

ポリウレタン混ストレッチ織物の経年による力学的特性変化

Change in Mechanical Properties of Polyurethane-Blended Fabric with Age

被服学科 奥脇 菜那子 金田 理穂 松梨 久仁子
Dept. of Clothing Nanako Okuwaki Riho Kaneda Kuniko Matsunashi

抄 録 ポリウレタン混織物はストレッチ素材として幅広く利用されているが、経年劣化することや、繰り返しの着用により型崩れが生じることなどがデメリットとして挙げられる。本研究では、ポリウレタン混織物について、購入直後の力学的特性の計測値と 10 年以上経過後の同一試料の計測値を比較し、経年による特性変化の傾向を把握するとともに、新品の試料に加速劣化試験を施し特性変化に影響を及ぼす要因について検討した。その結果、ポリウレタン混織物は経年により、引張特性や剪断剛性が変化することが明らかになった。また、ジャングル試験による劣化処理を施したポリウレタン混織物は、生地が伸びやすくなることが示され、その変化傾向は経年劣化したものと一致することが確認された。一方、着用疲労を再現した劣化試験では、生地が薄くなり、弾性が失われ、伸び率が減少することが確認され、経年劣化と物理的劣化では特性変化の傾向が異なることがわかった。

キーワード：ポリウレタン，ストレッチ織物，力学的特性，経年劣化，ジャングル試験

Abstract Polyurethane-blended fabrics are widely used for their elastic properties, but they have the disadvantage of deterioration with age and shape loss due to repeated wear.

In order to assess the extent of these negative features, this study compares the measured values of mechanical properties of polyurethane-blended fabrics immediately after purchase with the measured values of the same sample after ten years or more. We conducted accelerated degradation tests on new specimens to investigate the factors that affect the change in properties.

The results showed that the tensile properties and shear rigidity of polyurethane-blended fabrics changed with age. The fabric of polyurethane blends treated with accelerated degradation by the jungle test showed more elongation, and the trend was consistent with that of aged materials. On the other hand, the fabric became thinner, lost elasticity, and decreased elongation rate in the degradation test that reproduced wear fatigue, suggesting that mechanical property change was different between aging and physical degradation.

Keywords: polyurethane, stretching fabric, mechanical properties, aging, jungle test

1. 緒言

繊維製品に使用されているストレッチ素材の多くは、ポリウレタン繊維の伸縮性を利用したものである。ポリウレタン繊維（スパンデックス）を用いた生地はその優れた伸縮性から、スポーツウエア、肌着、ファンデーション、シャツ、ジャケット、ボトムスなど幅広く利用されている。ポリウレタン繊維は便利な材料特性を持つ反面、合成時から劣化が生

じるというデメリットも併せもち、ポリウレタン繊維を含む衣料は、経年による物性の変化や、使用によるシルエット崩れや糸切れ、保管中の脆化などにより、耐久性や外観の面で問題が生じることが報告されている^{1,2)}。図1は数年着用や洗濯を繰り返したポリウレタン混ストレッチジーンズの外観写真である。この写真から膝抜けや全体的な波打ちなどの型崩れが観察されるが、それとともに伸縮性が失われることは多くの消費者が経験している。

ポリウレタン繊維は、水分、光、熱、酸化窒素ガスや塩素等の影響により劣化と言われており^{3,4,5)}、ポリウレタン混製品は使用環境や取り扱い方法により劣化が一層速まる場合も考えられる。このため取り扱いに十分注意する必要があるが、ポリウレタン混製品のデメリットを十分に理解していない消費者が多いと予想される。消費者トラブルを防ぐためにも、ポリウレタン繊維の特性や、経年や使用による性能変化の傾向を把握しておくことは重要である。

ポリウレタン繊維の劣化に関する報告はポリウレタン繊維とゴムとの耐久性比較や⁶⁾、ポリウレタン混織物の着用疲労による風合いや外観の変化のついて述べたものがあるが⁷⁾、ポリウレタン繊維の経年劣化が布地の物理的性能に及ぼす影響の詳細は明らかではない。そこで本研究では、ポリウレタン繊維が使用されているストレッチ織物について、10年以上前に製造された織物の力学的特性に着目し、どのような変化が起きているかを把握することにした。さらに、ポリウレタン繊維の劣化の要因と考えられている、空気中の水分や熱から受ける影響や、着用中の疲労による影響を検討することを目的とし、ポリウレタン混織物を試料として、加速劣化試験を施し処理前・後の特性値を比較することにした。



Fig.1 Appearance of the stretch jeans after use.

