

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 27 日現在

機関番号：34530

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500746

研究課題名（和文） 超音波を適用した持続可能な衣服洗浄システムの開発に関する
基礎的研究

研究課題名（英文） Studies of Sustainable Washing System using Ultrasonic Waves

研究代表者

田川 由美子 (TAGAWA YUMIKO)

神戸ファッション造形大学・ファッション造形学部・准教授

研究者番号：40207808

研究成果の概要（和文）：モデル汚れ物質—平板基質—洗浄液から成る系を用いて水系洗浄実験を行った。その結果、超音波の出力および液温が高く、アルカリ剤添加により、いずれの汚れとも洗浄が促進された。界面活性剤添加では、油污れの洗浄率は増加したが、粒子汚れの洗浄率は低下した。人工汚染布の洗浄実験を行ったところ、モデル洗浄系での実験と同様の結果が得られた。以上の結果から、超音波は布洗浄の機械力として有効で、汚れの種類により洗浄液組成を変える必要があることがわかった。

研究成果の概要（英文）：The removal behavior of model contaminants from poly (ethylene terephthalate), PET, film in aqueous detergent solutions was examined using a microscopic image analysis system. It was found that the detergency increased with increasing sound pressure and temperature. The soil removal was enhanced by the adding of sodium hydroxide. In the presence of sodium dodecyl sulfate, the removal of the oily contaminants increased, whereas that of particulate soils considerably decreased. The detergency of the soiled fabric was enhanced by increasing sound pressure. The experimental results in this study showed that ultrasonic waves can be utilized to textile washing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：衣生活、超音波洗浄、洗浄性評価、人工汚染布

1. 研究開始当初の背景

近年、地球規模で水危機に直面しており、1992年に開催された国連環境開発会議（UNCED）および水と環境に関する国際会議では、「持続可能な開発」の議論の中心に「賢明な水の管理」が据えられ、世界中に大きな影響を及ぼしている。将来的にも人口増加や

経済発展などにより水の利用量の増大が予想される上、最近の気候変動により世界中で水不足や治水が深刻化し、水質汚染も進むことが懸念される。国連は、水問題の規模を十分に理解して、適宜是正措置をとる必要性があることを報告している（国連 世界水開発報告書 2003）。日常生活では、トイレ、風呂、

炊事、洗濯などに多くの水が利用されているが、これら水資源の確保は重要な問題といえる。中でも、洗濯に使われている水は全体の約20%（平成14年 東京都水道局 一般家庭水使用目的別実態調査）を占めている。そこで家電メーカーや洗剤メーカーでは、省エネ・節水型の商品開発を進めているが、洗濯の低浴比化により洗浄力の低下や再汚染が発生しており、使用水量と洗浄性との関係について検証する必要がある。水資源を有効活用するためには、衣類洗浄でも効果的な水利用をすすめ、排水処理や省電力、二酸化炭素排出削減など環境的要因を総合的に考慮した「持続可能な衣服洗浄システムの開発」が不可欠であると考えた。

2. 研究の目的

(1) 近年の循環型社会を目指す状況下で、水利用をできるだけ管理する動きがある。産業分野はもちろんのこと、家庭生活においてもその役割が求められている。そこで、衣服洗濯に超音波を利用すれば使用水の削減が実現できると考え、その際の基礎的情報を得ることを目的とした。これまでの研究では、金属板表面に成膜したポリマー表面からの汚れ物質の脱離に超音波が有効に働くことを明らかにした。本研究では、まず、ポリマーフィルム-汚れ物質-水溶液からなるモデル洗浄系を用いて、系統的に洗浄条件を変えて洗浄実験を行った。モデル汚れには、固体粒子汚れおよび油汚れを用い、洗浄液にはアルカリ剤や界面活性剤を添加した水溶液、および機能水としてオゾン水を使用した。実験結果は、洗浄液組成や液温、機械力の観点から解析した。次に、フィルム洗浄で高い洗浄性が得られた洗浄条件で布帛の超音波洗浄を行った。

(2) 新しい洗浄システムの開発には、より正確な洗浄性評価が必要である。我々はこれまで、計数法や水晶振動子法により汚れ物質の定量を行って洗浄性を調べてきた。本研究では、顕微鏡画像を画像解析する方法による評価法を構築して実験に用いた。この方法が確立できれば、より迅速で正確、安価な洗浄性評価システムが確立できると考えた。

