250ミリ、幅30ミリの試験片5個を取り、中央に150ミリのつかみ線を入れ、早さ200±10mm/minで引っ張り切断に要する荷重及び伸び率を計測する。また横方向についても同様に実施する。</p> $\text{引張切断荷重 (kgf/cm)} = \frac{\text{最大荷重 (kgf)}}{\text{試験片の幅 (cm)}}$ $\text{伸び (\%)} = \frac{\text{最大荷重の距離 (mm)} - 100}{100} \times 100$	J I S K 6328
引裂試験 (シングルタング法)	<p>長さ250ミリ、幅76ミリの試験片に75ミリの切り込みを入れてつかみ間隔とし縦及び横方向の試験片を各5枚作成し、万能試験機を用いて早さ200±10mm/minで引っ張り引裂きに要する荷重を計測する。</p>	J I S K 6328
突き刺し試験	<p>直径80ミリの試験片を5枚作成し、万能試験器械で太さ3.8ミリの釘が、試験片を貫通に要する際の荷重を計測する。</p>	
耐切削性試験	<p>直径80ミリの試験片を縦及び横方向で各5枚作成し、万能試験器に取り付けた幅20ミリ厚さ0.35ミリの45度片刃が試験片を貫通に要する際の荷重を計測する。</p>	
磨耗試験 (ユニバーサル法)	<p>カスタム式織物磨耗試験機を用いて、直径12センチの試験片を研磨紙で多方向に摩擦し、試験片が破損したときの回数を測る。</p>	J I S L 1096
織り曲げ試験	<p>長さ250ミリ、幅30ミリの試験片にカスタム式織物磨耗試験機を用いて、1ポンドの荷重を掛け、1000回、3000回、5000回の織り曲げを実施し、各回数における試験片の損傷状況及び引っ張り強度を計測する。</p>	
対流熱試験	<p>熱防護性試験機により試験片表面に80KW/m²の炎を接炎させ、裏面の温度上昇を計測する。</p>	I S O - 9151



