

メンブレンパネル式散気装置 に関する研究

1. 背景と目的

先に開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3：地球温暖化防止京都会議）で、日本は2010年までに現状の温室効果ガスの排出量を6%削減（1990年比）することとなり、これを機会に、国内における各産業界・各自治体においても抑制策が論議、実行されている。

下水道の分野においても、平成11年8月に建設省（現国土交通省）より「下水道における地球温暖化対策の推進」に関する通知が出され、にわかに排出抑制気運が高まってきている。下水処理場での反応タンク用ブロウの電力は、処理場全体の30～60%を占めると言われており、効率の良い散気装置を採用することは、効果的に電力を削減し、温室効果ガスの排出を抑制することに結びつく。

メンブレンパネル式散気装置は、酸素移動効率が既存の散気装置に比べ高いため、反応タンクの必要空気量削減に伴うブロウ電力量の削減、ならびに温室効果ガスの排出抑制が可能となる。また、幅広い通気量範囲をもつため、活性汚泥法の運転の自由度を広げることが可能である。

本研究では、導入された下水処理場の運転状況、および今まで行われた実験結果をもとに、メンブレンパネル式散気装置の技術マニュアルを作成することを目的とした。

2. 研究体制

本研究は、(財)下水道新技術推進機構と(株)荏原製作所、川崎重工業(株)、(株)クボタ、(株)神戸製鋼所、三機工業(株)、水道機工(株)、住友重機械工業(株)、(株)タクマ、月島機械(株)、日本ガイシ(株)、日本鋼管(株)、日立金属(株)、日立プラント建設(株)、前澤工業(株)の14社で実施した。

3. 研究内容

平成14年7月～平成16年3月までの約2カ年にわたり実施した研究の内容は、以下のとおりである。

(1) 設計手法の検討

本散気装置の特徴を踏まえ、以下の項目について検討し設計手法を示した。

① 酸素移動効率設計値

② 圧損上昇予防操作必要性および操作フロー

(2) 維持管理についてのまとめ

日常点検・定期点検項目を示した。

(3) 導入効果の検証（実績、モデル設計）

本散気装置を導入している下水処理場において、本装置と既設散気装置の運転状況を比較調査することにより散気装置の導入効果の検証を行った。

また、モデルケースを設定し今回設定した設計

値，設計手法にて送風量・ブロウ動力・温室効果ガスの削減量を試算し，導入効果の確認を行った。

4. 構造・形状・特徴

4.1 構造，形状，外観

本研究においては，メンブレンパネル式散気装置を①特殊ポリウレタン膜を使用，②形状は矩形，③給気口が上面にある構造と定義し，対象散気装置をA型（細長型）およびP型（幅広型）とした。構造図を図-1，寸法・材質を表-1，装置の外観を写真-1に示す。

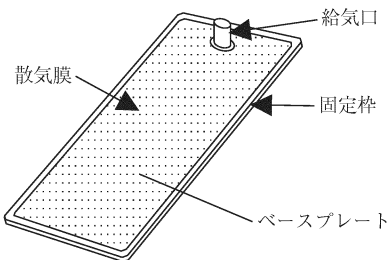
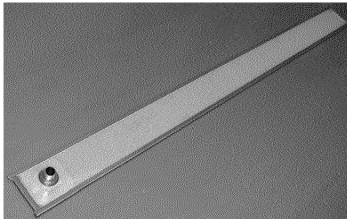


図-1 メンブレンパネル式散気装置構造図

表-1 メンブレンパネル式散気装置寸法・材質

	A型（細長型）	P型（幅広型）
寸法	150mm× 2,000~4,000mm	1,200mm×3,600mm 1,200mm×1,900mm 500mm×3,600mm
膜	特殊ポリウレタン	特殊ポリウレタン
ベースプレート	ステンレス製	合成樹脂
固定枠	ステンレス製	ステンレス製

(A型)



(P型)



