

各種液体中における市販人工汚染布の洗浄性

後 藤 景 子

(京都教育大学教育学部)

原稿受付平成 20 年 4 月 30 日；原稿受理平成 20 年 10 月 4 日

Detergency of Artificially Soiled Fabrics in Various Washing Liquids

Keiko GOTOH

Department of Education, Kyoto University of Education, Kyoto 612-8522

A textile washing test was carried out on three artificially soiled fabrics that are commercially available using water and various organic solvents. The detergency was evaluated from surface reflectance of the soiled fabric before and after washing. For all soiled fabrics, the detergency had good correlation with the relative electric constant, ϵ_r , of the washing liquid. The maximum detergency was achieved at $\epsilon_r \approx 14$, corresponding to that of 1-pentanol. The soil stains were difficult to be removed in water with high ϵ_r and organic solvents with low ϵ_r . However, in the presence of anionic surfactant and alkali, the detergency in water increased and was comparable to that in 1-pentanol. As a mechanical action for the soil removal, stirring with a magnetic stirrer and ultrasonic waves were found to be effective in water and organic solvents, respectively. It was observed that the washing in water by stirring damaged the fabric. On the other hand, the damage was reduced considerably when organic solvents were used or when ultrasonic waves were applied. Conclusively, it was confirmed that water is an excellent washing medium, although there are cases where it may damage the fabric.

(Received April 30, 2008; Accepted in revised form October 4, 2008)

Keywords: detergency 洗浄性, artificially soiled fabric 人工汚染布, surface reflectance 表面反射率, washing medium 洗浄媒体, dielectric constant 誘電率.

1. 緒 言

衣服は着用すると汚れやにおいの付着や変形が起こる。健康で快適な衣生活を営む上で、美観や機能の回復が極めて重要であることは言うまでもないが、適切な管理を行って衣服の寿命を延ばすことは資源の有効利用や環境負荷の低減につながる。衣服の管理の中で、洗濯は最も重要であり、商業洗濯も広く普及している。

一般に、衣服の洗浄は、水や有機溶剤を用いて行われる。水は環境や人体にとって安全な物質であるばかりでなく、多くの汚れ物質を溶解する優れた洗浄媒体である。しかしながら、有機溶剤に比べて油汚れの洗浄性に乏しく、収縮、型くずれ、毛羽立ち、色落ち、パッカリング、縫い目割れ、風合い変化等の被洗物の損傷が起こりやすい¹⁾²⁾。したがって水系洗濯では衣類の損傷をできるだけ抑えるため、洗剤液組成、機械作用、温度、時間等の洗浄条件を工夫する必要がある。一方、有機溶剤を用いたドライクリーニングでは、布

の損傷が起こりにくい。加えて、油汚れの溶解除去が容易であるという利点があるが、反面、水溶性汚れは極めて除去しにくいという欠点がある³⁾。また、洗剤濃度や溶剤の汚染状況の管理が適正でないと再汚染が起こりやすく、一定レベルの洗浄率が得られないという問題もある⁴⁾⁵⁾。さらに、衣服素材の多様化に伴い、コーティングやラミネート加工布などでクリーニング事故が多発している^{5)~7)}。このように、ドライクリーニングを取り巻く状況は極めて厳しいが、さらに大きな問題は有機溶剤の環境や人体への影響である。

有機溶剤のうち、フロン 113 や 1,1,1-トリクロロエタンの生産は、地球のオゾン層破壊という環境問題への対策として 1995 年末に中止された。このため代替洗浄剤への転換が急速に進んだが、環境負荷や安全性の点で問題となるものが多く、すでに全廃、あるいは将来的に全廃が決定しているものもある。また、現在使用されている石油系溶剤や不燃性合成溶剤も低引火

点, 大気汚染, 発癌性など多くの問題を抱えている⁸⁾⁹⁾. このため, グリコールエーテル, シリコン系, 液化二酸化炭素などの新規溶剤が提案されているが^{10)~13)}, いずれも決定的なものはない.

上記の現状を背景として, 商業洗濯において従来の有機溶剤を用いたドライクリーニングだけでなく, 水を用いたウェットクリーニングが推進されている^{3)14)~16)}. また, 家庭洗濯でも, 洗剤の配合成分や洗濯機的方式など, 数々の工夫が試みられている¹⁷⁾. このように, 環境保全や人体安全性を考慮した“持続可能な”衣類の洗浄方式を追求することが極めて重要な社会的課題となっている¹⁸⁾.

