

マイクロバブルを用いた布の洗浄性

木村美智子*・川端博子**

(2016年11月1日受理)

Effects of Microbubble on the Detergency of Soiled Fabrics

Michiko KIMURA* and Hiroko KAWABATA**

(Accepted November 1, 2016)

はじめに

洗剤に含まれる界面活性剤は、衣類に付着した汚れを効果的に落とす作用がある一方で、水棲生物への影響や水質汚染源となることが懸念されるため、洗剤使用量を低減できる洗浄システムの開発が期待されている。

近年、マイクロバブルなどの微小気泡が有する特異な性質を利用し、医療分野（Klots, et al., 2010）、環境分野（都並ほか, 2008）、染色加工分野（榎本ほか, 2013）などでの利用が始まっている。マイクロバブルは、発生時の気泡の直径が1～100マイクロメートル以下の気泡であり、水中で縮小して消滅時に放たれるエネルギーによって化学物質が分解されること、また、気泡の中にオゾンを入れたオゾン・マイクロバブルには強力な殺菌効果や漂白効果があると報告されている（榎本, 2016）。このようなマイクロバブルの特徴を生かし、洗剤や漂白剤の使用量を低減し、環境への負荷を抑制した衣類洗浄へ利用することが期待されている。

マイクロバブルの衣類洗浄への可能性については、これまで、湿式人工汚染布を用いた洗浄力評価に加えて（山口・中村, 2014）、水晶振動子法（下村, 2014）、ATP（アデノシン三リン酸）測定法（山口・中村, 2015）による洗浄力評価を用いて検討がおこなわれている。しかし、マイクロバブルの洗浄性を明確にし、実用化するには、布や汚れの種類、機械力、洗浄温度など、様々な要因について検討していく必要がある。

そこで本研究では、布（綿、ポリエステル、綿／ポリエステル混紡）に付着した油性汚れとタンパク質汚れに対するマイクロバブルの洗浄性を検討するとともに、ターゲットメータの洗浄性との比較を通して、機械力の影響を明らかにすることを目的とする。

*茨城大学教育学部（〒310-8512 水戸市文京2-1-1；College of Education, Ibaraki University, Mito 310-8512 Japan）.

**埼玉大学教育学部（〒338-8570 さいたま市桜丘下大久保255；College of Education, Saitama University, Saitama 338-8570）.

実験方法

1 汚染布の作製

1) モデル汚れ

油性汚れとしてオレイン酸（東京化成）を、タンパク質汚れとしてゼラチン（生協市販ゼラチン）を用いた。

2) 試料布

試料布は、綿（カネボウ 2023）、ポリエステル（中尾フィルター）、綿／ポリエステル混紡（色染社、綿 35％／ポリエステル 65％）の 3 種類を使用した。

3) 汚染布作製

汚染布に用いた試料布は、あらかじめ糊抜きして乾燥させ、5 cm × 5 cm に裁断して使用した。

オレイン酸汚染布：エタノール 20 ml にオレイン酸 10 ml を溶解させた液、マイクロピペットを使い 0.1 ml を採取して試料布に塗布した。エタノールが完全に蒸発するまで室温に放置し、汚染布を作製した。

ゼラチン汚染布：蒸留水 6 ml にゼラチン 1 g を浸漬後、70℃の蒸留水 14 ml で溶解する。マイクロピペットを使い 0.1 ml を採取して試料布に塗布し、110℃で 15 分間乾燥させ、汚染布を作製した。

2 洗浄実験

1) マイクロバブルによる洗浄実験

マイクロバブルは、空気が入った「エア－・マイクロバブル」と、空気の代わりにオゾンが入った「オゾン・マイクロバブル」の 2 種を取り上げた。

エア－・マイクロバブル洗浄では、マイクロバブル発生装置（株式会社ニクニ、KTM20NDO4S-000）を用いて蒸留水 4 l 中にマイクロバブルを発生させ、この中で汚染布を洗浄した。オゾン・マイクロバブル洗浄では、小型オゾン発生器（荏原実業株式会社、ECEA-1000、オゾン発生量 20 g/m³）でオゾンを生成し、空気の代わりにオゾンが入ったマイクロバブルを発生させ、汚染布を洗浄した。

洗浄時間：10 分、20 分、30 分

洗浄温度：55℃

2) ターゴトメータによる洗浄実験

ターゴトメータ（上島製作所、MS-1801）を用い、洗浄時間 10 分、洗浄温度 55℃、70rpm で洗浄した。実験では、水のみ（蒸留水）、標準使用濃度の衣料用粉末洗剤（配合成分：界面活性剤 21％；直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム・ポリオキシエチレンアルキルエーテル、アルカリ剤、水軟化剤、工程剤、分散剤、漂白剤、蛍光増白剤、酵素）で洗浄を行った。