写真-1 メンブレンパネル式散気装置

4.2 特徴

4.2.1 酸素移動効率が高い

本散気装置の気泡径は，従来の散気装置の気泡に比べ小さいことから，気液接触面積が大きくなる等の効果により酸素移動効率が高い。

4.2.2 風量調節の制御範囲が広く停止時も目詰まりしにくい

本散気装置は，給気口より空気を吹き込むと，散気膜が空気圧により膨らみ，散気膜にあけられた気孔より気泡が発生する。少風量時においても汚水の浸入がない。また，曝気停止時には，散気膜は水压によりベースプレートに密着するため汚水の浸入が生じにくく，気孔の目詰まりは起こりにくい。したがって，間欠曝気運転や長期間の曝気停止も問題なく行うことができる。停止時・散気時の散気膜の状態を図-2に示す。

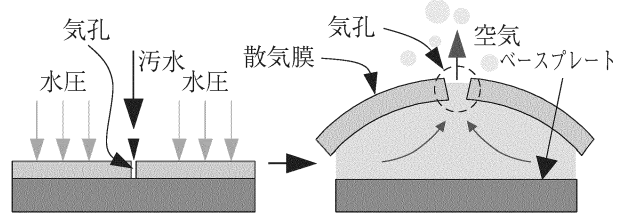


図-2 停止時・散気時の散気膜の状態

5. 研究結果

5.1 設計手法の検討

5.1.1 酸素移動効率設計値

酸素移動効率の設計値は，清水における実槽または実験槽での酸素移動効率測定結果から，硝化対応設計型，標準設計型の2タイプの散気装置に対して，処理方法（全面エアレーション式，旋回流式）別に設定した。設定値を表-2，酸素移動効率測定結果を図-3，4に示す。

また，散気水深が基準の5.0mと異なる場合は，以下の式により設計値を補正することとした。

$$\eta_{Xm} [\%] = \eta_{5.0m} - 6.0 \times (5.0 - X)$$

η_{Xm} : 散気水深Xmでの酸素移動効率 (%)

$\eta_{5.0m}$: 散気水深5mでの酸素移動効率 (%)

X : 異なる散気水深 (m)

表-2 酸素移動効率設計値

エアレーション方式	散気水深 (m)	散気水深	
		硝化対応設計	標準設計
全面	5.0	28	31
旋回流	5.0	26	30

(20℃, 1atm, 水深5.0m)

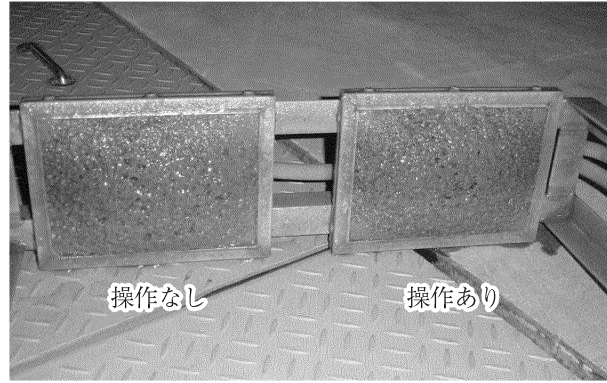


写真-2 スライム付着状況 (防止操作有り・無し)

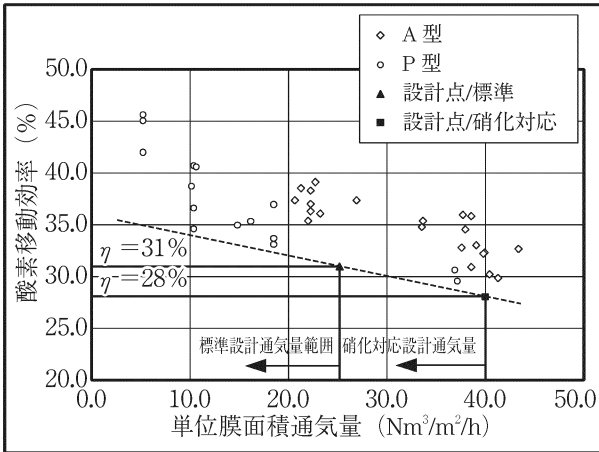


図-3 酸素移動効率測定結果 (全面エアレーション)

