

## スポーツウェアの伸縮性に及ぼす洗剤の影響

鄭 好根<sup>1</sup>・時田直恵<sup>2</sup>・米山雄二<sup>2</sup>

### Influence of detergents on the elasticity of sportswear fabric

Influence of detergents on the elasticity of sportswear fabric was studied by measuring changes in the length of the fabrics after repeated wear, exercise and washing. Also, the effects of the detergency of surfactants and liquid detergents on the staining of sportswear by oily soil, and the changes in the stretch lengths of the test fabrics after soaking in the detergent solutions were investigated. We found that the length of each part of the sportswear fabric changed on repeated wear, exercise, and washing. The change was influenced by the type of detergent used. It was difficult to remove the oily soil adhering to the fabric by washing, because the oils easily penetrated the polyurethane-based fabric. Stretch length increased with longer soaking the detergent solution. The change in the course direction of the test fabric was greater than that in the wale direction. The changes in the stretch length were dependent on the type of surfactant used in the washing solution. Nonionic surfactant had a greater effect on the fabric than the anionic surfactants, increasing the stretch length. In summary, the elasticity of sportswear fabric was changed by the action of surfactants on polyurethane during washing.

**Key words :** sportswear, elasticity, stretch, polyurethane, surfactant

Received september 2nd, 2015 ; Accepted November 16th, 2015

#### 1. 緒 言

近年、人々の生活が豊かになるとともに健康志向が高まり、レジャーや余暇を通してスポーツを楽しむ人が増えている。運動する時に着用するスポーツウェアはスポーツの種類に合わせて運動しやすいように機能が開発され、上着から下着まで様々なものが販売されている。スポーツウェアには運動機能性、快適性、吸汗・吸水性、耐久性、安全性が求められ、その中で運動機能性はスポーツウェアで最も大切な機能となっている<sup>1)</sup>。このためにスポーツウェアの生地は、動きに追従して変形する伸縮性が必要となってくる。スポーツウ

ェアのもつ伸縮性は着やすく、快適であり、動きやすいことから、日常着にもスポーツウェアの要素が取り入れられ、着用する機会が多くなっている。三ツ井ら<sup>2)</sup>は、スポーツウェアの着心地や繰り返し洗濯をした場合に吸水性や再汚染性の変化を検討し、洗濯中の汚れが生地に再汚染して、黒ずみが発生する問題点を報告している。しかし、生地の伸縮性に対して洗濯がどのように影響するかは、検討されていない。一般に、伸縮性を持つスポーツウェアはポリウレタン繊維が用いられており、この繊維は伸縮性に優れる一方、強度的に他の合成繊維と比較して弱いため、単体では用いられず、ポリエステルやナイロンなどの他の繊維と混用されている。そして、スポーツウェアの生地はニット編成として、そのニット構造による伸びとポリウレタン自身の弾性によって、大きな伸縮性を発現している。

ポリウレタンは優れた伸縮性や柔軟性を持つ一

Hokyun Jung<sup>1</sup> Naoe Tokita<sup>2</sup> Yuji Yoneyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 文化学園大学大学院 生活環境学研究科

<sup>2</sup> 文化学園大学 服装学部

東京都渋谷区代々木3-22-1(〒151-8523)

方、そのポリマー主鎖は化学構造中にエステル結合やエーテル結合を有しているため、化学的な影響を受けやすく、加水分解、熱劣化、油劣化を受けて脆化しやすいことが知られている。また、スポーツウェアを着用して運動した際には、発汗するとともに皮脂汚れが繊維に付着する。皮脂汚れはポリエステルやポリウレタンのような疎水性繊維に付着しやすく、また洗濯の際には洗剤に含まれる界面活性剤も疎水性繊維に吸着しやすい。皮脂汚れの脂分および界面活性剤はポリウレタンに影響し、その伸縮性に影響すると考えられる。

