

高濃度オゾン水生成システムによる 食品・飲料工場向けソリューション

百瀬 治男
Momose Haruo

能登 一彦
Noto Kazuhiko

秦 和博
Hata Kazuhiro

森 修一
Mori Shuichi

グローバル市場が拡大する食品・飲料分野において、製造工場建設のソリューションをトータルに提供する事業を展開している。このキーコンポーネントとして、強力な酸化力を持つ高濃度オゾン水生成技術を開発し、洗浄・殺菌工程に適用した。飲料工場向けには、生産効率を左右する配管洗浄時間を短縮する効果を確認し、カット野

菜工場向けには、塩素系殺菌剤代替の短時間殺菌処理を検討した。これらのケースでは、高濃度で生成したオゾン水の特性を生かしたシステムにより、製造時間短縮、ユーティリティ削減と製品の安全・安心に寄与する見通しを得ている。さらに幅広い用途へと適用拡大を図っていく。

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年間で倍増に近い市場の拡大が見込まれている。日立グループは、食品・飲料工場向けに、省エネルギー、環境への配慮に加え、年々高まる食の安全・安心に対応するソリューションを提供し、建築を含めた工場一括受注に取り組んできた。特に、当該分野では工場の「Manufacturing」機能を新技術で合理化することが重要であり、今回はそのキーコンポーネントとして、高濃度オゾン水を利用した洗浄・殺菌技術の開発を進めている（図1参照）。

洗浄・殺菌は、食品製造分野において品質・安全を確保するために最も重要な工程の一つであり、多くの場合、多大な時間とエネルギー、水および薬品が使われている。このような状況の中で、高濃度オゾン水技術を導入することによって工場の合理化に貢献したいと考えている。

ここでは、多品種の製造のため効率化が求められる飲料生産ラインのCIP（Cleaning in Place：配管の定置洗浄）¹⁾、および急成長しているカット野菜の殺菌洗浄ライン向けの塩素レス殺菌としての高濃度オゾン水の適用検討事例を紹介する。

2. オゾン水の特長と高濃度オゾン水生成装置

2.1 オゾン水の特長

オゾンは、(1) 強力な酸化力、(2) 空気を原料に電力のみで生成可能、(3) 速やかに安全な酸素に自己分解して食品中に残留しない、といった特長を持つ。このため、食品製造分野では、主に殺菌や脱臭の用途で比較的古くから使われてきた。オゾンは食品衛生法の既存添加物として認められており、米国食品医薬品局においても食品添加剤として認可されている。ガス状のオゾンは人体に有害なため、直接暴露を避けるための手段を構築する必要があるが、水中にオゾンを溶解させたオゾン水は歯科治療に用いられる例など、人体への安全性が比較的高い。さらに、オゾン水は反応性がガス状態より高いため、化学薬品を使用せず、

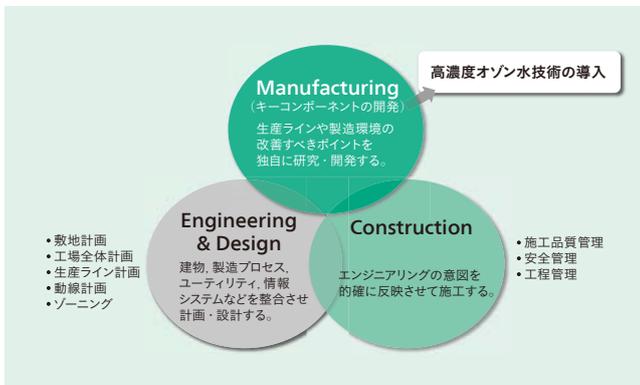


図1 | 食品工場向けのトータルなソリューションと高濃度オゾン水技術の導入

トータルなソリューションのキーコンポーネントとして、強力な酸化力を持つ高濃度オゾン水生成技術を開発している。

かつ製品（食品・飲料）への残留がない安全・安心な洗浄・殺菌方法として適用が進んでいる。しかし、オゾンガスは水への溶解度があまり高くないことからオゾン水から揮発しやすく、管理が必要であると同時に、高濃度生成や貯留が難しく、製造ラインでの取り扱いに課題があった。