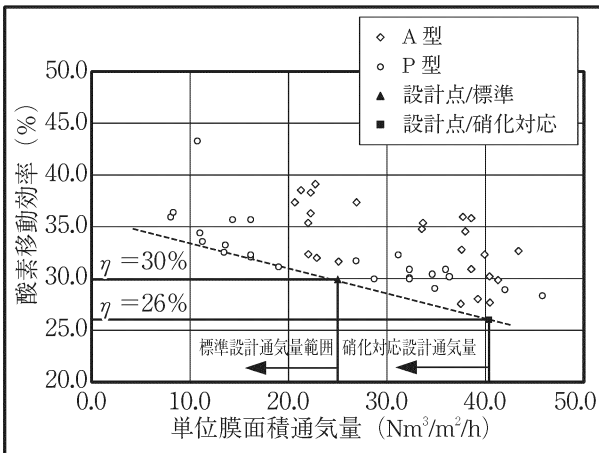


図-4 酸素移動効率測定結果 (旋回流式)

5.2 圧損上昇予防操作

5.2.1 圧損上昇予防操作の必要性

本散気装置は、汚水中にて運転を開始して1ヵ月程度で散気膜表面へのスライムの付着が見られ、さらに1ヵ月程度経過すると散気膜表面のほぼ全体にスライムが付着する(写真-2)。付着の時期、程度は処理場により異なる。

膜表面気孔部へのスライム付着の影響等による能力低下(酸素移動効率の低下, 圧力損失の上昇)を防止するため、「圧損上昇予防操作」が必要となる。

5.2.2 圧損上昇予防操作方法

本操作は送気管に空気遮断弁, 放圧弁を設置し, 送気停止→散気装置(配管)内残圧放圧→送気再開を繰り返すことにより, 膜表面を強制的に動かし気孔部へのスライム付着を防止するものである。図-5に圧損上昇予防操作概念図, 図-6に装置概要図, 図-7に操作フローを示す。

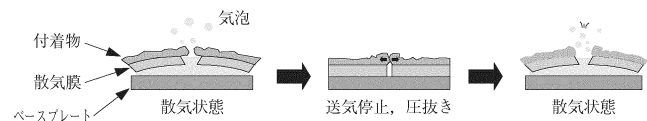


図-5 圧損上昇予防操作概念図

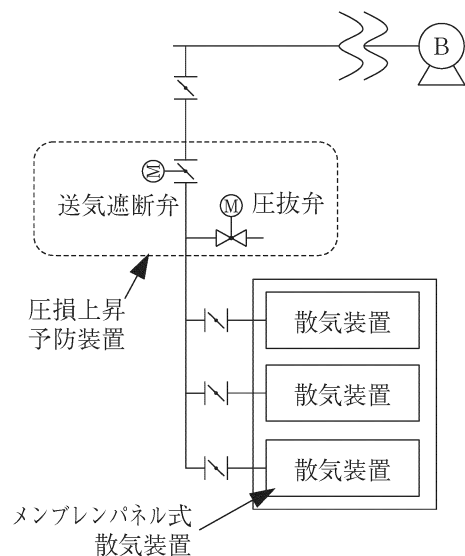


図-6 圧損上昇予防装置概要図

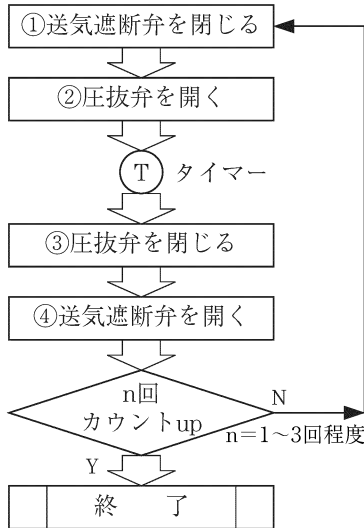


図-7 圧損上昇予防操作フロー

5.2.3 性能の持続性検討

(1) 長期運転処理場調査

国内実績で稼働期間の長いA処理場とB処理場2つの処理場を調査した結果、運転開始後6年経過したA処理場、運転開始後3.5年経過したB処理場とも、スライムの付着による圧力損失の上昇および酸素移動効率の低下はなく、送風量も初期同様の値を維持していた。