本研究では、スポーツウェアの伸縮性に及ぼす洗剤の影響を、着用・運動・洗濯の繰り返しによる寸法変化、油汚れの洗浄性および生地の変長量の変化から検討した。

## 2. 実験

### 2.1 試験衣料

代表的なスポーツメーカー4社から販売されている伸縮性を有するスポーツウェアについて、汎用価格帯（約4000円）の上半身用ウェア製品の

材質を調べたところ、ポリエステルとポリウレタンが用いられており、その比率は85:15または84:16であり、各社ほぼ同じ素材となっていた。そこで、本研究では比較的多くの人が好んで使用している1社の上半身用ウェアを試験衣料に選定した。その布地の構造をデジタルマイクロスコープ（VHX-1000, キーエンス製）で観察した結果をFig.1に示す。布地の構造を観察しやすいように、後述する洗浄試験で用いた油溶性染料で着色した。上段2枚の写真から、試験衣料の生地は平織りのニット構造であることがわかる。また、この布地を若干引っ張った写真を下段2枚に示した。赤色で濃く染まった繊維が見えており、これがポリウレタン繊維である。ポリエステル繊維とともにFig.2に示すように、ウェール方向にループを作りながら、コース方向に続いていく平織りニット構造となっている。本研究ではこのような平編みニット構造を持つスポーツウェアを試験衣料に選び、以下の試験に用いた。

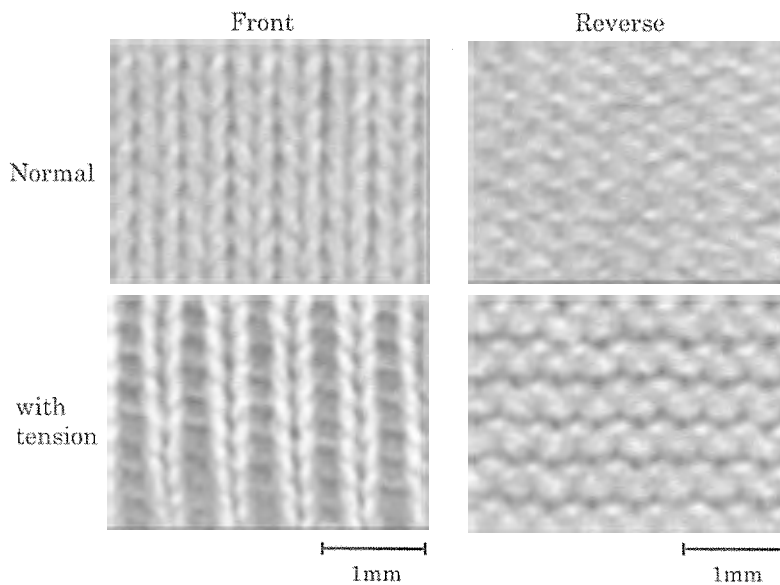


Fig.1 Knit structure of sportswear (Polyester:Polyurethane=84:16).

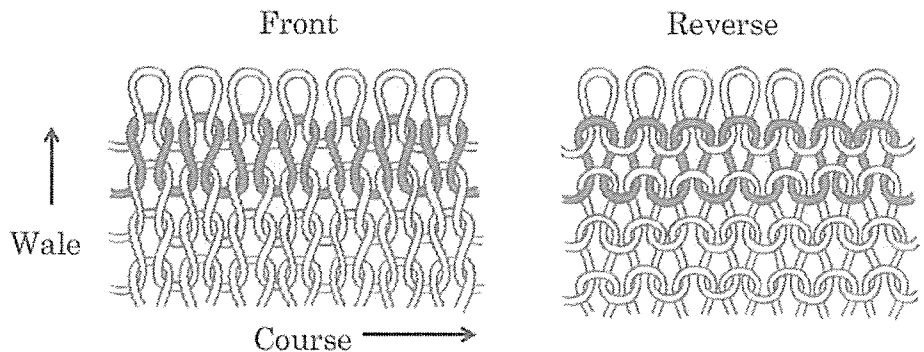


Fig.2 Structure of plain knit.

