

PET ボトル無菌充てんシステムにおける殺菌技術の研究

Study on Sterilizing Technique for Aseptic PET-Bottling System

技術本部 竹内直和*¹ 白木登*²
 北田卓也*² 竹内靖恵*²
 名古屋機器製作所 山口昇吾*³

PET ボトルの成形、液処理から飲料の無菌充てん、箱詰めまでのフルインライン化と FA 化を図った新しい概念の無菌充てんシステムを開発した。本報では、無菌化の要素技術の一つである PET ボトル及びキャップのオゾン水殺菌法について検討した。オゾン水の噴射及びオゾン水中での超音波照射により、短時間で高殺菌性能を得る条件を見いだした。この結果を反映した PET ボトル及びキャップ殺菌機を開発し、容器 2 l PET ボトル、生産能力 200 ボトル/min の無菌充てんシステムへ適用した。

We have developed a new concept aseptic PET-bottling system. The system features are through production process from injection and blow molding of PET-bottles, beverage processing up until aseptic filling and boxing, and factory automation. This paper describes the sterilization method using ozone in water for the PET-bottles and plastic caps in this system. The conditions of short-time and high performance sterilization were achieved by jetting of the ozone in the water and irradiating ultrasonic waves into the ozone in the water. These features are applicable for an aseptic PET-bottling system with a production capacity of 200 bottles/min for a 2l-PET-bottles, and they have been reflected in the sterilizer used for PET-bottles and plastic caps we developed.

1. はじめに

近年清涼飲料の消費動向は、非炭酸飲料の増加が著しく、取分け国内ではコーヒー、茶、スポーツ飲料、機能性飲料を中心に伸びている。一方、消費者の高品質、安全性指向が年々高まっている。また、飲料業界においてはこのような消費者のニーズ及び国際競争力の面から、安全で高品質、より安価な製品製造を可能とするシステムの開発が望まれている。

これらの背景から、かつて高品質と高付加価値製品の製造を目的としてスタートした無菌充てんシステムにもコスト競争力の必

要性が高まっている。これにこたえるため、容器コスト、製造人件費、ユーティリティコスト等の低減に着眼し、PET ボトル成形、液処理から飲料の無菌充てん、箱詰めまでのフルインライン化と FA 化を図った無菌充てんシステムを開発した。