3) 洗浄効果の測定

布に付着しているオレイン酸およびゼラチンの検出には、フーリエ変換赤外分光光度計（バイオラッド社、FTS6000；以下 FT-IR と称する）を用いた。FT-IR では、布や金属などの固体表面を構成する成分の分析が可能である。そこで、本実験では、FT-IR で求めた吸収スペクトルから、オレ

イン酸やゼラチンの成分に特有の吸収波長に着目し、ピーク特性値を求めて洗浄力の指標とした。すなわち、汚染布のピーク特性値を基準とし、この値よりも低いほど汚れの付着量が少なく洗浄力が高いと判断した。

実験結果および考察

1 綿布の洗浄性

1) マイクロバブルの効果

オレイン酸の洗浄時間と洗浄効果との関係を図1に示す。エアー・マイクロバブル洗浄では、オレイン酸に対する洗浄効果がみられるものの、洗浄10分以降はピーク特性値に変化が見られず、洗浄効果は一定となった。オゾン・マイクロバブル洗浄では、10分以降も徐々にピーク特性値が低下し洗浄効果が高くなる傾向がみられた。

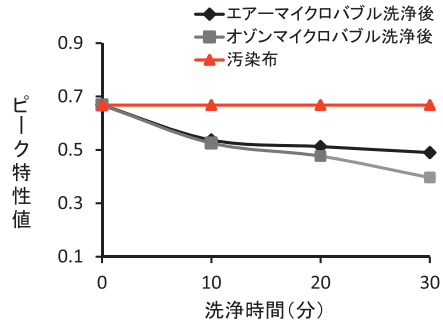


図1 オレイン酸の洗浄性(綿)

ゼラチンの洗浄時間と洗浄効果との関係を図2に示す。エアー・マイクロバブル洗浄では、オレイン酸と同様に洗浄時間10分以降は洗浄効果が一定となった。オゾン・マイクロバブル洗浄では、10分以降も徐々にピーク特性値が低下し洗浄効果が高くなる傾向がみられた。

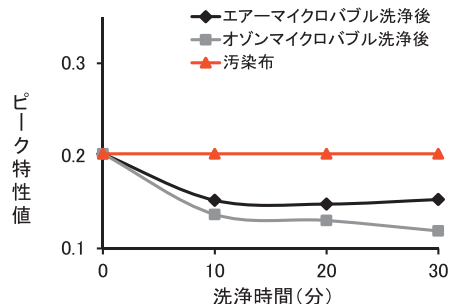


図2 ゼラチンの洗浄性(綿)

2) ターゴトメータ洗浄との比較

洗浄時間を10分とし、マイクロバブル洗浄とターゴトメータ洗浄の比較を行った。オレイン酸では、図3に示すように、ターゴトメータ洗浄の効果が高いこと、洗剤使用でさらに効果が顕著になることがわかった。反対にゼラチンでは、マイクロバブル洗浄の効果が高いことが明らかとなった(図4)。

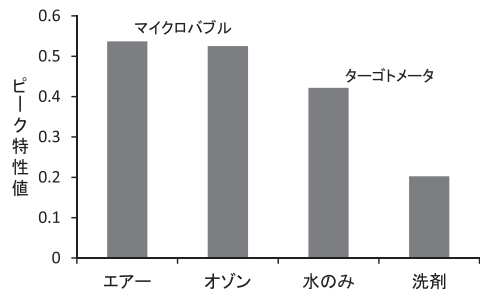


図3 オレイン酸の洗浄性比較(綿)

2 ポリエステル布の洗浄性

1) マイクロバブルの効果

図5に示すように、オレイン酸では、エアー・

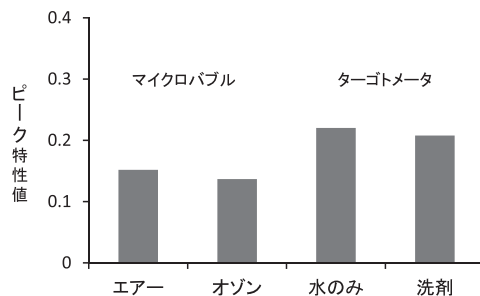


図4 ゼラチンの洗浄性比較(綿)

マイクロバブルとオゾン・マイクロバブルとで洗浄効果に顕著な差が現れた。エアー・マイクロバブルでは洗浄効果がほとんど見られなかったが、オゾン・マイクロバブルでは、洗浄時間とともにピーク特性値が低下し、洗浄性が高くなることから、オゾンによる分解によって洗浄性が向上したと推測される。

