

ファインバブルの洗浄評価に関する研究 — 洗浄試験によるファインバブルの存在確認 —

脇田 薫*, 向吉郁朗*, 東みなみ*, 小幡 透*, 尾前 宏**, 五島 崇***, 二井 晋***

Study on Washing Evaluation of Fine Bubble

— Existence Confirmation of Fine Bubble by Washing Test —

Kaoru WAKITA, Ikuro MUKOYOSHI, Minami HIGASHI, Toru OBATA, Hiroshi ONOMAE,

Takashi GOSHIMA and Susumu NII

直径100 μm 以下の微細な気泡（ファインバブル）を含むファインバブル水は、様々な分野への応用が期待されているが、気泡の存在を定量的に測定することが困難であるため、簡易な評価方法が必要とされている。そこで、気泡の有無を簡易に評価する方法の1つとして数種の洗浄試験法を検討したところ、水道水や蒸留水と比較してファインバブル水の洗浄効果が高くなる傾向が見られ、気泡の有無を確認する簡易試験法としての可能性が示唆された。

Keyword : ファインバブル, 洗浄試験, 超音波, 汚染布, インジケータ

1. 緒 言

ファインバブルとは直径100 μm 以下の微細な気泡のことである。ファインバブルを含む水（以下、ファインバブル水とする）は2000年頃から養殖等の水産業で注目されて以来、農業や食品産業などで多くの事例が報告されている^{1)~5)}。ファインバブル技術は、日本発の新技术として注目されており、(一社)ファインバブル産業界 (FBIA) や、自治体を中心としたファインバブル地方創生協議会が中心となってファインバブルの産業化および国際標準化を推し進めている¹⁾。このファインバブル地方創生協議会には、本県や肝付町も参画しており、情報交換等を行っている。

一方、ファインバブル技術にはファインバブル水の気泡の存在を定量的に測定することが難しいという課題がある。特に、ファインバブルの中でも気泡径1 μm 以下のウルトラファインバブルは肉眼では見えないため、高価な分析装置がなければ水中の気泡の存在を確認できない。また、気泡の粒度分布、気体の種類等の違いにより、利用目的に応じた効果の程度を容易に確認することも難しい。

そこで、本研究では気泡の有無を確認する方法として、ファインバブルを用いた高速道路のトイレ洗浄²⁾の洗浄効果に着目し、各種洗浄試験を行い、気泡の洗浄効果の優位性について調査すると共に、ファインバブルの簡易な確認方法について検討した。

2. 実験方法

2. 1 予備試験

予備試験用のファインバブル水は、イオン交換水を原料に高圧洗浄機（アイリスオーヤマ(株)製, FBN-606)を用いて製造した。供給水にポンプを用いて空気を混入させ、水が循環するよう装置を組み立てて稼働させたところ、気泡密度約6億個/mLのファインバブル水を製造することができた。気泡密度の測定はナノ粒子径分布測定装置（(株)島津製作所製, SALD-7500nano)により行ったが、予備試験であるため測定データは割愛する。このファインバブル水を用いて、簡易な確認方法として、接触角の測定、人工汚染布の洗濯試験、芋ヤニを付着させたステンレス板の超音波洗浄、油性ペンの浸漬洗浄について検討した。

2. 2 人工汚染布を用いた洗浄試験

ファインバブル水は水道水10Lを原水として、市販のファインバブル発生装置（(株)ワイビーエム製, ファビー10 (図1), 以後ファビー10とする)を用いて気泡密度約3億個/mLのものを調製した。装置メーカーがホームページ上に公表しているファインバブル水の気泡密度の分析結果を図2に示す。洗浄試験は、ファインバブル水を製造した直後に行った。モデル汚れには、JIS C 9606準拠の人工汚染布（綿布）を（一財）洗濯科学協会より購入して用いた。人工汚染布の汚れの種類を表1に示す。洗浄装置は、JIS L 0844（洗濯に対する染色堅ろう度試験方法）に規定される染色堅ろう度洗たく試験機（スガ試験機(株)製, LM-8DS型）を用いた。汚れ落ちの評価はJIS C 9606を参考に分光反射率計（(株)コニカミノルタ製, CM-3100）を用いて人

