

マイクロバブル洗浄装置の小型化・高速化による適用拡大と環境負荷低減

増田 暁雄*
柴田 洋平*
樋野 本宣秀*

Broadly-applicable Non-chemical Cleaning Technology by Utilizing Microbubble

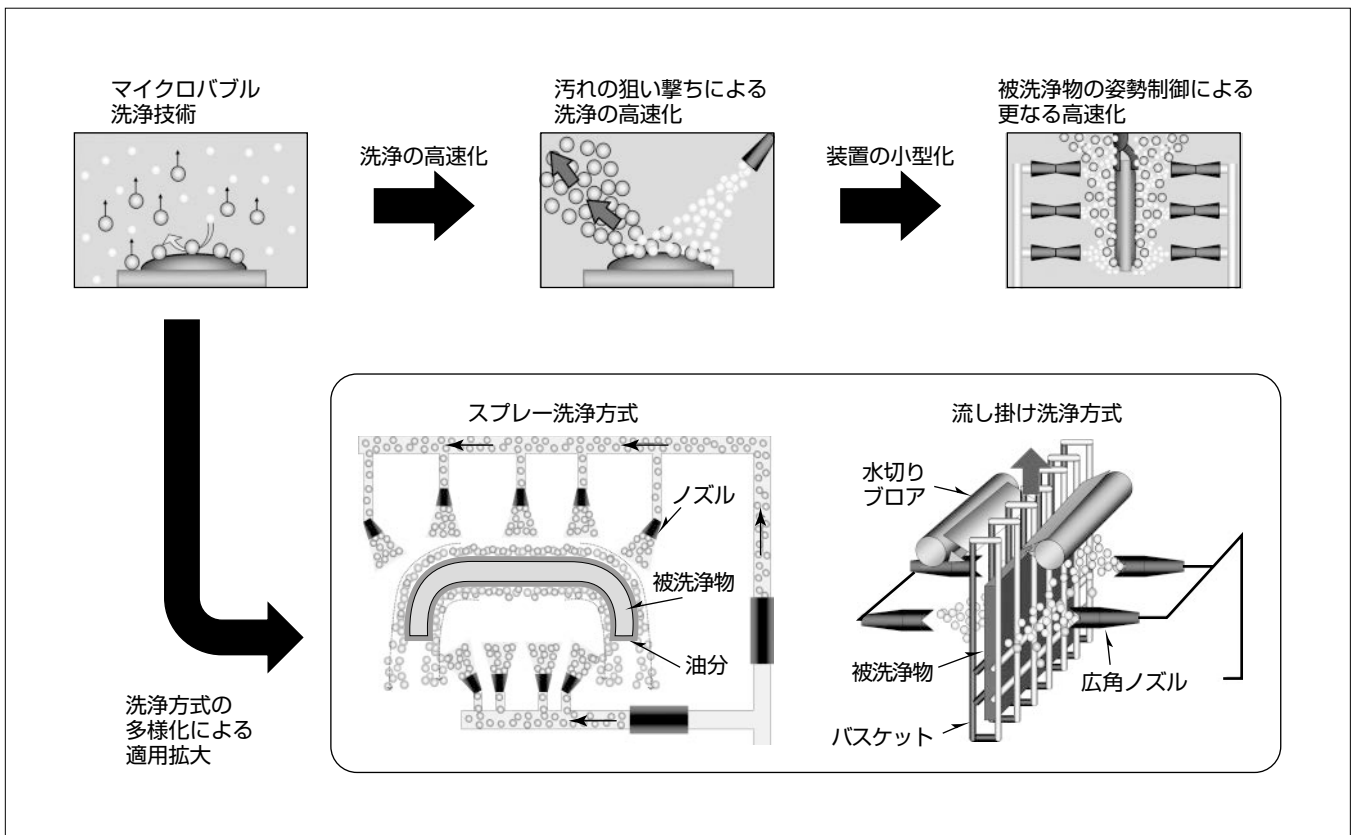
Akio Masuda, Yohei Shibata, Nobuhide Hinomoto

