

スポーツウェアの伸縮性に及ぼす
界面活性剤の影響に関する研究

Study on the effect of surfactant
on elasticity of sportswear

2017年 1月

文化学園大学大学院

生活環境学研究科

鄭 好 根

Jung Ho kyun

Study on the effect of surfactant on elasticity of sportswear

Abstract

Currently, available sportswear is more resistant to strong movements and various other adverse conditions than general clothing. Hence, their manufacture requires better materials, pattern, sewing, body movement, etc. than general clothing. The functions of sportswear change with the type of material used, even for similar patterns or designs. Thus, it is also important to take into account their functions. Generally, synthetic fibers such as polyester and polyurethane are used in sportswear.

The hydrophobicity of such synthetic fibers is different from that of natural fibers; oil can easily get attached between fibers and is difficult to remove by washing. Thus, oil particles remain on the fibers and reduce the warmth they provide and their breathability, and absorbency. Oil also increases hygroscopicity and bacterial contamination and therefore reduces the material's functionality and causes health and hygiene issues.

This study investigated the change in the elasticity of functional sportswear according to the detergent used for washing, applied stress, and temperature experienced by the fibers during exercise as well as the oil ingredients attached to the functional fibers of polyurethane. It also investigated changes in the stretch length of polyurethane fabrics according to stress, oil ingredients, and the type of surfactants in the detergent.

The results are as follows:

(1) The change in sportswear size increased with the number of times the sportswear is worn, exercised in, and washed. In particular, this size increase was greater in the course direction than in the wale direction. The flexibility of sportswear is reduced by wearing, exercise, and washing.

(2) The Detergency of oily soil using surfactant and commercial detergent is lower for sportswear than for JIS fabric. As the same elasticity function, oil ingredients can be cleaned well from a 100% polyester sportswear similar to a JIS fabric. It is suggested that it is difficult to wash oily soil from sportswear made of polyester and polyurethane because of the hydrophobic fibers, with polyurethane being more hydrophobic than polyester. A JIS fabric and a 100% polyester sportswear are different in factors such as

knitting, thickness, and gap between yarn, but these are not connected to the detergency of oily soil from sportswear. For this reason, polyurethane fibers greatly influence on the detergency of oily soil.

(3) The large change in the stretch length of sportswear is mainly due to surfactants present in commercial detergents, among other causes such as the environmental temperature and type of detergent. The change in stretch length increased with increasing contact time of the nonionic surfactant with EO8. Anionic surfactant LAS-Na caused an increase in the wale direction similar to EO8 but caused a decrease in the course direction.

(4) The change in the stretch length of polyurethane yarns because of stress, oil soiling, and the type of surfactant is similar to the change in the stretch length of functional sportswear. The change caused by the type of surfactant was larger than the change due to stress and oil stain. In addition, with prolonged time of contact with the surfactant, change in the elasticity increased, which was the same trend as that observed for sportswear using surfactants. Hence, the surfactant in detergents changes the elasticity of polyurethane-based commercial functional sportswear.

(5) From the observed change in the stretch length of polyurethane yarn depending on the type of surfactant, the anionic surfactant LAS-Na was different from the nonionic surfactant, and the change in the stretch length decreased as the contacting time with LAS-Na became longer. Therefore, the change in the amount of elongation was examined using three kinds of the same anionic surfactant. As a result, two kinds of the anionic surfactant differed from the elongation change caused by LAS-Na, as the immersion time became longer with the nonionic surfactant EO8 and the commercially available concentrated liquid detergent. This means that even with the same anionic surfactant, LAS-Na has a benzenering having a low degree of freedom, so that unlike other anionic surfactants, expansion and contraction is difficult.

(6) Depending on the length of the structure of the surfactant with respect to polyurethane, the change in the stretch length became smaller as the length of the hydrophilic group of the surfactant increased. Furthermore, when the hydrophobic group of the surfactant changed in length, with the C12 chain showing the largest change in the elongation amount, the change in the elongation becomes small as the number of carbons increases, becoming constant when the chain length is C16 or more. In addition, the

change in the elongation amount of the surfactant with respect to polyurethane was about three times that of the hydrophobic group of the surfactant, and the change in the stretch length was large. From this, it was determined that the hydrophobic group of the surfactant has a greater influence on the elasticity of the polyurethane than the hydrophilic group in the polyurethane.

The flexibility to exercise in commercial functional sportswear is because of the properties of polyurethane, but this polyurethane is not suitable for easy removal of oily soil. In addition, with washing, the change in the stretch length becomes bigger because of the surfactant. Because of this effect, the flexibility of sportswear is affected by wearing and repeated washing; in other words, the types and structures of the surfactant have a significant effect on the flexibility of sportswear.

要 旨

近年、市販されているスポーツウェアは激しい人体の動きに追従し、過酷な条件下で使用されるため、一般の衣服に比べて素材はもちろんパターン、デザインおよび縫製にも人体の動きに対応した工夫が求められている。同じパターンやデザインであっても、使用する素材の種類によって機能が変わる。このようにスポーツウェアを制作するための様々な工夫の中で機能性素材が他の要素より注目される。このスポーツウェアの素材には、ポリエステルとポリウレタンのような合成繊維が使用されているが、これらの合成繊維は疎水性であることから油汚れが付着しやすく、また洗浄によって除去されにくく、繊維の間に油汚れが多く残留してしまう性質がある。これらの汚れは、繊維に残留すると保温性や通気性、吸水性の低下が起き、吸湿性の増加や細菌の発生と繁殖などで機能性の低下と共に衛生的にも悪くなる問題点がある。

本研究では、ポリウレタンが入っている機能性スポーツウェアの繊維に付着する油汚れと運動する時に繊維に加えられるストレスおよび環境温度、洗浄する時に使用する洗剤の種類がどのように機能性スポーツウェアの伸縮性の変化に及ぼすのかを検討した。また、スポーツウェアの伸縮性に影響が大きいポリウレタン糸を用いてストレスや油汚れ、洗剤に含まれている界面活性剤の種類などによってポリウレタン糸の伸長量の変化を検討した。その結果、以下の点が明らかとなった。

(1) スポーツウェアの着用・運動・洗浄の繰り返しの回数が増えるほど、寸法変化が大きくなった。特に、スポーツウェアの構造の特性に従ってウェール方向よりもコース方向で寸法変化が大きく起きた。このように、日常生活や運動する時に着用されているスポーツウェアは、着用・運動・洗浄を繰り返すことによってスポーツウェアの伸縮性の劣化が起きていることがわかった。

(2) 市販洗濯洗剤や界面活性剤を用いたスポーツウェアの油汚れの洗浄力については、JIS 布に比べ、スポーツウェアの方が非常に低い値を示した。しかし、同じ機能性を持つポリエステル 100%のスポーツウェアは油汚れの洗浄力が高い値を示した。このことは、スポーツウェアに使用されている素材はポリエステルとポリウレタンであり、これらの素材は、疎水性繊維であることから油汚れは洗浄では除去されにくいと考えられたが、ポリエステル 100%のスポーツウェアの結果からは、スポーツウェアの洗浄性については、使用されているポリウレタンの影響がポリエステルよりも大きいことがわかった。

また、今回使用した JIS 生地やポリエステル 100%のスポーツウェアは、繊維の編み方や糸の太さ、繊維の隙間など、ポリウレタンが入っているスポーツウェアの構成要素と異なっ

たが、これらの原因は、スポーツウェアの油汚れの洗浄性にはあまり関与しなかった。

(3) スポーツウェアの伸長量変化に影響する因子である環境温度、伸縮ストレス、油汚れ付着、市販洗剤の種類による変化が起きたが、その要因中、市販洗剤に含まれている界面活性剤による伸長量変化が最も大きかった。また、スポーツウェアと界面活性剤との接する時間による伸長量の変化は、優れた伸縮性を得るためにポリウレタンを含んでコース方向がウェール方向よりも大きく変化した。しかし、使用する界面活性剤によって伸長量変化が異なり、非イオン界面活性剤の EO8 は、界面活性剤と接する時間が長くなるほど徐々に増加していたが、陰イオン界面活性剤の LAS-Na では、ウェール方向は EO8 と同じく増加したが、ポリウレタンが入っているコース方向は徐々に低下した。

(4) スポーツウェアに使用されているポリウレタン糸を使用して、伸縮ストレスと油汚れ付着や、界面活性剤の種類による伸縮性変化は、伸縮ストレスと油汚れ付着による伸縮性の変化よりも界面活性剤の種類による伸縮性の変化が大きくなった。この結果は、スポーツウェアの伸長量変化と同様であった。また、界面活性剤と接する時間が長くなると伸縮性の変化は大きくなり、界面活性剤によるスポーツウェアの実験と同様の結果であった。このことから、市販の機能性スポーツウェアは、洗浄時において界面活性剤がポリウレタンに大きく影響し、その伸縮性を変化させることがわかった。

(5) 界面活性剤の種類によるポリウレタン糸の伸長量変化から、陰イオン界面活性剤の LAS-Na は非イオン界面活性剤と異なり、接する時間が長くなることによって伸長量変化が小さくなった。そこで、3 種類の陰イオン界面活性剤を用いて伸長量変化を調べた。その結果、他の陰イオン界面活性剤は LAS-Na の伸長量変化と異なり、非イオン界面活性剤の EO8 や市販の濃縮液体洗剤の伸長量変化と同様に、浸漬時間が長くなると伸長量変化が大きくなった。このことは、同じ陰イオン界面活性剤でも LAS-Na の場合は立体構造の自由度が低いベンゼン環を持つことで他の陰イオン界面活性剤と異なり、伸縮の動きを硬くさせると考える。

(6) ポリウレタンに対して界面活性剤の構造の長さによる伸長量変化について、非イオン界面活性剤の親水基（ポリオキシエチレン鎖）の長さによる伸長量の変化を見たところ、親水基の長さが長くなることによって伸長量変化が小さくなった。また、界面活性剤の疎水基（アルキル鎖）の長さによる伸長量の変化は、疎水基の炭素数 12 個が最も伸長量変化が大きく、炭素数が多くなることによって伸長量変化が小さくなり、C16 以上では一定になった。さらに、ポリウレタンに対する界面活性剤の伸長量変化は、界面活性剤の親水基よりも疎水基の方が約 3 倍、伸長量の変化が大きくなった。このことから、ポリウレタンの伸縮性は、界面活性剤の疎水基の影響を大きく受けることがわかった。

本研究から、市販の機能性スポーツウェアにおいて運動機能性を維持するための伸縮性は、ポリウレタンの性質によって発現するが、そのポリウレタンは、油汚れの洗浄性が悪く、また、洗浄時に界面活性剤の影響を受けて伸長量が大きく変化した。これらの影響でスポーツウェアの伸縮性は着用でも影響を受けるが、それよりも洗濯を繰り返すことで、洗剤に含まれている界面活性剤の種類や界面活性剤の構造がスポーツウェアの伸縮性に大きく影響を与えることが明らかになった。

目次

第1章 序論	
1.1. 研究背景および目的	1
参考・引用文献	4
第2章 基本原理	
2.1. スポーツウェア	5
2.1.1. スポーツウェアの実用性	
2.1.2. スポーツウェアの機能性	
2.1.3. スポーツウェアのファッション性	
2.2. 洗浄の基本原則	15
2.2.1. 汚れの種類	
2.2.2. 汚れの付着メカニズム	
2.2.3. 洗浄メカニズム	
参考・引用文献	31
第3章 スポーツウェアの着用実験	
3.1. 目的	32
3.2. 実験方法	33
3.3. 結果および考察	37
3.4. 結論	45
参考・引用文献	46
第4章 スポーツウェアの洗浄性	
4.1. 目的	47
4.2. 実験方法	48
4.3. 結果および考察	51
4.4. 結論	59
参考・引用文献	60
第5章 スポーツウェアの強度変化	
5.1. 目的	61
5.2. 実験方法	62

5.3. 結果および考察	66
5.4. 結論	75
参考・引用文献	76

第6章 ポリウレタン糸の伸縮変化

6.1. 目的	77
6.2. 実験方法	78
6.3. 結果および考察	81
6.4. 結論	91
参考・引用文献	92

第7章 ポリウレタンの伸縮性に及ぼす界面活性剤の構造の影響

7.1. 目的	93
7.2. 実験方法	94
7.3. 結果および考察	97
7.4. 結論	102
参考・引用文献	103

第8章 結論

8.1. 結論	104
---------	-----

謝辞

第 1 章

序論

1. 序論

1.1 研究の背景および目的

スポーツウェアは欧米における女性の社会進出と関係しており、女性らしい美しさ、健康、そして体力に対する新しい価値観の創出とそれに伴う生活様式の変化に応じて、スポーツウェアが開発され、登場している。その代表的な例としては、20世紀初めにココ・シャネルによる水着やビーチパジャマやゆったりしたパジャマなどのスポーツウェアであり、これらに使用したジャージーの素材は、当時に女性の体を締め付けたコルセットから解放させ、快適さと動きやすさを与えた。また、当時に着用されたオートクチュールなスタイルの衣類より、洗濯や管理がしやすくなった¹⁾²⁾。

スポーツウェアは、古くは天然繊維を用いたジャージーやゴムを使ったスモッキングの技術などで伸縮性を発現していた。第2次世界大戦の前後にナイロンやポリエステルやポリウレタンなどの合成繊維が発明されることで、より軽くて丈夫で大きな伸縮性を持つ生地が開発された。この素材は女性の衣類だけではなく男女の普段着や激しい動きに対する衣類などにも応用され、第2次世界大戦後のカラーテレビの普及による国際競技やオリンピックなどを見る機会の増加により、スポーツウェアには機能性と同時にファッション性も求められるようになってきた。

日本の国内では、1964年の東京オリンピックを機会に、テレビでのスポーツ中継が増加したことにより、スポーツをするだけでなく、観戦したりするなどスポーツの楽しみ方が多様化してきた。スポーツへの興味や関心が高まるとともに、最近では健康志向の高まりも加わり、スポーツと関わる機会が増加している。

国民がどれだけ運動・スポーツを実施しているかをデータでみると、SSF 笹川スポーツ財団(2006)³⁾の調査によると、「週1回以上の運動・スポーツ」の実施者の割合は1992年に23.7%であったが、2000年には51.4%となり、それ以降は50%前後で安定している。その中で「週2回以上、1回30分以上、運動強度がややきつい以上」である「アクティブ・スポーツ人口」は1992年に6.5%であるのに対して、2006年には15.9%へと増加している。また、日本では、成人の約30%は1年間に1回以上、スタジアムや体育館などの競技場で直接スポーツを観戦しており、2007年には、延べ100万人以上がプロ野球の試合を見るためにスタジアムへ足を運び、延べ800万人近くがJリーグを観戦している。衛星放送、有料チャンネル放送の普及の影響もあり、テレビでのスポーツ中継が増え、成人の約94%がテレビによるスポーツ観戦を行っている⁴⁾と推計されている。このようにスポーツを実施したり観戦したりするなどスポーツへの関心が高まると、それらを支える産業も必然的に発展している。

スポーツ産業の発展により、頭の上から足元に至るまで数多くの種類が存在し、素材の組み合わせによって種々のスポーツ用途に合わせたスポーツウェアが出ている。例えば、運動時の体の動きをサポートする場合は伸縮性のある素材を基本とし、汗を吸収するのは吸汗性のある素材、その汗を乾かすための速乾性のある素材、更に汗のニオイを抑制するために雑菌の繁殖を防ぐ為の抗菌防臭効果のある素材、ウィンタースポーツでは温める為の保温性の

ある素材、冷たい風を通さない為の防風性のある素材、そして最近ではスポーツ科学に基づいて身体に圧力をかけて筋力をサポートするコンプレッションタイプのウェアなどが販売されている。矢野経済研究所⁵⁾による日本国内のスポーツアパレル市場規模を Fig. 1.1 に示した。スポーツアパレル市場は、2006 年から成長を続けている。その中で 2008 年は機能性を有するスポーツアンダーウェアへの関心が高まりマーケットを賑わせた。機能性スポーツアンダーウェアとは、主に体温調整型と筋肉サポート型があり、2016 年に話題を呼んだのは筋肉サポート型のコンプレッションタイプのスポーツウェアである。同商品を展開している各社は、総じてトレーニングウェア市場における売上高を伸ばしているが、伸長率でみると機能性スポーツアンダーウェアはそれを上回る結果であった。

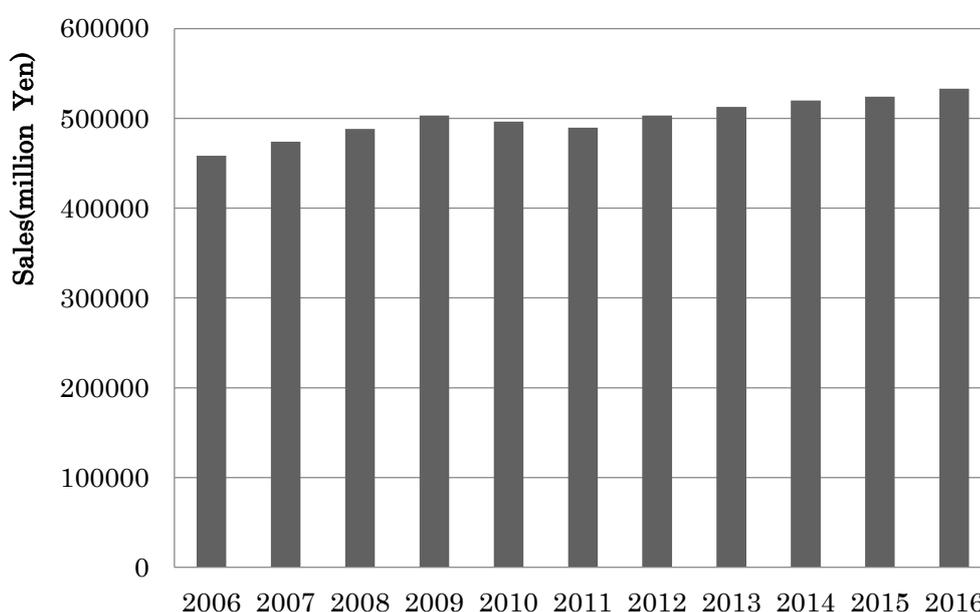


Fig. 1.1 Sports apparel Domestic market trends

機能性スポーツウェアは、主に繊維としてポリエステルとポリウレタンの混紡が使用されている。ポリエステルは激しい人体の動きに対応する繊維の強度を、ポリウレタンは身体の動きに追随して伸縮し、身体にフィットさせる役目を持っている。こうした合成繊維は油と親しい性質（親油性）であることから油汚れが付着しやすく、また洗浄によって除去されにくい性質を持っている。すなわち、繊維の間に油汚れが多く残留してしまう性質がある。繊維の間に残留した油汚れは、雑菌の繁殖による臭いの発生や黒ずみになる原因となっている。しかし、衣類の洗浄についてポリエステルに関する先行文献や資料は多い一方、ポリウレタンに関する研究は殆ど見当たらない。

本論文では、機能性スポーツウェアで最も大事な機能である伸縮性について、油汚れの付着、伸縮ストレス、洗濯などの要因が機能性スポーツウェアの伸縮性変化に及ぼす影響を把

握するとともに、その原因を伸縮性に重要な役割を持つポリウレタン繊維に対するこれら要因解析から解明することを目的とした。

参考・引用文献

- 1) Beverley Birks, Women and Sportswear, 島根県立石美術館 (2006)
- 2) Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sportswear_\(fashion\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sportswear_(fashion))
- 3) SSF 笹川スポーツ財団, スポーツライフ・データ (2006)
- 4) 社会経済生産性本部, レジャー白書 (2007)
- 5) 矢野経済研究所, スポーツアパレル市場に関する調査 (2008~2016)
- 6) 山田 都一, 衣服繊維・材料学, p.10~22, コロナ社 (1977)
- 7) 成瀬 信子, 基礎被服材料学, p.37~43, 文化出版局 (2009)
- 8) 福原 基忠, 衣料用ポリエステル繊維技術の系統化調査, p.125~135 (2007)
- 9) 藤田 正樹, スポーツウェア用繊維素材について, 繊維と工学, Vol. 52, No.4, p.171~176 (1996)

第 2 章

基本原理

2. スポーツウェア

2.1. スポーツウェアの特性

スポーツウェアは、古代から現在まで世界のスポーツであるオリンピックと共に成長して行く。古代の裸から、近代の形式を整えた競技服までは競技力よりファッションや時代のルールを合わせて作ったが、第2次世界大戦からナイロンやポリエステルなどの合成繊維の開発で伸縮性を持っている新しい新素材の開発に従い、ファッションや競技力に役に立つ新しい機能性スポーツウェアが誕生した。さらに、近年では激しい人体の動きに追従して様々な過酷な条件下で使用されるため、素材はもちろんパターン、デザイン、縫製などにも一般の衣服に比べ、機能性は、最も求められている傾向である。同様なパターンやデザインをしても使用する機能性素材の種類によって機能性が変わる。このようにスポーツウェアを制作するための様々な工夫の中で機能性素材が他の要素より注目される。

スポーツウェアの素材としては様々な合成繊維が使用されており、合成繊維の編み方や種類によって機能性が変わる。スポーツウェアの要素を分類すると Fig. 2.1 のようになる。スポーツウェアの機械的物性には、機能性素材の強度、抗ピル性およびスナッキング性などが含まれる。

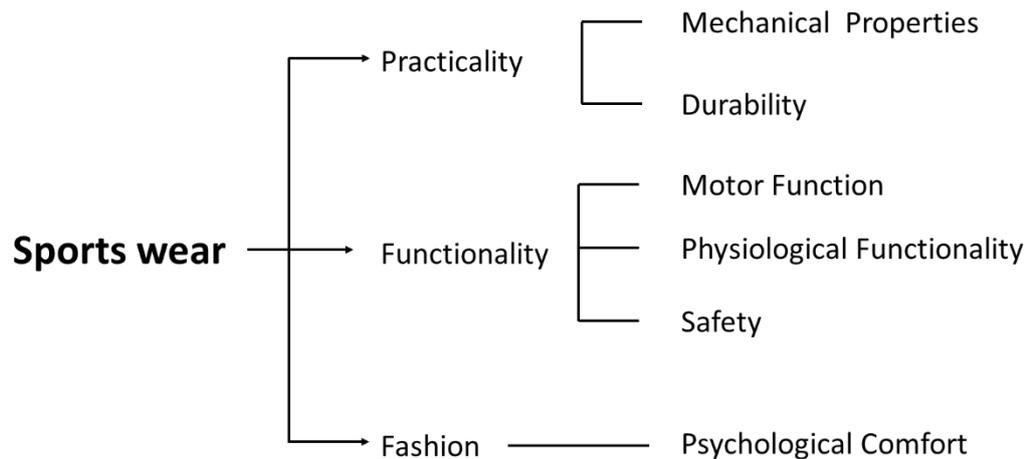


Fig. 2.1 Classification of sportswear

2.1.1. スポーツウェアの実用性

(1)編み物(knitted fabric)

スポーツウェアは他分野の衣服よりもアクティブな動きによる過酷な環境下で着用されるため、汗など分泌物、日光などの外的要因が大きく加わり、それらに耐えうる繊維強度が求められる。こうした要求に応えるため、スポーツウェアには編み構造を持つニット製品が用いられている。

編み物は、糸から作られるループ状の編目が連続されてできているため、織物と比較すると糸の屈曲が大きいことから、糸に自由度があり、弾性が大きいことが特徴である。また、

重さは軽く、吸水性や通気性、保温性などが優れている。編み物は柔軟でかつ弾性があるため、身体の動きに追従して容易に変形して動きやすくなる。このため、スポーツのような激しい動きに対しては、伸縮性が優れている編み物構造が用いられている。

編み物には、編み方によって2種類(たて編み、よこ編み)に分けられる。

1)よこ編(Weft knitted fabric)の基本組織

よこ編みは手編みの編成をそのまま機械化したもので、ループをたて方向に連続させてよこ方向に布地を形成していく編み方である。よこ編みの基本組織は、平編み、ゴム編みおよびパール編みの3種類が代表的である。(Fig. 2.2)

平編み(Plain stitch)は、メリヤス編、天竺編、ジャージーとも呼ばれ、1列の針で編目をすべて同方向に引き出して編まれたよこ編の基本組織である。最も単純な配列組織の基礎となり、一番多く用いられる組織である。この編地の特長は、ウェール方向よりもコース方向に伸びやすく、薄くて軽いことである。

ゴム編み(Rib Stitch)は、リブ編、畦編、リブ・ニット、クチ編とも呼ばれ、2列針で表目と裏目のウェールを交互に配列し、ダブル編機で編成される。ダブルニットは一番簡単な構造である。編地の特徴は、ウェール方向に形成されるあばら骨状の隆起にあるが、編地としては裏も表もなく、裏と表が同じ様な外観を示す。弾力性が富み、よこ方向の引っ張りに対して大きな伸縮性を示す。

パール編み(Pearl Stitch)は、両頭編、手編みではガータ編(garter stitch)とも呼ばれる。下針で表目裏目のコースを交互に配列した組織である。平編の裏目と表目がよこ方向に入れ替わりながら表れる。実際には、両面共に裏目の部分がよく表れるのでよこ方向に隆起が付いて見える。多くの場合、平編を混用して柄を出している。編地の特徴は、横筋にあるが、生地は表も裏もなく、表裏共に同様の外観を示す。弾力性にとみ、縦方向の伸縮性が大きく、横方向の伸縮性は比較的少ない。

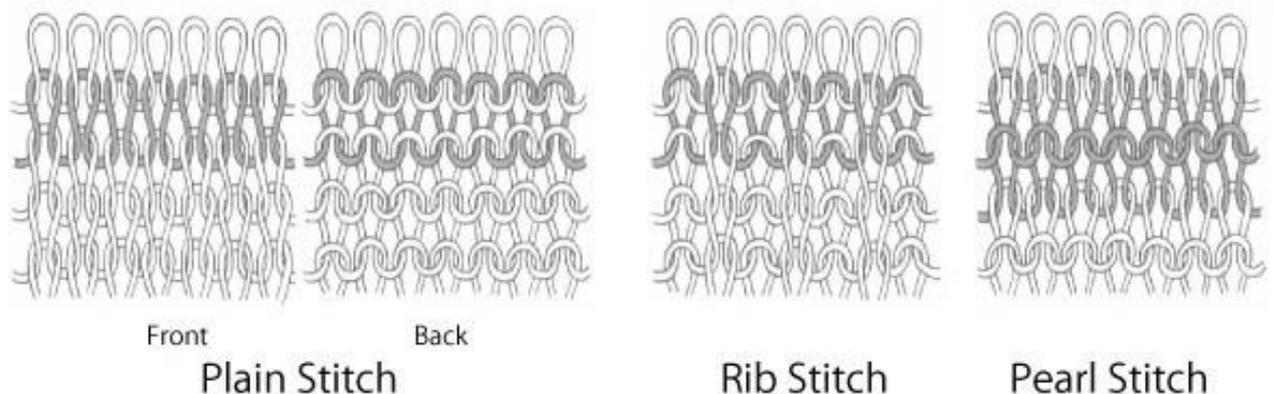


Fig. 2.2 Organization of weft knitting ⁴⁾

2) たて編(Warp knitted fabric)の基本組織

織物の原理を応用したもので多数の糸を機械にかけ、隣のループとかがり合わせながら、たて方向に布地を形成していく編み方である。たて編みの目は、Fig. 2.3のように開き目と閉じ目があり、前者はループの一部が開いた形をしており、後者は閉じた形をしている。開き目の方が伸びやすい性質を持つ。たて編の基本組織は、デンビー編み、バンダイク編みおよびコード編みの3種類がある。(Fig. 2.4)

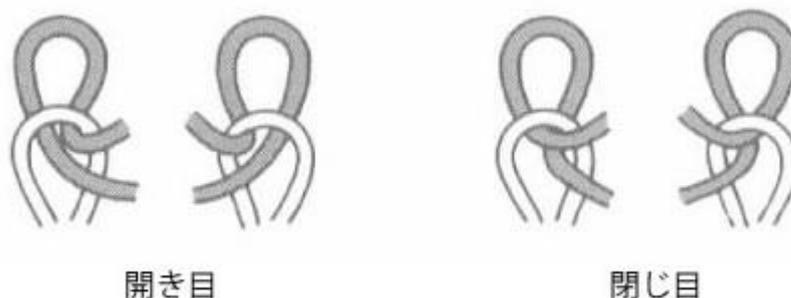


Fig. 2.3 Loop of warp knitting ⁴⁾

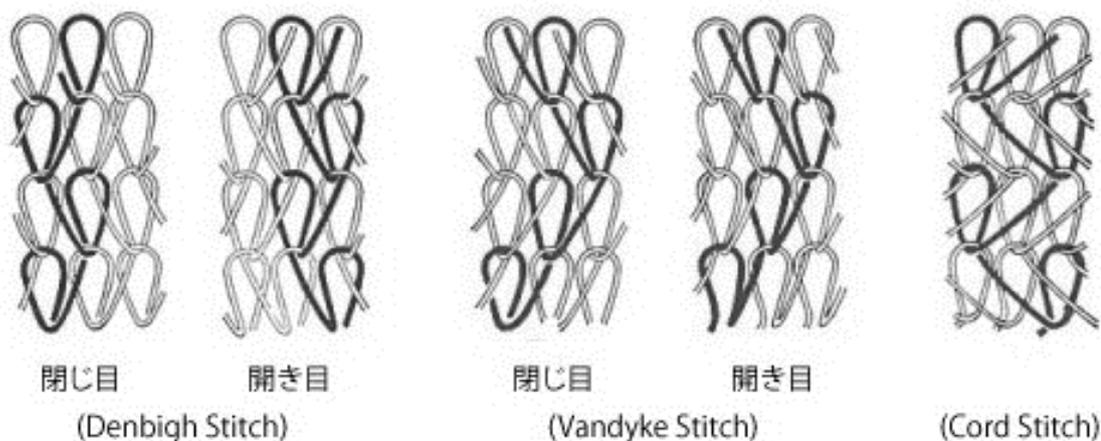


Fig. 2.4 Organization of warp knitting ⁶⁾

デンビー編み(Denbigh Stitch)は、最も基礎的な組織であり、トリコット編みとも呼ばれる。1列のたて糸を隣接する針の上で交互にラッピングさせて作られ、たて編の原型組織である。この組織は、一枚箆による一重編み地は、たて編みの中で最も簡単なもので、1×1トリコットとも呼ばれる。開き目と閉じ目でループ編成の方法は変わらない。編み地の特徴は、疵口から解舒しやすい欠点を持っているので実用性が低い。

バンダイク編み(Vandyke Stitch)は、1列のたて糸を隣接する編目の方向に2段以上送り、次に同じ回数逆行し、千鳥状に作られるたて編み組織である。1列の針に対して1列のたて糸をラッピングさせるため、トリコット編みの1種と考えられる。たて編みの3原組織の1

つであり、その応用としてアトラス編み、ダブル・バンダイク編みなどがある。この組織は、往復コース数によって8コース・アトラス、24コース・アトラスなどと称し、また2針間ずつ移行されるものは、これを1×2アトラスと呼ばれている。編み地の特徴は、色糸を配色するとのこぎり歯状の模様が表れて外観が整いやすいが、疵口からほどけやすい欠点があるため、実用性が少ない。

コード編み(Cord Stitch)は、1列のたて糸を2つ以上の編針をこえてラッピングさせて得られるたて編組織である。この組織はシングル・デンビー編みを応用したもので、1列のたて糸の左右交互ラッピングを2針間以上にわたって編成している。開き目と閉じ目での編成方法は変わらないが、一般には閉じ目が多い。編み地の特徴は、うね状の外観を示すことであるが、実用性は少ない。

このように編み物は、編み方や糸の配置などに見た目や特徴が異なる。たて編みは、織物の原理を応用したもので、コース方向よりウェール方向に伸縮性がある。一方、よこ編みは、コース方向の伸縮性を持っている。

(2)筋肉の動き

身体を動かすと骨格筋は Fig. 2.5 のように、筋肉は動きに対して伸長の速度が異なる速筋と遅筋がある。いずれの筋肉も伸張をするときには、たて方向よりよこ方向に大きく動く。このため、スポーツウェアではたて方向(ウェール方向)よりも、よこ方向(コース方向)に伸張することが求められるため、よこ編みが適している。その中でも厚みが薄く、一番軽いという特徴を持っている平編み(Plain stitch)がよく使われている。

したがって、本研究で論じるスポーツウェアは、たて編みよりよこ編みを中心に論じる。

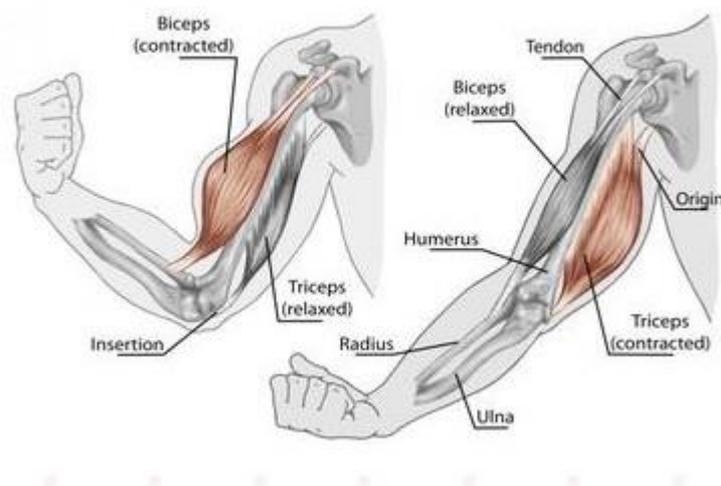


Fig. 2.5 Movement of Arms muscle

(3)スポーツウェアの繊維

市販されているスポーツウェアの素材には、ポリエステルとポリウレタンの2種類の合成繊維が用いられている。ポリエステルは、合成繊維の中でも最も多く使用されており、紳士服・婦人服をはじめ、インナー素材としても多く使われる代表的な合成繊維である。ポリウレタンは、ゴムのように伸びる繊維であり、ポリエステルと一緒に編み込むことで、伸び縮みする布地となり、人体にフィットする着用感が実現できる。激しい動きを伴うスポーツウェアでは、この伸縮性が大きな役割を果たし、身体にフィットして動きに追従することが可能となる。こうした伸縮素材において大きな役目を果たすのがポリウレタン繊維である。

スポーツウェアには、この2種類の繊維の他に、体温を保温する目的でアクリル繊維を含ませたものや、吸湿性と通気性を持たせるためにレーヨンを含ませたものがある。しかし、アクリルやレーヨンは強度が弱いため、スポーツウェアの素材として広く使用されていない。

スポーツウェアで最も多く使用されているポリエステルとポリウレタンのそれぞれの特徴を以下に示す。

1) ポリエステル(Polyester)

合成繊維は、1938年にナイロン6.6が発明されてから多くの繊維が開発された。ポリエステルは、ナイロンを発明したアメリカのカローザス博士によって見いだされたが、その時点では、融点や軟化点が低く、水に対する性質も悪いなど、多くの弱点があつて実用に至らなかった。その後、イギリスのウインプールドとディクソンによって研究が続けられ、1941年にこれらの弱点を改良したポリエステルが開発され、工業化された。日本におけるポリエステルは、1958年に登場し、現在、国内の合成繊維生産量の約半分を占めるに至り、ポリエステルは世界的にも大変多く生産されている合成繊維である。

ポリエステルの構造は、多価カルボン酸とポリアルコールを脱水縮合させたものである。その中でも、衣料用繊維で使用されているものはテレフタル酸とエチレングリコールから製造されるポリエチレンテレフタレート(PET)であり、最も多く生産されている。Fig. 2.6に示すように、エチレングリコールとテレフタル酸の脱水縮合により作られ、エステル結合が連なっているポリエステル構造となる。

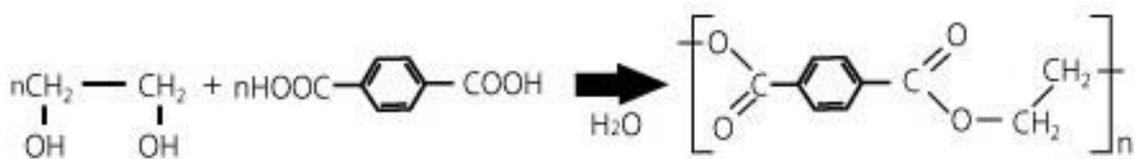


Fig. 2.6 Production method with polyethylene terephthalate

ポリエステルの特徴は、一般的な合成繊維の中で耐熱性、強度に優れ、また染色性が可能であることである。この他、弾性力があり、吸湿性や比熱、熱伝導率などが小さいことから、着心地とシワの回復力がよく、繊維が水などに濡れても乾きやすく、現在、生産される衣料用繊維の半数近くを占めている。

また、熔融糸法紡績する際に糸の形状に変化を与えたり、抗菌素材を練りこんだりすることができるため、繊維の風合いや機能性などを損ねることがなく、種々の特性を持った合成繊維とすることが可能であることが長所である。一方、静電気を帯びやすく、繊維の強度が高く又繊維長が長いために毛玉になりやすく取れにくい弱点を持っている。

2) ポリウレタン(Polyurethane)

ポリウレタンは、1937年にドイツを代表する企業バイエル社によって実用化された。第2次世界大戦中も積極的に工業面から政府を支援し、ポリウレタンの工業製品としての本格的な使用は、ドイツ軍の軍靴の靴底だと言われている。その後、アメリカのデュポン社で、1959年にポリウレタンが製品化された。日本では、1963年からアメリカとの技術提携によってポリウレタンの本格的な生産が開始され、現在に至っている。

ポリウレタンは、ウレタン結合を有する重合体の総称で、イソシアネート基と水酸基を有する化合物の縮合により生成される。ウレタン(-NHCOO-)が介する結合をウレタン結合と言う。Fig. 2.7に示すようにグリコールを主とするポリオールと、2官能のイソシアネートであるジイソシアネートを反応させて合成する。カルボキシ基、アミノ基などの官能基も併用することができる、非常に多様な性質の製品を作ることができる。

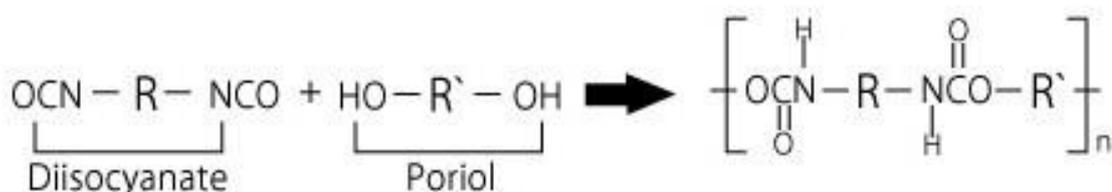


Fig. 2.7 Structure of polyurethane

イソシアネート(isocyanate)は、ポリウレタンの様々な形体(発泡体、フィルム、弾性体、粉末、溶液、エマルジョンなど)を作るためには、欠かせない原料である。非常に反応性に富んでいるため、この反応は加熱しなくても進行し、一度反応すると非常に安定な構造をとるという大きな特徴がある。ジイソシアネートは2種類、すなわち、芳香族タイプと脂肪族タイプがある。Table 2.1に示すように、それぞれのタイプごとに特徴を持っているが、実際にスポーツをする時に必要な要素である耐オレイン酸性とコストにメリットがある芳香族タイプ(TDI または MDI)がよく使われている。

