

水資源のサステナビリティを支える 高度浄化技術

古川誠司* 尾台佳明***
安永 望* 宮下章志†
和田 昇**

Advanced Purification Technologies for Water-resources Sustainability

Seiji Furukawa, Nozomu Yasunaga, Noboru Wada, Yoshiaki Odai, Shoji Miyashita

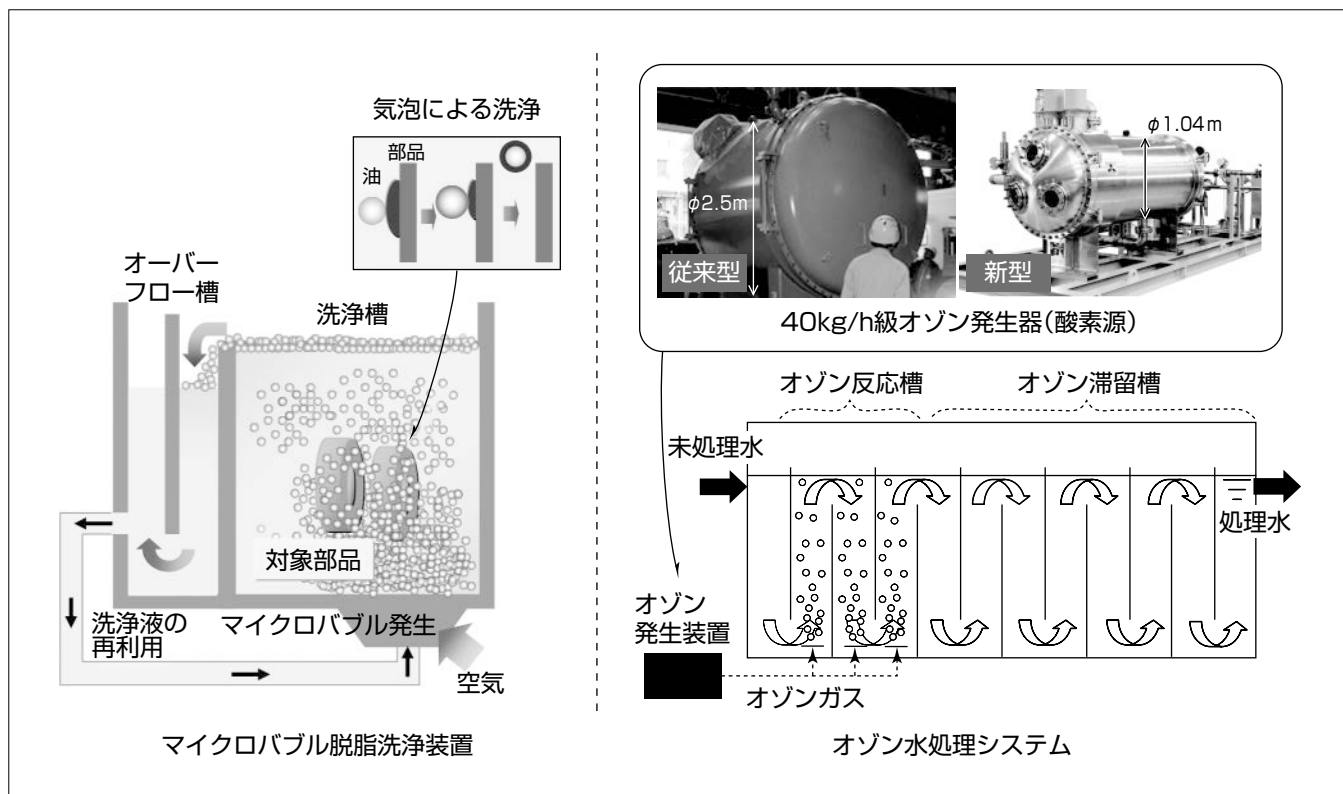
要 旨

水資源の確保は、今や地球規模の喫緊の課題である。三菱電機では、工場で使用する水の量又は廃水の環境負荷を削減する技術や、人々の生活に欠かせない“安全でおいしい水”を生み出す水処理システム等、様々な角度から水に関する技術開発を進めている。

