

環境負荷軽減のための洗浄に関する基礎研究 (第6報)

Basic Study of Detergency for Reducing Environmental Pollution (Part VI)

尾畑 納子

OBATA Noriko

1. 緒言

清潔で快適な衣生活を維持するための衣服の洗浄（以下洗濯ともいう）は、生活者の清潔意識の高まり、ライフスタイルの多様化に対応した、洗剤、洗濯機などが開発され市場にたくさん出回っている。これらの製品の多くは、利便性ばかりでなく環境負荷への低減を視野に入れたものが多くなっているが、洗濯機の大型化や乾燥過程までのシステムの一貫化により、エネルギー消費量が逆に増加する傾向が見られる。また、洗剤中の界面活性剤が減量化されたり、生分解性が改良されても、洗剤成分そのものは化学品であり、水環境への負荷軽減には限界があるといえる。これらの現状を踏まえ、本研究では、洗濯に使用する水自身に着目した^{1) 2) 3) 4)}。

これまでの洗浄研究では、界面活性剤の構造や洗剤成分と除去性のメカニズム、機械力と洗浄に関する内容が多く、水自身では硬水との関係が報告されている程度である。そこで、様々な処理をして得られる機能水に着目し、自然にやさしい洗浄方法としてこれらを活用することを提案するものである。各種機能水の生成に関して、その処理方法は殺菌や軟水化などを簡単に行うための煮沸・蒸留法、おいしい水の精製法として行われるセラミック接触法や電場・磁場処理法、水による効率低下を防ぐための減圧脱気法、膜分離法などがあげられる。ここで扱う機能水はこれらのうち電気分解によって得られる電解処理水（電解機能水）に着目し、衣類の洗浄に対しての有用性について検討した。

本研究で使用する電解機能水に関して⁵⁾、最近の研究では医療や食品、農業分野あるいは化粧品への利用などの報告は若干みられるが、衣類の洗浄に用いた研究報告はほとんど見られない。すでに、衣料に付着する汚れへの洗浄性を種々の条件で検討し、有効な洗浄結果が得られたことから、さらには汚れや繊維基質がこれらの水とどのような相互作用をするのか、洗浄に関する基礎的なメカニズムを検討し、実用的な洗浄システムの確立を目指すものである。これらの成果が実際に活用できれば、水環境の負荷軽減ばかりでなく、洗濯工程で発生するCO₂などの排出量の軽減にも繋がるといえよう。

本報告では、これまで使用してきたアルカリ電解水の洗浄性をさらに向上させるための洗浄条件として、酵素や界面活性剤の添加、強アルカリ電解水と同等のpHに調製した水酸化ナトリウム溶液系での洗浄比較など、機能水自身が有する洗浄性ばかりでなくその作用機構の解析をめざ

し、また被洗物に対する影響を見るため、洗浄液による繊維製品としての形状への影響を調べた。

2. 実験方法

2-1 試料

洗浄に使用した水は、有隔膜タイプのアmano強電解水製造装置 (AMANO α -900, アmano社製) により製造された強アルカリ電解水、1mmol/l 水酸化ナトリウム (和光純薬工業製) Millipore製の Milli-Q Academic A10 で製造された超純水、比較のために実験室で使用している水道水 (富山市大山地区上水道) の3種類で、これらは、実験する直前に採水して使用した。

界面活性剤は生分解性の高いラウリル硫酸塩 (SDS、和光純薬製、c.m.c.8.3mmol/l) を精製した後使用した。性能向上剤として、タンパク質分解酵素 (Kannase,Novozymes 社製) をそのまま使用した。洗浄試験に用いた試験布は、湿式人工汚染布 (洗濯科学協会製) と再汚染性を確認するために綿カナキンの白布 (中尾フィルター工業製) を 5cm×5cm の大きさに裁断して使用した。また、形状変化については、毛 100%