*食品・化学部

**企画支援部

***鹿児島大学工学部 環境化学プロセス工学科



図1 ファビー10の外観

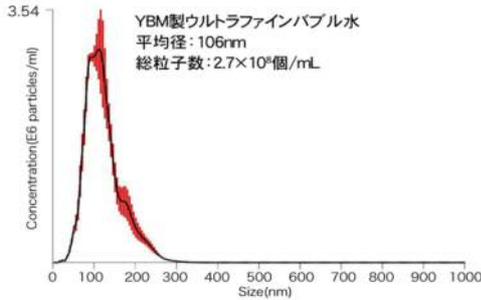


図2 ファビー10の気泡密度分析結果 (提供元: (株)ワイビーエム)

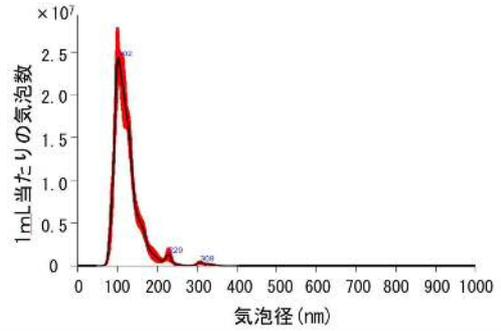


図3 ファインバブル水の測定結果

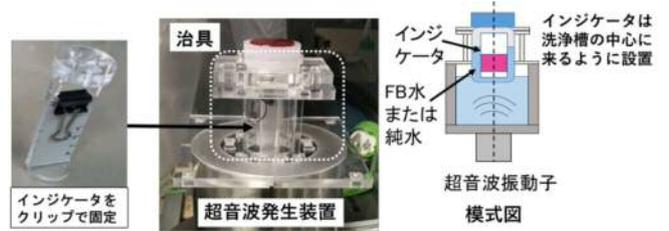


図4 インジケータの固定および位置合わせ治具

表1 人工汚染布の汚れの種類

油性汚垢成分	オレイン酸 トリオレイン酸 オレイン酸コレステロール 流動パラフィン スクアレン コレステロール
たん白質	ゼラチン
無機質成分	赤黄色土 カーボンブラック

工汚染布の表と裏の530nmにおける表面反射率を測定し、(1)式を用いて洗浄率を計算することにより行った。

$$\text{洗浄率 (\%)} = (R_w - R_s) / (R_o - R_s) \times 100 \dots (1)$$

R_w: 洗濯後の表面反射率

R_s: 洗濯前の表面反射率

R_o: 原布の表面反射率

2.3 オレイン酸汚染布の洗浄試験

ファインバブル水は、10Lの水道水を原水として、ファビー10を稼働させて調製した。洗浄試験は、ファインバブル水を製造した直後に行った。モデル汚れにはJIS L 0803に規定される染色堅牢度試験用白布(綿、5cm×5cm)にオイルレッドで着色したオレイン酸エタノール溶液200μLを約1cmの高さから生地中心に滴下し、一晚静置したもの(以下、オレイン酸汚染布)を使用した。洗浄にはファインバブル水もしくは水道水を入れた1Lビーカーを使用し、スターラーを用いた攪拌により30分間洗浄した。汚れ落ちの評価は、分光反射率計を用いて四つ折りにしたオレイン

酸汚染布3か所の520nm(極大吸収波長)における表面反射率を測定し、(1)式を用いて洗浄率を計算することにより行った。

2.4 洗浄プロセスインジケータを用いた洗浄試験

洗浄プロセスインジケータとは、使用済み医療機器用洗浄機の洗浄性能確認用のモデル汚れであり、手に入りやすくかつ安価であることから本研究に用いた。

ファインバブル水は、蒸留水を用いて超音波発生装置(鹿児島大学で製作)により調製した気泡密度約10億個/mLのものを用いた。気泡密度の測定は、ナノトラッキング粒子径測定装置(スペクトリス(株)製、ナノサイトLM10)により行った。測定結果を図3に示す。