(3) 国内の水利用の実態や行政の水施策を調べ、超音波を適用した節水型の洗浄システム開発について検証した。また、欧州の家庭用電気洗濯機、衣料洗剤市場を調べた。

3. 研究の方法

(1) 試料

洗浄基質には、ポリエチレンテレフタレート (PET) フィルム (UNITIKA 製, EMBLETS, 厚さ 38 μm)、およびポリエステル布 (wfk30A, 東レトロピカル (いずれも平織物)) を用い

た。セロファン (セルロース) フィルム (レンゴー株式会社製, 20 μm) の使用を試みたが、膨潤、乾燥後に表面に凹凸が発生したため、基質として使用する際にはさらに検討する必要があることがわかった。

汚れ物質には、固体粒子汚れとしてカーボンブラック (CB) 粒子 (東海カーボン製, 平均粒径 0.27 μm , 比重 1.86)、および酸化鉄 (III) (Fe_2O_3) 粒子 (Micromod 製, 平均粒径 0.25 μm , 比重 5.35) を使った。油汚れのモデルには、オレイン酸 (OA) およびステアリン酸 (SA) を油溶性染料 Sudan III (Sudan Red, CI 26100) で着色して実験に用いた。

水酸化ナトリウム (NaOH) は、容量分析用 N/10 水酸化ナトリウム溶液を、界面活性剤はドデシル硫酸ナトリウム (SDS, 和光一級) を、塩化カリウムおよび塩化ナトリウムには化学用特級品を使用した。水は、超純水製造システム (MILLIPORE 製 Direct-Q UV) を用いて作製した超純水 ($>18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$) を用いた。オゾン水には、市販品 (海野技研工業有限公司) の高濃度オゾン水溶液 (pH 3.5, 酸素濃度 20 ppm) を使用した。

(2) モデル洗浄系を用いた洗浄実験

① 汚れの付着

PET フィルムは、水中で5分間の超音波洗浄を2回繰り返して精製した。フィルムへのモデル汚れの付着は、粒子汚れでは、超音波照射により水分散液 ($[\text{CB}] = 0.02 \text{ g}/\text{dm}^3$ または $[\text{Fe}_2\text{O}_3] = 0.03 \text{ g}/\text{dm}^3$) を調製して付着浴とし、その中に PET (50 \times 40 mm^2) フィルムを浸漬し、スターラーで攪拌 (100 rpm) しながら行った。2時間後にフィルムを引き上げた後、デシケーター中で一晚乾燥させ、50 \times 10 mm^2 に切断して実験に用いた。油汚れでは、オレイン酸はエタノール、ステアリン酸はアセトンを加えて付着液を作製し、PET フィルム上に1-2回噴霧させて一晚乾燥させて実験に用いた。

② 汚れの洗浄

PET フィルムの洗浄は、Fig. 1 に示す超音波洗浄システムを用いて行った。超音波洗浄機 (KAIJO 製, PHENIX 600FM) は、洗浄ムラを低減するために周波数変調式出力可変型 (36 \pm 0.5 kHz, 最大 200 W) の装置を用いた。キャビテーションの発生分布は、アルミ箔の破損状態により調べた (アルミ箔法)。さらに、洗浄槽内の各所で洗浴中の音圧を超音波音圧計 (本多電子製, HUS-5) で測定して、アルミ箔法により得られた結果と併せて、超音波効果が比較的等しく安定した位置を洗浄位置とした。ここにステンレス製スノコを敷き、洗浄液を入れたガラス製ビーカー (直径 40 mm, 高さ 70 mm) を4個置いた。汚れを付着させた PET フィルムはビーカーに垂直に浸漬し、音圧を監視しながら出力を調節して洗浄を行った。

