

ファインバブル水を用いた噴射洗浄試験方法に関する研究

脇田 薫*, 小幡 透*, 安藤義則*, 安藤浩毅**

Study on Method for Spray Wasing Test Using Fine Bubbles

Kaoru WAKITA, Toru OBATA, Yoshinori ANDO and Hiroki ANDO

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、製造装置の選択基準や効果を評価する方法についての標準化が進んでおらず、試験研究部門を持たない企業にとっては装置の選定や効果の確認が困難である。

本研究は噴射洗浄試験環境の構築を目的とし、水溶性切削油汚れを想定した洗浄効果の評価法について検討した。その結果、切削油の蛍光を利用した洗浄効果の評価法を見出し、また、洗浄試験用治具を開発することで洗浄効果を数値化でき、ファインバブル水の洗浄効果の評価が可能となった。

Keyword : ファインバブル, 洗浄効果の評価法, 洗浄試験用治具, 噴射洗浄

1. 緒 言

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応用例が報告されている^{1)~4)}。

一方、ファインバブル水製造装置の選択基準や効果を評価する方法については標準化が進んでいないという課題がある。このため、ファインバブル技術を洗浄の観点で導入する際には、市販のファインバブル水発生装置と試験環境を用意してあらかじめ試験を行い、実際に効果があるのか確認を行うことが推奨されている⁵⁾。しかし、自社で試験研究部門を持っていない企業にとっては、確認試験を社内で行うことは困難である。

当センターにもファインバブル水の洗浄工程への活用に関する相談が寄せられており、効果の確認の難しさがファインバブル技術の導入の妨げの一因となっていると考えられる。そこで、本研究ではファインバブル技術の洗浄工程への導入を検討している企業等への支援として、洗浄試験環境の構築および洗浄効果の定量評価法の開発を行うことを目的とした。本報では、実際に県内企業から相談が寄せられた金属加工用の水溶性切削油を汚れ物質として噴射洗浄を想定した洗浄試験用治具を作製し、水溶性切削油の蛍光を利用した洗浄効果（紫外光照射による汚れ物質の数値化）の評価法について検討したので報告する。

2. 実験方法

2. 1 洗浄試験用試料

直径 5 cm の円形ステンレス板に水溶性切削油 1.6 g をヘプタン 20 mL に溶解させた液を 1 mL 滴下し、スピンコータを

用いて 520~540 rpm で 40 秒間回転させることにより均一な油膜を形成したものを洗浄試験用の試料とした。

2. 2 噴射洗浄試験用治具

塩化ビニル板とコンプレッサー付きエアブラシ（(株)エアテックス製）を用いて噴射洗浄試験用治具を作成した。本治具はコンプレッサーで発生させた空気の圧力により、



図 1 蛍光画像の撮影法



図 2 試料画像

*食品・化学部

**企画支援部

タンク内の水を試料へ噴射する仕組みとなっている。その際の噴射の勢いをコンプレッサーの空気吐出量で3段階に調節できる。また、水の吐出量をトリガーの引き幅で調節できる。

2. 3 洗浄効果の評価法

試料への切削油付着量は、図1に示すとおり試料測定箱に試料をセットし、試料に波長365nmの紫外光（フナテック（株）製FY-100R）を照射して、切削油から発せられる蛍光をCCDカメラで撮影し、得られた画像の輝度の総和を自作したプログラムを用いてカウントすることにより測定した。図1の方法により得られた試料の画像を図2に示す。

2. 4 噴射洗浄試験

2. 4. 1 洗浄条件の検討

適当な洗浄強度を探るため、コンプレッサーの空気の吐出量を3段階、水の吐出量を2段階に変化させて水道水を用いた洗浄試験を行った。また、切削油汚れの定着度合いを調べるため2. 1の方法で作製した試料を5分間および10分間気流中で乾燥させ、噴射距離10.5cm、水の吐出量2.6mL/分の条件で洗浄試験を行った。洗浄率の計算は、以下の式を用いて行った。以後の試験も同様である。

$$\text{洗浄率 (\%)} = (A - B) / A \times 100$$

A : 洗浄前の輝度

B : 洗浄後の輝度

2. 4. 2 ファインバブル水を用いた洗浄試験

ファインバブル水は、キャビテーション方式の市販装置に工業用空気ポンペを接続して100~200mL/分で空気を送りながら6Lの水道水を10分間循環させることで作成し、これをガラス容器に充填して密栓し、一晚保存して試験に用いた（これをファインバブル水1とする）。このファインバブル水1をナノサイトLM-10（スペクトリス（株）製）で測定したところ、気泡濃度は 1.27×10^8 個/mLであった。ファインバブル水1の洗浄試験は、空気吐出量7.1L/分、噴射距離10.5cm、水の吐出量2.6mL/分の条件で行った。

