

【解説】

食品産業におけるオゾン利用(1)

—食品工場環境のオゾン殺菌効果とその評価(その1)—

内藤茂三

日本医療オゾン研究会会報, Vol.6, No.3, 1-5. (1999)

解説

食品産業におけるオゾンの利用 (1)

— 食品工場環境のオゾン殺菌効果とその評価 (その1) —

愛知県食品工業技術センター 内藤 茂三

1. はじめに

食品工場内空気中の浮遊微生物は、気候因子の他に工場従業員数、物品の種類、移動、屋外空気の流入等によってそこに分布する微生物の数、種類が異なる。そしてこれら空中浮遊微生物は、特に食品工場においては食品、食品原材料、包装容器等を汚染し、食品の腐敗、変敗をもたらす。空気中の微生物は、普通微細な塵埃に付着しているか、小水滴に含まれて存在するか(人間の鼻や口から飛散したもの)、小水滴が空気中で乾燥したものである。塵埃は人間、動物、植物、土壌、食品原材料などに由来し、その大きさが多種多様である。大きくて重い粒子は短時間で地上に落下するが、再び舞い上る可能性もある。空気はいつも流動しているので、 $1\ \mu\text{m}$ ないしそれ以下の微細な粒子は永久に空中にただよっていると考えられる。工場従業者の中に病人がいる場合は患者のせきやくしゃみによって生じた病原菌を含む小水滴が原因となって感染を起こすいわゆる飛沫感染はインフルエンザ、百日咳、麻疹など多くの病原体の伝播にあずかっている。1回のくしゃみに際して約20,000個の小水滴が飛散し、その速度は毎秒約46mといわれる。小水滴の直径は $10\ \mu\text{m}$ から1mm、さらに大きいものもある。1mm程度の大きな滴は空中で蒸発してしまうことなく地上に落ちるが、 $0.1\ \text{mm}$ ぐらいのものになると地上に到達するまでに蒸発してしまい、中に含まれていた菌その他の物質はいわゆるdroplet nucleiとして空中を浮遊する。これは静止空気中では1時間に0.35から0.9mの早さで落下するが、通常は空気の動きがあるためにほとんど無限に空中に留まると考えられる。食品が微生物により腐敗・変敗する原因の90%は工場の床等から揮散する二次汚染菌に由来することが経験的に知られている。食品工業、特に特定の微生物を利用する食品製造工業にとっては、空気中の微生物は品質管理上極めて重要である。製品に有害な微生物を排除し、有用な微生物のみに活動を許すことが必要であるからである。現在、多くの食品工場においては工場の無菌化に転換しつつある。食品工場環境におけるオゾン殺菌効果についてまとめた。

2. 空中浮遊菌

食品添加物の使用基準の強化、低塩化、高水分化により食品保存は極めて困難となり、製造環境の微生物汚染対策が重要となってきている。時には工場の空中浮遊微生物数が食品の保存性を決定することもある。地上表面の細菌が空気中に舞いあがって空中浮遊菌となるという説は、完全には解明されていない。しかし、風が吹いたり、雨が降ったり、人間や動物が走り回ることにより細かい土ほこりとともに空中浮遊菌となることが考えられること、人間や動物が運動することによって、人間や動物由来の細菌が外気に排出されて空気を汚染すること、食品、食品原材料、その他の植物の表面より微生物が揮散することにより空中浮遊菌となることも考えられる。従業員が多い手作業の工場では作業中では空中浮遊菌はブドウ球菌が多く、作業後はブドウ球菌が少なくなる場合が多い。これは従業員が作業することにより、すなわち、工場内の空気が動くことによる床面の塵埃に起因することと、従業員が多数工場内で作業、呼吸することにより、咽頭、鼻腔等に由来するブドウ球菌が空中浮遊菌となり菌量が増加すること、が考えられる。空中浮遊微生物は乾燥、紫外線等の殺菌効果のある条件に耐える微生物のみが生ずる場合が多い。したがって、空中浮遊微生物はカビ、酵母、細菌芽胞の占める割合が多くなる。しかし、湿度の高い工場や多くの従業員が一室で作業している場合は、大腸菌や大腸菌群のような乾燥に弱いグラム陰性菌も検出されている。教室における学生の移動においても同様のことが報告されている¹⁾。地下街や駅のホームなど人口過密場所においては空中浮遊菌が多い²⁾。空中浮遊菌の菌数は従業員の密度、気温、湿度、気流と深い関係がある。空中浮遊菌の多少

