洗濯における電解水の洗浄効果

島根大学教育学部 高橋哲也・麻生祐司
島根大学生物資源科学部 山本達之

Detergency of Electrolysis Water in Laundering

Tetsuya Takahashi^{*1}, Yuji Aso^{*1}, and Tatsuyuki Yamamoto^{*2}

^{*1} Faculty of Education, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

^{*2} Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

Abstract : The detergency of electrolysis water in laundering was studied. First, contact angle with cellophane and PET films was measured. In both films, the contact angle decreased with increases in the pH of electrolysis water. Electrolysis water of pH 11 was absorbed nearly completely by cellophane in 30 minutes. In addition, various kinds of water were examined for water absorption by fabrics. The absorption rate of electrolysis water of pH 11 was more rapid than other kinds of water. It was found to possess very high permeability into the fabrics.

Artificial soiled fabrics were laundered in various kinds of water. The result revealed that electrolysis water of pH 11 showed high detergent efficiency for such hydrophilic materials such as cotton, silk, and wool that were artificial soiled fabrics. Furthermore, when sodium dodecylbenzenesulfonate, a surfactant, was added to launder them, detergent efficiency was further improved by the addition of sodium dodecylbenzenesulfonate. Surfactant decomposition by active oxygen formed was not inferred to take place much in laundering in electrolysis water from this finding.

In addition, a test was performed to examine soil redeposition in cotton and polyester fabrics with water-soluble and oil-soluble soil. It was found difficult to redeposit soil in them when laundering them in electrolysis water of pH 11. However, although the cotton and polyester fabrics were not found much damaged after laundering, the wool fabric was observed to be damaged when electrolysis water (pH = 11) was used. The extent of damage was about the same as that found when a sodium hydroxide solution (pH = 11) was used instead.

(Received 28 September, 2005 ; Accepted 18 December, 2006)

1. 緒 言

近年、河川、湖、地下水などの汚染が社会問題となり、合成洗剤の環境に与える影響について様々な研究がなされている[1-3]。また、界面活性剤の魚類に対する急性毒性[4]や、漂白剤に対しても危険性と処理方法が研究されている[5]。さらに、石鹼粕を栄養源とする洗濯機内部の黴に関しても研究されている[6]。

一方、電解水による洗濯が注目され[7]、商品化がなされている[8]。これらは電解水を用いることによって、洗剤の使用量を削減することを目的としたものである。しかし、その有効性については様々な議論が行われている。電解水の洗浄作用としては、発生した活性酸素や次亜塩素酸ナトリウムによる汚れ物質の分解が主に論じられている。そのため、電解水を用いた洗濯では界面活性剤が活性酸素や次亜塩素酸ナトリウムによって分解されると考えられるため、洗剤を使用しても洗浄効果の向上には必ずしも寄与しないとされている。電解水と界面活性剤

の併用効果などについても、その効果を詳細に明らかにする必要がある。また、繊維素材の種類による有用性の差についても、十分に論じられているとは云えない。本研究では、異なる繊維素材の人工汚染布を用い、電解水の洗濯に対する効果について詳細に研究した。

2. 実 験

2.1 試料

2.1.1 人工汚染布

米国テストファブリック社製・人工汚染布(綿, ポリエステル, ウール, 絹, アクリル)を用いた。これらを5×5cmの大きさに裁断して使用した。また、汚れ成分による相異に対する影響についても検討すべく、洗濯科学協会製の綿の人工汚染布も比較として用いた。表1に、実験に使用した人工汚染布の污垢成分を示す。

2.1.2 織物

株式会社色染社製・綿ブロード未シルとポリエステルタフタを用いた。なお、両布地とも平織物の白布である。

Table 1 Composition of paste for artificial soiled fabrics.