要 旨

地球規模で環境破壊に対する危機感が高まる中、工業分野でも生産効率のみならず、地球環境との調和を考える時代が到来している。三菱電機が実用化したマイクロバブル洗浄技術は、洗浄工程で排出されるVOC(揮発性有機化合物：Volatile Organic Compounds)や洗浄廃液を削減可能な環境配慮型洗浄技術であり、適用範囲を拡大すること自体が環境負荷低減につながる。この洗浄技術を全業界規模に適用拡大して地球環境保護に貢献することを目的として、洗浄装置の小型化・高速化と洗浄形態の多様化を着眼点とした洗浄方式を開発・実用化した。設備導入に際して、標準的な処理能力・装置寸法が既知で、各種洗浄方式を選択できることは、使い勝手の良さや不具合リスク回避の観点

で重要な要素である。この洗浄技術の適用拡大に際しては、微細気泡による油分の吸着除去という洗浄原理を生かし、従来の洗浄技術を用いた装置と比較して、同等以上の高速洗浄と装置小型化を実現した。また、従来広く用いられている溶剤洗浄・アルカリ洗浄の分野で既に確立されたスプレー洗浄方式・流し掛け洗浄方式などの洗浄形態を取り入れ、工程レイアウト・生産タクトや被洗浄物の形状に応じた多様な洗浄方式を開発・実用化した。

マイクロバブル洗浄技術は、いまだ進化の途上であるが、洗浄方式の標準的な選択肢になり得る水準となった。各業界で広く用いられ、地球環境に対して大きく貢献することが強く期待される。



マイクロバブル洗浄の高速化・装置小型化と洗浄方式の多様化

上段にマイクロバブル洗浄の高速化・装置小型化を実現した洗浄方式の開発の流れを、下段に適用拡大を狙って開発した洗浄方式を示す。洗浄の高速化は、マイクロバブル噴流によって汚れを狙い撃ちすることで汚れに作用するマイクロバブルの絶対数を増加させて実現し、装置の小型化は、被洗浄物の姿勢制御による更なる高速化を図り、洗浄槽を小型化することで実現している。また、スプレー洗浄方式・流し掛け洗浄方式マイクロバブル洗浄は、袋構造や平板形状など被洗浄物の形状に応じて開発したものであり、液面に浮上する油膜を除去する工程を省いて洗浄時間を短縮したと併せて、適用拡大に大きく寄与している。

*生産技術センター

1. ま え が き

近年、地球温暖化に代表される様々な異常気象の発生を契機として、世界的に地球規模の環境に関心が高まっている。先進国を中心として、環境負荷を低減するための種々の取組みが推進されていることは周知である。

工業分野で有機溶剤を用いる洗浄工程が排出するVOCは、塗装工程に次いで多量であり、全VOC発生量の約1割を占めるといわれる。このため、従来の洗浄工程と代替可能な低環境負荷の洗浄技術を確認することは、地球温暖化や水質汚濁、大気汚染を抑制し、地球環境に貢献するための重要な課題と言える⁽¹⁾。

当社では、マイクロバブルといわれる直径100 μm 以下の微小な気泡を水中に高密度に生成することによって、気液界面の面積を飛躍的に拡大し、被洗浄物表面に付着した油分を吸着除去する洗浄技術を開発し、社内複数の工場に適用している⁽²⁾。この技術で用いる洗浄液・洗浄廃液が水系であり、かつ後述のように洗浄液の再生利用が可能であることから、適用拡大による大幅なVOC削減が期待できる。

しかしながら、実用化の際に装置技術の観点で考えると、被洗浄物の形状・寸法、生産タクトや装置レイアウトが、異なる工程で用いるため洗浄時間の短縮・装置の設置面積縮小など、種々の課題を達成する必要がある。