マイクロバブル洗浄技術は、気泡の界面が疎水性や両親媒性物質を吸着する性質に注目した画期的な脱脂洗浄技術である。マイクロバブル、すなわち直径が100 μm 以下の微小な気泡を高密度に生成することによって、巨大な気液界面積を確保し、部品表面の油分を除去する。アルカリ系や炭化水素系の脱脂洗浄剤は、全く用いない。また油分を洗浄液中に分散させることなく水面で浮上分離するので、洗浄液を繰り返し使用できる。当社工場ではこの装置の導入を順次進めており、全社の環境負荷低減に大きく貢献して

いる。

一方、オゾン水処理技術は、酸素原子3個から構成されるオゾン(O₃)の強い酸化力を利用し、水中の汚濁物質を分解除去する技術である。オゾン自身は反応後に酸素に戻るため、人体や環境に悪影響を及ぼさない。当社は1968年にオゾン発生装置の販売を開始して以来、これまでに1700台以上の納入実績があり、国内上下水処理分野でトップシェアを維持してきた。一般的に工業用オゾン発生装置では、無声放電を用いて酸素からオゾン进行合成するが、当社は放電方式に独自の改良を加えて、高効率にオゾン进行発生させる技術を確立した。現在もその技術は進化を続けており、新型の酸素源オゾン発生装置は、当社従来比で消費電力10%削減と容積1/7という小型化を実現した。



マイクロバブル脱脂洗浄装置とオゾン水処理システム

マイクロバブル脱脂洗浄装置は、洗浄槽内に気泡融合防止剤を添加することによって高密度のマイクロバブルを生成し、部品表面上の油分を吸着除去する。アルカリ系や炭化水素系の洗浄剤を用いないので、環境負荷の極めて低い画期的な脱脂洗浄装置である。

オゾン水処理システムは、オゾンの持つ強い酸化力を用いて、水中の汚濁物質を分解除去する。オゾン自身は反応後に酸素に戻るため、人体や環境に悪影響を及ぼさない。当社のオゾン発生装置は高効率かつコンパクトという特長を持つ。

1. ま え が き

東日本大震災をきっかけに、エネルギー需給についての議論が活発化しているが、人間生活の根幹を支える水資源の確保も重要な課題の一つである。今後、世界人口の増加とそれに伴う生産活動の発展、生活様式の変化などによって水の需要量は増加し、2025年には現在の約1.4倍になると予測されている⁽¹⁾。また水需給が逼迫(ひっばく)している国々の多くは人口増加率が高く、一人あたりが利用可能な水量は急速に減少している。水不足の危機にさらされながら生活する人の数は、2025年までに30億人を超えるとの予想もある⁽²⁾。

日本全体の水使用量は、一人当たりの水使用量の多い単身世帯が増加しているものの、節水機器普及の効果もあり、近年は微減傾向にある。一方で、日本は海外から大量の食料を輸入している。食料輸入を、その生産に必要な水を輸入していることと等価とみなすと、2005年度に日本に輸入されたいわゆる“バーチャルウォーター”は約800億m³となる⁽³⁾。これは、日本国内の年間水使用量とほぼ同じである。海外での水不足や水質汚濁の問題は、決して日本と無関係ではない。

当社は、工場で使用する水の量又は廃水の環境負荷を削減する技術や、人々の生活に欠かせない“安全でおいしい水”を生み出す水処理システムなど、様々な角度から水に関する技術開発を進めている。

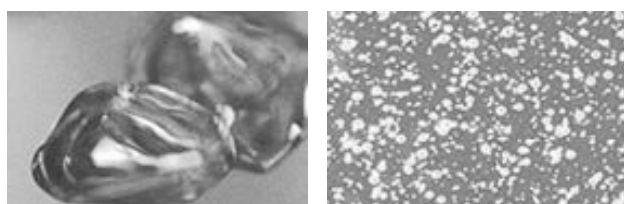
本稿では、その代表例として、マイクロバブル洗浄技術とオゾン水処理技術の概要について述べる。

