

# SPG膜を用いた無気泡ガス溶解法による オゾン水生成技術の開発

久木崎 雅人\*<sup>1</sup>, 鳥越 清\*<sup>1</sup>, 藤本 幹治\*<sup>2</sup>, 大島 達也\*<sup>3</sup>, 馬場 由成\*<sup>3</sup>

Ozone Water Formation by Bubble-free Gas Dissolution Technique  
Using SPG Membranes

Masato KUKIZAKI, Kiyoshi TORIGOE, Kanji FUJIMOTO,  
Tatsuya OHSHIMA and Yoshinari BABA

SPG膜を用いて、気泡を介することなくガスを効率よく液体中に溶解させる無気泡ガス溶解法を開発し、オゾン水生成に応用した。純酸素ガスからオゾン発生器により発生させて加圧したオゾンガスと純水を、平均孔径 $0.3\mu\text{m}$ のSPG膜の細孔内で気液接触させてオゾン水を生成した。その結果、オゾンガス濃度とガス圧力が高いほどオゾン溶解速度は増大した。また、オゾン水生成の条件を変えることにより、殺菌・洗浄などの応用に必要とされる1 ppm以上のオゾン水を生成できることが分かった。

キーワード：無気泡ガス溶解，オゾン，シラス多孔質ガラス（SPG）膜

## 1 はじめに

液体にガスを溶解する代表的な手段として、散気管やイジェクターなどを用いて気泡を生成し、これを介して気体を液体に溶解する方法が用いられているが、大半が液体に溶解することなく大気中に放散し、ガスの溶解効率が極めて低いことが課題となっている。このため、気泡を微細化してガスの単位体積当たりの気/液接触面積を増大させることによりガス溶解効率の改善が図られているが、未だ十分ではない<sup>1)</sup>。また、オゾンなどの反応性ガスを溶解する場合、液体中に溶解しなかった廃オゾンガスの処理が新たに必要となる<sup>2)</sup>。さらに、細胞培養などの分野においても、気泡を介して酸素や炭酸ガスなどを培養液に供給する手法がとられているが、気泡が介在することで細胞にせん断応力などのストレスを与えたり、培養液の上部に発生した泡沫に細胞が付着するなどの問題が指摘されている。

筆者らは、これらの諸問題を解決するため、気

泡を介することなく液中にガスを溶解する技術（以下、「無気泡ガス溶解法」と称する。）を開発した。この手法では、均一な細孔を有する多孔膜を用いて、加圧したガスと液体を細孔内で接触させ、液中にガスを溶解する。本研究は、無気泡ガス溶解法を利用してオゾン水の生成を検討した。オゾンは極めて酸化性が強いので、殺菌、洗浄、脱色などの水処理分野で広く利用されている。しかしながら、水に対して難溶性であり、水中で分解しやすいことから、効率良くオゾン水を生成する技術が求められていた。

## 2 実験方法

図1にオゾン水生成実験装置の概念図を示す。加圧した純酸素ガスをオゾン発生器に通じてオゾンガスを発生させ、多孔質ガラス膜の外側から細孔内に圧入した。一方、膜の内側はポンプにより純水を循環し、細孔内でオゾンガスと純水を接触させ、ガスを純水に溶解させた。膜モジュールは、外径5 mm、長さ200 mm、膜厚0.5 mmの管状多孔質ガラス膜を10本装着したステンレス製である。膜の平均細孔径と気孔率はそれぞれ $0.3\mu\text{m}$

\* 1 材料開発部

\* 2 JSTイノベーションサテライト宮崎

\* 3 宮崎大学工学部物質環境化学科

および0.58であった。ガスと純水中の溶存オゾン濃度はそれぞれオゾン濃度計を用いて経時的に計測した。実験終了後は、活性炭分解式排オゾンガス回収カラムを用いてオゾンガスを処理した。実験に用いた水は蒸留水で、その体積は1 Lとした。ガスと純水との膜間差圧（ガス圧力）は50～180kPaとし、オゾンガス濃度は放電式オゾン発生器の電圧を変えて、45～120g/m<sup>3</sup>の範囲に調整した。