Table 2.1 Characteristics of isocyanate ⁹⁾

	イソシアネート	
	芳香族タイプ	脂肪族タイプ
耐熱性	○	×
耐光色性	×(黄変)	◎(無黄変)
耐寒性	○	×
耐オレイン酸性	○	××
接着性	○	×
コスト	○	××

◎:非常に良い ○:良い △:ふつう ×:悪い ××:非常に悪い

また、ポリウレタン樹脂の弾性を示す役目のポリオールは、Table 2.2 に示すようにポリエーテルタイプやポリエステルタイプおよびポリカーポネートタイプがあり、活性水素基を有するものである。その中でもポリエーテルタイプがスポーツウェアとしてよく使われている。

Table 2.2 Characteristics of polyol ⁹⁾

	ポリオール		
	エステルタイプ	エーテルタイプ	ポリカタイプ
耐加水分解性	×	◎	◎
耐熱・耐光性	○	×	○
耐カビ性	×	◎	◎
耐油性	○	△	○
耐寒性	○	◎	△
耐薬品性	△	△	○
コスト	○	△	×

◎:非常に良い ○:良い △:ふつう ×:悪い ××:非常に悪い

ポリウレタンの特徴は、他の繊維に比べて比重が小さく(1.0~1.3)、天然ゴムより 450~800%の伸度を持っていることである。Fig. 2.8 に示すように、ポリウレタンの内部にはハードセグメント(Hard segment)とソフトセグメント(Soft segment)の2つの部分があり、これがポリウレタンの伸縮に関与している。ハードセグメントは、ポリウレタンのジイソシアネート部分であり、多くの水素結合により分子の動きが抑えられている硬い部分である。ソフトセグメントは、ポリウレタンのポリオール部分であり、糸のように絡んでおり、ゴムのようにストレッチ可能な柔らかい部分である。ポリウレタンに張力を加えると、ソフトセグメントの

絡みが伸ばされて一直線に伸び、張力が無くなると元に戻ろうとする。この構造を持つため、ポリウレタンは、伸縮性を発揮するのである。また、耐摩擦性、耐薬品を持っているが、他の合成繊維と比較すると低いという弱点を持っている。

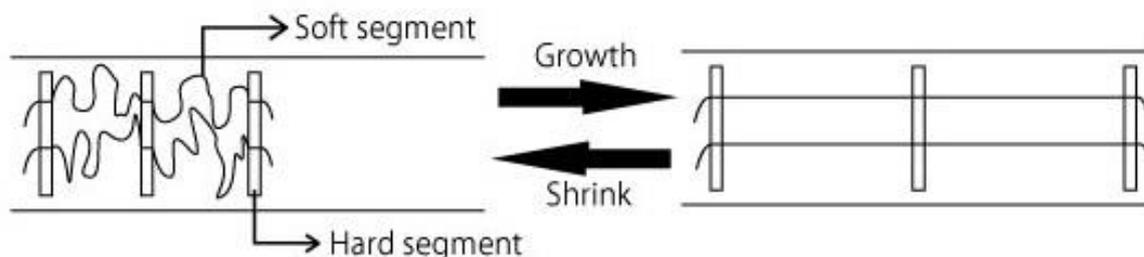


Fig. 2.8 Elasticity of polyurethane

(4) 耐久性

スポーツウェアにおいて耐久性は基本的な要素といえる。全般にスポーツウェアは、他分野の衣服に比べて過酷な条件下で着用されるため、それに応じた素材強度が必要であり、合成繊維を主体に設計されることが多い。前の 2.1.1 で論じたようにスポーツウェアは、繊維編み方や繊維の構造や特徴によって素材の機能性を変えることができるため、スポーツウェアは、スポーツの種目に合わせて選択できるようになっている。しかし、人間がスポーツウェアを着用してスポーツを行えば、汗や皮脂、泥などが付着し、洗濯が必要になる。Fig. 2.9 にメーカーが示しているスポーツウェアの耐久性を示す記述を紹介する。洗濯する時には、化学力(洗剤)、機械力(回転力)が加わるため、それによって繊維の伸縮や機能性の低下が起きないようにスポーツウェアの耐久性が必要である。

BERGTECH EX

100回洗濯後も撥水性が持続。透湿性約16,000g/m²/24h^{※1}で、湿気を発散しムレを抑える。また、傘の約60倍^{※2}の水圧に耐え、激しい動きのなかでも雨をガード。
(耐水圧約30,000mm以上)
ベルグテック®EXは、ミズノだけの特別な素材です。

BERGTECH ※1 JIS-L1099B-1法 ※2 一般的な傘と比較

透湿度10,000g/m²/24h^{※1}以上の高性能フィルム。高い透湿性と防水性を兼ね備えたオールウェザーファブリックです。耐水圧10,000mm以上、また、表面は撥水加工を施し、20回洗濯後でも十分な撥水性が持続。

Fig. 2.9 Durability of sportswear ¹²⁾

2.1.2. スポーツウェアの機能性

(1)運動機能性

スポーツウェアの機能には、ストレッチ性や外部からの影響を減らせる低抵抗性などが含まれるが、実際には人間が運動や競技などの運動をしている時にこれらの動きが妨げられなく、より積極的に運動をサポートして運動効果が出せる機能である。Fig. 2.10 のように水泳服では、素材の編み方を変えることで、最も速さを増すことができる。



Fig. 2.10 Fabric of low resistance ¹²⁾

(2)生理的機能性

スポーツウェアに求められる生理的機能性は、吸放湿性や吸汗速乾性や通気性、保温性などが含まれる。体を激しく動かすスポーツで体温を一定に保とうとするために汗を出している。汗は、運動で熱くなった筋肉を皮膚の表面で冷却して、体温調節をする役割がある。この発汗によって気温が高い日やマラソンなどの長時間スポーツを続けることが可能となっている。しかし、スポーツの時に分泌される汗を放っておくと皮膚にベタベタとまとわりつき、不快感が増すと共にそれが原因でイヤなニオイを放ってしまう。これらの影響がスポーツ能力を損ねてしまい、競技の成績が悪くなると考えられている。スポーツメーカーの各社は、汗の調整が可能な素材を開発し、Fig. 2.11 のように、新しいスポーツウェアを生産している。

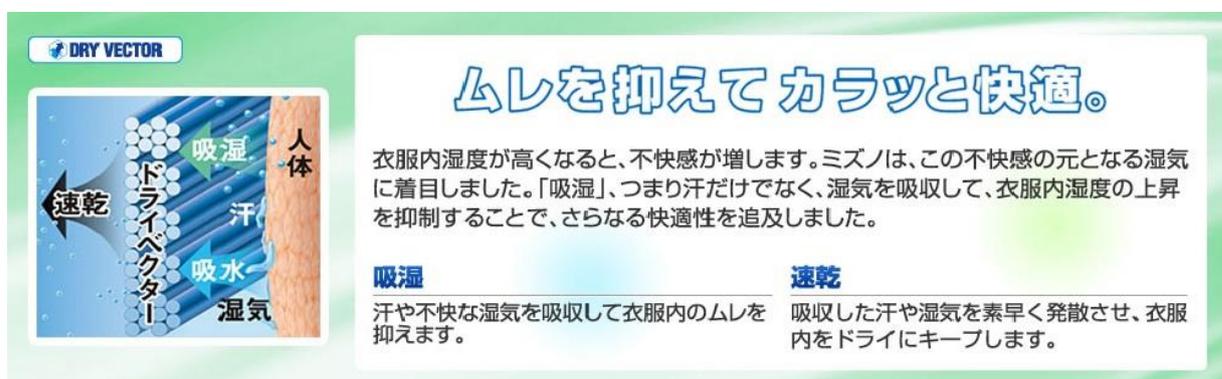


Fig. 2.11 Physiological functionality of sportswear ¹²⁾

(3)安全性

スポーツウェアの安全性には、素材自身の安全性と外部環境から身体を守ることの2つがある。素材の安全性については、繊維を加工する時に使われている加工薬剤などによる皮膚障害などから体が守ることである。一方、外部からの要因には耐熱性や衝撃吸収などが含まれ、Fig. 2.12のように太陽の光や皮膚と素材の間の摩擦からの安全性を示すものがある。

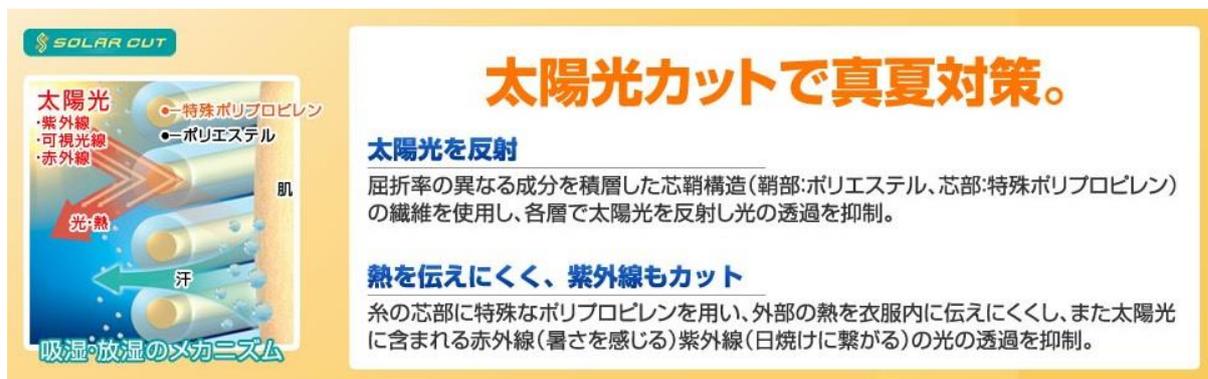


Fig. 2.12 Safety of sportswear ¹²⁾

2-1-3. スポーツウェアのファッション性

(1)心理的快適性

心理的快適性には、色や柄や光沢、素材感などが含まれる。今日のスポーツウェアは運動する時だけではなく、日常生活でも着用されている。すなわち、スポーツウェアにはファッション性が求められており、自分が身に着けているものが他人と違い、自分の個性を表している。自分が好きな色や光沢、素材の風合いを選ぶことで人の心理を安定化させるような心理的快適性があり、例えば、Fig. 2.13 に示すようなものが個人に合わせて生産されている。



Fig. 2.13 Fashion of sportswear ¹³⁾

2.2. 洗浄の基本原理

固体表面上にある(衣類)汚れは、衣類の美観を損なうものばかりではなく、吸湿性を増し、保温性、通気性などの機能性を低下させて着心地を悪くするものである。また、微生物、放射性物質、農薬などの汚れは、人体への安全性にも影響がある。これらの汚れは、付着させたままにすると、匂い、染色の変退色、カビの発生などが起こり、繊維の劣化の原因になる。

洗浄は、固体表面(衣類)の汚れを取り除き、衣類をメンテナンスする上で重要な作業である。洗浄に用いられるのが洗剤であり、汚れを落とすのに大きな役割をするのが界面活性剤である。ここでは、衣類に付着される汚れと、洗剤の成分について論じる。

2.2.1. 汚れの種類

日常生活で着用した衣服に付着する汚れには、様々な種類がある。汚れの原因で大別すると Fig. 2.14 に示すように人体からの分泌物により、衣服の内側から汚れるものと、衣服の外の環境から汚れるものの2つに分けることができる。また、汚れの形態、性質で分類すると、水溶性汚れ、油性汚れ、固体粒子、および微生物・カビなどの特殊汚れの4つに分けることができる。

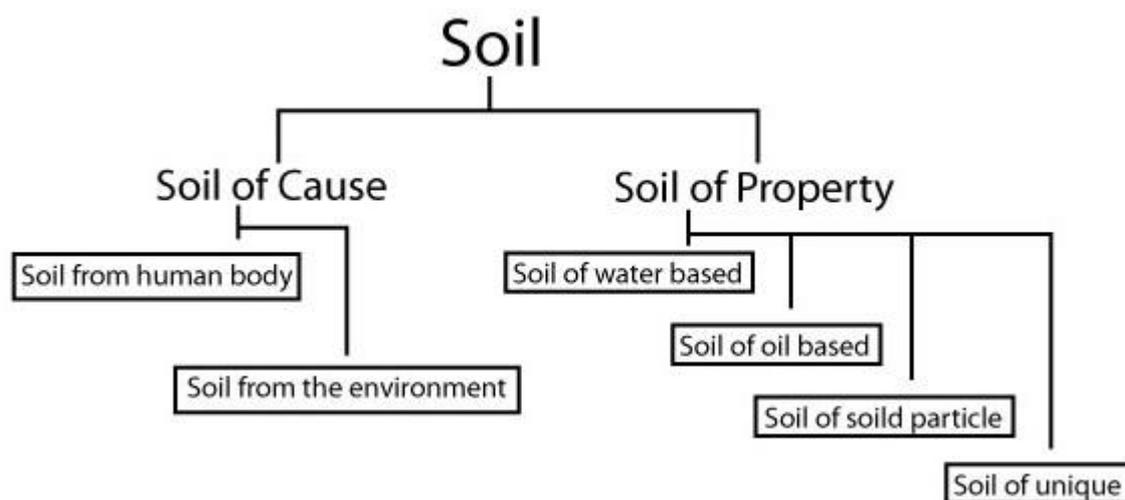


Fig. 2.14 Classification of soil

(1) 汚れの原因による分類

1) 人体からの汚れ

日常生活で人体から出る汚れには、一般に汗、皮脂、血液、皮膚表面の老化した表皮角質片、排泄物などがある。これらの汚れは個々に付着するのではなく、混合物となって衣類に付着している。衣服に付着する汚れの分量は、年齢、性別、健康状態、生活環境などの他、個人差や人体部位、着用日数、季節、繊維の種類、糸の太さ、布の組織などによって異なる。Table 2.3 に示すように汚れの付着量が比較的多い頸部の汚染布を実際に分析すると、遊離脂肪酸、トリグリセリト、モノグリセリト、コレステロールおよびエステル、スクアレン、

ワックスなどの皮脂由来の有機汚れが 70~80%を占める。この他、タンパク質、分解アミノ酸が 10~15%、環境からの汚れであるカーボンや泥などの粒子が 15%である。このように人体から出る汚れは、殆ど汗と皮脂の分泌による脂肪酸である。以下では、汗、皮脂について論じる。

Table 2.3 Amount of soiling by human body part ¹⁵⁾

	タンパク質 (mg/g 繊維)	脂質量 (mg/g 繊維)	タンパク質 ／脂質量
頸部汚染布	9.2	48.3	1/5.25
背部汚染布	7.1	30.5	1/4.29
腕部汚染布	6.0	25.9	1/4.31
踵部汚染布	17.9	28.6	1/1.60

①汗(Sweat)

汗は体温調節の手段であり、汗を分泌することを発汗という。発汗は、人体の中で感熱ニューロンの位置する視床下部の視索前野および前部にある中枢によって制御されている。視床下部の温度調整機能は、皮膚の温度受容体からのインプットによっても影響される。皮膚が高温になると発汗のための視床下部の設定値が下がり、中核温度の変化に反応して視床下部のフィードバック機構の利得が増大する。しかしながら、全体としては、視床下部温度の上昇による発汗は平均皮膚温度の上昇による発汗よりも遥かに多いものとなっている。発汗の過程では中核温度を下げるが、汗の蒸発の過程では表面温度を下げている。神経により汗腺が刺激され、発汗が行われる状況には、物理的な熱による温熱性発汗と感情的なストレスによる精神性発汗の 2 種類である。物理的な熱による発汗は全身に起きるが、感情による発汗は、手の平、足の裏、腋、および額に限られる。

皮膚に汗を分泌する腺である汗腺(Sweat gland、Sudoriferous または、Sudoriparous glands という)には、エクリン腺とアポクリン腺があり、Fig. 2.15 に示すように汗腺は、細管で根元ではコイル状に巻いている。エクリン腺は、全身の肌に存在している汗腺であり、特に頭や顔、背中などに多く分布し、全身に 200~500 万個という膨大な数があるが、これらすべてが汗を分泌しているわけではない。汗を分泌するエクリン汗腺は、能動汗腺といい、汗を分泌しない汗腺は不能汗腺と言われる。人間の汗は、殆どはこのエクリン腺から出るものである。エクリン汗は酸性であり、98~99%が水分である。水分以外の成分は、塩化ナトリウム、アンモニアなどの無機成分と尿素、乳酸、アミノ酸、脂質、糖、タンパク質などの有機成分を含んでいる。一方、毛穴から排出されるアポクリン汗腺は、脇の下や耳、乳輪や陰部に存在する汗腺である。ここから分泌されるアポクリン汗はアルカリ性であり、70~80%が水分である。これは、エクリン汗より濃度が濃い。水分の以外には、アミノ酸、タンパク

質、油脂などの複雑な成分を含み、ワキガなどの嫌な臭いの原因になる。人間が1日の日常生活で約2.5L(尿：約1,500ml、呼吸や皮膚から失われる水分：約900ml、便：約100ml)の水分を体内から失う。もちろん、環境や体型、性別などによって個人差はある。

スポーツの時には、筋肉が収縮して筋肉を動かすため、日常生活より多くの血液が筋肉に流れ、筋肉の温度とその上にある皮膚の温度が上昇する。また、皮膚に栄養を送っている動脈は、筋肉に分布し、筋肉を通過して皮膚に到達する。そのゆえ、運動によって筋肉が血液を必要にすると皮膚に届く血液も増えることになって皮膚温度が上昇する。これを発汗によって温度を下げようとして発汗量が増えていく。(Fig. 2.16) 運動中の発汗量は、1時間に約2Lである。この発汗量も、日常生活で出る発汗量と同様に環境、競技の種類、および性別などによって異なる。

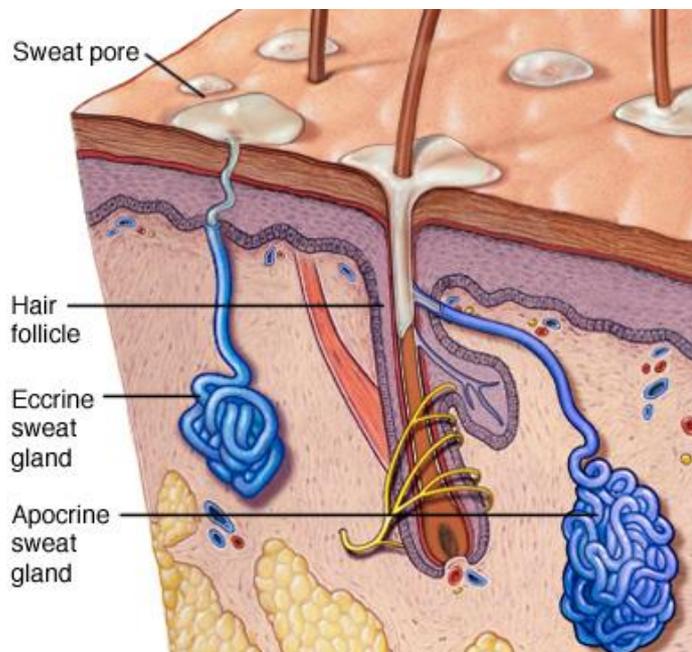


Fig. 2.15 Sweat gland and sebaceous line ¹⁷⁾

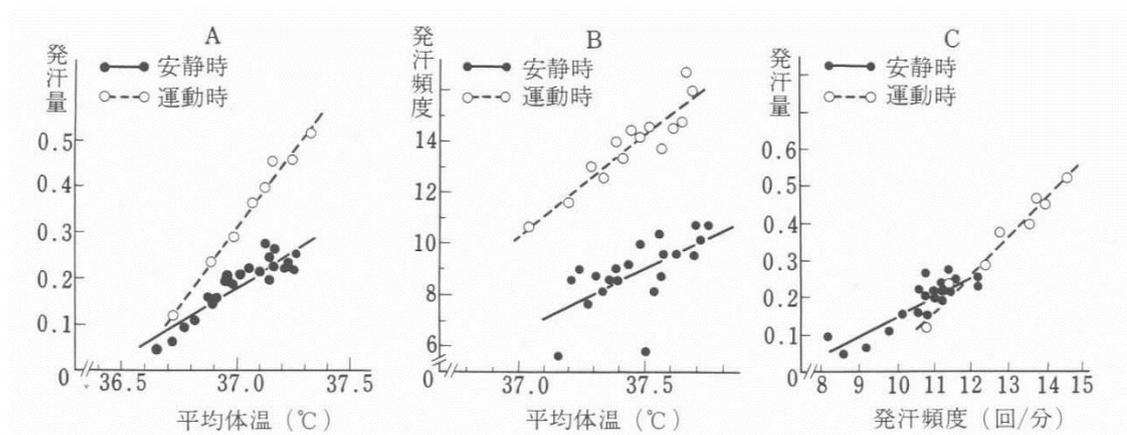


Fig. 2.16 Amount of perspiration during exercise and rest ¹⁸⁾

②皮脂(Sebum)

皮脂は、毛根部に開口する皮脂腺(Sebaceous gland)から分泌され、不感蒸散を調節し、角質層に湿度、柔軟性を与え、外部からの有害物質や細菌の侵入を防ぐ働きをしている。皮脂腺は、手掌、足底を除いたほぼ全身の皮膚に存在するが、顔面や頭部に多く、四肢には少ないなど、その大きさ、形態、分布密度は部分により異なる。皮脂の構成については、Table 2.4 に示す。

Table 2.4 Ingredients of human sebum ¹⁹⁾

Lipid	Mean(wt%)	Range(wt%)
Triglyceride	41.0	19.5~49.4
Diglycerine	2.2	2.3~4.3
Fatty acid	16.4	7.9~39.0
Squalene	12.0	10.1~13.9
Wax ester	25.0	22.6~29.5
Cholesterol	1.4	1.2~2.3
Cholesterol ester	2.1	1.5~2.6

人体から、1日に分泌される皮脂は約1~2gであり、その分泌量は、Fig. 2.17に示すように年齢、性別によって異なってくる。このことから、皮脂腺の活動にはホルモンが大きく影響し、人間の性ホルモンの中で、特に男性ホルモンが皮脂腺を肥大させ、脂質の合成を増加させている。

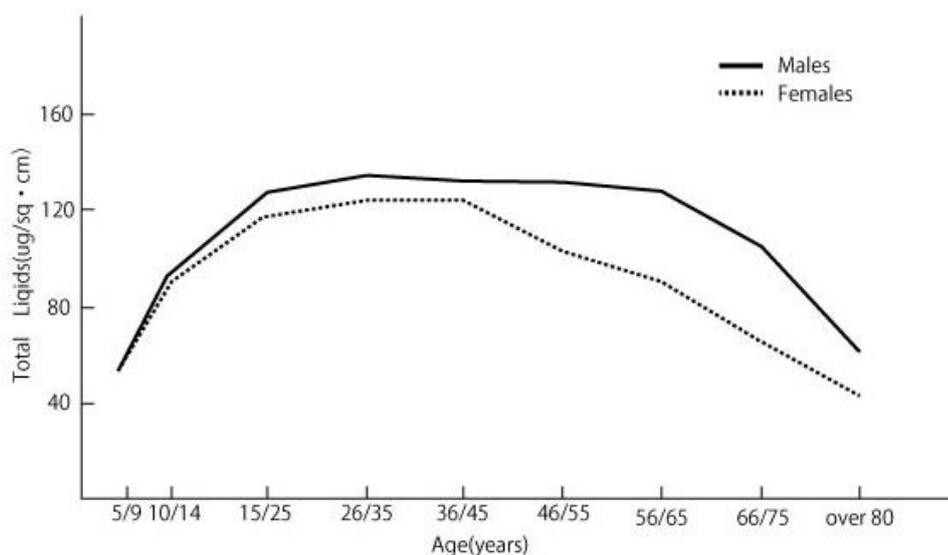


Fig. 2.17 Changes in sebum amount depending on the age of males and females ²⁰⁾

汗と同様に、皮脂の分泌量も男性ホルモンの増加によって増えていく。これは、運動すると男性ホルモンが増加することで皮脂腺が活発になり、中性脂肪であるトリグリセリドの分泌が多くなって。このため、運動時には日常生活よりも最も多くの皮脂が人体から分泌される。

2)生活環境からの汚れ

生活環境からの汚れには、日常の生活ではあまり気が付くことがない空気中に浮いている無数のちりやほこりである。これらは、粘土質が乾燥して舞い上がった小さな粒子、灰煙、排気ガス、浮遊粒子物質(SPM、サルフェート)などがある。逆によく目にするのは、油性や水性のインク、墨汁、塗料、化粧品、自動車のチェーンのシミなど生活するうえで接触する機会が多くあり、衣類や手につけば汚れになってしまう。また、カバンの色がシャツに移染してしまった例や食品からの汚れがある。食品には、食物や飲料、調味料があり、その成分は、油性、たんぱく質、でんぷん質、および色素などを混合したものである。

(2) 汚れの形態による分類

汚れは存在することが好ましくなく、除去することが求められる物質である。その汚れを洗浄で除去するためには、汚れの性質や形態から分類することから始まる。分類には、汚れの形態によるものと、汚れの性質によるものがある。汚れの形態は Table 2.5 に示すように大きくは層状の汚れと粒子状の汚れに分けられ、層状の汚れには有機と無機に区別される。

Table 2.5 Classification by form of soil ²¹⁾

層状の汚れ		粒子状の汚れ
有機性の汚れ	無機性の汚れ	粒子汚れ
油脂、樹脂、 てんぷんなど	金属の錆、スケール 金属(原子)など	砂、粘土、石灰 リン石灰など

(3)汚れの性質による分類

汚れの性質としては、Table 2.6 に示すように水溶性か水不溶性かの区別があるが、後者の水不溶性汚は、油性汚れ、固体汚れ、および特殊汚れに分類される。

①水溶性汚れ

汚れの中で、水に溶解する汚れを水溶性汚れと呼ぶ。その中でも、水に接触すると簡単に溶解する汚れもあれば、水に薬剤を加えることによって溶解することができる汚れもある。

日常生活によく見られる食塩、砂糖などは水と接触させると簡単に溶解する易溶性汚れである。また、人体から分泌された汗の場合(水分、塩化ナトリウム、尿素など)には、その汗が

乾いていない状況では水洗いで容易に除去することができ、易溶性汚れに分類される。易溶性汚れを除去するには、洗剤を用いなくても大量の水で洗い流せば容易に除去できる。

しかし、血液や牛乳、皮膚の老廃物などが熱、湿度、紫外線などで変性したものや油の有機溶剤では、水の洗浄では除去し難い汚れになる。これらの難溶性汚れは、水に接触させただけでは除去が難しいが、酵素や弱アルカリ、弱い酸化剤などの薬剤を用いると除去できる。

②油性汚れ

油性の性質をもった有機溶剤には溶解するが、水には溶解しない性質の汚れが油溶性汚れである。有機溶剤には、しみ抜きに用いるベンジン、エタノール、クロロホルム、ジエチルエーテル、石油ベンジン、石油エーテル、ベンゼン、トルエン、キシレンなどがある。また、油性汚れの中でも極性の有無によって性質を分けることができる。極性が高いものは界面活性剤水溶液で比較的容易に除去できるが、極性のないものは水系の洗浄システムでは除去が難しく、有機溶剤を用いたドライクリーニングやしみ抜きなどで、除去が可能になる。極性の高い油性汚れの代表は脂肪酸である。牛脂、豚脂、オリーブオイル、サラダ油、てんぷら油等は油脂や中性脂肪などの物質と人間の皮脂の中で一番多く分泌されるトリグリセリドで中程度の極性を有した物質である。無極性の油汚れとは、機械油に用いられる鉱油などの炭化水素汚れが代表的である。無極性油の中で、特に粘度の高い汚れは、一般の界面活性剤水溶液ではなかなか対応しがたい汚れとなる。

③固体粒子汚れ

水にも溶解せず、油性の有機溶剤等にも溶解しない汚れを固体汚れである。特に粒子状の汚れで体表的なものは固体粒子汚れである。固体汚れは、親水性の固体汚れと親油性の固体汚れに分類できる。水中に混ぜようとした際に、容易に水と混ざり合うのが親水性固体汚れであり、水には混ざり合いにくい油性の性質を有した固体汚れが親油性固体汚れとなる。親水性固体汚れの代表格は泥である。親水性なので水洗いでも機械力をうまく利用すれば除去が可能であるが、界面活性剤の作用で除去性は高まる。疎水性固体汚れの代表はススやカーボンブラックである。ススやカーボンブラックは疎水性なので水とは非常に混ざり合いにくく、水系洗浄のためには、界面活性剤の利用が欠かせない。固体汚れの特徴は、機械力がなければ基本的に除去ができないという点であり、界面活性剤の成分は、その機械力の作用を効率的に生かすという程度の意味しかない。

④特殊汚れ

特殊汚れは、汚れが付着後、熱や光や温度、湿度、空気、微生物などにより、変化やほこりなどが混じりあって落ちにくくなった汚れであり、特別な汚れ落としが必要である。特殊汚れには、科学的に変化を起こした石鹼カス、変性油汚れの他に、微生物、農薬、放射性物質なども汚れとして含まれてくる。一般に衣類を1~3日間着用すると、付着する汚染菌は、

16種類が分離、同定されている。これらの汚染菌は、繊維を劣化する衣類のカビから、病原性が強い薬剤耐性の強い菌まで拡大されている。

Table 2.6 Classification by property of soil ²¹⁾

	水溶性汚れ	油性汚れ	固体汚れ	特殊汚れ
種類	汗、でんぷん 砂糖、尿など	皮脂、機械の油 口紅、脂肪酸など	カーボン、砂 鉄粉、はい煙など	カビ、変性油 細菌、農薬など

本論文では、人体から分泌される中で、特に皮脂の油性汚れに着目して検討した。Table 2.4に示した皮脂の成分には、極性があるものや無極性の油が含まれるが、本研究では、皮脂汚れに類似した成分、極性成分として脂肪酸および極性の低いトリグリセリドを含むものとして食用の菜種油(Table 2.7)を汚れモデルに用いて試験した。

Table 2.7 Ingredients of rapeseed oil(100g) ²²⁾

Item	Quantity(g)
Palmitic acid(16:0)	4.298
Stearic acid(18:0)	2.087
Oleic acid(18:1)	61.744
Linoleic acid(18:2)	19.005
Alpha-linolenic acid(18:3)	9.137

2.2.2 汚れの付着メカニズム

汚れが衣服や表面に付着する過程は様々であるが、その中で、最も影響が大きいのは実際に汚れとの接触することである。衣服では、人体から分泌される皮脂や汗、皮膚から脱落した表皮細胞が直接に衣服に付着する。また、スニーカーの汚れが衣類に付着したり、転んでズボンが汚れる場合もある。その他、空気中に浮遊しているほこりやナイロン、ポリエステルでできた被服に汚れが付着される。このような汚れの付着は、どのようなメカニズムにより起こるのかを説明する。(Fig. 2.18)

(1)機械的付着(Mechanical force)

比較的粒径の大きい粒子や水に溶けた汚れや油などが重力による付着、糸や繊維の間、凹部などに汚れが付着することである。汚れの付着量は、布の組織や糸の撚りなどが関係し、糸の撚りが増すにつれて増加し、一定以上に撚りが強くなると付着は逆に減少する。このような状態で付着している大きい粒子は、機械的に叩き出したり、ブラシをかけることにより除去できる。しかし、微粒子や水に溶けた汚れや油は、繊維の凹や極めて小さい間の奥深い侵入するため、除去しにくく、洗剤の作用によって除去する必要がある。

(2)静電気力による付着(Electrostatic force)

繊維と汚れ粒子が異符号(+、-)の静電気を持っていると、粒子は繊維上に引き付けられ、汚れが付着する。すなわち、汚れの微粒子と繊維間に摩擦を生じた際、その汚れの微粒子が正の帯電をしているもの、負に帯電するもの、むしろ無帯電のものなど、複雑であり、その両者(繊維と汚れ)が相反する電荷を帯電し、静電気が生じて繊維に付着する。静電気による汚れの付着量は、残留する帯電量に関係するので、繊維の疎水性・親水性の程度や布の吸湿性との関係が深い。また、周囲の環境下の湿度の影響によって汚れの付着性が変わる。特に、合成繊維は帯電しやすく、吸湿性が小さく、摩擦によって発生した静帯電が滞留しやすいため、天然繊維より静電気力による汚れの付着が起きやすい。

(3)分子引力による付着(Intermolecular force)

一般に2物体の分子間(本研究では、繊維と汚れ)には互いに引力が働き、汚れが繊維上に付着される。その分子間引力は、ファンデルワールス力(London-Van der Waals Force)と呼ばれ、2物体の分子間に働く引力である。分子間力は、分子間の距離の7乗に逆比例して分子間の距離が遠くなるとその引力が減少していく。粒子汚れの付着は、汚れと繊維の距離が数十nm~数千nmに接近した時に初めて作用する。粒子が繊維上に接する場合には、両物体の接触面がごくわずかに分子間力の影響を与える。このことから、微小粒子や薄片状粒子などの重量に対する分子間引力が大きくなり、繊維に引き付けられて汚れの除去が難しい。また、繊維の性質には、疎水性繊維と親水性繊維があり、特に、スポーツウェアには、疎水性の持つ合成繊維が使用され、空気の中に含んでいる粒子汚れや油性汚れ、体内からでる汗や皮脂などが混じて固体粒子のように繊維に付着しやすい。油は粘着性があるため、単一の固体粒子が付着している状態より付着力がかなり大きく、除去するのが難しい。このように、汚れと繊維の疎水性・親水性の性質が大きく影響する。すなわち、疎水性汚れは疎水性繊維に、親水性汚れは親水性繊維に付着しやすい。

(4)化学結合による付着(Chemical force)

それぞれの繊維は、分子の中に官能基を持ち、これらが汚れの成分と化学結合して汚れの付着が起こる。親水性官能基としては、ヒドロキシ基(-OH)を持つ綿、麻、レーヨン、キュ

プラのようなセルロース系繊維やアミノ基(-NH₂)やカルボキシ基(-COOH)を持つ羊毛、ナイロンのようなポリアミド繊維はそれぞれの官能基(親水性、疎水性)の種類によって汚れと反応した後の汚れの形態が異なる。疎水性官能基や親水性官能基であるヒドロキシ基との化学結合は、比較的弱い結合で落ちやすいが、タンパク質であるアミノ基とカルボキシ基の化学結合は、強い結合であるため、汚れの除去が難しい。

また、洗浄に使用する水や汚れ成分に含まれる Ca や Mg、Fe、Al などの多価金属イオンの関与によって化学結合している場合もある。繊維と汚れは水中で負の荷電を持っていることから、多価金属イオンが繊維と汚れとの間を橋渡りの動きをして、繊維上に汚れを付着させる。この力は粒子間にも作用するので、粒子が凝集し、水中で汚れの分散性が悪くなって繊維上に沈降し、繊維に付着する現象がある。

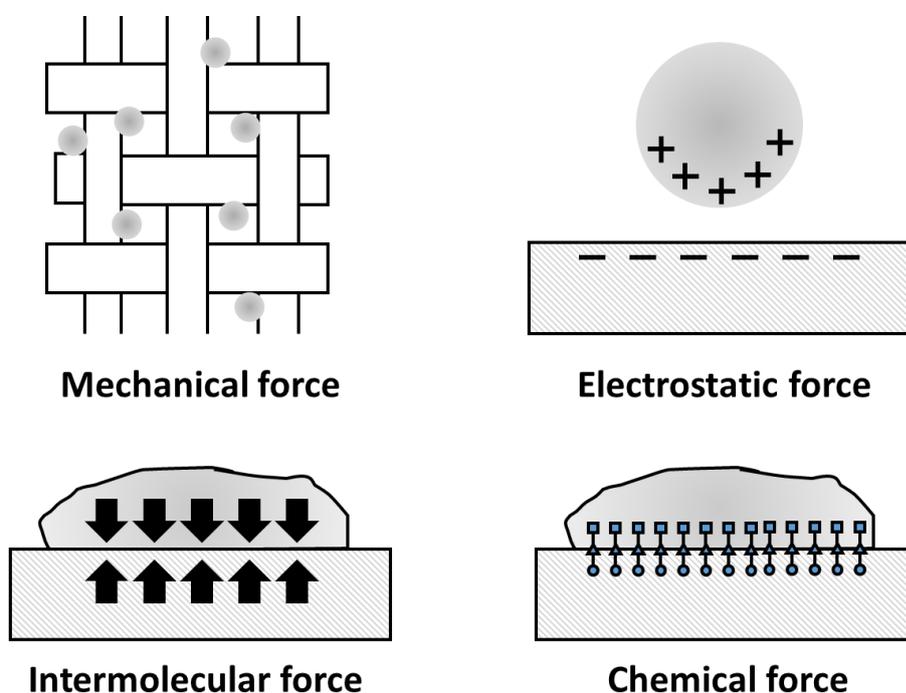


Fig. 2.18 Mechanism of soil adhesion

2.2.3. 洗浄メカニズム

洗浄は、様々な界面から不都合な物質(汚れ)を取り除くことである。洗う対象となる物質が固体の場合に洗浄と呼び、対象が液体や気体の場合には清浄と呼び区別している。固体表面の汚れを取り除く方法には、溶剤で汚れを落として除去する方法、界面活性剤溶液を用い、界面活性剤の作用で除去する 2 つの方法がある。界面活性剤を用いた洗浄は産業分野に限らず、一般の家庭にも衣類や食器洗浄で使われている。

界面活性剤は、界面に作用して性質を変化させる物質の総称で、Surface Active Agent および Surfactant と呼ばれる。水に溶解してその表面張力を著しく低下させる有用な物質と言

っているが、水溶性高分子や油溶性極性物質などのように表面張力をあまり低下させないものも含めている。また、1972年の国際会議からは、界面活性剤は分子中に親水基と疎水基を1つ以上持っていて液体に溶けるか、分散するかして選択的に界面に吸着し、実用性ある性質をもつものとされている。界面活性剤の構造としては、Fig. 2.19に示すように分子の中で水になじみやすい親水性と、油になじみやすい親油性の2つの部分を持っている。1つの分子の中に親水基と疎水基という正反対の性質を持つ化学構造であるため、界面活性剤は様々な性質を持っている。この構造的特徴が水と油のように混じり合わないものを混ぜ合わせるのに役に立ち、汚れを落とす洗浄の働きをするものである。その性質を利用して、界面活性剤は洗剤、化粧品、医薬品、農薬、繊維などに用いられている。

界面活性剤を水に溶解するとモノマー分散、表面(界面)吸着、結晶化あるいは自己組織体形成(ミセルの形成)などが界面活性剤の基本性質である。様々な現象や要因が複雑に関係している汚れを洗浄するメカニズムは、界面活性剤の作用(吸着、浸透、乳化・分散、可溶化、起泡)が大きな役割をはたし、界面に様々な機能を発揮する。ここでは、界面活性剤の働きを注目してその特徴を以下に述べる。