写真 1-1 万能試験機

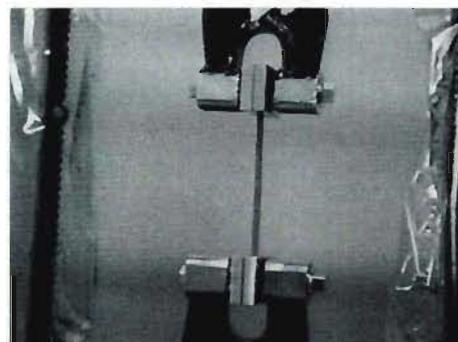


写真 1-2 引張試験の状況

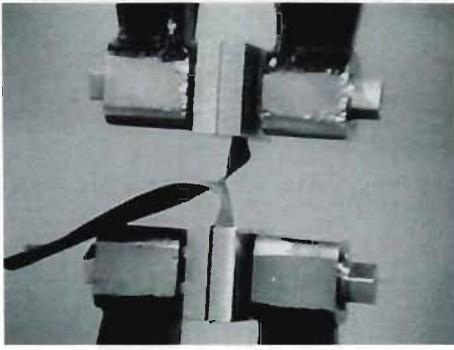


写真 1-3 引裂試験の状況



写真 1-4 突き刺し試験の状況

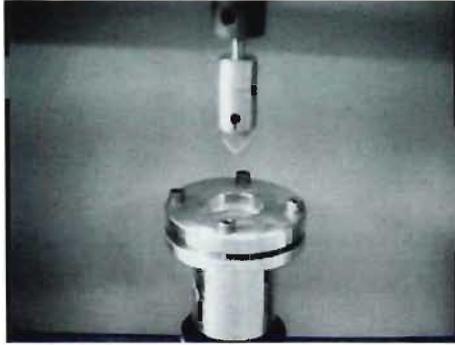


写真 1-5 耐切創性試験の状況

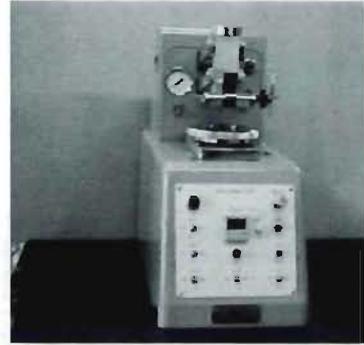


写真 1-6 カustom式織物磨耗試験機

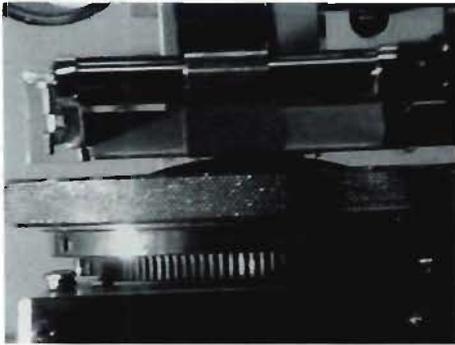


写真 1-7 磨耗試験の状況

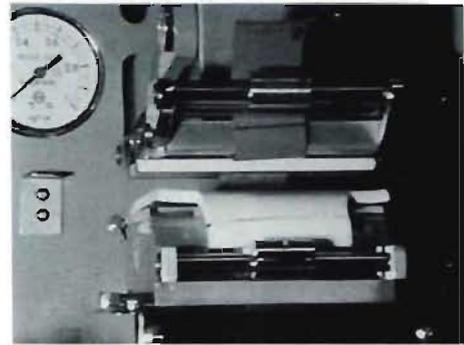


写真 1-8 折り曲げ試験の状況

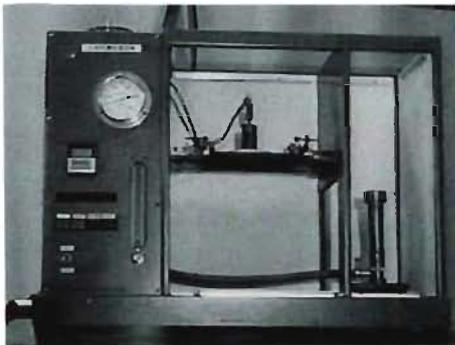


写真 1-9 熱防護性試験機

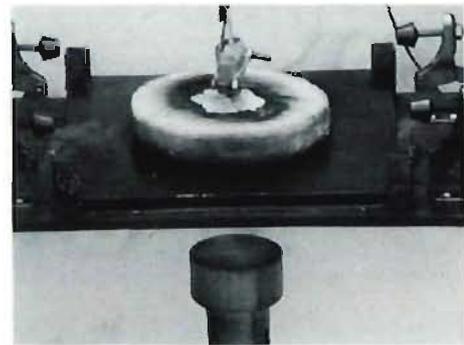


写真 1-10 対流熱試験の状況

3 試験片について

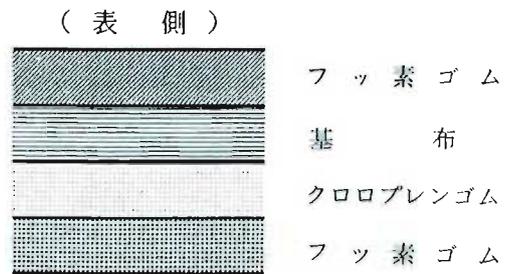
試験に用いた試験片は、現用陽圧式防護衣に用いられ

ている服地（以下「現用服地」という。）及び今回試作した3種類の計4種類である。

今回試作した試験片は、フッ素ゴム（耐薬品性）、基布、クロロプレン（接合用）、ブチルゴム（ガスに対する

気密性) から形成される積層構造で、基布には、パラ系アラミド繊維 (以下「試作A」という。)、ガラス繊維 (以下「試作B」という。)、ポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール繊維 (以下「試作C」という。) の3種類を使用した。

試作試験片の構造を図1に、主な仕様を表2に示すとともに、試験片を実体顕微鏡で撮影したものを写真2に示す。

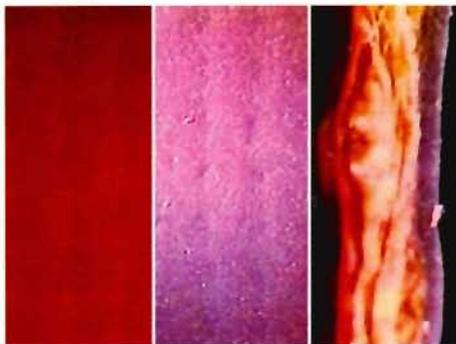


(裏側)