(2) ミニパネル実験調査

ミニパネルにより、スライム付着の影響および圧損上昇予防操作の効果について調査した。その結果、圧損上昇予防操作を行えば、スライム付着による性能低下はほとんど見られないことがわかった。

① スライム付着の圧力損失への影響

ミニパネルの圧力損失の変化を継続調査(4.5ヵ月)した結果を図-8に示す。ブロウの送風圧力は、圧損上昇防止操作有りでは一定期

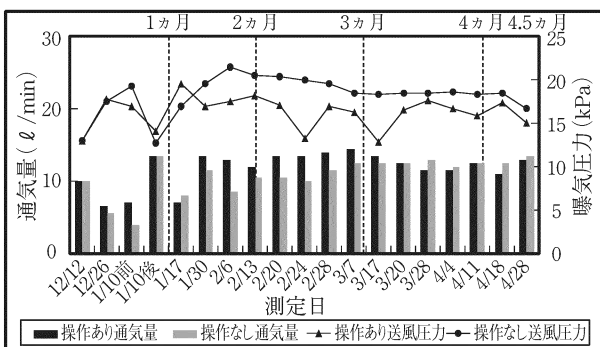


図-8 ミニパネル実験による圧損調査結果

間上昇し高い値で推移しているのに対し、操作なしの場合では、ほぼ一定で推移していることがわかる。

② スライム付着の酸素移動効率への影響

ミニパネル実験において、調査開始後4.5ヵ月経過した散気装置(スライム付着有り)と新品散気装置(スライム付着なし)の酸素移動効率について比較した結果を図-9に示す。圧損上昇予防操作なしの場合、若干の酸素移動効率低下が見られたが、操作を行った場合は、設計通気量の範囲においては、初期の測定値との差は見られない。

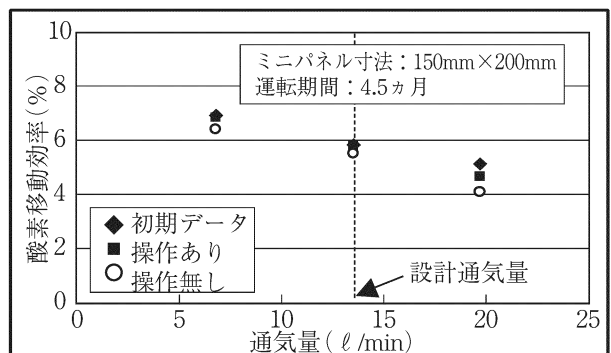


図-9 ミニパネル実験による酸素移動効率調査

5.3 導入効果

5.3.1 採用処理場運転データ(実績)による導入効果

メンブレンパネル式散気装置の導入効果について、導入された処理場の運転状況調査をもとに算出した結果を表-3に示す。上段が既設散気装置で運転している比較対象槽、下段がメンブレンパネル式散気装置設置槽を示す。各処理場とも比較対象槽に対し、送風量削減率は40~60%程度であった。また、設計削減量(セラミックおよび樹脂製の散気筒、散気板の酸素移動効率を15%(清水、散気水深5.0m時)とし計算により算出した削減率)と比較しても大差がないことを確認した。

5.3.2 モデル設計による導入効果の確認

適用条件の異なる4ケース(表-4)を設定し、下記の検討条件で試算を行った。試算結果を表-5~8に示す。この結果、モデル設計においても、メンブレンパネル式散気装置を採用した場合必要空気量で32~43%、ブロウ動力で30~44%、CO₂排出量で30~46%の削減率が試算できた。また、機器耐用年数を10年と仮定し、試算した年間費用(機器費10年で分割)についても、費用の削減が確認できた。

