

スパンデックスとゴム糸の性能比較

柳 許 子

Federal Trade Commission U.S.A. prescribes new synthetic fibre "Spandex" as follows:

New type of elastic fibre "Spandex" contains over 85% polyurethane and is constructed with long chain synthetic polymer.

Spandex is superior in many respects, especially elongation and elasticity alike elastic tape and becomes popular in the field of elastic tape.

I report here its superiority in physical and chemical character, comparing with elastic tape.

I. 序 論

1958年米国の Du Pont 社に於いて、Spandex (ポリウレタン系弾性繊維の一般名で、85%以上のポリウレタン成分を含んでいる長鎖状合成ポリマーより成る繊維) という、ポリウレタン系高弾性繊維が試作開始され、"Lycra" という命名のもとに登場して来た。わが国では1963年頃になって、富士紡績・東洋紡績等でこの種 Lycra 系のポリウレタン繊維の技術導入をおこない、更に開発して商標を"Espa"と命名しているのがこの第一歩である⁽¹⁾⁽²⁾。

Spandex はゴム糸のようによく伸び、回復性が良く、軽い、丈夫である等種々の特異な性質を持っていると期待されている⁽³⁾。又ゴム糸よりも遙かに細いデニールが得られるため、衣料品への適用も好ましく、従来のゴム糸や繊維の分野へも急速に進出し、肌着・ファウンデーション・外着・靴下・水着等の製品への商品化が進められている⁽⁴⁾。

そこで、合成繊維—Spandex について、物理的・化学的性質・ゴム糸との相異点を比較・検討した。

II. 試 料

Spandex には内外のもの合わせて6種、ゴム糸にはネオプレン10%—天然ゴム90%のもの、ラテックス丸ゴム、茶線角ゴムの3種、計9種類を試料として選択した。使用した Spandex は、米国・日本共に初期の段階のものであり、昭和38年8月に入手した試料である。

1. Vyrene	70d.	U.S. Rubber 社
2. Amicale	70d.	Amicale 社
3. エスパ	140d.	東洋紡績(株)
4. エスパ	210d.	
5. オペロン	140d.	東洋レーヨン(株)
6. オペロン	280d.	
7. ネオプレン 10% 天然ゴム 90%	48番	富士化成工業(株)
8. 丸ゴム	50番	ロンデックス工業(株)
9. 角ゴム	52番	芦森工業(株)

III. 測定項目及び方法

各試料の物理的性質を把握するために、下記の項目につき測定した

(a) 引張り強度・伸度——"Tensilon" 引張試験機、UTM—III型(東洋測器K. K. 製)を使用、引張速度: 20cm/min., 試料つかみ間隔: 3cm とし、各箇所から採取した15本づつにつき測定。

(b) 低荷重時の Stress-Strain 曲線と回復——異なる箇所から採取した5本づつの試料につき、(a)と同じ引張試験機を使用して、つかみ間隔: 5cm, 引張速度・戻す速度共: 20cm/min., 0→300%伸長し、ここで荷重を次第に減少して荷重0迄戻し、曲線の変化及び残留伸長を求めた。

(c) 伸長弾性度——ショッパ型織物引張試験機(島津製作所製)を使用し、試料つかみ間隔: 5cm, 荷重をかけ200%伸長の状態にて10分間放置し、更に荷重除去10分後に試料長を測定。以上を3回繰返し、5本づつの試料から伸長弾性度(伸びの回復率)を算出。

(d) 洗たくによる収縮性——異なる箇所から採取した10本づつの試料には、予め10cm間に印をし、白綿布上に軽く数箇所を固定。洗たくには、洗浄試験機(島津製作所製)を使用し、マルセル標準石けん0.5%溶液、40±2°Cにて30分間洗たく、すすぎは同温水にて3回、1→5回の洗たくによる収縮変化を調べた。

次いで、日常の取扱いに於て関係ありと考えられる(e)~(m)の主な8項目を取り上げ、下記の各条件下の処理による(a)・(b)・(c)等の変化を測定する事によって、耐老化

性を検討してみた。

(e) 繰返し洗たくによる変化——(d)と同様の洗たくを8回繰返す。

(f) 日光による変化——フェードテスター（島津製作所製）にて30時間照射し、露光による試料の変化を比較。

(g) 洗たく一日光の組合わせによる変化——衣類は1～2日着用すると洗たくされ、干し出されて太陽の紫外線にさらされるのが普通である。かような着用条件に近くして、長期間の使用に耐えるか否か、(d)の洗たく1回→フェードテスター5時間照射を、3回繰返しおこなった。