図1 試作試験片の構造

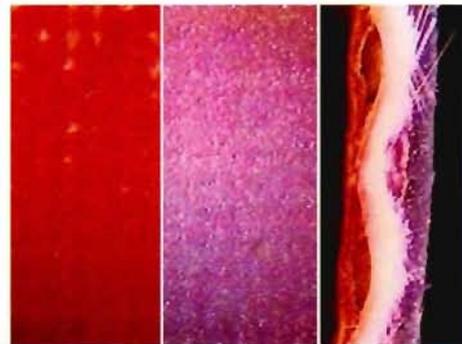
表2 試験片における主な仕様

仕様	試作試験片	試作A	試作B	試作C	現用服地
構造数		4層構造	同左	同左	同左
	ゴム層	フッ素系、ブチル、クロロプレン	同左	同左	同左
	基布	パラ系アラミド繊維	ガラス繊維	ポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール繊維	メタ系アラミド繊維
重量 (g/m ²)		828	964	740	672
厚さ (mm)		0.65	0.70	0.55	0.50



(表面) (裏面) (積層)

写真2-1 試験片A



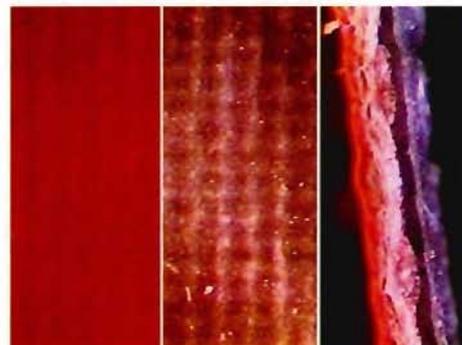
(表面) (裏面) (積層)

写真2-2 試験片B



(表面) (裏面) (積層)

写真2-2 試験片C



(表面) (裏面) (積層)

写真2-4 現用服地

4 結果及び考察について

(1) 引張試験 (ストリップ法)

ア 万能試験機による結果

試験により得られた結果を J I S に定められた下式に基づき計算した値を表 3-1 及び図 2 に示す。

$$\text{引張切断荷重 (Kg f/cm)} = \frac{\text{最大荷重 (Kg f)}}{\text{試験片の幅 (cm)}}$$

なお、表中における縦とは、縦糸と平行に、横とは、横糸と平行に切断したもので、無印にあっては縦横の判断がしにくいものを示し、以下の表中においても同様とする。

表 3-1 引張試験結果

(単位: kg・f)

試験回数 試験片		試験回数					平均
		1回	2回	3回	4回	5回	
試作 A	縦	134	122	115	115	144	126
	横	107	104	94	102	116	105
試作 B	縦	100	98	92	102	106	100
	横	81	87	84	80	85	83
試作 C	縦	65	58	55	62	64	61
	横	38	36	32	32	37	35
現用服地		42	38	43	45	43	42

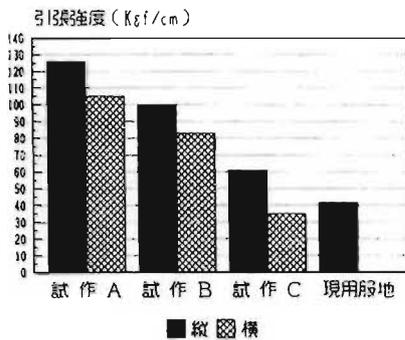


図 2 引張試験における状況

このことについては、ゴム層よりも基布の影響が大きいことから、基布について考える。

基布の引張強度を左右する要因として、次の 3 点が考えられる。第 1 に基布の厚さであるが、基布の厚さは、素材厚さにほぼ比例していることから、

試作 B > 試作 A > 試作 C > 現用服地
の順となる。

第 2 に、織り糸の太さであるが、25.4 ミリ当たりの糸本数を調べると

試作 A ⇒ 縦: 17 本、横: 17 本

試作 B ⇒ 縦: 32 本、横: 31 本

試作 C ⇒ 縦: 86 本、横: 50 本

現用服地 ⇒ 縦: 30 本、横: 25 本

となり、第 1 の基布の厚さを考慮すれば、糸の太さの順は

試作 A > 試作 B > 現用服地 > 試作 C

となる。

第 3 に、織り糸を構成する単糸当たりの強度であるが、カタログ値によると、1 番強いものが試作 C、2 番目が試作 A、現用服地と試作 B はほぼ同程度で 3 番目となる。

以上のことを今回の結果と照合すると、引張強度は、基布を構成する織り糸の太さの影響を受けると考えられる。また、試作 C と現用服地が逆転したのは、単糸強度の差が、大きいためと考えられ。

