

h 型気体溶解装置のエネルギー効率向上のための試み

山口大学 学生会員 ○長 瀬 聡 志
山口大学 フェロー会員 羽田野 袈裟義
宇部高専 非 会 員 河 村 啓 太

山口大学 正 会 員 大 木 協
宇部高専 正 会 員 中 野 陽 一
(有)パルタンク 非 会 員 藤 里 哲 彦

1. はじめに

近年、湖沼やダム貯水池などの閉鎖性水域の底層水が貧酸素化して様々な問題を引き起こしている。当研究室では貧酸素水塊に酸素を供給する装置として h 型気体溶解装置¹⁾²⁾(図-1 参照)を研究開発中である。この装置は h 型の管に接続された 2 本のホース(吸入と排出)で構成されており、管内の水面下の浅い位置で曝気し、エアリフト現象を利用して貧酸素水を連続的に(吸入ホースから)揚水するとともに気泡集合体にして高効率のガス交換特性を利用して酸素溶解処理を行うものである。

本研究では、浅い曝気水深で稼働する h 型気体溶解装置のための送気装置として、低圧(低揚程)大流量型の送気装置を用いることで酸素移動動力効率(エネルギー効率)の向上を図ることを目的として、実際に装置を稼働させて酸素移動動力効率を計測し、従来用いていたダイアフラムポンプの場合と比較する。

2. 主要な送気装置の仕組みと送気効率 E_a の比較

2.1. 送気装置の仕組み

代表的な送気装置はコンプレッサー、ダイアフラムポンプ、送風機であり、これらの仕組みはそれぞれ以下のとおりである。

まず、深層曝気等で用いられているコンプレッサー(図-2 参照)は、吸排気弁付きのシリンダー内でピストンが往復運動することによって圧縮空気を作り出し、加圧タンク内に貯める仕組みとなっている。(稼働圧力範囲:0.005~0.025[MPa])

次に、浄化槽の曝気等で用いられているダイアフラムポンプ(図-3 参照)は、ダイアフラム(膜状の物体)で仕切られた吸排気弁付きのケーシングで構成されており、ダイアフラムに連結されたロッド(永久磁石)を電磁石によって連続的に振動させ、ケーシング内で吸入と圧縮を繰り返すものである。(稼働圧力範囲:0.5~1.0[MPa])

最後に、送風機(図-4 参照)は医療風呂の曝気や空気輸送等に用いられており、吸排気口付きのケーシング内で羽根車を回転させることで排気口から空気を吐き出す仕組みとなっている。(稼働圧力範囲:0~0.007[MPa])

