

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 3 日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26242005

研究課題名(和文) 新型洗剤を軸にした持続可能な生活のための洗浄システムの開発と洗浄力評価

研究課題名(英文) Development of cleaning system and washing evaluation of new detergent for sustainable living

研究代表者

森田 みゆき (Morita, Miyuki)

北海道教育大学・教育学部・教授

研究者番号：10174434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 24,500,000円

研究成果の概要(和文)： 新型洗剤について諸要因を分析し、次のことを明らかにした。水晶振動子法により、SDS/アミドアミンオキシド混合系で固体油脂汚れの除去が著しく促進されることが確認された。各種酵素反応に及ぼす要因とペルオキシダーゼの新たな脂肪酸の分解反応を見出した。モデル汚れ成分別洗浄挙動、超濃縮洗剤/中性洗剤水溶液の洗浄性の特徴を明らかにした。非イオン界面活性剤の液体洗剤の洗浄力評価用指標洗剤組成と、洗濯機を用いた洗浄力評価試験法を提案した。

また、新型洗剤と従来製品のLCI分析より、環境・経済面に配慮した新型洗剤の使い方を示した。家庭科教員への調査から、新たな家庭洗濯のスタイルにふさわしい教材を開発した。

研究成果の概要(英文)： We investigated the factors of the new detergent and clarified the following.

In situ monitoring of detergent process in the aqueous SDS solution by the quartz crystal microbalance method was performed and the removal of solid oily soil was found to promote by the addition of amide amine oxide. In addition, the factors for enzyme reactions and a new decomposition reaction of fatty acid with a peroxidase were identified. The washing behaviors of the soiling were clarified kinetically. The detergency of different detergent types were also investigated. An indicator detergent composition for the detergency evaluation based on nonionic surfactants was proposed. A method for testing the performance of detergents using a washing machine was also developed.

We suggested ways of using the new detergent types that are both economical and less environmentally damaging by a LCI analysis. We developed new educational materials. These introduce our novel approach to home laundering.

研究分野：生活科学

キーワード：洗浄 界面活性剤 洗剤配合剤 モデル汚れ成分 洗浄力試験法 環境 消費者教育 水晶振動子

1. 研究開始当初の背景

わが国では世界に先駆け液体「超濃縮洗剤」が登場し、急速な広がりを見せている。「超濃縮洗剤」は使用量の半減、すすぎ1回、節水・節電、家事負担が特徴とされ、界面活性剤・配合剤の組成や液性は従来洗剤とは異なり、洗浄性の評価も定まっておらず、家庭洗濯における計量やすすぎの実態も把握されていない。

2. 研究の目的

本研究では、「超濃縮洗剤」を代表とする新型洗剤を利用した家庭洗濯に及ぼす諸要因を実験的に分析し、合せて消費者の洗濯行動を調査する。さらに、明確な理論に基づき、モデル汚れ組成の検討や界面活性剤組成や漂白剤等の配合の観点から性能改善を検討し、次世代の超濃縮洗剤配合技術についての提案を行う。

また、新型洗剤の特徴を踏まえた洗浄力試験法を提案するとともに、得られた成果を LCA の観点から評価を行い、「洗剤」を軸にした持続可能な生活のための洗浄技術を確立し、普及のための教育教材を開発して生活への還元を図る。

3. 研究の方法

以下の項目について、検討した。

(1) 家庭洗濯に関わる動向調査: 消費者及び家庭科教員に対して洗剤・洗濯に関する質問紙調査を実施し、家庭洗濯における「超濃縮洗剤」使用に関する問題点を抽出し、消費者教育、学校教育教材を開発する。

(2) 界面活性剤, 洗剤配合剤についての実験的解析

①界面活性剤の観点から: 水晶振動子法によるモデル系を用い、汎用及び新規界面活性剤(アミドアミンオキシド系、バイオサーファクタントなど)混合系の洗浄性評価を行う。さらに、人工汚染布による洗浄実験で洗浄効果を確認する。