このことから、同一素材では、織り糸の太さにより、引張強度は、影響を受けると考えられる。

イ 伸び率

引張試験において、試験片が切断に至るまでの伸び率を下式に基づき計算した値を表 3-2 及び図 3 に示す。

$$\text{伸び率 (\%)} = \frac{\text{最大荷重の距離 (mm)} - 100}{100} \times 100$$

表 3-2 伸び率

(単位: %)

試験回数 試験片		試験回数					平均
		1回	2回	3回	4回	5回	
試作 A	縦	57	58	58	57	58	58
	横	60	60	69	60	60	60
試作 B	縦	61	61	61	61	60	61
	横	63	60	65	66	66	64
試作 C	縦	70	69	69	70	70	70
	横	61	61	60	60	60	60
現用服地		80	79	82	81	81	81

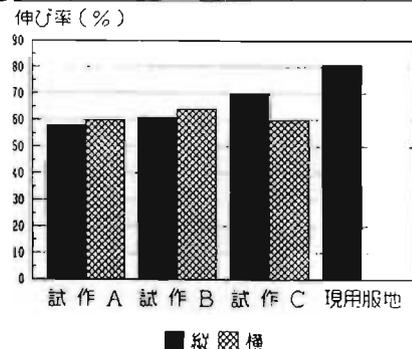
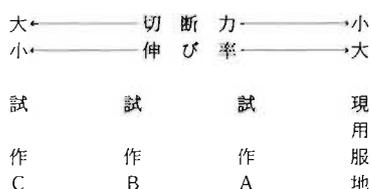


図 3 伸びの状況

引張試験による伸び率は、切断に要する力の順とは半比例の関係となった。



このことから、現用服地が切断に要する力の範囲で、試験片4体について伸び率を考えれば、同じ力を加えた場合には、現用服地が最大の伸びを示すことから素材的には、一番柔らかいと言え、硬さの比較は次のとおりとなる。

柔らかい ← 硬い

現用服地 > 試作A > 試作B > 試作C

次に服地の伸びについて考えると、通常の衣服などでは、伸びのあることは、活動性の点から重要な要素となるが、化学災害用として考えれば、素材の伸びにより、ゴム層も薄くなることから、機能低下を導き、伸びない方が良く考えられる。

(2) 引裂試験 (シングルタング法)

引裂試験における結果を表3-3及び図4に示す。

表3-3 引裂試験結果

(単位: kgf/cm)

試験片	試験回数	1回	2回	3回	4回	5回	平均
		縦	108	111	110	118	96
試作A	横	113	102	90	112	110	105
	縦	9	10	8	7	8	8
試作B	横	13	9	9	8	7	9
	縦	13	12	15	13	14	13
試作C	横	15	12	17	14	11	14
	現用服地	11	12	12	11	12	12

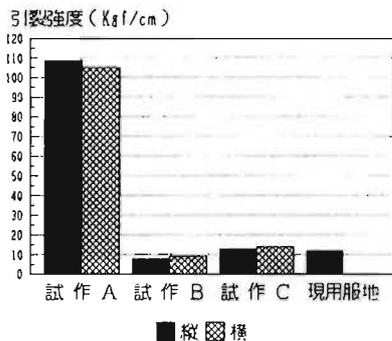


図4 引裂試験における状況

引裂試験における切断の状況は、荷重の加わった縦

又は横糸が1本ずつ切断され続け、最終的に服地が2分された。

このため、引裂荷重は、織り糸の太さに強く影響を受けたと考えられる。

従って、引張試験では、単位幅当たりの比較であったため、試験片Aと試験片Bとでは織り糸17本対織り糸32本の比較であったものが、引裂き試験では織り糸1本の比較となったため、引張試験と異なった形で表れたものと考えられる。

(3) 突き刺し試験

突き刺し試験における結果を表3-4及び図5に示す。

表3-4 突き刺し試験結果

(単位: kgf)

試験片	試験回数	1回	2回	3回	4回	5回	平均
		試作A	19.8	17.5	21.2	17.1	16.6
試作B	11.6	9.6	9.2	9.4	8.5	9.7	
試作C	10.1	12.2	9.9	11.0	9.4	10.5	
現用服地	8.8	9.4	8.6	9.1	8.7	8.9	