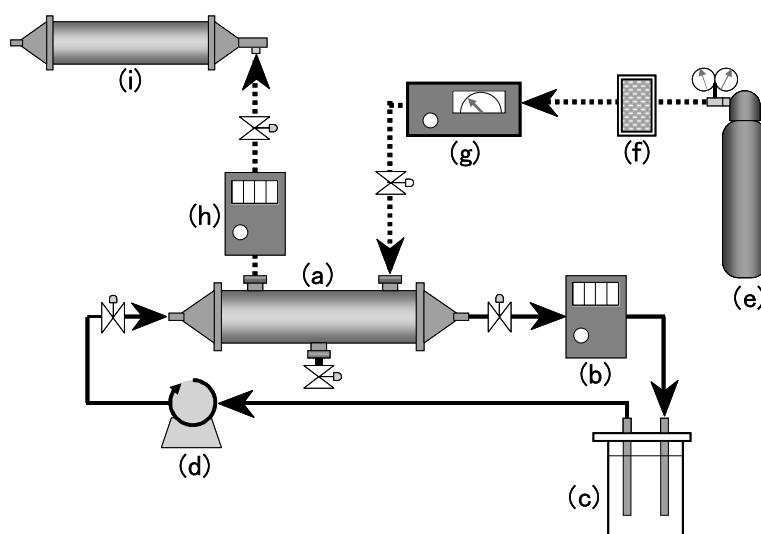


図1 無気泡ガス溶解法によるオゾン水生成実験装置

点線がガスライン、実線が純粋ラインを示す。

- (a) 膜モジュール, (b) 水相側オゾン濃度計, (c) 水槽タンク  
(d) 水循環ポンプ, (e) 酸素ガス, (f) エアフィルター, (g) オゾン発生装置, (h) 気相側オゾン濃度計, (i) オゾンガス回収カラム

### 3 結果および考察

#### 3-1 バブルポイント圧

多孔膜の細孔から気泡を生成させずにガスを液体に溶解するためには、ガスと液体の膜間差圧 $\Delta P$ を、下記の毛細管の式で表される圧力、 $P_{BP}$ （バブルポイント圧）より低い圧力に設定する必要がある（図2）。

$$P_{BP} = \frac{4\gamma \cos \theta}{50D_m} \quad (1)$$

ここで、 $\gamma$ は液相の表面張力、 $\theta$ は多孔質膜の細孔表面と液相との接触角、 $D_m$ は膜の細孔直径を示す。多孔質ガラス膜の場合は親水性であるから膜の接触角は $\theta = 0$ と近似できる。本実験で使用した膜の孔径 $D_m = 0.3 \mu\text{m}$ 、純水の表面張力 $\gamma = 72\text{mN/m}$ を(1)式に代入にすると $P_{BP} = 960\text{kPa}$ となる。このため、ガスと純水の膜間差圧をこれより低い圧に設定すれば気泡を生成しないことが分かる。本実験では膜間差圧を50～180kPaに設定した。

#### 3-2 オゾン水の生成とガス溶解に及ぼす因子

図2, 3にオゾン水生成実験を行った結果を示す。オゾンガス濃度とガス圧力が高いほどオゾン溶解速度は増大し、いずれの条件下でも約90 minで殺菌・洗浄などの応用に必要な濃度である1 ppmを越えるオゾン水が得られた。図4に生成したオゾン水中の溶存オゾン濃度の経時変化を示す。水中に溶解したオゾンは、不安定なため分解

されやすく、約20 minで濃度が半分になることが分かる。このため、分解装置の実用化を図るためには、できるだけ短時間にオゾンガスを水中に溶解する必要がある。一般に、気体は高圧・高濃度・低温の条件下で液体に対する溶解度が増加すると言われている。また、オゾンガスと純水の接触面積を増やせばガス溶解速度は上昇すると考えられる。このため、装置を改良すべき点として、①膜モジュールの改良による多孔質ガラス膜の膜面積の増大とコスト低減、②オゾンガス発生器の改良によるオゾンガスの高圧化・高濃度化、③水槽タンクの密閉化による溶存オゾンの放散防止などが挙げられ、今後検討を行う。