(h) 汗による変化——汗は日本工業規格に於ける汗堅牢度試験⁽⁵⁾の人工汗液（塩化ナトリウム5gとリン酸ナトリウム5gを蒸留水に溶解し、これにN/10水酸化ナトリウム溶液約3ccと水を加えて、pHが9.5で全容が1ℓとなるように調製し、このアルカリ性人工汗液にて処理後、更にこのアルカリ性液に酢酸（10%）を加えてpHを4.7として処理）を調製し、浴比1:30、電気湯煎器にて温度 $45 \pm 2^\circ\text{C}$ のもとで、アルカリ性及び酸性人工汗液にて、それぞれ3時間づつ浸漬処理。

(i) 汗一日光の組合わせによる変化——(h)の人工汗液に2時間浸漬→フェードテスターにて5時間照射を3回繰返す。

(j) 熱及び熱湯による変化—— $115 \pm 2^\circ\text{C}$ の電気定温乾燥機にて2時間の熱処理。 $98 \pm 2^\circ\text{C}$ の電気湯煎器にて2時間の熱湯浸漬処理。

(k) 漂白剤による変化——3種の酸化・還元漂白剤を通常より高濃度で、浴比1:30にて使用し、3回のすすぎをおこなう。

酸化漂白剤の過酸化水素として過酸化水素：1.5%溶液（アンモニアを少量添加）、 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ にて30分間処理。

酸化漂白剤の塩素化合物として亜塩素酸ナトリウム：3.0%溶液、 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ にて30分間処理。

還元漂白剤としてヒドロサルファイト：3.0%溶液、 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ にて30分間処理。後、酢酸水に浸漬。

(m) 酸・アルカリによる変化——酢酸・水酸化ナトリウ

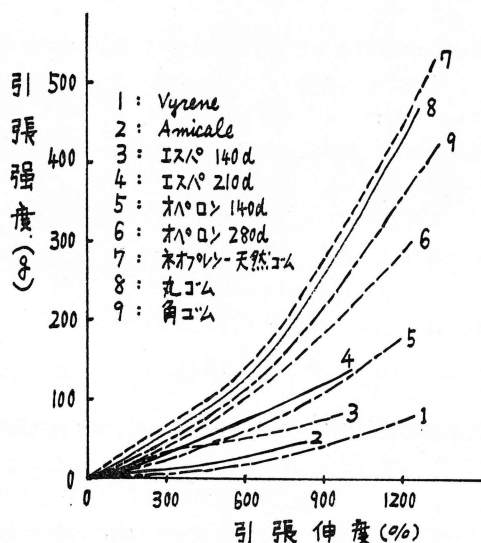
ム、各3%溶液、 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ にて1時間浸漬処理。

IV. 測定結果及び考察

(a) 引張り強度・伸度：Spandex及びゴム糸の切断時強度・伸度を第1表に、切断に至る迄のStress-Strain

第1表 切断時強度・伸度

試料	測定項目	切断強度 (g)	切断伸度 (%)
1. Vyrene		80.10	1,251.0
2. Amicale		44.73	840.3
3. エスパ 140d.		85.08	987.7
4. " 210d.		136.74	1,020.6
5. オペロン 140d.		174.66	1,201.0
6. " 280d.		298.35	1,233.3
7. ネオプレン)		531.18	1,322.0
8. 天然ゴム		470.76	1,265.6
9. 丸ゴム		423.34	1,347.6

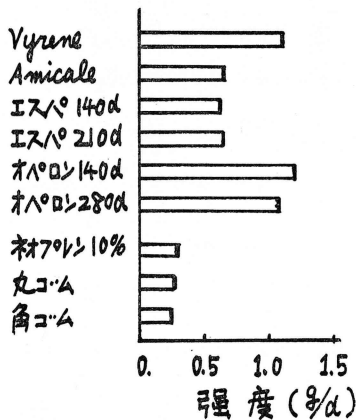


第1図 Stress-Strain 曲線

曲線を第1図に示す。

同じ 70d の Vyrene と Amicale についてみると、図表に明らかなように、Vyrene の方が1.8倍程度強く、伸度も約 1.5 倍と強度・伸度共に優れ、伸度に至っては 140d・280d の Spandex を上まわっている。エスパ・オペロンを比較してみると、オペロンが2倍以上の強度を示し、伸度も200%あまり大きい。ゴム系は Spandex より遙かに太いだけに強く、ネオプレン10%、天然ゴム90%の48番の試料が特に丈夫であり、伸度も大きく、52番の角ゴムでは約13.5倍に伸びている。

