

超微細気泡高濃度オゾン水を活用した食品製造分野向け洗浄システムの開発

Utilization of Fine-Bubble High-Concentration Ozonated Water for Food Factory

環境システム事業本部 技術本部 設計部

研究開発本部 松戸研究所 空調・プラントシステム部

研究開発本部 松戸研究所 空調・プラントシステム部

百瀬 治男 Haruo Momose

末松 孝章 Takaaki Suematsu

佐久間 正芳 Masayoshi Sakuma

堅調な伸びが期待できる食品製造分野の設備市場をターゲットに、超微細気泡高濃度オゾン水を活用した飲料工場向け配管定置洗浄(CIP)システムを開発した。高濃度オゾン水の生成に微細気泡混合方式を採用し、貯留タンクと循環生成することによって、60ppmの高濃度オゾン水を大量に貯留することができた。このオゾン水を洗浄液とする飲料製造ラインのCIPシステムを構築し、検証実験を行った。その結果、従来の薬液のみの洗浄に比べて配管洗浄時間がほぼ半減できることを確認した。本開発システムにより、飲料工場の生産時間拡大、および薬液・リンス水の使用量削減に貢献できる。また、高濃度オゾン水の強力な酸化作用、殺菌効果、低薬液残留性などのメリットを生かした、脱臭システム、固形物洗浄殺菌システムなども開発しており、さらに幅広い用途への展開もめざしていく。

1. はじめに

食品製造分野では、世界的な人口増加や所得水準の向上によって、今後10年間で倍増近い市場の拡大が見込まれる。そして、売上額に対して4%程度を占める食品関連企業の設備投資も同様の伸びが期待できる。

当社では、このような食品製造分野に対して、建築を含めた工場一括受注の取り組みを行うとともに、設備投資比率の高い飲料分野に対するCIP(Cleaning In Place, 配管の定置洗浄)システム¹⁾などのキー技術の開発を進めている。

飲料工場の製造ラインは、原料をタンクに投入し混合する調合工程、製品を加熱殺菌する殺菌工程、容器に充

填する充填工程で構成され、さらに、付帯設備として製造ライン内を洗浄するCIPラインが設置されている(図1参照)。

生産ラインの稼働スケジュールでは製造とCIPが交互に行われ、多品種製造ラインでは製造品種切り替えごとに頻りにCIPを実施するため、CIPの所要時間を短縮し実生産稼働率を高めることが重要な課題となっている。

そこで、このようなCIP工程を効率化して工場の生産性向上に寄与する新たな洗浄技術として、超微細気泡オゾン水を利用したCIPシステムを開発した。また、その超微細気泡オゾン水技術を応用し、殺菌洗浄、工場排気脱臭など、食品工場の幅広い用途への展開を図っている。

2. 超微細気泡高濃度オゾン水利用CIPシステムの開発

現行の一般的なCIPでは、苛性ソーダ系アルカリ洗剤、硝酸系酸洗剤、次亜塩素酸ナトリウムを用いて、有機物や無機物の除去、殺菌、除香が行われている。しかし、洗浄に時間を要することや、薬液やリンス水を大量に使用するという課題がある。

一方、オゾン²⁾は、古くから殺菌や脱臭剤に使われており、酸化力が高いため有機物の除去などに有効と考えられる。また、オゾンは、米国食品医薬品局において食品添加剤として認可されており、自己分解により残留しにくい³⁾ため、使用後のリンス水の削減も期待できる。

しかし、オゾンは水への溶解度があまり高くないことと自己分解性の負の側面から、洗浄用液に適する高濃度オゾン水の生成や大量の貯留(長時間の濃度保持)が難しく、CIPのように長い配管の洗浄には利用しにくいという問題があった。今回、このような短所を克服した新しいオゾン