また、鹿児島大学で発明されたキャビテーション方式の発生装置⁹⁾に所定量の脱イオン水を10分間通液させたもの（これをファインバブル水2とする）を用いた洗浄試験も併せて行った。ファインバブル水2の気泡濃度は 1.71×10^9 個/mLであった。ファインバブル水2の洗浄試験は、空気吐出量7.1L/分、噴射距離3cm、水の吐出量2.6mL/分の条件で行った。

3. 結果および考察

3. 1 切削油量測定法の検討

2. 1で示した方法で試料が安定に作製できていることを確認するために5枚の試料作製を5回行い、輝度のばらつきを調べるために5枚の試料画像の輝度の平均値と各

試料画像の輝度の差を誤差とし、試料画像の輝度に対する誤差の割合を求めた。結果を図3に示す。輝度の誤差は、最大で7.1%であった

また、試料画像の輝度と切削油量の相関を調べるため、切削油が0.5mg, 1mg, 3mg, 5mg付着した試料を作製して、画像の輝度を求めた。試料画像の輝度と切削油量の相関および用いた試料の画像を図4に示す。切削油量と試料

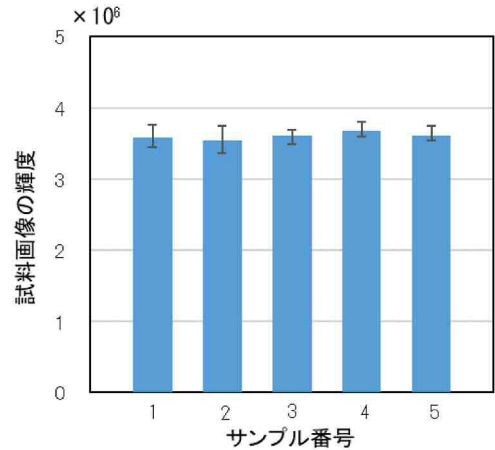


図3 試料の安定性の確認

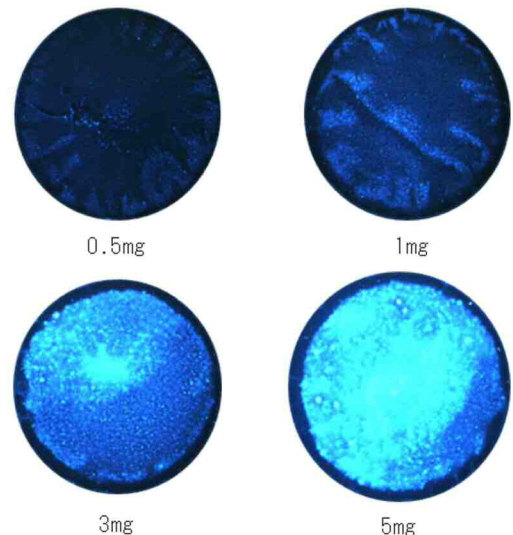
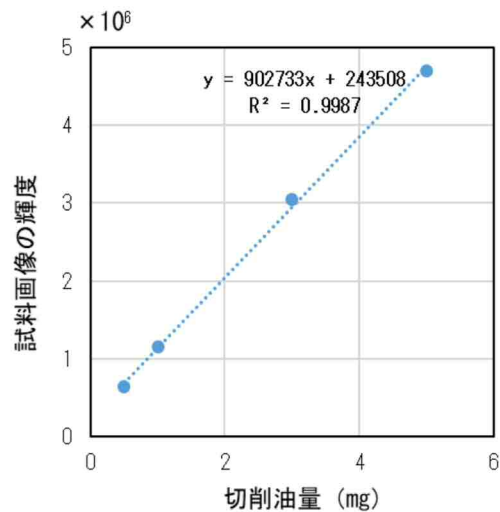


図4 切削油量と画像の輝度の相関

画像の輝度との間には高い相関が得られ、この結果から、試料画像の輝度を用いて切削油量を精度良く測定できることが明らかとなった。

3. 2 噴射洗浄試験用治具の作製

作製した噴射洗浄試験用治具を図5に示す。コンプレッサーの3段階の空気の吐出量を測定したところ、それぞれ7.1L/分、7.4L/分、8.3L/分であった。また、調節ねじにより設定できる水の吐出量は0.2mL/分~6.0mL/分であった。