本報では、本システムにおける無菌化の要素技術の一つであるオゾン水を用いた PET ボトル及びキャップの殺菌技術について述べる。

2. 無菌充てんシステム概要

食品加工においては食品の変敗、変質を防止することが最大の

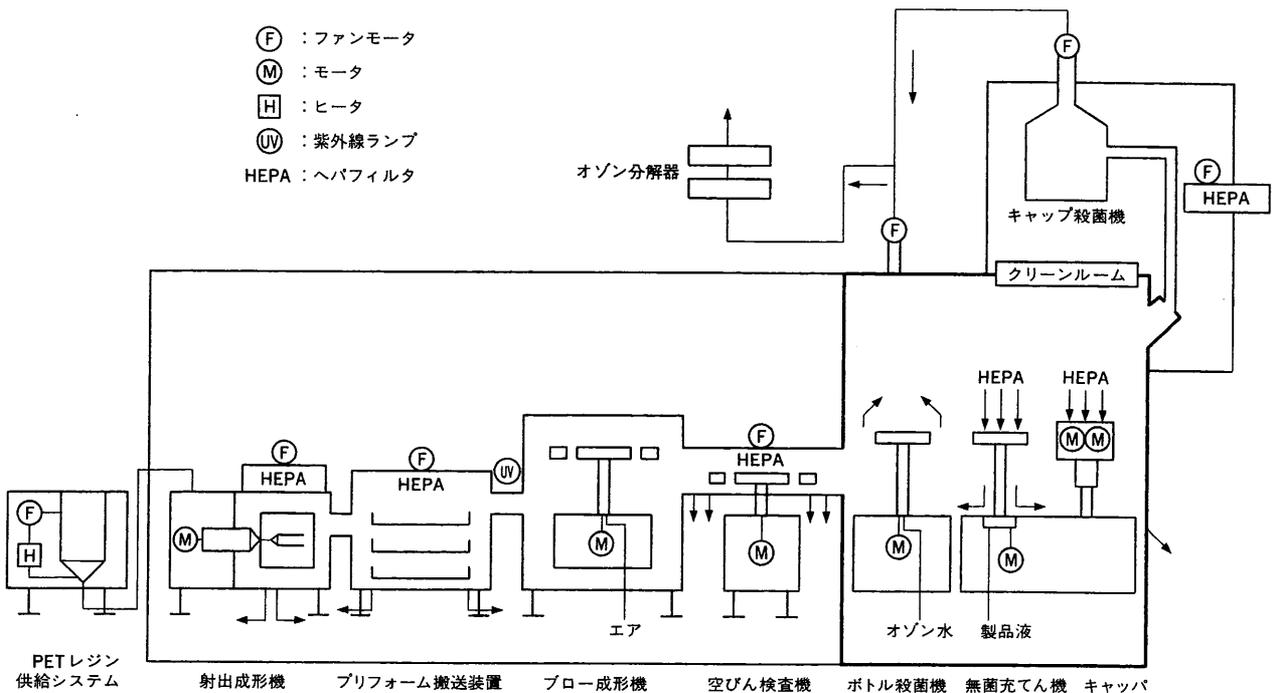


図1 PET ボトル無菌充てんシステムの構成 新しく開発したPET ボトル無菌充てんシステムの構成を示す。
 Assembling of aseptic PET-bottling system

*1 名古屋研究所高分子・化学研究室長
 *2 名古屋研究所高分子・化学研究室
 *3 産機技術部プラント計画課主査

目的である。食品の変敗、変質原因の内、微生物によるものが最も重要である。これを防止するためには、食品自体に存在する微生物はもちろん、容器、充てん装置等に存在する微生物をすべて死滅あるいは除去する殺菌（滅菌）処理、または存在する微生物が発育するのに不都合な状態に加工（乾燥、濃縮等）あるいは増殖に不適当な環境条件に保持（冷蔵、冷凍、真空等）する静菌処理が必要である⁽¹⁾。無菌充てんは、前者の殺菌処理を行い製品の無菌化を図るものであり、食品、包装資材、充てん機械の洗浄、殺菌、充てんなど各工程のシステム化とそのシステムの操作、管理等広範囲な要素技術で成立しているが、その基本は、殺菌した食品を殺菌した容器に無菌雰囲気中で充てん、密栓することに尽きる⁽²⁾。

開発した無菌充てんシステムの構成を図1に示す。本システムの設計概念及び特長の第一は、完全なインラインPETボトル成形である。インライン化により設備スペースの縮小、PETボトル清浄度維持の容易化、菌汚染の低いレベルでの安定化により、無菌維持の簡略化を図っている。

第二は、本報の主題であるオゾン水による殺菌方式の採用である。本殺菌方式については後述するが、その特長は化学薬品、水、蒸気、電気等の消費を最低限に抑え、安全、容易かつ安価である点である。

第三は、高速無菌充てんシステムで、高速化と生産量増加を図り、生産効率の向上をねらいとしている。

第四は、一体型パッキングシステムで、パッキングエリアの縮小、ラインコントロールの容易化、省人化及びコンベヤの簡略化により、高稼働率生産を実現する⁽³⁾。

3. 殺菌法の検討

無菌充てんシステムにおける容器の殺菌法として、過酢酸水溶液を用いる方法が知られているが、殺菌剤が過酢酸と過酸化水素の混合物であり、使用過程で後者が増加し、容器内壁面に吸着して飲料へ移行する危険性があり、また廃液処理を要すること、さらには、殺菌剤を頻繁に交換する必要がある等の欠点がある。このため本システムにおいては、前述したように、殺菌剤の残留性が少なく、安全なオゾン水を利用し、オゾン水中でのオゾン分解時に発生する活性酸素種を活用することにより殺菌効力の活性化を図った殺菌法について検討した。

オゾンは酸素原子3個で構成される分子であり、酸素の同素体である。しかし、酸素とは種々の点で全く異なった性質を有しており、最も特徴的な点は、オゾンが非常に強い酸化作用を持っていることである。