2. 実験 I ポリウレタン混ストレッチ織物の経年による特性変化について

本章では、2004年に購入した市販のポリウレタン混織物の購入直後に計測した力学特性値と、10年以上経過後の2017年に新たに計測した特性値について比較検討した結果を報告する。

2.1 試料

実験には2004年に購入し反物の状態で常温・暗所に10年以上安置されていたポリウレタン繊維混のストレッチ織物17種を用いた。各試料の詳細を表1に示す。なお、布の厚さ(mm)と目付(g/m^2)は2004年に測定した値である。組成については外衣やパンツ素材として用いられるような毛や綿が主体のものが多いが、化繊を混用しているものもある。実験に用いた織物は、コアスパンヤーンの芯部にポリウレタン繊維を用いたものであり、全ての試料に共通してよこ糸にコアとなるポリウレタン繊維が確認された。

2.2 実験方法

試料は20 cm×20 cmに採取し、KES-FB1引張せん断試験機(カトーテック株)を使用して、引張特性値LT(-)・WT($\text{gf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$)・RT(-)・EMT(%)およびせん断剛性G($\text{gf}/\text{cm} \cdot \text{degree}$)を計測した。これらの計測値と2004年に計測した購入直後の値を比較した。

2.3 結果および考察

ポリウレタン混織物の経年による物性値の変化について、図2に伸び率EMT、図3にせん断剛性Gの計測結果を示す。黒色の棒グラフは購入直後の2004年、白色の棒グラフは経年後の2017年の計測値を表している。なお、図中の値はストレッチ糸を有するよこ方向の結果である。

引張特性について、図2から2004年の計測値と比較し、2017年の計測値では多くの試料においてEMTが増加したことがわかる。また、引張仕事量WTもEMTと同様の傾向が認められた。このことからポリウレタン混織物は購入直後と比較して、経年により変形しやすくなったといえる。一方、引張り剛性LTおよび回復性RTについては、明瞭な変化傾向をとらえることができなかった。

Table 1 Fabric details.

Specimen	Material	weave	Thickness (mm)	Weight (g/m ²)	Stretch direction
A	Cotton, Spandex	Plain	0.31	171.1	Weft
B	Wool 80%, Polyester 18%, Spandex 2%	Twill	0.39	217.2	Weft
C	Wool 91%, Polyester 8%, Spandex 1%	Plain	0.31	144.5	Weft
D	Wool 63%, Viscose rayon 35%, Spandex 2%	Twill	0.62	268.9	Weft
E	Wool 66%, Cotton 33%, Spandex 1%	Twill	0.76	379.1	Weft
F	Wool 91%, Polyester 8%, Spandex 1%	Plain	0.34	151.1	Weft
G	Wool 98%, Spandex 2%	Twill	0.61	244.5	Weft
H	Wool 89%, Nylon 9%, Spandex 2%	Twill	0.68	237.7	Weft
I	Viscose rayon 50%, Polyester 32%, Nylon 9%, Silk 5%, linen 3%, Spandex 1%	Basket	0.68	233.6	Weft
J	Wool 66%, Cotton 33%, Spandex 1%	Twill	0.76	363.4	Weft
K	Cotton, Spandex	Twill	0.61	243.4	Weft
L	Wool, Silk, Cuprammonium rayon, Spandex 2%	Plain	0.65	244.9	Weft
M	Cotton, Polyester, Spandex	Plain	0.49	185.5	Weft
N	Cotton 95%, Spandex 5%	Twill	0.56	229.4	Weft
O	Cotton, Spandex	Plain	0.46	209.9	Weft
P	Cotton, Spandex	Plain	0.31	168.7	Weft
Q	Cotton 95%, Spandex 5%	Corded velveteen	0.46	174.9	Weft

せん断剛性 G は、2004 年と 2017 年の計測値を比較すると、図 3 から、全ての試料において減少していることがわかる。ポリウレタン混織物は、経年によりせん断やわらかくなったことが確認された。

これらの変化について統計的に検討するために、2004 年と 2017 年のよこ方向の計測値について、Wilcoxon の符号付順位検定を実施した。その結果、伸び率 EMT、引張仕事量 WT、せん断剛性 G の値において 5%水準で有意差が認められた。したがっ