そこで本研究では, より合理的な衣類の洗濯法の開発に役立つ基本的情報を得ることを目的として, 汚れの洗浄性や布の損傷に及ぼす洗浄液組成や機械作用の影響を系統的に調べる. 3種の市販人工汚染布を用いて, 水や各種有機溶剤中で攪拌洗浄を行い, 洗浄前後の布の表面反射率を測定して洗浄性を評価する. 得られた洗浄結果を比較検討し, 洗浄効果の高い液体を検索するとともに, 洗浄率を液体の表面自由エネルギーや比誘電率で整理する方法で液体の洗浄能に関する一般的指標を示す. さらに, 人工汚染布と Mechanical Action 試験布を用いて, 洗浄性や布の損傷に及ぼす機械作用の影響を調べる. 以上の結果を総合的に評価し, 洗浄液組成や機械作用の観点から, 望ましい洗浄条件を提案する.

2. 実 験

(1) 試 料

用いた人工汚染布は, 木綿湿式人工汚染布 (洗濯科学協会), 木綿/すす/オリーブ油汚染布 (CFT, C-02), およびポリエステル/すす/オリーブ油汚染布 (CFT, P-02) の3種である¹⁹⁾. 木綿湿式人工汚染布には, 固体粒子汚れとして泥とカーボンプラック, 油汚れとして脂肪酸やコレステロールなど, タンパク質汚れとしてゼラチンが付着させてある²⁰⁾. いずれも大きさは $50 \times 50 \text{ mm}^2$ である. 布の損傷の程度は Mechanical Action (MA) 試験布 (デンマーク技術研究所) を用いて評価した. MA 試験布に開けられた5つの穴 ($35 \text{ mm } \phi$) をそれぞれ中心にして, $50 \times 50 \text{ mm}^2$ の布を5枚裁断し, 実験に供した.

洗浄液には, Table 1 に示す水, 各種有機溶剤, 界面活性剤水溶液, および水/エタノール混合液を用いた. 用いた液体の表面張力および比誘電率は Table 1

に示す通りである. ここで表面張力は文献値²¹⁾ またはペンダントドロップ法での測定値, 並びに比誘電率は文献値²²⁾ である. 界面活性剤には硫酸ドデシルナトリウム (SDS, 和光純薬工業製化学用一級品) を用いた. 有機溶剤は化学用特級品, および水酸化ナトリウムは容量分析用 1 mol/dm^3 水溶液を使用した. 水は, 脱イオン後蒸留し, さらにメンブランろ過を行ったもの ($>18 \text{ M}\Omega \text{ cm}$) を用いた.

(2) 洗浄実験

0.2 dm^3 ビーカーに洗浄液 0.1 dm^3 , 汚染布1枚 (布の損傷評価を行う場合は MA 試験布1枚) および磁気攪拌子 ($8 \text{ mm } \phi \times 40 \text{ mm}$) 1個を入れ, $25 \pm 1^\circ \text{C}$, 600 rpm で20分間攪拌して洗浄を行った. 界面活性剤水溶液および水/エタノール混合液では 2 mmol/dm^3 の水酸化ナトリウム添加系での実験も行った. また, 機械作用の影響を調べるために, 攪拌洗浄と同様に 0.2 dm^3 ビーカーに入れた洗浄液 0.1 dm^3 中に汚染布1枚 (布の損傷評価を行う場合は MA 試験布1枚) を水平に入れ, 機械力を与えない浸漬のみの洗浄, および超音波洗浄 (SHARP 製 UT-105HS を使用, 周波数 35 kHz) も行った. 超音波の出力は, 洗浴に本多電子製音圧計 HUS-5 のセンサーを挿入して測定したところ, 約 40 mV の値が得られた. 本実験では機械作用を変化させて洗浄実験を行っているため, すすぎによる汚れの脱離や布の損傷が問題となる. そこで, 浴比が1:200~300 と大きいことを考慮して, 洗浄後はすすぎなしでそのまま乾燥させた.

(3) 洗浄性の評価

洗浄前後の汚染布および白布の表面反射率を分光色差計 (日本電色工業株式会社, NF333) で測定した. 用いた波長は, 人工汚染布入手先からの指示に従い, 木綿湿式人工汚染布では 560 nm , 木綿/すす/オリーブ油汚染布およびポリエステル/すす/オリーブ油汚染布では 460 nm とした. 下地の影響を抑えるために同じ条件の布4枚を重ねた状態で, 各布につき裏表2カ所ずつ計4カ所の平均値を求めた.

得られた表面反射率を次のケルカムンクの式に代入して, 洗浄率を算出した²³⁾.

$$D = \frac{(1-R_s)^2/2R_s - (1-R_w)^2/2R_w}{(1-R_s)^2/2R_s - (1-R_o)^2/2R_o} \quad (1)$$

ここで R_s , R_w および R_o は洗浄前の汚染布, 洗浄後の汚染布および白布の表面反射率である. いずれの汚染布についても同一条件での洗浄を4~6回繰り返した

各種液体中における市販人工汚染布の洗浄性

Table 1. Surface tensions, γ , and relative dielectric constants, ϵ_r , of liquids