2. 2 着用試験

試験衣料を実際に着用し、一定の運動をした後に市販洗剤を用いて洗濯を行って乾燥し、再び着用・運動・洗濯を繰り返し、衣料の寸法変化を測定した。運動方法は総運動時間を90分とし、運動の前後はストレッチを10分ずつ行い、ウエイトトレーニングを中心とした無酸素運動を40分、ランニングを中心とした有酸素運動を30分行った。この試験衣料を1日静置した後、洗浄を行った。洗浄はTable 1に示す市販の粉末洗剤および液体洗剤を用い、洗浄液の濃度は市販洗剤の容器に表示してある濃度を参考に0.03%に設定した。洗浄は全自動洗濯機(ASW-ZR700、三洋電機製)を用

い、標準コース(洗濯とすすぎ2回)で行った。比較のために洗剤を用いないで、水道水だけで洗浄した場合を加えた。洗浄後、試験衣料を室内で乾燥した後に、JIS-L1909に準拠して、Fig.3に示す袖幅や袖口幅、左右の脇丈などの各部位の寸法を測定した。この着用、運動と洗浄を10回繰り返して行い、試験前の原寸法に対する試験後の寸法変化を下式により、寸法変化率として求めた。

$$\text{寸法変化率 (\%)} = \frac{\text{試験後の寸法} - \text{原寸法}}{\text{原寸法}} \times 100$$

Table 1 Profile of detergents

	Powder detergent	Liquid detergent
Active ingredient(%)	22%	60%
Surfactant	Sodium alkylbenzene sulfonate Polyoxyethylene alkyl ether	Sodium alkyl sulfate Polyoxyethylene alkyl ether
Builder	Sodium carbonate Sodium alminosilicate Sodium sulfate Dispersant Fluorescent agent Enzyme	Butyl carbitol Enzyme
Washing Dosage (g/30L)	20g	10g

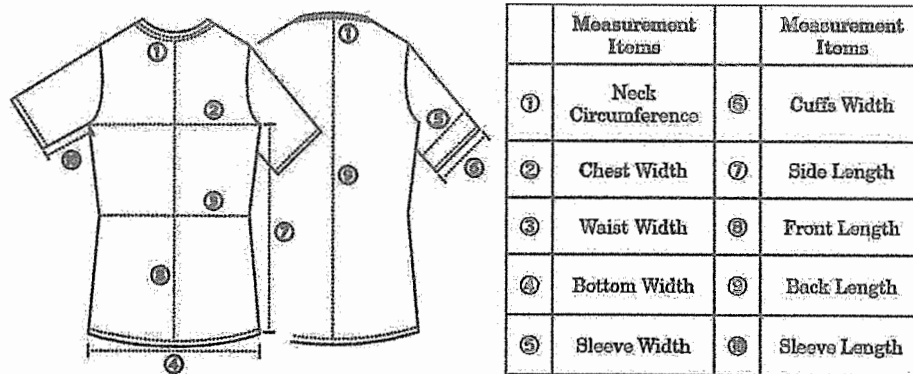


Fig.3 Measurement items of test clothing.

2. 3 油汚れの洗浄試験

試験衣料をウェール方向×コース方向に50mm×50mmの大きさで切り出し、これに油汚れ汚染液を布1枚に200μLを滴下して付着させて、油汚れ汚染布を作製した。油汚れ汚染液は食用のサラ

ダ油(ナタネ100%)1.5gと油溶性染料(Oil Red 5B)0.01gをヘキサン50mLに溶解して調製した。試験衣料の洗浄性を比較するため、同様に、JIS添付白布用の綿100%とポリエステル100%の布を用い、油汚れ汚染液を付着させて汚染布を作製し、

