

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560032

研究課題名(和文) マイクロバブル・ジェットを用いた環境配慮型洗浄の可能性

研究課題名(英文) Potentiality of microbubble jet use for eco-friendly cleaning

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロバブル・ジェット洗浄開発のための基礎研究として、界面活性剤添加によるマイクロバブルの安定性と洗浄性の関係、およびマイクロバブル水含有シャワーによる界面活性剤の除去性について検討した。その結果、アニオン界面活性剤とノニオン界面活性剤をcmcの数分の一加えることによりマイクロバブルが安定して洗浄性が高まることを示した。またシャワー中にマイクロバブルが存在すると界面活性剤の除去性が高まり、すすぎ効果を高めることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：As fundamental studies for developing a micro bubble jet cleaning method, the effect of addition of surfactants into microbubble water on the stability of microbubble water and detergency and removal effect of surfactant by microbubble shower were studied. The results showed that the microbubble was stabilized and detergency was increased by adding anionic surfactant or nonionic surfactant the concentrations of which are a fraction of the critical micelle concentration. Besides the removal effect of surfactant in rinsing process can be improved by adding microbubble into shower water.

研究分野：生活科学

キーワード：洗浄 マイクロバブル 界面化学 界面活性剤

1. 研究開始当初の背景

環境問題の重要性が認識される中、洗濯や食器洗浄、掃除等の生活中の洗浄の場面でも環境配慮型の姿勢、特に洗剤の使用量を少なくする取り組みが求められている。洗剤メーカー等の努力もあり、洗濯や食器洗いに用いる洗剤量(洗浄1回あたり)は大幅に減量化されてきたが、その減量化もほぼ限界に近づいてきたといつてよい。洗剤の主成分の界面活性剤の使用量を減らすために、過去には重曹やセスキ炭酸ソーダの利用、電解水の利用なども注目されてきたが、現時点で特に画期的な技術開発には繋がっていない。

マイクロバブルも環境配慮型の新技術として注目され、オゾンや機能性気体を含んだマイクロバブル、または低周波の超音波でみられるキャビテーションに伴う減圧気泡の洗浄性は認められているが、単に空気を分散させた純粋なマイクロバブルに関しては、洗濯機などに利用可能な洗浄技術としては発展していない。中には空気分散型のナノバブル・マイクロバブル洗浄を取り扱ったテーマも見かけることもあるが、科学的根拠に乏しく再現性にも問題がある内容であり、一般的な応用技術としては認められていない。

2. 研究の目的

本研究ではマイクロバブル・ジェット洗浄の基礎研究として、マイクロバブルを含んだ液体の流体としての特性が洗浄性に及ぼす影響についての知見を得ることを目的として2つの側面からマイクロバブルの洗浄に及ぼす影響について検討する。

一つにはマイクロバブルを安定化させて界面粘弾性を高めるための界面活性剤の添加によるマイクロバブルの安定性と洗浄性に関する影響を調べる。二つに目にはマイクロバブルを含んだ水流の実用例としてマイクロバブル含有シャワーに着目し、すすぎ過程における界面活性剤の除去性について検討する。

3. 研究の方法

(1) マイクロバブル洗浄への界面活性剤の添加効果に関する実験

本研究では図1の装置を用いてマイクロバブル水を観察するとともに線所私見を行った。

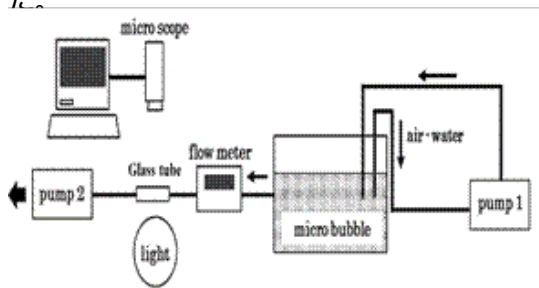


図1 実験装置

マイクロバブル発生装置に流量計を取り付け流量を調節した、マイクロバブル吹き出し口にアクリル製の測定セルを取り付けた。なお、液相は水道水または界面活性剤溶液、気相は空気をを用いた。