Liquids	$\gamma/\text{mN m}^{-1}$	ϵ_r
Water	72.59 ^{2,*}	78.3 ^{2,**}
Methanol	22.07 ^{2,*}	32.60 ^{2,**}
Ethanol	21.97 ^{2,*}	24.55 ^{2,**}
1-propanol	23.32 ^{2,*}	20.33 ^{2,**}
1-butanol	24.94 ^{2,*}	17.51 ^{2,**}
1-pentanol	25.36 ^{2,*}	13.90 ^{2,**}
1-hexanol	25.81 ^{2,*}	13.30 ^{2,**}
Acetone	23.46 ^{2,*}	20.70 ^{2,**}
Tetrachloroethylene	31.7 ^{2,***}	2.30 ^{2,**}
1,4-dioxane	32.75 ^{2,*}	2.102 ^{1,**}
<i>n</i> -heptane	24.55 ^{2,*}	1.924 ^{1,**}
Aqueous SDS 1 mmol/dm ³ solution	63.8 ^{2,***}	—
Aqueous SDS 3 mmol/dm ³ solution	52.2 ^{2,***}	—
Aqueous SDS 5 mmol/dm ³ solution	45.3 ^{2,***}	—
Aqueous SDS 8 mmol/dm ³ solution	38.0 ^{2,***}	—
Aqueous SDS 10 mmol/dm ³ solution	37.6 ^{2,***}	—
Water/Ethanol (90/10) mixture	54.2 ^{2,***}	75.2 ^{1,**}
Water/Ethanol (80/20) mixture	43.1 ^{2,***}	70.5 ^{1,**}
Water/Ethanol (70/30) mixture	37.9 ^{2,***}	65.0 ^{1,**}
Water/Ethanol (50/50) mixture	29.6 ^{2,***}	54.8 ^{1,**}
Water/Ethanol (30/70) mixture	26.2 ^{2,***}	42.3 ^{1,**}

¹ 20°C, ² 25°C. * The Chemical Handbook II, Maruzen, Tokyo, 1993, pp. 73-83. ** The Chemical Handbook II, Maruzen, Tokyo, 1993, pp. 498-503. *** Experimental values by pendant drop method.

ところ、洗浄率の誤差は概ね±2%以内であった。

(4) 布の損傷の程度の評価

布の損傷の程度は、洗浄実験後の MA 試験布の穴の部分を観察し、機械力によりほつれ出た糸の本数を数えた。同一条件で繰り返し5回の洗浄を行い、5枚分の合計本数を求めて布の損傷の程度を評価した。

実験は全て 25±2°C の室中で行った。

3. 結 果

(1) 純粋液体中での洗浄率

純粋液体を用いて攪拌洗浄を行ったときの洗浄率を Fig. 1 に示す。水中での洗浄率は木綿湿式人工汚染布で小さく、木綿/すす/オリーブ油汚染布、ポリエステル/すす/オリーブ油汚染布の順に大きくなっている。結果として、木綿湿式人工汚染布と木綿/すす/オリーブ油汚染布では水中に比べて有機溶剤中での洗浄率がかなり大きくなった。また、どの汚染布でもア

ルコール中での洗浄率は炭素数とともに増大し、1-ペンタノール中で最大となった。木綿/すす/オリーブ油汚染布に比べてポリエステル/すす/オリーブ油汚染布では全体に洗浄率が低く、すす/オリーブ油混合汚れはポリエステル布から除去されにくい傾向が示された。

(2) 洗浄性に及ぼす界面活性剤の添加効果

各汚染布で得られた洗浄率と SDS 濃度の関係を Fig. 2 (□) に示す。いずれの汚染布でも SDS 濃度が増加すると洗浄率が増大し、SDS の界面化学的作用²⁴⁾ が汚れの洗浄性を向上させたことが明らかである。とくに木綿湿式人工汚染布では SDS 添加効果が著しく、SDS 8 mmol/dm³ (～臨界ミセル濃度) での洗浄率は無添加のときの5倍程度となった。