②配合剤の観点から: 酵素漂白剤の反応に及ぼす各種洗濯用酵素、硬度成分、pH の影響を検討し反応の最適化を行う。配合剤の観点から、洗剤の市場調査を行う。

(3) モデル汚れ成分, すすぎ性, 洗浄力試験法についての実験的解析

①モデル汚れ成分の観点から: 衣類の汚れ成分を分析し洗浄試験に適したモデル汚れ成分を探索し、超濃縮洗剤/中性洗剤水溶液の乳化力、分散力、及び汚れ除去能力を求める。

②すすぎ性の観点から: 超濃縮洗剤/粉末洗剤/液体洗剤の残留界面活性剤量から、すすぎ性を検証する。

③洗浄力試験の観点から: 非イオン界面活性剤をベースとする液体洗剤のモデル組成を確立し、それに適する洗浄力評価試験法の確立を行う。

(4) 新型洗剤のライフサイクルアセスメント: 超濃縮洗剤と従製品の比較から、素材/製造にかかる環境負荷と使用の違いによる負荷を明示し、より環境負荷の少ない家庭洗濯を提案する。更に、海外主要 LCI データベースとの違いを検証する。

4. 研究成果

(1) 界面活性剤, 洗剤配合剤についての実験的解

析: 1-1 界面活性剤の観点から (後藤/直江)

汎用界面活性剤に新規界面活性剤を混合することで、低濃度で高い洗浄効果を得ることを試みた。汎用アニオン界面活性剤として硫酸ドデシルナトリウム SDS、新規界面活性剤アミドアミンオキシド AAO (ドデシルアミドプロピルジメチルアミンオキシド(C11AM), およびテトラドシルアミドプロピルジメチルアミンオキシド(C13AM))を用いた。

両者の混合による表面張力変化をペンダントドロップ法で測定したところ、Fig. 1 に示すように、SDS に AAO を混合すると臨界ミセル濃度 cmc が著しく低下することがわかった。混合モル比 SDS:AAO =9:1 で十分な効果が認められたので、この条件で洗浄実験を行うことにした。

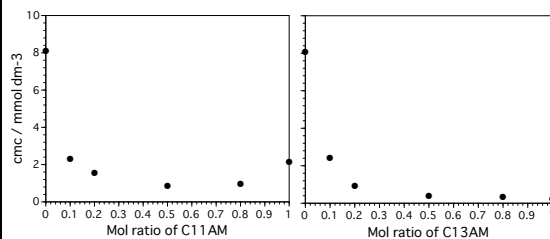


Fig. 1 SDS/AAO 混合水溶液の臨界ミセル濃度とモル比の関係

まず、実用系での洗浄効果を検討するために、試作人工汚染布を用いた洗浄性評価を試みた。カーボンブラックをポリエステルスパン布に付着させて人工汚染布を作成し、界面活性剤水溶液中で超音波/震盪併用機械力を用いて洗浄を行った。洗浄前後の汚染布の表面反射率から求めた汚れの除去率と界面活性剤濃度の関係を Fig. 2 に示す。SDS に AAO を混合することで、低濃度で洗浄が可能となり、かつ、C13AM を混合した場合は洗浄率がやや増大することがわかった。

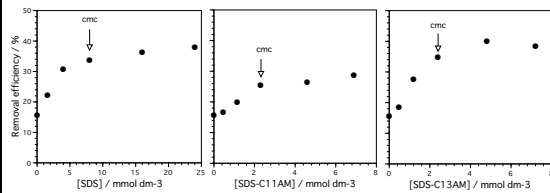


Fig. 2 SDS 水溶液および SDS/AAO 混合水溶液中でのカーボンブラックの洗浄率

次に、汚れの洗浄性を正確に把握するために、水晶振動子法を利用したモデル洗浄系を構築した。水晶振動子は水晶の薄板を金電極で挟んだ構造で、電極に付着した物質の重量に比例して周波数に変化する(1Hz の変化は約 1ng に相当)。金電極上に PET 膜をスピコートしたのち、オレイン酸またはステアリン酸汚れのアセトン溶液をスプレーし、乾燥させた。臨界ミセル濃度の各界面活性剤水溶液中に浸漬した直後からの水晶振動子の周波数変化から汚れの脱離過程を追跡した。得られた汚れの脱離率と時間の関係を Fig. 3 に示す。オレイン酸は SDS 水溶液、SDS/ C11AM または C13AM 混合水溶液のいずれでも 70-90%程度除去された。一方、ステアリン酸は SDS 水溶液中では殆ど除去されな