洗浄試験に用いた。

洗浄試験は、洗浄試験機に Terg-O-Tometer (MS-8212, 上島製作所製)を用い、回転数 120rpm で 10 分間の洗浄を行った。洗浄液は、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS-Na, 花王製)とポリオキシエチレンアルキルエーテル(EO8, エチレンオキッド付加モル数 8, 花王製)、および Table 1 に示した液体洗剤を、それぞれ 0.03%溶液として洗浄試験に用いた。洗浄力の評価は洗浄前後の試料布の表面反射率を分光式色彩計 (SE6000, 日本電色工業製)を用いて測定し、下記のクベルカムンク式によって洗浄力を算出して行った。

$$\text{洗浄力(\%)} = \frac{(K/S)_S - (K/S)_W}{(K/S)_S - (K/S)_O} \times 100$$

ここで、

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

である。R は反射率、(K/S)<sub>S</sub> は汚染布、(K/S)<sub>W</sub> は洗浄布、(K/S)<sub>O</sub> は白布のそれぞれの(K/S)値である。

#### 2. 4 引張り試験

試験衣料から、ウェール方向とコース方向のそれぞれに長辺を持つ 300 mm×50 mmと 50 mm×300 mm の大きさに試験布を切り出し、長辺方向の上から 50mm および 250mm に測定用の線を引いた。この試験布を洗浄試験と同じ条件で LAS-Na 溶液、EO8 溶液および液体洗剤溶液のそれぞれで洗浄を行った。乾燥後、20℃、65%の恒温恒湿室で 1 日保管した後、引張り試験に用いた。引張り試験は、JIS-L1096 の定荷重法(D 法)を参考にして、Fig.4 に示す装置に試験布の上端 50mm 目印線の部分を固定して吊るし、試験布の下端に 120g の錘を付けて伸長させた。1 分後に 250mm 目印線に第 1 マーカーを合わせた後、錘を外して伸びを戻し、1 分後に 250mm 目印線に第 2 マーカーを合わせ、両マーカー間の距離をノギス (DIGITAL CALIPER、シンワ測定製)を用いて測定し、試料布の伸長量 L<sub>1</sub> mm とした。原布を用いて行った時の伸長量 L<sub>0</sub> に対する試験布の伸長量の変化率 (%) を、下式より求めた。

$$\text{伸長量の変化率 (\%)} = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100$$

さらに、洗浄液の影響を大きくみるために、試料布を 3 種類の洗浄液に 1 時間または 24 時間浸漬した後、洗浄試験と同様に Terg-O-Tometer を用いて、120rpm、10 分間洗浄を行い、乾燥後に引張り試験を行い、伸長量の変化率を測定した。

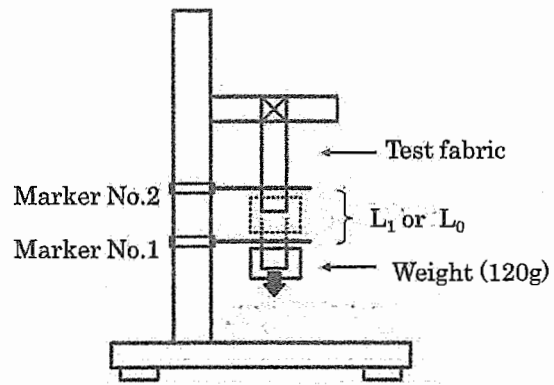


Fig.4 Measurement of stretch length.

### 3. 結果および考察

#### 3. 1 試験衣料の寸法変化

試験衣料を着用して運動を行い、洗濯を行って、再び着用することを繰り返したとき、試験衣料の各部位の寸法変化を測定した。着用・運動・洗濯を 5 回および 10 回繰り返した時の結果を、それぞれ Fig. 5 および Fig. 6 に示す。試験衣料は、着用・運動・洗濯を 5 回繰り返しただけでも寸法変化が現れ、その値はすべての測定部位において 10 回繰り返した方が大きい値となった。試験衣料は着用・運動・洗濯を繰り返すことで、全体に寸法変化が生じ、伸縮性をもつ生地は伸びていることがわかった。また Fig.6 において試験衣料の測定部位別に見ると、部位⑥、⑦、⑧、⑨、⑩は 1~2%程度の寸法変化であるのに対し、部位②、③、④、⑤では 3~4%程度の寸法変化があり、大きな値となっている。試験衣料は Fig.1 および Fig.2 のように、平編みニット構造をしており、その構造と関連づけてみると、部位⑦、⑧、⑨、⑩は、生地のウェール方向の寸法であり、部位①、②、③、④、⑤、⑥はコース方向の寸法であった。著者らは、先にウールニット地の構造と力学的特性を検討しており、平編みニット地ではウェール方向よりも、コース方向の方が大きく伸びる性質があり、その回復性はウェール方向の方がコース方向よりも大きい<sup>3)</sup>ことを把握している。今回の試験衣料は、ポリエステルとポリウレタンによる平編みニット地であり、平編みニットの特性により、ウェール方向よりもコース方向で寸法変化が大きく表れたものといえる。