表 1 試験布の諸元

モスリン (中尾フィルター工業製)、毛 100% セータ (馬淵株式会社製) をいずれも 15cm×15cm の大きさに裁断したものを使用した。これらの形状は表 1 に示す。さらに機械力との関係を知るため、小型 MA 布 (デンマーク製 MA 試験布より作製) を考案し、同時に添付布として供した⁶⁾。

密度 (本/cm)	Wrap	Weft	重量 (g/m ²)	厚み (mm)
編布	16	21	261.48	0.925
織布	36	34	99.28	0.276

2-2 洗浄方法

①湿式人工汚染布 (5cm×5cm) 5枚と添付用白布 (5cm×5cm) 5枚、計 10枚を 1000ml の洗浄液中に投入し、攪拌式洗浄力試験機 (TM-4 tergot-o-meter DAIEIKAGAKU SEIKI MFG. CO.LTD) で 10 分間洗浄した後、すすぎを 1 分間、バッチ式で 2 回繰り返した後、自然乾燥後に各汚染布、添付白布の反射率を測定した。洗浄条件は表 2 の通りである。

表 2 洗浄条件

項目	条件
洗浄温度	20°C、30°C、40°C
洗剤濃度	0~16 mmol/l
酵素濃度	0.005~0.03mg/l
機械力	40, 80, 120, 160 rpm

2-3 洗浄性評価

洗浄性の評価は、表面反射率を白色度計 (NW-1、日本電色製) を用いて試布の表・裏の反射率を測定し、Kubelka-Munk の式(1)から求めた k/s 値を (2) 式に代入し、洗浄率 (D) とした。

$$k/s = (1-R)^2 / 2R \quad (1)$$

$$D(\%) = \{(k/s)_w - (k/s)_s\} / \{(k/s)_o - (k/s)_s\} \times 100 \quad (2)$$

また、再汚染率 (DS) として、添付白布の反射率を測定し、(3) 式に代入し、再汚染率とした。

$$DS(\%) = \{(k/s)_o - (k/s)_s\} / (k/s)_o \times 100 \quad (3)$$

ここで、R : 洗浄に用いた布の反射率 k : 吸光係数 s : 光散乱係数

2-4 形態安定性試験

15cm×15cm の試験布に縦、横それぞれ 10cm の印を付けたものと小型 MA 布をそれぞれ 2枚ずつ被洗物として投入し、2-1 で行った洗浄試験に準じて行った。洗浄、すすぎ、乾燥まで

の工程を1サイクルとして5回繰り返し洗浄を行い、試験布の形態変化を測定した。

2-5 形態安定性評価

形態安定性に関しては、洗浄前後の縦糸、横糸方向のそれぞれの長さを測定し JISL1072 に準拠して収縮率を求めた。その他に、厚さの変化（厚み計（厚み計 SM、テクロック kk 製）、セータ生地の色度変化（表面反射率計 2-2 で使用したものと同様）、密度について測定した。

その他、洗浄に使用する機能水の性質については、pH は、HORIBA 製 F-24 型により複合ガラス電極を用い、電気伝導度は東亜電波工業（株）製 CM-15 により測定した。酸化還元電位は pH 測定と同様の機器で白金複合電極を用い、いずれの測定もほぼ 20℃の室内で行った。

3. 結果

3-1 各洗浄水の基本的な性状

まず洗浄の供した各溶媒自身の性状として pH ならびに電気伝導度、酸化還元電位を測定した結果は、表 3 に示すとおりである。pH をほぼ同一にしたアルカリ溶液のうち、洗浄性が比較的認められたアルカリ電解水は、電気伝導度が著しく高く、酸化還元電位でも、他の水に比べて極端に電位が低いことがわかった。洗浄性への関与は今後詳細に検討する必要があるが、水自身の還元性が汚れに対して何らかの作用を起こしていることは十分示唆される。