て、これらのポリウレタン混織物は保管中に空気中の水分や温度などの環境の影響を受けて経年劣化し、力学的特性値が変化したといえる。経年による特性変化の傾向としては伸び率や引張仕事量が増加し、せん断剛性値が低下することからポリウレタン混織物は経年によりやわらかく、変形しやすくなることが示された。以上、ポリウレタン混織物の経年による力学特性値の変化について、おおまかではあるがその傾向を把握することができた。

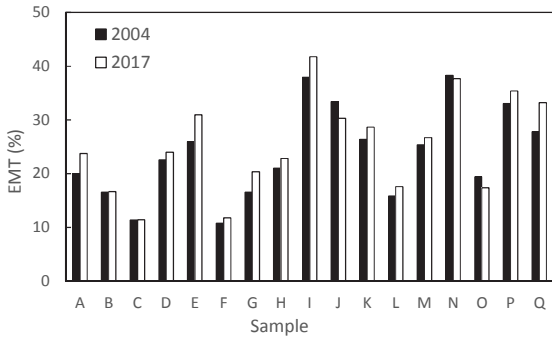


Fig.2 Change in EMT(weft direction) by aging.

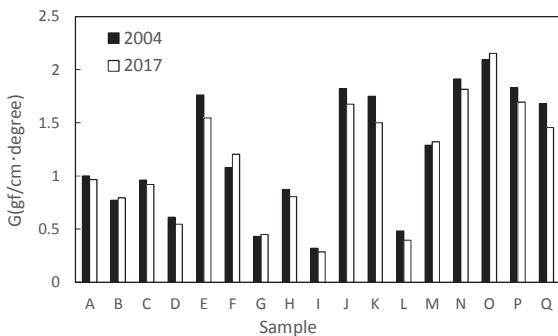


Fig.3 Change in G(weft direction) by aging.

3. 実験Ⅱ 加速劣化促試験による特性変化について

前述したように空気中の水分や熱はポリウレタン繊維の劣化の要因と考えられているが、実験Ⅰの結

果からポリウレタン混織物は経年により力学特性値が変化することが明らかとなった。また図1からもわかるように、ポリウレタン混の衣料は、膝部分など物理作用が加えられやすい箇所において生地が大きく変形するため特性変化も大きいと考えられる。そこで、水分、熱、物理作用の影響によるポリウレタン混織物の特性値の変化について基礎的なデータを得ることを目的として、後述する加速劣化試験を行い、処理前・後のポリウレタン混織物の引張特性値を比較した。

3.1 試料

試料は新たに購入したポリウレタン混織物9種類を用いた。試料の詳細は表2に示す。これらの試料は実験Ⅰと同様に毛や綿を主体としたもので、試料a・b・c・d・hは毛混織物、試料e・f・g・iは綿混織物である。なお、すべての試料のよこ糸にポリウレタン繊維が芯となっているコアスパンヤーンが使われている。また試料c・iはたて糸にもポリウレタン混ストレッチ糸が使用されているためよこストレッチの生地である。

3.2 実験方法

試料はいずれもたておよびよこ方向に5×20cmに切り出し、恒温恒湿室にて標準状態である20℃65%RHの温湿度の環境下に24時間保管した後、2種類の加速劣化試験を加えた。

Table 2 Fabric details.

Sample	Material	weave	Thickness (mm)	Weight (g/m ²)	Stretch direction
a	Wool 97%, Spandex 3%	Twill	0.55	206.71	Weft
b	Wool 97%, Spandex 3%	Satin	0.41	215.42	Weft
c	Wool 98%, Spandex 2%	Twill	0.67	238.25	Warp Weft
d	Wool 55%, polyester 44%, Spandex 1%	Twill	0.68	229.44	Weft
e	Cotton 95%, Spandex 5%	Twill	0.46	248.14	Weft
f	Cotton 97%, Spandex 3%	Twill	0.26	158.05	Weft
g	Cotton 97%, Spandex 3%	Plain	0.51	261.00	Weft
h	Wool 65%, Viscose rayon 30%, Spandex 5%	Satin	0.44	258.47	Weft
i	Cotton 60%, Nylon 36%, Spandex 4%	Twill	0.57	280.87	Warp Weft

加速劣化試験として下記の①及び②の処理を加えたのち、KES-FB1 を用いて各種引張特性値を計測した。また、KES-FB3 を用いて、0.49N 荷重下の厚さ TM を計測した。これらの計測値について、未処理試料と処理後の試料の結果を比較した。