は場所、天候により大きく影響をうけ、普通の天候状態では空気の移動の少ない倉庫や原材料保管庫、十分水で洗浄した後の工場、空気の流れの多い工場では少ない。また空中浮遊菌の菌数は一日の間に変動があるので、菌数の変化を測定するためには測定時間を一定にする必要がある。自然界においても空中浮遊菌の変化が著しい。例えば夏期において $5.0 \times 10^2 \sim 6.0 \times 10^2 / m^3$ の空中浮遊細菌が2～3時間の激しい降雨のあとでは $20 \sim 30 / m^3$ に減少するが、湿度の多い天候の時期には雨が降ることにより空中浮遊細菌が増加する³⁾。カビについては、雨が降ることにより初めは空中浮遊菌は減少するが、数日間の長雨が続くことにより増加する。雨水中の微生物は、平均 $3.4 \times 10^3 / L$ であるが、日照り続きの後の初めの雨水は、 $2.0 \times 10^5 / L$ を含んでいる場合もある。風が吹いた後、雪が降った後では、空中浮遊菌は増加する³⁾。今まで竹輪、生菓子、生めん、カステラ、水ようかん、包材加工、餃子の皮、クッキー、漬物、調味料、甘栗、豆腐、削節等工場における落下菌や空中浮遊菌の年間にわたる推移を検討し、食品の腐敗し易い盛夏にはむしろ細菌数は少なく、秋から冬にかけて多くなる傾向があり、温度の低い日には増加し、また湿度の高い日には非常に少ないことを報告してきた。工場内の菌数は人の出入、物品の移動、その他の要因によって変動するが、水ようかん工場、カステラ工場、煮豆工場、総菜工場、削節工場においては作業の開始により、菌数が増加し、また昼食時の全体的な動きにより菌数が多くなった。竹輪、生菓子、生めん、餃子の皮、削節工場の空中浮遊菌を測定した結果、いずれも球菌は夏期(6～9月)、芽胞形成菌は冬期(11～2月)に増加する傾向のあることを認めた。空中浮遊菌による食品汚染を考慮した場合、夏には球菌、秋から冬にかけては芽胞形成菌が問題となる。表1に食品工場の各工程の平均的な空中落下菌数をまとめた。また食品工場の空気清浄の対象場所と清浄度を表2に示した。以上のことから、空中浮遊微生物は工場内の微生物管理状況を把握するための総合的な指針の一つとして従来から測定・監視が行われている。空中浮遊微生物の測定に際しては、落下菌と浮遊菌が対象となっている。わが国では、従来から、室内空気の微生物学的評価はコッホ式落下法による方法が一般的に行われている。

表1. 食品工場の空中浮遊微生物

食品工場	細菌	酵母	糸状菌
焼竹輪	18～98	1～10	1～10
洋生菓子	25～38	12～18	5～7
生中華麺	31～51	2～12	2～9
生めん	80～88		21～28
生めん	12～23	1～3	2～5
半生めん	4～131		0～15
フルーフあつ豆	27～68	8～15	3～6
ストレートスープ	2～28		
ストレートつゆ	10～50	1～4	1～6
包材加工	3～15		2～7
餃子の皮	51～70	2～5	4～8
蒸しケーキ	25～51	3～13	2～10
生切餅	2～6	1～2	1～2
甘栗	10～31	2～8	1～5
豆腐	17～51	1～10	1～2
削節	18～639		5～3876
饅頭	2～32	2～10	2～8
昆布巻	28～41	2～8	1～4