試料は太さをそれぞれ異にしているため、切断時強度の値を Spandex 相当のデニール当りに換算して比較し、第2図に示す。

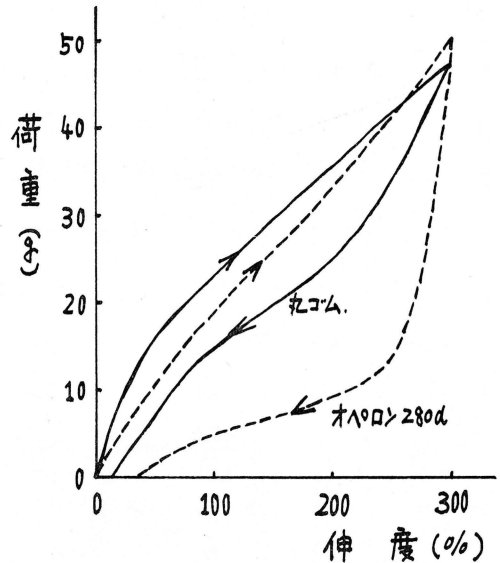


第2図 1 デニール当りの切断時強度

Spandex はゴム系の 2.5~4 倍の強度を持ち、中でもオペロン Vyrene が強く、エスパ Amicale がこれに次いでいる。

(b) 低荷重時の Stress-Strain 曲線と回復：0→300% 伸長の範囲に於ける曲線の変化をみると、300→0% の除荷重の過程に、ゴム系と Spandex とで異なった傾向が表われ、オペロン 280d と丸ゴムの例を第3図に示す。

ゴム系が伸長時の曲線に接近した戻り方を示すのに対し、どの Spandex も回復し難いよう伸長時の曲線と離れた300→0%の曲線を描いている。



第3図 0→300%間の伸長曲線と回復

従って、各種 Spandex の残留伸長が 14.0~18.0% という数値であるのに比べ、ゴム系の残留伸長は 8.0% 前後にとどまっている。これらの結果から、Spandex は伸長直後・徐重直後の回復が好ましくないと考えられる。

(c) 伸長弾性度：0→300%伸長し300→0%に戻した際の残留伸長を究明するため、3回の繰返しによる伸長弾性度を調べた。結果は第2表に示すよう、ゴム系3種類の伸長弾性度(伸びの回復性)が高く、特に丸ゴムが優れている。

Spandex は全体にゴムより劣るが、Vyrene 次いでオペロンはやや良好、エスパ、更に Amicale は最も弾性度が低い。

しかし、(b)の低荷重時の Stress-Strain 曲線と回復に表われた結果より、Spandex の回復率が向上している事から、Spandex の除重直後の回復がゴム系に劣る事は認められるが、しばらく放置した場合(ここでは10分間)には徐々に回復するものと推察される。

(d) 洗たくによる収縮性：数回の洗たくによる伸び縮みの結果を、第4図に示す。いずれも伸びず収縮を生じ

第2表 伸長弾性度の変化

測定項目 試料	伸長弾性度 (%)		
	1 回	2 回	3 回
1. Vyrene	85.2	78.0	75.0
2. Amicale	66.2	58.2	52.5
3. エスパ 140d.	69.4	62.0	58.7
4. " 210d.	73.0	64.2	59.4
5. オペロン 140d.	76.0	68.2	66.6
6. オペロン 280d.	84.0	75.0	71.2
6. ネオプレン) 天然ゴム)	88.8	86.6	84.0
8. 丸ゴム	94.0	94.0	93.0
9. 角ゴム	91.0	91.0	91.0