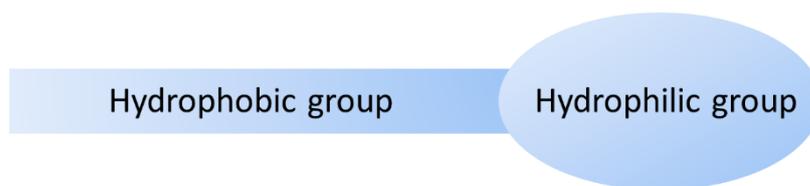


Fig. 2.19 Structure of surfactant

(1)界面活性剤の働き

1)界面吸着による表面(界面)張力の低下

界面活性剤を水に溶かすと疎水基の部分は水となじみにくいので、水から逃げようとする。そこで水の表面では、疎水基を空気の方に向けて配向する。また、容器と水との境目では、疎水基を容器の方に向けて配向する。水の中に油や固体があれば、それに疎水基を向け、吸着する。このように、界面活性剤は、水と空気の境目や、水と固体の境目、水と油の境目のような界面に吸着するという性質がある。界面への吸着の結果、界面の性質がいろいろに変化する。界面の性質の変化の1つに、表面張力の低下がある。表面張力は、水の表面を引っ張る方向に働く力で、界面の面積をできるだけ小さくしようとする力のことである。この表面張力が小さくなると、面積を広げるので、濡れやすくなり、洗うためには都合のよい状態になる。

2)分子の集合とミセルの形成

水中に単独の界面活性剤が存在する時、周りが水分子で囲まれた疎水基は不安定となる。そこで親油基を安定化させるために、Fig. 2.20 に示すように界面活性剤は、水と空気の界面、水と油の界面、水と固体基質の界面等に吸着し、さらに界面活性剤の濃度が高まって水面は界面活性剤の分子で満員になり、水中の不安定な界面活性剤が増えると、界面活性剤同士が凝集してより安定な形態に変化していく。すなわち、界面活性剤分子は、疎水基を内側に、親水基を外側に向けて集まり、その界面活性剤の集合体をミセルと呼ぶ。そして、ミセルがではじめる濃度を臨界ミセル濃度(critical micelle concentration、略して cmc)と呼ばれる。このミセルを形成する濃度は、界面活性剤の種々の作用と密接な関係があり、ミセルを形成する濃度より高いか低いかで、その作用が大きく変化する。界面活性剤濃度が高まると棒状ミセル、さらに高濃度になると層状ミセルという形状が現れる。すなわち、界面活性剤分子は、濃度によって自発的に集まってある規則的な構造を持つ分子集合体が形成する性質を持っている。

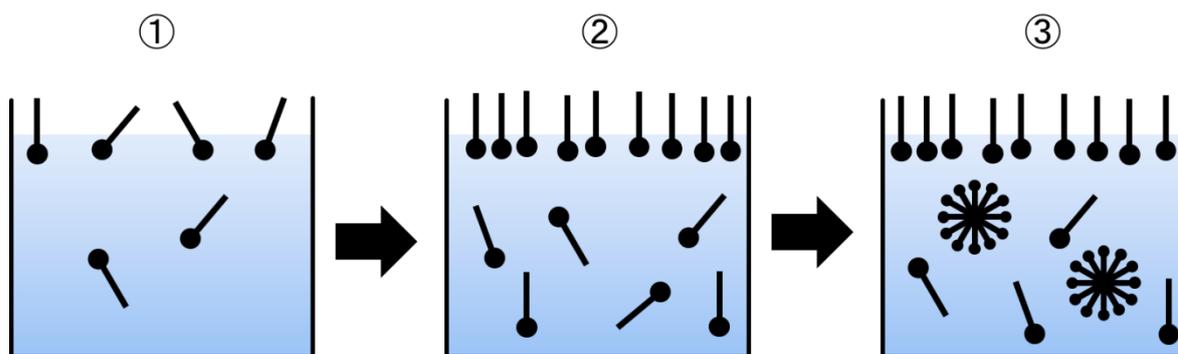


Fig. 2.20 Formation of micelle

3)HLB(Hydrophilic Lipophilic Balance)

水中で溶解している界面活性剤の分子は、油になじみやすい性質と水になじみやすい性質をもっているが、その疎水性と親水性の相対的なバランスで、親水性の強さと疎水性の強さの度合いを表したものを HLB と呼ぶ。Fig. 2.21 に示すように HLB は、親水基を持たない物質の HLB を 0 とし、親油基を持たず親水基のみを持つ物質の HLB を 20 としたもので、親油性と親水性を合せ持っている界面活性剤の分子は、その間の値をとる。親油性に対し親水性が大きいほど HLB 値も大きく、水に溶けやすい性質であり、逆の場合は水に溶けにくい性質となる。

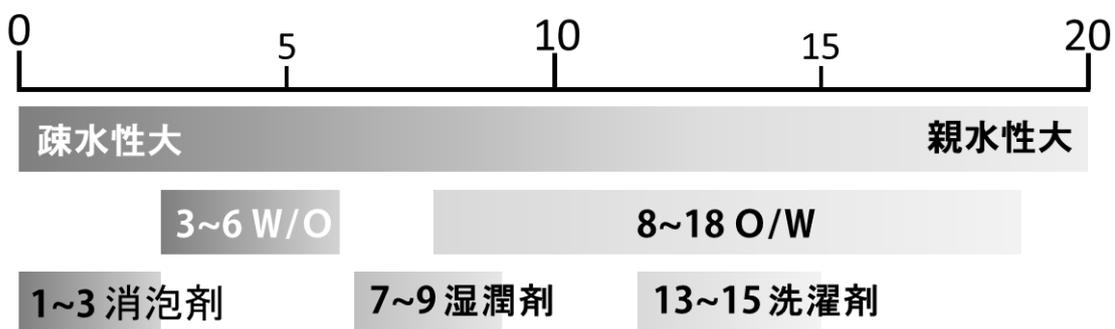


Fig. 2.21 HLB value and use

(2)界面活性剤の分類

界面活性剤は、乳化剤や分散剤、可溶化剤などの機能を発揮するために分子設計され、Fig. 2.22 に示すように大きく分けて4つのタイプが存在する。それぞれ水に溶けた時に親水基の構造により、電離してイオンとなるイオン性界面活性剤が3タイプであり、イオンにならない非イオン界面活性剤の1つとで合計4つのタイプがある。また、イオン性界面活性剤には、解離する時の電荷の種類によって陰イオン界面活性剤(アニオン)、陽イオン界面活性剤(カチオン)および両性界面活性剤に分類される。

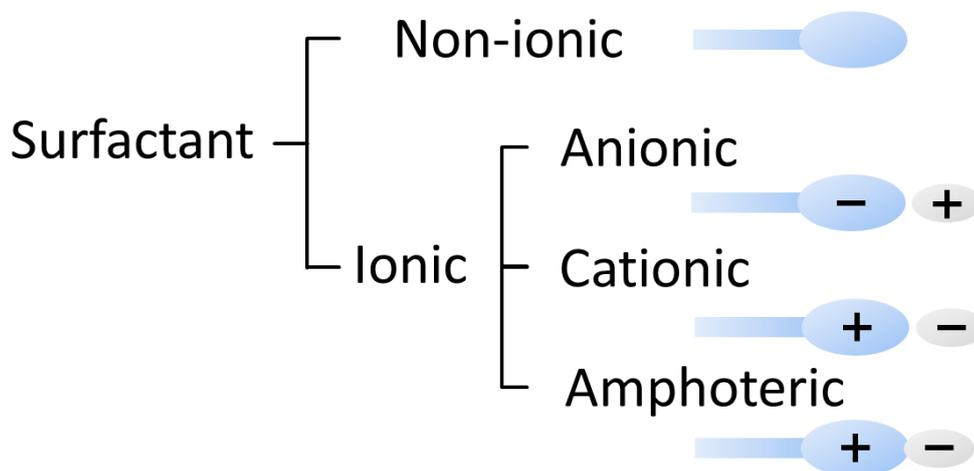


Fig. 2.22 Classification of surfactants

これらの界面活性剤は、親水基の種類と疎水基の種類や原料によってさらに詳細に分類される。Table 2.8 は、界面活性剤のそれぞれの特長と主な用途を示す。

Table 2.8 Characteristics and application of surfactant ²³⁾

界面活性剤の種類	特徴	用途
陰イオン界面活性剤	乳化・分散性に優れる 泡立ちが良い 温度の影響を受けにくい	衣料用洗剤 シャンプー ボディソープ
陽イオン界面活性剤	繊維などへ吸着する 帯電防止効果がある 殺菌性がある	ヘアリンス 衣料用柔軟剤 殺菌剤
両性界面活性剤	皮膚に対してマイルド 水への溶解性に優れる 他の活性剤と相乗効果あり	シャンプー ボディソープ 台所洗剤
非イオン界面活性剤	親水性と疎水性のバランスを容易に調整できる 乳化・可溶化力に優れる 泡立ちが少ない 温度の影響を受けやすい	衣料用洗剤 乳化・可溶化剤 分散剤 金属加工油

①陰イオン界面活性剤(Anionic Surfactant)

界面活性剤が水に溶解した時、親水基のついている部分がマイナスイオンに電離する界面活性剤である。カルボン酸塩($-\text{COO}^-$)やスルホン酸塩($-\text{SO}_3^-$)、硫酸エステル塩($-\text{OSO}_3^-$)、リン酸エステル塩などが親水基で使用されている。疎水基は、直鎖または分枝の炭化水素や芳香族環または複素環などこれらの複合されたものもある。このように、親水基と疎水基の組み合わせのよって石ケンをはじめ、多くの種類が開発されている。

陰イオン界面活性剤の特徴は、上に述べた性能と泥汚れなどの固体粒子汚れに優れた洗浄力を持っていることで、一般の家庭洗剤に広く使用されている。油の乳化力に劣る性質から、油汚れに対応するために非イオン界面活性剤と共に使用する場合が多い。陰イオン界面活性剤は、粉末化しやすく、汚れの分散能が高い LAS や AS などが主に使用されている。

②陽イオン界面活性剤(Cationic Surfactant)

界面活性剤が水に溶解した時、親水基のついている部分がプラスイオンに電離する界面活性剤で、石けんとイオンの逆の構造を持っていることで、逆性石けんと呼ばれる。アミン塩型と第4級アンモニウム塩型があり、一般に窒素原子が陽イオン界面活性剤の構造にあり、この部分が陽イオン性を持っている。非イオン界面活性剤と共に使用できるが、特別の場合を除き、陰イオン界面活性剤と併用することができない。

陽イオン界面活性剤の特徴は、陰イオン性界面活性剤のような乳化・分散・可溶化、洗浄の力は殆ど持っていないことである。また、4級アンモニウム塩型よりアミン塩型の方が pH、

および金属イオン等の影響を受けやすい。繊維や毛髪などのマイナスに帯電している固体表面に強く吸着し、柔軟性、帯電防止性、殺菌性などの性質があるため、柔軟仕上げ剤やリンス剤、消毒剤として利用される。

③両性界面活性剤(Amphoterics Surfactant)

両性界面活性剤は、陽イオンになる部分と陰イオンになる部分、両方を分子の中に持っている界面活性剤で、アルカリ性の溶液なら親水基が陰イオン界面活性剤の性質に、酸性なら陽イオン界面活性剤の性質になる。陰イオン界面活性剤の性質には洗浄力を、陽イオン界面活性剤の性質では温和な殺菌力を発揮する。両方の能力を一度に発揮できると便利だが、陰イオン界面活性剤の性質になった時は、陽イオン界面活性剤の性質である殺菌力は発現しない。陽イオン界面活性剤の性質には、多少泡立つくらいの界面活性作用があるが、洗浄力は強力ではないので、殺菌と洗浄の両立は難しい。

両性界面活性剤で一般に使用されているのは、カルボン酸塩($-COO^-$)が殆どであり、さらにアミノ酸型とベタイン型に分類される。ベタイン型は皮膚や眼に対する刺激性が弱く、他の活性剤と組み合わせて洗浄性や起泡性を向上させる補助剤として広く使用されている。シャンプー、洗顔剤、身体洗浄剤、台所洗剤などに幅広く使用される。

④非イオン界面活性剤(Non-ionic Surfactant)

非イオン界面活性剤は、親水基がポリエチレングリコールなどのイオン性を持たない親水基を持ち、 $-OH$ 基やエーテル結合($-O-$)に水分子が水素結合することで溶解する。すなわち、水に溶けた時にイオン化しない親水基を持っている界面活性剤である。水の硬度や電解質の影響を受けにくく、他の全ての界面活性剤と混ぜ合うことができる。このように使いやすい性質をもっているため、近年、非イオン界面活性剤の使用量が非常に増えてきている。非イオン界面活性剤は、その構造によってエステル型、エーテル型、エステル・エーテル型及びその他に分類されるが、高級アルコールをもつ原料に、酸化エチレン(EO)を付加してつくられる非イオン界面活性剤は最も代表的な界面活性剤である。

非イオン界面活性剤の特徴は、低温で溶解しやすく、親水基同士の反発がないため、イオン性界面活性剤に比べて低濃度からミセルを形成することができる。また、非常に大きいミセルを形成することで、多量の油をミセル中に入れることができる。このことから、非イオン界面活性剤は、少ない量でも優れた洗浄性がある。

(3)本研究で使用する界面活性剤

本研究では、一般に販売されている粉末洗剤と液体洗剤に配合されている陰イオン界面活性剤の直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS-Na)と非イオン界面活性剤のポリオキシエチレンアルキルエーテルの付加8モル(EO8)を用いた。以下にそのLAS-NaとEO8について詳しく説明する。

直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS-Na)は、1933年ドイツのI.G.社によって、石炭や石油からアルキルスルホン酸塩(SAS)とアルキルベンゼンスルホン酸塩(ABS)が開発され、第二次大戦中には軍需用に大量に消費されていた石油が、戦後は安価に使えるようになったため、石油化学工業の石油化学の発展に伴い、ABSが合成洗剤として急速に普及した。日本では、1951年にABS洗剤が販売されたが、あまり伸びず、高級アルコール系洗剤が先行した。1950年代半ば以後、電気洗濯機の普及に伴い、合成洗剤が急速に普及し、1959年頃からは、ABSが日本の合成洗剤の中心となった。しかし、アルキル基に枝分かれ構造を持っているABSは、極めて分解しにくい物質(ハード型)であり、河川の発泡が見られるようになり、大きな社会問題となった。そこで、生分解がしやすく、アルキル基の枝分かれ構造のない直鎖直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)のソフト型を用いた洗剤へ転換した。

製造方法は、初期の頃にはブタジエントラマーから分枝アルキルベンゼンを原料としたが、現在では、生分解性の良好なタイプの直鎖LASは、塩素化パラフィンまたは、 α -オレフィンとベンゼンから、Friedel-Crafts反応でアルキルベンゼンを作り、さらに無水硫酸や発煙硫酸でスルホン化することで製造される。

LAS-Naの特徴は、洗浄力、起泡力、浸透力に優れることである。製造方法により、アルキル置換位置の異性体比が変わるため、性能に変化が見られる。例えば、アルキルの2位にベンゼン環が置換した異性体が、界面活性や起泡性が高いなどの優れた洗浄性能を示す。

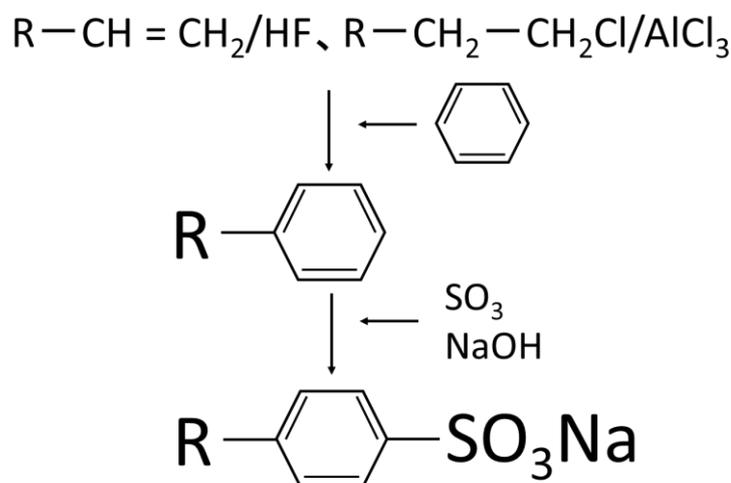


Fig. 2.23 Method for producing LAS-Na

ポリオキシエチレンアルキルエーテル(EO8)は、脂肪族高級アルコールにエチレンオキシド(EO)を付加して得られる化合物で、大部分が家庭用洗剤及び業務用洗浄剤用途に使用されるほか、化粧品・医薬品等にも乳化剤、分散剤として配合されている。また、繊維工業やゴム・プラスチック工業においても使用されている。ポリオキシエチレンアルキルエーテルは、EO付加モル数により性状、物性、眼や皮膚への影響、飲み込んだ時の毒性、水生生物への影響が

異なり、EO 付加モル数が 20 モル以上では、水生生物に毒性を示します。一般的には EO 付加モル数が少ないほど有害性が高くなる傾向であるが、アルキル基の炭素数や、その分布、分岐の度合いなどによっても異なる有害性を示す。

製造方法は、ヤシ油還元アルコール、セチルアルコール、ステアリルアルコール、オレイルアルコールなどの天然油脂由来のアルコールやチーグラールアルコール、オキシアルコール、ガーベットアルコール、セカンダリーアルコールなどの化学合成由来のアルコールに加圧下で 150°C 前後の温度で酸化エチレンを付加重合させることで得られる。触媒により酸化エチレンの付加モル分布が異なり、アルカリ触媒ではワイブル分布を示し、酸触媒や金属触媒ではポアソン分布を示す。高純度品や単一鎖長品は、アルコールと均質ポリエチレングリコールとのウィリアムソン合成反応により得られる。



Fig. 2.24 Method for producing polyoxyethylene alkyl ether

ポリオキシエチレンアルキルエーテルは、酸化エチレンの付加モル数の違いにより、疎水性から親水性がコントロールできるため、幅広い用途がある。耐熱、耐酸、耐アルカリ性に優れ、界面活性剤としても優れた乳化力、洗浄力、浸透力、可溶力を持っている。アルキル基が炭素数 12~22 では、付加 2~5 は水に不溶で界面活性剤、7~9 は湿潤剤、分散剤、洗浄剤、乳化剤に、10~15 は洗浄剤、乳化剤に、15 以上は乳化剤、分散剤、可溶剤として適性を示し、本研究ではアルキル基 C12 で、エチレンオキシドが 8 モルのものを使用した。

参考・引用文献

- 1) 藤田 正樹, スポーツウェア用繊維素材について, 繊維と工学, Vol. 52, No.4 (1996)
- 2) 清嶋 展弘, スポーツウェアの品質・機能の観点から, 繊維消誌, Vol.144, No.10 (2003)
- 3) 山田 都一, 衣服繊維・材料学, p.10~22, コロナ社 (1988)
- 4) 成瀬 信子, 基礎被服材料学, p.37~43, 文化出版局 (2009)
- 5) 福原 基忠, 衣料用ポリエステル繊維技術の系統化調査, p.125~135 (2007)
- 6) 灘 五郎, 新しいニットの知識, 長江書房 (1967)
- 7) Wikipedia, <https://ja.wikipedia.org>
- 8) 和田 浩志, 超高純度・高分子量ポリエーテルポリオールの開発と応用展開, 日本接着学会誌, Vol.40, No.6 (2004)
- 8) 和田 浩志, 低モノオールポリプロピレングリコールを基材とするポリウレタンフォームの構造と物性に関する研究, p.2~22, 長崎大学大学院 (2009)
- 9) 横井 知身, 合成皮革・人工皮革用ポリウレタン, 三洋化成ニュー, No.471 (2012)
- 10) 崔源政, 無縫製ニットウェアの力学的性能と感性評価に関する基礎研究, 文化学園大学大学院 (2014)
- 11) Go byong mun ら, Human Anatomy (2006)
- 12) ミズノ, <http://www.mizuno.jp/>
- 13) Nike Japan, http://www.nike.com/jp/ja_jp/
- 14) 林 雅子, 被服管理学および実験, p.17~57, 文化出版局 (2011)
- 15) 牛腸ヒロミ, 米山雄二ら, 被服管理学, p.1~56, 朝倉書店 (2012)
- 16) 田村 照子, 衣環境の科学, p.71~92, 建帛社 (2012)
- 17) Mayo clinic, <http://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/hyperhidrosis/multimedia/sweat-glands/img-20007980>
- 18) 池上 晴夫, 運動処方(理論と実際), p.112, 朝倉書店 (1990)
- 19) Donald T. Downing, John S. Strauss, M.D. and Peter E. Pochi, Variability in the chemical composition of human skin surface lipids, The Journal of investionti vedermatology, Vol. 53, No. 6 (1969)
- 20) The Journal of Investigative dermatology 73:112~117 (1979)
- 21) 藤生 直恵, 布に対する超音波の洗浄メカニズムに関する研究, 文化学園大学大学院 (2012)
- 22) USDA Food Composition Databases, <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>
- 23) 日本界面活性剤工業会, <http://www.jp-surfactant.jp/surfactant/nature/index.html>
- 24) 大矢 勝, 汚れの分類, <http://www.detergent.jp/kaisetsu2/01basic/02soil.html>
- 25) 日本界面活性剤工業会, <http://www.jp-surfactant.jp/surfactant/nature/index.html>
- 26) 今木 喬, 大木 辛介, 富山 新一, 洗剤の科学, ドメス出版 (1975)
- 27) 日本油化学会, 界面と界面活性剤—基礎から応用まで—, 日本油化学会 (2013)

第3章

スポーツウェアの着用実験

3. スポーツウェアの着用実験

3.1. 目的

国際スポーツにおける日本人選手の活躍や高齢化社会に伴う健康志向の高まりから、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。運動する際に着用されるスポーツウェアには、運動機能性、快適性、耐久性、安全性が求められるが、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であり、これには身体の動きに追従して変形する伸縮性が重要になってくる。さらに、競泳や陸上競技など激しい動きを伴う競技では、力学強度や伸縮性の他、吸汗性や水中での流体抵抗が低いことなどの機能も必要になり、スポーツの種類に応じてスポーツウェアには様々な機能性が付加されている。スポーツウェアのベースとしては伸縮性をもたせるために、ポリエステルとポリウレタンによるニット構造の布地が用いられる。

スポーツ活動をすると、活動筋群のエネルギー利用や筋の酸素消費量が増加し、スポーツをしない時よりも大量の熱が発生し、体温が増加する。しかし、人間は一定の体温を維持する恒温動物で、体温が大きく変動すると人体の正常な機能を維持できないため、汗をかくことで体内の熱を発散させて体温を低下している。したがって、スポーツをしている時は体温の上昇と共に体温を抑えるために汗の分泌量が増加する。また、皮脂の分泌量も運動強度や運動量の増加によって脂肪分解を抑制するインスリンが少なくなるため、脂肪分解が促進し、結果的に皮脂の分泌量が多くなる。すなわち、スポーツ活動で分泌される汗、皮脂および老廃物は日常生活より多くなり、これらがスポーツウェアの繊維に付着し、スポーツウェアに影響を与えると考えられる。

本研究は、室外環境の要因が影響しない室内トレーニングにおいて、人体から出る汗や皮脂などの要因が加わる着用と運動、洗浄を繰り返す実用的な条件において、スポーツウェアがどのような変化を起こすのか、寸法変化および黒ズミ・黄ばみの発生について検討した。

3.2. 実験方法

(1)着用と洗浄

アスリートは競技の成績を高めるため、筋肉の圧迫や関節の保持を行って人体を適正にサポートし、汗や熱などを吸収して快適性を保つものを求めており、Compression Type のスポーツウェアが主に用いられている。そこで、Compression Type について、各スポーツメーカーで販売されている上半身用の機能性スポーツウェアを調べてみると、素材と価格は Table 3.1 に示すようになる。各社の Compression Type 製品は素材がポリエステル 85%でポリウレタンが 15%と、ほぼ同じであり、価格も近い値にある。そこで、本研究では、アスリートの中で汎用されている D 社のものを選定した。

Table 3.1 Sports wears of each sport manufacturer

	A company	B company	C company	D company
Fabric	Polyester 84%	Polyester 85%	Polyester 85%	Polyester 84%
	Polyurethane 16%	Polyurethane 15%	Polyurethane 15%	Polyurethane 16%
Price	3500 ~ 4100Yen			

着用・運動したスポーツウェアは 1 日静置した後、全自動洗濯機(ASW-ZR700、三洋電機製のタテ型渦巻式洗濯機)を用いて洗浄した。洗浄に用いた洗剤は、Table 3.2 に示すように、市販の粉末洗剤および高濃縮液体洗剤を用い、洗剤の濃度は容器に表示してある使用量の目安を参考に、濃度を 0.03%に設定した。洗浄条件は、洗濯物量 1.5 kg、標準コース（洗浄 10 分、すすぎ 2 回、脱水 3 分）で洗浄を行った。洗剤による効果を見るために、洗剤無で洗浄する条件を加えた。

Table 3.2 Profile of detergents

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

(2)運動方法

試験衣料を実際に着用し、一定の運動を行った。着用したスポーツウェアは、上半身用であり、運動も上半身に限った。運動方法は Table 3.3 に示すように行い、これはスポーツ・トレーニング理論¹⁾²⁾と Kim bo gun 氏(筑波大学博士)が作成したメニューであり、姿勢や動きなどは、Jung kuk hyen (Body-builder 兼 IFPA Korea 代表)の指導を受けた。1項目当たりに5セットずつ、1セットでは10~12回を繰り返すことができる負荷で運動を行った。

また、先行文献²⁾により、鍛練者は非鍛練者に比べ、運動や環境条件による体温上昇が軽度であることから、運動の経験がある被験者を1か月前から、同じ時間帯、同じ環境、食事制限などをさせて、コントロールした。運動時間は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分間、ランニングを中心とした有酸素運動を30分間行った。

Table 3.3 Method of exercise

Day	1Day	2Day	3Day
Part	Chest	Back	Rest
Item	Bench press Incline press Incline dumbbell press Dumbbell fly Cable cross over	Chin-up Deadlift Barbell row One-arm dumbbell row Seated cable row	Rest
Day	4Day	5Day	6Day
Part	Shoulder	Arms	Rest
Item	Military press Front lateral raise Side lateral raise Bent over lateral raise Barbell shrug	★Biceps Biceps curl One arm Dumbbell curl Concentration curl ★Triceps Cable push down Lying triceps extension Cable kick-back	Rest

(3)寸法変化の測定

選定したD社のコンプレックスシヨンタイプを実際に着用し、上述のように運動をし、洗浄を繰り返した後に洗浄・乾燥後の試験衣料の寸法変化を測定した。寸法の測定は、JIS-L1909に準拠し、Fig. 3.1に示すように試験衣料から10か所を指定して測定した。測定

項目は、繊維に方向で分けると、②～⑥は繊維のヨコ(コース)方向であり、⑦～⑩は、繊維のタテ(ウェール)方向である。①の首回りは、人体の特性を生かすため、繊維のバイアス方向でカットされている。袖幅や袖口幅、脇丈などの左右を測定する項目は、左右を測定し、平均値で表した。試験衣料を着用と運動、洗浄を10回繰り返し、5回目と10回目の時に寸法を測定した。未着用の試験衣料の寸法に対し、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。

$$\text{Elongation change}(\%) = \frac{\text{Size of after the test} - \text{Original size}}{\text{Original size}} \times 100$$

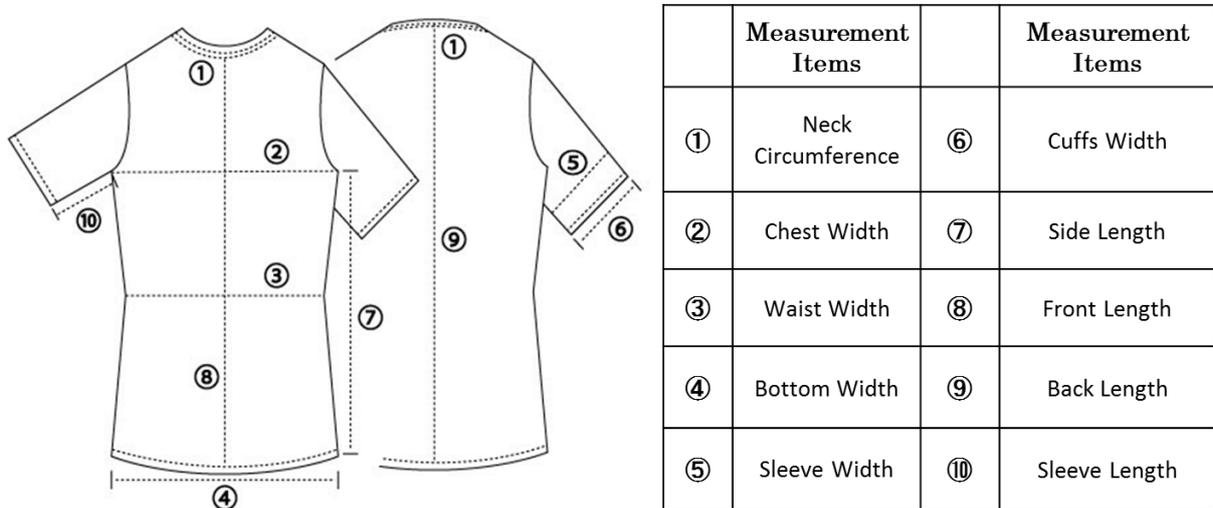


Fig. 3.1 Measurement items of test clothing

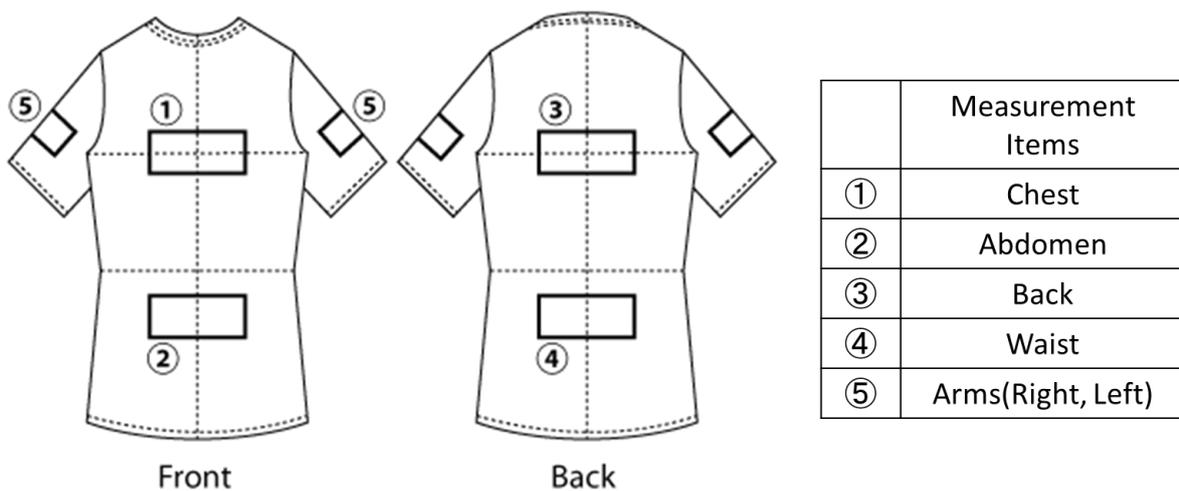


Fig. 3.2 Measurement items of test clothing part

(4)試験衣料の表面観察

着用、運動、洗浄を10回ずつ行った試験衣料と、未着用の試験衣料の表面の黒ずみと黄ばみ程度を分光測色計 (Spectrophotometer cm-3700d /KONICA MINOTA、INC.)を用い、Fig. 3.2 に示す5か所の部位で測定した。測定箇所①および③の部位はチェストライン1/2のポイントから左右3cmずつ、上下2.5cmずつで、ウェール×コース(5cm×6cm)の大きさにて試験料片をカットした。②および④は、ウエストラインから7.5cm下をポイントとし、また、両腕の⑤は、袖口から7.5cmの上をポイントとして、同じ大きさにて試験料片をカットして、試験に用いた。試験料片の測定は、それぞれの部位を5回ずつ測定し、 $L^*a^*b^*$ の平均値を求めた。腕は左右それぞれ5回ずつ測定し、両方の平均で表した。

CIE 1976 色空間($L^*a^*b^*$)

CIE 1976 色空間($L^*a^*b^*$)は、人間の視覚を近似するよう設計されている。 L^* は、色の明度($L^* = 0$ は黒、 $L^* = 100$ は白)、 a^* は、赤と緑の間の位置(負の値は緑寄り、正の値は赤寄り)、 b^* は、黄色と青の間の位置(負の値は青寄り、正の値は黄寄り)の3次元モデルである。これらを汚れの洗浄に使用するため、原布を基準として試験布の変化量を、それぞれ ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* とする。 ΔL^* は黒ずみ、 Δa^* は赤み、 Δb^* は黄ばみを示している。いずれも、0に近い値になるほど原布と同じ色空間になる。色変化を総合的に見るためには、Eq. 1 に示す色差を算出した。その数値は Table 3.4 に示すような評価指標を用いて、色差を判断した。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Eq. 1 ΔE calculation method

Table 3.4 The degree of dirt by Sense of sight ⁴⁾

Measured Value	The degree of dirt by Sense of sight
$\Delta E < 1$	Do not know by sense of sight, but can be seen in the machine
$1 \leq \Delta E < 2$	Dirt can be a little seen by sense of sight
$2 \leq \Delta E$	Dirt can be clearly seen by sense of sight

3.3. 結果および考察

(1) 寸法変化

1) スポーツウェアの寸法変化

スポーツウェアを実際に着用と運動、洗浄を繰り返し、5回目と10回目のときの、試験衣料の各部位の寸法変化を測定した。その結果を Fig. 3.3 と Fig. 3.4 に示す。

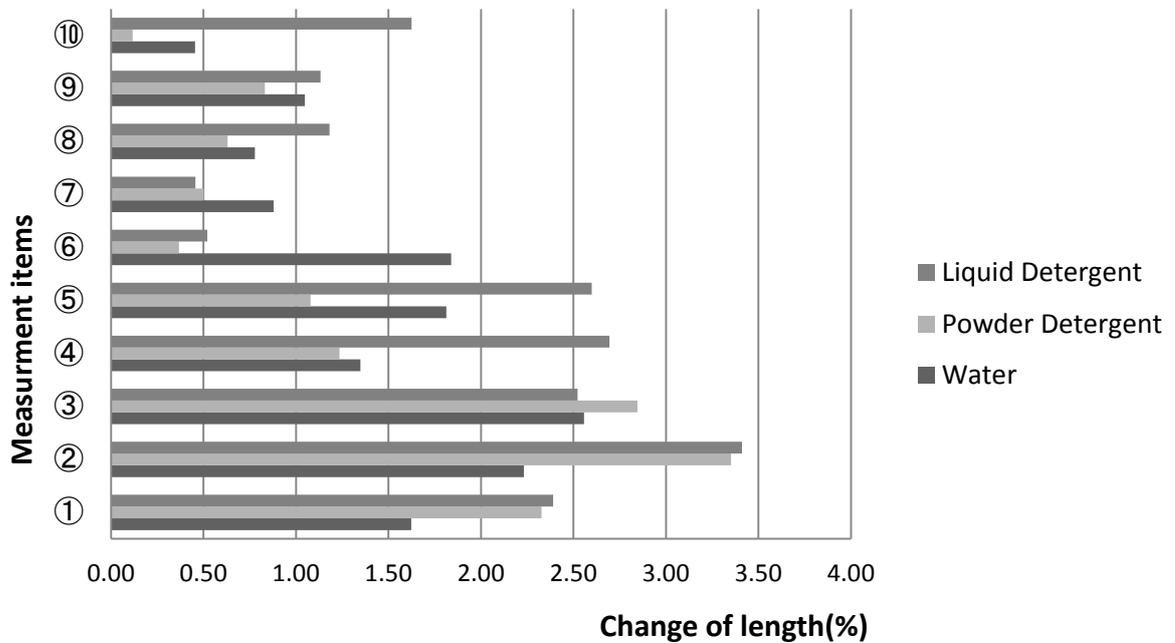


Fig. 3.3 Change of length of sportswear after 5-cycle of wear, exercise and wash

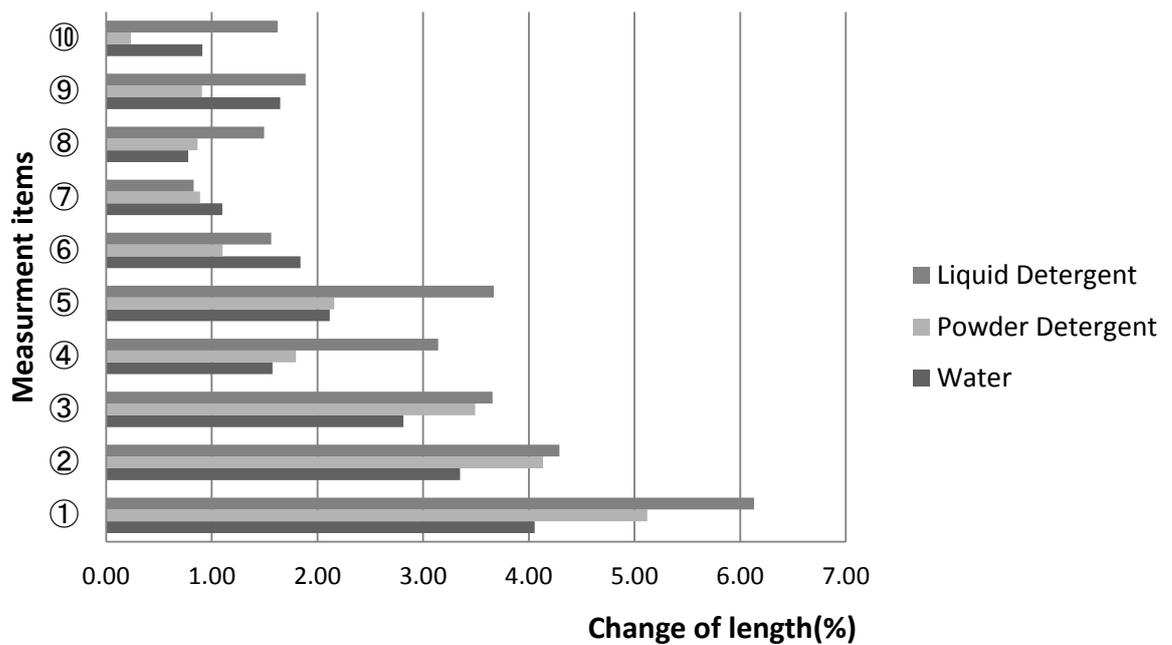


Fig. 3.4 Change of length of sportswear after 10-cycle of wear, exercise and wash