オゾンはふっ素に次いで酸化作用の強い物質であり、細胞膜を酸化し微生物を不活性化する。一般に殺菌剤の効果は、殺菌剤濃度と接触時間に比例する。微生物の99%を不活性化できる濃度・時間積（CT値）で殺菌効力を比較した（表1⁽⁴⁾参照）。この値が小さいほど殺菌効力が強く、オゾンは塩素の数倍から数十倍の効

力があることが分かる。

また、水中のオゾンは、水の温度、pH、溶解有機物の影響を受け、比較的短時間で酸素に分解することが知られている。この特性は、他の殺菌剤と比較して殺菌対象物及び廃液への残留を懸念する必要がない等の利点となる。

4. オゾン水殺菌試験

オゾン水での殺菌データは、一般に低濃度オゾン水を長時間作用させたものがほとんどであり、我々が目的とする高速殺菌のための試験を行った。

4.1 試験方法

供試菌は、一般に殺菌試験の指標菌として使用される耐熱・耐薬品性の高い細菌（*Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*）の芽胞及び耐熱性の高いかびの子嚢（のう）胞子を選定した。

B. subtilis 及び *B. megaterium* の芽胞菌液の調整は、まずトリプトソヤ（SCD）寒天培地にて36℃、7日間培養後、菌体を滅菌精製水で回収し、滅菌ガーゼで濾過する。濾液を遠心分離（4000 rpm）後、滅菌生理食塩水で洗浄し、リゾチムを添加して栄養細胞を溶菌後、1 ml 当りの芽胞数が $10^8 \sim 10^9$ 個となるよう調整した。

また、耐熱性かびの子嚢胞子液の調整は、まず胞子液をポテトデキストロース（PDA）寒天培地にて30℃、30日間培養し、子嚢胞子を形成させ、滅菌生理食塩水に集菌後、滅菌ガーゼで濾過する。濾液に滅菌ガラスビーズを入れ十分振盪（とう）した後、滅菌生理食塩水で洗浄する。次に65℃、15分間加熱処理を行い、耐熱性を持った子嚢胞子のみが1 ml 当り $10^8 \sim 10^9$ 個となるよう調整した。

殺菌試験の供試容器は、2 l PETボトル及びφ28 mmプラスチックキャップを対象とし、供試容器を供試菌で均一に汚染するため、上記各菌の懸濁液に界面活性剤（ノニオン）を濃度0.1%となるよう添加し、ネプライザを使用して容器当りの菌数が 10^6 個になるように噴霧した。

試験装置の外観を図2に示す。本装置は、耐圧タンク内のオゾン

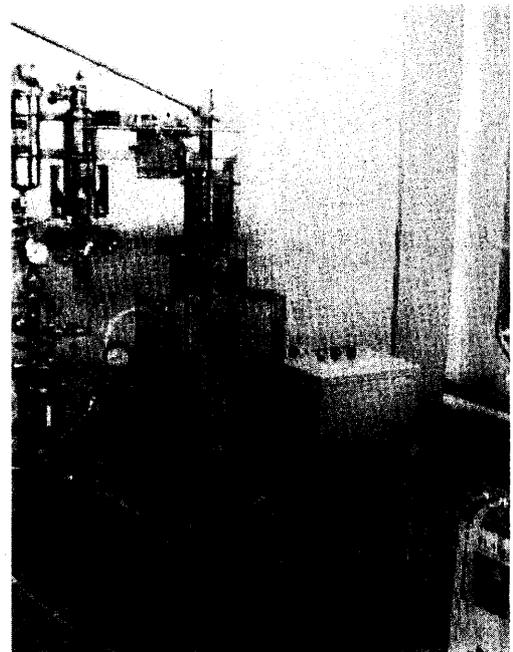


図2 殺菌試験装置の外観
Photograph of experimental apparatus

表1 各種殺菌剤の99%不活性化（CT）値
99% inactivation value (CT value) for microorganism
by disinfectant CT値：min·mg/l

殺菌剤	腸内細菌	ウイルス	細菌芽胞	アモeba
オゾン水	0.01	1	2	10
次亜塩素酸	0.2	5	100	100
次亜塩素酸イオン	20	>200	>1000	1000
モノクロラミン	50	1000	5000	200