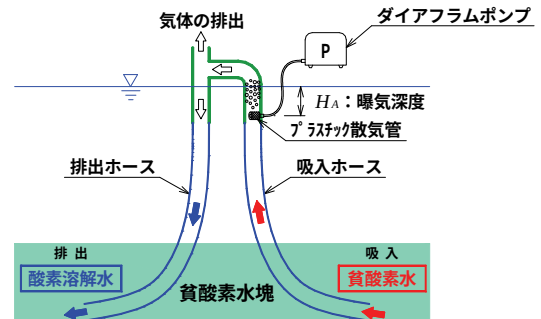


図-1 h 型気体溶解装置概略図

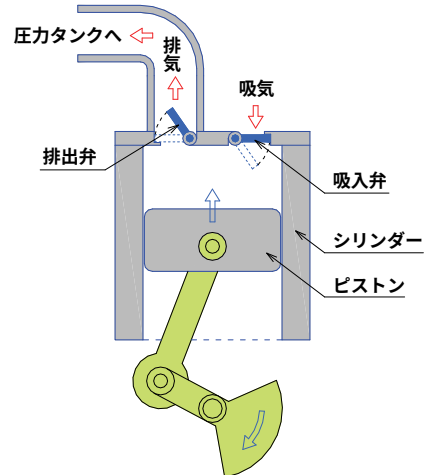


図-2 コンプレッサー

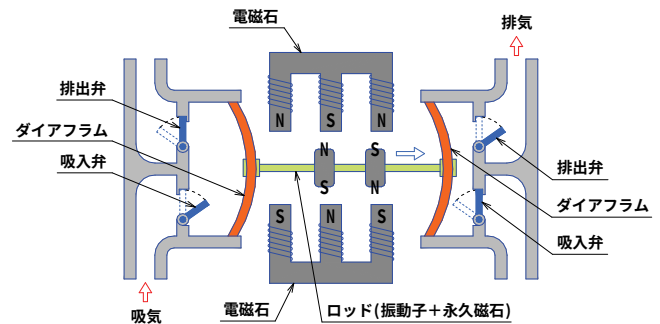


図-3 ダイアフラムポンプ

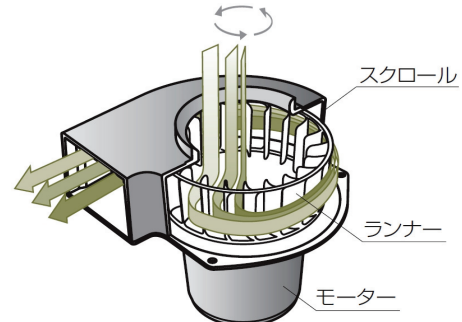


図-4 送風機

2.2. 送気効率 E_a の算出と比較

前述の各種送気装置の性能曲線³⁾⁻⁵⁾から換算した送気効率と使用可能水深の比較の一例を図-5に示す。送気効率 E_a [L/Wh]とは吐出空気体積流量を稼働電力[W]で除したものであり、単位電力量で吐出しうる空気の体積を表わしている。図より、コンプレッサーは従来用いていたダイヤフラムポンプに比べて使用可能水深が深いが生送気効率は小さい。一方、送風機は使用可能水深は浅いが、水深が約 60cm 以下ではダイヤフラムポンプに比べて遥かに送気効率が高い。既往の研究¹⁾によりh型気体溶解装置は 10~30cm 程度の曝気深度で機能を発揮することが確認されていることから、低圧大流量に適した送風機はh型気体溶解装置の酸素移動動力効率向上に対して有効であると考えられる。よって、本研究では送気装置として新しく送風機を採り上げる。

3. 酸素移動動力効率 E_p の計測および比較

送風機と、従来用いていたダイヤフラムポンプによってh型気体溶解装置を稼働させて酸素移動動力効率 E_p を計測する。

3.1. 予備実験 (稼働可能台数と稼働電力の確認)

表-1は本研究で使用したh型気体溶解装置と送気装置の諸元である。各送気装置によって曝気深度 $H_A=0.15$ [m]の条件におけるh型気体溶解装置の稼働可能な台数を実験により調べた。その結果、ダイヤフラムポンプを用いた場合は、空気流量 $Q_g=17$ [L/min/台]で5台のh型気体溶解装置を稼働できた。この場合の総空気流量は 17 [L/min/台] $\times$ 5 [台] $=85$ [L/min]、h型気体溶解装置1台当たりの稼働電力は 105 [W]/ 5 [台] $=21$ [W/台]である。次に、送風機を用いて同じ空気流量 (17 [L/min/台])で稼働可能な台数は20台であった。この場合の総空気流量は 17 [L/min/台] $\times$ 20 [台] $=340$ [L/min]、h型気体溶解装置1台当たりの稼働電力は 100 [W]/ 20 [台] $=5$ [W/台]である。

3.2. 空気流量減少分の評価

空気配管や散気管による空気流量の減少分を評価するため、図-6に送気装置の性能曲線³⁾⁻⁵⁾を元に最大空気流量と水深の関係を示し、予備実験で確認された総空気流量を棒グラフで表した。図より、エネルギー損失による吐出空気流量の低下はダイヤフラムポンプの 28[%]に比べて送風機では 39[%]と高い。従って、送風機を用いる場合は、空気配管などによる抵抗を低減させることにより、h型気体溶解装置の稼働可能台数を更に増やすことができると考えられる。