本稿では、マイクロバブル洗浄技術の特徴を述べるとともに、これらの課題を達成するために開発した洗浄形態の異なるマイクロバブル洗浄技術とその効果を述べる。

2. マイクロバブル洗浄技術の特徴

2.1 溶剤洗浄とマイクロバブル洗浄の比較

図1にマイクロバブル洗浄と従来の溶剤洗浄における油分除去機構の概念図を示す。溶剤洗浄では、被洗浄物に付着した油分を洗浄液中に溶解・乳化して除去する。そのため、除去した油分量の増加に伴い、洗浄液中に油分が蓄積して洗浄力が低下する。そこで、定期的な洗浄液の更新による洗浄力の維持が必要となるが、これは生産活動の中断と相当量の廃液の発生を意味する。

一方、マイクロバブル洗浄では、99%以上を水で構成した洗浄液に油分が付着した被洗浄物を浸漬し、高密度に生成したマイクロバブルと呼ばれる微細気泡の表面に油分を

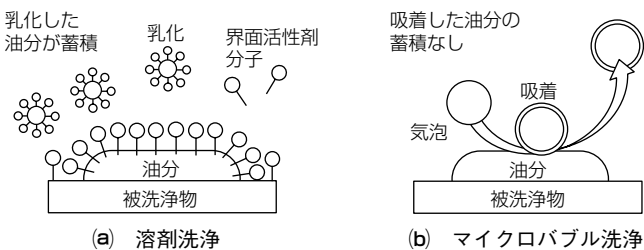


図1. 溶剤洗浄とマイクロバブル洗浄の油分除去機構の概念図

吸着・除去する。マイクロバブル表面に吸着された油分は気泡の浮力によって洗浄液面に分離されるため、液面の油分層を選択除去することで洗浄液中への油分の蓄積を抑制できる。その結果、溶剤洗浄と比較して、洗浄液の劣化を抑制して洗浄力を長期間維持することができ、洗浄液の更新頻度を大幅に低減して生産性向上と廃液削減による環境負荷低減を実現できる。

図2に量産工程におけるマイクロバブル洗浄装置の連続稼働検証の結果を示す。検証期間中の液交換を行わず、被洗浄物による持ち出しと液面からの蒸発によって失われた洗浄液を補給するだけとした。つまり、洗浄装置が持つ洗浄液の自浄作用だけで3か月のメンテナンスフリーを達成し、洗浄廃液を大幅に削減できることを実証済みである。

2.2 マイクロバブル洗浄の原理

図3にマイクロバブル洗浄装置の構成を例示する。マイクロバブル洗浄における油分除去は、①被洗浄面に付着した油分へのマイクロバブルの接触、②マイクロバブル表面への油分の吸着、③洗浄液中の水流及び気泡自身の浮力による被洗浄物表面からの離脱・浮上という3段階で進む。このように、被洗浄物表面に新たなマイクロバブルを次々に接触させ、その表面に油分を移行することで洗浄が進む。浮上したマイクロバブルは液面で破泡し、油膜を形成することで洗浄液と油分を分離する。液面の油分層をオーバーフローなどの手段で選択的に除去し、油水分離後の洗浄液だけ循環することで洗浄液を再生利用する。