2. マイクロバブル洗浄技術

2.1 自社工場での部品洗浄への適用

マイクロバブルとは、直径およそ100μm以下の液中気泡のことである。図1に水中への散気で発生させた通常の気泡と、マイクロバブルの写真をそれぞれ示す。通常の気泡は約10mmの直径を持つのに対し、マイクロバブルは数十μm程度で2けた以上小さい。

一方、気泡の界面には、疎水性や両親媒性物質を吸着する性質がある⁽⁴⁾。ただしその吸着力は小さいので、機械部品洗浄などの実用に供するためには、マイクロバブルを高



(a) 通常気泡 (直径約10mm) (b) マイクロバブル (直径100μm以下)

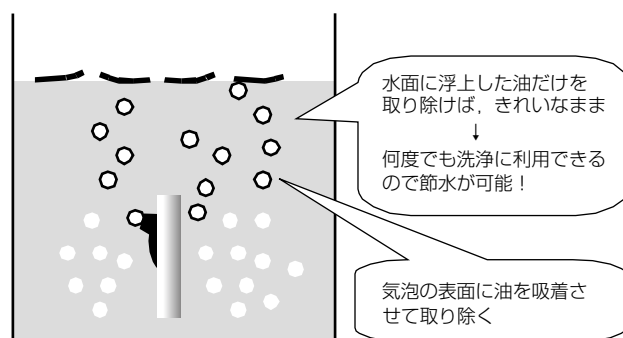
図1. 通常気泡とマイクロバブルとの比較

密度に生成し巨大な気液界面積を確保する必要がある。一般的には、気泡を物理的な力でせん断するなどの方法でマイクロバブルを生成しても、気泡の融合がすみやかに進み、単位体積あたりのマイクロバブルの個数は減少してしまう。そこで当社は、気泡の融合を防止するための独自の添加剤を開発した。

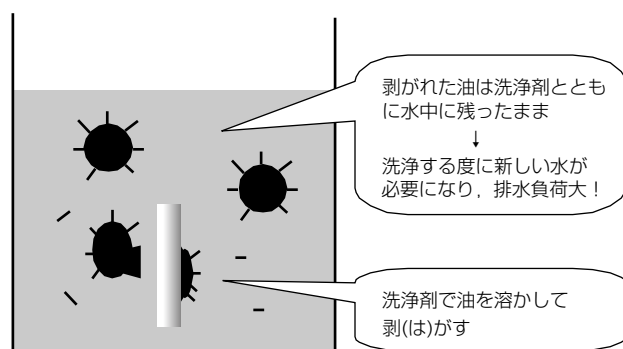
この添加剤(気泡融合防止剤)を用いたマイクロバブル洗浄技術の洗浄原理について述べる。要旨の図に示したように、洗浄槽内に気泡融合防止剤を添加することによって、高密度のマイクロバブルを生成し、部品表面上の油分を吸着除去する。油分は気泡とともに洗浄槽内を浮上し水面に油膜を形成するので、これをオーバーフロー槽でオイルスキマーなどを用いて分離除去する。油膜除去後の洗浄液は清浄度を回復しており、洗浄槽に戻して再利用できる。

この装置では、アルカリ・塩素・炭化水素などを含有する従来の洗浄剤は全く用いない。また、油分を洗浄液中に分散させないので、洗浄液を廃液として処理することなく繰り返し使用できる。独自に開発した気泡融合防止剤は、化学的に安定・安全かつ低コストで、10~100mg/L程度のごくわずかな添加量で気泡融合防止効果を発揮する。図2にマイクロバブル洗浄のポイントをまとめる。

アルカリ系や炭化水素系洗浄剤を用いる際には、気密構造や防爆設備などの特殊設備が必要であり、作業員の健康にも配慮しなければならない。一方、開発した気泡融合防止剤は安全である上に使用量自体が少なく、作業性・安全