2.2 オゾン水生成装置

一般にオゾン水の生成方式には、気液混合溶解方式、膜溶解方式、直接電解方式などがあるが、今回は微細気泡を利用した気液混合溶解と循環を併用した方式を用いて高濃度オゾン水生成システムを開発した。

気液混合溶解方式のオゾン水生成装置の基本的な構成を図2に示す。主な構成要素は、オゾン発生器、オゾンガスを水に混合させる気液混合部（混合ポンプ、気液分離器など）、オゾン水を貯留・循環するタンク、図示しないが水温調節機構（チラー）などである。

オゾン水濃度を制御するパラメータには、混合するオゾンガスの濃度、水温、気液比（オゾンガスと水の混合比）、混合圧力などがある。また、タンクに貯留する際には、オゾンの分解を抑制するための水質管理（pHなど）も重要である。気液混合溶解によって生成されるオゾン水の生成濃度は、基本的にはヘンリーの法則によって決まることになるが、アプリケーションに応じてトータルの効率を考慮したオゾン水生成装置の最適化が重要であると考えている。そのため、オゾン水濃度制御パラメータから生成オゾン水濃度を予測する手法を開発し、高濃度オゾン水生成システム全体で運転の最適化を図っている。

3. 高濃度オゾン水の適用検討事例

3.1 飲料工場配管洗浄(CIP)への適用

飲料工場の製造ラインは、原料をタンクに投入して混合する調合工程、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3参照）。

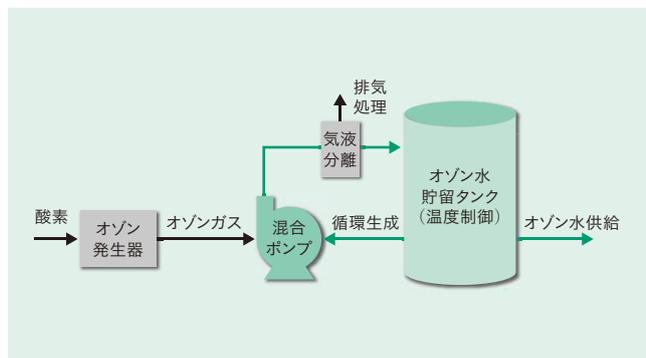


図2 | オゾン水生成装置の基本構成

高濃度オゾンガスを効率的に水と混合させ、循環生成で一層高濃度化する。

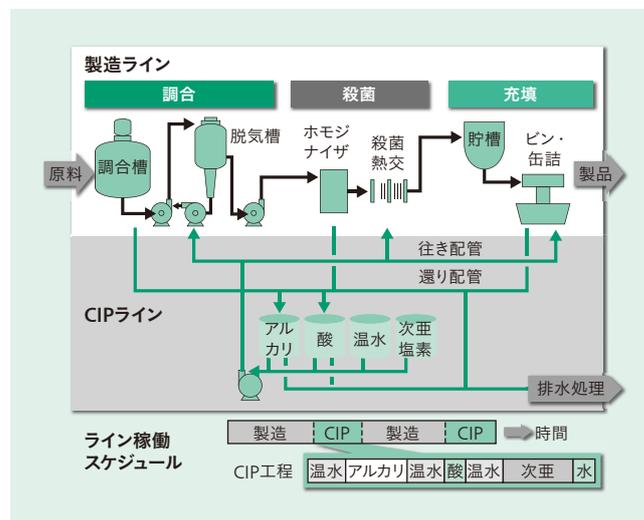


図3 | 飲料工場の概要

飲料工場は、製造ライン（調合、殺菌、充填）と製造ライン内部を洗浄するCIP（Cleaning in Place）ラインで構成され、製造切り替え時にはCIP洗浄が実施される。

製造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CIPを実施するため、CIPの所要時間を短縮して実生産稼働率を高めることが重要な課題となっている。さらに、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（以下、「次亜」と記す。）を用いて、有機物や無機物の除去、殺菌が行われており、洗浄に時間を要することや、高濃度薬液・リンス水を大量に使用するという課題がある。