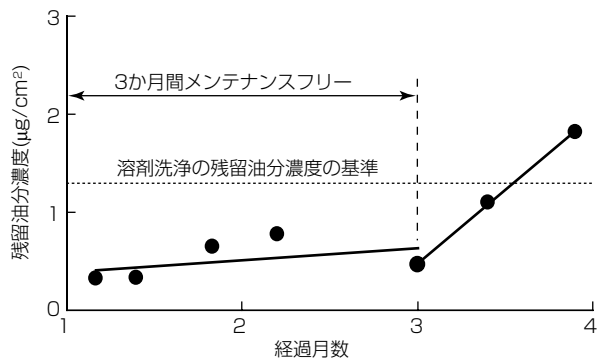


図2. 残留油分濃度の稼働期間依存性

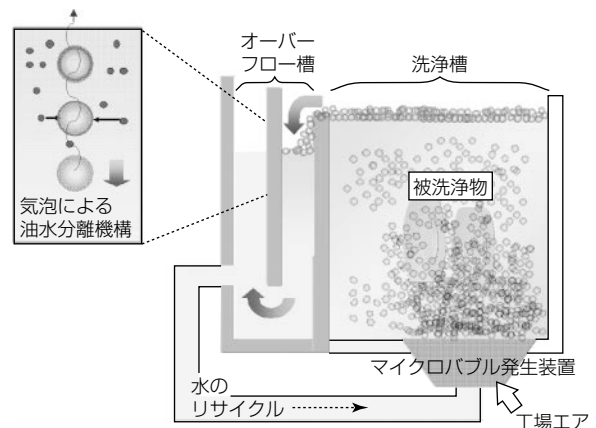


図3. マイクロバブル洗浄装置の構成

3. 洗浄時間短縮と装置小型化を実現する マイクロバブル洗浄技術の開発と実用化

洗浄工程は、塑性加工や機械加工などの主加工工程後に配置される場合が多いため、処理時間が短く工程前後に滞留が生じないこと、装置の設置面積が小さく加工装置の近傍に容易に設置できることが求められる。

マイクロバブル洗浄の適用拡大に際して、洗浄時間・設置面積に着目した次の洗浄方式を開発した。

- (1) 従来の洗浄技術と異なる洗浄原理を生かした、マイクロバブル噴流で汚れを狙い撃ちする洗浄方式
- (2) 袋構造や板状など、様々な形状の被洗浄物に対応したスプレー洗浄方式・流し掛け洗浄方式

3.1 汚れを狙い撃ちする浸漬洗浄方式の開発

図4にマイクロバブル洗浄における残留油分濃度の洗浄時間依存性を示す。あらかじめ同量の油分を付着させた複数の平板試料を洗浄液中に浸漬し、マイクロバブル噴流を所定の時間当たった後、抽出溶媒を用いて試料表面に残留した油分濃度を測定したものである。残留油分濃度が一定の値に達するまでは、洗浄時間の延長に伴って残留油分がほぼ線形に減少することが分かる。

先に述べた洗浄原理によって、この現象は時間経過に伴って被洗浄物表面に接触するマイクロバブルの数が増加するために生じると考えられる。つまり、高密度のマイクロバブル噴流を用いて短時間に多数のマイクロバブルを被洗浄物に作用させることで、洗浄時間を短縮できることを示唆する。

一般に前後工程と比較して処理時間が長くなる場合が多く、生産タクトに不整合が生じることが原因でバッチ処理を採用せざるを得なかった小物板金部品等では、洗浄を高速化することの価値が高い。前後工程と処理タクトを合わせた1個流しの連続生産ライン化が可能となり、中間仕掛削減・リードタイム削減が可能となる。

洗浄の高速化を実現する手段として、図5に示すように高密度のマイクロバブル噴流で被洗浄物を狙い撃ちする液中ノズルの配置と狙い撃ちを高精度化する被洗浄物の姿勢制御機構を備えた洗浄装置を開発した。この装置の導入事

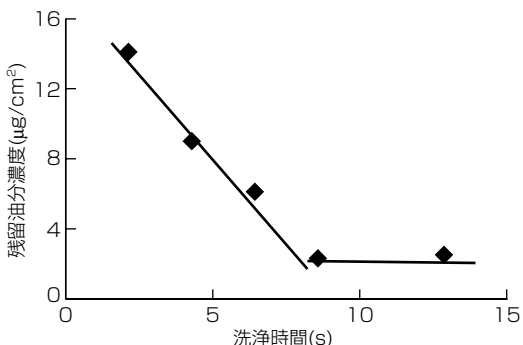


図4. 残留油分濃度の洗浄時間依存性

例では、洗浄時間を4秒に短縮し、サイクルタイムが短いプレス装置と洗浄装置を直結する1個流し化を実現した。

3.2 スプレー洗浄方式と流し掛け洗浄方式の開発

マイクロバブル洗浄の基本的な形態は、液中で被洗浄物にマイクロバブルを作用させる浸漬洗浄方式である。しかしながら、袋構造を持つ被洗浄物の場合、浮上した気泡が袋構造の内部に滞留する問題があり、部品形状による適用対象の制約条件があった。これに対し、被洗浄物にマイクロバブルを含む洗浄液を噴霧するスプレー洗浄方式を開発した。