マイクロバブルの観察には、マイクロバブル装置を5分間稼働し、流路内の空気を完全に取り除いた後に測定セルを通過するマイクロバブルの動画をデジタルマイクロスコープ VHX-100(キーエンス社)を用いて撮影した。その動画はビデオキャプチャーVGA2USB Pro(Epiphany社)を用いて動画ファイル(解像度 1600×1200)として取り込み、ピントの合った気泡をターゲットとして気泡径を測定した。

洗浄試験用試料は、2-プロパノールを溶媒とした 0.1%(w/v)牛脂溶液をガラス管(長さ 6.0cm、外径 0.7mm、内径 0.5mm)内に 200 μ l 滴下し、室温で一晩乾燥させて調製した。洗浄試験はガラス管を流路の一部に接続して行った。洗浄溶液には、水道水及び所定濃度の各種界面活性剤溶液を用いた。また洗浄溶液はガラス管への再付着を考慮して循環せずに使用した。洗浄条件は水温 20 \pm 1.5、洗浄時間 3分、流量 3.5L/min とした。さらに、マイクロバブルの効果について検討するため、マイクロバブルが発生しない条件でも同様の洗浄試験を行った。洗浄後のガラス管は、水道水をガラス管内に 10 秒間流し入れることですすぎ、室温で乾燥させた。汚れ残留量は2-プロパノールで溶解後、紫外吸光度から求めた。

(2) マイクロバブル含有シャワーによる界面活性剤のすすぎ効果に関する実験

界面活性剤として直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム(LAS、和光純薬製衣料用合成洗剤試験用)を用いた。基質としては表面が疎水性であるシリコンゴム、アクリル板、テガダーム TM(3M社製)、新水性であるステンレス板の4種類を用いた。基質はそれぞれ 50×50mm²に切断し、エタノール(和光純薬製、試薬特級)を含んだ脱脂綿球(直径 10mm)で表面をふき取る前処理を行ったものを試料として用いた。エタノール溶媒の LAS 溶液(0.5 g/L)を各種基質に 1ml 滴下し、室温で乾燥させたものをモデル基質とした。

すすぎ実験は、蛇口からホースを用いて流量計と接続し、その先に市販のマイクロバブル含有シャワーヘッドもしくは通常のシャワーヘッドを接続した。またシャワーによるすすぎを行う際には、流量が安定するまで水槽内にシャワーを照射し続け、安定後に基質表面もしくは皮膚表面のすすぎを行った。

LAS の残留量はエタノールと綿球でふき取り、エタノール溶液として紫外吸光度から求めた。

4. 研究成果

(1) マイクロバブル洗浄への界面活性剤の添加効果に関する実験

各濃度の SDS 溶液を用いた牛脂の洗浄試験の結果を図 2 に示す。マイクロバブルを用いた洗浄において、SDS の濃度が高くなるに従い牛脂の除去率は増加し、平均気泡径が最も小さくなる SDS 濃度 100mg/L 条件下では除去率が 18.8%となり、マイクロバブル単体の除去率の 1.6 倍となった。従って、SDS を添加してマイクロバブルの気泡径が小さくなることによって、気液界面面積が大きくなり、牛脂の洗浄性が向上したと考えられる。

一方で、マイクロバブルの平均気泡径がほぼ同じ値である SDS 濃度 50mg/L、100mg/L、250mg/L を比較すると、牛脂の除去率は 250mg/L の濃度の方が大幅に高くなった。これは、SDS 濃度が 250mg/L の条件下では、マイクロバブル表面への SDS の吸着が飽和状態となり、牛脂及びガラス管への SDS 吸着量の増加によって牛脂の付着力が低下し、液流などの機械力によって除去されやすくなったためと考えられる。そのため、SDS 濃度 250mg/L 条件下では、マイクロバブルの疎水性吸着は関係なく牛脂の除去が進行するため、マイクロバブルの効果とは言い難い。

以上のことから、cmc の 20 分の 1 の濃度である 50mg/L 以下の SDS を添加することで、マイクロバブルの洗浄性を向上できることが明らかになった。