(a) マイクロバブル洗浄



(b) 従来の洗浄剤

図2. マイクロバブル洗浄のポイント

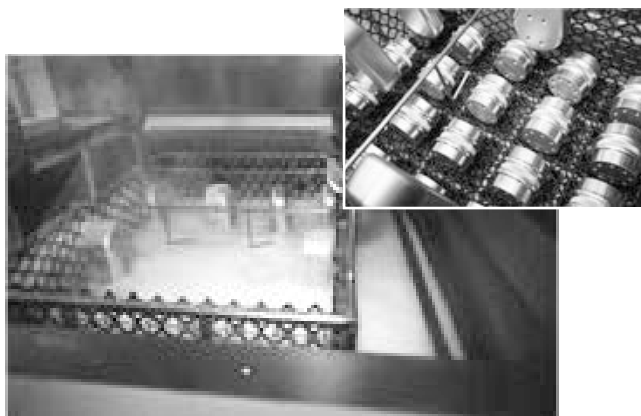


図3. 洗浄槽の様子(左)と洗浄後の部品(右上)

性の面でも極めて有利である。

マイクロバブル脱脂洗浄装置は当社5工場と関連会社1工場に導入されている。例えば、系統変電システム製作所では、めっき工場にマイクロバブル洗浄装置を導入した。図3に洗浄槽の様子と洗浄完了後の部品の写真を示す。めっき処理前の油分除去に、従来は脱脂洗浄剤を使用していたため、洗浄のたびに多くの水を消費していた。マイクロバブル洗浄装置の導入によって、洗浄に必要な水の量を1/10以下にまで減らし、大幅な節水を実現した。また定期的な洗浄液の入替え、すなわち廃液発生もなくなり、ランニングコストや環境負荷を大きく低減した。

2.2 ヒートポンプ式給湯機への適用⁽⁵⁾

マイクロバブル技術は、当社の自然冷媒CO₂ヒートポンプ給湯機“三菱エコキュート”にも適用されている。

入浴で使うお湯を供給する給湯機と浴槽の間を接続する配管は、最大で延べ30mにもなる。追い焚(だ)き時には浴槽の湯が配管内を循環するので、長期間の使用によって人体由来の皮脂汚れが次第に配管内部に付着・蓄積する。風呂配管の頻繁な洗浄は、エンドユーザーにとっては煩わしい作業である。実際、市場調査結果でも、配管洗浄の手間を省き、清潔なお湯に入りたいというニーズは高かった。

そこで、マイクロバブル技術を活用した“バブルおそうじ機能”を“三菱エコキュート”に導入した。入浴後に浴槽の栓を抜くと、自動的にマイクロバブルを発生させて配管内の洗浄を開始し、付着した皮脂などの汚れを吸着して排水口に運ぶ。“バブルおそうじ”では、気泡融合防止剤は用いないが、図4に示すように、2つのノズルを配管系に設けることで高品質かつ安定な洗浄を実現できた。ユーザーからは“手間をかけずに清潔なバスライフを実現した製品”“洗浄剤を使う手間が省ける”等、好評を得ている。