(3) 洗浄性に及ぼすエタノールの添加効果

環境や人体に比較的安全なエタノールが洗浄媒体に利用できるかどうかを検討するため、水にエタノール

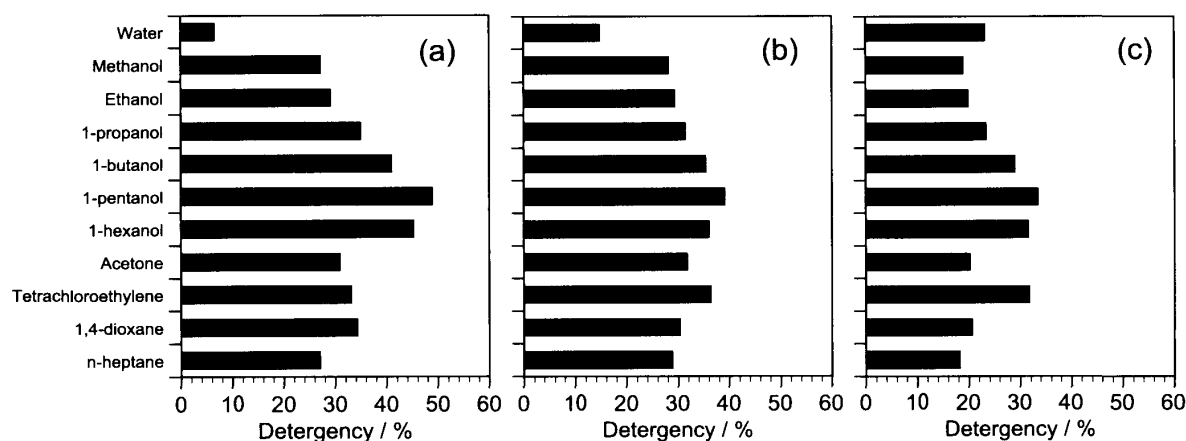


Fig. 1. Detergency of artificially soiled fabrics in various liquids by applying stirring as mechanical action

(a) Sentaku Kagaku Kyoukai, (b) CFT, C-02, (c) CFT, P-02.

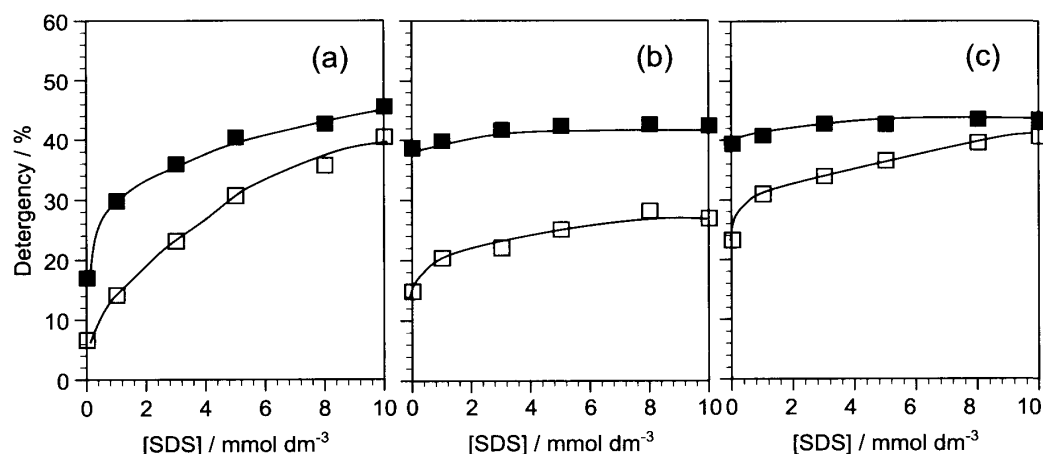


Fig. 2. The effect of SDS concentration on detergency of artificially soiled fabrics in the aqueous solution in the absence (□) and the presence (2 mmol/dm³, ■) of sodium hydroxide by applying stirring as mechanical action

(a) Sentaku Kagaku Kyoukai, (b) CFT, C-02, (c) CFT, P-02.

を種々体積比で混合したときの洗浄率を評価した。結果を Fig. 3 (△) に示す。木綿湿式人工汚染布ではエタノール濃度の増加とともに洗浄率が増大し、とくに50%以上で顕著であった。木綿/すす/オリーブ油汚染布では、エタノールを添加すると洗浄率は一旦やや減少する傾向を示すが、エタノール50%以上では急激に増大し、エタノール中での洗浄率が水中での値の2倍程度となった。ポリエステル/すす/オリーブ油汚染布ではエタノール濃度が大きくなると洗浄率が一旦増加するが、その後減少してエタノール濃度50%付近では殆ど零となった。エタノール濃度が50%を越えると再び洗浄率が増加する傾向を示すが、エタノール中での洗浄率は水中より僅かに小さくなった。この

ように、水系洗浄へのエタノール添加効果は概ね洗浄を促進するが、繊維や汚れの種類によっては複雑な挙動を示した。この原因の一つに、表面反射率法で洗浄率を評価していることが挙げられる。すなわち、反射率は布上に付着した着色物質の量と関係するので、本研究で用いた汚染布では固体粒子汚れのみの付着量の指標となる。したがって油汚れと固体粒子汚れの洗浄性に差がある場合は、表面反射率法で洗浄性を評価することは難しい。さらに、反射率には固体粒子汚れの付着量だけでなく、粒子の大きさや付着状態が影響する。したがって洗浄前後でこれらが変化した場合は、反射率法で得られた洗浄率が汚れの付着量を定量して求めた真の洗浄率とは異なる可能性がある。これらの