図6にスプレー洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置を示す。浸漬洗浄方式と比較して2つの利点がある。1つ目は袋構造を持つ被洗浄物に対して、マイクロバブル洗浄の適用が可能になった点である。浸漬洗浄方式では内部に気泡が滞留し、油分を被洗浄物から分離することができなかった。一方で、スプレー洗浄方式では、被洗浄物にマイクロバブルを含む洗浄液を噴霧するため、気泡の滞留を防止することができる。2つ目は、浸漬洗浄方式で必須であった

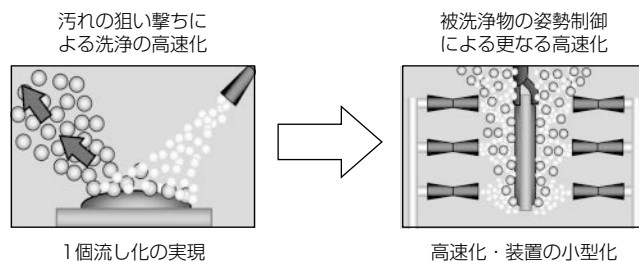


図5. 汚れの狙い撃ちと被洗浄物の姿勢制御

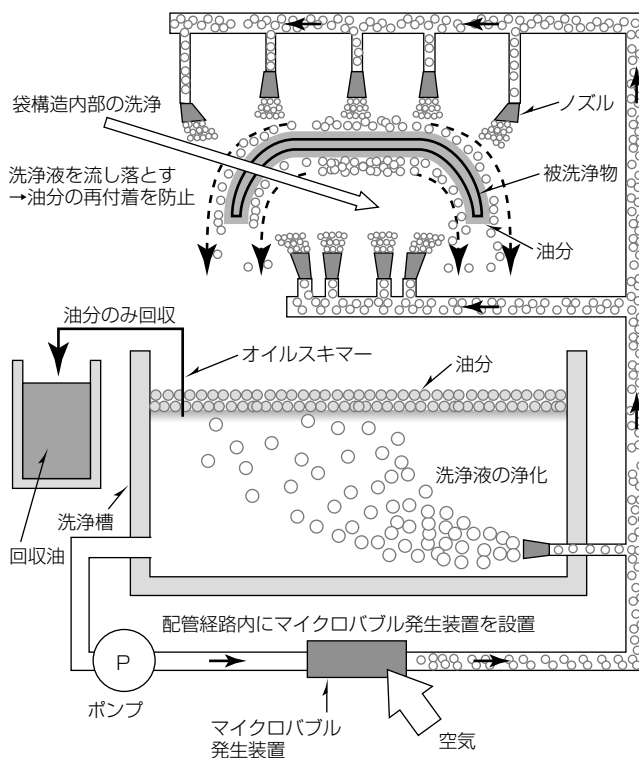


図6. スプレー洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置

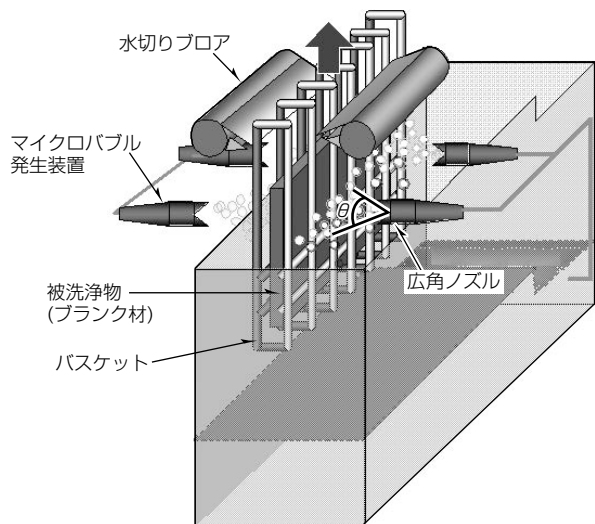


図7. 流し掛け洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置

洗浄液面を浄化する工程が不要になった点である。洗浄液面に油分層が形成されていると、洗浄が完了して被洗浄物を取り出す際に、液面を浮遊する油分が再付着する問題が生じる。これを防止するため、被洗浄物を洗浄液から取り出す前に、液面の油分層を除去する浄化工程が必須である。一方、スプレー洗浄方式の場合、被洗浄物が洗浄液の液面を通過する工程がないため、液面の油分が再付着することがなく、浄化工程を省略することが可能である。図6に示す導入事例では、洗浄工程のサイクルタイム短縮によって、浸漬式と比較して洗浄処理能力を1.75倍に向上している。

また、別の適用形態として、板材洗浄に特化した流し掛け洗浄方式を開発・実用化した。図7に流し掛け洗浄方式のマイクロバブル洗浄装置を示す。この方式では、マイクロバブルを含む洗浄液膜をプランク材表面に沿って流し掛けながら被洗浄物を保持したバスケットを引き上げる。