いが、AAO を混合すると著しく汚れの脱離が促進され、C13AM では脱離率は80%を上回った。比較のために、汎用ノニオン界面活性剤アルコールエトキシレート AE を SDS に混合したが、ステアリン酸の洗浄率改善は認められなかった。

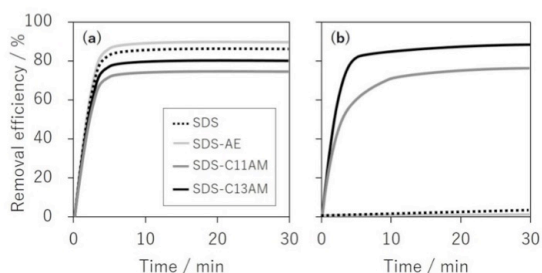


Fig. 3 SDS 水溶液および SDS/AAO または SDS/AE 混合水溶液中におけるオレイン酸(a), およびステアリン酸(b)の洗浄率

以上の結果から、汎用アニオン界面活性剤にアミドアミンオキシドを混合することにより、低濃度で高い洗浄効果が得られ、濃縮洗剤の配合組成に利用できる可能性が示唆された。

②配合剤の観点から (森田)

洗剤成分として各種酵素 (プロテアーゼ、リパーゼ、アミラーゼ、セルラーゼ) が西洋ワサビペルオキシダーゼ (HRP) によるオレンジIIの退色反応に及ぼす影響を検討した結果、各酵素とも 0.001%~0.1%の範囲で共存させた場合、HRP によるオレンジIIの退色反応に影響がなかった。プロテアーゼは、1%共存で、オレンジIIの退色速度定数が約50%減少した。オレンジII退色速度定数におよぼす4種の酵素を同時共存した場合、1%同時共存すると相対値が約40%に減少したことから、プロテアーゼの影響が示唆された。

4種の酵素を同時共存した場合、オレンジIIの退色反応に及ぼすpHの影響は、弱アルカリ~アルカリ条件下ではHRPによるオレンジIIの退色反応に影響を与えないが、中性~酸性条件下ではHRPの反応を促進することがあきらかとなった。さらに、水道水中の硬度成分を分析するとともに、洗剤用酵素共存下におけるHRP-オレンジII退色反応に与えるCa²⁺イオンとMg²⁺イオン濃度の影響についても検討を行った結果、Ca²⁺は~100ppmで、Mg²⁺は~500ppmで、オレンジIIの退色反応に影響がないことがわかった。特に、Ca²⁺は4酵素共存によりCa²⁺のマスキング効果も期待できることがわかった。以上のことから、HRPに洗剤用酵素を同時共存させ、広いpH領域で漂白剤として利用可能であることがわかった。

HRP 反応系において、汚れ成分であるオレイン酸に対する反応性と洗浄性を検討した。オレイン酸は、HRP 反応系にp-ヨードフェルノールを共存すると速やかに分解した。また、p-ヨードフェルノール共存により洗浄性も認められたことから、HRPの新たな機能を見出した。

(2)モデル汚れ成分, すすぎ性, 洗浄力試験法についての実験的解析: ①モデル汚れ成分の観点から (大矢)

連携研究者 (下村: 昭和女子大, 後藤純子: 共立女子大) と共に適切なモデル汚れ成分を探索して、新型洗剤の特徴について検討した。酸化鉄(III)、カーボンブラック、オイルレッド、ヘモグロビンの汚染布を用いて、各種市販洗剤の洗浄性を比較した。洗浄結果は確率密度関数法で解析した。