各種液体中における市販人工汚染布の洗浄性

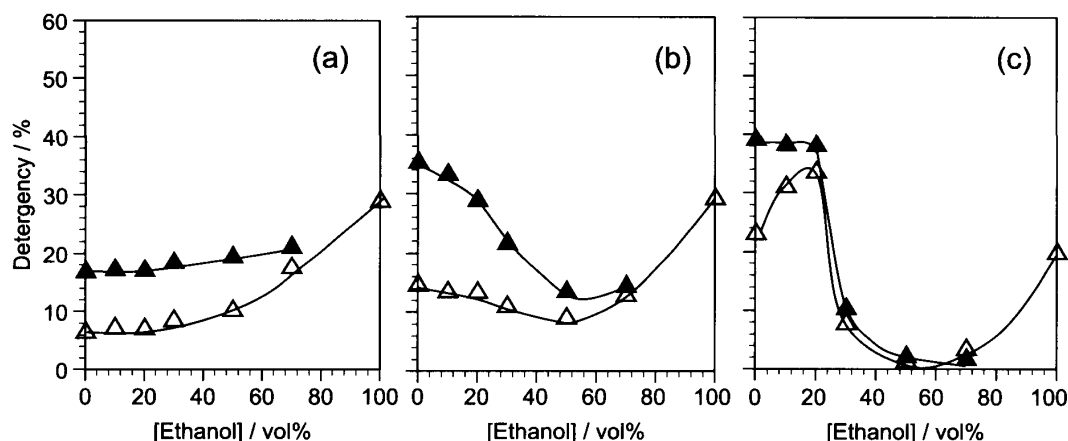


Fig. 3. The effect of ethanol concentration on detergency of artificially soiled fabrics in water/ethanol mixtures in the absence ($\triangle$) and the presence (2 mmol/dm^3 , $\blacksquare$) of sodium hydroxide by applying stirring as mechanical action

(a) Sentaku Kagaku Kyoukai, (b) CFT, C-02, (c) CFT, P-02.

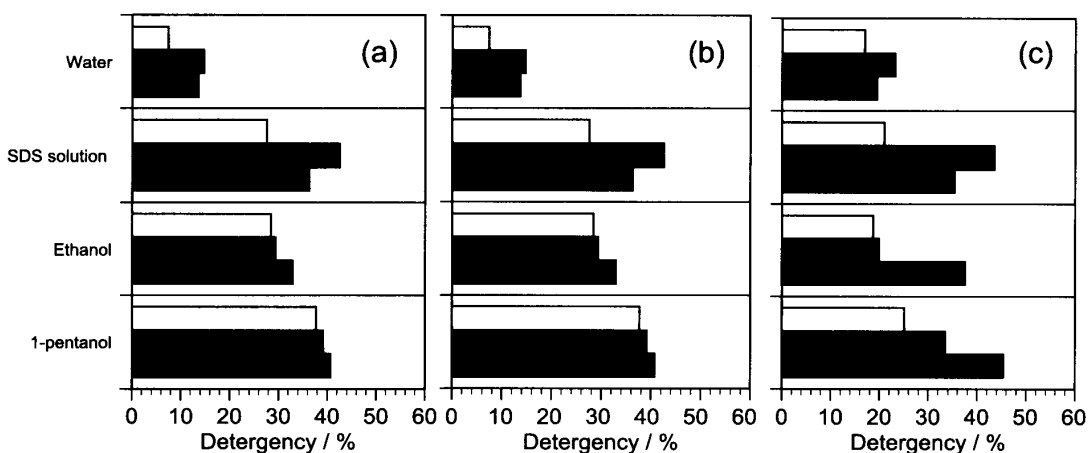


Fig. 4. Detergency of artificially soiled fabrics in water, aqueous solution containing SDS 8 mmol/dm^3 and NaOH 2 mmol/dm^3 , ethanol and 1-pentanol without ($\square$) and with mechanical actions (stirring: $\blacksquare$, ultrasonic waves: $\blacksquare$)

(a) Sentaku Kagaku Kyoukai, (b) CFT, C-02, (c) CFT, P-02.

点に関しては今後検討したい。

(4) 洗浄性に及ぼすアルカリの添加効果

水, SDS 水溶液および水/エタノール混合液に水酸化ナトリウムを 2 mmol/dm^3 共存させたときの洗浄率を Fig. 2 ($\blacksquare$) および Fig. 3 ($\blacktriangle$) に示す。アルカリ無添加の結果 (Fig. 2 ($\square$) および Fig. 3 ($\triangle$)) と比較すると、殆どすべての SDS およびエタノール濃度でアルカリ添加による洗浄効果が認められる。とくに、水 ($[\text{SDS}] = 0$ または $[\text{Ethanol}] = 0$) にアルカリを添加した場合の洗浄率の増加が大きく、水系洗浄ではアルカリ単独添加でかなりの洗浄効果が期待できることが示唆された。アルカリの洗浄効果は、汚れ成分