細菌：9 cm 直径シャーレ 5 分間開放

酵母、糸状菌：9 cm 直径シャーレ 20 分間開放

表2. 食品工場の空気清浄の対象場所と清浄度

食品	バイオクリーンゾーンの対象場所	必要級数
和洋生菓子工場		
上用まんじゅう	調理, 冷却, 包装工程	10,000
ショートケーキ	調理仕上げ工程	10,000
プリン	原料混合, カップ充填工程	10,000
ミックスピザ	原料混合, 調理仕上げ, 包装(ガス充填包装)工程	10,000
菓子パン	冷却, 包装工程	100,000
食パン	冷却, スライサー外装工程	100,000
生あん	脱水, 晒し, 充填工程	100,000
かしわもち	調理仕上げ, 冷却工程	100,000
さくらもち	調理仕上げ工程	100,000
くさもち	調理仕上げ, 冷却工程	100,000
さかもと饅頭	調理, 冷却, 包装工程	100,000
カステラ	冷却, 裁断, 包装(ガス充填包装)工程	10,000
バームクーヘン	冷却, 裁断, 包装(ガス充填包装)工程	10,000
生クリーム	原料混合, 充填工程	10,000
生ゼリー	裁断, オブラート包装, 包装工程	10,000
うぐいすもち	調理仕上げ工程	10,000
ぎゅうひ	調理仕上げ工程	10,000
調味食品		
ストレートスープ	原料混合, 小袋充填工程	10,000
ゴマドレッシング	ホモゲナイザー, 充填工程	10,000
ケチャップ	充填, 包装工程	10,000
マヨネーズ	ホモゲナイザー, 充填工程	10,000
ネリゴマ	ホモゲナイザー, 充填工程	10,000
山菜みそ	みそこし機, 原料混合, 小袋充填工程	10,000
農産食品		
包装餅	トリミングおよびカット工程	10,000
煮豆	冷却, 包装工程	10,000
生めん	混合, 複合, 圧延, カット工程	10,000
野菜煮物	蒸煮, 真空冷却, 真空包装工程	10,000
包装豆腐	冷却, 充填工程	10,000
手のべ半生めん	かけば, かどぼし工程	50,000
干めん	乾燥工程	50,000
ギョウザの皮	圧延, 打ち抜き工程	50,000
シュウマイ	冷却, 包装工程	50,000
サラダ	野菜裁断および蒸煮, 冷却, 盛り付け, 包装工程	50,000

日本業学会の基準では5分間の落下細菌数が30CFU以下を清浄空気とし、150CFU許容限界としている。これに準じて食品取り扱い施設においても、その管理指針が記載されている。即ち「弁当、そうざいの衛生規範」を初めとしたいくつかの食品を対象とした衛生規範では施設内の5分間の落下細菌数と20分間の落下真菌数について次のようにすることが望ましいとしている。汚染作業区域：落下細菌数100CFU以下、準清潔作業区域：落下細菌数50CFU以下、清潔作業区域：落下細菌数30CFU以下、清潔作業区域：落下真菌数10CFU以下。しかし、工場がかなり汚染されている場合、即ち汚染作業区域、準清潔作業区域では落下法で測定が可能であるが、清潔作業区域では落下法では測定できない場合がある。このような場合に工場内の空中浮遊微生物を正確に測定するためには、一定容量の空気を採取し、単位容積あたりの菌数を測定する方法がよい。一般に、空中菌のうち細菌数は落下菌数と浮遊菌数との間には相関関係が認められるが、真菌数については必ずしも相関関係は認められていない。このことから考慮すると、総合的に空気管理を行うためには浮遊菌数の測定が重要であると思われる。浮遊菌数の測定法には、衝突法（スリットあるいはピンホールサンプラー）、遠心衝突法（RCSエアースンプラー）、衝突洗浄法（インピンジャー）、濾過法（メンブランフィルター）などがあり、一般的には衝突法あるいは、遠心衝突法が多く用いられている。

3. 食品工場の衛生管理

食品工場で微生物汚染源の中心となっているのは床である。現在、食品工場では床面を清潔に保持することが衛生対策上、重要な役割を果たしている。食品工場の加工、製造工程における床面の寿命は、一般の工業製品製造工場の床面に比較すると短く、その原因は、毎日、加熱作業、食品原材料や水等の飛散により物理的、化学的変化が生じているからである。床面の損傷により有機物が残存し微生物の増殖が促進されるため、大きな問題となっている。また水が常に溜まっているため、工場の湿度が上昇して微生物の増殖しやすい環境となる。このため食品工場をドライシステムとすることが、従業員の労働衛生対策の面からも、食品に対する微生物汚染防止の対策面からも望ましいことである。しかし、食品製造には多くの場合、水を使用した加熱工程があり、側溝等が必要なためドライシステムとすることは困難な課題が多い。そこでウエットシステムの食品工場においてもドライシステムと同様の機能を持つように工夫すべきであり、具体的には工場内の床面及び側溝に水が溜まらないこと、水を流しても短時間に水がはけてしまっ、床面、側溝が乾燥することが必要である。また床面や側溝の殺菌には耐性菌の出現を防止するために残留しない殺菌剤の使用が必要である。長年の次亜塩素酸ナトリウムの使用により床面や側溝から同剤耐性の大腸菌群や乳酸菌が検出されるようになってからオゾンの使用が拡大してきた。これはオゾンは従来の殺菌剤と殺菌機構が全く異なるためである。