高濃度オゾン水によるCIPの洗浄効果を検証するために、模擬洗浄ラインと試験片による評価を行った（図4参照）。模擬洗浄ライン途中で透明配管を設置し、内部にモデル汚れの付着した試験片を設置した。洗浄効果は、模擬ラインに一定時間洗浄液を通水した後の試験片残存汚れの状態を評価した。洗浄液には、従来のアルカリ洗浄液（濃度3%の苛性ソーダ系洗剤、80℃）、次亜洗浄液（濃度300 ppm、23℃）、および今回の高濃度オゾン水（50 ppm、30℃）を用い、流速0.5 m/sで通水して洗浄を行った。

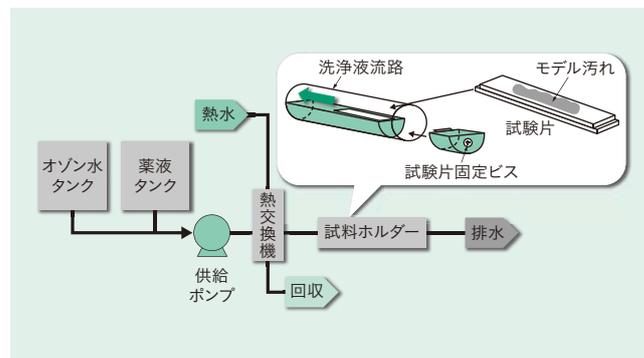


図4 | CIP洗浄効果実験模擬ライン

ステンレス試験片に加熱固着させたモデル汚れの洗浄状態を評価した。

経過時間	従来方式		開発方式	
	高温アルカリ(3%, 80°C) + 次亜(300 ppm, 23°C)		高温アルカリ(3%, 80°C) + オゾン水(50 ppm, 30°C)	
0分	アルカリ処理	汚れた野菜	アルカリ	汚れた野菜
5分	アルカリ処理	汚れた野菜	アルカリ	汚れた野菜
10分	アルカリ処理	汚れた野菜	アルカリ	汚れた野菜
15分	次亜処理	汚れた野菜	オゾン水処理	汚れの残留なし
20分	次亜処理	汚れた野菜	オゾン水処理	汚れた野菜
25分	次亜処理	汚れの残留あり	オゾン水処理	汚れた野菜

図5 洗浄効果の比較

従来方式をオゾン水併用洗浄に置き換えることで洗浄効率を向上できた。

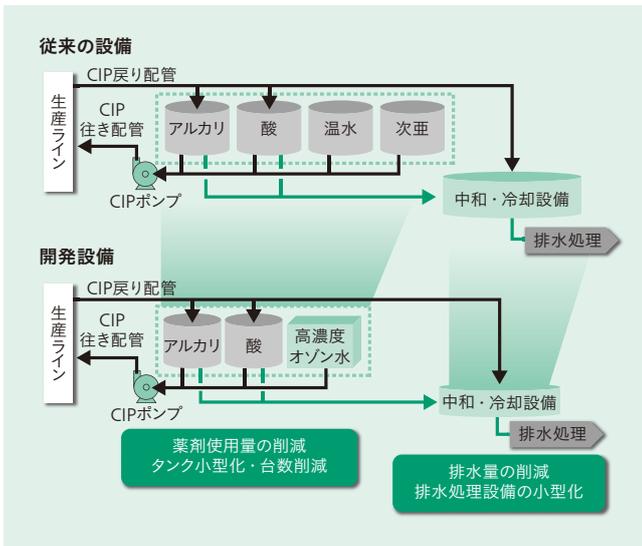


図6 高濃度オゾン水によるCIPの合理化

オゾン水により、薬液・リンス水使用量の削減、洗浄時間の短縮を図ることができる。

実験結果を図5に示す。従来方式のアルカリ洗浄と次亜洗浄を行った場合、合計25分の処理時間ではまだ残渣(さ)が多く、洗浄は不完全であった。高濃度オゾン水を用いた洗浄方法では、まずアルカリ洗浄を5分行った後にオゾン水洗浄を適用することにより、合計15分で完全に汚れが除去できた。このように開発した方式ではCIP洗浄時間を半減できるため、製造ラインの生産能力向上が図れるとともに、薬剤や水の使用量を削減することができる(図6参照)。なお、洗浄性能は汚れの質によって異なるため、製造ラインに応じてCIP洗浄条件を最適化する必要がある。