ン水及び無菌空気を噴射できる構造になっている。オゾン水の供給量はタンクへの加圧力及び流量調整バルブで調整することができる。装置への供給空気、水、蒸気は粗フィルタ及び精密フィルタで除菌し、配管系はすべて蒸気加熱が可能であり、装置の無菌性が確保されている。また、オゾン水、無菌空気の供給時間・パターンを設定でき、ノズル部のアタッチメントを交換することによりPETボトル及びキャップの両殺菌試験に対応できる。

PETボトル殺菌試験用のノズル部は、ノズルがボトル軸方向に移動する方式とし、ボトル側面、底面全体に噴射できる構造とした。また、キャップ殺菌試験用装置は、上下からのオゾン水噴射が可能な構成とし、キャップ内面の複雑形状部の殺菌性を考慮してオゾン水中での超音波照射も実施した。

殺菌効果の評価法としては、殺菌後のボトル内面及びキャップを滅菌生理食塩水 100 ml で十分洗浄し、洗浄後液をメンブレンフィルタでろ過後、*B. subtilis* 及び *B. megaterium* については、SCD 寒天培地にて 36℃、48 h 培養後、また耐熱性かびについては、PDA 寒天培地にて 30℃、72 h 培養後、菌数を計測した。

殺菌条件の設定に際しては、ボトル及びキャップの形状が複雑であり、また形状の違いにも対応する必要があるため、微生物を模擬した汚れを全表面に塗布した容器を用いて、ノズル形状及びオゾン水噴射条件を予備的に検討した。

4.2 結果と考察

4.2.1 PETボトルの殺菌

図3に示すように、オゾン水が高濃度になるほど生菌数が減少する傾向があり、15 ppm では初発菌数の 1/10⁵ ~ 1/10⁶ にできることが分かった。このときの殺菌条件は、供試菌 *B. subtilis* について、殺菌工程 12 s : すすぎ工程 3.2 s (オゾン濃度 2.5 ppm) である。

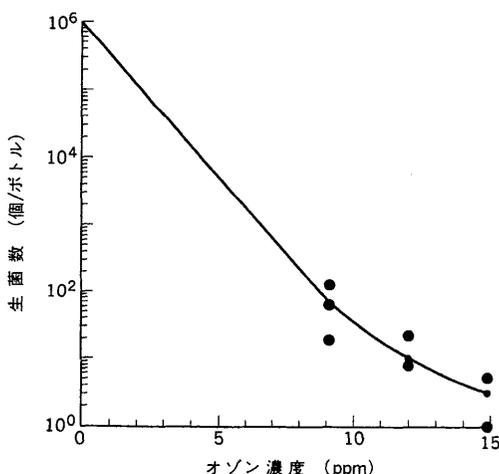


図3 PETボトル殺菌におけるオゾン濃度の影響
噴射オゾン濃度と生菌数の関係を示す。オゾン濃度増加により生菌数は減少する傾向がある。
Effect of ozone concentration for sterilizing PET-bottle

上記結果は、表2に示す静置オゾン水中での殺菌結果と比較すると、オゾン水噴射による殺菌は短時間で効果があることが分かる。この原因を検討するため、オゾン水を噴射した場合のオゾン分解速度を調べ、静置状態での分解速度と比較した。その結果、図4に示すように、噴射によりオゾンの分解が著しく促進されていることが分かる。水中でオゾンが分解するときの素反応において、下式⁽⁶⁾に示すようにヒドロペルオキシラジカル (HO₂·)、ヒ

表2 静置オゾン水中での殺菌効果

Germicidal action in stationary ozone in water

単位: 個 (生菌数)

菌種	オゾン濃度 ppm	1		3		5				10				
		時間 min		時間 min		時間 min		時間 min		時間 min		時間 min		
		1	5	1	5	1	3	5	10	1	3	5	10	20
<i>B. subtilis</i>	15	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	22	10 ³	10 ²	32	8	38	6	4	5	0
	25	10 ⁵	10 ²	10 ²	11	10 ²	36	24	1	23	5	5	5	0
<i>B. megaterium</i>	15	10 ²	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
耐熱性かび	15	10 ³	15	34	8	3	2	0	0	0	0	0	0	—
	25	10 ²	12	12	2	10	4	1	0	0	0	0	0	—