スポーツウェアを実際に着用して運動を行い、洗浄・乾燥後に、再び着用することを繰り返すと、測定部位 10 ヶ所すべてにおいて寸法変化が現れた。着用・運動・洗浄の繰り返し回数で比較すると、5 回繰り返した寸法変化より、10 回繰り返したときの方がすべての測定部位において大きい変化となった。このことより、スポーツウェアは着用・運動・洗浄を繰り返すことで、全体に寸法変化が生じており、これは伸縮性をもつ生地が着用・運動・洗浄を繰り返すことによって、生地の回復機能が低下して伸びていることを示している。

また、Fig. 3.3 と Fig. 3.4 の比較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。繰り返し試験で着用した試験衣料は、Fig. 3.5 のように平編みニット構造をしており、その構造から測定部位を分けてみると、部位⑦、⑧、⑨、⑩は生地のウェール(Wale)方向の寸法値で、部位②、③、④、⑤、⑥は生地のコース(Course)方向の寸法値を示している。

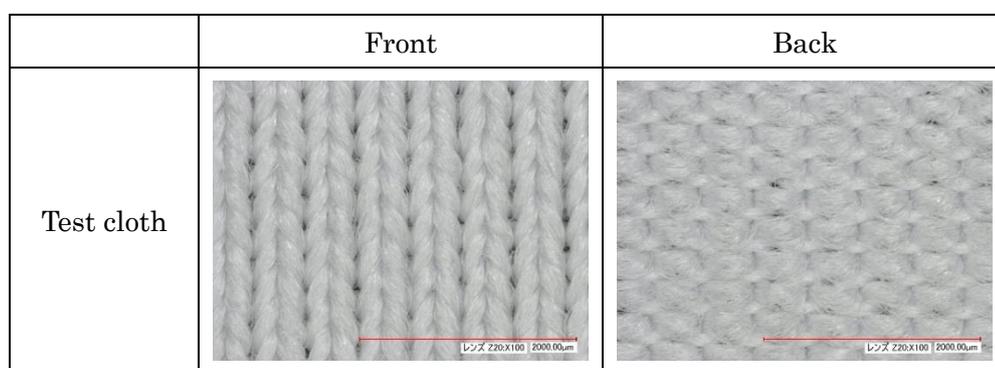


Fig. 3.5 The structure design of test cloth

先行研究⁶⁾では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ことを報告している。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従って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であると考える。測定部位の変化値から見ると、部位①の衿回りでは、他の測定部位より変化が最も大きく表れた。衿回りは、試験衣料の着脱時における大きな伸び変形が加わり、その影響で最も伸びたと考えられる。また、最も小さい変化値であった部位⑥の袖口は、袖口部分が生地の折り返しによって 2 重になっていることと、着用している時に袖口部分が人体の腕より大きかったことで寸法変化が小さかったと考えられる。

次に洗浄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と、洗剤を用いずに水だけで洗浄した場合の方が洗剤を使用して洗浄した場合より、寸法変化が比較的小さかった。市販洗剤の種類によっても違いがあり、粉末洗剤で洗浄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見られ、ウェール方向の部位⑦、⑧、⑨、⑩は、逆に若干伸びにくくなる傾向であった。一方、濃縮液体洗剤で洗浄した場合には、測定部位の全体で寸法変化が大きくなっており、特にコース方向では、粉末洗剤よりも濃縮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、伸縮性を有するスポーツウェアは、着用・運動・洗浄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で異なる。さらに、その寸法変化は着用・運動による変形だけではなく、洗浄時に用いる洗剤成分、すなわち、Table 3.2 に示すように界面活性剤やビルダーの違いが影響して寸法変化が起きると考えられる。

しかし、試験衣料を 5 回と 10 回と繰り返し着用した結果において、洗剤を用いて洗浄した時と水だけ洗浄を行った時にも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もあるが、それ以外の条件にも伸縮性を有するスポーツウェアの寸法変化に影響する要因があることを示している。それは、人体から日常生活や運動する時に出る汗と共に分泌される皮脂汚れがスポーツウェアの伸縮性に影響し、特に折り返し構造で 2 重になっている部位⑥で皮脂汚れが多く残留し、明確に伸縮性に影響を与えたと推察される。

(2)スポーツウェアの表面観察

①試験衣料の黒ずみ

着用試験により試験衣料に黒ずみの発生が見られたことから、試験衣料の明度を測定した。その結果を Fig. 3.6 と Fig. 3.7 に示す。明度変化値である ΔL^* の値が負の方向に大きいほど、試験衣料に付着された黒ずみが多いことを表している。着用・運動・洗浄を 10 回繰り返した試験衣料の表面と裏面の黒ずみを比較すると、結果は同様な傾向であった。洗剤の有無に関してみると、水だけで洗浄した場合には、黒ずみが大きく発生している。これに対して、洗剤を使用した場合には、黒ずみの発生が抑えられている。洗剤の違いを比較してみると、濃縮液体洗剤の方が ΔL の値が小さくなった。粉末洗剤に用いられる陰イオン界面活性剤よりも液体洗剤に用いられる非イオン界面活性剤の方が黒ずみの発生を抑える効果があることを示している。一般に、黒ズミは大気中の排気ガスの影響と考えられているが、本実験は室内での運動であり、排気ガスが原因とは考えにくい。洗浄中に汚れが再汚染して、黒ずみが発生してくると考えられる。すなわち、再汚染の抑制には界面活性剤が有効であり、その中でも非イオン界面活性剤の方が、効果が高いという一般論と同じといえる。



(W : White、 B : Black)

Fig. 3.6 Change of ΔL^* of sportswear after 10-cycle(Front)



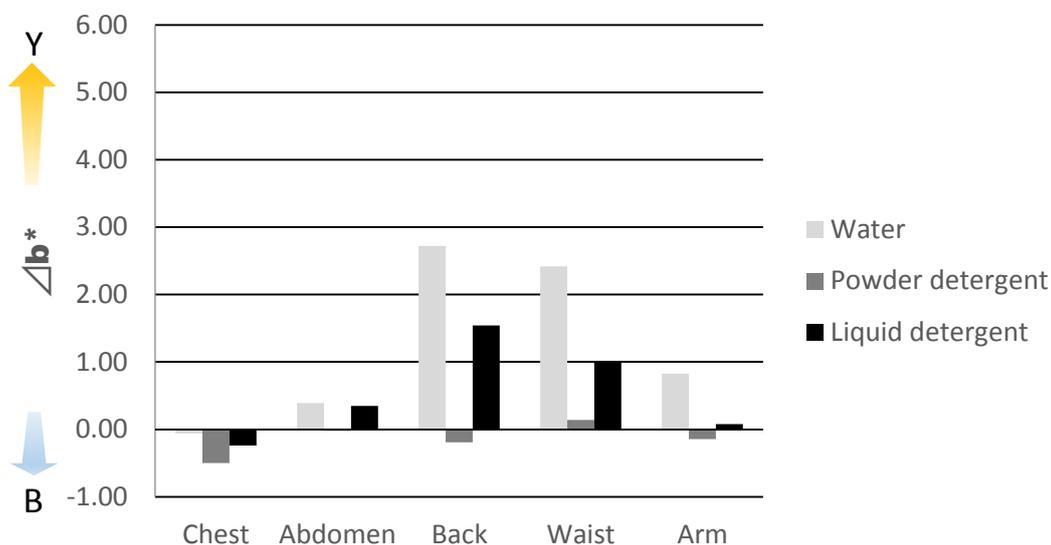
(W : White、 B : Black)

Fig. 3.7 Change of ΔL^* of sportswear after 10-cycle(Back)

②試料衣料の黄ばみ

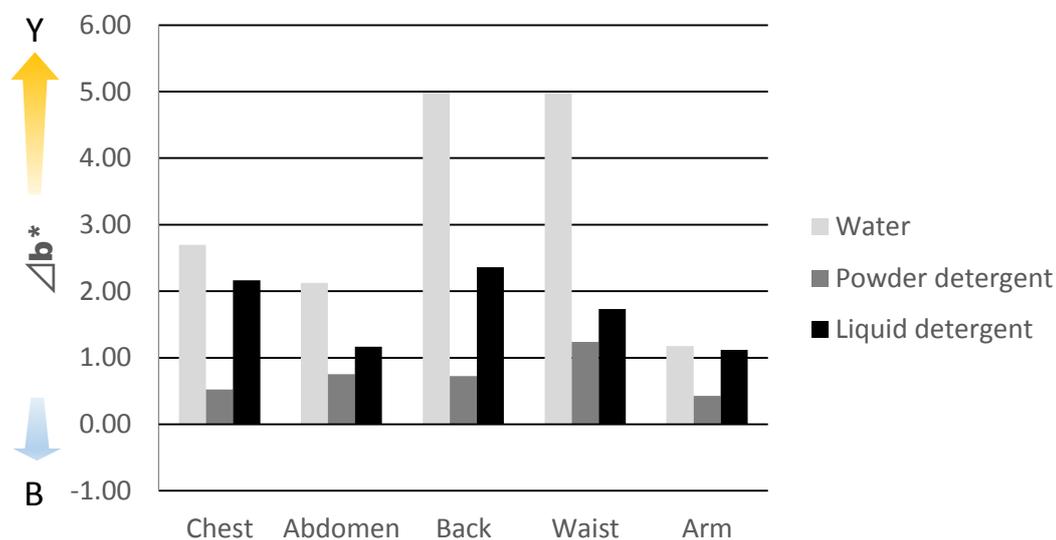
着用試験により試験衣料に黄ばみの発生が見られたことから、試験衣料の彩度変化(黄↔青)、を測定した。その結果を Fig. 3.8 と Fig. 3.9 に示す。ここで Δb^* の数値が正の値が高いほど、黄ばみが強く表われていることを示す。 Δb^* の結果からみると、胸部位と粉末洗剤を使用し

て洗浄したものが他の部位に比べて非常に小さい値であった。それは、Fig. 3.10 に示すように、赤線である外包線は、今回に着用したスポーツウェアのように男子の Chest Line を密着する服を着た人体の断面図である。しかし、着用した被験者は、過去にアスリートの経験であって一般人に比べて筋肉の凸凹があり、人体と試料衣料の接する部分が少ないことから、試料衣料に人体から分泌された汚れの付着が小さくなったと考えられる。



(Y : Yellow, B : Blue)

Fig. 3.8 Change of Δb^* of sportswear after 10-cycle (Front)



(Y : Yellow, B : Blue)

Fig. 3.9 Change of Δb^* of sportswear after 10-cycle (Back)

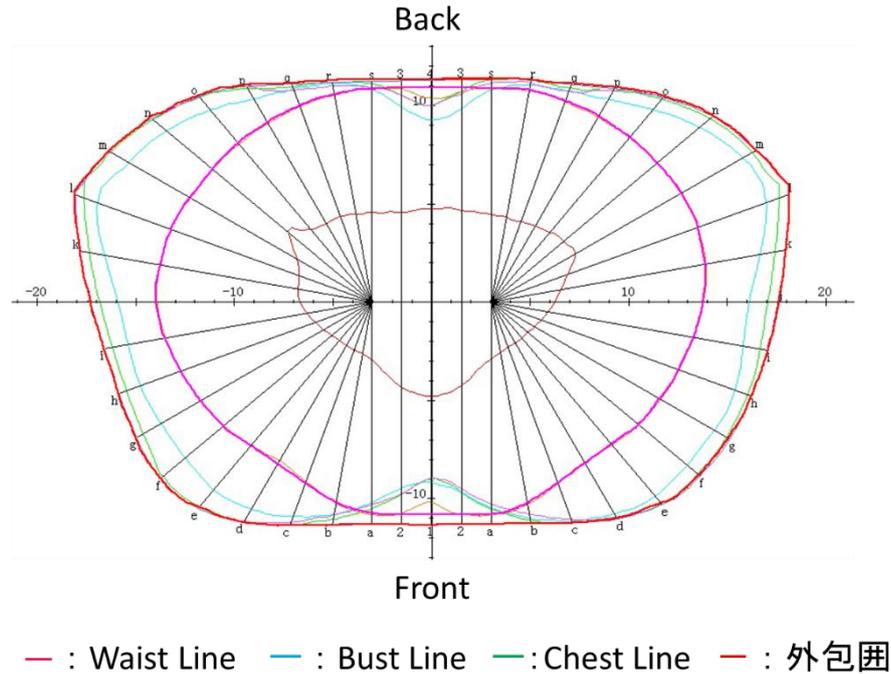


Fig. 3.10 Cross-sectional view of the human body (Chest) ⁷⁾

また、粉末洗剤に含まれている蛍光増白剤(Fluorescent agent) は、染料の一種で、太陽光のなかの目に見えない紫外線を吸収して、目に見える青色の光を放出する物質であり、青色の光が白布の黄色を消し、見た目に白さが増して見られる役目を持っている。この影響で試験衣料の表が青気味を増して Δb^* が低くなったとも考えられる。

試験衣料の表と裏のデータを見ると黄ばみの数値が異なった。このことは、黄ばみの原因は人体から分泌される皮脂と関係があり、人体の表面と接する試験衣料の裏面に皮脂が付着し、洗浄しても皮脂汚れが落ちきれずに繊維の間に残留し、その残留汚れが黄色く変色になって高い数値が出たと考えられる。また、表と裏の差が出ているのは、試験衣料を構成しているポリエステルとポリウレタンのニット構造的に、裏面が皮脂汚れと強く相互作用している接触面を形成しているとも考えられる。

③ 試験衣料の色差

着用・運動・洗浄を繰り返した試験衣料を分光測色計で測定した L^* 、 a^* 、 b^* の値から総合的に色差 ΔE を求めた結果を Fig. 3.11 と Fig. 3.12 に示す。 ΔE は、人間が色の変化を目で感じられる尺度であり、 ΔE の数値が大きいほど、未着用の衣料より変色が強くなることを表す。結果を見ると、水だけで洗浄したときに ΔE は一番大きい値であり、測定部位によっては、人間の目でははっきりと認識できる変色であった。

また、試験衣料の再汚染に関する黒ずみでは濃縮液体洗剤が優れた抑制効果を示したが、人間の皮脂の影響が大きく表れる試験衣料の裏面では、粉末洗剤の方が低い値となり、変色

を抑えていた。

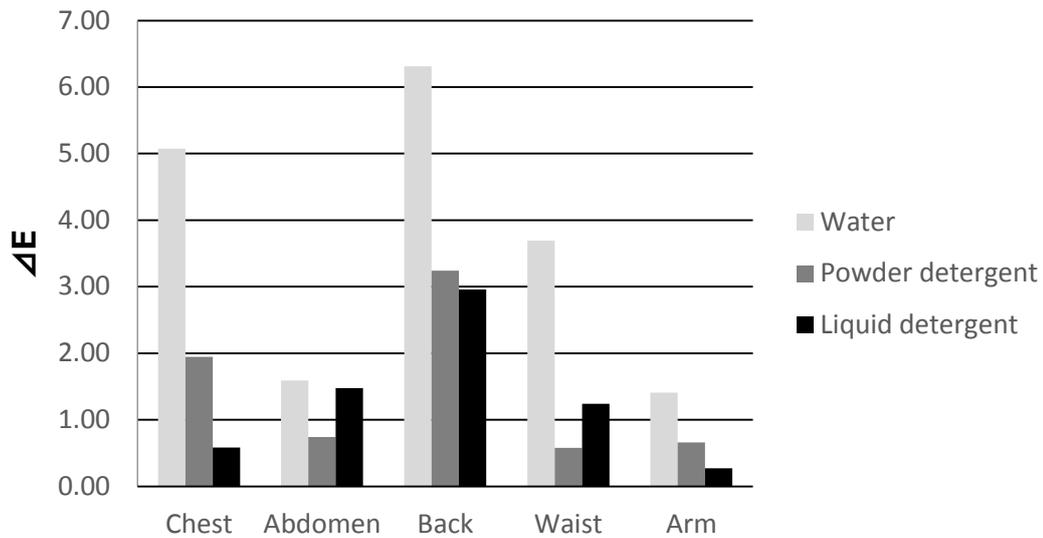


Fig. 3.11 Change of ΔE of sportswear after 10-cycle (Front)

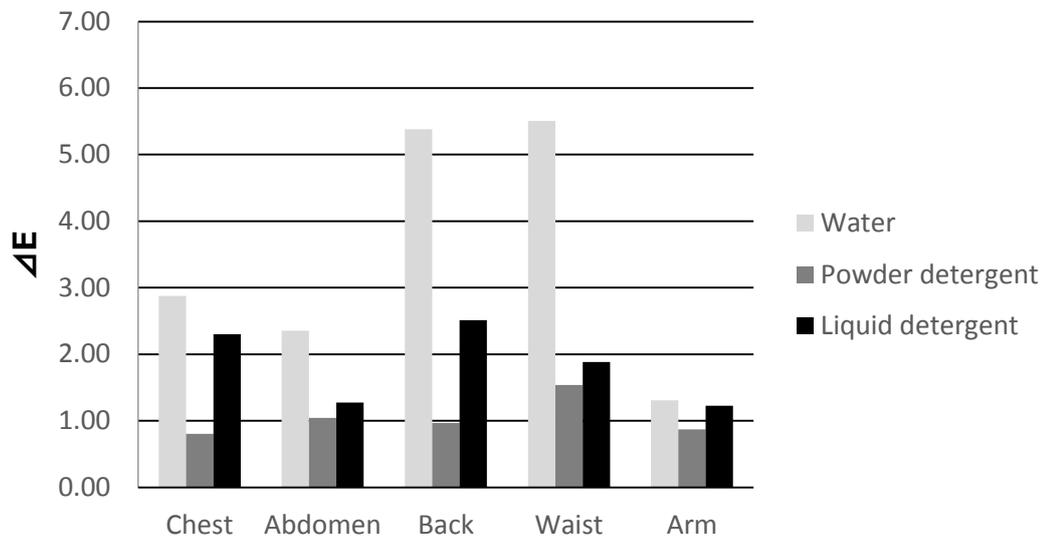


Fig. 3.12 Change of ΔE of sportswear after 10-cycle (Back)

次に、測定部位から見ると、他の部位より背中上部が非常に高い数値を表している。人間が運動を行っている時、汗や皮脂が分泌されるが、その量は人体の部位によって異なり、Fig. 3.13 に示すように Back>Waist>Abdomen>Chest>Arm の順で分泌量大きくなることが知られている。今回の着用試験からの部位別の色差 ΔE の結果は、Fig. 3.13 と同一であった

ことから、スポーツウェアの変色程度は人体から分泌される皮脂分泌量の違いによるものといえる。

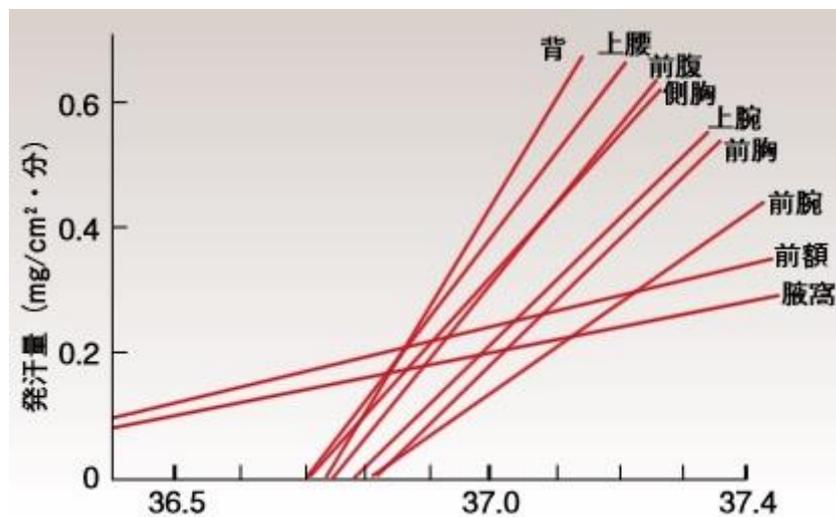


Fig. 3.13 Secretion of sweat by human body ⁸⁾

3.4. 結論

機能性スポーツウェアが広く使用されることから、本章では、上半身用の機能性スポーツウェアについて、実際にそのスポーツウェアを着用して運動を行い、洗浄してまた着用する繰り返しにより、スポーツウェアに起きる変化について検討した。

スポーツウェアの着用・運動・洗浄の繰り返しの回数が増えると、寸法変化が大きくなった。着用・運動・洗浄を繰り返すことでスポーツウェアの伸縮性が劣化していく。特に、スポーツウェアのニット構造の特性によって、ウェール方向よりもコース方向で寸法変化が大きく発生した。また、スポーツウェアの洗浄に使用される市販洗剤の影響を受け、測定部位の寸法変化と黒ずみや黄ばみの発生による色差が異なった。

粉末洗剤を用いた洗浄では繰り返しの着用試験をするほどコース方向は伸びやすくなり、ウェール方向は伸びにくく、一方、濃縮液体洗剤を用いた洗浄では、全ての測定部位の寸法変化が一番大きくなり、コース方向の寸法変化は粉末洗剤の場合よりも大きく表れた。また、試験衣料の部位による色差は、運動時に人体から分泌される汗や皮脂量に相関していた。すなわち、分泌量が多い背中とウエストの部位の変色が一番大きく、分泌量の少ない腕部の変色が一番小さかった。本章の結果から、洗剤成分である界面活性剤の影響の他にも、運動している時に人体から分泌される汗や皮脂汚れなどが繊維に付着し、洗浄で除去できなく繊維の間に残留して、繊維の伸縮性と色の変化に影響を与えることが示唆された。

参考と引用

- 1) 有賀 誠司, 競技スポーツのウエイトトレーニング, (株)体育とスポーツ出版社 (2007)
- 2) 矢野 雅知, Holistic conditioning No.1, (株)スキージャーナル
- 3) 池上晴夫, 運動処方理論と実際, p.108~109, 朝倉書店 (1990)
- 4) 杉田 満, 繁田 明, キッチン人工大理石調理台の汚れと手入れ実態, 花王 information, p.4 (2013)
- 5) Gary Kamen, This is a translation of Foundations of Exercise Science, 西村書店(2012)
- 6) 崔源政, 無縫製ニットウェアの力学的性能と感性評価に関する基礎研究, p.62~77, 文化学園大学大学院 (2014)
- 7) 鄭好根, 男子体操スポーツ体型と標準体型の上半身原型の比較, p.101~106, 文化学園大学大学院 (2012)
- 8) 菅谷 潤壹, 小川 徳雄ら, 温熱性発汗発 現の部位差と発汗能との関係, 日本生気象学会雑誌, Vol.18, No.2, p.74 (1981)
- 9) M. Senthilkumar, N.Anbumani, Dynamics of Elastic Knitted Fabrics for Sports Wear, Journal of industrial textiles, Vol. 41, No. 1, p.13~24 (2011)
- 10) 田村 照子, 衣環境の科学, p.51~61, 建帛社, (2012)
- 11) 中井 誠一, 芳田 哲也, 寄本 明, 岡本 直輝, 森本 武利, 運動時の発汗量と水分摂取量に及ぼす環境温度(WBGT)の影響, 体力科学, Vol.43, p.283~289 (1994)
- 12) 近藤 徳彦, 人の体温調節反応, 神戸発達科学部研究, Vol.5, No.2, p.55~66 (1998)
- 13) Senthilkumar Mani, N.Anbumani, Dynamic Elastic Behavior of Cotton and Cotton/Spandex Knitted Fabrics, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol.9 p.93~100 (2014)

第4章

スポーツウェアの洗浄性

4. スポーツウェアの洗浄性

4.1. 目的

近年、人々の生活が豊かになるにつれて健康志向が高まり、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。運動する際に着用されるスポーツウェアは其々のスポーツ用途に合わせて開発が行われ、上着から下着まで様々なものが販売されている。また、最近ではスポーツウェアが有する伸縮性は着やすさや、手軽さおよび機能性をもっており、これらの要素が普段着にも取り入れられ、スポーツをしない人たちでも、知らずにスポーツウェアの要素が取り入れられた機能性衣料を手にする機会が多くなっている。

第3章では、人体から出る汗や皮脂などの内部の要因だけで、着用と運動、洗浄を繰り返すことによるスポーツウェアの変化について検討し、スポーツウェアの着用・運動・洗浄の繰り返しの回数が増えるほど、寸法変化が大きくなり、特に、スポーツウェアの構造の特性に従ってウェール方向よりもコース方向で寸法変化が大きいことが明らかとなった。

スポーツウェアのように伸縮性を有する機能性衣料には、ポリエステルとポリウレタンのような合成繊維が用いられている。これらの繊維は疎水性であることから油汚れが付着しやすく、また洗浄によって除去されにくく、繊維の間に油汚れが多く残留してしまう性質がある。これらの汚れは、繊維に残留すると保温性や通気性、吸水性の低下が起き、そして汚れを栄養源として細菌の繁殖による臭気発生などや衛生面での低下も起きてくる。日常生活では生活環境および人体に由来する汚れが着用した衣服に付着し、その汚れを除去するために洗濯が行われる。その際に用いられる洗剤には様々な種類があり、第3章の着用・洗濯試験では、洗剤の種類が液体洗剤と粉末洗剤でスポーツウェアの変化が異なっていた。

そこで、本章では試験衣料である機能性スポーツウェアの油汚れ洗浄性に注目し、洗剤に含まれる界面活性剤の種類、スポーツウェアの編み構造、およびポリウレタン含有の影響について検討した。

4.2. 実験方法

(1) 試料布

前章で使用したポリウレタンを含むD社の機能性スポーツウェア (Compression Type) を用いた。また、同じ会社で販売されているスポーツウェアの中で、素材がポリエステル 100% で伸縮性を持つタイプで、繊維の編み方が異なる Loose Type と Fitted Type の 2 つのタイプを加え、合計 3 種類の試験衣料を用いた。これらのスポーツウェアと比較するため、JIS 染色堅ろう度試験の添付白布 (綿 100%およびポリエステル 100%) の 2 種類を用いた。本研究に使用したこれらの試料布の素材や構成を Table 4.1 に示す。ここで、本研究で使用されている試料布の構造は、デジタルマイクロスコープ(VHX-1000、キーイエス製)を用いて、それぞれの試料布を観察し、洗浄性の評価に用いた。

Table 4.1 Each sample of Structure

	JIS Cotton	JIS Polyester	Loose	Fitted	Compression
Fabric	C100%	P100%	P100%	P100%	P84%/Pu16%
Structure	Plain Fabric	Plain Fabric	Plain Knitting	Rib Stitch	Plain Knitting

(2) 試料布の作製

JIS 添付白布の 2 種類(綿 100%、ポリエステル 100%)と D 社の 3 種類(Loose、 Fitted、 Compression)の試験衣料から、ウェール×コース(50 mm×50 mm)の大きさでカットして、試験布とした。Fig. 4.1 に示すように、油汚れの汚染液は、100 mlの三角フラスコに食用のサラダ油(ナタネ 100%)1.5g と油溶性染料(Oil Red 5B)0.01g をヘキササン 50 mlに加え、超音波を 1 分間かけ、溶解して調製した。次に Fig. 4.2 に示すように、作成した油汚れ汚染液をマイクロシリンジを用いて布 1 枚に 200 μ lを滴下して、油汚れ汚染布を作製した。油汚れ汚染布は、65%・20°Cの恒温恒湿室で 1 日保管した後、洗浄試験に用いた。

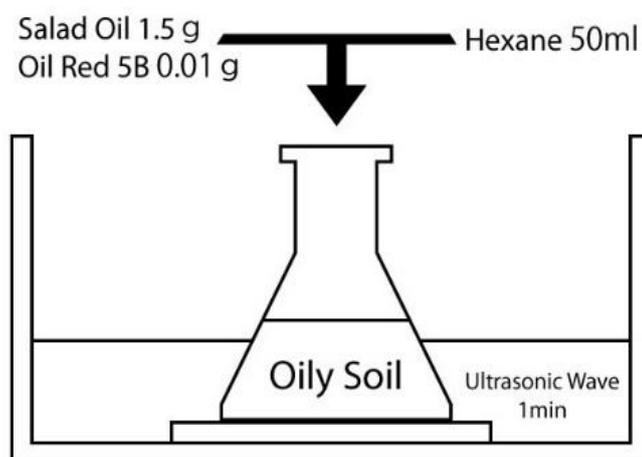


Fig. 4.1 Preparation of Oily soil

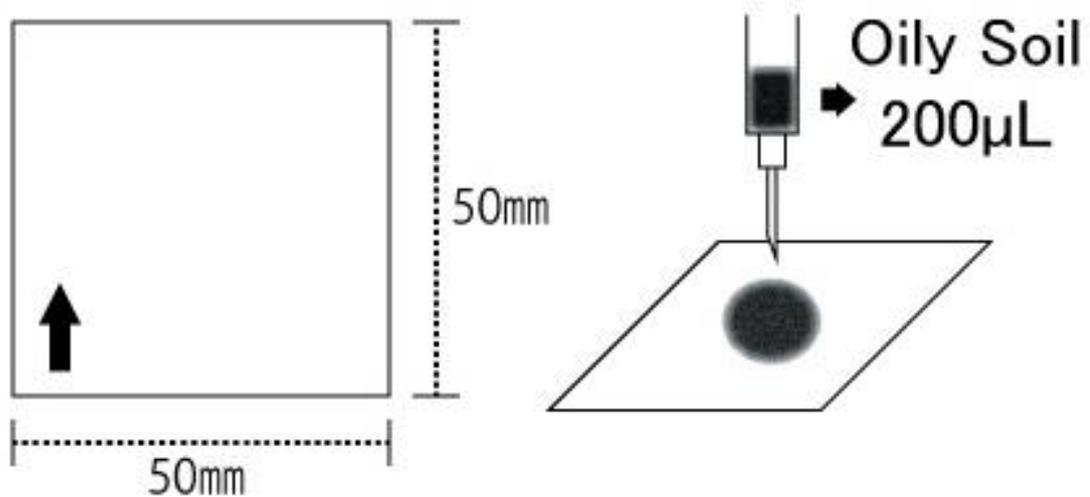


Fig. 4.2 Preparation of Oily soiled swatch

(3) 洗浄試験

5種類の試験布に付着した油汚れに対する洗浄力は、以下のようにして測定した。洗浄力試験に用いた洗浄機は、JIS K 3362の攪拌式洗浄力試験機の Terg-O-Tometer (MS-8212/上島製作所製)を用いた。

洗浄水溶液は、界面活性剤として粉末洗剤の主成分である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、液体洗剤で使用されるポリオキシエチレンアルキルエーテル付加8モル(E08、花王製)を用い、一般的な使用濃度である0.03%に調製したものをを用いた。また、市販の濃縮液体洗剤と粉末洗剤を用い、これらは洗剤に表示してある使用濃度(濃縮液体は0.033%、粉末は0.0833%)の目安を参考に洗剤溶液を調製して用いた。

洗浄試験は、Fig. 4.3のように洗浄水溶液の10倍濃度の溶液を母液とし、希釈して所定濃度にした溶液900mLを試験浴に加え、油汚れの汚染布5枚と補助布を合わせて30gとした布を加えて、洗浄を行った。20°C、回転数120rpmで10分洗浄の後、3分間のすすぎ、1分間の脱水をした。その後、アイロンを用いて乾燥し、試料布の洗浄性は次に示す評価により求めた。

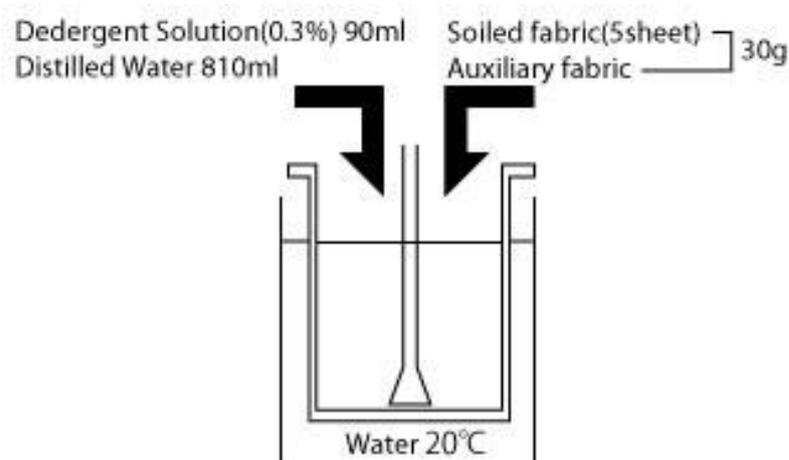


Fig. 4.3 Washing method

(4)洗浄性の評価

それぞれの洗剤水溶液で洗浄した試料布の表面反射率を、分光式色彩計(SE6000/日本電色工業(株))を用いて測定した。洗浄前後の試料布の表面反射率 (y 値)から、Eq. 4.1 に示す Kubelka-Munk 式を用いて洗浄効率(D)を求めた。また、デジタルマイクロスコープ(VHX-1000、キーイエス製)を用い、試料布の、洗浄前後の試料布の表面変化を観察した。

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad \longrightarrow \quad D_{K/S} = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_o} \times 100(\%)$$

R_{∞} : Absolute reflectance
 K : Absorption coefficient
 S : Scattering coefficient

$(K/S)_o$: Standard adjacent fabric
 $(K/S)_s$: Artificial soiled fabric
 $(K/S)_w$: Washing fabric

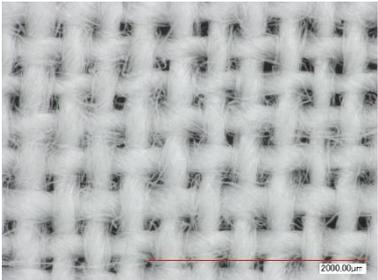
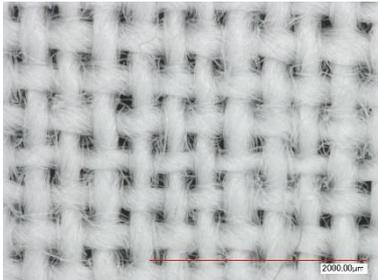
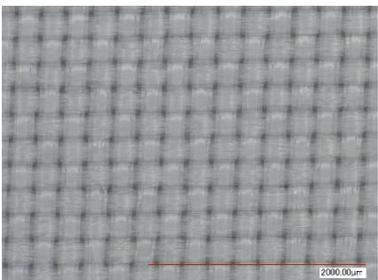
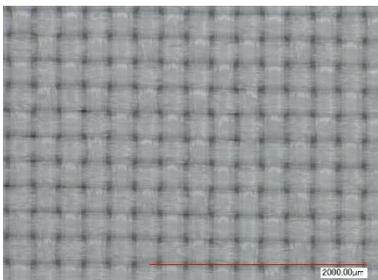
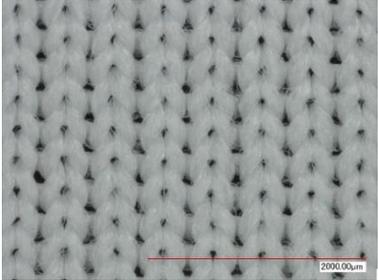
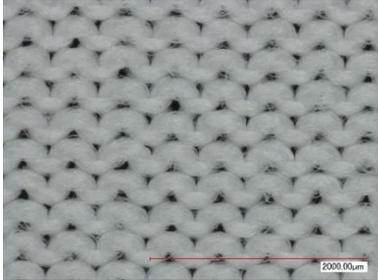
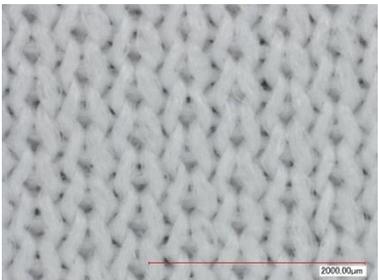
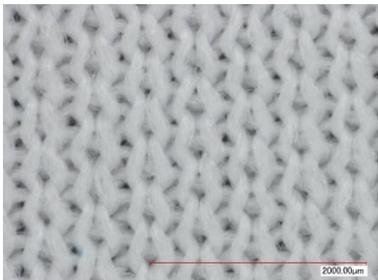
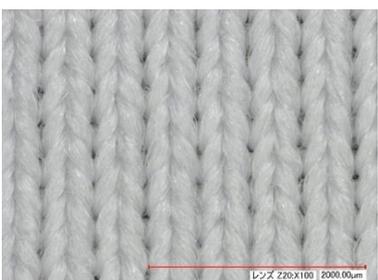
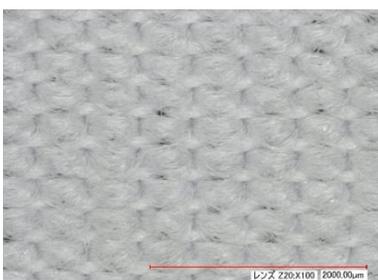
Eq. 4.1 Kubelka-Munk Equation

4.3. 結果および考察

(1) 洗浄前の表面観察

洗浄性の評価に用いる試料布の構造を顕微鏡で観察した結果を Table 4.2 に示す。スポーツウェアと比較するために JIS 添付白布の綿とポリエステル（平織）を用いた。

Table 4.2 Surface of test fabric before washing

		Front	Back
JIS	Cotton		
	Polyester		
Sport wear	Loose P100%		
	Fitted P100%		
	Compression P84%/Pu16%		

一方、3種類のスポーツウェアは、一般に使用されているニット構造である。しかし、3種類とも構造が異なっており、伸縮性も異なってくる。Fittedタイプは、同じ繊維である Loose タイプと編み構造が異なるゴム編みであった。ゴム編みは平編みに比べて大きい伸縮性を持っていることから、ニット構造によって伸縮性が変わると考えられる。また、Compression タイプのように最も伸縮性を持っているものは、Loose タイプと同一なニット構造であるが、ポリウレタンを含有していることと糸密度は小さいが編みのループの大きさが異なることでさらに大きい伸縮性を得られると考えられる。

3種類のスポーツウェアの構成要素を測定した結果を Table 4.3 に示す。スポーツウェアの糸密度は、コース方向では同一の数であったが、ウェール方向では Loose > Composition > Fitted の順で少なくなった。また、スポーツウェアの平面重と糸の太さについても Loose > Compression > Fitted の順で数値が小さくなっていた。布の厚さに関しては、他の構成要素と異なり、Compression > Loose > Fitted の順であった。これらの結果から、スポーツウェアの構成要素の関係を見ると Loose と Fitted には相関関係がなかったが、Compression タイプでは、糸の太さと平面重の相関関係が大きかった。これらの結果から、Compression タイプは Loose と Fitted と違い、ポリウレタンが含有されていることで繊維の構成要素に影響を与えたと考えられる。

Table 4.3 Charactoers of sportswear

		Loose	Fitted	Compression
Plane weight (g/m ²)		170.66	135.73	160.22
Thickness of fabric (A unit: mm)		0.40	0.39	0.45
Thickness of yarn (A unit: μ m)		525.08	490.68	537.36
Yarn density (n/inch)	Wale	88.90	63.50	82.55
	Course	57.15	57.15	57.15

スポーツウェアの繊維の隙間を測定するため、前章で使用した分光測色計 Spectrophotometer (cm-3700d / コニカミノルタ製) を用いて色差 (ΔE) を求めた。黒い紙を背景色とし、その上にそれぞれのスポーツウェアを載せて測定した結果を Fig. 4.4 に示す。