表 3 水の性状

水の種類	pH	電気伝導度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	酸化還元電位 (mv)
水道水	6.68	145	640
イオン水	6.45	3.71	304
1mmol/lNaOH 溶液	11.3	209	85
アルカリ電解水	11.5	1.81×10^3	-869

3-2 酵素および界面活性剤添加による洗浄性の影響

まず、イオン水以外に、アルカリ電解水の pH を 9.5、11.5 の 2 段階に調節した系で酵素を添加し洗浄性を調べた。40rpm、80rpm、120rpm、160rpm の 4 段階に攪拌回数（機械力）を調節して行った。本来、酵素が効果的に作用するためには、一定時間の浸漬を行うことや高温で洗浄することが望ましいといわれているが、ここでは通常の家

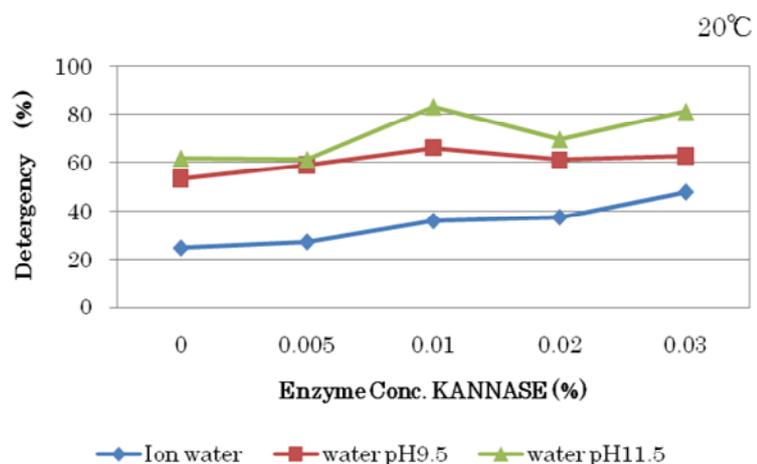


図 1 洗浄液の pH と酵素添加の影響

温度を 20℃、30℃、40℃に設定して調べた。20℃でカンナーゼを添加した結果を図 1 に、また、界面活性剤である SDS に対する洗浄性の結果は図 2 に示した。中性液のイオン水では全体として洗浄率が低いものの、添加する酵素濃度が増加することで洗浄率は上昇した。一方、アルカリ電解水をベースとした pH9.5 の洗浄液系では、濃度の影響にはほとんど見られなかつ

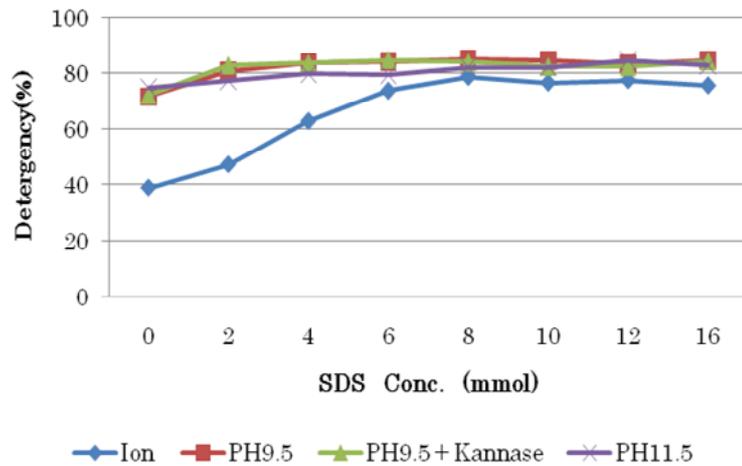


図 2 洗浄液の pH と SDS 溶液添加の影響

た。更に pH11.5 のアルカリ電解水では、わずかに酵素濃度の影響が見られた。

3-3 アルカリ溶液系での洗浄性の比較

3-2 では、同じアルカリ電解水をベースにした場合、アルカリ溶液の pH の程度によって酵素添加の影響が異なった。そこで、同じ pH の NaOH 溶液を調製し、この調製液とアルカリ電解水単独系で洗浄試験を行い洗浄性を比較した。その結果を図 3 に示した。アルカリ電解水は回転数に関係なく 40rpm の低い回転数に