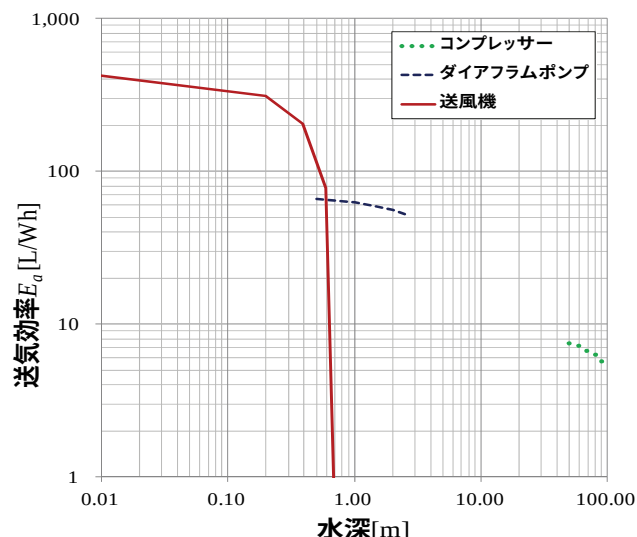


図-5 各送気装置の送気効率と使用可能水深の比較

表-1 実験装置の諸元

送 気 装 置	(1) ダイヤフラムポンプ	水	水深0.5[m] × 幅1.5[m] × 奥行き4.0[m] = 3.0 [m ³]
	・メーカー：安永I7 [®] ツブ(株)	槽	水 温： $T = 17$ [°C]
	・型 式：LP100H(S)	h	管 内 径： $D = 0.04$ [m]
	・空気流量：100 [L/min]	型	水平管高さ： $H_U = 0$ [m]
	(定格圧力：0.018MPa)	管	曝気深度： $H_A = 0.15$ [m]
	・稼働電力：105 [W]	部	空気流量： $Q_g = 17$ [L/min]
分	(2) 送 風 機		
	・メーカー：昭和電機(株)		
	・型 式：U2V-10S		
	・空気流量：700 [L/min]		
置	(定格圧力：大気圧)		
	・稼働電力：100 [W]		

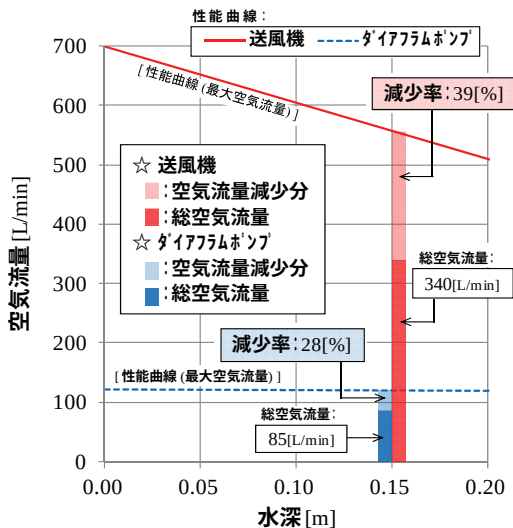


図-6 性能曲線および総空気流量と空気流量減少分

3.3. 酸素移動動力効率 E_p の評価方法

酸素移動動力効率 E_p [g/Wh]は式(1)に示すとおり、単位電力量、すなわち 1[Wh]あたりの酸素溶解質量を表わしており、この値が大きいくほどエネルギー効率が高いことを示す。

$$E_p = \frac{N_{(20)}}{P} [\text{mg/min/W}] = \frac{60}{1000} \cdot \frac{N_{(20)}}{P} [\text{g/Wh}] \quad (1)$$

酸素移動速度 $N_{(20)}$ [mg/min] は気体溶解装置の酸素溶解能力を表す指標であり、DO 濃度回復実験から算出される。

3.4. 実験条件および実験方法

DO 濃度回復実験の装置諸元は表-1 に示すとおりである。図-7 は DO 濃度回復実験装置の概略図であり、h 型気体溶解装置の稼働台数は 5 台である。本実験では、水槽内の水道水の DO 濃度を試薬によって低下させた後に h 型気体溶解装置を稼働させ、DO 濃度が回復する時系列変化を測定した。この実験結果から下水試験方法⁶⁾ に準じて酸素移動速度 $N_{(20)}$ を測定し、次いで式(1)により酸素移動動力効率 E_p を算出した。

3.5. 実験結果と考察

図-8 は DO 濃度の時系列変化を表したグラフである。図中に、装置 1 台当たりの酸素移動速度 $N_{(20)}$ [mg/min/台] と予備実験によって求めた稼働電力 P [W/台]、さらにこれから算出される酸素移動動力効率 E_p [g/Wh] を記載している。図より、どちらの送気装置を用いた場合でも酸素移動速度 $N_{(20)}$ はほぼ等しい値を示している。酸素移動動力効率 E_p は送風機では 0.255 [g/Wh]、ダイアフラムポンプでは 0.061 [g/Wh] であり、送風機の方が約 4 倍高い値を示している。