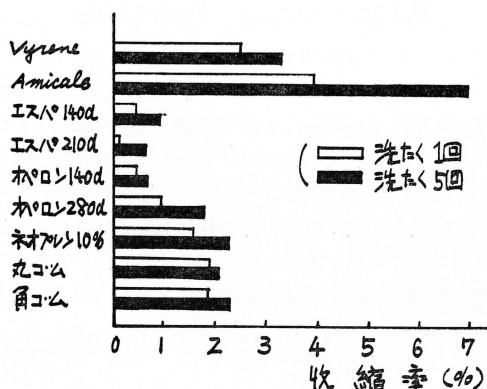


表4図 洗たくによる収縮率

ているが、オペロン・エスパに於ては収縮変化少なく、Amicale 及び Vyrene の収縮はゴム系より著しい。

以上の未処理試料に関する測定結果から、一口に Spandex と言っても、Vyrene・オペロンが比較的優れ、エスパ・Amicaleが劣っていると判定されるが、これには製造法及び成分の違い⁽⁶⁾が関与しているのではないかと考えられ、以下の耐老化性にて更に検討したい。

(e) 繰返し洗たくによる変化：繰返し洗たくをおこな

う事により、(a)～(d)の物理的性質はどの程度の変化を受けるものか。

未処理試料の切断時強度に対する、処理試料の切断時強度を強度保持率（100 から減じて 強度低下率）として算出してみると、オペロンは 8 回の洗たくによる強度低下率が 10.2%（140d）～15.6%（280d）で比較的少ない。エスパ・Vyrene がこれに次ぐが、エスパ 210d は洗たく 3 回で 18.7%，8 回で 23.1% の強度低下率を生じている⁽⁷⁾。ゴム系では、洗たく 3 回～8 回にかけての変動は少なく、18.8%（ネオプレン 10%—天然ゴム 90%）～37.0%（角ゴム）の強力低下が見られる。

他方切断時伸度は、3 回の洗たく後に数パーセントの増減が見られ、8 回洗たく後には Vyrene・角ゴム以外の Spandex・ゴム系に於て伸度増加の傾向が見られる。例えば、210d エスパ：5.4%，280d オペロン：14.8% の伸度増加率である。伸度増加の原因としては、繰返し洗たくによる収縮が関与し、収縮分だけ伸度が増加する方向に働いていると考えられる。（換言すれば、収縮分だけ試料長が長くなっている事に相当する。）

0→300%伸長間の Stress-Strain 曲線は、切断時強度・伸度からも推定される如く、3 回洗たくでは、変化はほとんど認められないが、8 回洗たく後には Spandex の残留伸長が減少しており、洗たく収縮が関係していると思われるが、徐重直後の回復も上昇している。

ゴム系では曲線の変化は殆ど見られないが、一定伸長に要する荷重の低下が表われている。未処理試料に対する洗たく後試料の伸長弾性度の変化は、認め難い。

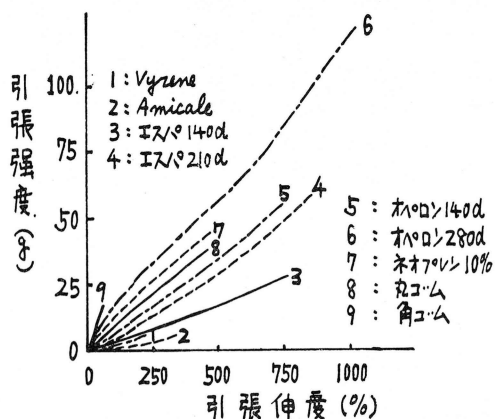
(f) 日光による変化：未処理試料に対し、フェードテスター15時間・30時間照射後の切断時強度・伸度の変化を、強度保持率・伸度保持率として第3表に示す。オペロン・エスパは他に比し、強力低下が比較的少なく良好であるが、70d の Amicale・Vyrene は細デニールの影響かゴム同様に強力低下が著しい。角ゴムは15時間照射で94.9%，30時間照射で96.0%という測定不可能な程の強度低下率を生じている。