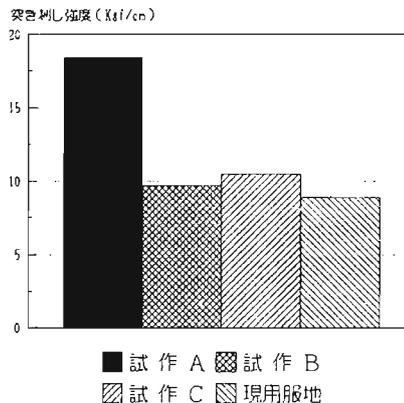


図5 突き刺し試験の状況

突き刺し試験には、市販の釘を用い、釘先端部を尖らす等の加工を加えていない。

従って、釘の先端部は平面的な状況を示している。

このため、突き刺し試験では、試験片の基布の織り目を釘が通過するのではなく、単糸を押し切る状況であったと考えられ、前(3)の引裂き試験よりも更に織り糸の狭い範囲での単位面積当たりの強度、つまり単糸の密度及び単糸の強度が影響したものと考えられる。

このことから、織り糸の太い試作Aでは、織り糸が太い分、単糸の密度が荒いため、少ない本数で荷重を支えることに対し、試作Cでは、数多い単糸で荷重を支える状況となり、引裂き試験ほどの差は表れなかったものと考えられる。

(4) 耐切創性試験

耐切創性試験における結果を表3-5及び図6に示す。

表3-5 耐切創性試験結果

(単位: kgf/2cm)

試験片		試験回数					
		1回	2回	3回	4回	5回	平均
試作A	縦	0.77	0.84	0.88	0.83	0.88	0.84
	横	0.78	0.79	0.81	0.84	0.91	0.83
試作B	縦	0.82	0.90	0.91	0.90	0.87	0.88
	横	0.89	0.80	0.98	0.89	0.88	0.89
試作C	縦	1.41	0.84	0.77	0.78	0.85	0.81
	横	0.28	1.25	1.31	1.31	1.20	1.30
現用服地		0.28	0.32	0.31	0.32	0.31	0.30

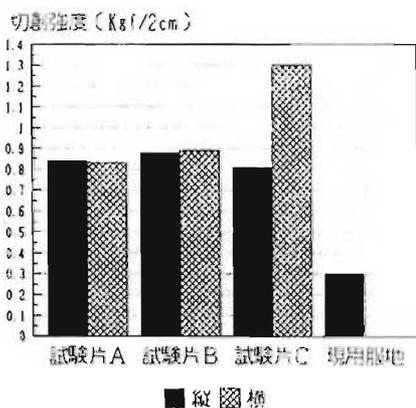


図6 耐切創性試験での状況

耐切創性試験では、試作Cが一番良い結果となり、これまでの試験と異なる結果となった。

これは、これまでの試験では、織物を構成する織り糸に影響していたが、今回の切創性試験で用いた刃は、鋭利であることから、織り糸に対する影響よりも織り糸を構成する単糸に直接影響したためと考えられる。

(5) 磨耗試験 (ユニバーサル法)

磨耗試験における結果を表3-6及び図7に示す。

表3-6 磨耗試験結果

(単位: 回)

試験片		試験回数					
		1回	2回	3回	4回	5回	平均
試作A		6862	5501	7180	6985	7342	7169
試作B		2146	1731	2038	2175	1762	1982
試作C		0864	9956	10366	10051	10181	10199
現用服地		4051	4038	4081	4015	4060	4049

