

オゾン含有した氷の生成に関する研究

吉村 賢二*1 小山 繁*2 山本 博美*3

A Study on Generation of Ice Containing Ozone

Kenji Yoshimura, Shigeru Koyama, Hiromi Yamamoto

本研究では、オゾン氷製造装置の設計指針を得るために、オゾン含有した氷の生成に関する製氷特性について基礎実験を行い、水中オゾン濃度の時間的減衰に及ぼすオゾン水温度の影響を調べた。次に、所定の濃度のオゾン水を凝固させた場合の水中オゾン濃度に及ぼす冷却温度、氷直径、オゾン水初期温度及びオゾン水圧力の影響を調べた。さらに、生成したオゾン氷中のオゾン濃度の時間的減衰に及ぼす氷直径の影響を調べた。その結果、以下のことが分かった。(1)オゾン水温度が低いほど水中オゾン濃度の減衰は小さい、(2)冷却温度が低いほど、氷直径が小さいほど、またオゾン水圧力が高いほど、水中オゾン濃度が高い。(3)オゾン水初期温度が高いほど水中オゾン濃度が低い。(4)水中オゾン濃度は凝固時間との間に相関関係が成立する。

1 はじめに

近年、病原性大腸菌0157や腸炎ビブリオ等による食中毒が社会問題となり、消費者に安全志向・衛生志向が急激に高まっている。現在、鮮魚、野菜等の生鮮食品の長期保存・遠方輸送においては、鮮度維持を目的にオゾンガス及びオゾン水の利用が広がりつつある。オゾンは強い酸化力により殺菌・脱臭効果が大きく、時間の経過とともに酸素に分解し無害化するため、生鮮食品の安全保存に有効であるが、オゾンは保存(安定貯蔵)が難しい欠点がある。近年、オゾンの保存及び生鮮食品の鮮度維持を目的にオゾンガスを氷中に封じ込めたオゾン氷が注目されている。その理由は、オゾン氷は、オゾンによる殺菌と氷による冷却を同時に行うことができるため、生鮮食品の鮮度維持が可能になることによる。

これまでに、氷水界面における空気泡の発生と捕捉に関する研究は行われている。しかし、凝固に伴うオゾンガスの掃き出し・捕捉現象等のオゾン含有した氷の生成については、まだ研究が少なく、実用化にあたっては基礎となる実証データを蓄積する必要がある。

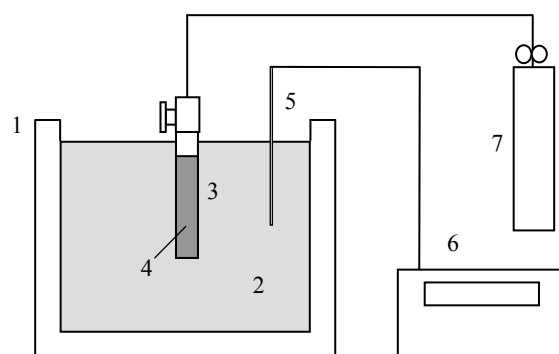
そこで本研究では、まず、水中オゾン濃度の時間的減衰に及ぼすオゾン水温度の影響を調べた。次に、所定の濃度のオゾン水を凝固させた場合の水中オゾン濃度に及ぼす冷却温度、氷直径、オゾン水初期温度及びオゾン水圧力の影響を実験によって調べた。

2 研究, 実験方法

2-1 凝固特性実験

図1は水中オゾン濃度に及ぼす冷却温度、氷直径、オゾン水初期温度、オゾン水圧力の影響を調べるための実験装置で、低温恒温槽(1)、伝熱管(4)及び加圧用酸素ボンベ(7)で構成される。伝熱管は、内径10.0[mm]、外径12.0[mm]と内径27.4[mm]、外径30.0[mm]の2種類の硼珪酸硝子製試験管、及び内径23.0[mm]、肉厚3.5[mm]、長さ155.0[mm]のステンレス製圧力容器で、低温恒温槽内に鉛直に設置した。

凝固実験では、所定の濃度及び温度に設定されたオゾン水を伝熱管内に注入し、その後直ちに、伝熱管を所定の温度に設定された低温恒温槽内のエタノールに浸せきさせて伝熱管内のオゾン水の凝固実験を行った。



- | | |
|----------------------------------|------------------|
| 1 Constant temperature bath | 2 Ethanol |
| 3 Test tube | 4 Ozonized water |
| 5 Mineral insulated thermocouple | 6 Data recorder |
| 7 Oxygen bomb | |

図1 凝固実験装置

*1 機械電子研究所

*2 九州大学先端物質科学研究所

*3 福岡県商工部 新産業・技術振興課

凝固実験条件は、冷却温度 $T_w=-190\sim-20$ [°C]、氷直径 $d_i=10.0$ 及び 27.4 [mm]、オゾン水初期温度 $T_{\ell o}=5\sim 25$ [°C]、オゾン水圧力 $P_{\ell}=0.1\sim 1.1$ [MPa]である。また、製氷前の水中オゾン濃度 $C_{\ell}=10.0$ [g/m³]、氷長さ $\ell_i=65.0$ [mm]に固定した。水中オゾン濃度はヨウ素滴定法で測定した。