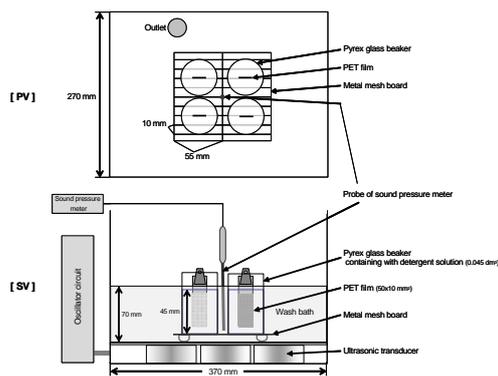


Fig. 1 Scheme of ultrasonic cleaning system

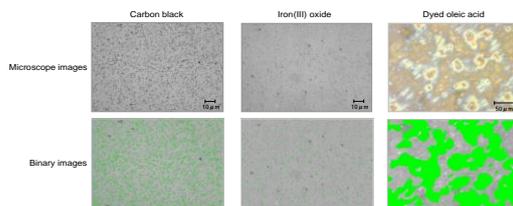


Fig. 2 Microscope images and binary images of various soils deposited on PET films

洗浄媒体には水を用いた。洗浄液には、イオン強度の調節のため、KCl または NaCl を $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ 添加した。さらに NaOH ($1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$)、SDS、あるいは NaOH と SDS の両方を添加した。洗浄温度は $23 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ とし、温度依存性を検討する場合は 15°C 、 35°C 、 $45 \text{ }^\circ\text{C}$ 、および 55°C で実験を行った。

③ 画像処理による洗浄性評価

洗浄前後の PET フィルム表面は、金属顕微鏡 (OLYMPUS 製, BX51M:平成 21 年度購入) に取り付けられたデジタルカメラ (Lumenera 製, Lu 205:平成 21 年度購入) で撮影してコンピュータに取り込み (Mitani Corporation 製, e-Tiling:平成 21 年度購入)、顕微鏡画像を画像解析ソフト (Mitani Corporation 製, WinROOF) で二値化処理して汚れ付着量を求めた。撮影部位は、液面およびビーカー底面からの反射波の影響の少ない、フィルム下端から 10 mm 上の 5 視野 (視野面積は粒子汚れでは 0.07 mm^2 、油汚れでは 0.4 mm^2) とした。

Fig. 2 に各種汚れの顕微鏡画像を示す。粒子汚れおよびステアリン酸の場合、顕微鏡画像をモノクロ化した後、洗浄前後の画像の閾値を一定にして二値化し、汚れ部分を識別した。粒子については、特に大きな粒子 ($2.1 \mu\text{m}^2$ 以上) を削除して、1 視野に付着している粒子の個数または汚れの全体に占める面積率を調べた。オレイン酸では、肉眼で汚れ部分を判別した後二値化し、付着している汚れ部分の面積率を求めた。洗浄率 (D%) は、いずれの汚れとも洗浄前後の上記 5 視野にお

ける汚れの付着面積率の合計から算出した。なお、粒子汚れでは、付着面積率から算出した洗浄率は、付着粒子数から得られた値と同程度であった。同一条件での洗浄実験の繰り返し回数は 10 回~15 回とした。その際の洗浄率の平均標準偏差は $\pm 15 \%$ 程度であった。

(3) 人工汚染布を用いた洗浄実験

① 人工汚染布の作製

人工汚染布を作製するため、 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ に切断した布を 0.25 dm^3 の CB 粒子のエタノール分散液 (0.04 g/dm^3) 中に浸漬し、1 分間超音波照射しながら粒子を付着させた。布を引き上げ乾燥させてデシケーター中で 1 日保存した後、分光光度計 (測定波長 460 nm 、日立製 U-3010) を用いて表面反射率 (5 枚重ねにして表裏各 4 ヶ所) を測定して平均値 (R_s) を求めた。布は、水で 10 分間煮沸洗浄したものを用いた。

② 人工汚染布の洗浄

汚染布は、恒温振盪機 (25°C) および超音波洗浄機 ($23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) を用いて各種洗浄液中で一枚ずつ洗浄した。振盪洗浄は 120 spm、超音波洗浄は音圧 5 mV、10 mV、および 20 mV で行った。浴比は、いずれも 1:20 とし、汚染布は、ビーカー (0.2 dm^3) に水平に入れて 5 分間洗浄した。洗浄後は、汚染布を引き上げ 0.2 dm^3 の水中で 30 秒間のすすぎを行い乾燥させた。