3. オゾン水処理技術

3.1 オゾン水処理の特長⁽⁶⁾

オゾンは、自然界ではフッ素に次ぐ強い酸化力を持つ。

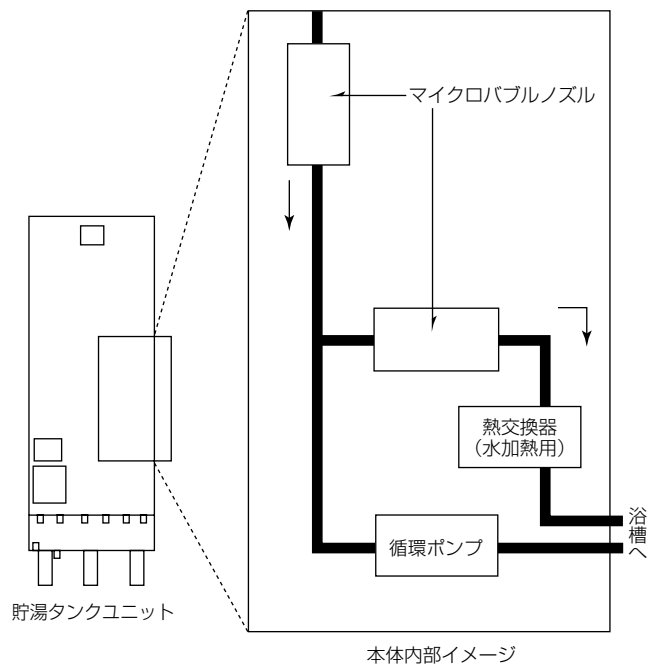


図4. “バブルおそうじ”エコキュートの構成

表1. 下水道処理に対するオゾン処理の効果

用途	除去対象物質等	大腸菌群数	色度	臭気	有機物	発泡性物質	透明度向上
放流	消毒	◎	-	-	-	-	-
	脱色	◎	◎	-	-	-	-
再利用	修景用水	○	◎	○	△	△	○
	親水用水	◎	◎	◎	△	○	○
	トイレ用水	○	◎	○	△	○	○

◎ 主目的項目, ○ 副次的効果を期待する項目
△ プラスアルファとしての効果を期待する項目
- 処理目的として考慮はしないが、処理効果は期待できる

しかもオゾン自身は反応後に酸素に戻るため、人体や環境に悪影響を及ぼさない。現在、様々な分野でオゾンの利用が進みつつあるが、中でも水処理はオゾンの優れた性質を活用した最も好適な用途の一つと言える。

例えば、河川や湖沼などの水源から水道水を作る処理、いわゆる浄水処理では、脱色、異臭味除去、トリハロメタンに代表される有機塩素化合物の低減などを主たる目的としてオゾン処理が導入されている。また消毒剤として注入される塩素では対応できないジアルデリアやクリプトスポリディウム等の病原性原虫に対しても、優れた不活化効果を発揮する。

一方、下 wastewater 処理の分野では、放流先での水環境保全や処理水の再利用促進を目的としてオゾン水処理が導入されている。表1に示すように、塩素や紫外線などの処理法と比較して、消毒だけでなく、脱色、脱臭などの複合効果を得られる点が特長である。また、下水中に含まれる内分泌攪乱(かくらん)物質、いわゆる環境ホルモンの除去も可能である。

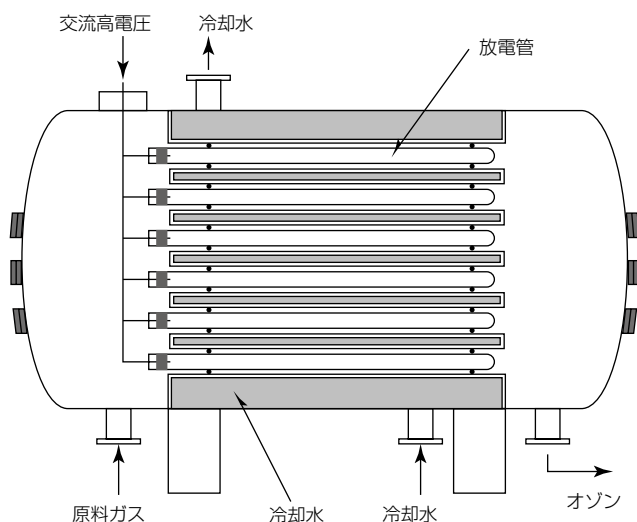


図5. オゾン発生装置の構造

また、当社では、オゾンと過酸化水素(又は紫外線)から非常に強い酸化力を持つヒドロキシルラジカルを生成し、水中の難分解性有機物を分解する技術⁽⁷⁾⁽⁸⁾、下水汚泥をオゾンとアルカリで可溶化し、リンを回収しつつ嫌気性消化プロセスでのメタンガス発生量を高める技術⁽⁹⁾等、さらに高度な用途についての研究実績もある。