3. 3 噴射洗浄試験

3. 3. 1 洗浄条件の検討

コンプレッサーの空気の吐出量を3段階、液の吐出量を2段階に変化させて水道水を用いた洗浄試験を行ったときの結果を図6に示す。空気の吐出量および水の吐出量が多くなるほど洗浄率が高くなっており、洗浄強度の違いが試験結果に表れていることが分かる。また、水の吐出量6.0mL/分、空気吐出量7.1L/分で洗浄したときと水の吐出量2.6mL/分、空気吐出量7.4L/分で洗浄したときの洗浄率を比較すると、後者のほうが高くなっていた。このことから、今回の治具の洗浄結果には空気吐出量の影響が大きいということが分かった。しかし、いずれの条件でも洗浄率が80%を越えており、洗浄力の小さな差を比較することは難しいと考えられた。そこで、乾燥により切削油をステンレス板により強く定着させた試料を用い、再度洗浄試験を

行った。なお、試験条件は洗浄強度が最も小さい、空気吐出量7.1L/分、水の吐出量2.6mL/分とした。結果を図7に示す。試料を乾燥させることで洗浄率が大きく下がるが、乾燥時間5分と10分では洗浄率に大きな差はないことが分かった。この結果を基に、以後の試験では試料の乾燥時間は5分で行った。

3. 3. 2 ファインバブル水を用いた洗浄試験

ファインバブル水1、ファインバブル水2を用いた洗浄試験の結果を図8、図9に示す。ファインバブル水1を用いた洗浄試験では、対照である水道水に比べて洗浄率に明確な差は認められなかった。一方、ファインバブル水2を用いた洗浄試験では、対照であるイオン交換水に比べて洗浄率の向上が認められた。ファインバブル水1および2の気泡濃度は、それぞれ 1.27×10^8 個/mL、 1.71×10^9 個/mLであり、この気泡濃度の差が洗浄率に影響を与えていると考えられた。