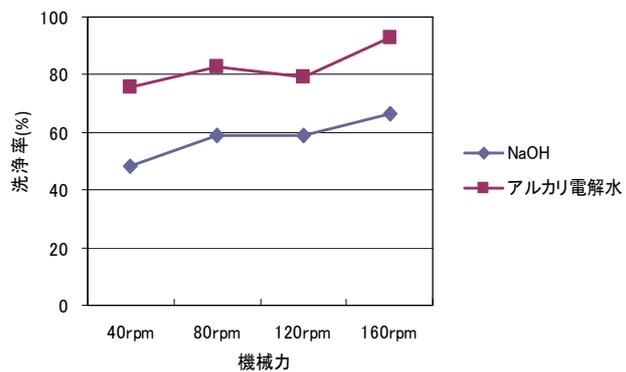


図 3 アルカリ溶液系での洗浄性

もかかわらず高い洗浄性が認められた。

これに対して、ほぼ同程度の pH に調製した NaOH 溶液での洗浄性は、アルカリ電解水の結果に比べ低くなった。

以上のことから、機能水の洗浄では単なるアルカリによる鹼化効果だけではなく、水自身もつ何らかの機能性が関与していることが示唆される。

3-4 被洗物の形態におよぼす洗浄液の影響

アルカリ電解水による洗浄力については、これまでの実験により効果が認められたが、繊維製品の形状安定性も洗浄性能として重要な性能であることから、デリケートな繊維である毛モスリン布と毛のセータ地を用いて繰り返し 5 回洗浄した場合の収縮率、厚み、

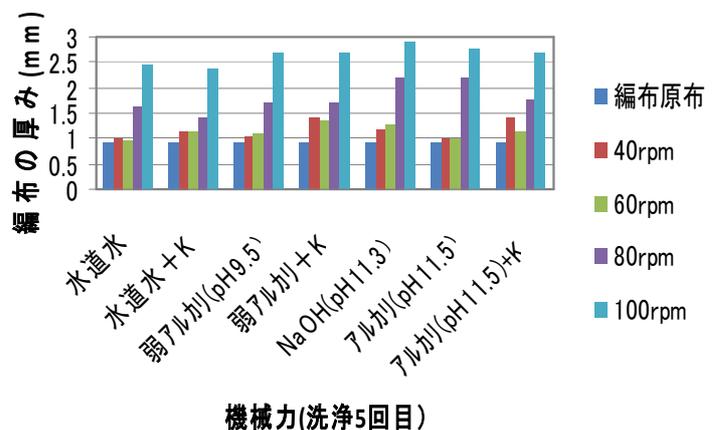


図 4 機械力と編布の厚み変化 (5 回目)

表面の白色度、糸密度などの変化を測定した。図4には、水道水の酵素添加系、アルカリ電解水の酵素添加系、NaOH溶液の酵素添加系における繰り返し洗浄におけるセータ地の厚み変化を示した。

いずれの洗浄液も機械力の増加に伴い厚みが増加しており、100r.p.m.では溶液の種類に関係なく2.5~3倍の厚みになった。逆に、60r.p.m.以下では洗浄液の種類に関係なく比較的变化が少ない。また、酵素を添加した場合には無添加の場合に比べ若干、フェルト化が減少し、厚みの増加量が少なかった。

次に、編布の変形について、収縮率（ここでは収縮した長さの実測地）で比較した結果を図5に示した。回転数小さい時は洗浄液の種類に関係なく、大きな変形は認められないが、80r.p.m.以上ではいずれの洗浄液においても大きく収縮した。80r.p.m.では、アルカリが高いほど変形が大きく、100r.p.m.になるといずれの洗浄液も著しく収縮した。縦方向と横方向では、縦方向での変形がやや大きくなった。

