

h 型気体溶解装置による過飽和溶存気体濃度の変化

山口大学	学生会員	○大 木 協
山口大学	フェロー会員	羽田野 袈裟義
(有)バブルタンク	非会員	藤 里 哲 彦
宇部工業高等専門学校 物質工学科	正会員	中 野 陽 一
宇部工業高等専門学校 技術室	非会員	原 田 利 男
日新製鋼(株)	非会員	宮 川 知 也

1. 緒言

従来、DO 改善を目的とした様々な技術が開発されている。その主要なものの一つとして、下水処理場の活性汚泥処理などでは、メンブレンから気泡を発生させ酸素溶解を行うものがある。しかし、表-1 に示すように、 N_2 や CO_2 を過飽和で溶存している状態では曝気をしてしても DO 濃度は飽和値に遠く及ばない。一方、著者らが開発中の液膜式気体溶解技術と類似の方法で溶解処理すると、DO 濃度が 3~4(mg/L)まで増加する結果が得られている。

また、著者らが h 型管内曝気装置(図-1 参照)を利用して湖沼の貧酸素水塊に対して行った液膜式気体溶解の現地実験¹⁾において、装置を稼働開始後約 60 時間で pH が 6.8 から 7.2 程度まで、DO が 0.2 から 6.0 程度までほぼ同時に上昇した。pH が 6.8 ということは硫化水素などを過飽和に溶存している状態と考えられる。

したがって、曝気式の気体溶解では水中に酸素以外の気体を過飽和に溶存している場合には DO の上昇が抑制される可能性がある。

本研究では、酸素以外の気体を過飽和で溶存している水を管内曝気液膜式気体溶解装置(h 型気体溶解装置)で処理する場合について、DO 濃度と過飽和で溶存していた気体の濃度の変化を調べ、処理プロセスで生じている現象について検討する。

2. h 型気体溶解装置の原理

図-1 に h 型気体溶解装置の核部分の模式図を示す。被処理水と連通して水中に鉛直に立てた h 型の筒状体の中に設置したエアストーンから気泡群(空気)を発生させると、気泡は周囲の水を連行しながら上昇し、水は気泡集合体(液膜)となって気体溶解を行う。水中を上昇した気泡は水平部を処理水と共に流れ出し、気泡は上方へ、処理された水は下方に排出される。

表-1 下水処理場曝気槽における気体の溶存状態

気体名	水温(°C)	pH	①溶存濃度(mg/L)	②飽和値(mg/L)	飽和度(倍) [①/②]
N_2	16.2	6~7	48.62	17.80	2.7
CO_2			76.49	0.58	131.9
O_2			0.71	9.56	0.07