であるオレイン酸がアルカリによりケン化されて脂肪酸石けんが生成したことに起因すると考えられる²⁵⁾。

(5) 洗浄性に及ぼす機械力の効果

水, SDS 水溶液, エタノールおよび 1-ペンタノール中で、機械力を与えない浸漬のみでの洗浄, 攪拌洗浄, および超音波洗浄を行った結果を Fig. 4 に示す。いずれの汚染布でも浸漬だけである程度の洗浄率が得られるが、機械力を与えると洗浄が促進されるという結果が得られた。このとき水系 (水および SDS 水溶液) では超音波洗浄に比べて攪拌洗浄が、有機溶剤では攪拌洗浄に比べて超音波洗浄が、汚れ除去の機械力として有効である傾向が認められた。一般に、超音波

洗浄は繊維のように柔らかい基質にはあまり効果がないと言われている²⁶⁾。洗浄媒体の種類や超音波の出力など洗浄条件を工夫し、衣類の洗浄に利用できる可能性を今後検討したい。

(6) 布の損傷に及ぼす洗浄液および機械力の影響

水, SDS 水溶液, エタノールおよび 1-ペンタノール中で, 機械力を与えない浸漬のみでの洗浄, 攪拌洗浄, および超音波洗浄を行ったときの MA 値を Table 2 に示す。

浸漬のみの場合は, いずれの液体でも MA 値は小さくなった。攪拌洗浄では MA 値が大きく, とくに水系(水および SDS 水溶液)では著しい。その主な原因は, 水による繊維の膨潤とそれに伴う収縮および歪みの解放である³⁾²⁶⁾。また, 水は粘度が大きいので, 攪拌による布の熱れや捻れが生じやすいと考えられる。

Table 2. Mechanical action values obtained by MA-test pieces

	Mechanical action		
	None	Stirring	Ultrasonic waves
Water	3	22	10
Aqueous SDS solution	1	20	10
Ethanol	0	10	0
1-pentanol	0	7	0

[SDS]=8 mmol/dm³, [NaOH]=2 mmol/dm³.

機械力を超音波にすると, 水系洗浄での MA 値が半減し, 有機溶剤中では機械力を与えない場合と同様, MA 値は零となった。この結果から, 水を用いて攪拌洗浄を行った場合は布の損傷が大きいが, 有機溶剤や超音波を使用すると布の損傷が抑えられることが示唆された。

4. 考 察

3種の市販人工汚染布で得られた洗浄結果から, 汚れの洗浄性は液体組成や機械作用によりかなり異なることが確認された。本研究では, より有効な洗浄媒体を決定するための一般的指標を得るために, 液体表面の性質として表面張力を, 液体バルクの性質として誘電率を取り上げ, 実験結果を検討した。

洗浄率と液体の表面張力の関係を Fig. 5 に示す。どの汚染布でも SDS 水溶液で得られた結果(□)は, 液体の表面張力が減少すると洗浄率が増大する傾向を示した。しかしながら, 純粋液体(○)や水/エタノール混合液(△)中での結果は一定の傾向を示さなかった。言い換えれば, 純粋液体, SDS 水溶液, 水/エタノール混合液で得られた結果は同一曲線上にプロットされず, 表面張力をパラメータとして有効な洗浄液組成を決定することは難しい。

一方, 純粋液体と水/エタノール混合液で得られた結果について洗浄率と比誘電率の関係を調べたところ, いずれの汚染布でもほぼ同一曲線上にプロットされ, 比誘電率が 14 付近で洗浄率が極大となった (Fig. 6)。

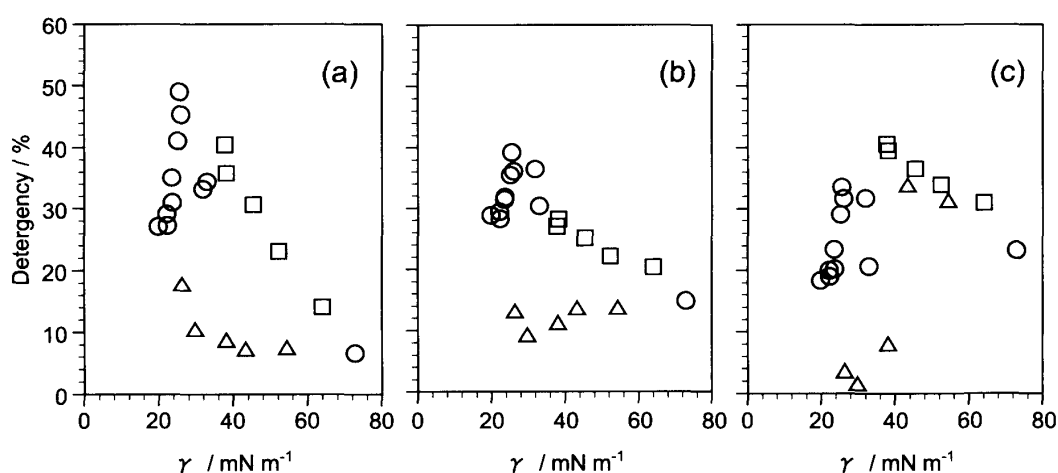


Fig. 5. The effect of surface tension on detergency of artificially soiled fabrics in pure liquids (○), aqueous SDS solutions (□), and water/ethanol mixtures (△) by applying stirring as mechanical action

(a) Sentaku Kagaku Kyoukai, (b) CFT, C-02, (c) CFT, P-02.