① ジャングル試験

ジャングル試験とは、人工的に高温多湿状態に調整した空間中に試料を静置して経年劣化を模擬的に再現する試験方法であり⁸⁾、主としてポリウレタン製人工・合成皮革やウレタンフォームの耐用年数や劣化状態を評価する際に用いられている。また、ポリウレタン製品のジャングル試験の処理時間と実用年数の対応としては、1 週間のジャングル試験が約 1 年間の使用状態を再現するという見解が一般的である。本研究では、ポリウレタン混織物が保管中に空気中の水分や熱から受ける影響を把握するために本試験を採用した。ATTS において、衣料用ポリウレタン加工素材の経時変化に対する評価方法は人口汗液を用いた試験として定義されているが⁹⁾、本実験は未着用状態で保管した場合の空気中の水分による影響を検討することを目的としているため人口汗液への暴露は実施しなかった。

恒温恒湿機（エスバック（株））を温度 70℃、湿度 95%RH に設定し、庫内に試料を平置き状態で静置し、48 時間および 98 時間の 2 条件で処理を加えた。

② 疲労試験

着用による疲労を再現し、ポリウレタン混織物の物理的な劣化について検討するため、縫目疲労試験機 TTD 型（大栄科学精器（株））を用い、試験荷重：3kgf・往復速度：30 回/min・ストローク 12cm の条件下で加重・除重作用を繰り返し加える疲労試験を行った。繰り返し回数は 5000 回とした。

3.3 結果および考察

3.3.1 ジャングル試験について

ジャングル試験による加速劣化処理(48 時間処理、96 時間処理)を加えた試料と、未処理の試料の引張特性値の計測結果を図 4, 5, 6 に示す。黒色の棒グラフは未処理、横縞柄の棒グラフは 48 時間処理後、ドット柄の棒グラフは 96 時間処理後の特性値の計測結果を表している。なお、引張特性については、全ての試料でストレッチ糸を用いているよこ方向について述べる。図 4 から、伸び率 EMT について未

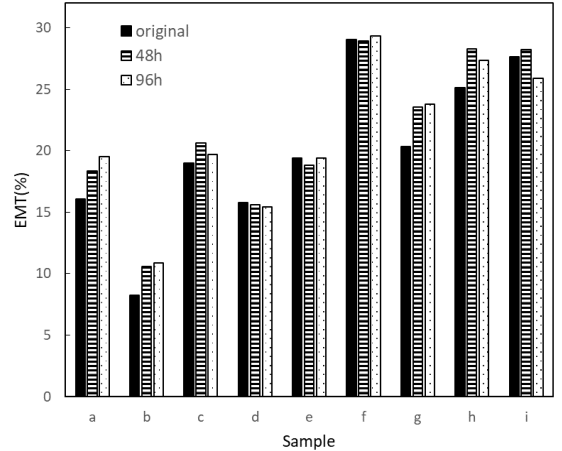


Fig.4 Change in EMT(weft direction) by jungle test.

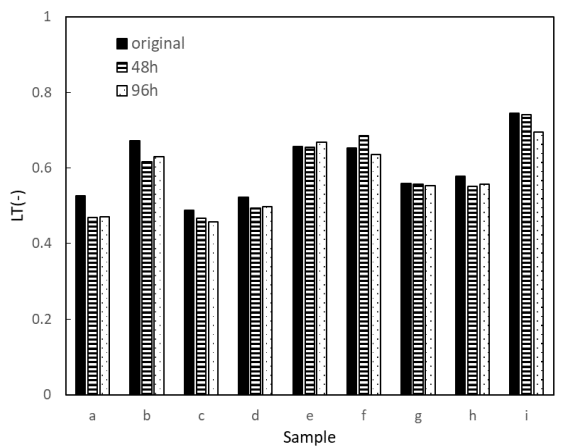


Fig.5 Change in LT(weft direction) by jungle test.

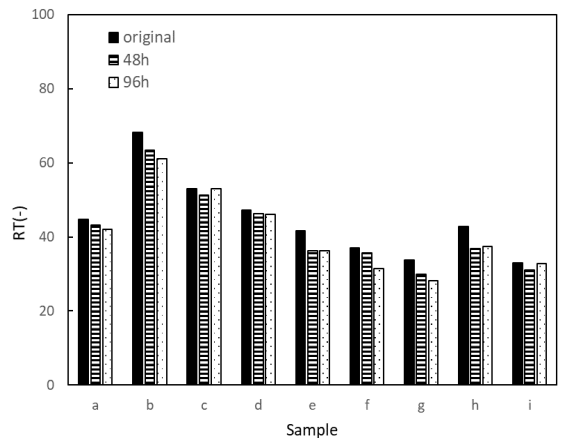


Fig.6 Change in RT(weft direction) by jungle test.