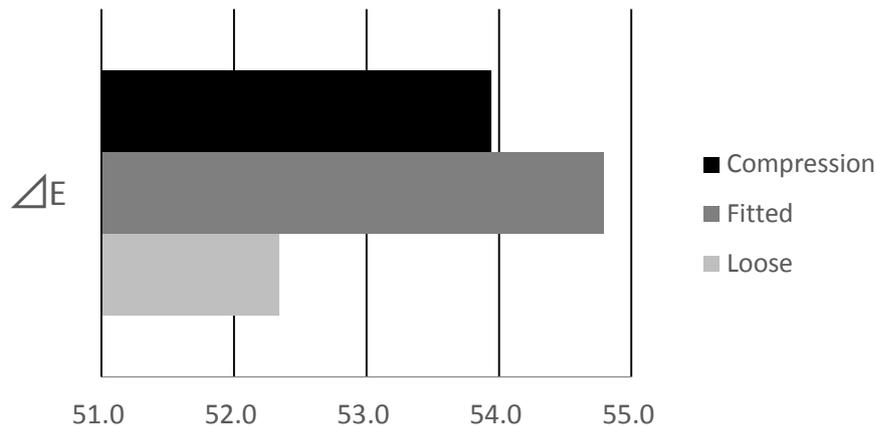


Fig. 4.4 The gap between the sportswear fibers

繊維間の隙間が大きいと背景の黒が多くなり、 ΔE の数値は小さくなる。今回、使用したスポーツウェアは、Fitted > Compression > Loose の順で数値が小さくなり、Loose タイプが最も大きい隙間を持っていることが分かった。これらの結果とスポーツウェアの構成要素である糸の太さや平面重、布の厚さなどに差があり、これらがスポーツウェアの特性に影響するものと考えられる。

(2) 洗浄性の評価

① スポーツウェアの洗浄力

試料衣料である Compression タイプのスポーツウェア、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、これらの汚染布を市販で販売されている粉末洗剤と濃縮液体洗剤、そして粉末洗剤と濃縮液体洗剤の中で含んでいる界面活性剤、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS-Na) とポリオキシエチレンアルキルエーテルの付加 8 モル (EO8) の 4 種類の洗浄液を用いて洗浄した結果を Fig. 4.5 に示す。それらの結果にはバラツキが少なかった (S.D < 1.2)。

油汚れの洗浄力は、4 種類の洗剤溶液の全てにおいて JIS 綿布で最も高く、JIS ポリエステル布および試験衣料である Compression タイプ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、疎水性繊維からは除去されにくいことが知られている。

試験衣料は合成繊維であるポリエステルとポリウレタンで構成されており、疎水性繊維であるため、今回の結果のように油汚れの洗浄力が低かったと考えられる。合成繊維の 3 種の試験布で比較するとポリウレタンを含んでいる Compression タイプのスポーツウェアが最も低い値となり、JIS ポリエステル布と比較しても、低い洗浄力を表した。このことからポリウレタンが含まれると油汚れの洗浄力に影響を与えることが明らかとなった。

洗浄液の種類による油汚れの洗浄力を比較すると、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濃縮液体洗剤の洗

浄力とほぼ同じであった。しかしこれらの洗浄液よりも、陰イオン界面活性剤の LAS-Na および陰イオン界面活性剤を主成分とする粉末洗剤の方が高い洗浄力を示した。これは、油汚れに用いたサラダ油は極性油である脂肪酸を多く含むなたね油を用いたことと、ポリエステル繊維の化学構造は芳香族を有していることから、なたね油/ポリエステル界面において LAS-Na はなたね油とポリエステルの両方に親和性が高く、極性油の油汚れ界面への浸透性に優れ、除去に効果的であったと考える。

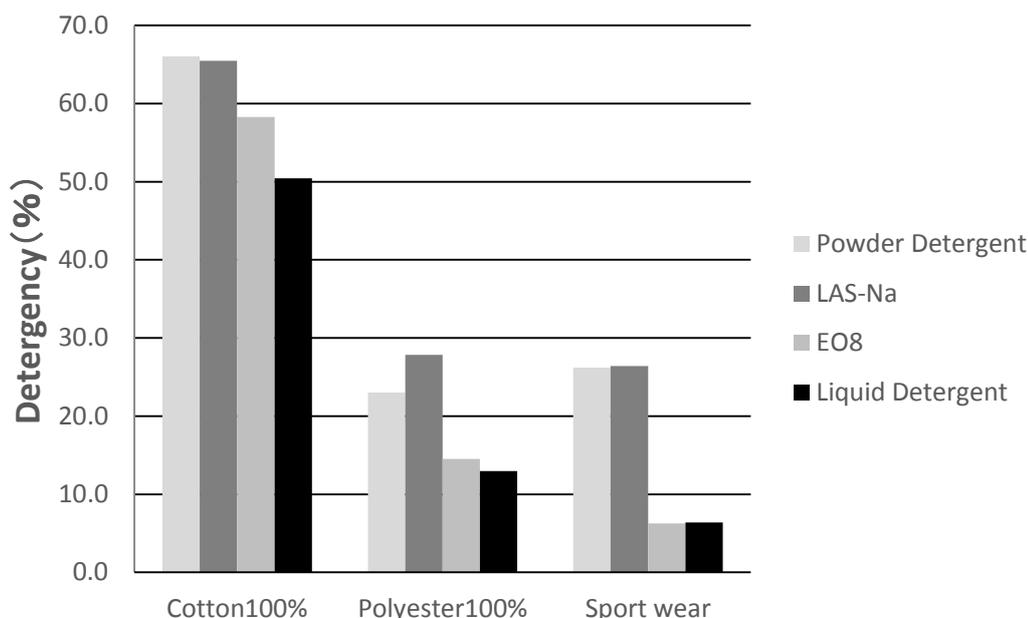


Fig. 4.5 Wash ability of Oily soil

試料衣料に用いたスポーツウェアに注目すると、陰イオン界面活性剤をベースとする粉末洗剤と LAS-Na の洗浄力はほぼ同じであり、同様に非イオン界面活性剤ベースとする濃縮液体洗剤と EO8 の洗浄力にも大きな違いはなかった。市販洗剤には酵素やビルダーなどの洗浄力補助剤が用いられているが、スポーツウェアのようなポリエステル布では界面活性剤の種類が洗浄力に大きな影響を与えている因子であることがわかる。

②スポーツウェアの種類による洗浄性の違い

Compression タイプのスポーツウェアに付着した油汚れの洗浄性が非常に低いことから、その原因を検討するため、同じ会社で販売している伸縮性を持つポリエステル 100% のスポーツウェア 2 種を選定し、油汚れを付着して汚染布を作成し、前の実験と同様に市販洗剤の 2 種類と LAS-Na と EO8 の 2 種類の洗剤液で洗浄した結果を Fig. 4.6 に示す。それらの結果にはバラツキが少なかった(S.D<1.0)。スポーツウェアの種類による油汚れの洗浄力を比較してみると、ポリエステル 100% で編み構造の異なる Loose タイプと Fitted のタイプは洗浄力 85% 以上を示し、油汚れが除去されやすいことがわかった。これに対して、ポリエステルにポリウレタンが含まれている Compression タイプは洗浄力が 7% および 27% と低い値で

あり、油汚れが非常に落ちにくいことがわかった。この結果は、Table 4.3 に示すスポーツウェアの特性とのあいだに関係が見られず、編み方や糸の太さ、繊維の隙間など布の構造要素は油汚れの洗浄力に大きく影響しないと言える。むしろ、Fig. 4.6 の結果から、スポーツウェアの洗浄力は繊維素材にポリウレタンが入っていることが大きく影響することが明らかとなった。

また、界面活性剤の種類で比較すると、タイプが異なる 3 種のスポーツウェアにおいて、陰イオン界面活性剤である LAS-Na の方が非イオン界面活性剤よりも洗浄性が優れており、スポーツウェアに付着した汗や皮脂などの油汚れの洗浄においては、陰イオン界面活性剤の粉末洗剤の方が適していることが明らかとなった。

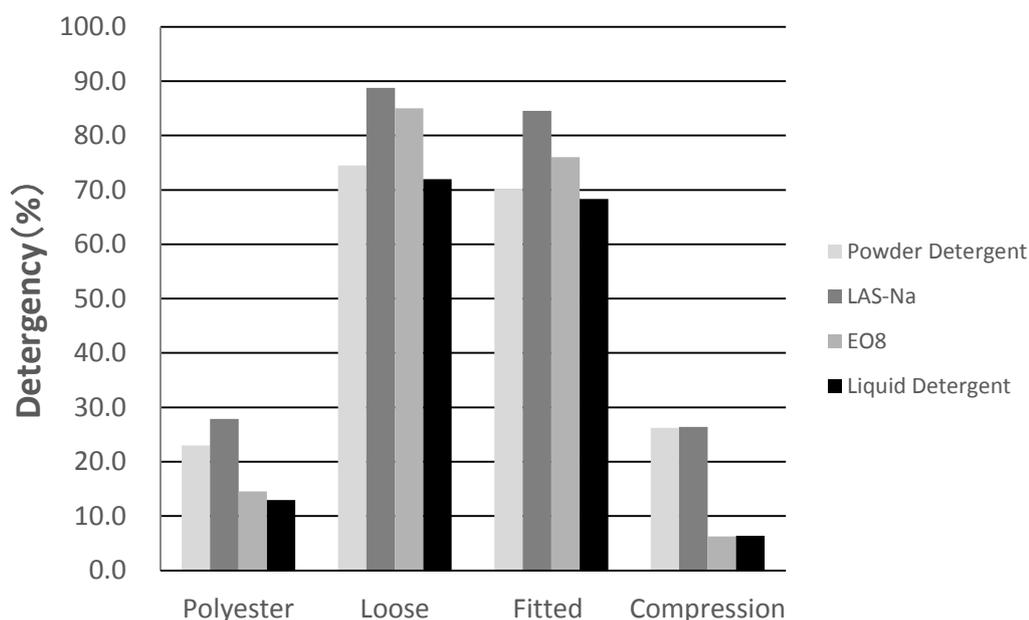
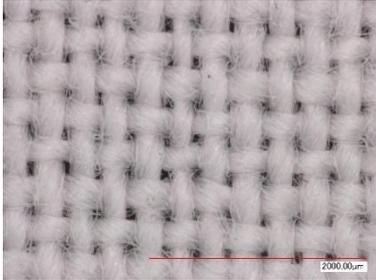
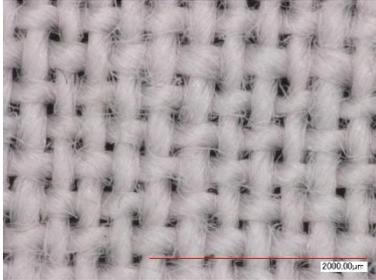
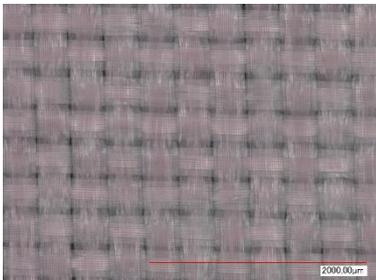
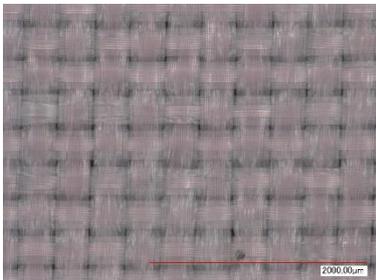
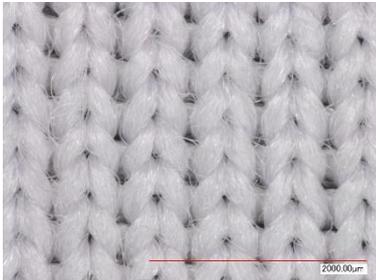
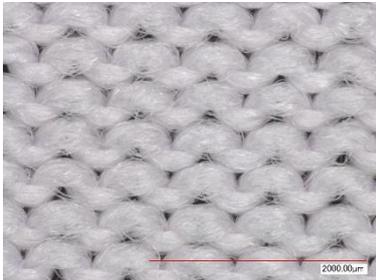
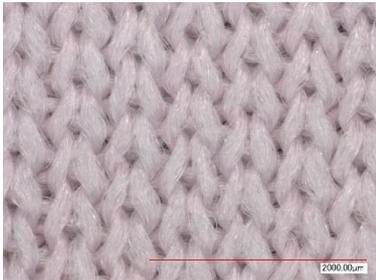
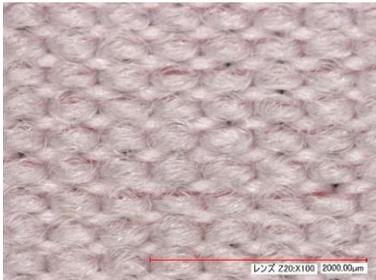


Fig. 4.6 Wash ability of Oily soil by sportswear types

(2) 洗浄後の表面観察

Compression タイプのスポーツウェアに付着した油汚れが、洗浄で非常に除去しにくかったことから、スポーツウェアの試料布を洗浄後に試料布を顕微鏡で観察した。その結果を Table 4.4 に示す。

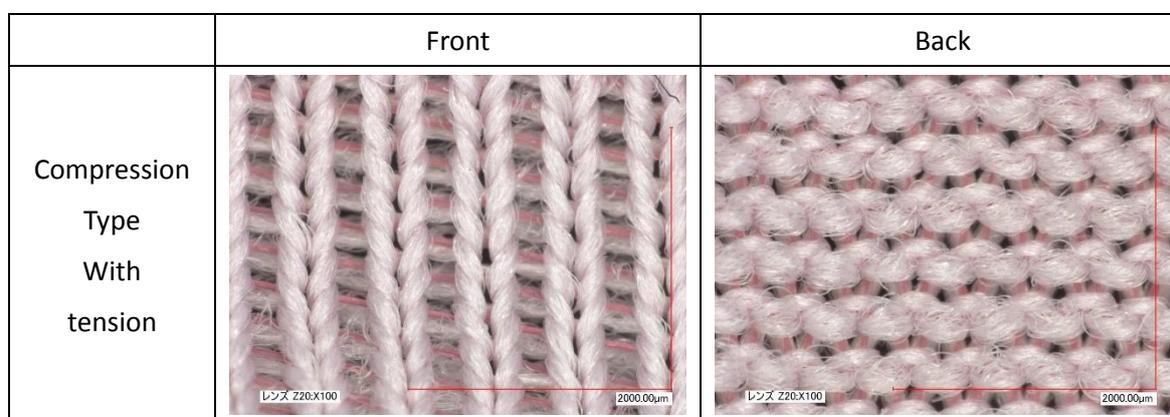
Table 4.4 Surface of test fabric after washing with LAS-Na

		Front	Back
JIS	Cotton		
	Polyester		
Sport wear	Loose		
	Fitted		
	Compression		

洗浄後の試料布の結果から、ポリウレタンが含有されている **Compression** タイプの裏に赤い繊維が観察された。その赤色繊維を更に見るため、コース方向にテンションをかけて観察したものを **Table 4.5** に示す。**Compression** スポーツウェアの素材にはポリエステルが 84%、ポリウレタン 16% で構成されていることから、赤色に染まっている繊維はポリウレタン繊維と考えられる。

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。その弾性は、繊維の非晶質部分が変形することによって発現し、伸縮性が生まれてくる。一般に合成繊維の非晶質部分は、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。ポリウレタンは非晶質部分を多く持つため、油汚れが非晶質部分に浸透して影響を受けやすく、工業材料としてポリウレタンを使用するには耐油性が必要とされている。一方、ポリエステルも非晶質部分を持っており、100℃以上の温度にすると高分子鎖の熱運動が激しくなり、物質が拡散浸透する⁵⁾ことが知られている。本実験では、常温で油汚れを付着させているので、油汚れはポリエステルの表面に付着しており、ポリウレタンには内部まで浸透していると考えられる。したがって、赤く染まっている繊維はポリウレタン繊維と断定できる。そして、洗浄後の写真から **Compression** タイプのスポーツウェアの構造は、**Fig. 4.7** に示すゴム編み構造であり、ポリウレタン繊維は赤色で示すように含まれていることがわかる。

Table 4.5 Surface of compression type after washing with tension



スポーツウェアに付着した油汚れの洗浄性について考えてみると、ポリエステルは繊維の表面に付着しているため洗浄による除去がしやすく、ポリウレタンは繊維の中に浸透しているために油汚れの除去が難しいと考えられる。したがって、**Fig. 4.6** に示すようにスポーツウェアでポリエステル 100% の **Loose** タイプと **Fitted** タイプの場合には洗浄力が高くなり、ポリウレタンが含有されている **Compression** タイプは洗浄力が低くなったと言える。また、洗浄後の写真から試験衣料であるポリウレタンの含有されているスポーツウェアの構造は、**Fig. 4.11** のように構成されていると推測される。

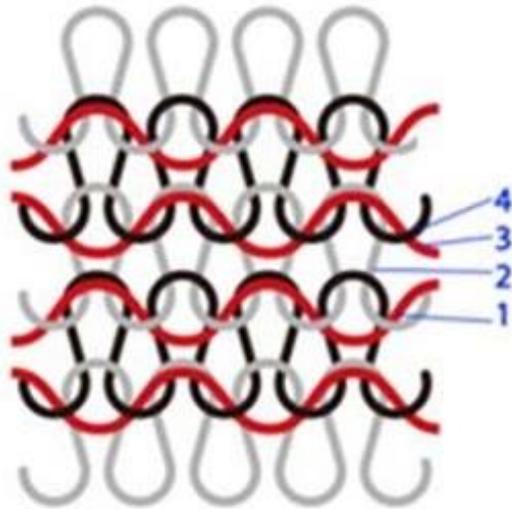


Fig. 4.7 The structure design of compression (Red : polyurethane)⁸⁾

1 : Polyurethane (Upper thread)

2 : Polyester (Upper thread)

3 : Polyurethane (Bottom thread)

4 : Polyester (Bottom thread)

4.4. 結論

機能性スポーツウェアの油汚れ洗浄性に注目し、洗剤に含まれる界面活性剤の種類、スポーツウェアの編み構造、およびポリウレタン含有の影響について検討した。

その結果、ポリエステルで主に構成される 3 種類のスポーツウェアに付着した油汚れの洗浄には、非イオン界面活性剤よりも陰イオン界面活性剤のほうが高い洗浄力を示し、スポーツウェアを着用時に付着する汗や皮脂などの汚れを落とすには陰イオン界面活性剤が適することが分かった。このことは、ポリエステル布に付着した油汚れの洗浄性は、繊維の編み方や糸の太さ、繊維の隙間などの布地の特性要素とは、あまり関係なくいことを示し、また界面活性剤としては油汚れとポリエステル繊維との親和性を有する陰イオン界面活性剤の構造が関係することが示された。

また、ポリウレタンを含むスポーツウェアは油汚れの洗浄性が著しく低いことから、油汚れがポリウレタンの非晶質部分に浸透拡散し、除去されにくいことが、明らかとなった。このことは、スポーツウェアを着用することで付着する皮脂汚れはポリウレタン繊維に残留し、非晶質部分の物性に影響を与え、第 3 章で示したスポーツウェアの着用・洗濯の繰り返しによる寸法の変化と深く関係することが判明した。

参考および引用

- 1) 成瀬信子, 基礎被服材料学, p.95~97, 文化出版局 (2011)
- 2) 牛腸ヒロミ, 米山雄二ら, 被服管理学, p.1~56, 朝倉書店 (2012)
- 3) 清嶋 展弘, スポーツウェアの品質・機能の観点から, 織消誌, Vol.44, No.10, p.571~577 (2003)
- 4) 三ツ井紀子, 奥山春彦, 吸汗・吸水性合成繊維布の再汚染性, 織消費, Vol.35, No.12, p.56~60 (1994)
- 5) 崔 源政, 李 有鎮, 米山雄二, ニット地の風合い評価値に及ぼす編成組織の影響, 材料技術, Vol.32, No.1, p.1~9 (2014)
- 6) 横山修三, 島内四郎, ラジオアイソトープをトレーサーとするポリエステル繊維の油性汚れの研究, 織消費, Vol.23, No.9, p.449~454 (1967)
- 7) 白岩治己, 動的粘弾性測定によるポリエステルフィルム中への油性物質の拡散の検討, 織消費, Vol.36, No.41, p.396~401 (1995)
- 8) Rong Liu ら, Impact of Weft Laid-in Structural Knitting Design on Fabric Tension Behavior and Interfacial Pressure Performance of Circular Knits, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Vol 8, Issue 4, p.98 (2013)
- 9) 竹内 功, ストレッチ素材についてのクリーニング情報, 洗濯の科学, Vol.42, No.4, p.28~30 (1997)
- 10) 松崎 建, 競技水着の変遷と最近の水着, 洗濯の科学, Vol.47, No.1, p.18~23 (2002)
- 11) 佐々木 麻紀子, 角田 薫, 藤居 眞理子, 洗濯用洗剤の洗浄性「洗浄時間の影響」, 東京家政学院大学紀要, Vol.54, p.41~47 (2014)

第5章

スポーツウェアの強度変化

5. スポーツウェアの強度変化

5.1. 目的

第3章での着用試験および第4章の油汚れに対する洗浄性に関する検討から、スポーツウェアを着用して運動を行った際に、付着する皮脂汚れは布素材のポリエステルよりもポリウレタンの非晶質部分に入り込みやすく、洗浄しても油汚れが落ちにくく残留することがわかり、さらに残留した油汚れのポリウレタンの伸縮性に関する非晶質部分に影響して、寸法変化が起きることが判明した。また、これらの着用・洗濯試験ではこの他にも寸法変化に影響する因子として、着用時の温度、伸縮ストレス、および洗剤に含まれる界面活性剤の浸透拡散の影響が考えられる。

そこで、本章では、実際に運動する時にスポーツウェアに加えられる因子、すなわち、繊維に付着する油汚れ以外の因子として、伸縮ストレス、着用温度、洗濯する時に使用する洗剤の界面活性剤について、試験布の伸縮に及ぼす影響を検討した。

5.2. 実験方法

(1) 試料布の調製

前章の着用試験および洗浄性の評価で使用した試験衣料と同じD社の上半身用のスポーツウェア3種類、Loose, Fitted, Compressionタイプを用いた。それぞれのスポーツウェアの素材と編み構造をTable 5.1に示す。

Table 5.1 Structure & Fabric of each samples

	Loose	Fitted	Compression
Fabric	Polyester 100%	Polyester 100%	Polyester 84% Polyurethane 16%
Structure	Plain Knitting	Rib Stitch	Plain Knitting

スポーツウェアは編み構造になっていることから伸縮性を試験する方法として、JIS-L1909 織物及び編物の生地試験方法の一つにある伸縮織物及び編物の伸縮性を測定する定荷重法（D法）に準拠した。Fig. 5.1に示すように機能性スポーツウェア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300mm×50mmと50mm×300mm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。

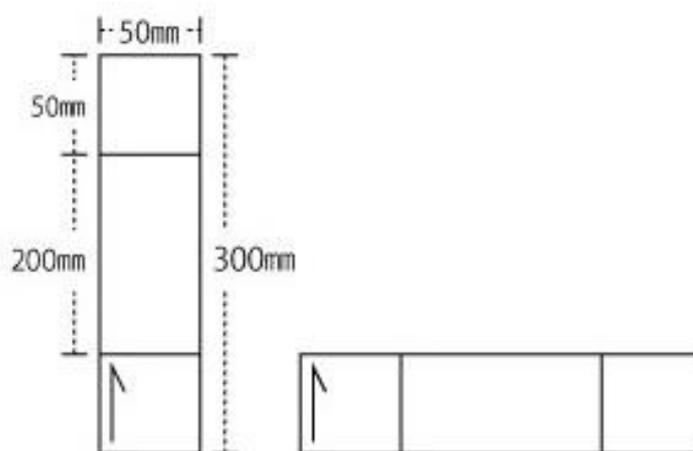


Fig. 5.1 Size of Test fabric

2) 試料布の条件

試験衣類からカットした試料布の中央部分200mmに、皮脂汚れ付着や伸縮ストレスなどの処理条件を加えた。その処理条件の組み合わせをTable 5.2に示す。ここで●は処理を加えたことを表す。

Table 5.2 Processing conditions of samples (Compression type)

	C1	C2	C3	C4	C5
Elastic Stress		●	●	●	●
Adhesion of Oily Soil			●	●	●
Washing with LAS-Na				●	
Washing with EO8					●

それぞれの処理の方法を以下に示す。

a) 伸縮ストレス： インキュベータ振とう機（IK41/ヤマト科学製）の可動部分に試験布の両端を取り付け、温度 10℃、20℃、50℃において Fig. 5.2 のように試料布に伸縮ストレスを加えた。伸縮の長さは、最大 240 mmから最少 180 mmの間で 1 分間に 70 回の伸縮ストレスを加えた。この 70rpm という伸縮条件は以下のような適正運動サイクルをもとに考えて設定した。人体に有効な運動は、最大心拍数の 60%～80%を維持した運動と言われており、一般的には心拍数は 130 程度である。運動をしていない安静時の心拍数は約 60 であることから、その差となる 70 が効果的運動サイクルとなる。

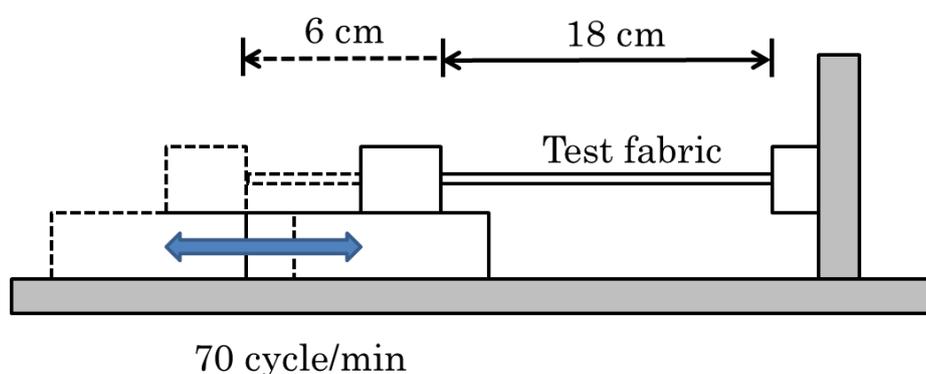


Fig. 5.2 Equipment used in Stress of sample

また、伸縮ストレスの長さについては、上半身の部分で最も伸びが大きい肘に注目した。Fig. 5.3 に示すように、肘頭点を中心に上 4cm、下 4cm の部分に測定点を設定し、腕を 135°まで曲げた時の長さを計測した。被験者は、男性、女性それぞれ 10 人を測定した結果を Table 5.3 に示す。その結果、男女差があまりなく、平均 4cm であったことから、これを参考に伸縮ストレスの長さを設定した。

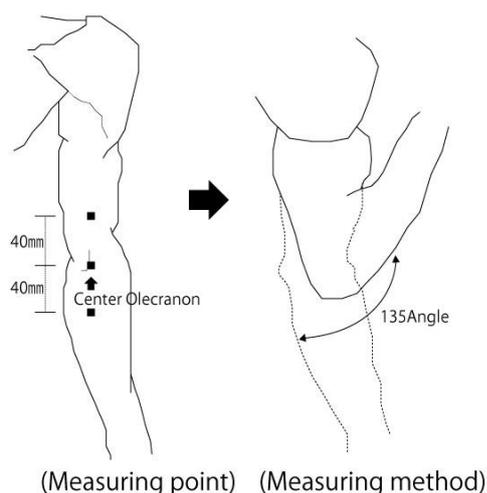


Fig. 5.3 Measurement of bend length

Table 5.3 Bend Length at elbow of 20 peoples

	Women	Men
①	4.5	4.0
②	3.8	4.0
③	4.1	4.1
④	3.8	4.3
⑤	4.0	3.8
⑥	3.9	4.0
⑦	3.8	4.0
⑧	3.9	3.8
⑨	3.8	3.9
⑩	4.2	4.3
M	4.0	4.0
SD	0.23	0.18

(単位 : cm)

b) 油汚れ付着 : 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 に溶解した汚染液をマイクロシリンジで 500 μ L 分取し、試料布 1 枚に滴下して汚染し、室内乾燥した。

c) 洗浄処理 : Terg-O-Tometer (MS-8212、上島製作所製)を用い、20 $^{\circ}$ C、回転数 120rpm で 10 分洗浄を行い、1 分間のすすぎをした後、室内で平干しして乾燥した。洗浄液は、第 4 章の油汚れの洗浄力試験で使用した界面活性剤と同じ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、花王製)の 2

種類を用い、洗剤水溶液の濃度は 0.03%とした。

以上の作製した試料布は、恒温恒湿室(65%、20℃)で 1 日保管した後、引張試験に用いた。

(3) 引張試験

1) 引張試験の測定方法

引張実験の測定は、JIS1096 の定荷重法(D 法)を参考にし、Fig. 5.4 に示す装置に試料布を吊るし、Marker No.2 に試料布を 200 mmの線に合わせた後、試料布の先に 120g の重りを取り付けて徐々に伸ばし、1 分後に重りによって伸ばされた線を Marker No.1 を用いて線に合わせた後、試料布の先にある重りを取り外す。その後、Marker No.2 と Marker No.1 の長さをノギス (DIGITAL CALIPER、シンワ測定製) を用いて計測した。

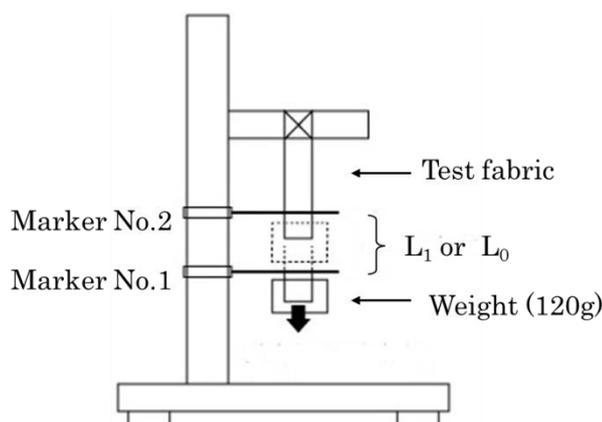


Fig. 5.4 Measurement of stretch length

また、それぞれの条件で処理した試料布の伸長量の変化率(%)は、Fig. 5.5 のように、何も処理を加えてない原布の伸長量(L₀) に対する試料布の伸長量(L₁)の変化率として算出した。引張り試験は、同一条件で処理した試料布 3 枚を用い、試料布 1 枚について 5 回の引張り試験を実施し、合計 15 回の測定を行った。なお、5 回の試験のインターバルは JIS-L1096 に準拠して 1 分とした。



Fig. 5.5 The method for Change of stretch length

5.3. 結果および考察

(1) 着用試験の条件化における伸長変化

第 3 章の着用試験において試験衣料に加わったと考えられる条件、C2～C5 を試料布に処理した場合の伸長量の変化を、試料布のウェール方向とコース方向について、それぞれ Fig. 5.6 と Fig. 5.7 に示す。

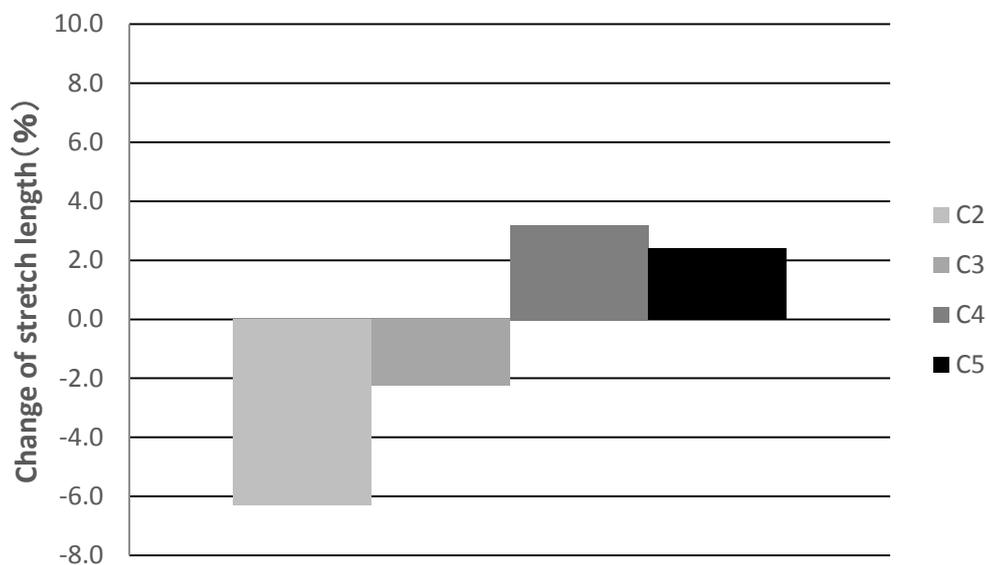


Fig. 5.6 Change of stretch length of wale direction at various conditions (20°C)

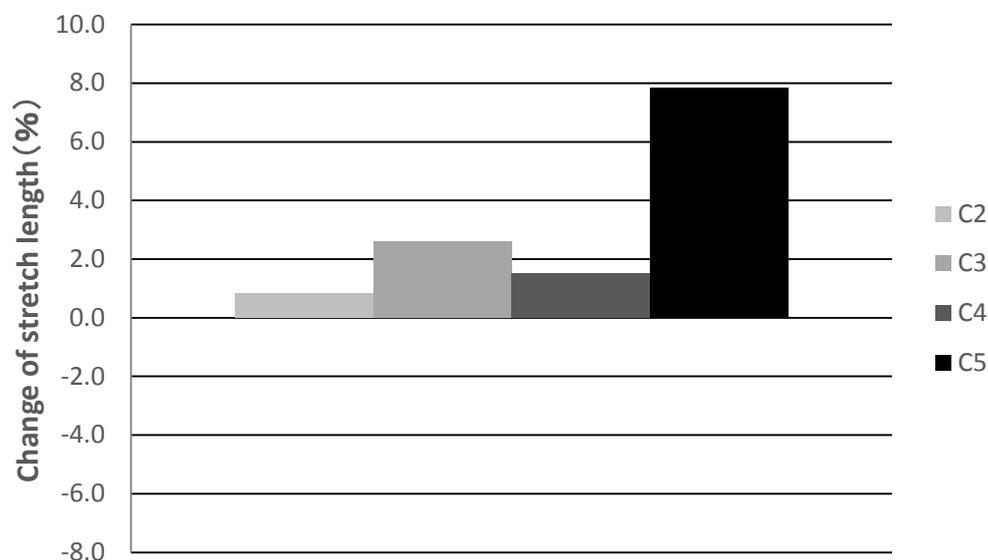


Fig. 5.7 Change of stretch length of course direction at various conditions (20°C)

試験布に対して 70rpm で伸縮ストレスだけを加えた C2 の条件の結果を見ると、ウェール方法の伸長率が大きく減少しており、コース方向は伸長率がわずかに増加した。試料布の編み構造であるゴム編みは、毛糸の場合では引張りストレスを加えた場合には形崩れや回復性

が優れている⁴⁾と報告されている。同じゴム編みでも合成繊維であるスポーツウェアの結果では、ストレスを加えた後の引張り試験ではコース方向はあまり変化ないものの、ウェール方向は非常に伸びにくく、回復性が悪くなることを示した。この違いは、繊維素材が異なる要因もあるが、先行研究の引張り試験条件は距離:30 mm、繰り返し:20 回であるのに対して、本実験の引張り試験では距離:40 mm、繰り返し:4200 回であり、伸縮ストレス条件が厳しいことが影響している。この厳しい条件であるため、ウェール方向では変化が大きく表れて回復性が悪くなったが、弾性繊維であるポリウレタンが含まれているコース方向では回復性が保たれることがわかった。

次に、ストレスと油汚れを一緒に加えた C3 の結果では、ストレスのみの C2 の結果と比較するとウェール方向もコース方向も伸びやすくなった。このことは、油汚れが試験衣料の繊維表面に付着したことで、繊維の間の摩擦を減らして動きやすくなったと考えられる。

試料布にストレスと油汚れと洗浄を行った C4 と C5 の結果では、洗浄に用いた界面活性剤の種類によって伸長さの変化は大きく異なった。ウェール方向では、陰イオン界面活性剤(LAS-Na)も非イオン界面活性剤(E08)も伸びやすくなったが、特にコース方向では、非イオン界面活性剤(E08)の方が非常に伸びやすくなった。このように、試験衣料に油汚れの付着と洗浄に使用する界面活性剤の要因がスポーツウェアの伸縮性に大きく影響を与えていることがわかった。

(2)伸長さ変化に及ぼす温度の影響

試験布に伸縮のストレス、油汚れ、および洗浄を行う時に使用する界面活性剤によって伸長さ変化は影響されることがわかったが、スポーツウェアの使用条件を考えると、人間の体温は個人差や運動の経歴などによって異なるが、殆どの人間は運動している間に体温が40℃の近く上昇する^{1)~3)}と報告されており、また太陽光によるウェア表面の温度上昇も想定される。そこで、伸長さに及ぼす温度の影響を10℃(低温)、20℃(常温)および50℃(高温)で伸長ストレスを加えることで検討した。その結果を、試料布のウェール方向とコース方向について、それぞれ Fig. 5.8 と Fig. 5.9 に示した。

試料布に70rpmのストレスのみを加えるC2を各温度で行った結果を見ると、試料布の伸長さ変化は、ウェール方向とコース方向が違う傾向であった。ウェール方向は低温では伸びにくいものの、温度が50℃になると伸びやすくなり、原布に近い値となった。試料布のウェール方向は、ポリエステル強度と編み構造の伸縮に影響を受けるが、今回の環境温度やストレス条件ではポリエステルの変化が起きるとは考えにくく、試験衣料の編み構造に今回のようなストレスを加えたことによりズレが生じて試料布の変化が起き、さらに環境温度によって伸長さの変化が起きたと考えられる。