備考: 初発菌数は 10⁶個

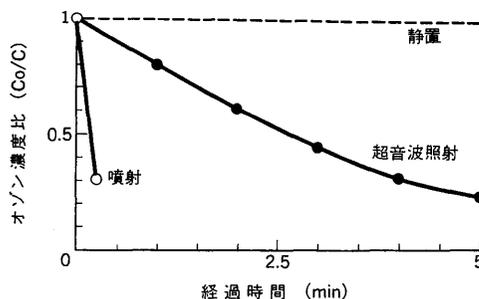
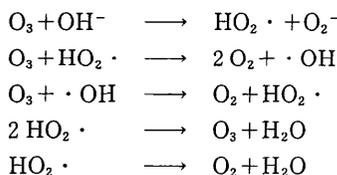


図4 オゾン水分解における噴射及び超音波照射の影響
噴射及び超音波照射時のオゾン水濃度の時間変化を示し、明らかに分解が促進される。
Effect of jetting and irradiation of ultrasonic wave for decomposition of ozone in water

ドロキシラジカル (·OH) 等の活性酸素種が発生する。オゾンの分解により生成したヒドロキシラジカルは反応性 (酸化力) が高く、オゾンより殺菌力が強いと考えられる。



オゾン水の噴射による衝撃により容器壁部でのオゾン分解及びそれに伴う活性酸素種の生成が促進され、殺菌に寄与したため、短時間での殺菌効果が増大したと考えられる。

以上の結果及びこの結果を基に要素試験を重ね、殺菌工程をオゾン水濃度 15 ppm, 15 s 噴射, すすぎ工程をオゾン水濃度 0.5 ppm, 3.5 s 噴射にすることによって、3種の菌において生菌数を初発菌数の 1/10⁶にする殺菌性能を達成した。

4.2.2 キャップの殺菌

キャップは内面形状が複雑であるため、より高度な殺菌が要求される。

表3に *B. megaterium* について、噴射のみの試験結果を示す。噴射 15 s で生菌数は著しく減少しているが、噴射を 30, 60 s と増やしても、その効果は顕著ではない。これはキャップの内面形状の複雑さから、噴射したオゾン水が到達しない影部ができるためと考えられた。したがって図4に示すようにオゾンの分解を促進し活性酸素種による殺菌効果の増大が期待できる超音波照射とオゾン水噴射を併用することとした。

表4に、20 ppm のオゾン水中で 36 s の超音波照射工程とオゾン水 15 ppm, 4 s 噴射を 5 回行う工程を併用したときの試験結果を示

表3 キャップ殺菌におけるオゾン水噴射の効果

Effect of jetting ozone in water for sterilizing cap

噴射時間 (s)	生菌数 (個/キャップ)
15	0,5,1,8,3 (n=5)
30	2,5,3,0,0 (n=5)
60	2,0,1,0,0 (n=5)

備考：供試菌は *B. megaterium*、キャップの初発菌数は 10^6 個/キャップ
n は供試数

表4 キャップ殺菌試験結果

Sterilization effect for cap

菌種	噴射時間(s) ×回数	超音波照射 時間 (s)	生菌数 (個/キャップ)
<i>B. subtilis</i>	4 × 5	36	0,0,0,0,0 (n=5)
<i>B. megaterium</i>			0,0,0,0,0 (n=5)
耐熱性かび			0,0,0,0,0 (n=5)

備考：キャップの初発菌数は 10^6 個/キャップ
n は供試数

す。3種の菌共に生菌数を初発菌数のほぼ $1/10^6$ にする殺菌性能を確認した。

5. 無菌充てんシステムへの適用

本研究結果を殺菌装置の設計に反映させ、無菌充てんシステムへの適用を図った。

開発したボトル殺菌機の断面構造を図5に示す。本装置の特徴の第一は、3工程のオゾン水噴射である。第1工程ではボトル口部とボトル外表面の殺菌、第2工程ではボトル内の殺菌を行い、高濃度のオゾン水をリサイクル使用する。第3工程では2 ppm以下の低濃度のオゾン水によるボトル内外面のすすぎと無菌エアのブローにより容器の残留オゾン水の排水を行う。