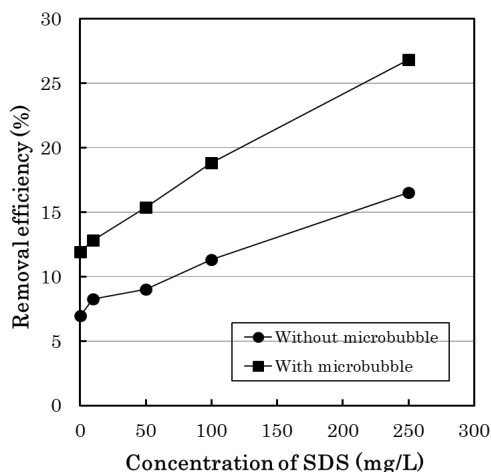


図 2 マイクロバブル水の洗浄性に及ぼす SDS の添加効果

AE 溶液を用いた場合は SDS と同様に濃度が高くなるに従い牛脂の除去率は増加し、cmc の 6 分の 1 である 10mg/L 以下の濃度の AE を添加することでマイクロバブルの洗浄効果を向上できることが示唆された。

陽イオン界面活性剤である CTAB 溶液を用いた場合は、マイクロバブルを用いて洗浄した場合が、マイクロバブルを含まない場合よりも牛脂の除去率が低くなった。これは、CTAB がマイクロバブル表面に吸着し、牛脂へ

の吸着量が減少したことで、マイクロバブル洗浄において牛脂の除去率が低下したものと考えられる。

(2) マイクロバブル含有シャワーによる界面活性剤のすすぎ効果に関する実験

シャワーの流量を変化させた時の各種基質表面の LAS 残留量について検討した結果、疎水性表面の基質において、アクリル板が最も LAS が除去しやすく、テガダームが最も LAS が除去し難かった。これは基質表面の疎水性、帯電性の違いが影響しているものと推測される。またマイクロバブルの洗浄効果についてみると、全ての基質でマイクロバブルを用いた方が速やかに LAS が除去された (図 3)。これは、マイクロバブル表面に LAS が吸着することで基質から LAS を剥離したためと考えられる。

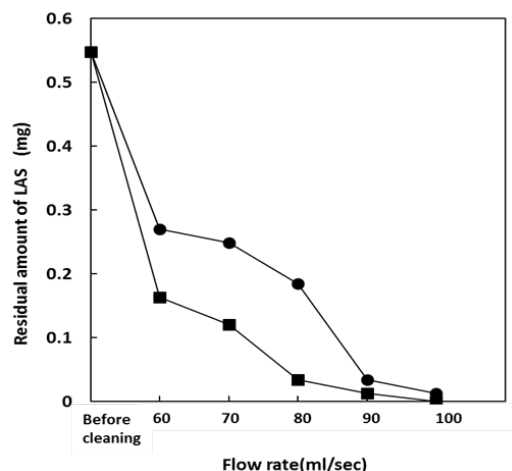


図 3 マイクロバブル含有シャワーによるシリコンゴムからの LAS の除去効果

一方で、表面が親水性であるステンレス板を基質とした場合、通常のシャワーによる流量 60ml/sec のすすぎで、LAS 残留量が最も低いことから、4 種の基質の中で最も LAS 残留性低いことが分かった。また、マイクロバブルの洗浄効果についてみると、マイクロバブルの方が速やかに LAS を除去できたが、疎水性表面の基質と比べてマイクロバブルの効果はわずかであった。以上のことから、基質表面の疎水性が LAS の残留性に影響を及ぼすことが分かった。また、親水性表面の基質はシャワーの水圧や液流などによって LAS の残留性が低く、マイクロバブルの洗浄効果が小さくなることが分かった。

実際の皮膚に界面活性剤を塗布してすすぎ実験を行ったところ、被験者によって LAS の残留量にばらつきが見られたものの、全ての被験者においてマイクロバブルを含有したシャワーを用いてすすいだ方が LAS の残留量が低下した。これは、被験者によって毛穴などにより皮膚表面の凹凸状態が異なるが、気泡径が小さいマイクロバブルは溝深くに

入り込むため、LAS を効率的に除去していると推測される。従って、マイクロバブルが皮膚表面のすすぎにおいての有効性が示唆された。

流量の影響についてみると、基質の種類に関係なく流量が増加するほどLASの残留量が低下した。これは、流量を増加させることでシャワーの水圧が増加し、基質表面に加わる機械力が増加したためと考えられる。