スプレー洗浄方式と比較して、洗浄液-大気間の気液界面が小さく、洗浄液によって高密度のマイクロバブルを含有するため、洗浄効率を向上させることができる。また、広角ノズルを用いて洗浄液を広範囲に流し掛けることでノズル本数を削減して、洗浄液の循環ポンプの電力容量を1/2に削減するとともに、広角ノズルの直上に水切りブローアを設置して洗浄と同時に水切り乾燥を完了する装置構成・動作を開発し、乾燥炉レス化による省エネルギー化を図っている。ここで、ノズル本数削減と乾燥炉レス化による装置の小型化を同時に実現している。

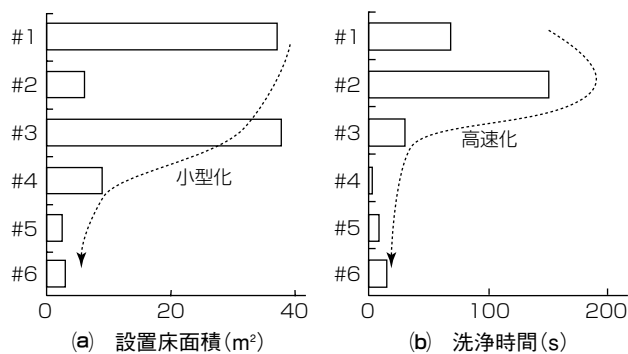


図8. マイクロバブル洗浄の装置小型化と洗浄時間短縮

3.3 洗浄方式の多様化による適用対象の拡大

これまでに述べたように、マイクロバブル洗浄技術の適用拡大による生産工程の環境負荷低減を狙い、導入障壁を下げるために、多様な洗浄方式を開発した。図8に実用化した装置の設置床面積と洗浄時間について、導入時系列にまとめた。#1～#3と示した導入初期の装置では、設置床面積と洗浄時間でトレードオフが存在しており、レイアウトと生産数を考慮して調整する必要があった。これに対し、#4以降の装置では、3.1節と3.2節に示した洗浄方式を導入して小型化と高速化を両立させた。

4. むすび

地球規模で環境破壊に対する危機感が高まる中、工業分野でも生産効率のみならず、地球環境との調和を考える時代が到来している。マイクロバブル洗浄技術は、洗浄工程で排出されるVOCや洗浄廃液の排出量を削減可能な低環境負荷の洗浄技術として期待される。

本稿では、生産タクトや設備の設置面積、被洗浄物の形状に応じて洗浄方式を多様化することで適用工程の拡大を狙ったマイクロバブル洗浄技術の展開について述べた。今後も、更なる適用拡大に向けた活動を継続する予定である。

参考文献

- (1) 経済産業省 環境指導室：VOC排出の現状と課題
http://www.meti.go.jp/policy/voc/downloads/VOCgenjou_kadai.pdf
- (2) 宮本 誠, ほか：マイクロバブルによる低環境負荷・低コスト洗浄技術, 三菱電機技報, 81, No.6, 425～428 (2007)