その結果、新型洗剤は従来品と基本的に同等の洗浄力を示すが、比較的油性汚れに有利で、たんぱく質汚れや親水性固体汚れの除去性ではやや不利であった。また、油汚れの中でも新型洗剤は脂肪汚れと炭化水素汚れには効果があるが、脂肪酸汚れには不利であった。この傾向は、界面活性剤の界面活性が高く、pHが低いという性質によるものであると判断できる。

Table 1 各種モデル汚れに対する市販洗剤の洗浄力

	酸化鉄(III)		カーボンブラック		オイルレッド		ヘモグロビン		湿式汚染布	
	μm	σm	μm	σm	μm	σm	μm	σm	μm	σm
高濃縮型液体洗剤	-0.11	0.84	0.41	0.41	-1.61	0.85	-0.53	0.52	0.14	0.49
液体洗剤	0	0.81	0.51	0.31	-3.43	2.25	0.31	0.44	0.51	0.38
粉末石けん	0.21	0.79	0.33	0.47	-0.81	0.84	0.83	0.71	0.39	0.34
セスキ炭酸ソーダ	-0.34	0.68	-0.06	0.3	-5	2.3	-0.02	0.45	-0.15	0.16
JISK3382洗剤	0.04	0.63	0.53	0.26	-1.74	0.8	0.13	0.78	0.47	0.16

②すすぎ性の観点から (森田)

連携研究者 (増子: 日本女子大, 間瀬: 名古屋女子大) と共に市販の超濃縮洗剤および液体・粉末洗剤を用いて、織・編構造の違いがすすぎ性及び影響について比較検討した。

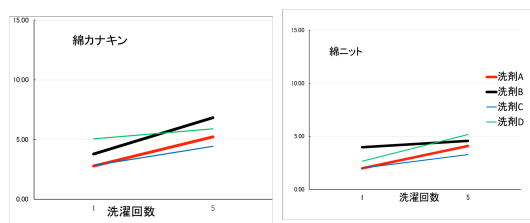


Fig. 4 残留界面活性剤量に及ぼす洗濯回数の影響

非イオン界面活性剤は陰イオン界面活性剤よりも残留しにくい。また、布帛とニットを比較すると、全界面活性剤残留量は布帛の方が多い傾向にあった。

③洗浄力試験の観点から (米山)

液体洗剤の洗浄力試験方法を確立することを目的として、評価用の指標洗剤組成および洗濯機を用いた試験法の2点の方向から検討した。市販液体洗剤の成分調査結果から、新型の濃縮液体洗剤には水溶性有機物 (ブチルアルコール、エタール) が添加されており、これらの洗浄力への影響を検討した。その結果、これらの水溶性有機物はある程度以上の濃度になると、表面張力の低下能および可溶化能を高める効果によって、洗浄力に寄与するが、実際の洗剤に添加されている量では、洗浄力に寄与するに至らないことがわかった。従って、指標洗剤の組成は非イオン界面活性剤 (ポリオキシエチレンアルキルエーテル; POE) と酵素の2成分系で検討することとした。

一方、洗濯機を用いた試験法は、洗濯機の機械力の影響、洗濯物の各部位の影響、および繰り返し洗浄の影響を検討した。市販洗濯機を用

いた洗浄力評価では、洗濯物の部位による洗浄力のバラつきよりも、洗濯機の種類および繰り返し洗濯による洗浄力のバラつきが大きく、これらを注意して試験条件を設定することが重要であることがわかった。

以上の結果を踏まえ、3種類の汚染布と市販洗濯機による洗浄試験により、洗浄力評価用の指標洗剤を検討した結果、市販洗剤と同等の洗浄力を示した POE200 ppm+酵素 4.0ppm の組成が候補として得られた。(Fig. 5)