Testfabrics Inc. (USA)		Laundry Research Association (Japan)	
Kelex (Sodium alginate thickener)	1.30%	Oleic acid	24.50%
Corn starch (# 10 Pearl Starch)	2.20%	Triolein	20.90%
Water (N.J. tap)	72.40%	Cholesterololeate	16.00%
Mineral oil (Penreco Drakeol #21)	14.00%	Liquid paraffin	3.10%
Oleic acid	0.42%	Squalene	3.10%
Morpholine	0.36%	Cholesterol	2.10%
Vegitable fat	1.70%	Inorganic dirt (clay)	29.80%
(Unemulsified Covo -Lever Bros.)		Carbon black	0.50%
Butanol	0.30%		
1,2,4-Trimethyl benzene and Naphtna	4.40%		
Ethyl cellulose	0.70%		
Carbon black (Degussa)	0.70%		

各々の布地の織構造を下記に示す。

綿ブロード未シル： ①糸密度(経糸)130 本/インチ
(緯糸)70 本/インチ

②目付け 122.5g/m²

ポリエステルタフタ：①糸密度(経糸)120 本/インチ
(緯糸)90 本/インチ

②目付け 71.8g/m²

2.1.3 フィルム

接触角の測定のため、二村化学工業株式会社製・普通セロハン#500(厚さ 38 μ m)と、帝人デュポンフィルム株式会社製・テイジンテトロンフィルム(厚さ 175 μ m)を用いた。両フィルムとも表面処理は施されていない。

2.2 電解水の作製

ホンザキ電気株式会社製・調理用電解水生成器 HOX-40A を用い、蒸留水に和光純薬工業株式会社製・塩化ナトリウム試薬(特級)を 10ppm 加えて電気分解を行った。本装置は、隔膜を介して陽極液と陰極液が分離されているタイプである。陰極側に生成された pH が 7, 9, 11 のアルカリ性電解水を採取した。比較として、蒸留水に関東化学株式会社製・水酸化ナトリウム試薬(鹿 1 級)を適量加えた pH 11 の水酸化ナトリウム水溶液も作製した。なお、電解水は作り置きせず、洗濯直前に生成して使用することとした。

2.3 汚染布の作製方法

2.1.2 項に示した綿とポリエステルの織物を所定の大きさ(5×5cm)に裁断した。食事中に付着する汚れを想定し、蒸留水に合成食用色素の食用赤色 2 号(Amaranth)と食用黄色 2 号(Tartrazine)を加えて、0.25wt%, 0.51wt%の濃度の汚染液を各々作製した。その汚染液に、裁断した織物を 15 秒毎に表裏反転を 4 回繰り返す、計 1 分間汚染した。汚染後の織物を 24 時間以上風乾した。その後、島津製作所株式会社製・島津自記分光光度計 UV-3100 を用いて、530nm の反射率を測定した。なお、以下に汚れ物質として使用した食用赤色 2 号と食用黄色 2 号の化学式を示す。

Amaranth : C₂₀H₁₁N₂O₁₀S₃Na₃

Tartrazine : C₁₆H₆N₄O₉S₂Na₃

2.4 測定方法

2.4.1 電気伝導度

株式会社堀場製作所製・カスタニー ACT 導電率メーター ES-12 を用い、各々の水に導電率電極を挿入し、2%/°C (at 25°C)の温度係数で 25°C の換算伝導率値を測定した。

2.4.2 表面張力

太平理化学工業株式会社製・デュヌーイ氏表面張力計を用いた。液体表面に接触させた金属環と液面が離れる瞬間の力をピアノ線のねじれにより検出した。また、この時の液温を温度計で測定した。測定は 5 回行い、その平均値から表面張力を算出した。なお、測定に用いたエチルアルコールは、関東化学株式会社製試薬(特級、純度 99.5%)である。

2.4.3 接触角

フィルム上に、マイクロシリンジにて 10 μ l の液滴を滴下した。そして、エルマ光学株式会社製・ゴニオメーター式エルマ接触角測定機 G-1 型を用いて、滴下 1 分後からの小滴映像をとらえた。ゴニオメーター分度器にて、円弧系の一端の接触角を経過時間ごとに読み取った。

2.4.4 バイレック法による吸水速度評価

織物を経糸が長尺方向になるように短冊状(25×2.5cm)に裁断した。そして、東洋精機株式会社製・吸水速度試験機を用いて、1 分後からの毛細管現象による水の上昇した高さ(mm)を経過時間ごとに測定した。測定は 5 回行い、その平均値を算出した。なお、次亜塩素酸ナトリウム水溶液は、関東化学株式会社製試薬(鹿 1 級、有効塩素量 5.98%)を用いて所定濃度に調整して作製した。

2.4.5 洗浄性の評価

界面活性剤として、所定量のドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム(DBS)を各種の水 100ml と共に洗浄瓶に入れ、40°C の温水に 10 分間浸漬して温度を一定にした。

Table 2 Electric conductivity for different water.