③ 表面反射率法による洗浄性評価

洗浄布は、汚染布と同様に表面反射率を測定して平均値 (R_w) を求めた。人工汚染布の洗浄率 (D%) は、次式により算出した。

$$D(\%) = \frac{(K/S)_s - (K/S)_w}{(K/S)_s - (K/S)_0} \times 100$$

ここで、0 は原白布、S は汚染布、W は洗浄布を示す。K/S の値は、表面反射率 R を Kubelka-Munk の式に代入して求めた。

(4) 国内外の水利用の実態調査

水利用の実態調査では、兵庫県と神戸市について、水利用状況と今後の見通し、県民・市民の節水型生活のための行政としての支援体制や事業について調べた。調査には、兵庫県企画県民部ビジョン局、地域振興課 (エネルギー対策室) へのインタビュー、および県が作成した報告資料 (ひょうご水ビジョン、ひょうご県営水ビジョン、兵庫県企業庁事業概要)、兵庫県ホームページを参考にした。神戸市は、市が作成した資料 (神戸水道ビジョン 2017)、および神戸市ホームページなどを基にした。また、国外では、欧州での衣料用洗濯洗剤や洗濯機を調べるため、ウィーン市内およびチューリッヒ市内の家電量販店、スーパー、およびデパートの市場調査を行った。

4. 研究成果

(1) モデル系を用いた洗浄実験

① 洗浄率と時間の関係

粒子汚れおよび油汚れの洗浄率の経時変化を Fig. 3 に示す。CB 粒子は NaOH 1 mmol/dm³ 水溶液中で、着色オレイン酸は SDS 5 mmol/dm³ 水溶液中で、音圧を 5 mV として洗浄を行った。その結果、いずれの汚れとも超音波照射後数分間で急激に脱離する傾向を示し、5 分を過ぎると洗浄率がほぼ一定になることがわかったため、洗浄時間は 5 分間とした。通常の攪拌洗浄では、洗浄平衡に達するのに 10～15 分程度を要するとされ、超音波洗浄ではより短時間で洗浄できる可能性が示唆された。

超音波洗浄では、洗浄液の溶存気体濃度により洗浄に有効に働くキャピテーションの発生量が変わるとされている。そこで、超音波照射による洗浄液中の溶存酸素濃度の変化を調べた。超音波の照射時間と各洗浄液の溶存酸素濃度 (DO) の関係を調べたところ、いずれの洗浄液とも DO 値は時間とともに上昇するが、5 分以降の変化はわずかだった。DO 値が超音波照射後増えたのは、超音波照射により液面が波立ち、酸素が溶け込んだためと考えられる。一般に、洗浄に有効に働くキャピテーションの発生量は、DO 値が 4 ppm～8 ppm の範囲で多いとされている。水溶液の場合には、有機溶剤に比べて溶存気体量が少ないため、特に脱気処理の必要はないと報告されている。また、pH の時間依存性を調べたところ、NaOH 添加および無添加のいずれの洗浄液とも殆ど変化は認められなかった。

② CB 粒子の洗浄性に及ぼす機械力の影響

Fig. 4 は、中性洗浄液中での CB 粒子の洗浄率と音圧との関係を調べたものである。音圧が大きくなると洗浄率が增大し、音圧 10 mV で洗浄率がほぼ一定となった。一般に、超音波強度を測る方法には、音圧法や天秤法、カロリメトリ法、およびヨウ化カリウムを用い

てラジカル発生量を調べる方法などがある。Fig. 4 で得られた結果は、音圧を制御することにより、超音波による洗浄のための機械力がある程度調節できることを示している。

超音波による汚れ除去と比較するため、SDS 無添加および添加系水溶液中で、PET フィルムに付着させた CB の攪拌洗浄 (300 rpm) を 20 分間行った。その結果、いずれの条件においても洗浄率は数%以内となり、CB 粒子除去の機械力には、攪拌に較べて超音波の方が極めて有効に作用することが確認された。

Fig. 5 は、中性洗浄液中で PET フィルムに付着させた CB 粒子を洗浄したときの、洗浄前に付着していた粒子 (二次粒子) の大きさの範囲とその個数、および粒子数から求めた洗浄率との関係を示す。二次粒子の殆どが、粒子径が 1 μm 以下であることがわかる。本研究で用いた CB 粒子は、半値幅が 0.15 μm と粒子径がかなり揃っていることから、CB 粒子が数個～十数個凝集して基質に付着していることが推察される。また、粒子径が小さくなると洗浄率が減少する傾向があるが、洗浄率に大きな差は認められなかった。粒子汚れの洗浄率が、付着粒子数を用いても付着面積率を用いてもほぼ等しかったことと矛盾がない。超音波洗浄では、付着している粒子の大きさによって除去に有効な周波数が異