切断時伸度は、オペロンの如く15時間照射後に伸度増加する試料もあるが、30時間照射後には、いずれも伸度

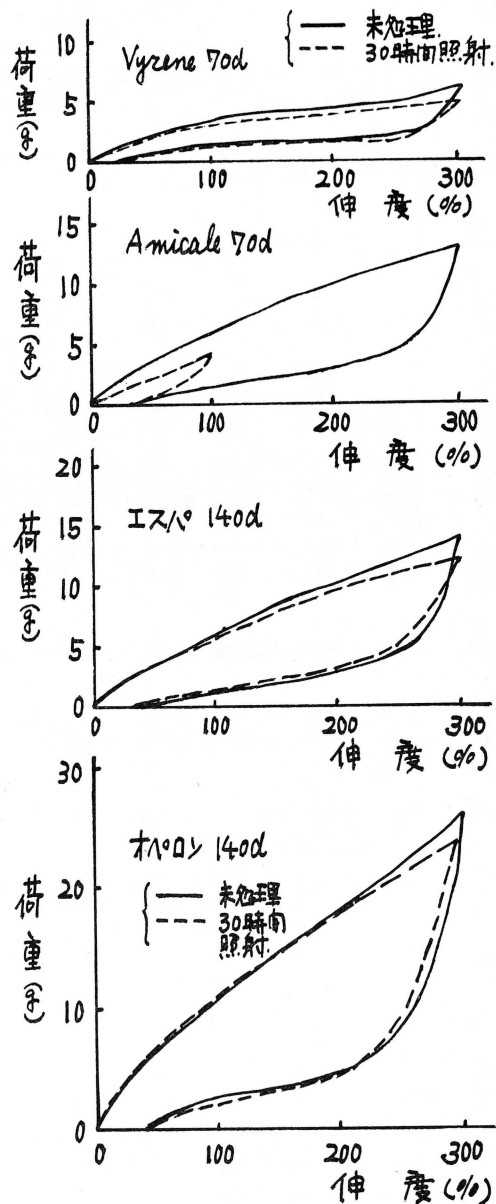
第3表 15・30時間照射による切断時強度・伸度の変化

試料	測定項目 照射時間	切断時強度 強度保持率 (%)		切断時伸度 伸度保持率 (%)	
		15 hr.	30 hr.	15 hr.	30 hr.
1. Vyrene		25.23	6.90	60.08	17.16
2. Amicale		28.75	13.36	63.80	68.00
3. エスパ 140d.		72.80	32.96	101.04	80.38
4. " 210d.		62.56	44.68	90.07	85.30
5. オペロン 140d.		79.57	30.97	104.38	63.40
6. " 280d.		93.11	41.25	107.02	83.29
7. ネオプレン)		23.79	8.59	57.51	39.31
天然ゴム)					
8. 丸ゴム		43.56	8.07	78.91	36.82
9. 角ゴム		5.13	3.99	13.13	5.78

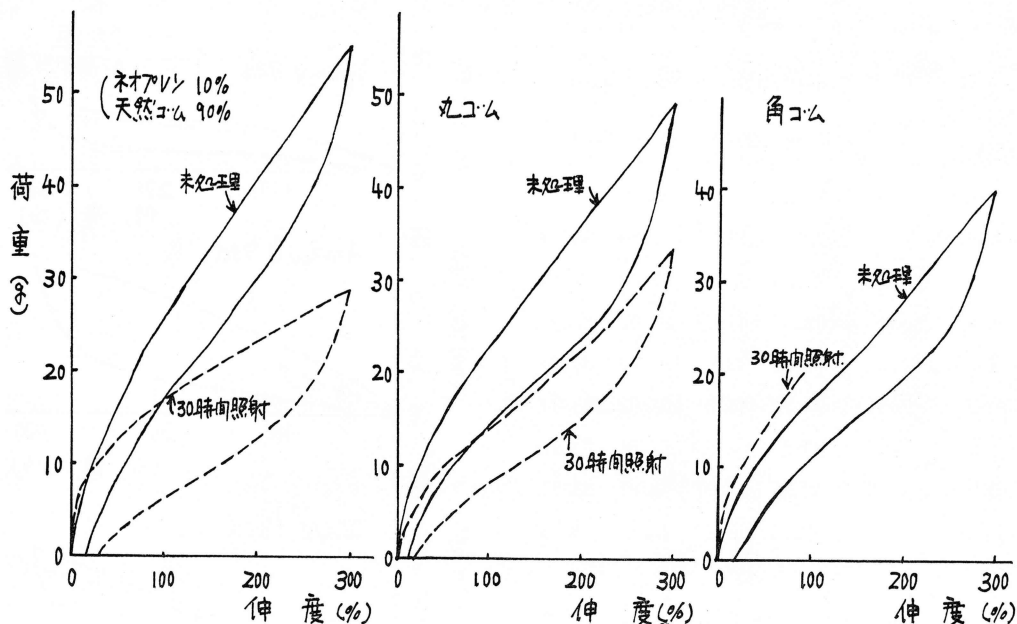
減少している。Spandex で20~35%前後の減少が見られ、細デニールの試料、特に Vyrene にて著しい。角ゴムは、30時間照射のもとでは、94.2%の伸度減少を生じ、最も伸び難くなる。30時間照射によるStress-Strain 曲線の変化を、第1図との比較の意味で第5図に示す。