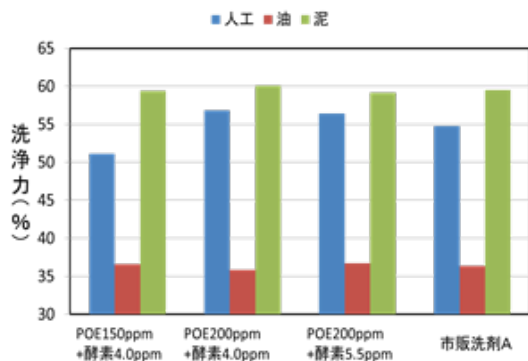


Fig. 5 市販洗濯機を用いた候補組成の洗浄力 (各汚染布を90×90cm²補助布に縫い付けて洗濯、浴比 1:35)

(3) 新型洗剤のライフサイクルアセスメント (山口)

濯ぎ1回の新型洗剤(超濃縮液体洗剤、計量不要のユニットドーズ洗剤)と従来品のコンパクト粉末洗剤を比較して、洗い方の違いによる環境負荷の低減効果を比較した。その結果、洗剤のGHG排出量はいずれの場合も超濃縮液体<コンパクト粉末<ユニットドーズ洗剤の関係を示した。また、縦型洗濯機を使用した日本独自の洗濯は、濯ぎ1回の超濃縮液体洗剤を使用しても、ドラム式洗濯機よりも上下水道のGHG排出量は高い値を示した。GHG排出量の多い使用段階(洗濯)の排出量削減には、まとめ洗いの効果など、適宜消費者への情報提供が重要である。

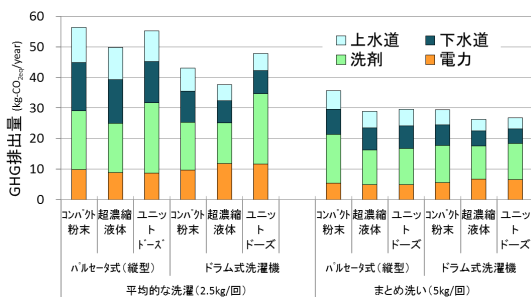


Fig. 6 家庭洗濯のGHG排出量の比較 (1年間)

(4) 消費者教育、学校教育教材の開発 (木村)

新たな家庭洗濯のスタイルにふさわしい知識や技能を身に付けるための消費者教育・家庭科教育における課題を検討した結果、新型洗剤の学習は中・高では2割弱が実施、洗濯機を使う実習は小・中で2割弱が実施しているが高校では実施されておらず、適切な洗濯行動を阻害する要因になっているのではないかと推測された。そこで、大学生対象に、洗濯機使用を想定した

ボードゲームやモデル洗濯実験を導入した授業を行い、洗濯機実習の代替となるかを検討した。その結果、洗濯時に留意する項目への関心が高まり (Table 2)、根拠に基づいた洗濯の仕方を説明できる学生が増え、授業実践の効果を確認できた。

Table 2 洗濯時に留意する項目 (大学生 73 名対象)

項目	選択率 (%)		有意差
	事前	事後	
洗濯物の量	44	67	**
水量	25	37	—
洗剤の使用量	62	74	*
洗濯物の仕分け	58	70	—
すすぎの回数	10	16	—
気にしない	14	3	*

T検定<—有意なし,*p<.05,**p<.01>

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 23 件)