4. 結論

以上、省エネ型の水質浄化に適した h 型気体溶解装置を効率的に稼働するための試みとして、送気装置として送風機を用いる実験を行った。

本研究の主要な知見は次のとおりである。

1. 送風機はダイアフラムポンプに比べて使用可能な水深が浅い。しかし、送気効率では遥かに上回っている。
2. 本実験条件では、各送気装置による h 型気体溶解装置の稼働可能台数および 1 台当たりの稼働電力は、ダイアフラムポンプでは 5 [台]、21 [W/台]、送風機では 20 [台]、5 [W/台] であり、送風機による 1 台当たりの稼働電力はダイアフラムポンプの約 1/4 である。
3. 送風機は空気流量の減少率が高いため、空気配管などによる抵抗を低減させることで稼働台数を更に増やすことができると考えられる。
4. h 型気体溶解装置 1 台当たりの空気流量が同じ場合、ダイアフラムポンプと送風機のどちらを用いても酸素移動速度はほぼ等しい値を示すが、送風機による酸素移動動力効率 E_p ではダイアフラムポンプに比べて約 4 倍大きい値を示した。

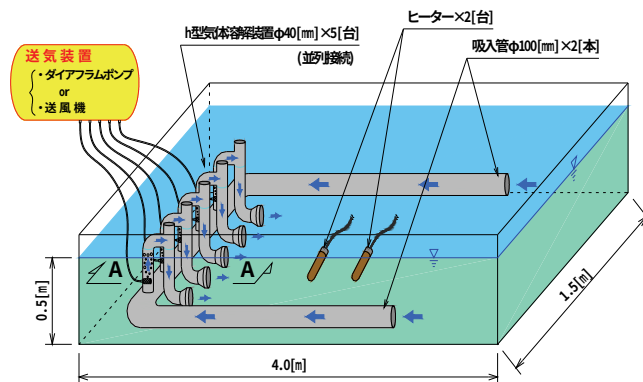


図-7 DO 濃度回復実験装置の概略図

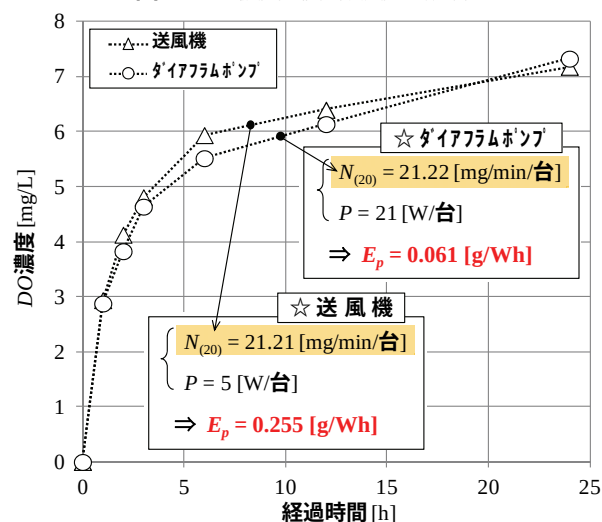


図-8 DO 濃度の時系列変化と $N_{(20)}$ および E_p

現在、フィールドでの実験として、宇部市などの支援により常盤湖で実証実験を行なう準備を進めている。結果が出たら報告する予定である。

(参考文献)

- 1) 大木協 他:管内曝気による液膜方式の気体溶解装置の DO 改善性能に関する実験的検討, 土木学会論文集 B, Vol.66, No.3, pp.235-247, 2010.
- 2) 国際公開番号 WO2005/121031: 曝気方法と曝気装置と曝気システム, 日本国特許庁, 2008.
- 3) 安永エアポンプ(株)の HP: <http://www.fine-yasunaga.co.jp>
- 4) アネスト岩田(株)の HP: <http://www.anest-iwata.co.jp>
- 5) 昭和電機(株)の HP: <http://www.showadenki.co.jp/>
- 6) 建設省都市局下水道部, 厚生省生活衛生局水道環境部: 下水試験方法(上巻)(1997 年版), (社)日本下水道協会, 1997