洗浄プロセスインジケータはクリーンケミカル(株)製のクリーンチェック(以下、インジケータとする)を用いた。洗浄装置にはファインバブル水調製に用いたものと同じ超音波発生装置を用いた。超音波発生装置の周波数を98kHz、超音波振動子の交流電圧振幅を0.25Vに設定した。インジケータを30mLのバイアル瓶内に固定し、18mLのファインバブル水もしくは蒸留水を加えた後、超音波発生装置に装着して1分間洗浄した。超音波洗浄の洗浄効果には超音波振動子とインジケータの位置関係が影響すると考えられることから、インジケータの固定は位置合わせ治具(図4)を用いた。汚れ落ちの評価は紫外可視分光光度計((株)島津製作所製、UV-1600)および分光反射率計により行った。

3. 結果および考察

3.1 予備試験

接触角の測定、芋ヤニを付着させたステンレス板の超音

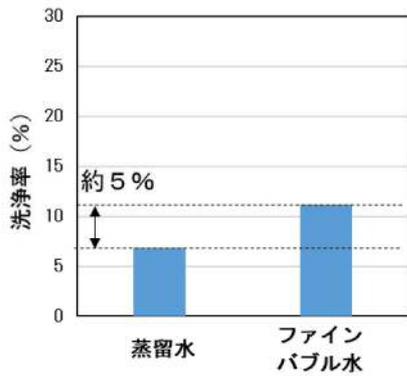


図5 人工汚染布の洗浄予備試験

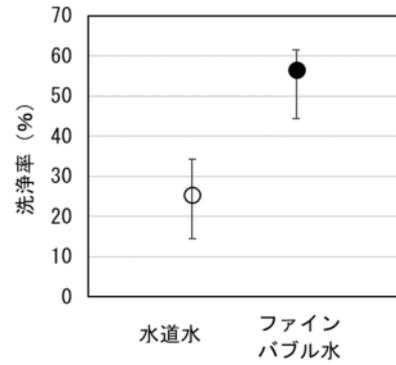


図7 オレイン酸汚染布の洗浄試験

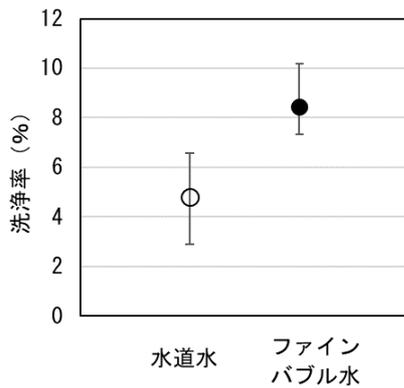


図6 人工汚染布の洗浄試験

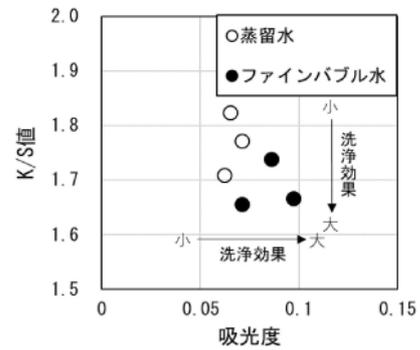


図8 超音波洗浄試験

波洗浄、油性ペンの浸漬洗浄では水道水とファインバブル水の洗浄効果の差は見られなかったが、人工汚染布の洗濯試験では、ファインバブル水のほうがわずかに洗浄率が高い(約5%)という結果が得られた(図5)。このことから、人工汚染布の洗濯試験についてさらに詳細な検討を行った。

3.2 人工汚染布を用いた洗浄試験

ファインバブル水および水道水で洗浄した人工汚染布の洗浄試験の結果を図6に示す。ファインバブル水で洗浄した人工汚染布のほうが約3%洗浄率が高くなることが分かった。しかし、どちらの場合でも洗浄率は10%にも満たない結果となり、ファインバブルの評価法として用いるには洗浄率を向上させる必要がある。人工汚染布の汚れは表1に示したとおり複合汚れであるため、ファインバブルの洗浄効果が現れにくい汚れが含まれている可能性がある。したがって単一汚れを用いた方が洗浄効果が出やすいことが予想された。また、秦らはPEフィルムを用いた洗浄試験において、ファインバブル水のオレイン酸に対する洗浄効果が高いことを確認している⁶⁾。そこで、オレイン酸単独の汚染布を用いて洗浄試験を行った。