(Unit : $\mu\text{S/cm}$)

Sample	Electrolysis water			Distilled water	NaOH solution (pH=11)
	pH=7	pH=9	pH=11		
Electric conductivity	202	204	317	2	114

Water temperature : 25°C

その後、洗浄瓶に汚れ物質で汚染した2枚の織物や人工汚染布(5×5cm)を直径5mmφの鋼球10個と共に入れ、興亜商会株式会社製・KL-8型ラウンダ・オメーターを用いて、温度40°C、30分間、回転数42rpmの条件にて洗濯を行った。その後、洗濯と同じ水を用いて3分間×2回のすすぎを行い、風乾した。風乾後、島津製作所株式会社製・島津自記分光光度計UV-3100を用いて、530nmの反射率を測定した。汚染前の白布の反射率を基に、次式より洗浄効率を算出した。洗濯は1つの試料について3回以上行い、その平均値で表すこととした。

$$\text{洗浄効率 (\%)} = (R_w - R_s) \times 100 / (R_o - R_s)$$

R_o : 汚染前の白布の表面反射率

R_s : 汚染布の表面反射率

R_w : 洗浄布の表面反射率

なお、使用したDBSは、関東化学株式会社製の試薬(鹿1級)である。

2.4.6 再汚染性の評価

米山薬品工業株式会社製のカーボンブラック、和光純薬工業株式会社製試薬の α -酸化鉄(III)(純度99.9%)を各々0.01g、0.10gを量り取って各種の水100mlと共に洗浄瓶に入れ、マグネチックスターラーで1時間攪拌して汚染液を作製した。洗浄は前項2.4.6と同様の方法で行い、洗浄試験前の白布の反射率を基に、次式より再汚染率を算出した。使用した織物は2.1.2項に示した白布である。洗浄試験前の白布の反射率を基に、次式より再汚染率を算出した。

$$\text{再汚染率 (\%)} = (R_o' - R_w') / R_o' \times 100$$

R_o' : 再汚染用布の洗浄試験前白布の反射率

R_w' : 再汚染用布の洗浄試験後の反射率

3. 結果及び考察

3.1 水の電気伝導度と表面張力

実験に使用する水に含まれている不純物の割合や水分子の電離状態について調べるべく、各種の水の電気伝導度を調べた。その結果を表2に示す。蒸留水では $2\mu\text{S/cm}$ と、電気伝導度が極めて小さかった。このことは、蒸留水には不純物の含有量が極めて少ないことを意味している。一方、電解水では、どのpHの水でも電気伝導度が比較的高かった。電解水は電荷移動に伴って H^+ イオンと OH^- イオンを生じ、 $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$ を満足する安定な平衡状態にある。また、pH11の水酸化ナトリウム水溶液では、

Na^+ イオンと OH^- イオンに電離するために蒸留水よりも高い電気伝導度($114\mu\text{S/cm}$)を示したが、同じpHの電解水($317\mu\text{S/cm}$)と比べると1/2以下と低いこともわかった。

次に、各種の水の表面張力について調べた。その結果を表3に示す。蒸留水、各種の電解水、水酸化ナトリウム水溶液(pH=11)の表面張力には、あまり差が認められなかった。つまり、水そのものには表面張力に本質的な差が無いものと考えられる。一方、界面活性剤であるDBSを添加すると、水の種類に関係なく $1.6 \times 10^{-4}\text{mol/l}$ 添加では 40dyne/cm 程度、 $5.0 \times 10^{-4}\text{mol/l}$ 添加では 33dyne/cm 程度にまで表面張力は低下した。また、比較として調べたエチルアルコールも 26.1dyne/cm であり、水に比べると非常に小さな値であることが確認できた。