以上のことから、基質の種類、流量条件下に関わらず、マイクロバブルを含有したシャワーを用いた方が界面活性剤を効果的に除去できることが分かった。また、基質の疎水性が界面活性剤の主な残留要因であることが分かった。

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3件)

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), 2016年, 838-843

Yuya Kojima, Masaru 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), 2015年, 5-11

小島裕也, 大矢勝, 濃色基質上に付着した白色汚れの定量を可能とする画像アプリケーションの開発, 繊維製品消費科学, 査読(有), 55(9), 2014年, 670-676

[学会発表](計34件)

藤本明弘, 井上万葉子, 田中輝政, 大矢勝, 市販洗剤の洗浄力評価への確率密度関数法の適用の可能性, 第48回洗浄に関するシンポジウム(タワーホール舟堀, 東京), 2016年

有馬志織, 藤本明弘, 大矢勝, 身体洗浄料の泡触感、物理化学的特性および洗浄性の関連性, 第48回洗浄に関するシンポジウム(タワーホール舟堀, 東京), 2016年

埜礼之, 藤本明弘, 田中輝政, 大矢勝, 高級アルコール系エマルジョン洗浄剤の汚れ除去機構, 第48回洗浄に関するシンポジウム(タワーホール舟堀, 東京), 2016年

Masaru Oya, Akihiro Fujimoto, Terumasa Tanaka, A Method for Quantifying the Additional Effects of Detergent Components on the Cleaning Power, World Conference on Fabric and Home Care

(Shangri-La Hotel, Singapore), 2016年

大矢勝, 汚れの種類別にみた洗濯での水の役割, 高分子学会(神奈川大学, 横浜), 2016年

有馬志織, 藤本明弘, 大矢勝, 身体洗浄料における泡沫触感の定量的評価法の提案, 日本油化学会第54回年会(奈良女子大学, 奈良), 2016年

埜礼之, 田中輝政, 大矢勝, 高級アルコール系エマルジョンを用いた洗浄系における油性汚れ除去メカニズムの解析, 日本油化学会第54回年会(奈良女子大学, 奈良), 2016年

田中輝政, 藤本明弘, 大矢勝, 確率密度関数法を用いた各種油性色素の洗浄機構の解析, 日本油化学会第54回年会(奈良女子大学, 奈良), 2016年

藤本明弘, 田中輝政, 大矢勝, 確率密度関数法を用いた洗浄性評価に及ぼすアルカリ剤の影響, 日本油化学会第54回年会(奈良女子大学, 奈良), 2016年

有馬志織, 藤本明弘, 大矢勝, 洗剤の泡立ちの決定因子に関する研究, 繊維製品消費科学学会年次大会(東京家政大学, 東京), 2016年

埜礼之, 藤本明弘, 大矢勝, 高級アルコール系エマルジョン洗浄の最適化, 繊維製品消費科学学会年次大会(東京家政大学, 東京), 2016年

大矢勝, 藤本明弘, 田中輝政, 確率密度関数法による洗浄性評価(第1報) 理論的背景と計算アプリケーションの作成, 繊維製品消費科学学会年次大会(東京家政大学, 東京), 2016年

藤本明弘, 田中輝政, 大矢勝, 確率密度関数法による洗浄性評価(第2報) 各種汚れの洗浄性に及ぼす機械力の影響, 繊維製品消費科学学会年次大会(東京家政大学, 東京), 2016年

藤本明弘, 田中輝政, 大矢勝, 確率密度関数法による洗浄性評価(第3報) 各種汚れの洗浄性に及ぼす温度の影響, 繊維製品消費科学学会年次大会(東京家政大学, 東京), 2016年

大矢勝, 服部香名子, マイクロバブル洗浄における界面活性剤の添加効果, 家政学会年次大会(金城学院大学, 名古屋), 2016年

Masaru Oya, Akihiro Fujimoto, Terumasa Tanaka, Noriyuki Hanawa, Oily Soil Removal with O/W Emulsion System Using Fatty Alcohol as Oily Phase Substrates, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science (アスカル佐世保, 佐世保), 2015 年