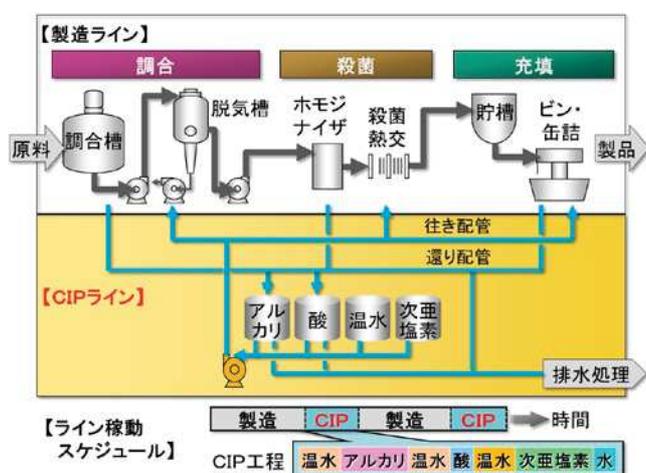


図1 飲料工場の概要

飲料工場は、製造ライン(調合、殺菌、充填)、および製造ライン内部を洗浄するCIPラインで構成され、製造品種切り替え時にはCIP洗浄工程が実施される。

水生成方式を検討し、それを用いたCIPシステムの開発に取り組んだ。

2.1 オゾン水生成方式の検討

オゾン水の生成方式には、膜溶解方式、直接電解方式、および種々の気液混合溶解方式がある。この気液混合溶解方式の中で、近年注目されている微細気泡(マイクロバブル, ナノバブル)^{2), 3)}を利用した方式において、各種文献や各社の技術資料調査により、高濃度化、貯留性能の可能性が示唆されている(表1)。これらの中で当社は、薬剤等を無添加の状態、かつ大気圧下でオゾン水生成濃度が5ppm以下となる装置が多い中、最も高濃度(60ppm)に生成できることが確認できている、ネイチャーズ株式会社のナノピコオゾン水生成装置⁴⁾を採用して検討を行った。

気泡を用いた方式でも、泡径がミリメートル級の場合には、気泡がすぐに浮上して気液接触が十分に行われないうえに高濃度化は困難である。気泡径が50μm以下程度のマイクロバブルになると、浮上速度が小さく、気液接触面積比も大きくなる。また、表面張力による泡の収縮作用によって泡内のガス溶解が促進されるとともに、生成条件によっては数百nm以下のナノバブルとして長期間水中で持続できることも報告されている³⁾。

生成されたオゾン水の外観も表1に示した。ミリバブルは一般的に見られる白濁の泡であり、マイクロバブル(図示せず)ではよりきめ細かな乳白色になるが、ナノバブル以下まで微細になると泡による光の散乱がほとんど無く、外観は透明に見える。このようなナノバブルの状態は、動的散乱法などによって計測可能である。

表1 オゾン水生成方式の比較

微細気泡を利用した気液混合方式は高濃度オゾン水生成に有効と考えられる。

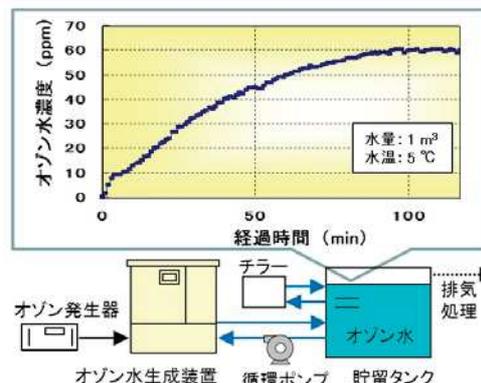
生成方法	膜溶解方式	散気方式	微細気泡方式
概略図			
カテゴリー			
バブル径	—	数百μm～数mm (ミリバブル)	50μm以下, 数百nm以下 (マイクロバブル), (ナノバブル)
O ₃ 濃度	1～40ppm	—	1～60ppm
貯留性能	なし	なし	あり
オゾン水の外観	—		