3.2 水の接触角と布地への吸水性

電解水の洗浄効果を調べるにあたり、まず水そのものと綿布やポリエステル布との親和性を調べる必要がある。そこで、界面活性剤を添加していない水について、接触角を基にして検討を行った。接触角の測定に際しては、綿はその化学構造がセルロースであるために平板材料としてセロハンを、ポリエステルでは表面処理をしていないPETフィルムを各々使用した。図1にセロハンを用いた場合の結果を、図2にPETフィルムを用いた場合の結果を各々示す。

セロハンを用いた場合、1分後の接触角の値はどの水においても 10° 未満と極めて小さく、セルロースと水には高い親和性が認められた。また、蒸留水と水酸化ナトリウム水溶液(pH=11)の間には、接触角にあまり差がなかった。一方、電解水ではpHが7, 9, 11と高くなるのに従って、接触角が小さくなっている。これは、電解水のpHが高くなるのに従って、セルロースとの親和性が高くなることを示している。

また、どの水においても接触角は時間の経過と共に低下していることもわかる。30分後の接触角の値は、蒸留水、水酸化ナトリウム水溶液(pH=11)、pH 7の電解水では $3 \sim 4^\circ$ 程度であるのに対して、pH 9の電解水では 2° 、pH 11の電解水では 0.5° と小さくなっている。特にpH 11電解水では、他の水に比べてセロハンとの親和性が非常に高く、30分後にはセロハンの表面に大きく広がってほぼ吸収されている状態であった。

次に、PETフィルムを用いて同様に接触角を測定した。PETフィルムを用いた場合、1分後の接触角の値はどの水でも 60° 程度と高く現れた。また、水の種類による差は

Table 3 Surface tension for different water.

(Unit : dyne/cm)

Sample	Electrolysis water			Distilled water	NaOH solution (pH=11)	Ethyl alcohol
	pH=7	pH=9	pH=11			
Without DBS	72.6	72.9	72.2	72.1	69.4	26.1
With DBS (1.6×10^{-4} mol/l)	40.3	40.5	39.5	39.9	—	—
With DBS (5.0×10^{-4} mol/l)	33.1	32.7	33.5	33.2	—	—

Fig. 1 Time dependence of contact angle for different water on Cellophane.

Fig. 2 Time dependence of contact angle for different water on Polyester film.

比較的小さかった。接触角は時間経過と共に低下し、30分後ではpH 11の電解水を除く全ての水で $42 \sim 45^\circ$ 程度となった。一方、pH 11の電解水の接触角は 32° にまで低下し、他の水に比べてより小さくなっていた。このことは、pH 11の電解水では、他の水に比べてセロハンと同様に比較的高い親和性が見られたことを示している。このように、pH 11の電解水は、ポリエステルに対しても親和性が比較的高いと云える。前述のように、水の表面張力には水の種類によってあまり差は見られなかった。しかし、平板材料との親和性には水の種類によって明らかな差が見られている。以上のことから、pH 11の電解水を洗濯に使用した場合には、親水性、疎水性の繊維とも繊維内部にまで水が浸透しやすく、洗浄効果を高められるものと期待できる。

のと期待できる。

次に、布地に対する各種の水の吸水性について調べた。親水性である綿布と疎水性であるポリエステル布に対して、バイレック法で吸水高さを測定した。綿布に対する吸水高さの時間変化を図3に、ポリエステル布に対する時間変化を図4に各々示す。その結果、綿布、ポリエステル布の場合とも開始直後から水の種類による差が現われ始め、時間経過とともに吸水高さの差が広がった。どちらの布地であってもpH 11の電解水では最も吸水性が高く、次にpH 9の電解水が高かった。また、pH値が同じ11の水であっても、電解水は水酸化ナトリウム水溶液に比べて吸水性が高い。一般に、塩化ナトリウムの含まれた水を電気分解すると水酸化ナトリウムが生成されるものと考えられる。しかし、電解水の方が水酸化ナトリウム水溶液よりも明らかに吸水性が高いことから、水酸化ナトリウムの生成はあまり多くないものと推定できる。蒸留水は水酸化ナトリウム水溶液よりも低くなっている。また、綿布とポリエステル布を比較すると、吸水高さは綿布の場合の方がポリエステル布の場合よりも4~6倍ほど高く現れている。しかし、どちらの布地であっても水の種類による傾向は同様であった。