ここで部位⑥はコース方向の中でも寸法変化率が小さな値であった。これは袖部分が生地の折り返しによって二重になっているために、寸法変化は小さかったと考える。一方、部位①はコース方向の中でも、最も伸びが大きく表れたが、これは衿回りであるため、試験衣料の着脱時における大きな伸び変形が加わり、それが影響したと考える。

次に洗濯時に用いた洗浄液の違いによる寸法変化を比較してみる。まず、洗剤を用いずに水だけで洗浄した場合には、寸法変化は比較的小さい。粉末洗剤で洗濯した場合には、コース方向の部位②、③、④、⑤は水だけの時よりも伸びやすい傾向がみられるが、ウェール方法の部位⑦、⑧、⑨、⑩は、逆に若干伸びにくくなる傾向であった。液体洗剤の場合は測定部位の全般で寸法変化が大きくなっており、コース方向でははっきりと粉末洗剤よりも液体洗剤の方が大きく寸法変化が発生していた。これらの結果から、スポーツウェアは着用・運動・洗濯の繰り返しによって寸法変化が発生し、その寸法変化量はニット構造の方向によっ

て異なる。また、その寸法変化は着用・運動による変形だけでなく、洗濯時に用いる洗剤成分、すなわち Table 1 に示すように界面活性剤やビルダーの違いが影響していることがわかった。

しかし、Fig.5 に示す 5 回洗浄の部位⑥の結果は、洗剤を用いて洗った場合よりも、水だけで洗った場合の方が大きく寸法変化が表れている。このことは、界面活性剤やビルダーの影響以外にも、寸法変化に影響する要因があることを示しており、それは、汗とともに分泌される皮脂汚れが伸縮性に影響し、特に部位⑥は折り返し構造のために、皮脂汚れが多く残留し、明確に表れたものと推察される。

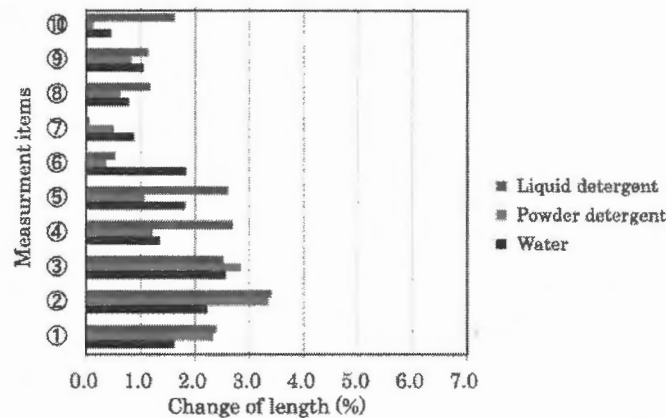


Fig.5 Change of length of sportswear after 5-cycle of wear, exercise and wash.