- ① K. Gotoh and Y. Mei, Effects of washing condition on cleaning action of Linear alkylbenzene sulfonate in hard water, Tenside Surfactants Detergents, 査読有, in press
- ② M. Morita, T. Michiko, H. Takuya, Decomposition of fatty acid and detergency using a system combining horseradish peroxidase and p-iodophenol, J. Oleo Science, 査読有, in press
- ③ K. Gotoh, Experimental analysis of detergency phenomena and investigation of a next-generation detergency system, J. Oleo Science, 査読有, 66 (1), 1-11 (2017)
- ④ 山口庸子, 貸おむつダイアパーについて (解説) 繊維製品消費科学, 57, 査読無, 332-338 (2016)
- ⑤ 木村美智子, 被服整理学分野の研究成果と家庭科教育, 日本家政学会誌, 査読無, 67 巻, 120-125 (2016)
- ⑥ 藤本明弘, 服部香名子, 大矢勝, マイクロバブル洗浄への界面活性剤の添加効果, 繊維製品消費科学, 査読有, 57 (11), 838-843 (2016)
- ⑦ 松林真奈美, 松林 誠, 森田みゆき, ペルオキシダーゼによる退色反応の過酸化水素に対する耐性, 繊維学会誌, 査読有, Vol. 71, 250-256 (2015)
- ⑧ Y. Kojima, M. Oya, Comparison Test of Oily Soil Removal of Japanese Laundry Detergents Using a Regression Formula to Derive Soil Quantity from K/S Value of Colored Oil, Tenside Surfactants Detergents, 査読有, 52 (1), 5-11 (2015)

[学会発表] (計 89 件)

- ① 山口庸子, 中村弥生, 家庭洗濯における超濃縮液体洗剤の環境負荷低減効果の評価, 日本 LCA 学会研究発表会, 産業技術総合研究所つく

ばセンター (茨城県つくば市), (2017年3月1日)

②米山雄二、角田薫、市販洗濯機を用いた洗浄力試験法に関する知見、日本繊維製品消費科学会2016年年次大会、東京家政大学(東京都板橋区)(2016年6月26日)

③M. Oya, A. Fujimoto, T. Tanaka, A Method for Quantifying the Additional Effects of Detergent Components on the Cleaning Power, World Conference on Fabric and Home Care, Singapore (Singapore)(2016年10月4日)

④木村美智子、被服領域の教育～被服整理学分野の研究成果をどう活用するか～、日本家政学会第1回家政学夏季セミナー、実践女子大学(東京都渋谷区)(2016年8月29日)

⑤M. Morita, F. Masuko, K. Mase, Reactivity of horseradish peroxidase for detergent formulations, Pacificchem 2015, Hawaii(USA)(2015年12月16日)

⑥Y. Nagai, Y. Kobayashi and K. Gotoh, Analysis of fatty acid removal process from poly(ethylene terephthalate) surface using a quartz crystal microbalance method, 10th World Surfactant Congress and Business Convention, Istanbul(Republic of Turkey)(2015年6月1日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 みゆき (MORITA, Miyuki)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 10174434

(2) 研究分担者

山口 庸子 (YAMAGUCHI, Yoko)
共立女子短期大学・生活科学科・教授
研究者番号: 20201832

後藤 景子 (GOTOH, Keiko)
国立高等専門学校機構奈良工業高等専門学校・校長
研究者番号: 30243356

米山 雄二 (YONEYAMA, Yuji)
文化学園大学・服装学部・教授
研究者番号: 30556163

大矢 勝 (OYA, Masaru)
横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授
研究者番号: 70169077

木村 美智子 (KIMURA, Michiko)
茨城大学・教育学部・教授
研究者番号: 70214898

直江 一光 (NAOE, Kazumitsu)
国立高等専門学校機構奈良工業高等専門学校・教授
研究者番号: 00259912

(3) 連携研究者

増子 富美 (MASUKO, Fumi)

日本女子大学・家政学部・教授
研究者番号: 10060708

間瀬 清美 (MASE, Kiyomi)
名古屋女子大学・家政学部・教授
研究者番号: 20219356

下村 久美子 (SHIMOMURA, Kumiko)
昭和女子大学・生活機構研究科・教授
研究者番号: 80162816

後藤 純子 (GOTOH, Junko)
共立女子大学・家政学部・准教授
研究者番号: 0413057

藤生 直恵 (FUJIIU, Naoe)
文化学園大学・服装学部・助教
70713311

生野 晴美 (IKUNO, Harumi)
東京学芸大学・教育学部・教授
80110732

尾畑 納子 (OBATA, Noriko)
富山国際大学・現代社会学部・教授
60201406