第5図 30時間照射後の Stress-Strain 曲線



第6-1図 30時間照射による0→300%間の伸長曲線と回復の変化 (Spandex)



第 6-2 図 30時間照射による0→300%間の伸長曲線と回復の変化(ゴム系)

0→300%伸長の範囲に於ける曲線の変化は、強伸度変化程明白ではないが、Amicale と角ゴムは300%以前に切断のため、0→100%伸長の変化を調べた。残留伸長の変化は、Spandex では認められぬ程度であるが、ゴム系では増大している。第 6 図には、エスパ・オペロン 1 種類ずつと他の 5 種類について、低荷重時の曲線と回復を示す。

100%伸長度(200%伸長では切断する試料生ずるため)で比較した伸長弾性度からは、ゴム系の弾性度低下が認められる。

上記物性変化に加えて、フェードテスター照射による Spandex の黄変が目立つ。15 時間照射後のオペロンには認識し得る色の変化は起こらぬが、30 時間照射後には黄色化が明らかとなり、Amicale・エスパの順で著しく表われ、Vyrene に至っては黄変顕著である。これらは、照射によりウレタン基が切断されるためと考えられ、耐光性が高いとは言い難い。ゴム系に於て Spandex 程で

はないが、丸ゴムの黄変・角ゴムの退色が表われている。

(g) 洗たく一日光の組合わせによる変化：洗たく一日光の組合わせ処理をおこなった結果は、フェードテスター照射を合計15時間しており、連続15時間照射(f)の結果と大差ないが、更に若干の変化が見られる。

強度・伸度を通じて、オペロン・エスパは変化の少ない方であるが、Amicale はゴム系と同程度の強度低下率(87.3%)、伸度減少率(61.0%)を生じている。ゴム系の中では、角ゴムが劣り、95.8%の強力低下、92.7%の伸度減少を示している

更にゴム系では、残留伸長の増加・伸長弾性度の低下も明確であり、処理による変化が顕著となっている。

(i) 汗一日光の組合わせによる変化：汗のみの処理では、繰返し洗たくに比し伸度増加が少ない程度で、他の変化は見られない。

汗一日光の組合わせ処理に於ても、オペロン、エスパの強伸度変化は少ない(エスパ 210d の強度低下率：32.7

%, 伸度減少率: 8.7%) 方であるが, Amicale は 85.0% の強度低下率, 57.3% の伸度減少率を生じている。ゴム糸殊に角ゴムは, 94.0% 強力が低下し, 伸度は 84.7% 減少している。低荷重時の Stress-Strain 曲線と回復性は, フェードテスター 15 時間照射の場合と類似している。

(i) 熱及び熱湯による変化: 乾熱処理による強度低下率は, 多くの Spandex に於て 10.0~15.0% 程度であるが, Vyrene では 30.0% 近い数値, ゴム糸では 50.0~76.0% (角ゴム) の低下が見られる。伸度は, オペロン・エスパに於て 10.0% 前後増加し, Vyrene (12.2%), (角ゴム (38.8%)) では減少している。ネオプレンのような試料も含めて, ゴム糸は熱空気にさらされる事により, 硬くなり, 伸びが低下し, 脆くなるという事は種々の影響から調べられている⁽⁸⁾。

乾熱処理に比べて, 熱湯処理の影響は少なく⁽⁹⁾, 5.2% (オペロン 280d)~24.4% (ネオプレン—天然ゴム) の強力低下, 伸度に至っては, 数パーセントから, 20~30% も増加し, 洗たく処理による伸度増加と一致した傾向である。

(k) 漂白剤による変化: Spandex に良しとされている還元系漂白剤としてハイドロサルファイトを, 避けるように注意されている塩素系漂白剤として亜塩素酸ナトリウムを用い, これらを含む 3 種類の漂白剤にて処理した。Spandex は, 塩素系漂白剤など活性塩素を放出する薬剤からは, 塩素を吸収して黄変・脆化を起こすと報告されている⁽¹⁰⁾ が, 当実験での使用濃度及び条件下で

は, 3 種漂白剤の物性変化に及ぼす影響は認め難い程度で, 主な結果を第 4 表に示す。

(m) 酸・アルカリによる変化: 3.0% の酢酸溶液 1 時間の処理では, Spandex 試料に表われる強伸度等の変化は僅かである (Vyrene のみ, 17.4% の強度低下率, 6.7% の伸度減少率) が, 丸ゴム・特に角ゴム (強度低下率: 28.5%, 伸度減少率: 6.4%) の強度への影響は可成り大きい。