3.2 当社のオゾン発生装置の特長⁽¹⁰⁾

工業用オゾン発生装置では、無声放電方式が最もよく用いられている。これは、ガラスなどの絶縁物を挿入した電極間に交流高電圧を印加し、空間的に均一な放電を得る方式である。この放電空間に原料である酸素又は空気を供給することによってオゾンが生成される。

オゾン発生装置は、図5に示すように、接地電極となる金属管の中に均一なギャップを維持した状態でガラス管を挿入した放電管をタンク内に多数収納した構造となっている。大容量機の場合、放電管は1,000本以上となる。

当社のオゾン発生装置の特長の一つは、放電管の細径化である。酸素源オゾン発生装置については、放電管径を当社従来比で約1/4とした。これによって放電管の実装本数が増え、電極の総表面積を4倍にすることができた。すなわち同一タンク径の場合はオゾン発生量が4倍となり、同一発生量の場合は、タンク断面積が1/4となった。

もう一つの特長は、金属管とガラス管の短ギャップ化である。オゾンの分解には低エネルギー電子が、オゾンの生成には高エネルギー電子が支配的であることがわかっている。電子のエネルギー分布は放電空間の電界強度と相関があり、電界強度を上げると電子エネルギー分布は高い方に遷移する。電界強度を上げるのに最も有効な方法が短ギャップ化である。

当社では、高精度の電極製造技術、高精度ギャップ保持技術等を開発することで、従来比1/5以下の短ギャップ化を実現した。その結果、オゾンを分解する電子に対してオ

ゾンを生成する電子が相対的に増加し、オゾン発生装置として業界最高レベルの240g/m³(N)の高濃度オゾンの発生が可能となった。また、発生量40kg/h級の酸素源オゾン発生装置では、従来比で消費電力10%削減と容積1/7という小型化を実現した。空気源オゾン発生装置についても同様の改良によって、容積1/5化、消費電力量15%低減を達成している。

3.3 当社オゾン事業の海外展開

当社のオゾン発生装置は、コンパクト、低消費電力、高信頼という特長を生かし、水環境悪化や水不足で困っている北米・中国で事業を展開中である。上水処理システムにオゾンを用いることで安全な飲料水の提供を行い、また下水処理システムにオゾンを用いることで下水の再利用に貢献している。

4. む す び

水資源のサステナビリティ(持続性)向上に貢献する当社の代表的な技術として、マイクロバブル洗浄技術とオゾン水処理技術について述べた。今後はこれらの高度化と適用範囲拡大に注力するとともに、新しい環境技術の開発にも挑戦したい。快適で安全な社会づくりと環境保全のために技術を磨き、その技術を役立てていくことは、研究開発に携わる者の重要な責務であると考えている。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省 土地・水資源局 水資源部 水資源計画課：平成22年版 日本の水資源 (2010)
- (2) 国連開発計画：人間開発報告書2006年版 (2006)
- (3) 環境省：実は身近な世界の水問題 (2008)
http://www.env.go.jp/water/virtual_water/
- (4) 上山智嗣, ほか：マイクロバブルの世界, 工業調査会 (2006)
- (5) 松田謙治, ほか：自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯機の最新技術動向, 冷凍, **86**, No.999, 19~22 (2011)
- (6) 安永 望：生活・産業でのオゾンの利用例, 化学と教育, **59**, No. 2, 82~85 (2011)
- (7) 古川誠司, ほか：高効率O₃/UV処理による難分解性排水処理, 三菱電機技報, **77**, No. 5, 339~342 (2003)
- (8) 安永 望, ほか：沈澱水を用いた促進酸化処理に関する検討, 第60回全国水道研究発表会講演集, 158~159 (2009)
- (9) 古川誠司, ほか：下水汚泥からのエネルギー・リン回収システムの開発, 科学と工業, **79**, No.10, 473~477 (2005)
- (10) 尾台佳明, ほか：高効率・省スペース型オゾン発生装置：三菱電機技報, **85**, No.10, 583~586 (2011)