処理試料の結果と比較するとジャングル試験処理を加えた試料では増加する傾向にある。引張仕事量 WT も同様の結果が得られており、ポリウレタン混織物はジャングル試験により変形しやすくなることが明らかになった。一方、引張剛性 LT および回復性 RT は減少傾向を示していた。図 5 から、試料 f の 48 時間処理を除くすべての試料において、引張剛性 LT は減少し、図 6 から回復性 RT はいずれの試料も減少していることがわかる。これらの結果から、ポリウレタン繊維が熱や水分により、ストレッチ素材において重要な性能である弾力が損なわれ伸びやすくなり、剛性値や回復性も低下することがわかった。このような結果は、変形しやすくなる点においては前述の経年による特性変化と傾向が一致しているが、経年試料の引張試験結果からは確認されなかった回復性 RT や引張剛性 LT の低下が生じていることから、実際の経年劣化よりも特性の変化が進んでいることが推察される。

厚さ TM については、グラフには示さないが未処理試料と劣化促進後の試料の値を比較すると、48 時間・96 時間ともに増加していた。これは今回の試料が綿混および毛混織物であったことから、ジャングル試験下での加熱と水分付与により収縮したことが原因だと考えられる。

以上の結果から、ポリウレタン混織物の引張特性はジャングル試験によって付与された水分と熱の影響により、力学的特性が変化することが明らかとなった。また、前章で述べた経年布の引張特性の変化と同様の傾向を示したことから、ポリウレタン混織物は保管中の環境における湿気や、製造および管理の過程において加えられる熱や水分は特性変化の要因となることが示唆された。

しかし、ジャングル試験による劣化シミュレーションは実際の経年劣化と比較して劣化の程度が大きい点や、ポリウレタンを被覆している他の混用繊維の影響も考慮する必要がある点などの課題も示された。また、48 時間と 96 時間では明瞭な差が見られない試料が存在しており、時間の影響については、さらに詳細に検討を加えていく必要がある。

3.3.2 疲労試験について

疲労試験による引張特性の変化について、よこ方向の伸び率 EMT の結果を図 7 に示す。黒色の棒グラフは未処理、斜線柄棒グラフは疲労試験後の特性

値の計測結果を表している。試験中に繰り返しの加重・除重作用に耐え切れず試料が破壊したため計測不可であった試料 b を除き、全ての試料で EMT の計測値の大幅な減少が認められた。また、引張剛性 LT も大きく減少していた。このような特性変化は加重と除重を繰り返したことによる生地残留ひずみが大きく影響している。

厚さ TM の計測結果を図 8 に示す。疲労試験後の試料の厚さは、試料 e, f, g, h, i では減少し、試料 a, c, d では増加することが確認された。TM が減少する試料については、生地の伸びが原因といえる。一方、TM が増加した試料の外観に注目すると、波打ち状のたるみが生じていた。このたるみの存在が TM の増加の原因といえる。加重・除重により織物中のコアヤーン芯部のポリウレタン繊維の伸縮性が損なわれたことにより生じた伸びに、外側を被覆する繊維が追従できないために、このような波打ち状のたるみが生じたのではないかと考えている。

図 1 に示したストレッチジーンズについてみると、物理作用が加わりやすい膝部分は他の部位と比較すると生地が薄くなっており、ストレッチ性が失われ伸びにくい状態になっている。本疲労試験の条件は実際の着用よりもハードな条件であることが想定されるが、疲労試験後の試料と、実際の繰り返し着用を経たポリウレタン混ストレッチ衣料の特に負荷がかかりやすい部位では同様の特性の傾向が確認され、着用疲労による生地物性の変化傾向を把握できたといえる。

以上の結果より、ポリウレタン混織物は繰り返し着用による物理的な劣化では、生地が大きく引き伸ばされることにより薄くなることや波打ち状のたるみが生じること、弾性が失われて生地の伸び率や引張剛性値が低下することが確認された。このことから、経年劣化と着用疲労による劣化では特性変化の傾向が異なることが明らかになった。また、疲労試験において示された特性変化の傾向は図 1 に示したストレッチジーンズの膝部分の特性変化の傾向や、ポリウレタン繊維を用いた衣料の品質苦情の事例とも一致しており²⁾、消費過程におけるポリウレタン混織物の劣化は物理的作用の影響が大きいことが推察される。物理的な劣化は経年による弾性的性質の変化により促進すると考えられるため、今後は経年劣化と着用劣化の複合シミュレーションを行い、特性変化の傾向をより詳細に検討していきたい。