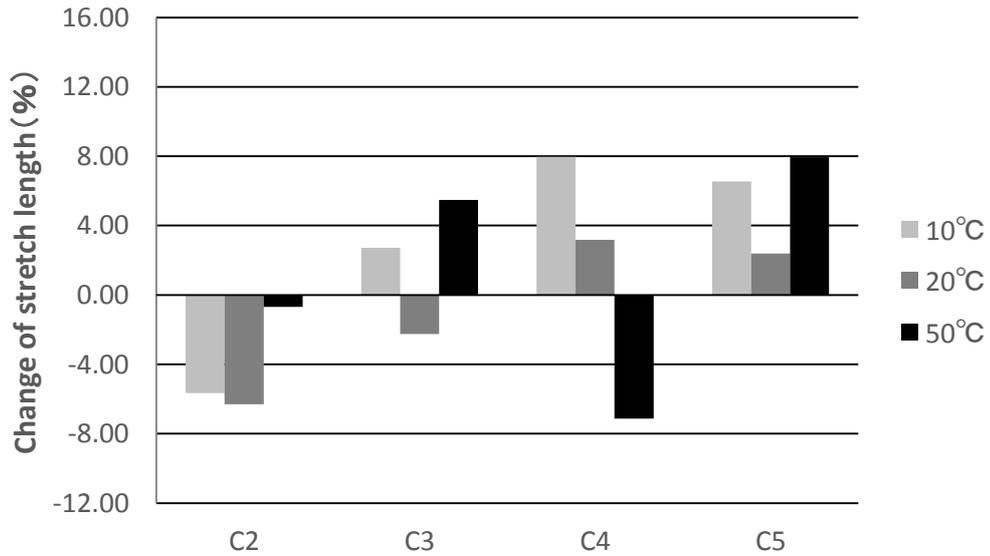


Fig. 5.8 Change of stretch length of wale direction at various temperature

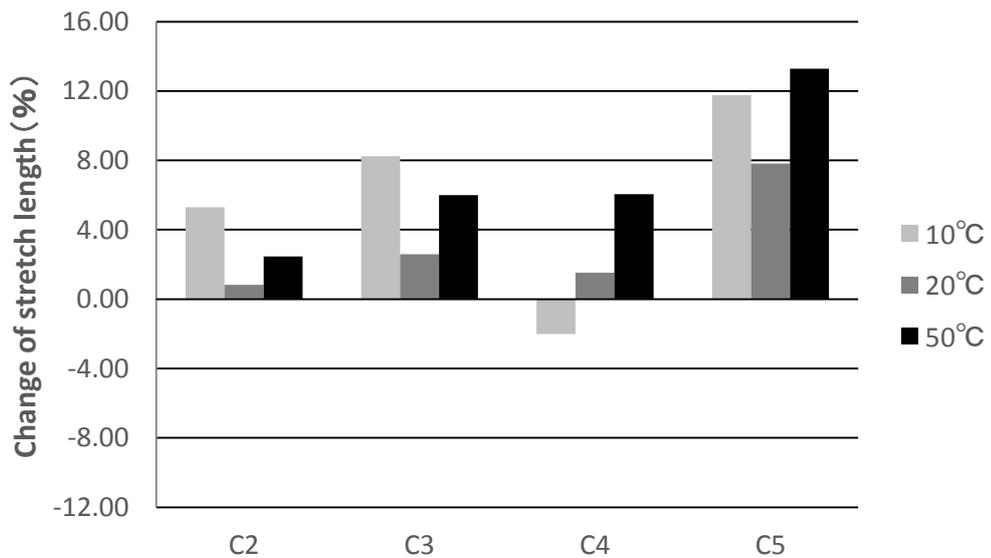


Fig. 5.9 Change of stretch length of course direction at various temperature

一方、コース方向は 10°Cが一番伸びやすく、20°Cで原布に近く、50°Cで再び伸びるようになった。コース方向は編み構造の伸縮性を大きくするため、ポリウレタンを入れている。ポリウレタンは伸縮性には優れているが、強度や熱に弱い性質であり、ポリウレタンと類似構造をもつ加硫インプレングムは熱を加えると Table5.4 のような物性変化を起こす⁵⁾ことが示されている。加硫インプレングムは 100°Cで長時間熱すると各物性値は変化し、引張強度と破断伸びは時間とともに低下しているが、伸縮性は 96 時間になると大きくなり、それを 96 時間の前までは軟化劣化、96 時間からは硬化劣化している。

Table 5.4 Mechanical properties of the vulcanized impressions down rubber was heat aging at 100 °C⁵⁾

Aging time [h]	0	24	48	72	96	168
Tensile strength [MPa]	32.9	2.1	1.1	0.8	0.7	0.9
Total elongation [%]	686	375	257	226	198	152
Tensile elongation [MPa]	0.9	0.6	0.5	0.4	0.3	0.6
Crosslinking density [mol/m ³]	164	81	71	56	55	113
Specific gravity	0.936	0.943	0.95	0.96	0.975	1.002

本実験のポリウレタンは硫黄による架橋構造を持たないために、熱や伸縮ストレスによって、文献よりも低い温度で硬化劣化の現象が起きて原布より伸長量の変化率が大きくなったと考えられる。すなわち、ポリウレタンは着用時の温度と湿度でも運動のような激しい動きによって劣化が起きうることがわかった。

次に、ストレスと油汚れを一緒に加えた時の結果(C3)は、ウェール方向は約 6%、コース方向は約 3%の伸長量が大きくなった。ここで、油汚れの作製では有機溶剤(ヘキサン)と油(サラダ油)を用いているので、そのいずれの物質が影響しているのかを検討するために、それぞれの成分を単独で 500 μ L、試料布に添加して試料布を作製し、20°Cで伸縮ストレスを加えて比較した。その結果を Fig. 5.10 に示す。

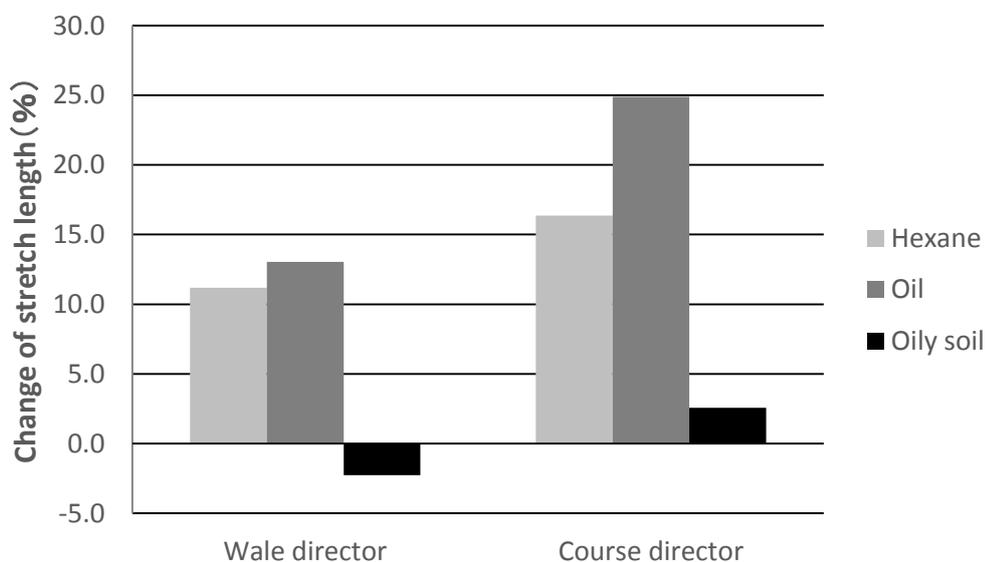


Fig. 5.10 Change of stretch length of sportswear by component of the oily soil

ヘキサンと油をそれぞれ単独で付着した場合、伸長量の変化は、ウェール方向およびコー

ス方向ともに大きく増加している。これに対してヘキサンと油を混合して作製した油汚れの場合、ウェール方向は -2.3%の減少、コース方向には 2.5%の増加であった。油については、単独で付着させた量が 100 倍と多いために、繊維表面の油が多く存在して伸びやすくなったと考えられる。一方、ヘキサンは付着させたのちに揮発して存在していないと考えられるが、それでも伸長量が大きく変化していた。これはヘキサンのような有機溶剤では、ポリエステルから油性物質を溶出させて、伸長性に影響を与えていると推察される。同じヘキサンを用いても油汚れを溶解したヘキサン溶液の場合には、ポリエステルからの溶出能力が低下しているため、伸長量への影響が少なかったものと考えられる。

次に、伸縮ストレスと油汚れ付着を加えた試料布を界面活性剤で洗浄した Fig. 5.9 の C4 と C5 の場合、陰イオン界面活性剤の LAS-Na および非イオン界面活性剤 EO8 のいずれでも常温 20°C ではウェール方向もコース方向も伸びやすくなった。

10°C の場合、LAS-Na ではウェール方向が伸びやすくなり、コース方向が伸びにくくなったが、50°C になると、ウェール方向が伸び、コース方向が伸びにくくなり、逆の傾向を示した。一方、EO8 では 10°C および 50°C の場合に伸びやすくなり、20°C で伸び率が小さいという結果であった。これはウェール方向とコース方向とも同じ傾向であった。

洗浄時に用いる界面活性剤が陰イオン界面活性剤である LAS-Na と界面活性剤非イオン界面活性剤 EO8 では、温度因子の影響が異なっている結果を示した。これは伸縮ストレスによってまず油汚れが合成繊維の非晶質に浸透し、その次に洗浄で界面活性剤が浸透していくが、このとき界面活性剤の構造的な違いから非晶質部分の性質が変化し伸縮性に影響したと推察される。この点を検討するために、界面活性剤だけの影響について次に試験を行った。

(2) 界面活性剤の種類による変化

着用試験の要素による伸長率の変化は、ストレスと油汚れの影響もあったが、最も試料布の伸長率を変化させたのは、界面活性剤の種類であることがわかった。そこで、界面活性剤の影響だけを見るため、伸縮ストレスや油汚れを付着させずに、試験布を LAS-Na、EO8 および液体洗剤の洗浄液で洗浄し、引張り試験を行った。その結果を Fig. 5.11 に示す。

伸長率変化は、いずれの場合もウェール方向よりもコース方向は伸長率の変化が大きくなった。ポリウレタンが含まれているコース方向に対して界面活性剤の影響が非常に大きいことが明らかとなった。しかし、陰イオン界面活性剤である LAS-Na の場合には、コース方向の伸長量の変化率が 17% であるのに対して、非イオン界面活性剤の EO8 と濃縮液体洗剤の場合には、伸長量の変化率が 10% 前後である。これまでの検討では、スポーツウェアを着用・運動・洗浄を繰り返した場合に、非イオン界面活性剤またはそれを主成分とする濃縮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影響が大きかったが、今回の実験結果では、逆の結果となっている。この違いは、油汚れや伸縮ストレスおよび繰り返し洗浄における界面活性剤と試験衣料の接触時間が長いことが原因と考えられる。

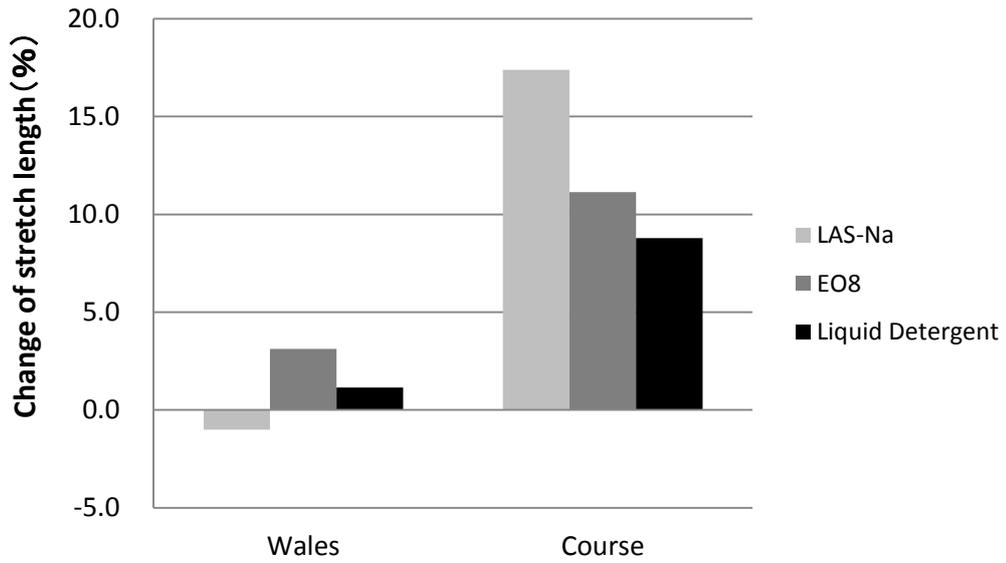


Fig. 5.11 Change of stretch length of sportswear after washing

そこで、界面活性剤と接する時間による伸長量の変化率への影響を検討するため、試料布を界面活性剤水溶液に1時間または24時間の浸漬を行って、界面活性剤と試料布を十分に接触させ、その後に同じ界面活性剤水溶液で洗浄を行う処理を加えた。その試料布の引張り試験を行った結果を、Fig. 5.12 および Fig. 5.13 に示す。

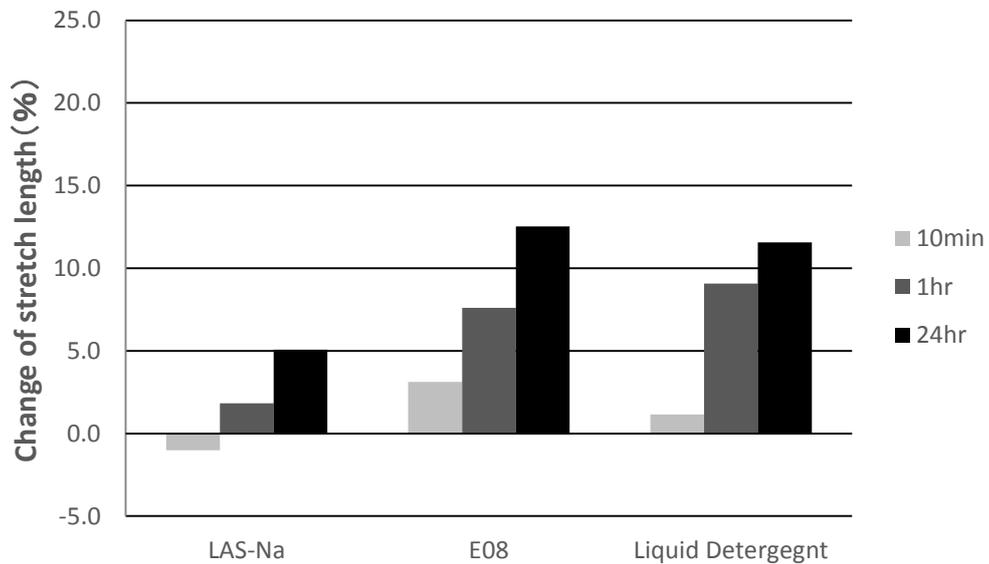


Fig. 5.12 Influence of soaking in washing solution on change of stretch length in wale direction of sportswear

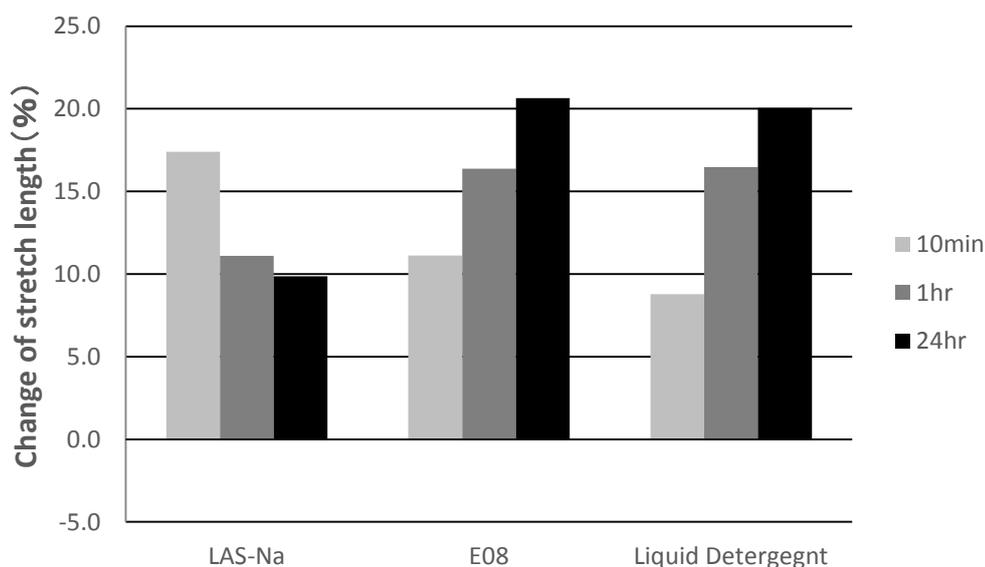


Fig. 5.13 Influence of soaking in washing solution on change of stretch length in course direction of sportswear

試料布のウェール方向の伸長量の変化は、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 および濃縮液体洗剤で大きくなった。一方、Fig. 5.13 においてコース方向の伸長量の変化は、洗浄液によって挙動に違いが見られた。陰イオン界面活性剤である LAS-Na は接触時間が 10 分間と短いときは伸長量の変化が大きいですが、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、非イオン界面活性剤の EO8 と濃縮液体洗剤では、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。これらの結果は、前章に行った着用試験と同様の傾向であった。寸法変化や伸長量の変化は試料布の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を受けやすく、さらに陰イオン界面活性剤の LAS-Na と非イオン界面活性剤の EO8 によって試料布への影響が異なることが考えられる。

そこで、ポリエステル 100%のスポーツウェア Loose と Fitted タイプについて同じく界面活性剤(LAS-Na と EO8)との接触時間を長くして、伸長量の変化を測定した。その結果を試料布のウェール方向とコース方向をそれぞれ Fig. 5.14 と Fig. 5.15 に示す。ポリエステル 100%のスポーツウェアは、ポリウレタンが含まれている Compression タイプの結果と異なり、LAS-Na と EO8 は同様の挙動となり接触時間が長くなると伸びにくくなった。またウェール方向とコース方向も同じような結果を示した。

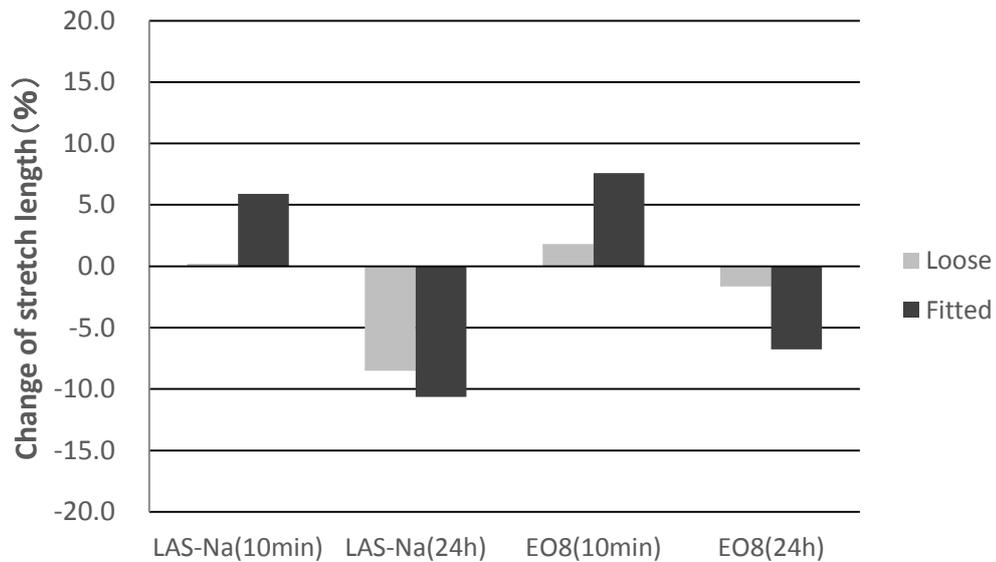


Fig. 5.14 Influence of soaking in washing solution on change of stretch length in wale direction of 100% polyester sportswear

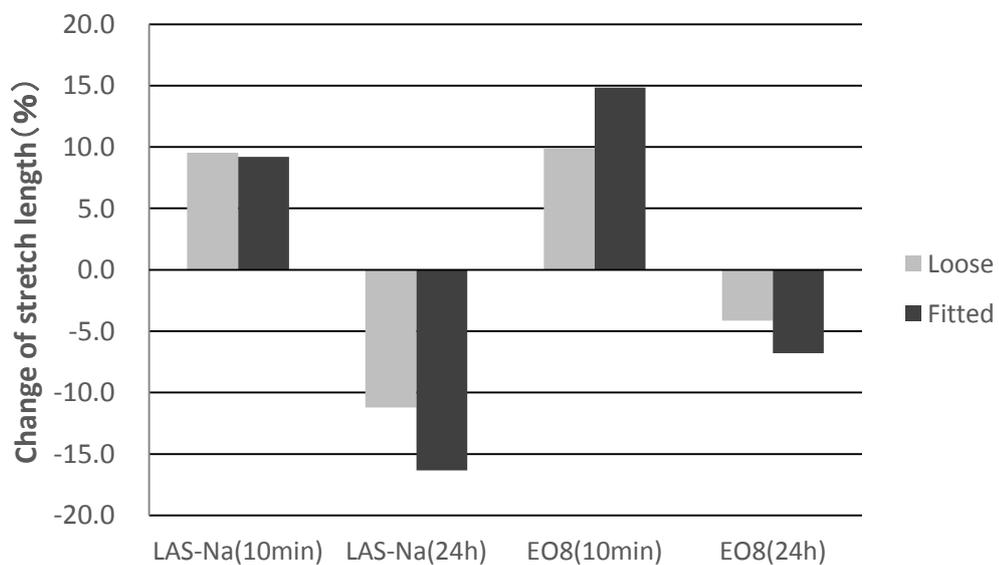


Fig. 5.15 Influence of soaking in washing solution on change of stretch length in course direction of 100% polyester sportswear

白岩 ⁷⁾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殆ど拡散がないが、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。このことから、ポリエステル100%のスポーツウェアは、最初の10分間洗浄行った時に界面活性剤による可塑化が進んでいるが、

その後、界面活性剤との接した時間が長くなるほど可塑化が失い、硬くなったと言える。こうした挙動は LAS-Na と EO8 では同様の挙動を示すが、2 つの界面活性剤を比べると LAS-Na の方が若干硬くなる結果であった。

Fig. 5.13 および Fig. 5.14 においてウェール方向もコース方向が伸びやすくなった結果について、ポリウレタンから考えるとその内部に界面活性剤が拡散浸透して、界面活性剤による繊維の可塑化が起きたと考えられる。しかし、陰イオン界面活性剤 LAS-Na と非イオン界面活性剤の EO8 による可塑化はポリエステルとは異なり、EO8 は接する時間が長くなるほど可塑化が進んでいるが、LAS-Na はコース方向で時間とともに可塑化が失われ、伸びにくくなっている。これは界面活性剤の分子量が EO8 よりも小さい LAS-Na は拡散浸透しやすいために短時間でもポリウレタンの内部に浸透して可塑化するが、接触時間が長くなって浸透量が多くなると、LAS-Na の立体構造に自由度が少ないために、その立体障害により可塑化が失われて伸びにくくなったと考える。一方、EO8 は分子量が大きいため拡散浸透には時間が要するが、浸透量多くなってもエチレンオキシド鎖による立体構造に自由度があるため、可塑化を失うことはなく、接触時間とともに可塑化が進んで、伸びやすくなったと言える。

5.4. 結論

市販に販売されている様々な機能性スポーツウェアの中で、ポリウレタンを含む上半身用のスポーツウェアから試料布を切り出して用い、設定した温度の下でストレスと油汚れを処理した後、界面活性剤を用いて洗浄した試料布に対する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)常温の環境で伸縮ストレスを加えるとポリウレタンが含まれているコース方向の変化はあまりなかったが、ウェール方向は非常に伸びにくくなり、さらに試料布に油汚れを添加することでウェール方向もコース方向も伸びやすくなった。また、ストレスと油汚れで処理した試料布を界面活性剤で洗浄した後に伸長量の変化を見ると、変化量は異なるが、非イオン界面活性剤の EO8 および陰イオン界面活性剤の LAS-Na は原布よりウェール方向とコース方向のいずれも伸びやすくなった。しかし、環境温度が変わると、試料布の変化は、EO8 ではウェール方向もコース方向も伸びやすくなったが、LAS-Na はウェール方向とコース方向が逆の傾向であった。他の条件で処理した試料布も環境温度によって伸長量の変化が起きた。

(2)伸長量の変化に影響する因子である環境温度、ストレス、油汚れ、および界面活性剤の中で環境温度と界面活性剤による変化が大きかったことから、常温で界面活性剤と接する時間による伸長量の変化は、ポリウレタンが含まれているコース方向がウェール方向よりも大きく増加した。非イオン界面活性剤の EO8 では、界面活性剤と接する時間が長くなるほど徐々に増加したが、陰イオン界面活性剤の LAS-Na では、ウェール方向は EO8 と同じく増加したものの、コース方向では徐々に低下した。

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、洗浄時に用いる洗剤に含まれている界面活性剤の種類によって変化が異なった。すなわち、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が明らかになった。

参考および引用

- 1) 池上晴夫, 運動処方－理論と実際－, p.107~109, 朝倉書店 (1990)
- 2) B. Saltin, L. Hermansen, Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise, *Journal of Applied Physiology*, Vol.21, No.6, p.1757~1762 (1966)
- 3) 荒木勉他, 運動鍛練が汗中クロール量に及ぼす影響, *体力科学*, Vol.23, No.12, p.12~24 (1974)
- 4) 崔 源政, 李 有鎮, 米山雄二, ニット地の風合い評価値に及ぼす編成組織の影響, *材料技術*, Vol.32, No.1, p.1~9 (2014)
- 5) 高薄一弘, 動的粘弾性チャートの解釈事例集, p.130~132, 技術情報協会 (2016)
- 6) 高薄一弘, 高分子における劣化・破壊現象の写真・データ事例集, 技術情報協会 (2014)
- 7) 白岩治己, 動的粘弾性測定によるポリエステルフィルム中への油性物質の拡散の検討, *繊維消費*, Vol.36, No.5, p.396~401 (1995)
- 8) 山崎 義一, ストレッチ素材について, *繊維消誌*, Vol.45, No.8, p.640~644 (2004)
- 9) Penelope Watkins, Designing with stretch fabrics, *Indian Journal of Fiber & Textile Research* , Vol. 36, p366~379 (2011)
- 10) M. Senthilkumar, N.Anbumani, Dynamics of Elastic Knitted Fabrics for Sports Wear, *Journal of industrial textiles*, Vol.41, No.1, p.13~24 (2011)
- 11) M. Senthilkumar, N.Anbumani, Effect of laundering on dynamic elastic behavior of cotton and cotton/spandex knitted fabrics, *International Journal of Textile and Fashion Technology*, Vol.7, No.4, p.1~10 (2012)
- 12) Fernando barros de vasconcelos, Fabiano casaca, Fernanda gomes de vasconcelos, Joao Paulo Pereira marcicano & Regina aparecida sanches, Design of elastic garments for sports in circular knitting, *International Journal of Textile and Fashion Technology* , Vol.3, No.1, p.39~48 (2013)
- 13) Senthilkumar Mani , N.Anbumani , Dynamic Elastic Behavior of Cotton and Cotton/Spandex Knitted Fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol.9, p. 93~100 (2014)

第6章

ポリウレタン系の伸縮変化

6. ポリウレタン系の伸縮変化

6.1. 目的

スポーツウェアに含まれているポリウレタンは、もともと天然ゴムの代替品として開発された素材で合成ゴムとして極めて天然ゴムと似た特性を持っている。特に、ゴムの特徴である弾性や柔軟性、引張強度に優れており、耐摩耗性や衝撃強度にも優れた性能を発揮する。また、成形過程において硬度を様々に変えることもでき、スパンデックスと言われる伸縮性繊維から、発泡状の防音材や硬くて弾力がある靴底材などがある。日常生活においてポリウレタンを用いた製品は様々な場面で用いられている。その中で、伸縮性が高いポリウレタン繊維は、5 倍から 8 倍近くも伸びることができ、ポリウレタンを布地に用いた衣服は人体にフィットしてスポーツの激しい動きに追随することができ、水着やコンプレッションタイプのスポーツウェアなどからもわかるように身体を動かしやすくしている。

しかし、伸縮性に優れるポリウレタンが入っているスポーツウェアは、第 3 章から第 5 章で行った着用試験と洗浄力試験、スポーツウェアの布を用いての引張試験において、油污れに対して洗浄力が低く、残留する油污れと洗浄時の界面活性剤が影響して、スポーツウェアの寸法変化や伸張量が変化することが分かった。また、スポーツウェアの変化はポリエステル 100%のスポーツウェアでは変化が小さく、ポリウレタンを含むスポーツウェアで変化が大きく見られたことから、原因はポリウレタン繊維の伸縮性変化であることが明らかとなった。

そこで、本章ではポリウレタン繊維の伸縮性変化に焦点を絞り、ポリウレタン系を用いて、第 4 章および第 5 章と同様の処理条件で、油污れ、伸縮ストレス、界面活性剤との接触を加えて、ポリウレタン系の伸長量の変化を検討した。

6.2. 実験方法

(1) 試料系の作製

ポリウレタンを開発して生産の歴史が最も長い東レ・デュポン社のポリウレタン糸 (LYCAR、太さ 470DTEX) を使用した。ポリウレタン糸を Fig. 6.1 に示すように 30 cm の長さに切り、5 本、10 本、15 本の束にして結び、試料系とした。この試料糸を Table 6.1 に示す油汚れ、伸縮ストレス、界面活性剤との接触による処理を行った。



Fig. 6.1 Preparation of Samples

Table 6.1 Processing conditions of Samples

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
None	●						
Stress		●		●			
Oily Soil			●	●			
LAS-Na					●		
EO8						●	
L·D*							●

※ L·D = Liquid Detergent

●は処理を行ったものを示す。それぞれの処理の方法を、以下に示す。

(a) 伸縮ストレス：機能性スポーツウェアの引張試験で使用した方法と同様に、70rpm でポリウレタン糸を1時間の伸縮を行った。

(b) 油汚れ付着(Oily Soil)：機能性スポーツウェアの洗浄性の評価で使用した油汚れ汚染液 [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 に溶解した] に1分間浸漬した後、サンプルに油汚れを付着する前と付着した後の重量を測定し、油汚れ量のバラツキが少ないサンプルを選定した。

(c) 界面活性剤との接触：試料糸を洗浄するのが不可能であることから、界面活性剤の水溶液 0.03% または液体洗剤 0.03% に所定時間 (10 分、1 時間、24 時間) を浸漬し、水で 2 回軽くすすぎを行った後、室内で平干して乾かした。

作製した試料糸は、恒温恒湿室(65%・20℃)で1日保管したのち、引張試験に用いた。

(2)引張試験

ポリウレタン糸の引張実験の測定に使用した装置は、前章において試料布の引張試験に使用した装置と同じ装置を用いた。引張試験の装置にそれぞれの条件で処理された試料糸(5本、10本、15本)を吊るし、Marker No.2に試料布を200mmの目印に合わせた後、前章に使用した120gの重りは試験糸には重すぎることから、その重りの1/10である12gの重りを試料糸の先に取り付けて伸ばし、1分後に重りによって伸ばされた目印をMarker No.1を合わせ、試料糸の先にある重りを取り外す。その後、Marker No.2とMarker No.1の長さをノギス(DIGITAL CALIPER/シンワ測定製)を用いて計測した。

また、それぞれの条件で処理した試料糸の伸長量の変化率(%)は、式1で示すように何も加えてない原糸の伸張量 L_0 に対して、試料糸の伸張量 L_1 の変化率で求めた。試験には試料糸3つを用い、試料糸1つあたり測定を5回行い、合計15回の平均値を求めた。

$$\text{伸長量の変化率 (\%)} = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100 \quad \dots \dots \dots \text{Eq. 1}$$

(3)ポリウレタン糸から界面活性剤溶液への溶出試験

洗浄性の評価と引張試験に使用した界面活性剤LAS-NaとEO8を用い、濃度0.03%と0.1%の水溶液を調製した。Fig. 6.2のように200mLの三角フラスコに界面活性剤溶液100mLを入れ、これにポリウレタン糸を0.1g、0.5g、1.0gを添加して、20°Cで1時間、3時間、6時間振とうした。その後、界面活性剤水溶液から試料糸を取り出し、溶液を0.45 μm のディスポーザブルフィルターでろ過した。

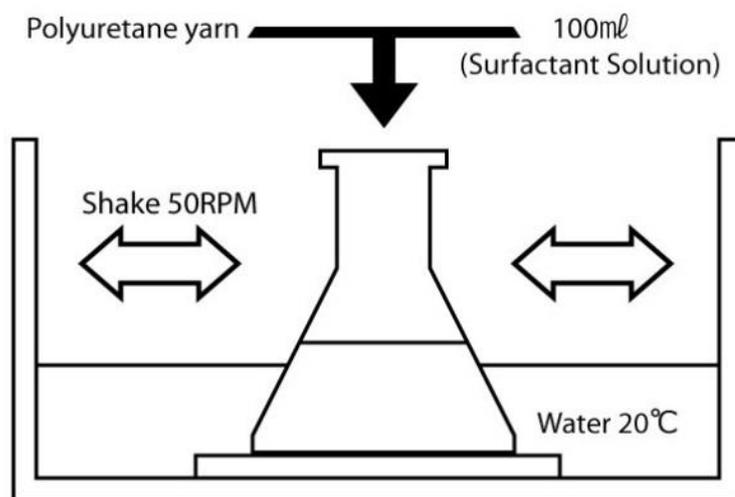


Fig. 6.2 Method of preparing a sample solution

ろ過液を Fig. 6.3 のような紫外可視分光光度計(UV-2500PC、Shimadzu Corporation)を用い、紫外線領域の波長(300nm~350nm)の吸光度を測定した。測定は、3回を行って、平均値を求めた。

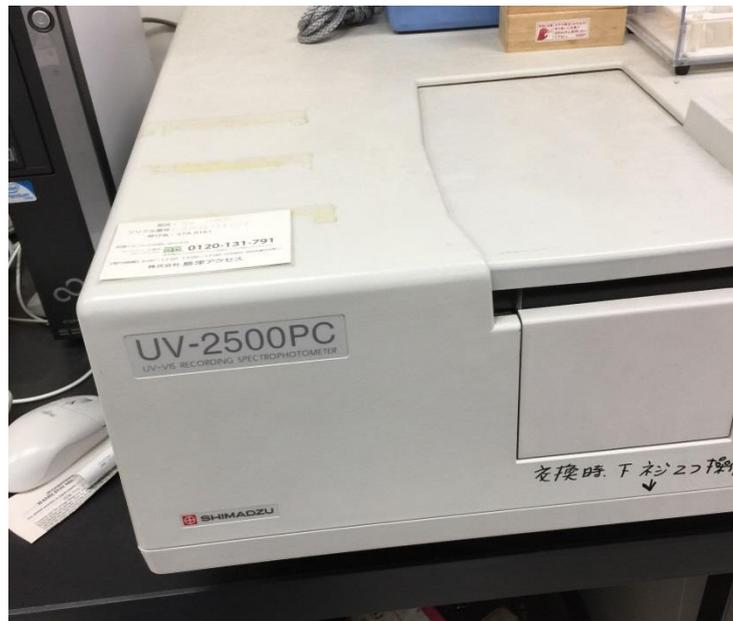


Fig. 6.3 UV-Visible Spectrophotometer (UV-2500PC、Shimadzu Corporation)

6.3. 結果および考察

(1) ストレスと油汚れによるポリウレタン糸の変化

ポリウレタン糸に油汚れを付着させた前後の重量変化から、試料糸に付着した油汚れの量を求めた結果を Table 6.2 に示す。

Table 6.2 Oily soil amount adhering to the polyurethane yarn (n=3)

	P3		P4	
	M	S.D	M	S.D
5 本	0.0069	0.0002	0.0065	0.0003
10 本	0.0066	0.0004	0.0067	0.0002
15 本	0.0067	0.0003	0.0073	0.0003

(単位:g)

試料糸に付着した油汚れ量は、ポリウレタンの本数とは比例していなく、このことは糸を縛った部分に付着量が大きく影響していると考えられ、ポリウレタン糸の表面に付着した量を示してはいない。しかし、平均値と標準偏差の値を見ると、n=3 での試料の作成のバラつきは少ないことがわかる。

第 5 章のスポーツウェアの試料布で行った時と同様に、ポリウレタン糸に油汚れ付着、伸縮ストレスおよび界面活性剤との接触を加えた時の伸長量の変化を調べた結果を Fig. 6.4 に示す。

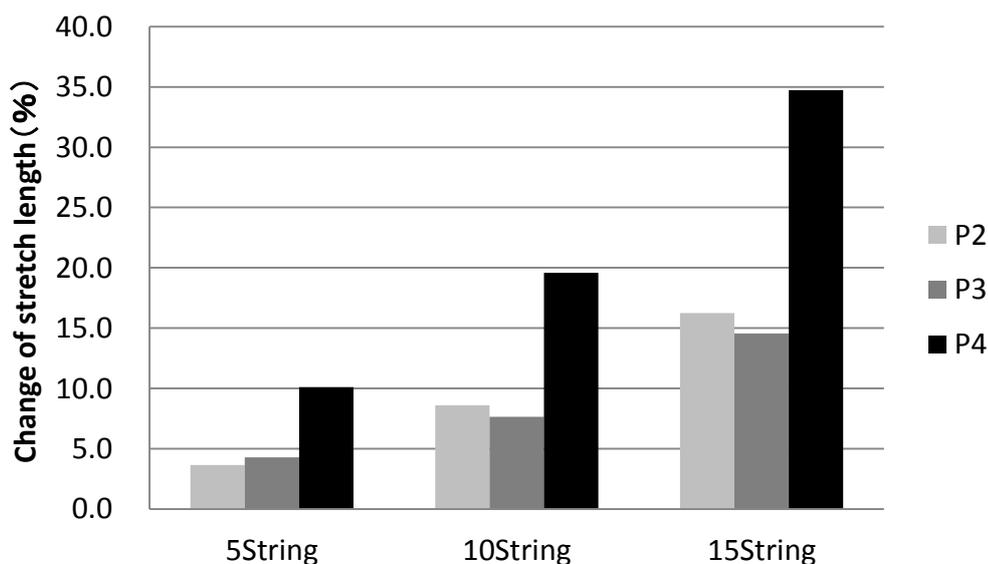


Fig. 6.4 Changes length due to stress and oil dirt and detergents

いずれの本数においても、伸縮ストレスだけを加えた P2 の場合と油汚れだけを加えた P3 の場合には、伸長量の変化はほぼ同じ程度であるが、油汚れを付着させて伸縮ストレスを加えた場合には、伸長量の変化は著しく大きくなった。

油汚れとストレスを一緒に加えたときの変化が各条件の変化よりも約 2 倍程度大きく変化し、またポリウレタン糸の本数が増加するにしたがって各条件による伸長量の変化が大きくなったことから、スポーツウェア中のポリウレタンはスポーツをしている間に伸縮ストレスと油汚れの吸収が起きて伸長量の変化が大きく表れ、その度合いはスポーツウェアに含まれるポリウレタンの割合が多くなるほど大きくなると考えられる。

高橋ら²⁾は、発泡ポリウレタンの表面に植物油を付着させて、高温にすると発泡ポリウレタンが分解すると報告している。スポーツウェアの場合、文献のような高温の環境ではないが、伸縮ストレスによる激しい分子運動が熱を加えた時と同じような作用となり、ポリウレタン糸の表面に付着している油汚れがポリウレタン分子の結合に影響を起こしたものと考えられる。