第二は、殺菌・洗浄チャンバを密閉構造としたことである。チャンバはクリーンルームに対して負圧を保つ。駆動機械室も密閉構造で、油、じんあいの飛散を防止するとともにCOP、CIP及びSIPが適用可能で、無菌性の維持・管理を容易かつ短時間で可能とする。

第三は、ボトルの搬送をすべてコンベヤレスで行い、容器搬送に伴う気流の乱れによるボトル内への微生物再汚染を防止したことである。

第四は、ボトル内面の殺菌・洗浄に、ボトル内挿入式ジェットノズルを用いたことである。また、メカトロ化によってノーボトル/ノージェットとノズル詰まりを管理できることである。

キャップ殺菌機は、複雑な形状のプラスチックキャップを所定の無菌レベルに確実に殺菌する。供給されるキャップは、キャップホッパーからエア搬送でサイクロンに送られ、キャップセレクトで方向が決められる。このキャップのハンドリングでは、じんあいの発生を最小限にすることと、発生したじんあいの集じん除去

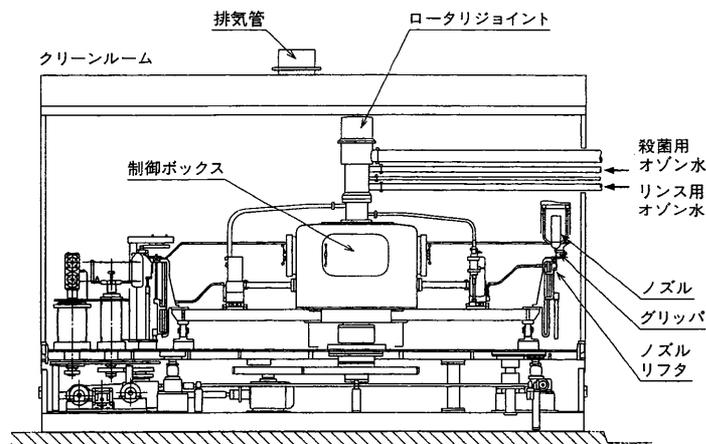


図5 ボトル殺菌機の断面構造
Structure of sterilizer

がポイントである。

キャップの殺菌にもボトル同様オゾン水を使用する。まず、リサイクルしたオゾン水でプレリンスを行い、付着じんあいの除去を行う。次に、オゾン水にキャップを浸漬すると同時に超音波照射する。これにより、複雑な形状のプラスチックキャップの微細な部分のじんあい・汚れを除去すると同時に、オゾン水の殺菌作用を増大させる。殺菌されたキャップは、最後にフレッシュなオゾン水での最終すすぎと無菌エアでの水切りブローをして、キャップシュートで次工程に送る構造となっている⁽³⁾。

6. まとめ

PETボトルの成形、液処理から飲料の無菌充てん、箱詰めまでのフルインライン化とFA化を図った新しい概念の無菌充てんシステムの開発に当り、無菌化の要素技術の一つであるPETボトル及びキャップのオゾン水殺菌について検討し、以下の結果を得た。

- (1) オゾン水の噴射により、活性酸素種による殺菌効果の増大を図り、短時間で高殺菌性能を得る条件を見いだした。
- (2) オゾン水中での超音波照射により、複雑形状物に対する殺菌効果の増大が図れた。
- (3) これらの結果から、容器2 l/PETボトル生産能力200ボトル/minの無菌充てんシステムへ適用可能な殺菌条件を見いだし、殺菌装置を開発した。

参考文献

- (1) 柴崎 勲, 食品殺菌工学, 光琳全書 (1967) p.1~2
- (2) 竹内直和ほか, 食品充てん機における過酸化水素殺菌の研究, 三菱重工技報 Vol.25 No.5 (1988) p.1~4
- (3) 山口昇吾, 無菌充填システムの新技术, Beverage Japan No.169 (1996) p.52~56
- (4) 平田 強, 日本オゾン協会第1回オゾンに関するセミナーテキスト (1991) p.89
- (5) 杉光英俊, オゾンおよび活性酸素, 防菌防黴学会誌 Vol.22 No.4 (1994) p.245~254