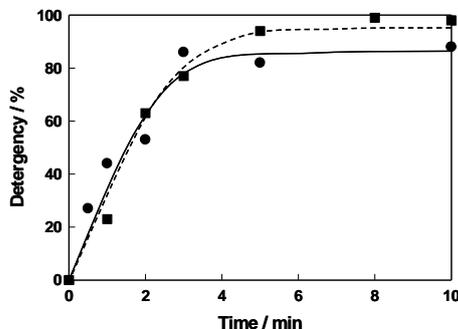


Fig. 3 Changes in detergency of carbon black (●) in NaOH 1 mmol/dm³ solution and dyed oleic acid (■) in SDS 5 mmol/dm³ solution with time. Sound pressure: 5 ± 0.5 mV, [KCl] = 1 mmol/dm³

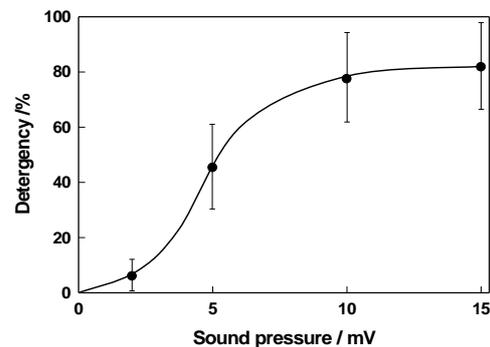


Fig. 4 Relation between detergency of carbon black and sound pressure in KCl 1 mmol/dm³ solution

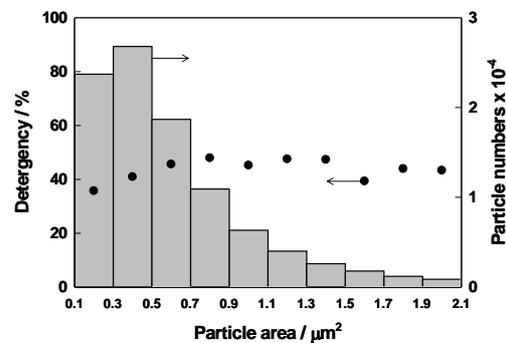


Fig. 5 Detergency of carbon black (●) in KCl 1 mmol/dm³ solution and initial deposited number of carbon black particles on PET films with various particle size. Sound pressure: 5 ± 0.5 mV

なり、除去できる粒子の大きさは周波数に反比例する。例えば 800 MHz の高周波を使用すると、計算上 0.1 μm 以上の粒子が除去できる。これは、低周波数域での洗浄のメカニズムとは異なり、高周波域では洗浄液分子の加速度の増大により微細な粒子を洗浄するためと考えられる。上記のように CB 粒子のほとんどが 1 μm 以下の二次粒子として付着していることから、超音波の周波数を上げることにより、高い洗浄性が期待できる。今後は、周波数を変えて超音波洗浄を行い、より有効な超音波洗浄条件を検討していく必要があると考えられる。

③ 洗浄性に及ぼす温度の影響

Fig. 6 は、中性洗浄液の温度を変えて洗浄を行ったときの洗浄率と温度の関係をプロットしたものである。CB 粒子、OA、および SA ともに、液温の上昇とともに洗浄率が増加する傾向を示した。一般に、温度上昇により汚れの脱離反応が促進される。超音波洗浄では、これに加えて水溶液の粘性低下により強いキャビテーションが発生したと考えられる。例えば、液温が 10 $^{\circ}\text{C}$ から 40 $^{\circ}\text{C}$ に上昇した際、超音波照射による金属のエロージョン量が 3.5 倍になると報告されている。したがって、温度上昇による洗浄率の増加には、キャビテーション強度の増大も寄与していると考えられる。

④ 洗浄率に及ぼすアルカリおよび界面活性剤添加効果

Fig. 7 は、中性洗浄液に NaOH を添加したときの各種汚れの洗浄率を示す。いずれの汚れも NaOH を添加すると洗浄率が增大した。酸化鉄粒子は、pH 7 付近に等電点があることから、水中ではわずかに正電荷を帯びていると考えられる。アルカリ性域では、いずれの粒子汚れとも電気的な反発力が増大して除去がより促進されたものと推察される。一方、着色オレイン酸では、NaOH 添加により洗浄率が 100 % 近くまで上昇した。これは、アルカリ剤による油汚れのけん化に起因していると考えられる。