(2)界面活性剤の種類による影響

①10 分間の浸漬による変化

試料糸を界面活性剤 LAS-Na、EO8、および液体洗剤の水溶液の中に 10 分間の浸漬を行った場合の伸長量の変化を Fig. 6.5 に示す。

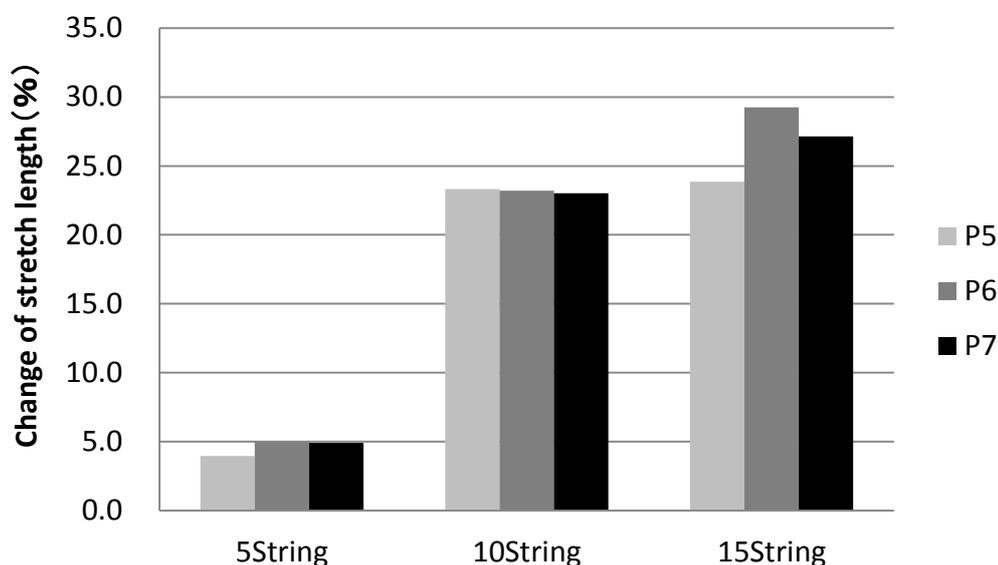


Fig. 6.5 Changes of stretch length by immersion for 10 minutes in the detergent

界面活性剤 LAS-Na (P5)、EO8 (P6) および液体洗剤 (P7) の溶液に 10 分間浸漬したポリウレタン糸はいずれの溶液でも伸びやすくなり、また本数が増えるほど大きい伸長量変化を示した。界面活性剤の種類については非イオン界面活性剤である EO8 と濃縮液体洗剤の方が陰イオン界面活性剤の LAS-Na より伸びやすい傾向を示した。10 分間という短い時間で界面活性剤と接した場合には、界面活性剤の種類にかかわらず伸びる傾向であったが、これら

の結果は第 5 章のポリウレタンが含まれているスポーツウェアのコース方向において、10 分間の浸漬した結果と同様の傾向であった。

また、ポリウレタン糸の本数による伸長量変化は、どちらの界面活性剤でも 5 本に比べて 10 本の伸長量変化が約 5 倍程度で急に大きくなり、10 本以上については界面活性剤が EO8 と濃縮液体洗剤では本数が多くなるほど伸長量の変化が大きくなったが、LAS-Na ではあまり伸長量変化がなかった。これらの結果から見ると、ポリウレタンの含有率が異なる衣類に対して界面活性剤による伸縮性の劣化は、ポリウレタンの含有率が大きい方が界面活性剤の影響を受けやすくなると考えられる。

②界面活性剤との接触時間の影響

界面活性剤との接触時間の影響を見るために、試料糸を界面活性剤溶液および液体洗剤溶液に 10 分間、1 時間、24 時間浸漬した場合の伸長量の変化を測定した。陰イオン界面活性剤 LAS-Na の溶液の場合を Fig. 6.6 に、非イオン界面活性剤 EO8 の溶液の場合を Fig. 6.7 に、液体洗剤の溶液の場合を Fig. 6.8 に示す。

Fig. 6.6 において陰イオン界面活性剤の場合には、接触時間が長くなるほどポリウレタン糸の伸長量変化が小さくなる結果となった。一方、非イオン界面活性剤の場合、Fig. 6.7 および Fig. 6.8 に示すように、接触時間が長くなるほど伸長量変化は少しずつ大きくなった。EO8 と液体洗剤を比較するとその差は小さいことから、液体洗剤に含まれるビルダーなどの添加剤が、伸張性に及ぼす影響は小さいと考えられ、また、界面活性剤がポリウレタンへの伸長量変化に大きく影響することが明らかとなった。

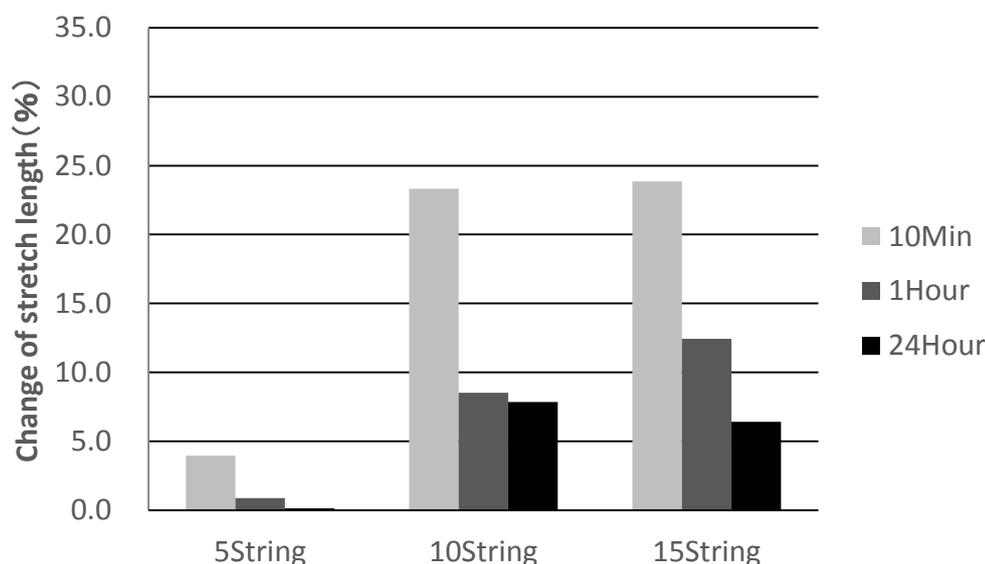


Fig. 6.6 Changes of stretch length by immersion time in LAS-Na solution

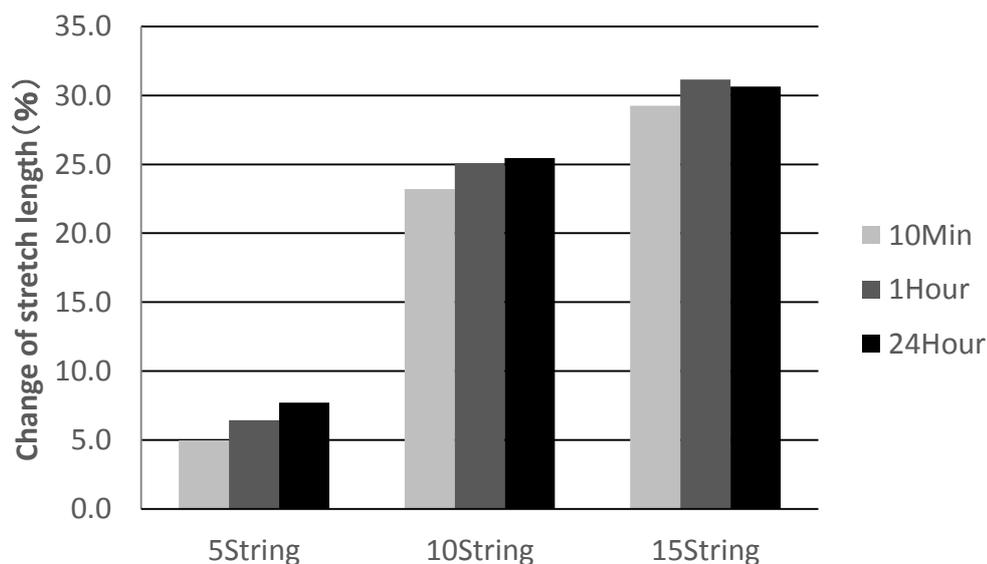


Fig. 6.7 Changes of stretch length by immersion time in EO8 solution

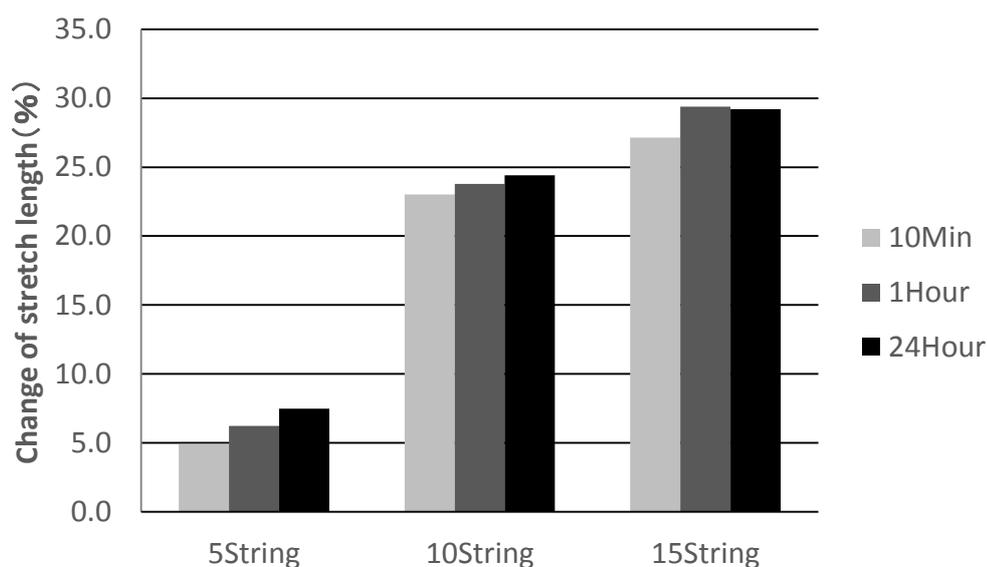


Fig. 6.8 Changes of stretch length by immersion time in Liquid detergent solution

ポリウレタンは80%以上の高湿度で60℃以上の高温になる条件下で加水分解が起きることが知られている。本実験では、水が大量に存在する水中であるが、低温で短時間であることから、伸長さの変化は加水分解が影響したとは考えられない。界面活性剤溶液との接触により伸長量が大きく変化した現象について、原因は二つ考えられる。一つは、界面活性剤溶液中にポリウレタンの非晶質部分から成分が溶出したことにより、伸縮性が変化したことである。もう一つは、界面活性剤が非晶質部分に吸着浸透することで、伸縮性に影響したことである。

この2つの原因を明らかにするため、次に示す界面活性剤溶液への溶出実験を行った。

(3)界面活性剤溶液中へのポリウレタンの溶出

①界面活性剤溶液の紫外線吸収特性

界面活性剤溶液とポリウレタンを接触させたときに、界面活性剤の吸着あるいはポリウレタンから溶出が起きる場合に、これを検知する方法として紫外線領域における吸光度測定を用いた。まず、界面活性剤 LAS-Na と EO8 の溶液における紫外線吸光度特性を測定した。LAS-Na の各濃度における吸光度曲線を Fig. 6.9 に、EO8 の場合を Fig. 6.10 に示す。

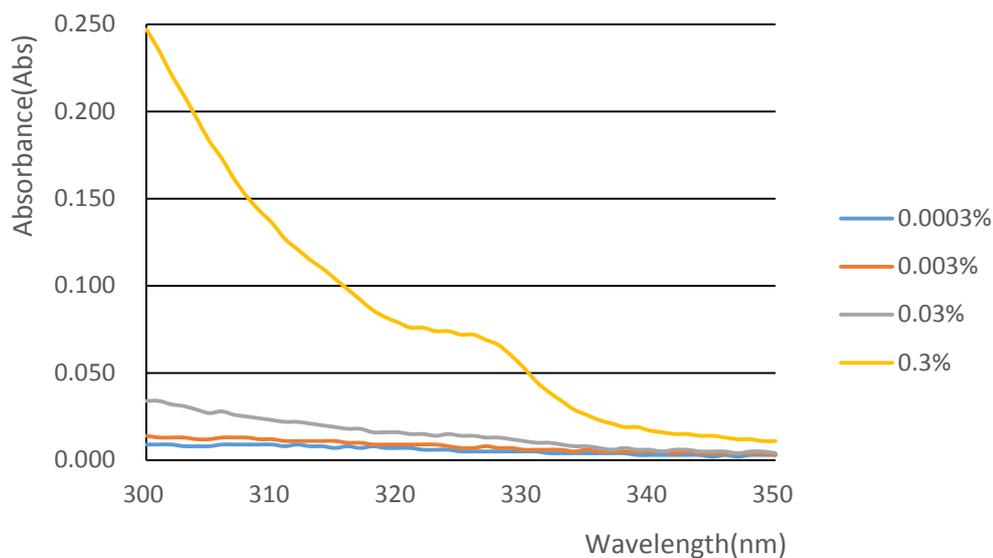


Fig. 6.9 Absorbance of LAS-Na solution at various concentration

LAS-Na 溶液の吸光曲線は、界面活性剤の濃度が高くなると吸光度が高くなり、紫外領域に吸収を持つことがわかる。これは LAS-Na の疎水基部分に芳香族のベンゼン環を有するために、その紫外線吸収である波長 280nm 付近にピークを持つからである²⁾。しかし、その吸収は洗浄実験で使用した LAS-Na 濃度 0.03%では小さいことがわかる。

一方、非イオン界面活性剤 EO8 は紫外領域に吸収を持っておらず、洗浄実験で使用した EO8 濃度 0.03%では極めてベースラインに近い値であった。

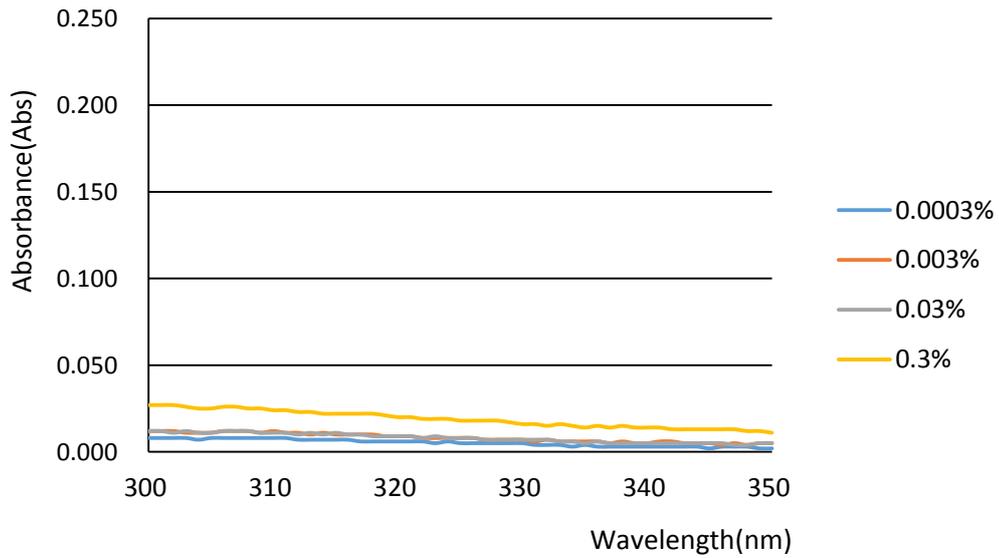


Fig. 6.10 Absorbance of EO8 solution at various concentration

②LAS-Na 溶液にポリウレタンを添加した場合の吸光度変化

0.1%の LAS-Na 水溶液 100mL にポリウレタン糸を 0.1 g、0.5 g、1.0 g 加え、所定時間後に溶液の吸光度を測定した。その結果を時間ごとに Fig. 6.11、Fig. 6.12、Fig. 6.13 に示す。

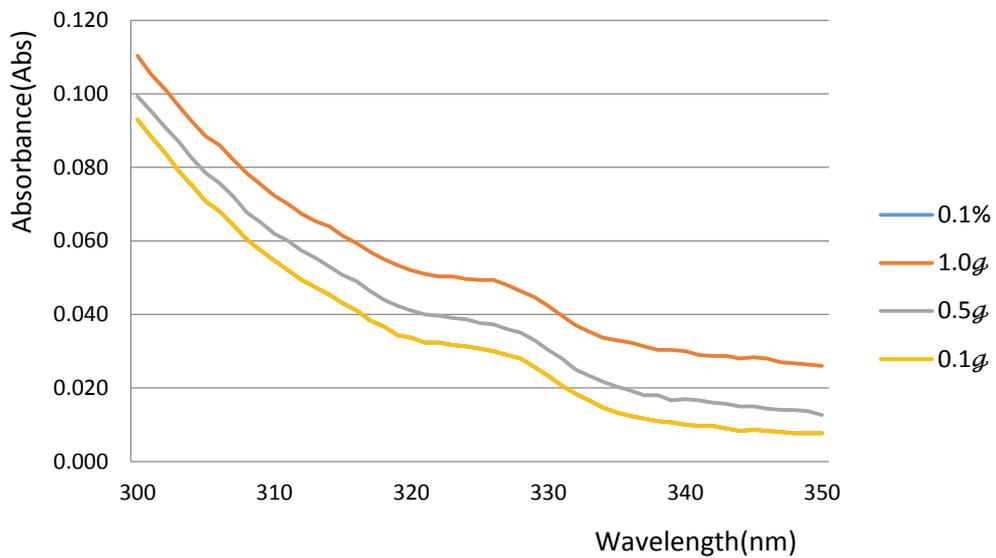


Fig. 6.11 Changes in absorbance after immersing of polyurethane yarn in LAS-Na for 1hour

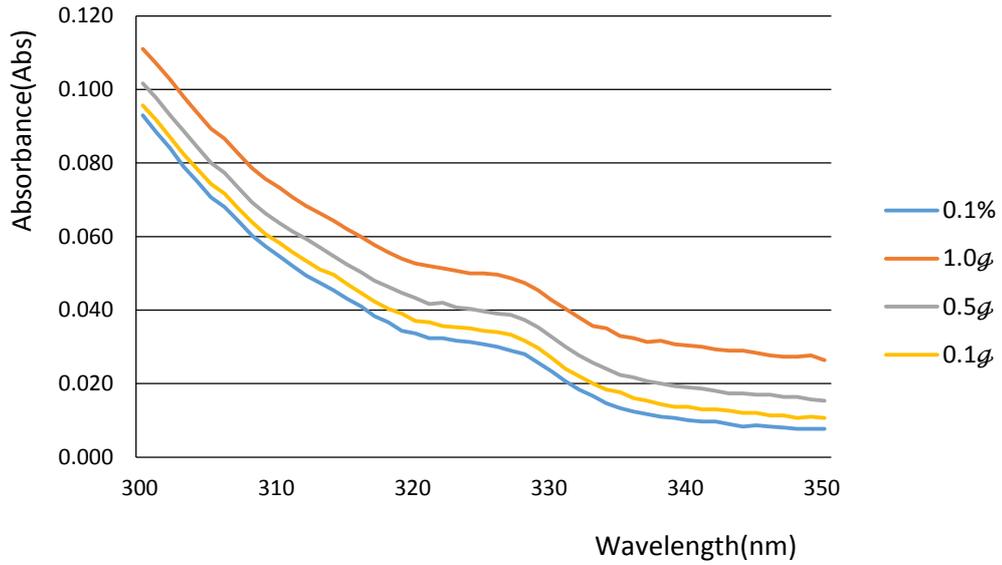


Fig. 6.12 Changes in absorbance after immersing of polyurethane yarn in LAS-Na for 3hour

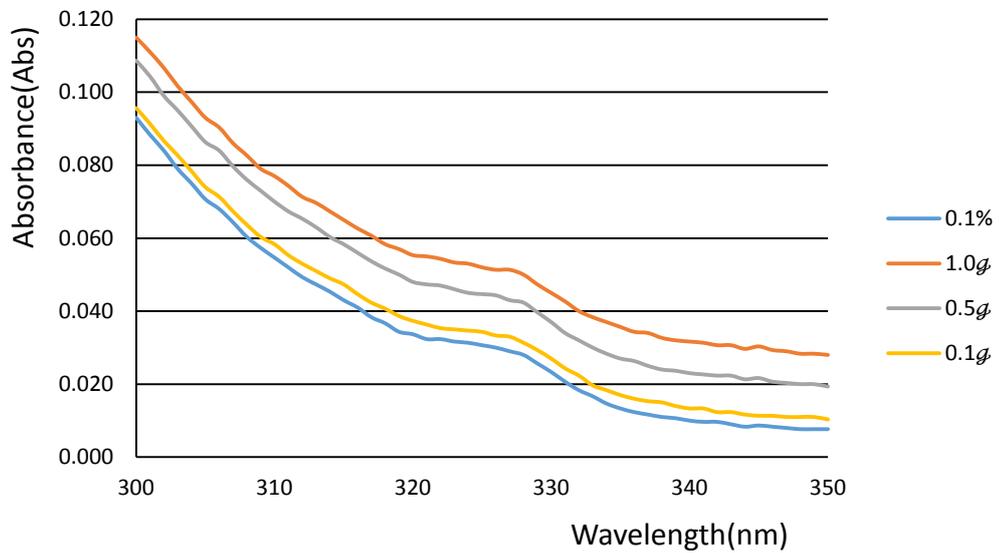


Fig. 6.13 Changes in absorbance after immersing of polyurethane yarn in LAS-Na for 6hour

Fig. 6.11～Fig. 6.13において、ポリウレタン糸の添加量が多くなるにしたがって、吸光度が増加しており、また接触時間が長くなるにしたがって、吸光度が増加を示した。ここで、ポリウレタン糸の添加量が一番少ない0.1gの場合に注目すると、1時間ではLAS-Na溶液と

殆ど差が見えなかったが、6時間後では LAS-Na 溶液より 2.9%高かくなった。また、0.5g と 1.0g では、浸漬1時間でも 6.8%と 16.8%と、高い数値を示し、6時間後にはさらに 10%程度高い数値を示した。このことは、ポリウレタンに LAS-Na 溶液が接すると、ポリウレタンに LAS-Na が吸着・浸透し、ポリウレタンから紫外吸収を持つ物質が溶出したため、LAS-Na 溶液よりも吸光度が高い値を示したと考えられる。ポリウレタンに含まれる紫外吸収を持つ成分としては、ポリウレタンを重合する際のモノマーまたは低分子量のオリゴマーであると推測する。

0.1%の LAS-Na 溶液にポリウレタンから溶出する成分が存在していることがわかったがこの濃度は、洗浄試験に用いた濃度 0.03%よりかなり高い濃度であることから、洗浄試験濃度の LAS-Na 溶液を用いて、先と同様にポリウレタン糸を添加して 6 時間の溶液の吸光度を測定した。その結果を Fig. 6.14 に示す。

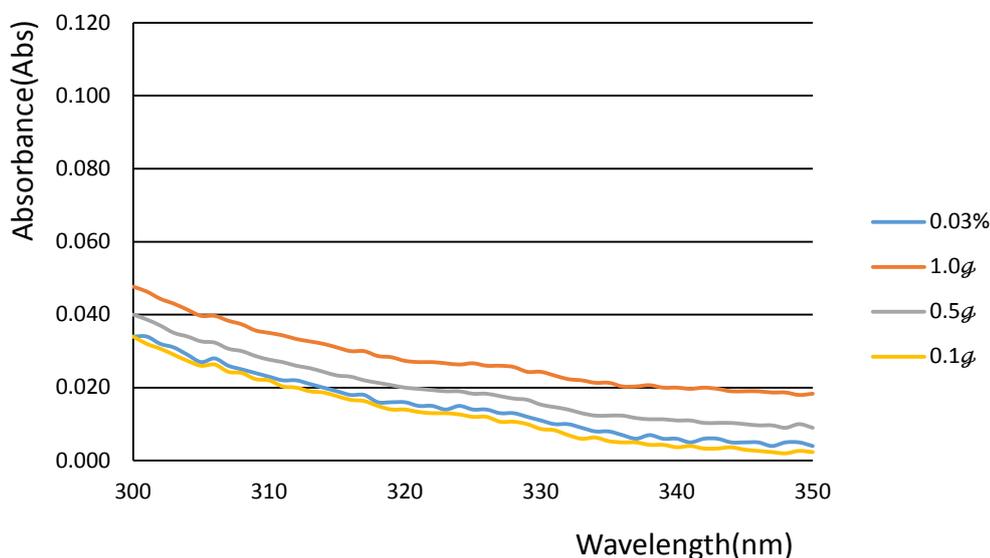


Fig. 6.14 Changes in absorbance after immersing of polyurethane yarn in 0.03%LAS-Na solution for 6hour

洗浄濃度の 0.03%の LAS-Na 溶液でも吸光度はポリウレタンの添加量が 0.1g でいったん減少し、多くなるにしたがって吸光度が増加した。

これらの結果から、ポリウレタンは、市販洗剤の中に含まれる陰イオン界面活性剤の LAS-Na と接すると、吸着・浸透し、洗濯を繰り返すことでポリウレタンから成分が溶出し、それらの複合的な現象が原因でポリウレタンの伸縮性に変化が起きたと考えられる。

③EO8 溶液にポリウレタンを添加した場合の吸光度変化

LAS-Na とは異なって紫外領域に吸収を持たない EO8 は、洗浄濃度 0.03% の溶液を用いて、先と同様にポリウレタン糸(0.1 g、0.5 g、1.0 g)を添加して所定時間後に、溶液の吸光度を測定した。その結果を時間ごとに Fig. 6.15、Fig. 6.16、Fig. 6.17 に示す。

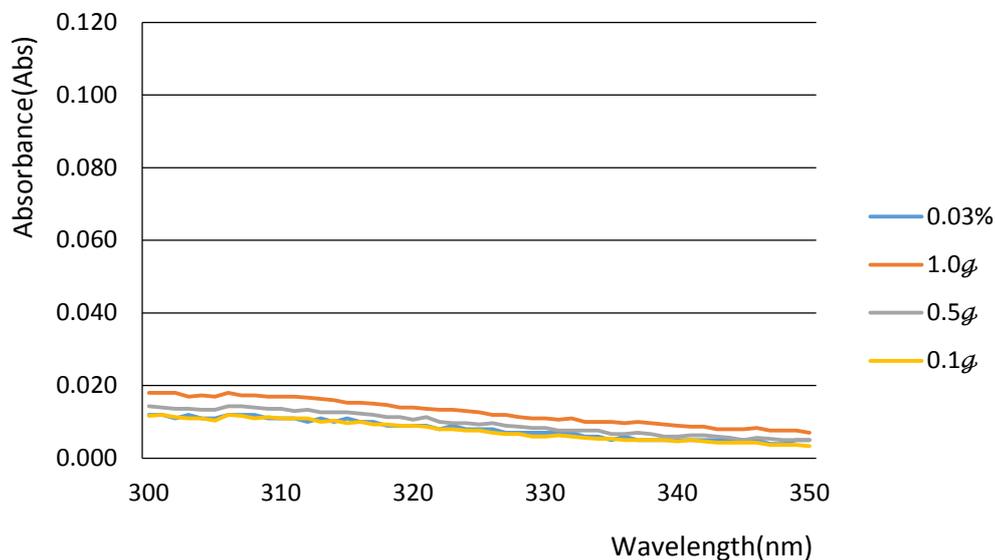


Fig. 6.15 Changes in absorbance after immersing of polyurethane yarn in E08 solution for 1hour

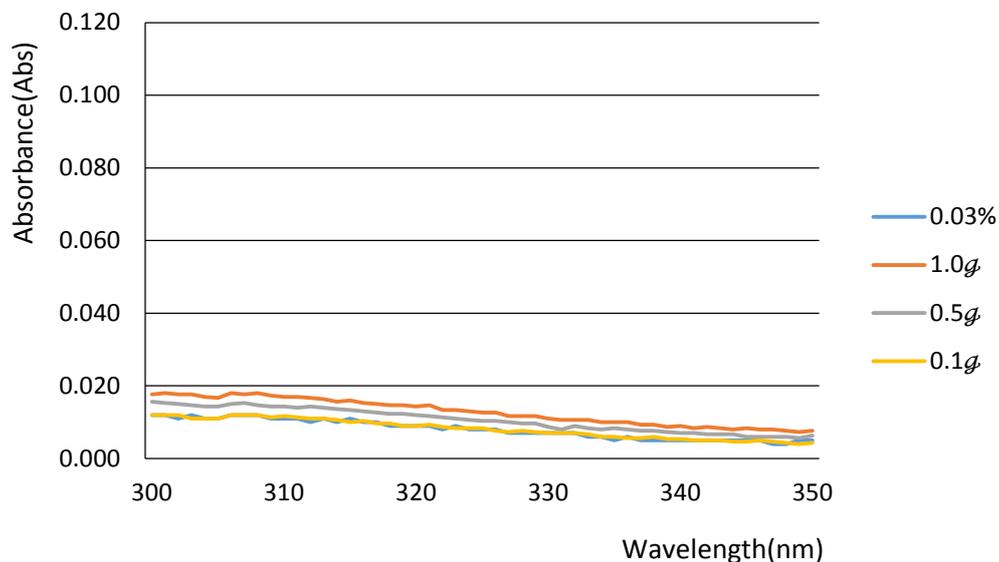


Fig. 6.16 Changes in absorbance after immersing of polyurethane yarn in E08 solution for 3hour

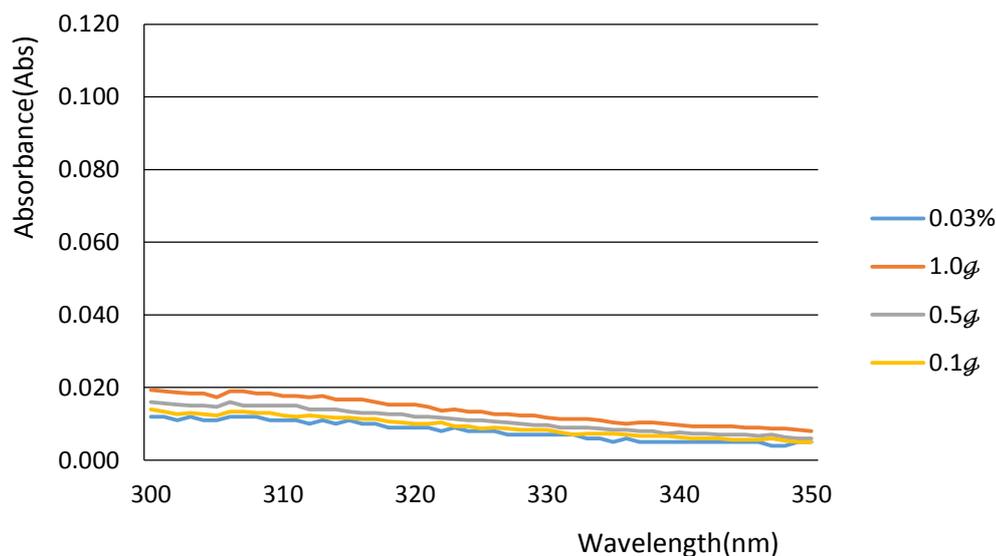


Fig. 6.17 Changes in absorbance after immersing of polyurethane yarn in E08 solution for 6hour

非イオン界面活性剤の EO8 場合は、ポリウレタンとの浸漬時間と重さによる吸光度の変化は殆ど変わらない結果であった。非イオン界面活性剤 EO8 は紫外領域に大きな吸収を持たないため、この実験ではポリウレタンに EO8 が吸着したかどうかはわからない。しかし、吸着性を持つ界面活性剤あることから、EO8 でもポリウレタンに吸着・浸透が起きていると考えられる。Fig. 6.17 において接触時間が長い場合やポリウレタンの添加量が多い場合にも吸光度に変化がなかったことから、LAS-Na 溶液で見られたようなポリウレタンから成分の溶出はないことがわかった。

以上、LAS-Na と EO8 はポリウレタンに対する吸着・浸透・溶出の挙動が異なっており、この違いがポリウレタン糸を界面活性剤に浸漬した時の伸長量変化が EO8 溶液では Fig. 6.7 のように接触時間とともに伸びやすくなり、LAS-Na 溶液では Fig. 6.6 のように一度伸びやすくなるものの、接触時間とともに伸びにくくなる現象になったものと結び付けられる。

6.4. 結論

前章で界面活性剤の種類や油汚れ、ストレスなどの要因で機能性スポーツウェアに含まれているポリウレタンの伸縮性が劣化されていることから、本章は、ポリウレタン糸を使用してストレス、油汚れ、界面活性剤の種類による伸縮性の変化および界面活性剤とポリウレタンの吸着・浸透・溶出を調べた結果、以下の点が明らかとなった。

(1)スポーツウェアの布地と同様にポリウレタン系にも適用して実験を行った結果、油汚れ付着と伸縮ストレスが加わることで伸長量の変化が大きくなるが、界面活性剤溶液との接触が伸長量の変化に大きく影響する。また、界面活性剤と接触する時間が長くなることによって伸縮性の変化は大きくなり、前章のスポーツウェアの実験と同様の結果であった。このことから、市販の機能性スポーツウェアは洗浄時において界面活性剤がポリウレタンに大きく影響し、その伸縮性を変化させることが明らかとなった。

(2)界面活性剤溶液にポリウレタンを添加したときの溶液の吸光度変化は、LAS-Na 溶液では界面活性剤がポリウレタンに吸着・浸透し、ポリウレタンから成分の溶出が起きることがわかった。しかし、非イオン界面活性剤の場合には吸着・浸透が起きるが、ポリウレタンからの成分の溶出は認められず、LAS-Na と EO8 ではポリウレタンに対する影響が異なり、伸長量の変化に違いが現れたものと説明できる。

(3)市販の機能性スポーツウェアにおいて運動機能性を維持するための伸縮性は、ポリウレタンの性質によって発現するが、着用・運動・洗濯により、ポリウレタンが油汚れの付着、伸縮ストレス、界面活性剤との接触の要因によって影響を受けてポリウレタンの伸長量が変わり、スポーツウェアの伸縮性に大きく影響を与えることが明らかとなった。

参考および引用

- 1) 高橋 俊一, 大嶋 剛ら, 自動車シュレッダーに含まれる発泡ポリウレタンの植物油中での熱分解, プラスチック化学リサイクル研究会討論会予稿集, No.9, p.48~49 (2006)
- 2) 上田 陽, 有機吸光光度法, JAPAN ANALYST, Vol.18, p.546~558 (1969)
- 3) 鈴木 勇, ポリウレタン弾性糸について, 繊維と工業, Vo1.21, No.3, p.78~83 (1969)
- 4) 塚野 達, ウレタン素材の劣化について, 洗濯の科学, Vol.43, No.3, p.10~15 (1998)
- 5) 鈴木 謙次, ポリウレタン糸のストレッチ素材について, 織消誌, Vol.44, No.1, p.60~64 (1999)
- 6) 高薄 一弘, 高分子における劣化・破壊現象の写真・データ事例集, p.76~84, 技術情報協会 (2014)
- 7) 高薄 一弘, 動的粘弾性チャートの解釈事例集, p130~132, 技術情報協会 (2016)
- 8) Hüseyin Gazi Ortlek, Sukriye Ulku, Effects of Spandex and Yarn Counts on the Properties of Elastic Core-spun Yarns Produced on Murata Vortex Spinner, Textile Research Journal, Vol 77, p.432~436 (2007)
- 9) Kunal Singha, Analysis of Spandex/Cotton Elastomeric Properties: Spinning and Applications, International Journal of Composite Materials, Vol.2, p.11~16 (2012)
- 10) Mani Senthilkumar, Dynamic elastic behavior of spandex (elastane fiber) plaited cotton knitted fabric, https://www.researchgate.net/publication/269342244_Dynamic_elastic_behavior_of_spandex_plaited_cotton_knitted_fabric (2014)

第7章

ポリウレタンの伸縮性に及ぼす
界面活性剤の構造の影響

7. ポリウレタンの伸縮性に及ぼす界面活性剤の構造の影響

7.1. 目的

ポリウレタン(PU)は、元々天然ゴムの代替品として開発された素材であり、合成ゴムとして極めて天然ゴムと似た特性を持っている。特に、ゴムの特徴である弾性や柔軟性、引張り強度に優れており、耐磨耗性や衝撃強度にも優れた性能を発揮する。また、成形過程において硬度を様々に変えることもでき、弾性や衝撃吸収性を活かした様々な分野で多用されている。その中でも素材の伸縮性を活かして繊維状にしたスパンデックスは5倍から8倍近くも伸びること特徴をもち、服の布地に使用すると身体の動きに追従して伸縮して身体にフィットし、スポーツウェアに広く使用されている。

前章までの結果において、ポリウレタンを含むスポーツウェアは着用・運動・洗浄を行うことで、油汚れの付着や伸縮ストレスおよび洗浄時の界面活性剤との接触により、スポーツウェアの寸法や伸長量に変化が起きることがわかった。その要因において、ポリウレタンは、洗浄時の界面活性剤によって伸縮性が大きく影響されることが明らかになった。また、界面活性剤の2種類(LAS-Na と EO8)を比較すると、ポリウレタンの伸縮性の変化の挙動が異なることがわかった。

そこで、本章ではポリウレタン糸を用い、親水基と疎水基が異なる種々の界面活性剤の水溶液に浸漬させることで、ポリウレタンの伸長量に及ぼす界面活性剤の構造的要因の影響を検討した。

7.2. 実験方法

(1) 試料系の作製

第6章と使用したものと同一東レ・デュポン製のポリウレタン糸 (LYCAR、太さ 470DTEX) を使用した。また、試験糸は第6章と同様に、ポリウレタン糸を 30 cm の長さに切り出して、10 本の束として結び、試料系とした。

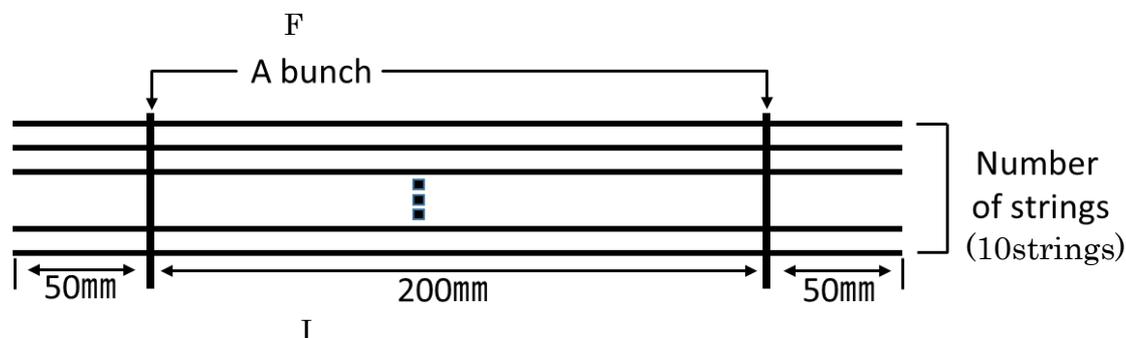


Fig. 7.1 Standard strings

(2) 界面活性剤

界面活性剤には以下に示すものを用いた。

1) 陰イオン界面活性剤

市販洗濯洗剤の粉末洗剤では直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS-Na)、脂肪酸ナトリウム (Soap) およびアルキル硫酸エステルナトリウム (SLS) が汎用されている。それらの構造を Fig. 7.2 に示す。