一般に、電解水による洗浄作用として、次亜塩素酸ナトリウムの発生が関与するものと考えられている。そこで、蒸留水に次亜塩素酸ナトリウムを加えた水溶液を作製し、次亜塩素酸ナトリウム濃度の違いによる綿布とポリエステル布への吸水速度の影響を調べた。図5に、10分後における次亜塩素酸ナトリウム水溶液の上昇した吸水高さの結果を示す。その結果、綿布、ポリエステル布のどちらにおいても、次亜塩素酸ナトリウム水溶液の濃度の違いによる差は見られなかった。つまり、次亜塩素酸ナトリウムは布地への吸水速度に全く影響していないことがわかる。さらに、経過時間ごとの吸水高さも調べたが、濃度の違いによる吸水速度の差に及ぼす影響は殆ど見られなかった。この結果は、綿布、ポリエステル布とも同じであった。

以上のように、pH 11の電解水は他の水に比べて明らかに布地への浸透性が非常に高いことがわかった。また、pH値が同じ水酸化ナトリウム水溶液や次亜塩素酸ナトリウムを含んだ水溶液であっても、布地への浸透性がアルカリ性電解水ほど高くないこともわかった。

3.3 DBS 添加水の洗浄効率

繊維素材の異なる人工汚染布に対して、各種の水を用

Fig. 3 Time dependence of water absorption for different water on Cotton fabric.

Fig. 4 Time dependence of water absorption for different water on Polyester fabric.

Fig. 5 Relationship between concentration of Sodium Hypochlorite and water absorption after 10 minutes by Bileck suction tester.

いて洗濯を行った。その結果を表 4 に示す。界面活性剤を全く添加せずに水のみで洗濯を行った場合、ポリエステル布を除いた全ての布地において pH が 7 や 9 の電解水を用いた方が蒸留水で洗濯した場合よりも汚れが除去されていた。さらに pH 11 の電解水になると汚れがより除

去されており、洗浄効果は高くなっている。ここで注目されることは、pH が 7～9 と 11 の電解水には比較的大きな差があることである。特に、綿布ではその傾向が強く現れている。

一方、水酸化ナトリウム水溶液 (pH=11) においても、洗浄効率が蒸留水に比べて高く現れている。このことは、主にアルカリ 礀化作用による [9]。しかし、pH が同じ 11 の水であっても、水酸化ナトリウム水溶液と電解水を比べると電解水を用いた場合の方が洗浄効率は高い。これは、pH 11 の電解水は他の水よりも布地への浸透性が高いためと考えられる。つまり、電解水では布地の繊維内部まで水が浸透することができ、汚れが布地より剥がれやすくなる作用があるものと考えられる。また、綿布では他の素材に比べて各種の水による差が比較的大きく現れやすい傾向も見られる。つまり、綿と水は親和性が非常に高いため、水の種類による影響が出易い。一方、ポリエステル布やアクリル布では、疎水性であるために水の種類による差が生じ難かったことを示している。

また、污垢成分の異なる 2 種類の綿の人工汚染布を比較すると、pH 11 の電解水を洗濯に用いることによって、洗浄効率がどちらも高くなっていることがわかる (表 4)。このことから、污垢成分が異なっても電解水の有効性が確かめられた。

次に、DBS を添加して各々の洗濯を実施した (表 4)。その結果、pH 11 の電解水に界面活性剤を添加した場合において最も洗浄効率が高く、汚れをよく除去していることがわかる。ここで注目されることは、電解水に DBS を添加することにより、DBS を添加しない場合に比べて洗浄効率が高くなっていることである。また、電解水に対する DBS 添加量が多い方が、洗浄効率は高くなっている。