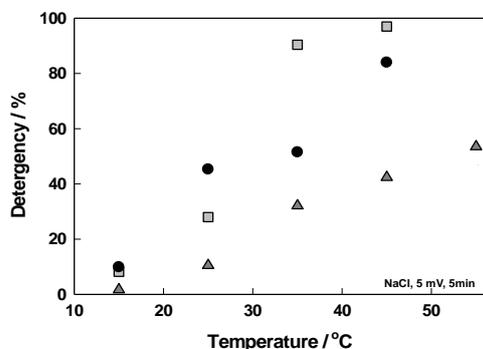


Fig. 6 Detergency of carbon black (●), dyed oleic acid (■) and stearic acid (▲) at various temperature of KCl 1 mmol/dm³ solution. Sound pressure: 5 ± 0.5 mV

Fig. 8 は、SDS 濃度の異なる洗浄液中で各種汚れを洗浄したときの洗浄結果である。CB 粒子および酸化鉄粒子では、中性洗浄液およびアルカリ性洗浄液においても SDS 添加により著しく洗浄率が低下した。一般に、低粘性、高表面張力、低蒸気圧な液体ほど強いキャビテーションが発生しやすいとされている。したがって、SDS の添加により洗浄液の表面張力が低下し、キャビテーション強度が小さくなったためと考えられる。一方、着色オレイン酸では、SDS を 5 mmol/dm³ 以上添加するとほとんどの汚れが脱離した。これは、SDS 添加によりオレイン酸の乳化やローリングアップによる除去が促進され、キャビテーション強度の低下を補ったものと考えられる。

(2) 人工汚染布を用いた洗浄実験

CB 粒子を付着させた人工汚染布を、各種洗浄条件で超音波洗浄したところ、人工汚染布では、音圧 5 mV で SDS 無添加の洗浄液中での洗浄率 (1.8 %) は、同条件のモデル系で得られた値 (77.0 %) に比べて小さかった。また、振盪機による洗浄では、汚れはほとんど除去されていないが、超音波洗浄では、音圧を上げるとキャビテーションによる汚れ

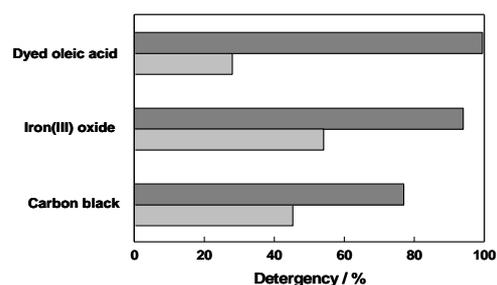


Fig. 7 Detergency of each soil in KCl 1 mmol/dm³ solution (■) and KCl 1 mmol/dm³ solution containing NaOH 1 mmol/dm³ (■). Sound pressure: 5 ± 0.5 mV

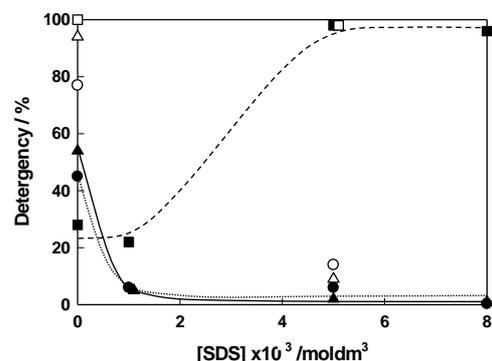


Fig. 8 Detergency of carbon black (●, ○), iron(III) oxide (▲, △) and dyed oleic acid (■, □) in KCl 1 mmol/dm³ solution (●, ▲, ■) and KCl 1 mmol/dm³ solution containing NaOH 1 mmol/dm³ (○, △, □) as a function of SDS concentration. Sound pressure: 5 ± 0.5 mV

脱離の機械力が増大し、結果として洗浄率が増大した。しかしながら、SDS 添加による洗浄率の増加は僅かであった。

(3) オゾン水による PET フィルムの洗浄

オゾン水で超音波洗浄を行ったところ、SDS 添加系でも高い洗浄性が得られた。また、気泡が大量発生して基質に付着する様子が観察された。キャビテーションには、洗浄液中の溶存気体を核として発生する気体性キャビテーションがある。このキャビテーションは、発生の際の閾値が低いため発生しやすいが、衝撃波の圧力は小さい。したがって、オゾン水は気体性キャビテーションが発生しやすいため、キャビテーションによる衝撃波を洗浄の機械力としている低周波数域の超音波洗浄には不向きであると考えられる。