各種液体中における市販人工汚染布の洗浄性

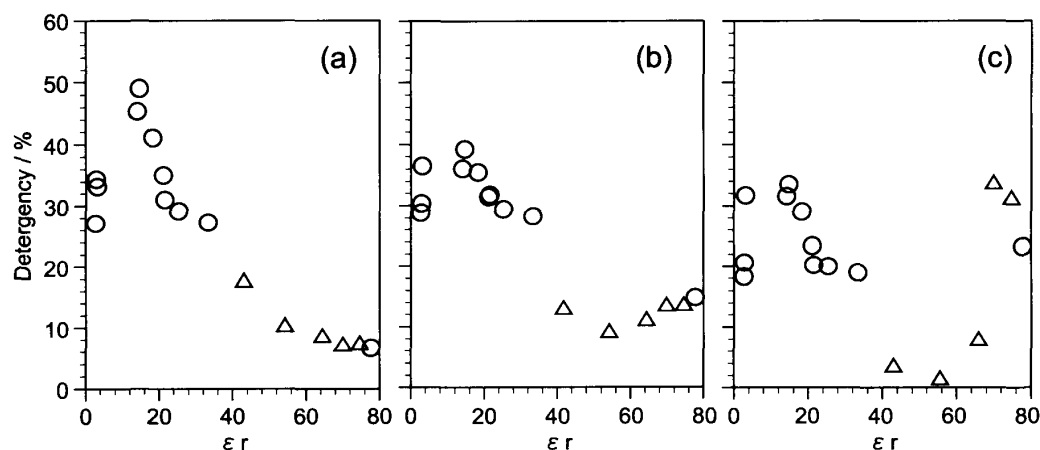


Fig. 6. The effect of dielectric constants on detergency of artificially soiled fabrics in pure liquids (○) and water/ethanol mixtures (△) by applying stirring as mechanical action

(a) Sentaku Kagaku Kyoukai, (b) CFT, C-02, (c) CFT, P-02.

木綿／すす／オリーブ油汚染布やポリエステル／すす／オリーブ油汚染布では、比誘電率の高い領域で洗浄率が再び増大する傾向を示した。液体中での布からの汚れ除去は、汚れの溶解性や汚れ-繊維間の相互作用に支配されると考えられる。一方、誘電率は液体の電氣的極性²⁷⁾、および液体中での繊維-汚れ間の分子間力²⁸⁾や静電力²⁹⁾と関係している。実験結果 (Fig. 6) においても洗浄率と比誘電率の間に関係性が認められたことから、誘電率が効果的な洗浄液組成を決定するための指標として利用できる可能性が示唆された。

5. 結 論

3種の市販人工汚染布とMA試験布を用いて水や各種有機溶剤中で洗浄を行い、以下の知見を得た。

1. 洗浄率は木綿／すす／オリーブ油汚染布に比べてポリエステル／すす／オリーブ油汚染布で低くなり、すす／オリーブ油混合汚れはポリエステル布から除去されにくいことが示唆された。

2. 洗浄の機械作用としては、水系では攪拌が、有機溶剤では超音波照射が有効である傾向が認められた。

3. 水を用いて攪拌洗浄を行った場合は布の損傷が大きいが、有機溶剤の使用や超音波洗浄により布の損傷がかなり抑えられる傾向が示された。

4. どの汚染布でも、洗浄率が洗浄液の誘電率とともに規則的に変化する結果が得られ、比誘電率が14付近の1-ペンタノールで洗浄率が極大となった。誘電率の高い水は単独では洗浄率が低いが、界面活性剤やアルカリを共存させると1-ペンタノールと同程度

の洗浄率となった。この結果から、界面活性剤の界面化学的作用やアルカリのケン化作用が固体粒子汚れや油汚れの水系洗浄能を著しく向上させることが確認された。

結論的には、最も洗浄効果の高い液体と機械作用の組み合わせは、界面活性剤とアルカリを添加した水を用いた攪拌洗浄、および1-ペンタノールを用いた超音波洗浄であった。しかしながら、水では布の損傷が大きく、水系洗浄を推進する上での課題であることが確認された。