一般に、電解水の洗浄メカニズムとして、発生した活性酸素や次亜塩素酸ナトリウムの働きが指摘されている。しかし、本実験で用いた電解水生成器は、陽極液と陰極液が隔膜を介して分離されたものである。そのため、アルカリ性電解水には次亜塩素酸イオンやその他の活性酸素種は含まれない。事実、本実験のアルカリ性電解水 (pH 11) に対してヨウ素滴定による分析を行なったところ、残留塩素は全く検出されなかった。表 4 から明らかなように、電解水に DBS を添加すると添加しないものに比べて洗浄効率が高くなっている。また、次亜塩素酸ナトリウムを添加しても吸水速度は全く変化しなかった (3.2 項)。このことより、電解水を洗濯に用いた場合の洗浄作用としては、活性酸素や次亜塩素酸ナトリウムの発生が寄与しているのではないことがわかった。

さらに、綿の人工汚染布を用いて、DBS 濃度と洗浄効率の関係について調べた。その結果を図 6 に示す。どの水においても DBS 濃度が高くなるに従って、洗浄効率は高くなった。pH 11 の電解水は、全ての DBS 濃度領域において他の水よりも洗浄効率が高かった。また、pH 11 の電解水において、DBS 濃度が $1.6 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ 以下の領域で

Table 4 Detergent efficiency for different artificial soiled fabrics after laundering.

Artificial soiled fabric	Concentration of DBS (mol/l)	Electrolysis water			Distilled water	NaOH solution (pH=11)
		pH=7	pH=9	pH=11		
Cotton ^{*1)}	without	20	22	33	10	18
	1.6×10^{-4}	20	27	35	22	29
	5.0×10^{-4}	35	36	47	35	37
Cotton ^{*2)}	without	17	18	21	13	18
	1.6×10^{-4}	21	23	28	17	25
	5.0×10^{-4}	45	45	47	44	45
Polyester ^{*2)}	without	-1	-1	0	-1	0
	1.6×10^{-4}	3	3	3	0	1
	5.0×10^{-4}	16	12	23	11	21
Wool ^{*2)}	without	6	6	21	5	19
	1.6×10^{-4}	19	23	26	18	25
	5.0×10^{-4}	46	45	53	44	44
Silk ^{*2)}	without	7	10	16	5	14
	1.6×10^{-4}	23	26	27	22	25
	5.0×10^{-4}	23	24	26	22	24
Acryl ^{*2)}	without	2	3	5	0	4
	1.6×10^{-4}	9	11	14	6	11
	5.0×10^{-4}	17	18	23	17	20

*¹⁾ Laundry Research Association (Japan)*²⁾ Testfabrics, Inc (USA)

は、電解水と蒸留水の洗浄効率の差が特に大きい。ここで注目されることは、DBSを添加していない電解水(pH=11)の場合の洗浄効率が、蒸留水にDBSを 1.6×10^{-4} mol/l添加した場合よりも高いことである。例えば、綿の人工汚染布^{*1}について、洗浄効率35%を得るには、蒸留水を使用した場合にはDBSを 5.0×10^{-4} mol/l添加する必要があるのに対し、pH 11の電解水では 1.6×10^{-4} mol/lで良いことになる。また、pH 11の電解水は、界面活性剤の濃度が低い場合において、洗浄効率が蒸留水に比べて高く現れやすいこともわかった。

3.4 洗濯後の布地の損傷状態

各種の水を用いて洗濯を行った場合の布地に対する損傷について調べた。表5に、DBSを添加しないで洗濯し

Fig. 6 Relationship between detergent efficiency and concentration of sodium dodecyl-benzenesulfonate for different water (Artificial soiled cotton fabric by Testfabrics Inc.).

た後の人工汚染布の写真を示す。繊維素材として、綿、ポリエステル、ウールの結果を示す。その結果、布地の周りがかがり縫いをしていないために多少の解れはあるものの、綿布やポリエステル布の場合では電解水のpHが高くなっても洗濯後の布地に損傷はあまり認められなかった。特にポリエステル布では全く認められなかった。このことは、綿布やポリエステル布は耐アルカリ性が比較的高いためと考えられる。