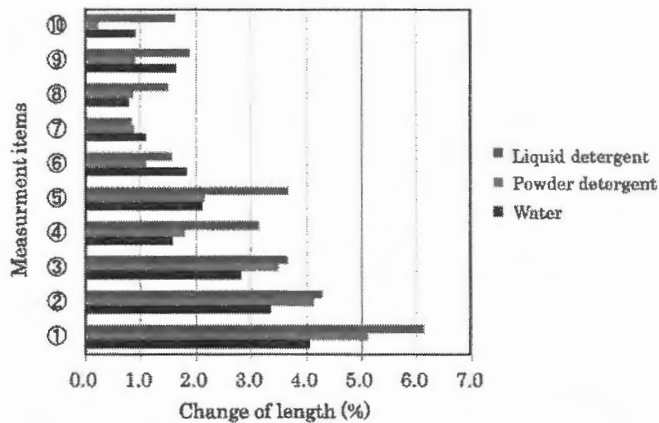


Fig.6 Change of length of sportswear after 10-cycle of wear, exercise and wash.

### 3. 2 油汚れの洗浄性

試験衣料の生地、JIS 綿布および JIS ポリエステル布に油汚れを付着して汚染布を作成し、これらの汚染布を直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS-Na)、ポリオキシエチレンアルキルエーテル(EOS)および市販濃縮液体洗剤の 3 種類の洗浄液を用いて洗浄した結果を、Fig. 7 に示す。油汚れの洗浄力は、JIS 綿布で最も高く、JIS ポリエステル布および試験衣料のスポーツウェアで

は洗浄力が著しく低い値であった。一般に油汚れは親水性繊維からは除去されやすく、親油性繊維からは除去されにくいことから、ポリエステル 84%とポリウレタン 16%で構成されている試験衣料は、JIS ポリエステル布と同様に油汚れの洗浄力が低かったといえる。そして、JIS ポリエステル布とスポーツウェア布を比較すると、スポーツウェアの方が洗浄力は低い値であった。洗浄後の試験布を Fig.1 の写真と同様に顕微鏡を用いて観察した結果、油汚れによる赤色が全面

に残っており、その中でポリウレタン繊維が赤色を強く示していた。

ポリウレタン繊維はポリエステルよりも柔軟な繊維で弾性を有する繊維である。これはポリウレタン繊維の高分子構造は結晶部分が少なく、高分子鎖が複雑に絡み合った非晶質の部分を多くもっており、引っ張るとその非晶質部分の高分子鎖が伸びることで変形し、力を取り除くと高分子鎖の複雑な絡み合いの影響で元に戻る性質がある<sup>1)</sup>。高分子鎖の非晶質部分は一般に染料などの分子が浸透しやすく、染まりやすい部分である。したがって、非晶質部分が多いポリウレタンは、油汚れの影響を受けやすく、工業材料においてポリウレタンには耐油性が必要とされている。

一方、ポリエステルも油性物質が内部に拡散浸透し、100℃以上の温度にすると高分子鎖の熱運動が激しくなり、拡散浸透が著しくなる<sup>4)</sup>ことが知られている。スポーツウェアの使用状況を考えると、温度は常温であり、ポリエステルは非晶質部分が少ないことから、ポリエステル上の油汚れの大部分は表面に付着していると考えられる。

したがって、スポーツウェア布は油汚れがポリウレタン繊維に浸透し、洗浄によって除去されにくいいため、ポリエステル100%のJIS布よりも油汚れの洗浄力が低くなったといえる。

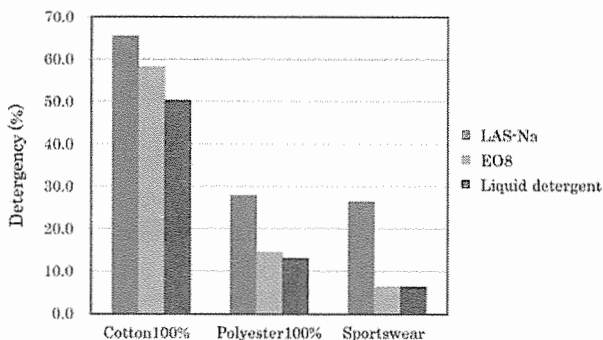


Fig.7 Detergency for oily soil on various fabrics.