図6に示すように、ゼラチンの場合、エアー・マイクロバブルでは洗浄時間10分以降、洗浄効果は一定となった。一方、オゾン・マイクロバブルでは10分以降も洗浄時間とともに洗浄効果が徐々に高くなる傾向が見られた。

2) ターゴトメータ洗浄との比較

洗浄時間を10分とし、マイクロバブル洗浄とターゴトメータ洗浄の比較を行った。オレイン酸では、ターゴトメータ洗浄の効果が顕著であることがわかった（図7）。ゼラチンでは、洗浄方法の違いによって洗浄性に差がほとんど見られないことが明らかとなった（図8）。

3 綿／ポリエステル混紡布の洗浄性

1) マイクロバブルの効果

図9に示すようにオレイン酸の混紡布における洗浄効果は、ポリエステルと同様にエアー・マイクロバブルとオゾン・マイクロバブルに差が生じた。エアー・マイクロバブルでは、洗浄30分でわずかに効果が見られる一方、オゾン・マイクロバブルは、洗浄時間の増加とともにオレイン酸の洗浄性が高くなる傾向を示した。これはオゾンによるオレイン酸の分解が進んだためと推測される。

図10に示すように、ゼラチンでは、オゾン・マイクロバブルがエアー・マイクロバブルよりもやや洗浄性が高いものの、10分以降、洗浄性がほぼ一定となる傾向が見られた。

2) ターゴトメータ洗浄との比較

洗浄時間10分での洗浄性を比較した結果、オレイン酸では、ターゴトメータ洗浄の効果が

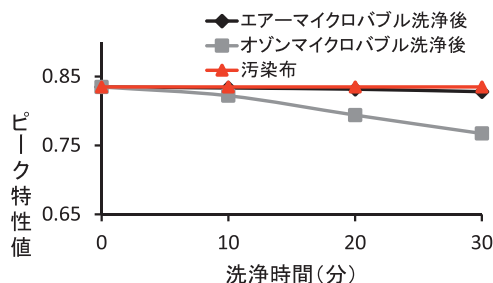


図5 オレイン酸の洗浄性(ポリエステル)

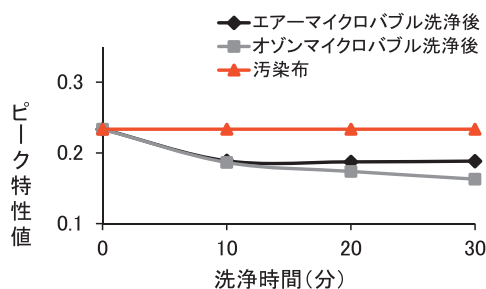


図6 ゼラチンの洗浄性(ポリエステル)

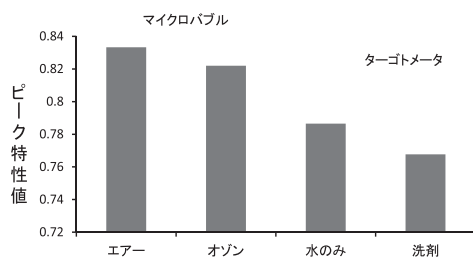


図7 オレイン酸の洗浄性比較(ポリエステル)

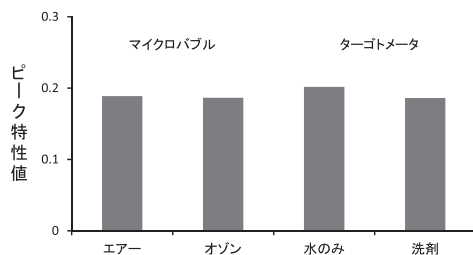


図8 ゼラチンの洗浄性比較(ポリエステル)

高いことがわかった（図11）。ゼラチンでは、オゾン・マイクロバブルの効果がやや高いが、洗浄方法の違いによる差はほとんど見られなかった（図12）。

まとめ

本研究では、金属表面の洗浄や食品の殺菌・洗浄などで高い性能を示すマイクロバブルに着目し、布に付着した汚れの洗浄への応用が可能かどうかを検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

1 布の種類とマイクロバブルの洗浄性

マイクロバブルの洗浄性は、布の種類、汚れの種類によって異なることが明らかとなった。綿では、オレイン酸、ゼラチンともにエアーマイクロバブルおよびオゾン・マイクロバブルによる洗浄効果が認められた。一方、ポリエステルおよび混紡では、ゼラチンについてはエアーマイクロバブルおよびオゾン・マイクロバブルともに洗浄効果が見られたが、オレイン酸についてはオゾン・マイクロバブルの洗浄効果のみ確認できた。これは、オレイン酸は疎水性の大きいポリエステル繊維との親和性が高いため、もともと洗浄効果が低いと考えられるが、オゾンによる分解作用によって、オレイン酸が除去されたと考えられる。