ウールの人工汚染布の場合では、pHが7や9の電解水では蒸留水の場合と殆ど同程度であった。しかし、pH 11の電解水になると洗濯後の布地にかなり損傷が見られる。つまり、人工汚染布の端がほつれてきて、布地が極端に小さくなっていることがわかる。また、水酸化ナトリウム水溶液(pH=11)の場合でもかなりの損傷が認められ、その程度はほぼ同程度であると云える。つまり、ウールは耐アルカリ性に劣るためと考えられる。電解水であっても繊維を損傷することは、アルカリ性水溶液の場合と同じである。このことは、アルカリ性の電解水を洗濯に用いる場合には、繊維素材によっては使用を避ける必要があることを示している。しかし、ウールと同様に耐アルカリ性が劣ると云われている絹の場合では、あまり損傷が認められなかった。その理由については、さらに検討する必要がある。

3.5 実際の洗濯を想定した洗浄効果

前述のように繊維素材による差異はあるものの、人工汚染布を用いた洗濯実験によって電解水による洗浄効果が確認できた。しかし、より実際の使用を想定した洗濯効果についても調べる必要がある。そこで、食品由来の汚れと、洗濯中の再汚染についての検討を行った。

Table 5 Artificial soiled fabrics after laundering without detergent (Artificial soiled fabrics made by Testfabrics Inc.).

Artificial soiled fabric	Before laundering	Electrolysis water			Distilled water	NaOH solution (pH=11)
		pH=7	pH=9	pH=11		
Cotton
Polyester
Wool

Table 6 Detergent efficiency of soiled fabrics with synthetic food colours after laundering (without DBS).

(Unit : %)						
Fabric	Soil	Electrolysis water			Distilled water	NaOH solution (pH=11)
		pH=7	pH=9	pH=11		
Cotton	Amaranth ^{*1)}	92	94	96	93	95
	Tartrazine ^{*2)}	90	95	100	90	97
Polyester	Amaranth ^{*1)}	95	96	100	94	98
	Tartrazine ^{*2)}	95	100	101	90	98

^{*1)} Amaranth (C₂₀H₁₁N₂O₁₀S₃Na₃) : 0.25wt% solution

^{*2)} Tartrazine (C₁₆H₆N₄O₉S₂Na₃) : 0.51wt% solution

汚れ物質の一つとして、合成食用色素である食用赤色 2 号 (Amaranth) と食用黄色 2 号 (Tartrazine) を用い、それらを所定濃度に希釈した水溶液に綿布とポリエステル布を汚染した。これらの合成食用色素は共に水溶性である。風乾後の各々の汚染布に対して洗濯を実施した (表 6)。その結果、pH 11 の電解水では、表 4 に示した人工汚染布の場合と同様に他の水に比べて汚れがよく除去されていることがわかった。また、pH 11 の電解水を用いた場合では、洗浄効率がほぼ 100% の値を示していることがわかる。このことから、水溶性の合成食用色素の汚れに対しては、pH 11 の電解水を洗濯に用いることで、界面活性剤を全く添加しなくても汚染前の状態にまで汚れを除去出来ることがわかった。

次に、電解水を用いた場合の洗濯中の再汚染についても検討を行った。そこで、各種の水に汚れのモデル物質として疎水性の固体粒子のカーボンブラックと親水性の α -酸化鉄 (III) を添加して攪拌し、綿やポリエステルの白布を入れて洗濯を実施した。そして洗濯後の織物の再汚染率を測定し、用いた水との関係について調べた。その結果を表 7 に示す。

綿布の場合、電解水を洗濯に用いると蒸留水の場合に比べてカーボンブラック、 α -酸化鉄 (III) の場合とも再汚染率が 2%~3% 程度低く現れた。しかしながら綿布の場合では、両方の汚れ物質の場合とも水の種類による再汚染率の差は比較的小さかった。このことは、綿布は親水性繊維であるため、どの水においても布地への吸水性が高いためであると考えられる。また、 α -酸化鉄 (III) での再汚染率は、カーボンブラックに比べてどの水においても 20% 程度低かった。このことは、 α -酸化鉄 (III) は水溶性の固体粒子であるために固体粒子が洗濯水中に溶け出し易く、布地を汚染しにくかったためと考えられる。

次に、疎水性のポリエステル布に対しても再汚染について検討した。その結果、ポリエステル布の場合でも、綿布と同様に pH 11 の電解水は蒸留水に比べて再汚染率が低かった。特に汚れ物質にカーボンブラックを用いた場合では、pH 11 の電解水の再汚染率は蒸留水の場合に比べて 22% 程度も低く現れた。また、汚れ物質に α -酸化鉄 (III) を用いた場合でも、pH 11 の電解水は蒸留水に比べて 4% 程度と、僅かではあるが再汚染率が低かった。このことより、洗濯に電解水を用いることで、親水性繊維、疎

Table 7 Soil redeposition ratio for different soil and fabrics.