本研究は平成19年度科学研究費補助金（基盤研究A、課題番号19200050、研究代表者：山口庸子）により行った。ここに付記し謝意を表す。

引 用 文 献

- 1) 伊藤 博：洗濯革命の動向と今後の展開，*繊維誌*，**55**，181-185 (2002)
- 2) 野呂正勝：有機溶剤に依存しない水系洗濯の推進に向けた調査研究，*繊維誌*，**55**，191-195 (2002)
- 3) 海野 信：多様化するアパレル製品へ対応するクリーニング，*繊維誌*，**56**，61-67 (2000)
- 4) 西山 誠：日本のドライクリーニングの実情と求められる繊維製品―「際ツキ」事故から、繊維製品に求められる事を考察する―，*繊維誌*，**47**，103-115 (2006)
- 5) 西山 誠：日本のドライクリーニングの実情と求められる繊維製品 (2) 溶剤汚染―クリーニング業者を悩ませる「悪魔」―，*繊維誌*，**47**，446-454 (2006)
- 6) 塩飽 裕：クリーニング業界から素材メーカーに望む，*繊維誌*，**54**，96-100 (2001)

- 7) 梅澤典子：海外製品のクリーニングクレーム—クリーニング総合研究所の事故品鑑定に見るその実態—, 繊維消誌, **48**, 174-178 (2007)
- 8) 瓦田研介：動き出した VOC 規制とその対応, 洗濯の科学, **51** (2), 41-47 (2006)
- 9) 山田 稔：クリーニング業界における VOC 規制の自主的取り組み, 洗濯の科学, **51** (1), 26-33 (2007)
- 10) 吉沢裕介, 佐藤善之, 猪股 宏, 新井智宏, 加藤義徳：超臨界二酸化炭素を用いたドライクリーニングの実用化, 繊維誌, **58**, 353-358 (2005)
- 11) 原田雅史：液体二酸化炭素を用いた洗浄システムと各種人工汚染布に体する洗浄性, 家政誌, **56**, 241-253 (2005)
- 12) 瀧田 学：新しいドライクリーニング Solvair Dry Cleaning Technology, 洗濯の科学, **51** (2), 28-33 (2006)
- 13) 江部陽一：新しいドライクリーニング溶剤 HFC365 mfc, 洗濯の科学, **52** (1), 20-25 (2007)
- 14) 杉野 昭：水系洗濯性能の評価, 繊維誌, **54**, 449-451 (2001)
- 15) 荻野 勝：水系洗濯性能基準と表示, 繊維誌, **54**, 452-457 (2001)
- 16) 小野雅啓：水系洗濯の動向—ISO と日本の現状, 繊維誌, **55**, 202-206 (2002)
- 17) 永山升三：持続可能な消費に向けた家庭洗濯, *SEN'I GAKKAISHI*, **61**, 245-248 (2005)
- 18) 駒城素子：新しい洗濯方式を, 繊維学誌, **57**, 17 (2001)
- 19) 本山幸一：世界の人工汚染布, 洗濯の科学, **52** (2), 38-43 (2007)
- 20) Ishikawa, Y., and Oya, M.: Application of Statistical Analysis to Mixed Soil Detergency, *J. Oleo Sci.*, **57**, 99-105 (2008)
- 21) 岩澤康裕, 江川千佳司, 金子克美, 堤 和男, 福田清成, 古澤邦夫, 松浦良平, 師井義清：『化学便覧基礎編 II』(日本化学会編), 丸善, 東京 73-83 (1993)
- 22) 上田 寛, 海崎純男, 木下 実, 小菅皓二, 小林はな子, 西嶋光昭, 花井哲也, 原田宣之, 藤田純之佑, 三上直彦, 目片 守：『化学便覧基礎編 II』(日本化学会編), 丸善, 東京 498-503 (1993)
- 23) Saito, M., Tonami, K., Zenna, T., and Ohta. M.: Detergency with a Fully Automatic Washing Machine and Detergency Evaluation Factors, *J. Oleo Sci.*, **51**, 729-739 (2002)
- 24) Miller, C. A., and Raney, K. H.: Solubilization-Emulsification Mechanisms of Detergency, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **74**, 169-215 (1993)
- 25) Gotoh, K.: The Role of Liquid Penetration in Detergency of Long-Chain Fatty Acid, *J. Surfactants and Detergents*, **8**, 305-310 (2005)
- 26) 風間 健：水系洗濯と非水系洗濯の比較, 繊維誌, **54**, 445-448 (2001)
- 27) J. N. イスラエルアチヴィリ：『分子間力と表面力』(近藤 保, 大島広行訳), 朝倉書店, 東京, 64-78 (2000)
- 28) Visser, J.: On Hamaker Constant: A Comparison between Hamaker Constants and Lifshitz-van der Waals Constants, *Advances in Colloid and Interface Science*, **3**, 331-363 (1972)
- 29) J. N. イスラエルアチヴィリ：『分子間力と表面力』(近藤 保, 大島広行訳), 朝倉書店, 東京, 205-248 (2000)