また、Fig.7において洗浄液間による油汚れの洗浄力を比較してみると、一般に油汚れの洗浄力が高いといわれている非イオン界面活性剤は、同じく非イオン界面活性剤を主成分とする液体洗剤の洗浄力と同じであったが、それらよりもLAS-Na溶液のほうが高い洗浄力を示した。これは油汚れに極性油である脂肪酸を多く含むナタネ油を用いたことと、ポリエステル繊維は芳香族を有していることから、ナタネ油/ポリエステル界面においてLAS-Naはナタネ油とポリエステルとの親和性が高く、極性油の油汚れの除去に効果的であったと考える。

### 3. 3 引張り伸長量の変化

試験衣料の生地を3種類の洗浄液で洗浄した試験布に対して引張り実験を行った結果をFig.8に示す。いずれの洗浄液ともコース方向はウェール方向よりも伸長量の変化が大きくなった。これは先に述べたように平編みニットでは、ウェール方向の回復性が良いことを示す結果であるが、コース方向では洗浄液の違いによる伸長率の変化が異なっていた。陰イオン界面活性剤であるLAS-Naの場合、伸長量の変化率が17%であるが、非イオン界面活性剤のEO8および液体洗剤の場合には、伸長量の変化が10%前後である。この結果は明らかに洗剤成分の界面活性剤が繊維に影響を及ぼしていることを示している。しかし、スポーツウェアを着用・運動・洗濯を繰り返した着用試験の結果(Fig.5およびFig.6)では、非イオン界面活性剤を使用している液体洗剤の方が、陰イオン界面活性剤を使用している粉末洗剤よりも寸法変化が大きく、Fig.8の結果とは逆である。着用試験では繰り返し洗濯が行われていることから、界面活性剤と接する時間が長くなっている。

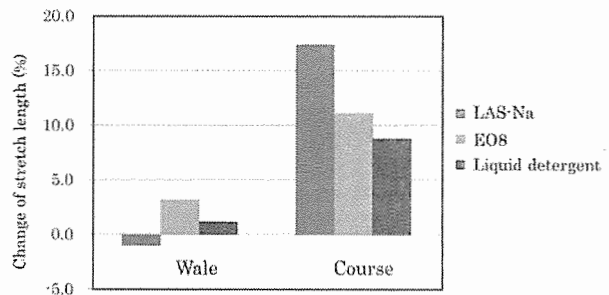


Fig.8 Change of stretch length of sportswear after washing.

そこで、洗剤成分の影響を多く与えるために、試験布を3種類の洗浄液に1時間または24時間の浸漬を行い、その後に洗浄し、伸長量の変化率を測定した。その結果を、Fig.9およびFig.10に示す。伸長量の変化は浸漬時間が10分間、1時間、24時間と長くなるにしたがって増加し、その増加度合いは、LAS-NaよりもEO8および液体洗剤で大きくなった。一方、Fig.10において、コース方向の伸長量の変化は、洗浄液間で挙動に違いが見られた。LAS-Naは10分間のときに伸長量の変化は大きいですが、浸漬時間が長くなると伸長量の変化は小さくなった。一方、EO8および液体洗剤では、洗浄液への浸漬時間が長くなるにしたがって伸長量の変化は増加し、LAS-Naの場合よりも大きくなった。この結果は着用試験と同様の結果となり、寸法変化や伸長量の変化はコース方向に含まれているポリウレタンに界面活性剤が影響し、それは陰イオン界面活性剤のLAS-Naと非イオン界面活性剤のEO8では異なることが明らかとなった。

白岩<sup>5)</sup>は、ポリエステル内部への油性物質の拡

散を検討しており、極性を持たない油性物質はほとんど拡散しないが、カルボキシル基やヒドロキシル基などの極性を有する油性物質は内部に拡散し、ポリエステルを可塑化すると報告している。界面活性剤は極性基を持つ油性物質であるため、本実験の場合、ポリウレタン内部に界面活性剤が拡散浸透し、可塑化したと言える。そして、陰イオン界面活性剤 LAS-Na と非イオン界面活性剤 EO8 では可塑化の傾向が異なるのは、界面活性剤の分子量の小さい LAS-Na は浸透拡散しやすいために、短時間で可塑化するが、立体構造に自由度が少ないために浸透量が多くなると可塑化が小さくなったと考える。一方、EO8 は分子量が大きいために浸透拡散には時間を要するが、立体構造に自由度があるため、浸透量が多くなるにしたがって、可塑化が増したと推察する。