3.2 カット野菜殺菌への適用

高齢化や共働き家庭の増加などライフスタイルの変化に伴い、カット野菜の需要が増加している。野菜はカットによって付着菌が急速に増殖するため、品質の劣化や食中毒

の防止には殺菌処理が必須である。従来、殺菌工程には次亜が多用されてきたが、独特の塩素臭が残ること、有害な塩素化有機化合物の潜在的な残留リスク、レタスなどでは殺菌後の冷蔵保管中に褐変[※]が起こることなどの課題があった。

オゾン水による野菜殺菌は10年程前から検討されており、一部で導入されている²⁾。しかし、オゾンはその高い酸化力により、付着菌の殺菌効果を持つとともに野菜自体を傷めてしまう場合がある。また、安価な次亜殺菌との競合などから普及には至っていない。

カット野菜製造の代表的な処理フローを図7に示す。カット野菜の品質を保持するために、製造工場では野菜の品温を常に低く保つことが要求される。オゾン水は次亜と異なり、低温でも殺菌効果がある。洗浄中のオゾン消費に対応して、低温の高濃度オゾン水を注入することにより、冷却エネルギーを削減した洗浄システムを実現している。

ここでは、カット野菜の主要品目であり、傷みやすく品質の保持が難しいカットレタスを対象に適用を検討した。殺菌、洗浄、包装・保存方法に種々の改良を加えた結果、オゾン水洗浄にさらに50°C程度の温水によるHS(Heat Shock)処理³⁾を加えた洗浄技術を開発した。

その洗浄効果実験方法と結果を図8に示す。市販のレタスを3~5cm角にカットし、オゾン水で洗浄、殺菌した後、温水を用いてHS処理した。オゾン水濃度は、高濃度オゾン水の希釈によって5ppmに調整した。オゾン水+HS処理法により、褐変がなくハリがよい状態を保ちつつ、次亜とほぼ同等の殺菌効果が得られている。