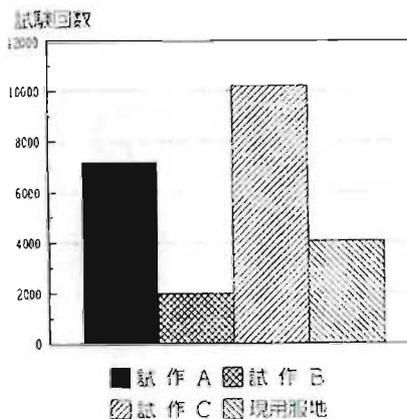


図7 磨耗試験における状況

磨耗試験における結果は、試作Bを除き、耐切創性試験に似た傾向を示した。これもやはり、耐切創性試験同様に単糸に対する影響と考えられる。

また、試作Bにあつては、基布がガラス繊維であることから、試験中、繊維の折れがあつたためと考えられる。

(6) 織り曲げ試験

今回実施した折り曲げ試験は、JISに規定されたものでなく、折り曲げに対するゴム層及び基布の破損状況を確認するために研究所で考案した試験方法である。

目視による各試験回数における損傷の状況を表3-7-1に、折り曲げ回数に対する引っ張り強度の低下を次の計算式により算出した値を表3-7-2及び図8に示す。

$$\text{低下率 (\%)} = \frac{\text{各試験回数の値}}{\text{試験回数0回の値}} \times 100$$

表3-7-1 織り曲げ試験における結果

試験片		試験回数			
		1,000回	3,000回	5,000回	
試作A	1	表	異常なし	ふくれ	亀裂
		裏	異常なし	割れ	めくれ
	2	表	異常なし	ふくれ	異常なし
		裏	めくれ	はくり	亀裂
	3	表	異常なし	割れ	異常なし
		裏	めくれ	はくり	めくれ
試作B	1	表	異常なし	亀裂	亀裂
		裏	異常なし	めくれ	めくれ
	2	表	異常なし	亀裂	亀裂
		裏	異常なし	めくれ	めくれ
	3	表	異常なし	亀裂	亀裂
		裏	異常なし	めくれ	めくれ
試作C	1	表	異常なし	亀裂	亀裂
		裏	異常なし	めくれ	亀裂
	2	表	異常なし	めくれ	めくれ
		裏	異常なし	異常なし	めくれ
	3	表	異常なし	めくれ	亀裂
		裏	異常なし	めくれ	剝離

現用服地	1	表	異常なし	異常なし	異常なし
		裏	異常なし	異常なし	異常なし
	2	表	異常なし	異常なし	異常なし
		裏	異常なし	異常なし	異常なし
	3	表	異常なし	異常なし	異常なし
		裏	異常なし	めくれ	めくれ

凡例

- 異常なし ⇒ 損傷の認められないもの。
- めくれ ⇒ 表面又は裏面のみ損傷で基布まで達しないもの。
- ふくれ ⇒ 表面又は裏面が剝離しふくらんでいるもので損傷を伴わないもの。
- 亀裂 ⇒ 表面又は裏面の損傷が基布まで達するもの。
- 剝離 ⇒ 表面又は裏面の損傷が基布まで達し、一部欠損しているもの。

表 3-7-2 織り曲げに対する残存率

試験片	試験回数に対する残存率 (%)		
	1,000回	3,000回	5,000回
試作 A	72	60	53
試作 B	57	43	39
試作 C	65	69	61
現用服地	88	95	76

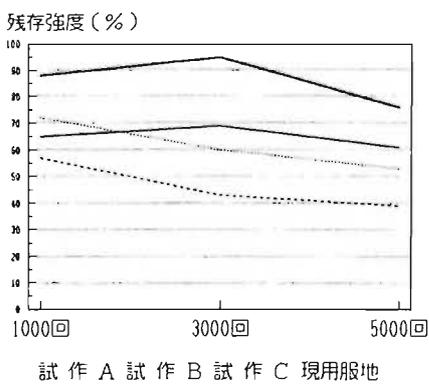


図 8 残存率の状況

折り曲げ試験の結果では、現用服地が一番良く2番目が、試作Cとなり、引っ張り試験に似た傾向を示した。

このことから、素材の柔らかい程折り曲げに対する影響を受けにくいと考えられる。

また、試作Bは、ガラス繊維のため、折り曲げに対し、繊維の折れが生じていると考えられる。

(7) 対流熱試験

火炎防護性試験器を用いて、裏面から80kw/m²の炎を接炎させたときの、各試験体における表面の温度上昇を平均値で総括したものを図9に、試験終了時の試験片の状況を写真3に示す。

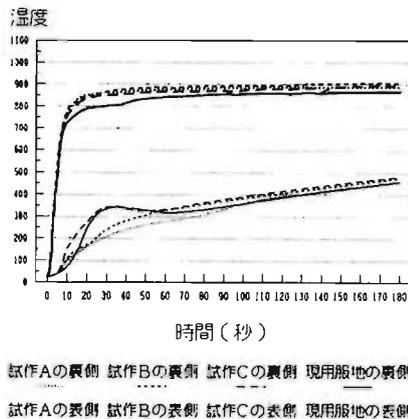


図 9 対流熱試験における結果

対流熱試験では、試作A及びBが良い結果を示したが、これは、ブチル及びクロロプレンのゴムが、熱により発生したガスにより風船状に膨らみ熱電対を炎から遠ざけたためであるが、風船状に膨らんだガスは、次第に減少し、爆発等の急激な燃焼はなかった。また、実験終了時の素材状況では、試作A、B、Cはいずれも基布は、炭化したものの形状を留めていることに対し、現用服地は、炎の当たった部分には穴が開き、周囲も膨らみ等の損傷を受けた状態であった。