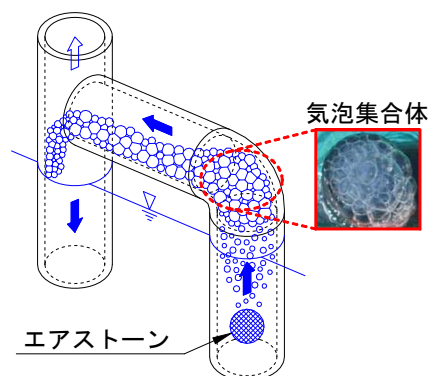


図-1 h型気体溶解装置の核部分

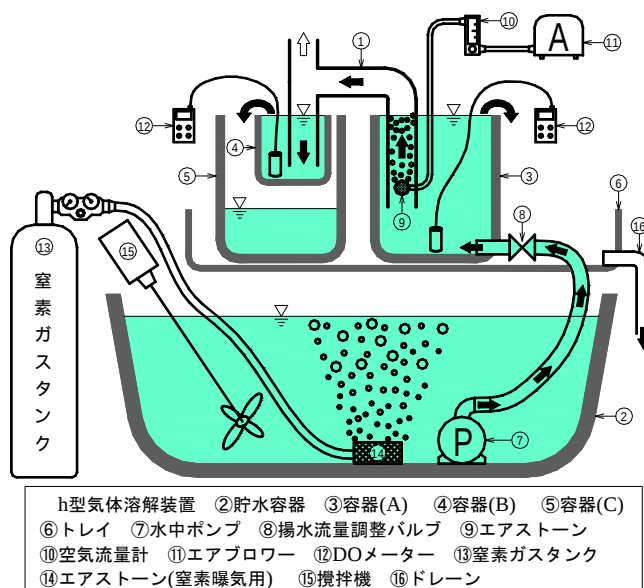


図-2 実験装置全体の模式図

3. 気体溶解・脱気実験

3.1. 実験方法

図-2は実験装置全体の模式図である。実験方法は次のとおりである。

- (1) 貯水容器②に水道水を200(L)貯め、撹拌しながら水温を12()に調節・維持した。
- (2) 貯水容器の水を窒素ガスタンクを用いて窒素曝気し、DO濃度が低下するまで撹拌を続けた。
- (3) 水中ポンプ⑦で貯水容器から容器③に水を汲み上げ、容器③からトレイ⑥に越流する状態で実験した。
- (4) 処理水がh型筒状体①を通過して容器 から容器へと越流し、処理量が約10(L)に達した時点で装置を停止した。
- (5) 装置の停止後、直ちに容器③と容器④のそれぞれの水をバイアル瓶に満水の状態で採取し、シリコンセプタムとアルミシールで密閉した。
- (6) サンプルング後のバイアル瓶は冷蔵庫で保存し、翌日、分析及び計算操作により溶存酸素・溶存窒素濃度を測定した。

3.2. 溶存酸素・溶存窒素濃度の測定方法

溶存酸素・溶存窒素濃度の測定は、ヘッドスペース法を用いたガスクロマトグラフィー分析により行なった。この方法では、まず3.2.1の分析手順によりバイアル瓶の気相(ヘッドスペース)における対象気体の重量濃度 D_G を計測し、次に3.2.2の計算手順により D_G からバイアル瓶内の液相における対象気体の重量濃度 D_0 を算出した。

3.2.1. 分析手順

分析は次の手順で行った。(図-3参照)

試料をバイアル瓶に50(mL)採取し、気相をHeガスに置換し、シリコンセプタムとアルミシールで密閉した。

バイアル瓶を40℃に設定した恒温水槽に入れ、瓶内の気相・液相間の気体溶解バランスが平衡状態に達するまで放置した。

気体溶解バランスが平衡状態に達した後、気相部をガスクロマトグラフィー分析し、気相における対象気体の重量濃度 D_G を計測した。

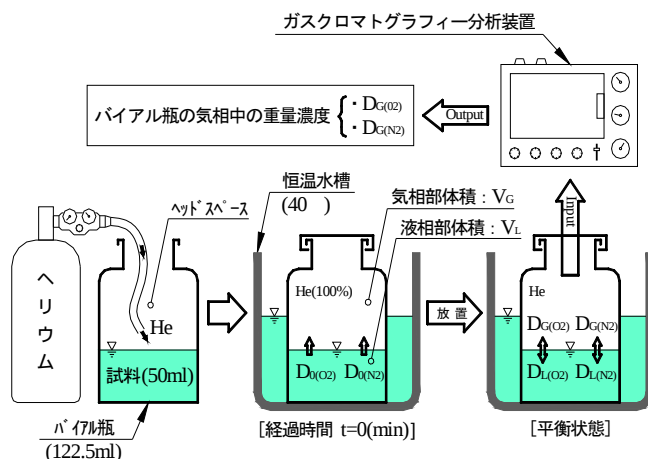


図-3 ガスクロマトグラフィー分析過程

3.2.2. 計算手順

3.2.1の分析手順で計測した D_G から対象気体の溶存濃度 D_0 を次の手順で求めた。

ヘンリー定数 H を求めた²⁾。

$$\ln \frac{H}{H_0} = A \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) + B \ln \frac{T_0}{T} + C \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right) \quad (1)$$

ヘンリー定数を変換し分配係数 K を求めた³⁾。

$$K = \frac{1}{H} \cdot \frac{\rho}{M} \cdot RT = \frac{D_L}{D_G} \quad (2)$$

気相・液相間の気体の質量の関係をまとめた⁴⁾。

(図-3参照)

$$D_0 V_L = D_L V_L + D_G V_G \quad (3)$$

(2), (3)式より D_L を消去して D_0 について解き(4)式を得た。

$$D_0 = D_G \cdot \left(K + \frac{V_G}{V_L} \right) \quad (4)$$

H : ヘンリー定数	R : 気体定数
T_0 : 基準温度(298.15K)	D_L : 対象気体の液相濃度(平衡後)
T : 対象気体の温度	D_G : 対象気体の気相濃度(平衡後)
H_0 : 基準温度におけるヘンリー定数	D_0 : 対象気体の液相濃度(平衡前)
A, B, C : 対象気体によって決まる係数	V_G : バイアル瓶内の気相体積
K : 分配係数	V_L : バイアル瓶内の液相体積
ρ : 水の密度	

3.3. 実験条件

実験は、表-2 の条件の全ての組み合わせ(24 通り)で行った。

表-2 実験条件

パイプ内径 : D (mm)	50
水温 : T (°C)	12
空気流量 : Q_g (L/min)	10 , 20 , 30 , 40
エアストーン深度 : H_A (mm)	140 , 230 , 320
上端高さ : H_U (mm)	20 , 50