床の次に微生物汚染源となっているのが壁面である。そのため側壁を設置すると微生物汚染が防止される場合がある。床面を清掃する場合には、水、湯、水蒸気を使用している場合が多いが、床面を水で洗うと、壁面にも水がかかり微生物が増殖するので洗浄し易い側壁を設置することは意味がある。また側壁には食品原材料が蓄積されないように角度をもった斜面をつけることも大切である。床面、壁面の材質は、耐酸性、耐熱性、不浸透性、摩擦による損傷を防止するのに十分な硬度のあるものを使用している場合が多いが、現在、食品工場の床面の材質の中心となっているのは、一般の製造工場と同じセメントである。セメントは大部分は石灰石と粘土からできており、したがって、材質自体はアルカリ性になっているため、そこに酸性の食品原材料、油脂類が分解されてできた脂肪酸、酸性の工場殺菌剤等が付着した場合には中和反応が起きる。このようにしてできた水溶性の酸類は、空気中の水分、床面に残留する水等により酸性の溶液となる。この酸性溶液により、不溶性の強固な石灰塩となっていたセメントが水に溶けやすい塩類となる。その結果、床面が浸食されて凹凸ができて微生物汚染源となると考えられる。しかし最近では、合成樹脂の発達により、これがセメントを主成分とする床材であるセメントモルタルの替わりに使用されるようになり、その優れた耐食性や物理的特性を生かして、床材として施工するようになってきた。食品工場の床面、壁面の表面仕上げの材質として多くの欠点のあるセメント系の材質を使用せずに、酸や塩基に対しても反応を起こさない安定した合成樹脂等を主成分とする材質を使用することが必要である。しかし現在、中小の多くの食品工場の床面はセメント系が中心である。このため床面の殺菌剤の選択にあたっては床面の材質を考慮して酸性殺菌剤である次亜塩素酸ナトリウム等は差し控えてオゾン等を用いて、殺菌効果と共に微生物の栄養源が付着する原因となる床面の損傷についても配慮する必要がある。

4. オゾンを利用した食品工場環境殺菌

(1) オゾンガスによる殺菌

オゾンガスを殺菌に用いる場合、殺菌力の中心は分子状オゾンそのものではなく、分子状オゾンが分解した時に生じるヒドロキシラジカル等のラジカルであり、その強い酸化力による作用で微生物を殺菌する。このため乾燥した空気での殺菌は極めて困難である。しかし、一部の殺菌効果、脱臭、脱色及び漂白は分子状オゾンによる直接酸化であるので、食品及び食品工場のオゾン処理では、分子状オゾンの役割も重要である。すなわち、オゾンの直接酸化反応は活性酸素原子に由来するのであるが、一般には急速に起こりうるがこれはオゾンが高い酸化還元電位 ($E^0 = 2.07V$) を有するからである。また水に溶けたオゾンの一部は分解してフリーラジカル (OH) を形成し、これが水中に存在する有機及び無機化合物と非常に急激に反応し、これを酸化する。これをオゾンの間接酸化反応という。オゾンガスの殺菌効率に最も影響を与えるのは湿度である。Pichia anomala についてオゾン処理を行った結果を図1に示す。現在オゾンガスを工場殺菌に用いて効果をあげている例を表3に示した。

(2) オゾン水による殺菌

オゾンによる殺菌は化学反応性によるが、水温が上昇するとオゾンの分解が促進し、溶解度が減少してもオゾン消費量が増加して殺菌効果が上昇する。このため連続オゾン注入の場合は溶存オゾン濃度が一定になるためオゾン殺菌効率はオゾン濃度と処理時間の積で示される (CT値)。CT値はオゾン殺菌装置を設計する上では極めて重要な値である。しかしオゾン注入量が一定の場合、即ちオゾン水の場合はオゾンが分解されていくためオゾン濃度が減少し、オゾン濃度が常に一定でないためオゾンと微生物の接触効率に問題があり、オゾン濃度と処理時間の積では示すことはできない。比較的 low 濃度で殺菌することのできるグラム陰性菌は初発オゾン濃度の寄与が大きい。オゾン水を工場殺菌に用いて効果をあげている例を表4に示した。(次回に続く)

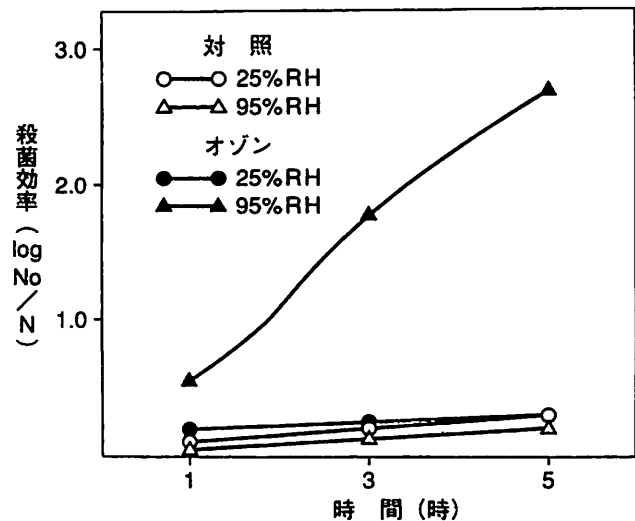


図1 Pichia anomala のオゾン殺菌に及ぼす湿度の影響
処理条件：オゾン濃度4.0ppm、30℃、25%RH、95%RH
No：初発菌数 ($1.2 \sim 2.3 \times 10^7$) N：残存菌数