(Unit : %)

Fabrics	Soil	Electrolysis water			Distilled water
		pH=7	pH=9	pH=11	
Cotton	Carbon Black	40.4	41.5	41.5	44.7
	α -Iron(III)Oxide	22.3	19.1	22.3	24.5
Polyester	Carbon Black	63.7	56.0	45.1	67.0
	α -Iron(III)Oxide	56.0	57.1	61.5	65.9

Carbon Black : 0.01g/100ml
 α -Iron(III)Oxide : 0.10g/100ml
Laundry method : Laundering 30min×1time (40°C, 42rpm)
Rinses 3min×2times

水性繊維とも洗濯中の再汚染防止に界面活性剤を添加していない場合においては有効であることがわかった。

4. 結 言

洗濯における電解水の洗浄作用について詳細に検討した。以下に、その結果をまとめる。

- (1) 電解水の接触角は、セロハン、PET フィルムのどちらかであっても pH が高くなるに従って小さくなった。特に、pH 11 の電解水では非常に小さく、30 分後にはセロハンにほぼ完全に吸収された。また、各種の水の布地への吸水速度を調べたところ、pH 11 の電解水では他の水に比べて吸収速度が高く、布地への浸透性が非常に大きいことがわかった。
- (2) 各種の水を用いて洗濯を行ったところ、親水性素材である綿、絹、ウールの人工汚染布の場合では、pH 11 の電解水を用いることによって洗浄効率が大きく現れた。一方、疎水性のポリエステル、アクリルの人工汚染布では、pH 11 の電解水で洗濯しても洗浄効率の向上は僅かであった。
- (3) 各種の水を用いて洗濯した後の布地の損傷状態を調べた。その結果、pH 11 の電解水ではウール布の損傷が認められた。この結果は、水酸化ナトリウム水溶液 (pH = 11) の結果と同程度であり、電解水であっても耐アルカリ性に劣るウールでは損傷の危険があることを示している。但し、同じタンパク質系の天然繊維である絹布の場合では、損傷が認められなかった。
- (4) 水溶性や油溶性汚れのモデル物質を用い、綿布やポリエステル布の再汚染性を調べた。その結果、洗濯に pH

11 の電解水を用いると、界面活性剤を添加していない場合において蒸留水よりも再汚染し難いことがわかった。また、水溶性の合成食用色素の汚れに対しても、汚れの除去に界面活性剤を添加していない場合において有効であることもわかった。

文 献

1. V. Misra, G. Chawla, V. Kumar, H. Lal and P. N. Viswanathan, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **13**, 164-168 (1987).
2. M. Kikuchi, *Bulletin of Synthetic Detergent Research Association*, **19**, 3-6 (1995).
3. M. Kondo, M. Nagata and M. Nagayama, *Journal of Japanese Association for Clothing Studies*, **39**, 133-140 (1996).
4. S. Fujiwara, K. Yamada, O. Nishimura and R. Sudo, *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, **18**, 44 (1998).
5. K. S. Ong and M. G. Degraeve, A. R. Silva-Wilkinson, W. J. McCabe, L. W. Smith, *Environ Toxicol Chem*, **15**, 138-143 (1996).
6. N. Hamada, *Life sanitation*, **49**, 108-113 (2005).
7. M. Higashinaka and J. Kawai, *Bulletin of Consumer Science Research Institute of Hyogo Prefecture*, No.18, 47-67 (2003).
8. *ECO INDUSTRY*, **7**, 55-57 (2002).
9. Y. Ohtake, *Metal*, **67**, 162-163 (1997).