水酸化ナトリウム溶液処理に於ても, Vyrene で 13.8% の強力低下, 9.8% の伸度減少が見られるが, 他の Spandex への影響は少ない。角ゴムでは, 30.8% の強力低下, 18.0% の伸度減少を生じている。

酸・アルカリ処理を通じて, 使用濃度ではオペロンの伸度減少 (7.0%~15.0%) がやや目立つ程度で, 他に顕著な変化は認められないが, Spandex は主鎖にエステル結合を持つため, より濃厚時には加水分解も起こり得ると考えられる⁽¹¹⁾。

(e)~(m) の処理を通して, Spandex はゴム糸に比べ耐老化性の高い事が認められるが, これには Spandex が分子内にゴムの如き 2 重結合を持たない事に起因していると考えられる。しかし, Vyrene は未処理試料に比べ処理による劣化が著しいが, これには他の Spandex と異なった成分的な事が関与しているのか, 太さの影響 (オペロン・エスパも, 細デニールの方が老化しやすい) か, あるいは測定末期になるに従い, 空気酸化が原因して試料自体が弱くなったのではないかと考えられるが, その詳細は以上の測定からだけでは解らない。

第 4 表 漂白剤の影響

測定項目 漂白剤 試料	強度保持率(%)			伸度保持率(%)		
	過酸化水素	亜塩素酸ナトリウム	ハイドロサルファイト	過酸化水素	亜塩素酸ナトリウム	ハイドロサルファイト
エスパ 140d.	98.80	109.91	105.28	106.61	112.37	95.03
オペロン 140d.	98.44	101.12	93.75	92.73	95.40	80.65
丸 ゴ ム	78.93	88.10	81.30	97.40	129.21	88.96

V. 総 括

1. 引張強度は, ゴム糸に比べ Spandex の方が, 2.5~4 倍近く強い。引張伸度は, 太さの影響があるが, ゴム糸の方が優れているようであるが, Spandex もゴム糸に近い伸度を持っている。伸長弾性度 (伸びの回復率) は, Spandex に於て直後の伸長回復が悪く劣っているが, しばらく放置する事により次第に回復すると推定される。

2. (e)~(m) の処理に対する耐老化性についてみると,

Spandex では良好（特にオペロンの太デニール）な結果が得られているが、ゴム糸特に角ゴムは劣化が顕著である。（ネオプレン10%含む試料は、ゴムの中では老化に強い。）従って、Spandex はゴム糸に比較して、より永くその性能を保持し得ると考えられる。

3. 著しい劣化を生ずる処理は、Spandex・ゴム糸共に日光（フェードテスター照射）によるものであり、洗たく一日光の組合わせ、汗一日光の組合わせ処理に於ても、諸性質の変化が大きい。

Spandex では細デニールの Vyrene・Amicale に於て、ゴム糸では角ゴムに於て、特に老化が顕著である。

4. 洗たく、汗、漂白剤、酸・アルカリ等の使用濃度及び処理条件下では、Spandex・ゴム糸共に変化少ない。
5. ゴム糸と比較して、Spandex が数々の優れた性能を持つ事は確かに認められるか、製品化に当っては、用途目的によってその性能を活かすように考えてゆく事により、一層の機能性と快適な装着感を与える事が

出来ると思う。

文 献

- (1) 松川：被服材料, p. 178, 76表 (1966)
- (2) 東洋紡績株式会社編：エスパ, 東洋紡スパンデックス
- (3) 桜田・祖父江・久志編集：合成繊維, p. 434 (1964)
- (4) 池田・川村訳：海外繊維技術文献集, 14, No. 7, 1 (1964)
- (5) JIS. L. 1047番, 染色物及び染料の汗堅牢度試験方法, A法
- (6) 鈴木：繊維学会誌, 21, No. 3 (特), 79 (1965)
- (7) 石井：繊維科学, 2, 28 (1959)
- (8) 神原・北島・川崎・古谷編集：合成ゴムハンドブック, p. 583 (1960)
- (9) 化繊便覧, p. 585 (1967)
- (10) 川上：衣生活, 4, p. 35 (1967)
- (11) 桜田・祖父江・久志編集：合成繊維, p. 435 (1964)