2.2 高濃度オゾン水の大量生成

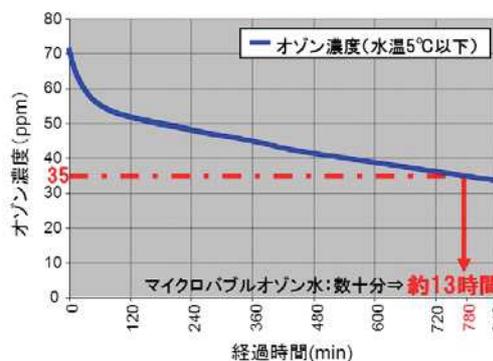
超微細気泡オゾン水生成装置は、オゾン発生器、オゾンガスをエジェクタなどによって水に混合させるオゾン水生成装置本体、オゾン水を貯留・循環するステンレス製の貯留タンク、水温の調節機構(チラー)などから成る。この貯留タンクに水を注入し、水温を約5℃に制御してオゾン水を循環生成すると、タンク内のオゾン水濃度が徐々に増大していき、約1時間半で60ppmのオゾン水を1m³生成できた(図2(1)参照)。

貯留タンク内のオゾン水濃度は水温が低いほど高濃度になる。これは、オゾンの溶解度や分解反応の面で、低温条件の方が高濃度化に有利になるためと考えられる。5℃に保ったタンク内のオゾン水は濃度半減期が約13時間で、高濃度の状態で長時間の貯留が可能で、通常の洗浄に要する時間(1時間以内)よりも長く保てることを確認した(図2(2)参照)。

このように、高濃度のオゾン水を大量に生成・貯留でき、必要な時にユースポイントへ送水し洗浄できる見通しを得た。



(1) オゾン水生成能力(水温5℃でのオゾン水濃度上昇曲線)



(2) 貯留タンク内濃度半減期(水温5℃で濃度が半分になる時間)

図2 超微細気泡オゾン水装置の基本性能
水温5℃, 生成時間1時間半で、60ppmの高濃度オゾン水を1m³貯留できた。

2.3 洗浄性能の検証

超微細気泡オゾン水によるCIPの洗浄効果を検証するために、**図3**に示す模擬洗浄ラインと試験片による評価を行った。模擬装置は、1Sサニタリー配管(SUS316、表面仕上げ400#)の洗浄液循環ラインで、循環ライン途中に透明配管を設置し、内部にモデル汚れの試験片を設置した。モデル汚れには製造される飲料の一つであるカルシウム化合物を添加したミルク入りコーヒーを用いて、SUS316製試験片上に加熱乾燥して固着させた状態で使用した。洗浄効果は、模擬ラインに一定時間洗浄液を通水したあと、試験片の残存汚れの状態を目視確認することによって評価した。

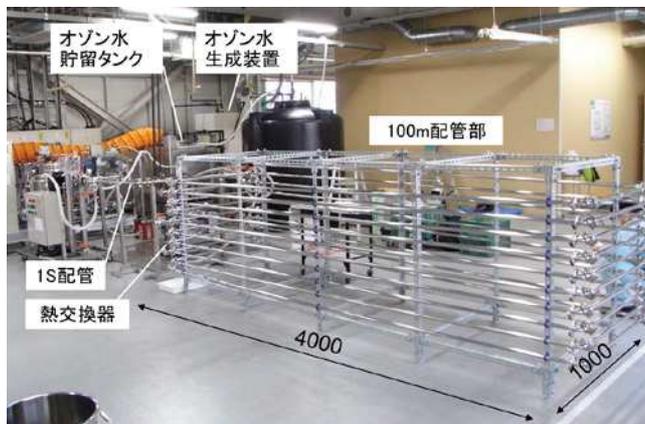
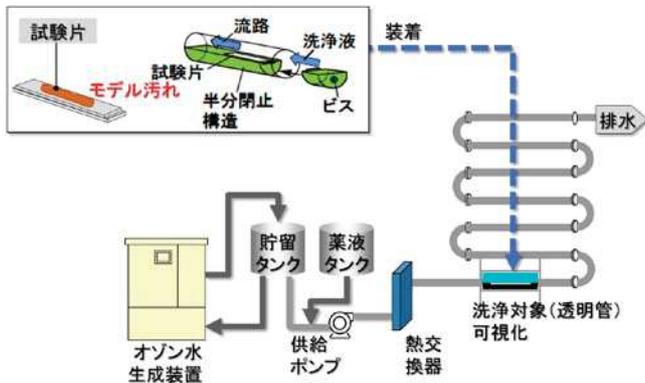