(4) 水利用実態調査

近年の節水意識および節水機器の普及、また世帯の少人数化などにより、兵庫県および神戸市の水利用量は横ばい状態で、将来的には減少傾向にあることがわかった。その結果を受けて、水道事業は計画水量を下方修正し、浄水場の建設やダムの整備を取りやめ、水道事業により起こる環境負荷を低減する計画を進めていることがわかった。また、県民の節水型ライフスタイルの啓発と普及を目的に、県民参画と協働により水の有効利用を実践する事業「節水道場」を実施していた。事業報告から、節水意識の向上と節水行動の習慣化により、使用水量をかなりの程度減らすことができることが示された。以上の結果から、県民・市民の節水への意識の高まりと節水型生活への移行、および行政による支援体制が推進されており、産官民の連携が整いつつあることがわかった。水道事業では供給水をこれまでよりも減量し、今後は水質の向上や浄水施設の省エネルギー化のための設備投資が行われることがわかった。したがって、節水に対して一人一人の更なる意識改革と節水行動の定着が求められ、節水技術の研究開発も今後ますます求められてくると考えられる。

欧州での衣料用洗濯洗剤や洗濯機を調べるため、ウィーン市内およびチューリッヒ市内の家電量販店、スーパー、およびデパートの市場調査を行った。洗濯機は、ほとんどがドラム式洗濯機 (SIEMENS, AEG, Miele など) で、乾燥機が単体で多く販売されていた。また、低容量のドラム式洗濯機があり、今後、日本市場でも需要があると考えられる。洗剤・柔軟剤は、液体洗剤、粉末洗剤ともに大容量容器 (1L 以上) に入ったものが多く見られた。色柄別衣料用洗濯洗剤 (白系, 黒系, パステル系, ビビット系など) があつた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

〔雑誌論文〕 (計 6 件)

- ① 田川由美子、酒居淑子、ひょうごの水利用について — 生活の中の節水 —、神戸ファッション造形大学 研究紀要、査読無、36 巻、2012、53-66
- ② 田川由美子、後藤景子、超音波を利用したポリエチレンテレフタレート表面からの汚れの除去、日本家政学会誌、査読有、62 巻、2011、767-774
- ③ Yumiko Tagawa, Keiko Gotoh, Removal of Carbon Black Particles from Polymer Substrates in Water/Ethanol Mixtures, J. Oleo Science, 査読有、59 巻、2010、109-112

〔学会発表〕 (計 8 件)

- ① 田川由美子、後藤景子、超音波照射による汚れ除去に及ぼす要因、日本油化学会、第 43 回 洗浄に関するシンポジウム、2011. 10. 27 (江戸川区総合区民ホール)
- ② 田川由美子、後藤景子、超音波と画像処理を利用した固体粒子汚れの洗浄性評価、日本家政学会第 62 回大会、2010. 5. 29 (広島大学)
- ③ 田川由美子、固体粒子汚れの洗浄と洗浄性評価、日本家政学会被服整理学部会第 40 回夏季セミナー、2010. 9. 3 (ホテル札幌ガーデンパレス)
- ④ Yumiko Tagawa, Keiko Gotoh, Removal efficiency of model contaminants by ultrasonic waves evaluated with microscope image processing, 7th World Conference on Detergents, 2010. 10. 4-7 (Montreux, Switzerland)
- ⑤ 田川由美子、後藤景子、超音波によるポリエチレンテレフタレート表面からの汚れの除去、日本油化学会 第 42 回 洗浄に関するシンポジウム、2010. 10. 21 (江戸川区総合区民ホール)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田川 由美子 (TAGAWA YUMIKO)
神戸ファッション造形大学・
ファッション造形学部・准教授
研究者番号：40207808

(2) 研究分担者

後藤 景子 (GOTOH KEIKO)
奈良女子大学・生活環境学部・教授
研究者番号：30243356

(3) 連携研究者

酒居 淑子 (SAKAI YOSHIKO)
神戸ファッション造形大学・
ファッション造形学部・教授
研究者番号：20461155