3 結果と考察

3-1 凝固特性実験

図2に氷直径 d_i [mm]及びオゾン水初期温度 T_{ℓ} [°C]を変えた場合の水中オゾン濃度 C_i [g/m³]と冷却温度 T_w [°C]の関係を示す。オゾン水圧力 $P_{\ell}=0.1$ [MPa]に固定した。また、氷直径は $d_i=10.0$ 及び 27.4 [mm]、オゾン水初期温度は $T_{\ell o}=5$ 及び 15 [°C]である。図2より、オゾン水初期温度 $T_{\ell o}=5$ 及び 15 [°C]のどちらの場合も、冷却温度 T_w が低いほど、また氷直径 d_i が小さいほど水中オゾン濃度 C_i が高いことが分かる。これは冷却温度 T_w が低く、また氷直径 d_i が小さいほど凝固時間が短くなり、氷中にオゾンガスが多く封入されるためと考えられる。また、オゾン水初期温度 $T_{\ell o}=5$ 及び 15 [°C]のどちらの場合も、氷直径 d_i が小さい場合は冷却温度 T_w の影響が大きいことが分かる。

図3に冷却温度 T_w [°C]及び氷直径 d_i [mm]を変えた場合の水中オゾン濃度 C_i [g/m³]とオゾン水初期温度 $T_{\ell o}$ [°C]の関係を示す。オゾン水圧力 $P_{\ell}=0.1$ [MPa]に固定した。図3より、氷直径 $d_i=10.0$ 及び 27.4 [mm]のどちらの場合も、オゾン水初期温度 $T_{\ell o}$ が高いほど水中オゾン濃度 C_i が低いことが分かる。本実験では、円筒型伝熱管内のオゾン水の冷却開始と同時に、冷却面付近のオゾン水の凝固が始まり、伝熱管の中心に向かって凝固が進む。その際、オゾン水の冷却は、オゾン水の自然対流による熱伝達が主である。従って、オゾン水初期温度 $T_{\ell o}$ が高いほど、オゾン水の冷却開始から全て凝固するまでの時間が長くなり、オゾンの分解が進むため、水中オゾン濃度 C_i は低くなる。

4 まとめ

- (1) 冷却温度が低いほど、また氷直径が小さいほど水中オゾン濃度が高い。
- (2) オゾン水初期温度が高いほど水中オゾン濃度が低い。冷却温度が高く、氷直径が大きい条件ほどオゾン水初期温度の影響は大きくなる。

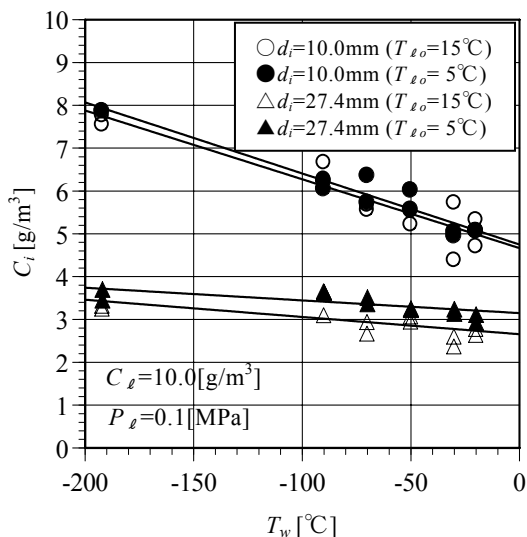


図2 水中オゾン濃度に及ぼす冷却温度の影響

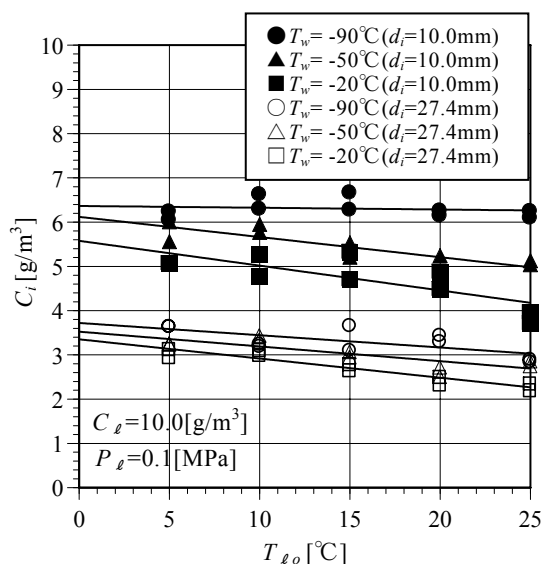


図3 水中オゾン濃度に及ぼすオゾン水初期温度の影響

- (3) オゾンを含有了した氷の生成過程において、水中オゾン濃度は凝固時間との間に相関関係が成立する。
- (4) オゾン水圧力 $P_{\ell}=0.1\sim 0.8$ [MPa]の範囲では、オゾン水圧力が増加するほど水中オゾン濃度は増加する。
- (5) オゾン氷生成時に固液界面において、オゾンの分解、オゾンガスのオゾン水への再溶解及び大気への放出が生じている。

5 掲載論文

吉村賢二, 小山繁, 山本博美: 日本冷凍空調学会論文集, 22巻(4号), p. 429-436 (2005)