図3 洗浄性能評価装置(模擬ラインの構成および外観)
100mの模擬ラインに、超微細気泡オゾン水および従来の薬液を通水し、試験片上のモデル汚れの洗浄性能を評価した。

洗浄液として、従来の酸とアルカリ洗浄液(濃度2%の硝酸系洗剤と苛性ソーダ系洗剤)、および今回の濃度60ppmの超微細気泡オゾン水を用い、流速0.5m/sで通水して洗浄を行った実験の結果を**図4**に示す。従来方式のアルカリ洗浄と酸洗浄を行った場合、合計60分の処理時間ではまだ残渣が多く、100分後でも不完全であった。超微細気泡オゾン水を用いた洗浄方法については、種々の条件で最適化検討した結果、まずアルカリ洗浄を従来ど

おり行ったあとにオゾン水洗浄を適用する方式を選択し、オゾン水洗浄を追加した合計48分で完全に汚れが除去できることを確認した。

本開発方式の洗浄メカニズムは、まず表層のタンパク汚れをアルカリの加水分解などで除去したあと、除去しにくい固着タンパクを強い酸化力を持つオゾン水で効果的に分解すると考えている。

洗浄液	【従来方式】 アルカリ+酸	【本開発方式】 アルカリ+オゾン水
実験前		
1分後		
10分後		
20分後		
60分後		
実験後		
平均除去時間	100分以上	48分で完了

図4 モデル汚れの洗浄結果
従来のアルカリ+酸洗浄に対し、アルカリ+超微細気泡オゾン水では洗浄時間を半減できた。

このように本開発方式ではCIP洗浄時間を半減できるため、製造ラインの生産能力アップが図れるとともに、薬剤や水の使用量を削減することができる。これらの総合効果から、当社試算では、高速充填製造ラインで本システムの設備投資回収期間として3年以下の見通しを得ている。また、オゾンを用いると、従来の洗浄に比べて、殺菌、除香効果が高いことも確認しており、製造ラインのより一層の効率化、高信頼化に寄与できると考える。

なお、オゾン水利用の課題として、パッキン類の腐食対策がある。製造ライン中に使用されるゴム系の材料はオゾン水に接することにより劣化することが懸念される。実際、パッキン材料劣化試験として長時間のオゾン水への浸漬試験を実施したところ、浸漬180時間後に、フッ素ゴム、EPDM(エチレンプロピレンゴム)には明らかな劣化が認められた。一方、PTFE(ポリテトラフルオロエチレン)や高級フッ素ゴムに関しては変化が無く、さらに長い360時間浸漬後も劣化は認められなかった。既存の製造ラインでは、EPDMが多く使われているため、本開発システムの適用にあたっては、パッキンを耐オゾン性のある材料に変更することが必要である。

以上のような検証により、飲料工場の生産効率や信頼性向上に貢献するCIP技術として、超微細気泡高濃度オゾン水を活用した本開発方式の有効性を示すことができた。

3. 超微細気泡高濃度オゾン水利用システムの応用展開

オゾンの強力な酸化作用、殺菌作用、低薬剤残留性とといったメリットを活用することで、超微細気泡高濃度オゾン水技術は、CIPのほかにも食品工場のさまざまな用途への応用展開が可能である。