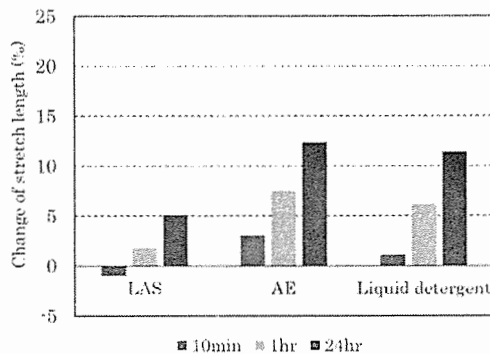


Fig.9 Influence of soaking in washing solution on change of stretch length in wale direction of sportswear.

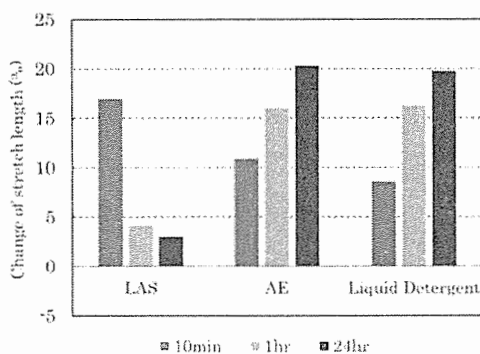


Fig.10 Influence of soaking in washing solution on change of stretch length in course direction of sportswear.

#### 4. 結論

市販されている上半身用のスポーツウェアを試験衣料として用い、油汚れに対する洗浄性と伸長量の変化を検討した結果、以下の点が明らかとなった。(1)スポーツウェアは着用・運動・洗濯を繰り返すことで、寸法変化を起こし、その寸法変化は、洗濯に用いる洗剤の成分の影響を受け、陰イオン界面活性剤を主成分とする粉末洗剤よりも、

非イオン界面活性剤を主成分とする液体洗剤の方が、寸法変化が大きい。(2)スポーツウェアに付着した油汚れに対する洗浄性は、JIS ポリエステル布よりも低く、これはポリウレタンが油汚れを浸透しやすく、除去されにくいためである。(3)洗浄後の試験布の伸長量の変化は、ポリウレタンが含まれるコース方向がウェール方向よりも大きく増加するが、その変化量は洗剤成分の影響を受け、陰イオン界面活性剤の LAS-Na では伸長量の変化は小さく、非イオン界面活性剤の EO8 では伸びやすくなった。

本研究において、市販されている上半身用のスポーツウェアの伸縮性に重要な役割を持つポリウレタンは、洗濯時に用いる洗剤に含まれる界面活性剤がポリウレタン内部に浸透拡散し、可塑化を起こして伸縮性が低下することを関連づけることができた。また、着用時に皮脂汚れが付着し、これが洗浄でも落ち切れずに残留することが明らかとなった。皮脂汚れには脂肪酸が 7.9~39%含まれており、ポリウレタンの劣化要因になりうると思われる。今後、汚れ成分の影響についての検討が課題となった。

なお、本研究は文部科学省科学研究費助成基金助成金（平成 26~28 年度）により実施した。

#### 参考文献

- 1) 清嶋展弘、織消費, 44(10), 571 (2003)
- 2) 三ツ井紀子, 奥山春彦, 織消費, 35(12), 56 (1994)
- 3) 崔 源政, 李 有鎮, 米山雄二, 材料技術, 32(1), 1 (2014)
- 4) 横山修三, 島内四郎, 織消費, 23(9), 449 (1967)
- 5) 白岩治己, 織消費, 36(5), 41 (1995)
- 6) 酒井豊子, 牛腸ヒロミ, "衣生活の科学", p.144, 放送大学教育振興会 (2004)