このほか、開発した洗浄殺菌方法では、殺菌時間が1分程度の短時間であり、すすぎも簡単に済む(1分程度)ことも大きなメリットである。従来の次亜処理が殺菌に5~

※)レタスなどの野菜の切り口や傷が褐色に変化すること。

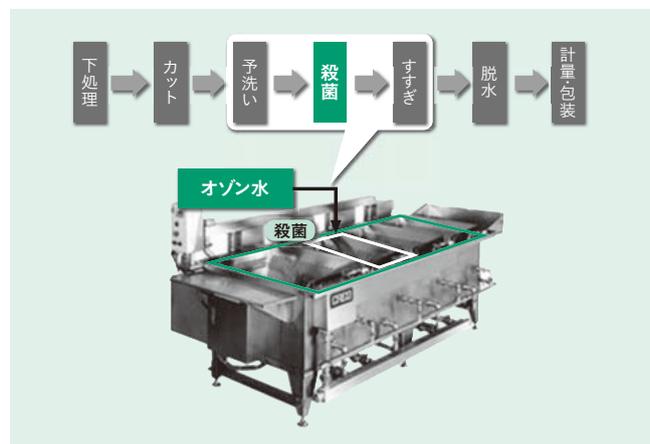


図7 カット野菜製造工程と洗浄殺菌システム

従来の次亜処理をオゾン水処理に替えることにより、洗浄殺菌効率を向上できた。

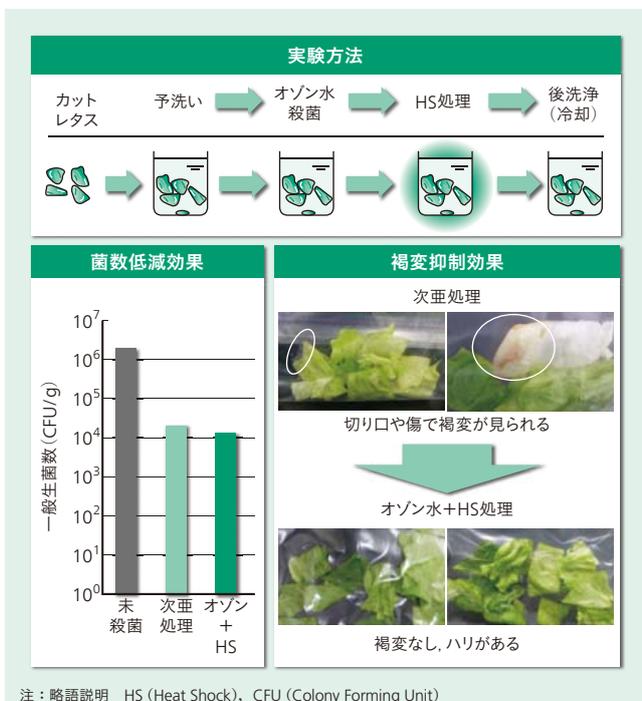


図8 | オゾン水を用いた洗浄殺菌効果実験と結果

従来の次亜処理と同等の菌数低減、および品質改善効果が得られる。

10分、さらに、すすぎに大量の洗浄水と10分程度の時間を要したとと比較し、省エネルギー・省水効果が得られる。ランニングコストは従来の次亜殺菌方法と比較して40%以上低減可能である。さらに、次亜に代わってオゾン水を用いることにより、消費者から求められる野菜のみずみずしさを残せるという官能評価結果もあり、システム全体として新しい価値を提供できるものと考えられる。

4. 高濃度オゾン水技術の展開と課題

高濃度のオゾン水を利用すると、今回紹介した対象以外にも、従来難しかった物質の分解除去や、耐性の強い微生物の殺菌効果なども期待できる。一例として、食品工場特有の排気臭気の脱臭に適用したシステムを開発済みである。オゾンは、臭気原因物質である低級脂肪酸、硫黄化合物、窒素化合物などを分解できるため、湿式スクラバーの噴霧水に高濃度オゾン水を利用している。また、従来殺菌が難しかった溶液中の耐熱性芽胞の殺菌が5°C程度の低温下でも可能である見通しも得ている。さらには、高濃度で集約的に生成したオゾン水をユースポイントに適宜供給するシステムや、利用後に残存する低濃度オゾン水を排水処理や環境殺菌に二次利用するシステムの構築も可能である。

このように、高濃度オゾンは食品・飲料分野で高い洗浄・殺菌のポテンシャルを持つが、一般的な制約条件として、パッキンなどに耐オゾン性の素材を選定する必要がある。また、ガス状オゾンの作業環境中の許容濃度は、日本をはじめとする各国で0.1 ppm (暴露限界) 前後に定められて

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可能性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。日立は、気流シミュレーションをベースに適切な対応策を併せて提案している。

5. おわりに

高濃度オゾン水は、これまで半導体の洗浄分野で利用されてきたが、高純度の酸素ガスと超純水を原料とする高コストなシステムであった。今回、空気と水道水レベルの水を原料に、安価な循環生成方式を採用することによって食品・飲料分野への適用を可能にした。

食品・飲料製造は、食中毒や製品事故による大量回収などのリスクに対応する製造プロセスの高い信頼性が求められる。今後、飲料メーカー、カット野菜メーカーとともに検証をすすめ、開発したシステムをキーテクノロジーとして、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、食品製造分野のみならず、化成品、医薬品、バイオといった幅広い分野への用途拡大を図る予定である。

参考文献

- 1) 森, 外: 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, 1C11 (2008)
- 2) 吉田, 外: オゾン水を使った回転洗浄機によるカット野菜の洗浄, 日本食品工学会第3回年次大会講演要旨集, p. 88 (2004)
- 3) 村田: 酵素的褐変とその制御, 化学と生物, 45, 6, p. 403~410 (2007)

執筆者紹介



百瀬 治男

日立製作所 インフラシステム社 産業プラント・ソリューション事業部
設備エンジニアリング本部 プロセス設計部 所属
現在、食品・化成品プラントの設計、拡販に従事



能登 一彦

日立製作所 インフラシステム社 産業プラント・ソリューション事業部
設備エンジニアリング本部 技術開発部 所属
現在、食品・飲料分野向け洗浄・殺菌システムの開発に従事
技術士(上下水道部門)



秦 和博

日立製作所 インフラシステム社 技術開発本部 松戸開発センタ
空調・プラントシステム部 所属
現在、食品・飲料分野向け洗浄・殺菌システムの開発に従事



森 修一

日立製作所 インフラシステム社 技術開発本部 松戸開発センタ
空調・プラントシステム部 所属
現在、オゾン水利用による野菜殺菌システムの開発に従事