2 ターゴトメータとの比較

衣類洗浄には、機械力の影響が大きいと考えられる。布にかかる機械力の大きさは、ターゴトメータの方がマイクロバブルよりもはるかに大きいと考えられる。洗浄に関わる機械力の影響を比較検討した結果、オレイン酸については、布の種類を問わず、ターゴトメータの洗浄効果が高いことや洗剤の効果が最も高いことが示された。一方、ゼラチンについては、綿ではマイ

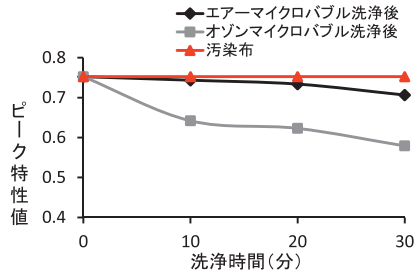


図9 オレイン酸の洗浄性(混紡)

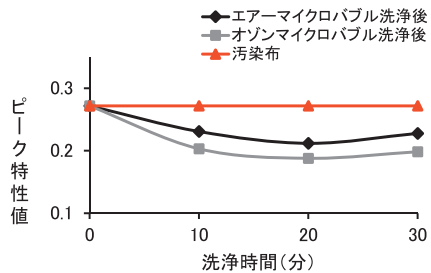


図10 ゼラチンの洗浄性(混紡)

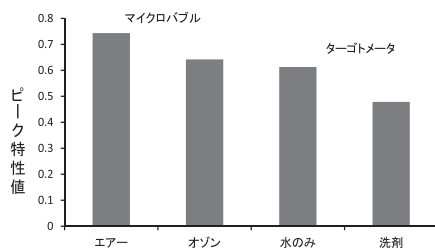


図11 オレイン酸の洗浄性比較(混紡)

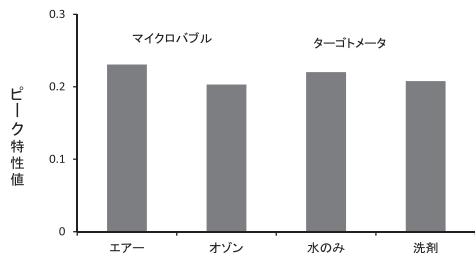


図12 ゼラチンの洗浄性比較(混紡)

クロボブルの洗浄効果が高いこと、ポリエステルおよび混紡では、洗浄性に大きな違いは見られず、ターゴトメータとほぼ同程度の洗浄効果を示した。

以上より、マイクロバブル洗浄では、エアー・マイクロバブルよりもオゾン・マイクロバブルの方が洗浄力が高いこと、また、オレイン酸よりもゼラチンの洗浄に効果があることが示唆された。

謝 辞

マイクロバブルの洗浄実験およびFT-IR測定については、ご厚意により、茨城県工業技術センターの設備機器を使用させていただきました。センターの皆様にご心より御礼を申し上げます。

引用文献

- 榎本一郎・武田浩司・長尾梨沙・添田 心・星 幸則・高橋芳郎・増子富美・美谷千鶴. 2013. 「オゾン・マイクロバブルによる綿布の漂白効果」『東京都立産業技術研究センター研究報告』8,84-87.
- 榎本一郎. 2016. 「染色・仕上げ加工におけるファインバブルの利用」『日本家政学会第1回家政学夏季セミナー講演要旨集』11-16.
- Klots, A. R., Lindvere, L. 2010. "Temperature change near microbubbles within a capillary network during focused ultrasound". *Physics in Medicine and Biology*. 55, 1549-1561.
- 下村久美子. 2014. 「マイクロナノバブル水による洗浄効果の検討—湿式人工汚染布と水晶振動子法による洗浄効果—」『日本家政学会第66回大会研究発表要旨集』81.
- 都並結依・大成博文・大成博音・山本孝子. 2008. 「高等専門学校の教育と研究」『日本高専学会誌』13,3-8.
- 山口庸子・中村弥生. 2014. 「マイクロ・ナノバブル水の洗浄に関わる基本性能」『共立女子短期大学生生活科学紀要』57,15-21.
- 山口庸子・中村弥生. 2015. 「ATP測定法を用いたマイクロ・ナノバブルの洗浄力評価」『共立女子短期大学』58,57-65.