図5は、その一例として、脱臭に適用したシステムである。オゾンは、臭気原因物質である低級脂肪酸、硫黄化合物、アルデヒド類、窒素化合物などを分解できるため、湿式スクラバーへの噴霧水に超微細気泡高濃度オゾン水を適用している。加工室からの臭気を含む排気をダクト経由でスクラバーに導入し、オゾン水を噴霧した接触材を通過させることによって臭気成分の分解を行う。なお、スクラバー排気の未反応オゾン进行处理するために、後段にはオゾン分解用活性炭を設置した。本方式の脱臭性能は、従来の触媒燃焼方式と同等レベルであることを確認しており、イニシャル・ランニングコストの試算から設備投資回収面で有利なシステムであると考えている。食品関連工場ではさまざまな臭気の原因があり、工場近隣に住宅地がある場合には特に臭気対策の強化が必要になるので、このようなシステムの用途拡大も期待できる。

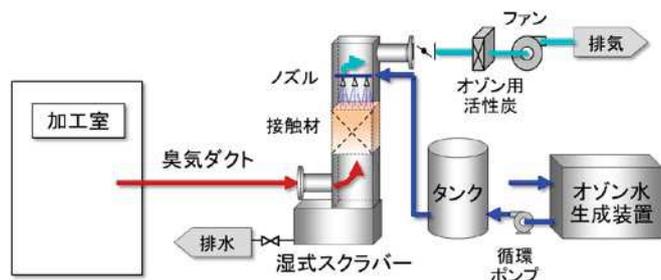


図5 脱臭システムへの応用例
超微細気泡高濃度オゾン水を湿式スクラバーに噴霧することにより脱臭処理を行う。

そのほか、オゾンは細菌の細胞壁を構造的に破壊するため、殺菌用途にも広く活用されている。従来の加熱殺菌に替えて超微細気泡高濃度オゾン水を適用することで、野菜洗浄をはじめとする固形物洗浄殺菌における洗浄時間短縮や加熱処理抑制のメリットが見込める。

なお、高濃度オゾン水の利用に際して、安全面の配慮は欠かせない。作業環境中のオゾンガス許容濃度は、わが国では0.1ppm(暴露限界)と定められている。オゾン水利用システムにおいて、高濃度の気化ガスなどとして作業環境中にオゾンが漏えいするポテンシャルのある箇所に対しては、局所排気などの安全対策を講じておく必要がある。

4. おわりに

今回、食品製造分野向けに、超微細気泡高濃度オゾン水を活用したCIPシステムを開発した。本技術を飲料メーカーへ提案していくとともに、システムのユニット化、標準化による一層のコストダウンを図っていく。また、脱臭、殺菌、排水処理などへの応用展開を進め、本システムをキーテクノロジーとし工場建設を含む食品製造分野での総合的な貢献を図っていく。さらに、食品分野のみならず、化成品、医薬品、バイオといった幅広い分野へ用途拡大をめざしていきたい(図6参照)。



図6 超微細気泡高濃度オゾン水利用技術の用途拡大
超微細気泡高濃度オゾン水の特性を活用した技術により、食品、医薬・バイオ、化成品などの幅広い分野への展開を図る。

参考文献

- 1) 森修一, 末松孝章, 宮本昌明: 気液二相流によるデッドスペース洗浄効果検証, 日本食品工学会第9回年次大会, IC11(2008)
- 2) 大成博文 外: マイクロ・ナノバブル技術による水環境蘇生に関する研究, 平成14年度~平成15年度科学研究補助金研究成果報告書
- 3) 高橋正好: マイクロバブルおよびナノバブルに関する研究, <http://unit.aist.go.jp/emtech-ri/26env-fluid/pdf/takahashi.pdf>
- 4) ネイチャーズ株式会社ホームページ, <http://naturescompany.jp/>

執筆者紹介



百瀬 治男 末松 孝章 佐久間 正芳