文献

- 1) 中田秀彦：日衛誌、29, 563 (1975)
- 2) 佐守信男：日衛誌、12, 268 (1957)
- 3) Miquel, R. : The Microbiology of Atmosphere, Leonard Hill, London p. 251 (1951)

今回、内藤茂三先生には「食品産業におけるオゾンの利用」のタイトルで以下に示す内容で6回のシリーズで御執筆頂くことになりました。記してここに謝意を表します。

- (1) 食品工場環境のオゾン殺菌効果とその評価 (その1)
- (2) 食品工場環境のオゾン殺菌効果とその評価 (その2)
- (3) 食品原材料のオゾン殺菌効果
- (4) 食品の変敗防止へのオゾンの利用技術 (その1)
- (5) 食品の変敗防止へのオゾンの利用技術 (その2)
- (6) オゾンの法規制と安全性

表3 食品工場のオゾンガスによる処理

製造食品	オゾン濃度 (ppm)	導入工程	処理時間 (時/日)	効果
生めん	0.1~0.5	全体	5~8	保存性向上
ギョーザ	0.1~0.5	全体	3~5	保存性向上
煮豆	0.3~0.8	冷却、包装	5~7	保存性向上
生菓子	0.05~0.3	全体	5~8	大腸菌死滅
珍味	0.1~0.5	包装	3~5	カビ減少
菓子パン	0.05~0.1	全体	2~6	保存性向上
焼きチクワ	0.05~0.3	冷却、包装	5~8	保存性向上
米飯	0.05~0.5	冷却、包装	3~6	保存性向上
ハム	0.05~0.2	全体	5~9	保存性向上
サラダ	0.05~0.5	包装	3~7	大腸菌死滅
肉	0.03~0.2	全体	6~9	品質向上
水ようかん	0.05~0.3	全体	5~8	保存性向上
みつめ	0.03~0.5	全体	6~12	保存性向上
乳飲料	0.1~0.6	全体	5~9	品質向上
蒸しケーキ	0.1~0.6	冷却	6~12	カビ減少
納豆	0.05~0.3	全体	7~12	乳酸菌減少
豆腐	0.07~0.5	全体	5~8	保存性向上
佃煮	0.1~0.5	冷却	5~8	保存性向上
漬物	0.05~0.5	全体	6~12	品質向上
冷凍食品	0.07~0.3	全体	6~12	大腸菌死滅
削り節	0.05~0.7	全体	5~8	品質向上
乾めん	0.2~1.0	乾燥	5~9	品質向上
五平餅	0.1~0.5	蒸し後冷却	3~5	保存性向上
レストラン	0.05~0.15	厨房	5~8	病原菌死滅

表4 食品工場のオゾン水による処理

製造食品	オゾン水濃度 (ppm)	導入工場	効果
生鮮野菜	0.5~5.0	床洗浄	鮮度保持、大腸菌群減少
生鮮果実	0.5~5.0	床洗浄	鮮度保持、大腸菌群減少
魚介類	1.0~5.0	床洗浄	鮮度保持、微生物減少
納豆	1.0~3.0	床、側溝洗浄	ファージ、乳酸菌減少
豆腐	0.5~3.0	床、機械洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
生めん	1.0~5.0	床、側溝洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
漬物	1.0~3.0	床、側溝洗浄	乳酸菌減少、異臭除去
玉子焼	0.5~2.0	床、機械洗浄	大腸菌群減少
スープ	1.0~3.0	床、側溝洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
水ようかん	1.0~3.0	床、機械洗浄	酵母減少、異臭除去
生あん	1.0~5.0	床、側溝洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
いかの薫製	1.0~3.0	床洗浄	酵母、乳酸菌の減少
ハム	0.5~3.0	側溝洗浄	乳酸菌の減少、異臭除去
肉	0.5~1.0	床、側溝洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
生菓子	0.1~1.0	床洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
竹輪	1.0~5.0	床、側溝洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
水産練製品	1.0~5.0	床、機械洗浄	乳酸菌減少
生切餅	1.0~5.0	床、機械洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少
米飯	1.0~5.0	床、機械洗浄	大腸菌群、乳酸菌減少