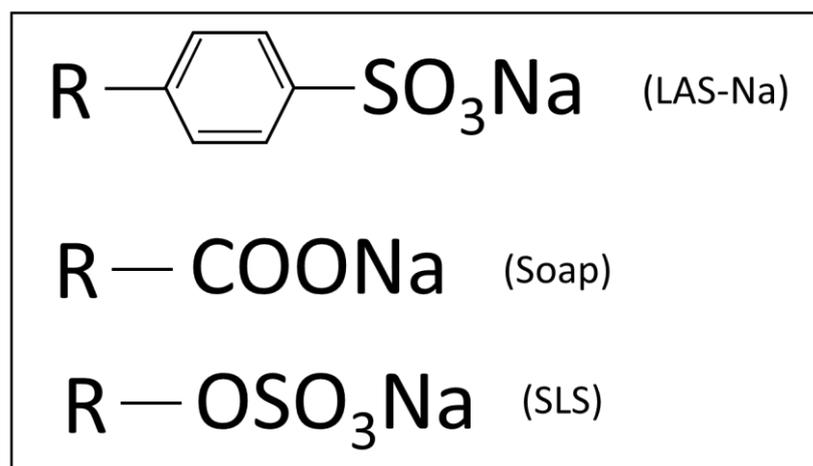


Fig. 7.2 The structure of each anionic surfactant

ポリウレタンの伸縮性に及ぼす界面活性剤の疎水基の影響を見るために、これらの界面活性剤で疎水基の長さが異なる試薬を入手可能なものとして脂肪酸ナトリウムを選択し、Table

7.1 に示すように炭素鎖が 10~18 と異なる脂肪酸ナトリウム (C10、C16：東京化成工業、C12、C14、C18：米山化学薬品) を用いた。

2)非イオン界面活性剤

市販の液体洗剤ではポリオキシエチレンアルキルエーテル (POE) が汎用されている。非イオン界面活性剤はエチレンオキシドの付加モル数を変えることで親水性を調節できることが大きな特徴である。そこで、ポリウレタンの伸縮性に及ぼす界面活性剤の親水基の影響を見るために、Fig. 7.2 に示した親水基の異なる陰イオン界面活性剤のほかに、非イオン界面活性剤の親水基の異なるものを用いた。Table 7.2 に示すように疎水基の炭素鎖は 12 とし、エチレンオキサイド(EO)の付加モル数が 4、8、12、23 個のもの (エマルゲン、花王製) を用いた。

(3)界面活性剤溶液への浸漬試験

上述した陰イオン界面活性剤および非イオン界面活性剤を用いて 0.03%濃度の溶液を調製した。その溶液 100mL を 300mL 共栓付き三角フラスコに入れ、試料糸のポリウレタン糸を添加した。24 時間の浸漬後、水 100mL で軽くすすぎ、ろ紙上において乾燥して、引張試験に用いた。

Table 7.1 Kind of reagent according to the number of carbon

The number of carbon	Reagent	The structure
C10	Sodium Decanoate	
C12	Sodium Laurate	
C14	Sodium Myristate	
C16	Sodium Palmitate	
C18	Sodium Stearate	

Table 7.2 Polyoxyethylene Lauryl ethers according to the number of ethylene oxide

The number of ethylene oxide	Reagent	Structure
EO4	EMULGEN 104P	
EO8*	EMULGEN 108	
EO12*	EMULGEN 109P	
EO23	EMULGEN 123P	

* HLB 値より、エチレンオキシド付加モル数を推定

(4)引張試験

ポリウレタン糸の引張試験の測定は、第 6 章の引張試験に使用した装置を用いて行った。装置にそれぞれの条件で処理された試料糸(5 本、10 本、15 本)を吊るし、Marker No.2 を試料糸を 200 mm の目印に合わせた後、第 6 章に使用したように 12 g の重りを試料糸の先に取り付けて徐々に伸ばした。1 分後に重りによって伸ばされた目印にを Marker No.1 を合わせ、試料糸の先にある重りを取り外す。その後、Marker No.2 と Marker No.1 の長さをノギス (DIGITAL CALIPER、シンワ測定製)を用いて計測した。

また、それぞれの条件で処理した試料糸の伸長量の変化率(%)は、何も処理を加えてない原糸(None)に対し、各条件で処理された試料糸の変化で求めた。各条件で 3 つの試料糸を処理し、試料糸 1 つあたり 5 回を測定し、計 15 個の平均値を求めた。

7.3. 結果および考察

(1)伸長量の変化に及ぼす界面活性剤の疎水基の影響

直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS-Na)、脂肪酸ナトリウム (Soap) およびラウリル硫酸ナトリウム (SLS) の水溶液に浸漬したことによるポリウレタンの伸長量変化を Fig. 7.3 に示す。これらの陰イオン界面活性剤の伸長量変化は、SLS>Soap>LAS-Na の順となった。これまで洗濯洗剤に最も多く使用されている LAS-Na を用いて検討してきたが、LAS-Na よりも Soap および SLS の方が伸びやすいことがわかり、特に SLS は LAS-Na よりも伸長量変化は約 2 倍となることがわかった。

次に、これらの 2 種類の界面活性剤でも LAS-Na のように浸漬の時間による伸長量変化が起きるのかを調べるため、3 種類の陰イオン界面活性剤の中で最も伸長量変化が大きかった SLS を用い、浸漬時間によるポリウレタンの伸長量変化を調べた。その結果を、Fig. 7.4 に示す。陰イオン界面活性剤の SLS は、LAS-Na の伸長量変化と異なり、非イオン界面活性剤 EO8 と同様に浸漬時間が長くなるほどポリウレタン糸は最も伸びやすくなった。このことは、Fig. 7.2 に示すように 3 種類の界面活性剤の構造が関係していると考えられる。ポリウレタンの伸縮性に関与する部分はソフトセグメントと呼ばれるところであり、ここに界面活性剤が浸透することで、ポリウレタンの伸長変化が大きくなると考えてきた。SLS では分子構造が直線状であり、浸漬時間が長くなって浸透量が増えてもソフトセグメントが硬くならず、伸長量が増加したと考えられる。この結果は、LAS-Na が分子構造に立体構造の自由度が低いベンゼン環を持っているため、浸漬時間が長くなることでソフトセグメントが硬くなり、伸縮の動きが硬くなることを間接的に証明するものである。以上のことは、LAS-Na と SLS では親水基がスルホン基 (-SO₃) と硫酸基 (-SO₄) と類似し、疎水基のアルキル基は C₁₁₋₁₄ と C₁₂ で、ほぼ同じであり、ベンゼン環の有無が異なるだけで、ポリウレタンの伸縮性に影響することを示している。

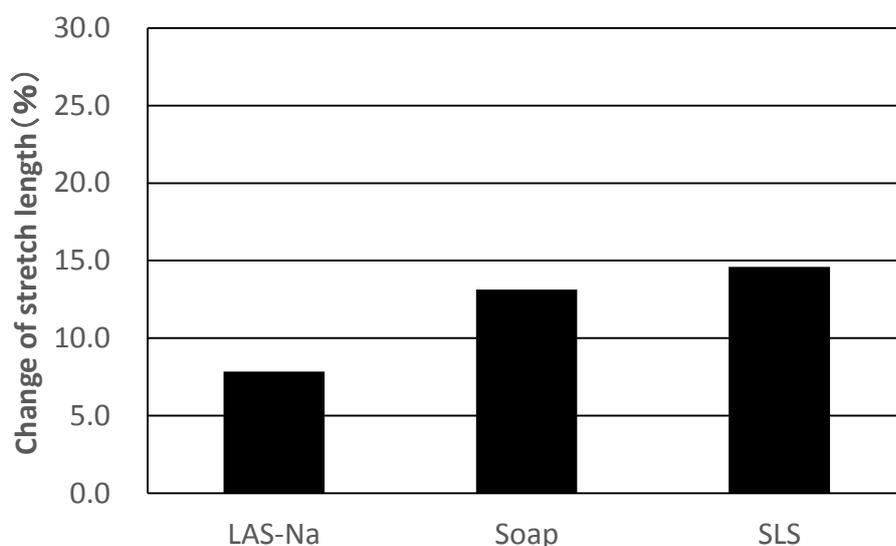


Fig. 7.3 Changes of stretch length by immersion for 24 hours

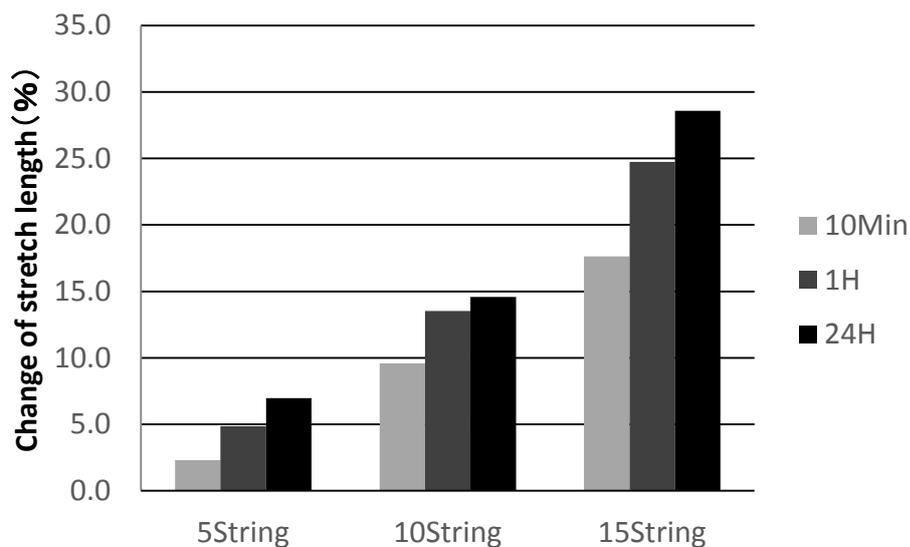


Fig. 7.4 Changes of stretch length by immersion in SLS solution for various time

そこで次に、界面活性剤のアルキル基の長さがポリウレタンの伸張性に及ぼす影響を調べてみた。炭素数が10～18と異なる脂肪酸ナトリウムを用いて、ポリウレタンの伸長量変化を測定した結果を Fig. 7.5 に示した。

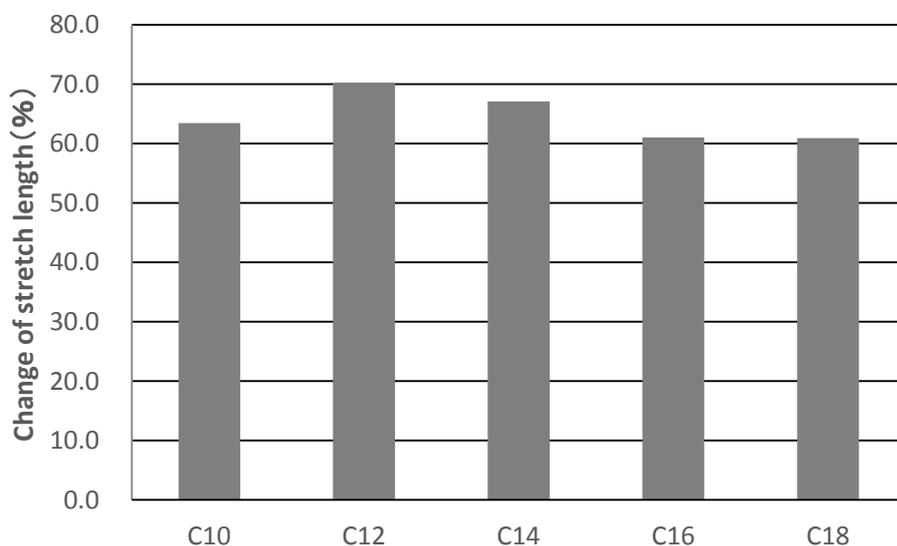


Fig. 7.5 Changes of stretch length depending on length of hydrophobic group of surfactant

脂肪酸ナトリウムでは炭素数 C12 が最も伸長量変化が大きく、それよりも炭素数が多くなると伸長量変化が小さくなり、C16 と C18 でほぼ一定になった。ポリウレタンのソフトセグ

メントには、ポリエステルと同様に油が吸収するエステル基を持ち、脂肪酸はそのソフトセグメントの内部に浸透しやすいことが知られている¹⁾。したがって、脂肪酸ナトリウムはソフトセグメントに浸透・吸着しやすいことがわかり、ポリウレタンの伸長量を大きく変化させたと考えられる。親水基はカルボン酸基 (-COO) で同じでありながら、アルキル基の長さによって、ポリウレタンの伸縮性に与える影響は異なることが分かった。一般に、ポリウレタンのような疎水表面への吸着には界面活性剤の疎水基が長い方が有利であるといえるが、内部への浸透拡散では、分子量の小さい方が有利と知られている。したがって、C12 の脂肪酸ナトリウムが最も伸張性に影響したものと考えられる。

以上、ポリウレタンの伸長量変化に界面活性剤が影響を与える要因としては、界面活性剤の疎水基の立体構造の自由度およびアルキル基の長さが影響することが明らかとなった。

(2)伸長量の変化に及ぼす界面活性剤の親水基の影響

界面活性剤の親水基の影響を見るために、疎水基の長さが同じでエチレンオキシド(EO)の付加モル数が異なる非イオン界面活性剤を用いてポリウレタンの伸長量変化を調べた。その結果を、Fig. 7.6 に示す。

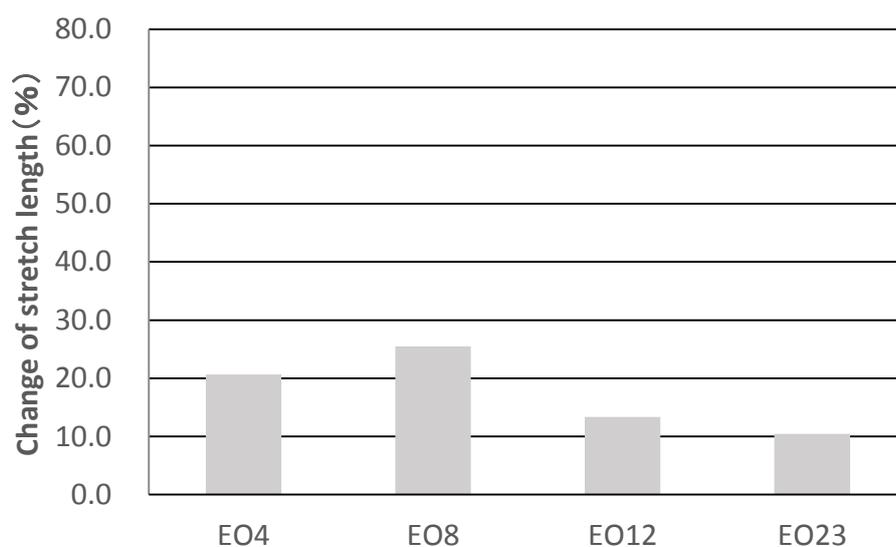


Fig. 7.6 Changes of stretch length depending on the length of polyoxyethylene group
Of nonionic surfactant

親水基であるエチレンオキシド(EO)鎖の長さが異なる非イオン界面活性剤は、EO8 が最も伸長量の変化が大きく、EO12 および EO23 では伸長量の変化は小さくなった。

EO8 と EO23 の伸長量変化を比較すると、約 2 倍の差があった。すなわち、非イオン界面活性剤の EO 鎖が長くなると親水性が増して吸着性が低くなるとともに、Fig. 7.8 に示すようにポリウレタンの中に非イオン界面活性剤が浸透拡散するうえで、分子量が大きいと拡散浸

透しにくくなり、ポリウレタンの伸長量の変化は小さくなったと考える。非イオン界面活性剤であるポリオキシエチレン脂肪酸メチルエステル(C12MEE、EO 付加モル数 14)を用いて同様な実験を行った結果、伸長量変化は 11.9%であり、Fig. 7.6 における EO12 と EO23 の間の数値であった。このことから、界面活性剤の親水基が EO 鎖の場合、分子量において大半の部分を占める EO 鎖の長さが、ポリウレタンの伸縮性に影響することがわかった。また、同じ C12 の疎水基を持ち、親水基が硫酸基 (-SO₄) である SLS と、親水基が EO8 の非イオンを比較すると、EO8 の方がポリウレタンの伸長量を大きく変化させている。これは親水基が EO8 の場合には、EO 鎖の構造的自由度があるためにポリウレタンに吸着浸透後、ソフトセグメントを柔らかくして、伸長量の変化が大きくなったものと考えられる。

また、界面活性剤の構造によるポリウレタンの伸長量変化では、界面活性剤の疎水基が親水基より約 3 倍程度、伸長量の変化が大きいことから、ポリウレタンの伸縮性への影響は、界面活性剤の疎水基が最も大きく影響を与えることが分かった。

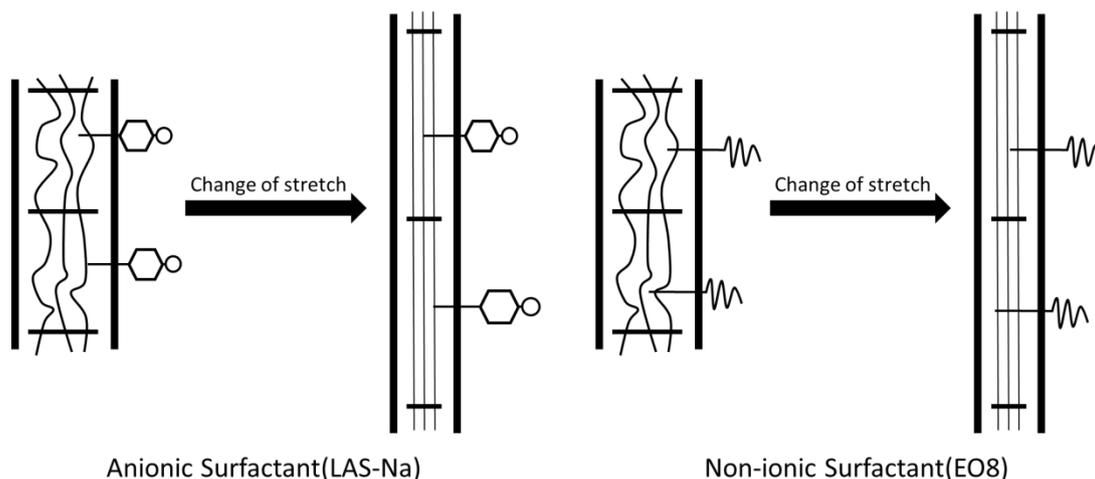


Fig. 7.7 Model of change of stretch length of polyurethane after immersion for 10 minutes

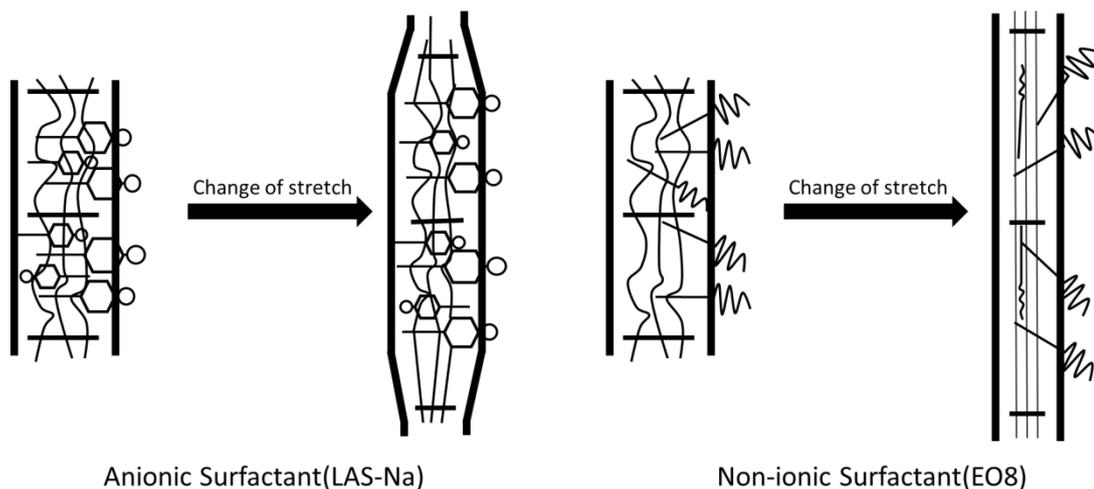


Fig. 7.8 Model of change of stretch length of polyurethane after immersion for 24 hours

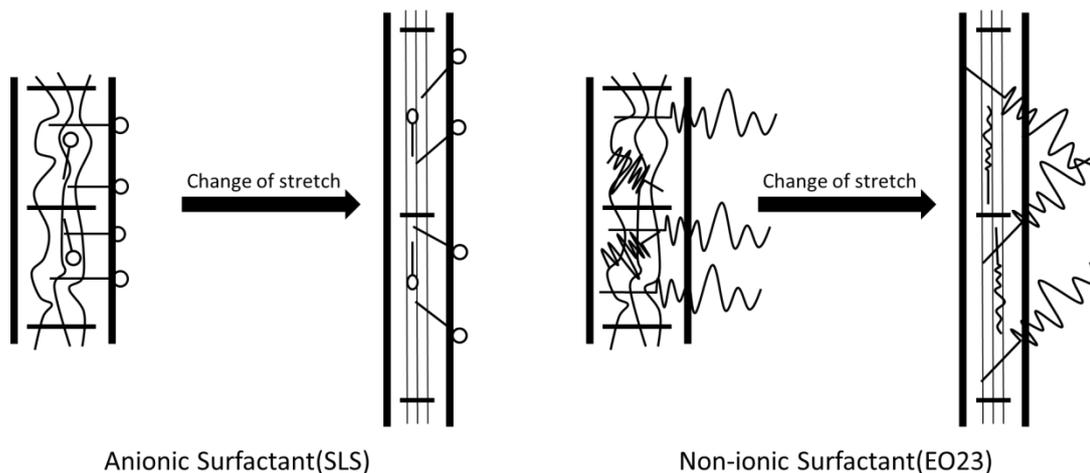


Fig. 7.9 Models of change of stretch length polyurethane depending on the type of surfactant (24 hours)

界面活性剤の種類や構造によるポリウレタンの伸長量変化を、ポリウレタンと界面活性剤の関係を考へて、モデル図で示すと Fig.7.7、Fig.7.8、Fig.7.9 のように表される。

Fig.7.7 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 の溶液にポリウレタンを 10 分間浸漬した場合のものである。いずれの界面活性剤も短時間ではポリウレタンの表面に吸着し、その疎水基のアルキル基がポリウレタンのソフトセグメントの内部に挿入している状態と考えられる。この場合、アルキル基が影響するので、ポリウレタンの伸長量変化では、LAS-Na と EO8 の界面活性剤の違いによる伸長量の変化はあまり見られなかったといえる。浸漬時間を 24 時間にした場合、Fig.7.8 に示したように、長時間の浸漬によって界面活性剤の分子がポリウレタンのソフトセグメントの内部に深く浸透・拡散していると考えられる。この場合のポリウレタンを伸長した場合に、界面活性剤の種類による違いが発生してくる。すなわち、LAS-Na の場合には分子構造にあるベンゼン環は立体構造の自由度が低いことからポリウレタンを伸長したときのソフトセグメントの構造変化に障害となり、このため、LAS-Na 溶液に長時間浸漬すると、ポリウレタンの伸長量変化が小さくなったと考えられる。同じ陰イオン界面活性剤で類似した親水基を持つ SLS の場合に、Fig.7.9 に示したように、ポリウレタンの内部に浸透拡散しても、棒状の分子であるため立体的な障害が発生せず、伸長量の変化は大きくなったといえる。

一方、非イオン界面活性剤の EO8 の場合、親水基である EO 鎖がフレキシブルな立体的構造であるため、長時間浸漬してポリウレタンの内部まで浸透・拡散しても、ポリウレタンを伸長したときにソフトセグメントの構造変化に影響することなく順応するため、伸長量の変化は大きくなったと考えられる。しかし、非イオン界面活性剤でも EO 鎖が 23 と長くなると親水基の分子量は約 3 倍に大きくなるために、Fig.7.9 に示したように浸透・拡散が少なくなり、伸長量の変化は EO8 よりも小さくなったと考えられる。また、長い EO 鎖がポリウレタンの内部や表面で絡まって変形しにくくしているとも考えられる。

7.4. 結論

機能性スポーツウェアに使用されているポリウレタンに対する界面活性剤の影響を、界面活性剤の疎水基および親水基の長さや構造の違いから検討した結果、以下の点が明らかとなった。

(1)陰イオン界面活性剤の疎水基の影響は、炭素鎖の長さがポリウレタンへの吸着性と浸透拡散に影響し、脂肪酸ナトリウムでは C12 の場合が最も大きくポリウレタンの伸張性に影響し、炭素鎖が長くなると、その影響は小さくなることがわかった。また、疎水基にベンゼン環が存在すると立体構造の自由度が低いために、ポリウレタンのソフトセグメントを硬くする影響が現れ、伸長量の変化が少なくなることがわかった。

(2)非イオン界面活性剤の親水基の影響は、EO の付加モル数が 8 個の時に最も大きくなり、それよりも付加モル数が大きくなるにしたがって、伸長量の変化は小さくなった。ここでも、ポリウレタンへの吸着と浸透拡散に親水基の EO 鎖の長さに関係し、EO 鎖が長くなると吸着性と浸透拡散が低下して、ポリウレタンの伸張性の変化への影響も小さくなることがわかった。

本研究において、機能性スポーツウェアで伸縮性の役目を持っているポリウレタンは、界面活性剤の分子構造、すなわち、疎水基および親水基の種類や長さがポリウレタンの伸縮性に影響することが明らかとなった。本章の結果は、スポーツウェアの洗濯時における洗剤の界面活性剤が、スポーツウェアの寸法変化や伸長量の変化に影響するという第 3 章の結果を説明できるものとなった。

参考および引用

- 1) 高橋 俊一, 大嶋 剛ら, 自動車シュレッダーに含まれる発泡ポリウレタンの植物油中での熱分解, プラスチック化学リサイクル研究会討論会予稿集, No.9, p48~49 (2006)
- 2) 角田 光雄, 界面活性剤の機能と利用技術, シーエムシー出版 (2006)
- 3) 日本油化学会, 界面と界面活性剤ー基礎から応用までー, p140~147, 日本油化学会, (2013)
- 4) 高薄一弘, 高分子における劣化・破壊現象の写真・データ事例集, p76~84, 技術情報協会(2014)
- 5) 高薄一弘, 動的粘弾性チャートの解釈事例集, p130~132, 技術情報協会 (2016)
- 6) Yasuko noda, Yasuhiro kanemasa, Determination of hydrophobicity on bacterial surfaces by nonionic surfactants, Journal of bacteriology, Vol. 167, No. 3, p.1016~1019 (1986)
- 7) Jean-Louis Salager, Surfactants - Type and Uses, Laboratio FIRP (2002)
- 8) Richard J. Farn, Chemistry and Technology of Surfactants, Blackwell Publishing Ltd. (2006)

第 8 章

結論

8. 結論

近年、市販されているスポーツウェアは激しい人体の動きに追従し、過酷な条件下で使用されるため、一般の衣服に比べて素材はもちろんパターン、デザインおよび縫製にも人体の動きを考慮した工夫が求められている。同じパターンやデザインであっても、使用する素材によって機能性は変わってくる。このようにスポーツウェアは制作において様々な工夫がされており、機能性素材は他の要素より重要である。しかし、スポーツウェアに使用されている素材は、ポリエステルやポリウレタンのような合成繊維であり、これらのような合成繊維は疎水性であることから、一般に油汚れが付着しやすく、また洗浄によって除去されにくく、繊維の間に油汚れが多く残留してしまう性質がある。これらの汚れは、繊維に残留すると保温性や通気性、吸水性の低下、細菌の発生と繁殖などによる機能面や衛生面の低下につながる問題点が考えられる。

本研究では、ポリウレタンが入っている機能性スポーツウェアの繊維に付着する油汚れや運動する時に繊維に加えられるストレス、および環境温度、洗浄する時に使用する洗剤の種類がスポーツウェアの主たる機能である伸縮性の変化に及ぼす影響を検討した。

第1章「序論」では、まず、スポーツウェアの誕生から現在までのスポーツウェアの歴史や産業、主に使用されている素材について述べた。そして機能性スポーツウェアで最も大事な機能である伸縮性について、油汚れの付着、伸縮ストレス、洗濯などの要因が機能性スポーツウェアの伸縮性変化に及ぼす影響を把握するとともに、その原因を伸縮性に重要な役割を持つポリウレタン繊維に対するこれら要因解析から解明する目的を示した。

第2章「基本原理」では、スポーツウェアの機能性や、その機能性を活かすために使用されている編み方や合成繊維および筋肉の動きについて述べた。また、衣類に付着される汚れの種類や性質を示し、これらの汚れが繊維に付着する仕方について示した。次に、洗浄メカニズムについては、界面活性剤の動きや分類について述べた。そして本研究で注目した界面活性剤である LAS-Na と EO8 の特徴について述べた。

第3章「スポーツウェアの着用実験」では、市販されているコンプレッションタイプを用い、室外環境の要因が影響しない室内トレーニングをして人体から出る汗や皮脂などの要因で、着用と運動、洗浄を繰り返す実用的な条件においてスポーツウェアがどのような変化を起こすのかを明らかにするため、スポーツウェアの寸法変化および黒ズミ・黄ばみの発生について検討した。

スポーツウェアの着用・運動・洗浄の繰り返しの回数が多くなるほど、寸法変化が大きくなり、特に、スポーツウェアの構造の特性に従ってウェール方向よりもコース方向で寸法変化が大きく発生した。このように、日常生活や運動する時に着用されているスポーツウェアは、着用・運動・洗浄を繰り返すことによってスポーツウェアの伸縮性の劣化が起きていることがわかった。また、洗剤の種類によっても異なり、粉末洗剤を用いた洗浄では繰り返しの

着用試験をするほどコース方向が伸びにやすくなり、濃縮液体洗剤を用いた洗浄では、全ての測定部位の寸法変化が大きくなり、コース方向の寸法変化は粉末洗剤の場合よりも大きく表れた。コース方向の変化は、スポーツウェアのニット構造においてコース方向にポリウレタンが含まれることと関係し、また洗剤による伸縮性の違いは、界面活性剤の種類、すなわち陰イオン界面活性剤および非イオン界面活性剤の違いが関係していると考えられる。また、繰り返し着用試験では試験衣料の部位による色差も変化し、その程度は運動時に人体から分泌される汗や皮脂量の大きい部位での変色が大きく、分泌量の少ない腕部の変色が一番小さいことがわかった。

本章の結果から、洗剤成分である界面活性剤の影響の他にも、運動している時に人体から分泌される汗や皮脂汚れなどが繊維に付着し、洗浄で除去できなく繊維の間に残留して、繊維の伸縮性と色の変化に影響を与えることが示唆された。

第4章「スポーツウェアの洗浄性」では、第3章の黒ズミ・黄ばみの結果から機能性スポーツウェアの油汚れ洗浄性に注目し、それらを明らかにするために洗剤に含まれる界面活性剤の種類、スポーツウェアの編み構造、およびポリウレタン含有の影響について検討した。

市販洗濯洗剤や界面活性剤を用いたスポーツウェアの油汚れの洗浄力については、JIS 布に比べ、スポーツウェアの方が非常に低い値を示した。しかし、同じ機能性を持つポリエステル100%のスポーツウェアではJIS ポリエステル布と同様に油汚れの洗浄力は高い値を示した。このことは、スポーツウェアに使用されているポリエステルとポリウレタンは疎水性繊維であり、油汚れは洗浄では除去されにくいと考えてきたが、ポリエステル100%のスポーツウェアでは油汚れの洗浄力が高い値を示したことから、スポーツウェアの洗浄性に対しては、使用されているポリウレタンが大きく影響を与えることがわかった。

本章の結果から、ポリウレタンを含むスポーツウェアに付着した皮脂汚れは、洗浄によって除去しにくく、その原因はポリウレタンの存在が影響していることであり、皮脂汚れはポリウレタンに付着して影響を与えていることが示唆された。

第5章「スポーツウェアの強度変化」では、実際に運動する時にスポーツウェアに加えられる因子、すなわち、第4章で述べたスポーツウェアに付着する油汚れ以外の因子について明らかにするために伸縮ストレス、着用温度、洗濯する時に使用する洗剤の界面活性剤について、試料布の伸縮に及ぼす影響について検討した。

スポーツウェアにハードな伸縮ストレスを加えると、ポリウレタンが含まれているコース方向の変化はあまりなかったが、ウェール方向は非常に伸びにくくなり、さらに試料布に油汚れを添加することでコース方向およびウェール方向ともに伸びやすくなった。しかし、油汚れを付着してストレスを加えると伸長量の変化は大きくなることがわかった。試料布を界面活性剤で洗浄すると、伸長量の変化は陰イオン界面活性剤のLAS-Naも非イオン界面活性剤のEO8もいずれも伸びやすくなった。伸縮ストレス時の温度の影響は、EO8ではウェール方向もコース方向も伸びやすくなったが、LAS-Naはウェール方向とコース方向が逆の傾

向を示した。このことから温度によるポリウレタンへの界面活性剤の浸透量が伸縮性に影響していることがわかった。

本章の結果から、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、皮脂汚れの付着によって伸縮性に影響し、また洗浄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が示唆された。

第6章「ポリウレタン系の伸縮変化」では、第3章から第5章を用い、ポリウレタンが含まれている機能性スポーツウェアは、油汚れに対して洗浄力が低く、残留している油汚れと洗浄時の界面活性剤が影響して、スポーツウェアの寸法変化や伸張量の変化が大きく見られたことから、その原因は、ポリウレタン繊維の伸縮性変化であることを明らかにするために、ポリウレタン系を用いて、第4章および第5章と同様の処理条件で、油汚れ、伸縮ストレス、界面活性剤との接触を加えて、ポリウレタン系の伸長量の変化を検討した。

スポーツウェアの布地と同様の試験を、ポリウレタン系に適用して実験を行った結果、油汚れ付着と伸縮ストレスが加わることで伸長量の変化は大きくなるが、界面活性剤溶液との接触が伸長量の変化に大きく影響した。界面活性剤と接する時間とともに伸縮性の変化は大きくなり、前章のスポーツウェアの実験と同様の結果であったことから、市販の機能性スポーツウェアは、洗浄時において界面活性剤がポリウレタンに大きく影響し、その伸縮性を変化させることが明らかとなった。

また、界面活性剤溶液によるポリウレタンの変化を、界面活性剤溶液への溶出で見ると、LAS-Na 溶液では界面活性剤はポリウレタンに吸着・浸透し、ポリウレタンから成分の溶出が起きることがわかった。しかし、非イオン界面活性剤の場合には吸着・浸透が起きるが、ポリウレタンからの成分の溶出は認められず、LAS-Na と EO8 ではポリウレタンに対する影響が異なることと関係づけられた。

本章の結果から、ポリウレタンを含むスポーツウェアの伸縮性は、着用・運動・洗濯によりポリウレタン系が皮脂汚れの付着、伸縮ストレス、および界面活性剤の影響を受けて大きく変化するためであることが明らかとなった。

第7章「ポリウレタンの伸縮性に及ぼす界面活性剤の構造の影響」では、第6章から界面活性剤の分類による伸縮性変化の結果から同じポリウレタン系を用い、界面活性剤の構造による伸縮性の変化を明らかにするために親水基と疎水基が異なる種々の界面活性剤の水溶液に浸漬させることで、ポリウレタンの伸長量に及ぼす界面活性剤の構造的要因の影響を検討した。

陰イオン界面活性剤の疎水基の影響は、炭素鎖の長さがポリウレタンへの吸着性と浸透拡散に影響し、脂肪酸ナトリウムではC12の場合が最も大きくポリウレタンの伸張性に影響し、炭素鎖が長くなると、その影響は小さくなることがわかった。また、疎水基にベンゼン環が存在すると立体構造の自由度が低いために、ポリウレタンのソフトセグメントを硬くする影

響が現れ、伸長量の変化が少なくなることがわかった。

また、非イオン界面活性剤の親水基の影響は、EO の付加モル数が 8 個の時に最も大きくなり、それ以上の付加モル数では伸長量の変化は小さくなった。これは、ポリウレタンへの吸着と浸透拡散に親水基の EO 鎖の長さが関係し、EO 鎖が長くなると吸着性と浸透拡散が低下して、ポリウレタンの伸張性の変化への影響も小さくなることがわかった。

本章の結果から、機能性スポーツウェアに含まれるポリウレタンは、界面活性剤による影響を受けるが、その影響は界面活性剤の分子構造によって異なり、疎水基および親水基の種類や長さがポリウレタンの伸縮性に影響することが明らかとなった。スポーツウェアの洗濯時における洗剤の界面活性剤が、スポーツウェアの寸法変化や伸長量の変化に影響するという第 3 章の結果を説明できるものとなった。

本研究から、市販の機能性スポーツウェアにおいて運動機能性を維持するための伸縮性はポリウレタンの性質によって発現するが、そのポリウレタンは、油汚れの洗浄性が悪く、また、洗浄時に界面活性剤の影響を受けて伸長量が大きく変化した。これらの影響でスポーツウェアの伸縮性は、着用でも影響を受けるが、それより洗濯を繰り返すことで洗剤に含まれている界面活性剤の影響を受け、その影響は界面活性剤の種類や構造が関係して、異なってくるということが明らかになった。

本論文に使用した研究論文目録

第3章、第4章

- 1) 鄭好根, 時田直恵, 米山雄二, スポーツウェアの伸縮性に及ぼす伸縮負荷、油汚れ付着および洗浄の影響, *Material Technology*, Vol.34, No.4, p.75~80 (2016)

第5章、第6章

- 2) 鄭好根, 時田直恵, 米山雄二, スポーツウェアの伸縮性に及ぼす洗剤の影響, *Material Technology*, Vol.33, No.6, p119~125 (2015)

謝 辞

本研究は、文化学園大学大学院 生活環境学研究学 博士後期課程 被服環境学専攻において行った研究結果をまとめたものであります。

本論文をまとめるにあたり、終始御指導と共に励ましを頂きました米山雄二教授に心より深く御礼を申し上げます。また、本研究をまとめるにあたり御指導、御助言を贈りました文化学園大学テキスタイル研究室の諸先生方にも深く感謝いたします。そして、御声援と協力を贈りました先輩方や後輩たちに厚く感謝いたします。そして、時間を共に過ごし、お互いに励ましの言葉を掛け合った友や周囲に支えて頂きました方々にも感謝します。

最後には、いつも私の味方になり、応援や激励をくれた家族に感謝の意を表します。