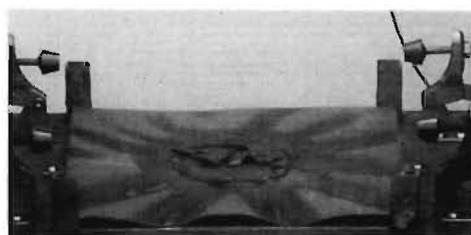


写真 3-1 試験片 A の状況

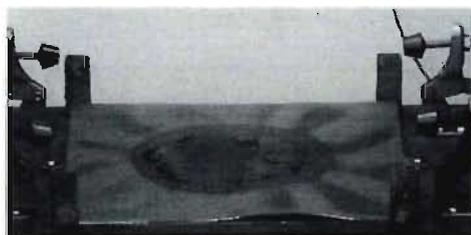


写真 3-2 試験片 B の状況

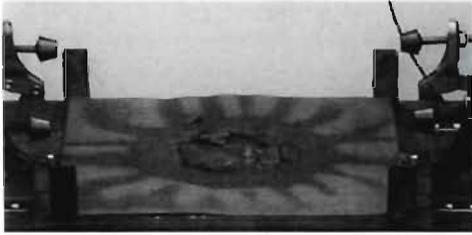


写真3-3 試験片Cの状況

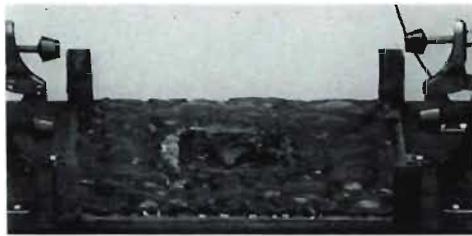


写真3-4 現用服地の状況

(8) 考察

各試験毎に一番良いものから1、2、3、4と数値を付け、これまでの結果をとりまとめたものを表4に示す。

表4 各試験における実施結果

試験項目		試験片			
		試作A	試作B	試作C	現用服地
引張試験	強度	1	2	3	4
	伸び率	1	2	3	4
引裂試験		1	4	2	3
突き刺し試験		1	3	2	4
耐切削性試験		3	2	1	4
磨耗試験		2	4	1	3
織り曲げ試験		3	4	1	2
対流熱試験		1	2	4	3
合計		13	23	17	27

各試験項目を同一の評価として、数値を合計した結果では、試作Aが13と一番良く、次いで試作Cの17、試作Bの23、現用服地の27となった。

この結果に素材重量及び厚さを考慮すると試作A、Cが、今後の試作に適すると言える。

これまでの結果をまとめると、次のとおりである。

(1) 機械的強度

今回の試験では、織り糸に影響する場合と織り糸を構成する単糸に影響する場合とに大別された。

ア 基布の織り方

引っ張りや引裂き強度を向上させるには、織りの細かいものより荒い方が有効であるが、素材が硬くなることにより、折り曲げなど耐久性に問題が生じる。

イ 単糸の素材

単糸の素材により、耐切削性や耐磨耗性の機能に影響する結果となった。

このことから、試作Cに用いた新素材のポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール繊維は、基布の素材に有効と考えられる。

(2) 耐炎性

今回の試作素材は、炎が接炎した周囲以外の損傷はなく、耐炎性の向上は図られたが、熱伝達の面では、素材厚さが同様であったことから、現行とほぼ同様であった。

また、素材構成では、熱伝達が早いため、ブチル及びクロロプレンゴムの分解が早い段階で進行し、可燃性のガスを発生することから、衣服内への滞留を生じさせないための新たな構造についての検討が必要である。

6 最後に

今回の試作は、新素材の採用などにより機械的強度の向上が図ることできた。また、耐炎性については、各服地とも向上が確認されたが、発生するガスによる服地の膨れに対する検討事項も生じた。この検討方策としては、ブツ素ゴム層とブチルゴム層の2層構造とし、中間に空気層を形成させる方法やブチルゴム等から発生する可燃性ガスを防護衣内に侵入させないための新たな層の追加などについて検討を重ねるとともに、耐薬品性の機能の確認作業を進め、実用化に向けた試作品作製の研究開発を推し進めていく。