3.3 オレイン酸汚染布の洗浄試験

ファインバブル水および水道水で洗浄したオレイン酸汚染布の洗浄試験結果を図7に示す。ファインバブル水で洗浄したオレイン酸汚染布のほうが約30%洗浄率が高くなっ

ていることがわかった。結果のばらつきは大きいものの、ファインバブル水で洗浄したオレイン酸汚染布は、水道水で洗浄したものに比べて洗浄効果に差が認められた。

この結果から、ファインバブルの気泡の有無の確認法として洗浄評価を用いることが可能であると示唆された。

3.4 洗浄プロセスインジケータを用いた洗浄試験

安定して入手可能なモデル汚れとして、市販の洗浄プロセスインジケータの利用についても検討した。洗浄力を向上させるために超音波を使用して実験を行った。なお、洗浄プロセスインジケータを超音波で洗浄した場合、汚れの溶解と剥離が同時に起こることが予想された。そのため、この2つを組み合わせた評価として洗液の540 nm(極大吸収波長)における吸光度及び分光反射率計を用いて測定したインジケータの540nmにおけるK/S値の測定を行った。なお、K/S値とは色材層における光の吸収係数Kと散乱係数Sの比を指し、染料の光の吸収の強さを表す⁷⁾。本研究では、インジケータの色の濃さも指標として用いた。

超音波洗浄試験結果を図8に示す。縦軸がインジケータ本体のK/S値、横軸が洗液の吸光度を表す。プロットが右下に近づくほど洗浄効果が高まる。ファインバブル水で洗浄したインジケータのほうが蒸留水に比べてK/S値が低く、かつ洗液の吸光度が高い傾向を示した。このことはインジケータの色が薄くなり、洗液の色が濃くなっていることを示していることから、サンプル数が足りないため有意差の

検討には至らないが超音波洗浄におけるファインバブル水の洗浄効果が示唆された。

このことから、実験条件をさらに検討することで洗浄によるファインバブルの確認に応用できる可能性があると期待される。

4. 結 言

ファインバブル水を用いた洗浄試験を行い、以下のような結果が得られた。

- (1) 人工汚染布を用いた洗浄試験結果では、ファインバブル水で洗浄した人工汚染布のほうがわずかに洗浄率が高くなる傾向が見られた。
- (2) オレイン酸汚染布の洗浄試験では、ファインバブル水で洗浄したオレイン酸汚染布のほうが洗浄率が高くなることが分かった。
- (3) 超音波洗浄試験では、ファインバブル水で洗浄したインジケータのほうが蒸留水に比べて洗浄効果が高い傾向を示した。

本研究における洗浄試験によって、水道水や蒸留水と比較してファインバブル水の洗浄効果が高くなる傾向が見られた。これらの結果から、本研究で施した洗浄試験法によっ

てファインバブル水の気泡の有無を確認できる可能性があることがわかった。今後はより短時間でより大きな差が出せるように実験に用いる汚染布やインジケータの選定および洗浄を促進させる方法の検討などを進め、ファインバブル水を洗浄に用いている現場への技術移転を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 寺坂宏一, 氷室昭三, 安藤景太, 秦隆志, ファインバブル学会連合編: “ファインバブル入門”, 日刊工業新聞社(2016)p. 19-33
- 2) 経済産業省九州経済産業局: ファインバブル活用事例集, 5-9(2018)
- 3) 今井剛: 水環境学会誌, **41**(A)(5), 164-167(2018)
- 4) 西嶋渉, 橋本くるみ: 水環境学会誌, **41**(A)(5), 168-172(2018)
- 5) 秦隆志, 南川久人: 水環境学会誌, **41**(A)(5), 173-177(2018)
- 6) 秦隆志ら: 表面技術, **68**(6), 12-14(2017)
- 7) 川上元郎, 児玉晃, 富家直, 大田登: “色彩の事典”(株)朝倉書店(1988)p. 132