Kanako Hattori, Shiori Arima, Masaru Oya, Effect of Addition of Surfactant in Microbubble Cleaning, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science (アスカル佐世保, 佐世保), 2015 年

Akihiro Fujimoto, Terumasa Tanaka, Li Qingzhou, Masaru Oya, Effect of pH on Detergency of Particulate Soil and Oily Soil Analyzed by Probability Density Function Method, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science (アスカル佐世保, 佐世保), 2015 年

Terumasa Tanaka, Akihiro Fujimoto, Masaru Oya, Effect of Surfactant Concentration on Detergency of Several Soils Analyzed by Probability Density Function Method, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science (アスカル佐世保, 佐世保), 2015 年

大矢勝, 藤本明弘, 田中輝政, 確率密度関数法による洗浄解析における阻害要因の検討, 第 47 回洗浄に関するシンポジウム(大阪科学技術センター, 大阪), 2015 年

②①藤本明弘, 田中輝政, 大矢勝, 確率密度関数を用いた洗浄作用解析における加算則成立の可能性, 日本油化学会第 54 回年会(名城大学, 名古屋), 2015 年

②②田中輝政, 藤本明弘, 大矢勝, 確率密度関数を利用した洗浄性に及ぼす界面活性剤濃度の影響の解析, 日本油化学会第 54 回年会(名城大学, 名古屋), 2015 年

②③服部香名子, 大矢勝, マイクロバブル洗浄における界面活性剤配合の影響, 日本油化学会第 54 回年会(名城大学, 名古屋), 2015 年

②④大矢勝, 高級アルコール / SDS / 水系エマルジョンによる油性汚れの洗浄性, 家政学会年次大会(アイーナ岩手, 岩手), 2015 年

②⑤大矢勝, 小島裕也, 確率密度関数による洗浄力評価指標の開発, 神奈川県ものづくり技術交流会(神奈川県産業技術センター, 海老名), 2014 年

②⑥小島裕也, 大矢勝, 洗浄性・防汚性評価の

ための画像解析システム, 神奈川県ものづくり技術交流会(神奈川県産業技術センター, 海老名), 2014 年

②⑦三島聡太, 大矢勝, 環境調和型の高級アルコール / 界面活性剤混合系洗浄剤, 神奈川県ものづくり技術交流会(神奈川県産業技術センター, 海老名), 2014 年

②⑧服部香名子, 小島裕也, 三島聡太, 田中輝政, 大矢勝, K/S 洗浄率を求めることのできる着色油汚れ汚染布の作成法, 神奈川県ものづくり技術交流会(神奈川県産業技術センター, 海老名), 2014 年

②⑨大矢勝, 最近の洗浄研究・洗剤技術の動向, 第 46 回洗浄に関するシンポジウム(タワーホール船堀, 東京), 2014 年

②⑩服部香名子, 大矢勝, 皮膚洗浄後のエアインシャワーによる界面活性剤の除去性, 第 46 回洗浄に関するシンポジウム(タワーホール船堀, 東京), 2014 年

②⑪三島聡太, 大矢勝, 高級アルコール系マイクロエマルジョンの洗浄挙動の解析, 第 46 回洗浄に関するシンポジウム(タワーホール船堀, 東京), 2014 年

②⑫小島裕也, 大矢勝, 画像解析システムによる洗浄性・防汚性の評価法の開発, 第 46 回洗浄に関するシンポジウム(タワーホール船堀, 東京), 2014 年

②⑬Masaru Oya, Yuya Kojima, Development of an Image Analysis System for Measuring the Amount of Colored Soil Adhered to Fabric, World Conference on Fabric and Home Care (Montreux Music and Convention Center, Switzerland), 2014 年

②⑭大矢勝, 確率密度関数を用いた新たな洗浄力評価指標の有効性, 家政学会年次大会(北九州国際会議場, 北九州), 2014 年

〔図書〕(計 2 件)

牛腸ヒロミ他編, 被服学事典, 朝倉書店(2016)

分担: 4.4 洗浄, 4.4.1 洗浄, c. 洗剤, 1) 界面活性剤, d. 洗浄条件, 4) 浴比

日本家政学会編, 衣服の百科事典, 丸善出版(2015), 共編著

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.detergent.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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