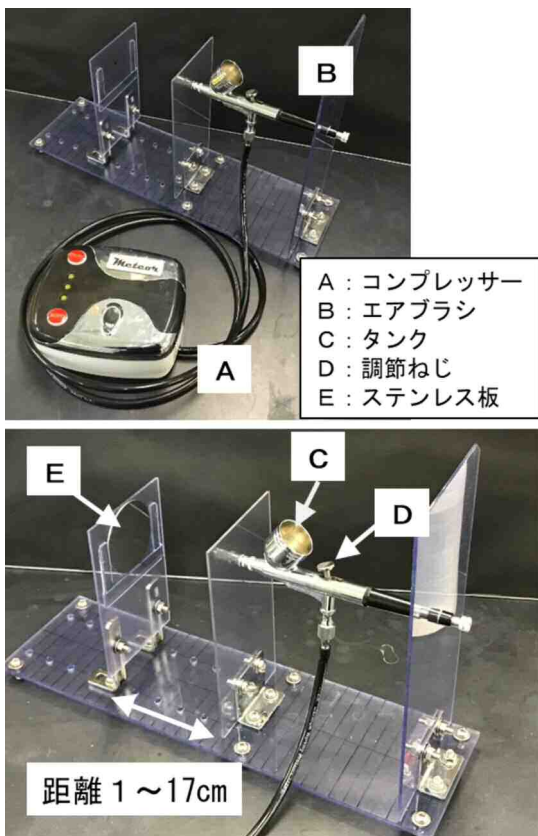


図5 噴射洗浄試験用治具

上：全景 下：洗浄部分

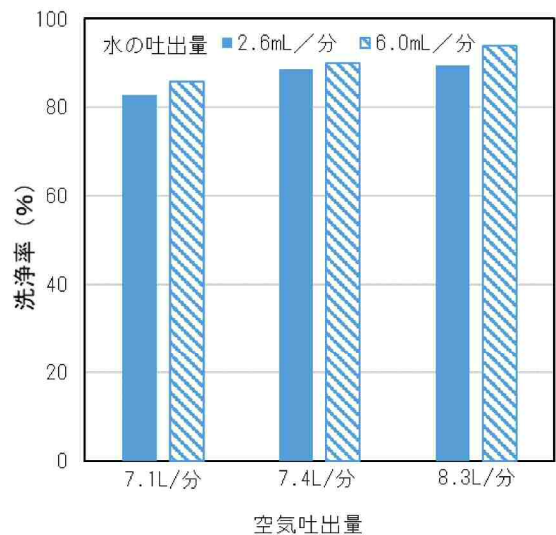


図6 洗浄強度を変化させて行った洗浄試験

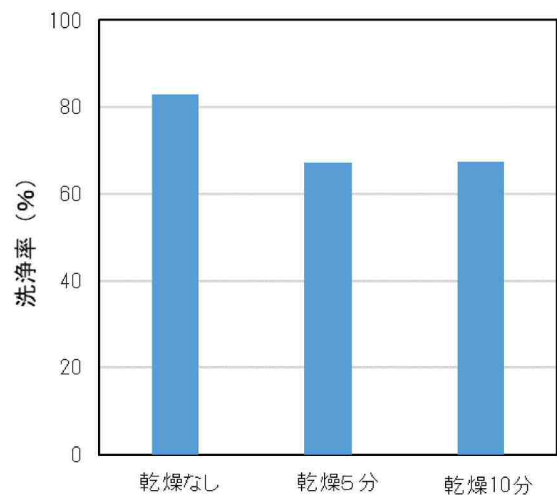


図7 試料の乾燥時間の検討

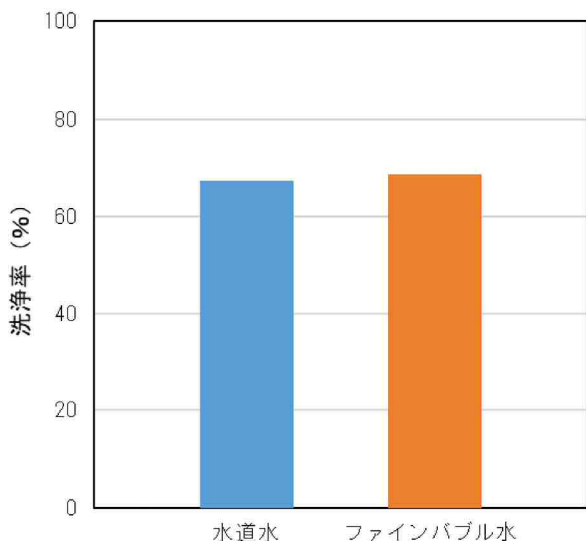


図8 ファインバブル水1を用いた洗浄試験結果

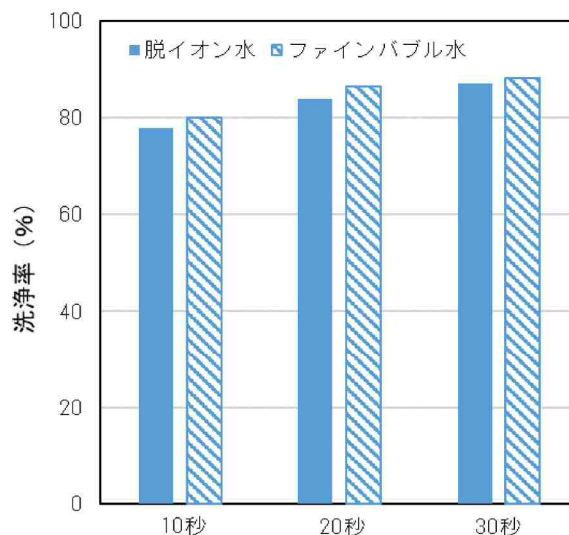


図9 ファインバブル水2を用いた洗浄試験結果

また、ファインバブル水2，イオン交換水ともに，洗浄時間が長くなるほど洗浄率が高くなり，いずれの洗浄時間においてもファインバブル水2のほうが洗浄効果が高いという結果が得られた。洗浄時間が30秒のときは両者の差が小さくなっているが，これは洗浄時間が長くなるに従い試料上の切削油が少なくなり，洗浄効果の差が見えにくくなったことが原因だと考えられる。

以上のことから，噴射洗浄試験用治具を用いることで，蛍光を発する水溶性切削油に対するファインバブル水の洗浄効果を評価することができた。また，ファインバブル水の気泡濃度が切削油の洗浄効果に影響を与えることが示唆された。

4. 結 言

今回の研究により，噴射洗浄試験用治具を作製し，水溶性切削油に対する噴射洗浄を評価する試験環境を構築した。また，紫外線照射により切削油が発する蛍光を利用して洗浄効果を数値化することも可能となった。

その結果，本洗浄試験環境を用い，蛍光を発する特定の水溶性切削油に対するファインバブル水の洗浄効果を評価できるようになった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり，試験協力や有益な助言を賜りました鹿児島大学工学部先進工学科化学工学プログラム二井晋教授，五島崇助教ならびに研究室の皆様深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) ファインバブル学会連合編：ファインバブル入門 (2016)，19-21
- 2) 九州経済産業局：ファインバブル活用事例集(2018)，5-9
- 3) ファインバブル学会連合編：ファインバブル入門 (2016)，22-33
- 4) 九州経済産業局：ファインバブル活用事例集(2018)，8
- 5) 九州経済産業局：ファインバブル活用事例集(2018)，11-12
- 6) 国際公開番号：WO 2020235519