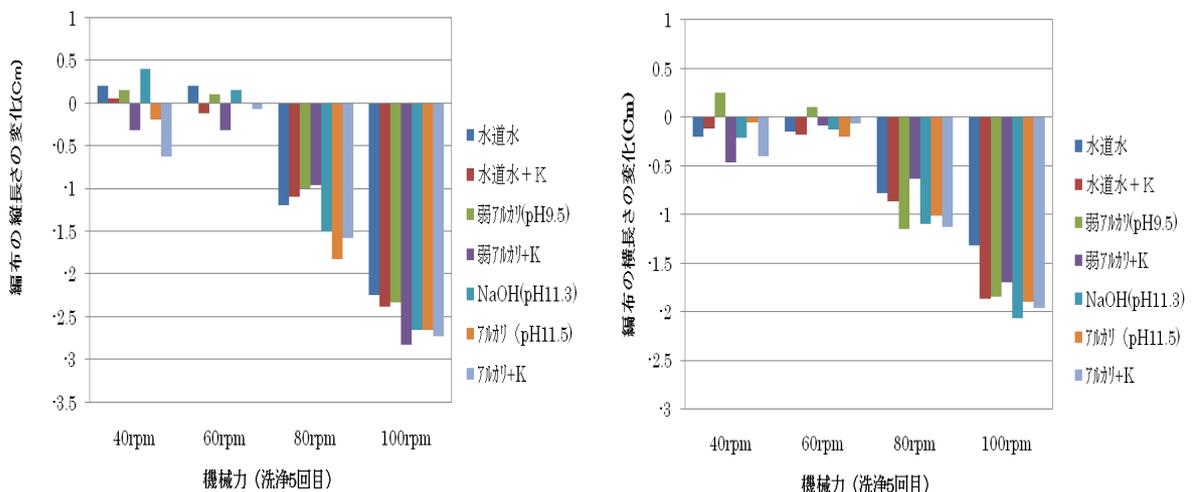


図5 洗浄液および機械力の変化にともなう収縮への影響（編布・縦、横）

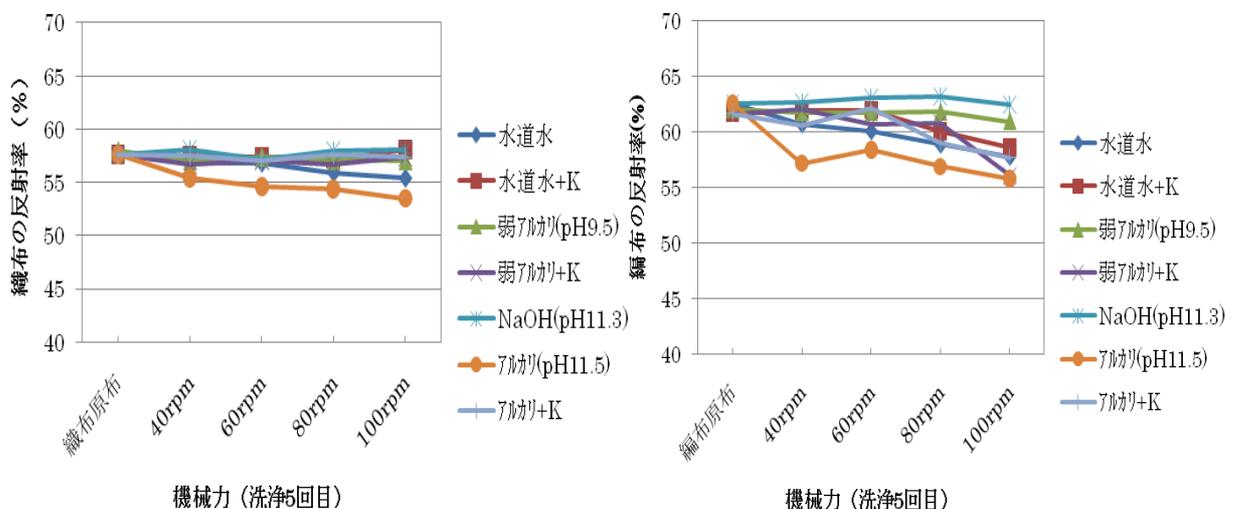


図6 洗浄液および機械力の変化にともなう被洗物の表面反射率への影響（織布、編布）

洗浄前後の白色度の変化については、図 6 に織布(左)、編布 (右) の結果を示した。いずれも機械力の増加に対して大きな黄変などの傾向は認められないが、変化の少ない織布でもアルカリ電解水での洗浄でやや白色度が低下した。一方、編布では、機械力の増加により白色度が全体的に低下する傾向が認められた。特にアルカリ電解水では顕著であったが、逆に NaOH 溶液では白色度がやや上昇することが分かった。毛のようなたん白繊維では、一般にアルカリ溶液中で分子構造が変化したり、機械力によるフェルト化などに伴う著しい黄変現象が予想されたが、今回のような 5 回程度の繰り返し洗浄では、機械力が小さければ実際には影響が少ないことが分かった。

4. 総 括

水環境への負荷軽減と省エネルギー型の洗浄を目的とし、洗浄水としてアルカリ電解水に着目し、種々の条件での洗浄性および形態安定性について調べたところ、以下の結論を得た。

- 1) 洗浄効果を高めるために酵素を添加して洗浄性を調べたところ、酵素の添加濃度が高くなると洗浄性は向上した。また、活性化には温度が 40℃程度がよいといわれているが、本実験結果では、アルカリ電解水系による 30℃洗浄で十分効果が認められた。
- 2) 生分解性の高い界面活性剤 (SDS) を添加した系では、20℃、酵素 (カンナーゼの場合) 0.01% で市販洗剤に配合されている半分濃度で効果が認められた。