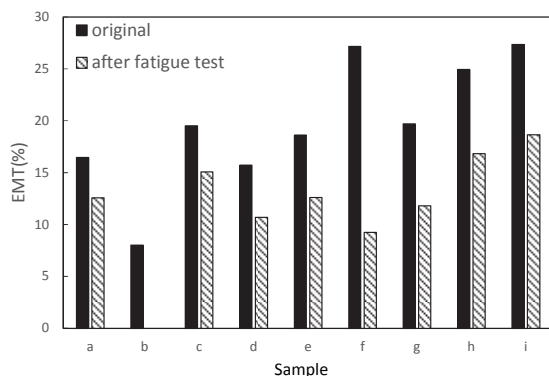


Fig.7 Change in EMT(weft direction) by fatigue test.

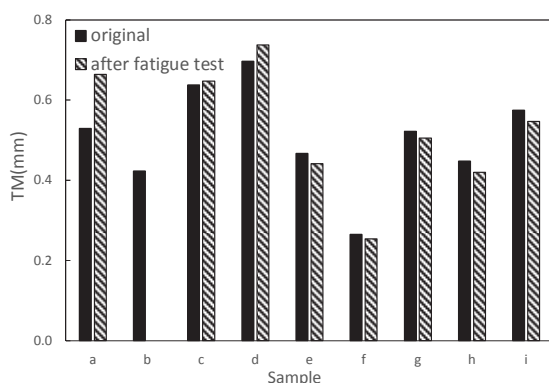


Fig. 8 Change in TM(weft direction) by fatigue test.

4. 結言

本研究はポリウレタン繊維が使用されているストレッチ織物について、購入直後の力学的特性の計測値と10年以上経過後の2017年に計測値を比較し、経年によりどのような変化が起きているかを把握するとともに、劣化促進処理により物性変化に影響を及ぼす要因について検討したものである。

その結果、ポリウレタン混織物は経年により、ストレッチ素材として重要な引張特性やせん断剛性が変化するという非常に興味深い結果を得ることができた。また、劣化の要因となる水分や熱、物理作用による影響による特性の変化についての基礎的データを得るため、加速劣化試験後の力学特性値を計測

した結果、ジャングル試験による加速劣化処理を施したポリウレタン混織物は、生地が伸びやすくなり弾性的性質が低下することが示され、経年劣化した試料の特性変化の傾向と一部一致することが確認された。このことから、ポリウレタン混織物に対して加工や保管などの過程において加えられる熱や水分は、特性変化の要因となることが示唆された。一方、繰り返し着用を再現する試験では、生地が伸び薄くなることと、弾性が失われて伸び率が減少することが確認され、物理的劣化と経年劣化では物性変化の傾向が異なることが明らかになった。

今後は経年劣化と着用劣化の複合シミュレーションを行い、消費過程におけるポリウレタン混織物の物性変化の様子をより詳細に検討したい。

参考文献

- 1) 秋山 眞喜生：繊維技術データベース ポリウレタン繊維とニット，繊維社企画出版
- 2) 衣料管理協会出版部会：繊維製品の品質苦情究明ガイドー消費者苦情の原因究明・再発防止ー，衣料管理協会（2019）
- 3) 堀口 孝彦，石川 英昭：特集 ポリウレタンの最近の進歩 ポリウレタン系繊維，日本ゴム協会誌，5（3），98-205（1982）
- 4) 秋葉 光雄；ポリウレタンの劣化と安定化，日本接着剤学会誌，40（6），241-252（2004）
- 5) 東京都クリーニング生活衛生同業組合，ポリウレタン素材の弱点を知る，<https://www.tokyo929.or.jp/column/life/1.php>（2021年9月1日閲覧）
- 6) 鈴木 勇；ポリウレタン弾性糸について，繊維学会誌，21（3），S78-S83(1965)
- 7) Hiroko Yokura, Masako Niwa：Durability of Hand in Spandex Blend Fabrics, *Textile Research Journal*, 58（7），398-408（1988）
- 8) 蔭地 駿作：衣料用ポリウレタン加工素材の経時変化に対する評価法の研究，染色工業，41（2），56-93（1993）
- 9) ATTS2102:199, 衣料用ポリウレタン加工素材の経時変化に対する評価方法