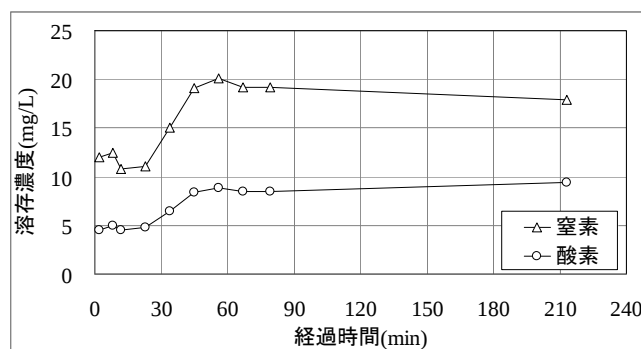
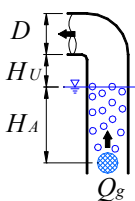


図-4 溶存酸素・溶存窒素濃度の時系列変化

4. 平衡状態に達するまでの時間測定

ガスクロマトグラフィー分析過程においてバイアル瓶内の気相・液相間の気体溶解バランスが平衡状態に達するまでの経過時間を調べる必要がある(図-3 参照)。実験手順として、空気で十分曝気した 20°Cの水を試料として 3.2 と同様に行った。ただし、恒温水槽での放置経過時間を 3~10 分おきで測定した。

図-4 に実験結果を示す。この図より、本条件におけるバイアル瓶内の気体の溶解バランスは、放置経過時間約 60 分で平衡状態に達することが確認できた。

5. 実験結果と考察

図-5 に実験結果の一例を示す。図より、窒素を過飽和に溶存する水に対して液膜式気体溶解装置で処理すると、過飽和状態であった溶存窒素の濃度は減少し、不飽和状態であった DO の濃度は増加しており、それぞれの気体の濃度は初期の値から飽和値に近づいている。この傾向は全ての実験条件で認められた。

以上のことから、本実験で使用した液膜式気体溶解装置には、処理前に水中に過飽和で溶存していた気体を脱気し、不飽和状態であった酸素を溶解させる作用があることがわかる。すなわち、液膜式気体溶解装置には、被処理水の気体溶存状態を、エアストーンから散気される空気との平衡状態にしようとする性質があることがわかった。

6. 結語

以上、本研究では、酸素以外の気体を過飽和で溶存している水を管内曝気液膜式気体溶解技術で溶解処理する場合について、これらの気体の濃度の変化を調べ、処理プロセスで生じている現象を検討した。主要な結果は以下のとおりである。

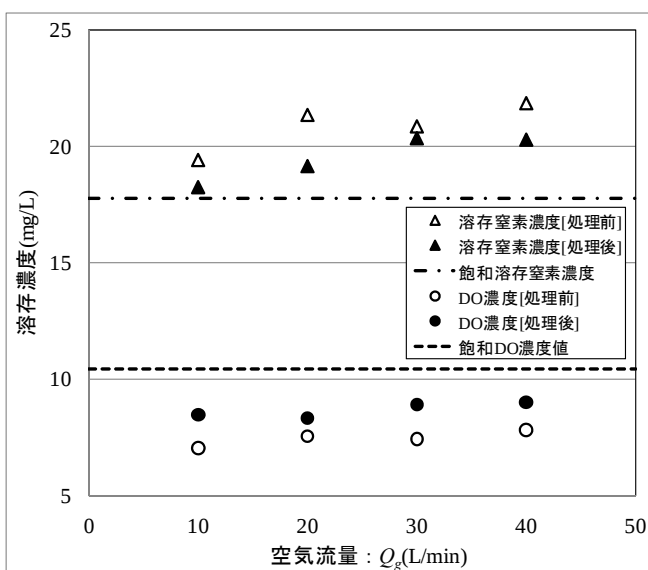


図-5 処理前後の溶存濃度の変化

ガスクロマトグラフィー分析過程において、バイアル瓶内の気相・液相間の気体溶解バランスは、放置経過時間約 60 分で平衡状態に達することがわかった。

液膜式気体溶解装置には、被処理水の気体溶存状態を、エアストーンから散気される空気との平衡状態にしようとする性質があることがわかった。

(参考文献)

- 1) 馬駿：液膜を利用する気体溶解技術に関する基礎的研究，山口大学学位論文，2008
- 2) 化学工学会編：化学工学便覧(丸善株式会社)
- 3) 杉光英俊：オゾン(徳山大学総合経済研究所叢書 13)
- 4) 日本分析化学会ガスクロマトグラフィー研究懇談会編：ガスクロ自由自在 Q&A 準備・資料導入編(丸善株式会社)