### 4 まとめ

無気泡ガス溶解法を開発し、オゾン水生成に応用した。オゾン水生成の条件を変えることにより、溶存オゾン濃度が約1 ppmのオゾン水を生成できることが分かった。この濃度のオゾン水は殺菌・洗浄などの広範な産業分野に利用できる。これまで得られた結果をもとに、従来のオゾン水生成装置よりも低コストで性能をしのぐ装置の開発を目指す。

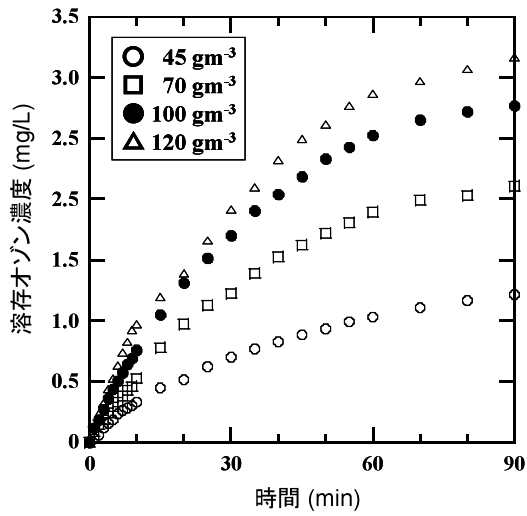


図2 溶存オゾン濃度のオゾンガス濃度依存性

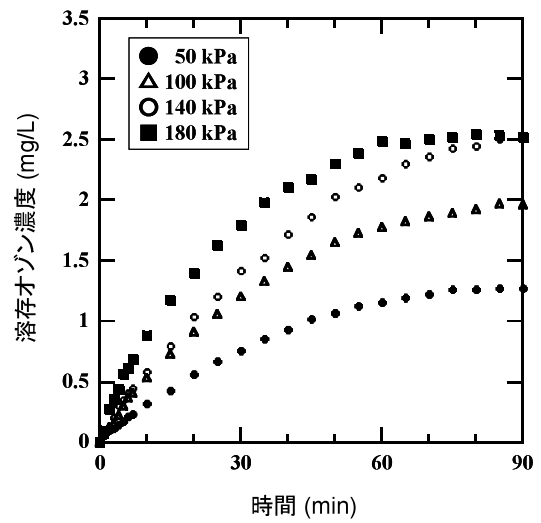


図3 溶存オゾン濃度のガス圧力依存性

## 5 参考文献

- 1) 久木崎雅人, 中島忠夫, 宋 軍, 小濱泰昭, 化学工学論文集, 30, 654 (2004).
- 2) A. Lopez-Lopez, J. S. Pic, H. Debellefonatine, *Chemosphere*, 66, 2120 (2007).

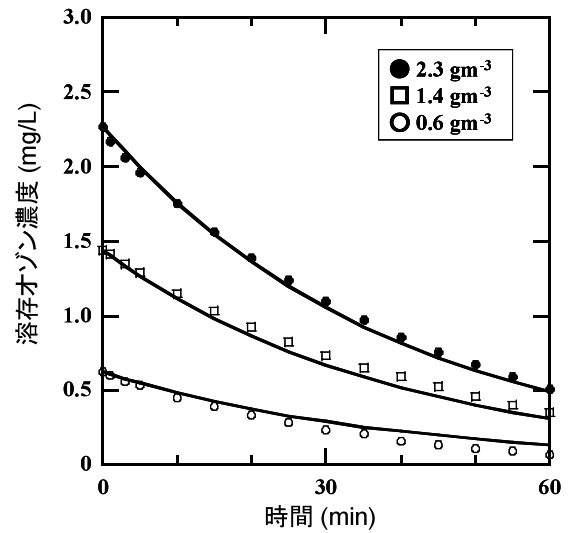


図4 溶存したオゾンの分解特性