- 3) アルカリ電解水とほぼ同程度の pH に調製した NaOH 溶液での洗浄性は、アルカリ電解水の洗浄性に比べてかなり低くなった。このことから、アルカリによる繊維の膨潤、汚れの溶解性の増大などの要因以外に、アルカリ電解水の電気的性質が洗浄性に関与していると考えられる。
- 4) 繰り返し洗浄による繊維製品の形態安定性では、機械力が 60r.p.m (弱水流程度) までは、アルカリ電解水系による毛 100% の編布を洗浄した場合でも大きな形態変化は起きないことを確認した。

以上の結果から、アルカリ電解水をベースとした洗浄系で界面活性剤の減量化が可能であることを確認した。また、低回転の機械力では繊維製品の形状や色などの変形が起きにくかったことから、今後は、洗浄システムの実用化に向けて、アルカリ電解水の除去機構について酸化還元電位を中心に詳細な検討を進める予定である。

[謝辞]

本研究を遂行するにあたり、貴重なご助言を賜りました現代社会学部教授桑原宣彰先生、ならびに本実験に対して惜しみなく協力して下さった高橋美千代さんに深く感謝いたします。

本研究は、平成 21 年度科学研究費助成金・基盤研究 A (分担) の助成を受けて行ったもので

ある。

[参考文献]

- 1) 尾畑納子：富山国際大学地域学部紀要, **3**, 135 (2003.3)
- 2) 尾畑納子：富山国際大学地域学部紀要, **4**, 121 (2004.3)
- 3) 尾畑納子：富山国際大学地域学部紀要, **6**, 121 (2006.3)
- 4) OBATA Noriko : Journal of the Faculty of Contemporary Society Toyama University of International Studies, **1**, 53-59 (2009)
- 5) 西本右子 : Fragrance Journal, **27**, 23 (1999)
- 6) 片山倫子 : 織機誌, **59** (12), 665 (2006)