表-3 メンブレンパネル散気装置削減効果比較表 (実績)

処理場名	処理方式	散気装置種類	散気方法	散気水深 (m)	処理水量 (m ³ /日)	送風量 (m ³ /日)	削減率 (%)			設計削減率 (%)
							送風量	軸動力	CO ₂	送風量
A処理場	標準法	樹脂製散気筒	旋回流	3.9	4,094	14,688	44	36	36	41
	標準法	硝化対応設計	全面曝気	3.9	4,094	8,208				
B処理場	標準法	セラミック散気板	旋回流	4.5	7,400	32,520	42	35	35	44
	標準法	硝化対応設計	全面曝気	4.5	7,400	19,008				
C処理場	AO法	セラミック散気板	旋回流	3.5	5,875	39,576	54	52	52	35
	AO法	標準設計	旋回流	3	5,875	18,360				
D処理場	標準法	セラミック散気板	旋回流	4.5	6,829	50,544	42	37	37	53
	標準法	標準設計	全面曝気	4.7	6,829	29,088				
E処理場	AO法	セラミック散気板	旋回流	3.5	3,800	36,700	57	57	57	35
	AO法	標準設計	旋回流	3	3,800	15,700				

表-4 モデルケース

モデルケース	散気方式	必要酸素量
1	全面エアレーション式	硝化を考慮する
2		硝化を考慮しない
3	旋回流式	硝化を考慮する
4		硝化を考慮しない

〈モデル設計検討条件〉

処理方式 : 標準活性汚泥法 (全好気運転)

処理水量 : 10,000m³/日 × 8 池

反応タンク : 幅7.5m × 長80.0m × 水深5.5m

比較対象散気装置

全面エアレーション式 : 散気板式, 水中攪拌機

旋回流式 : 散気板式

表-6 モデル2 検討結果 (硝化未考慮)

項目	単位	メンブレン	散気板	水中攪拌機
エアレーション方式	—	全面	全面	—
散気水深	m	5.2	←	←
酸素供給量 (SOR)	kgO ₂ /d	1,897	←	←
酸素移動効率	%	32.2	21	26
必要空気量	m ³ /min	15	23	18
散気密度	m ³ / (m ² · h)	1.5	—	—
動力 ^{*1*2}	kW	21	31	47
電力料金 ^{*2}	千円/年	2,200	3,300	4,900
設備費 ^{*3}	—	1.00	1.13	1.25
年間償却費 ^{*3*4}	—	1.00	1.22	1.51
CO ₂ 換算排出量	tCO ₂ /年	70	105	160

(1池 (10,000m³/d) 当たりの値)

表-5 モデル1 検討結果 (硝化考慮)

項目	単位	メンブレン	散気板	水中攪拌機
エアレーション方式	—	全面	全面	—
散気水深	m	5.2	←	←
酸素供給量 (SOR)	kgO ₂ /d	3,345	←	←
酸素移動効率	%	29.2	20	24
必要空気量	m ³ /min	28.5	42	34
散気密度	m ³ / (m ² · h)	2.85	—	—
動力 ^{*1*2}	kW	40	57	78
電力料金 ^{*2}	千円/年	4,200	6,000	8,200
設備費 ^{*3}	—	1.00	1.01	1.53
年間償却費 ^{*3*4}	—	1.00	1.16	1.67
CO ₂ 換算排出量	tCO ₂ /年	133	190	265

(1池 (10,000m³/d) 当たりの値)

表-7 モデル3 検討結果 (硝化考慮)

項目	単位	メンブレン	散気板
エアレーション方式	—	旋回流式	旋回流式
散気水深	m	4.5	5.0
酸素供給量 (SOR)	kgO ₂ /d	3,364	3,349
酸素移動効率	%	23	15
必要空気量	m ³ /min	36.3	56
散気密度	m ³ / (m ² · h)	3.63	—
動力 ^{*1*2}	kW	48	73
電力料金 ^{*2}	千円/年	5,000	7,600
設備費 ^{*3}	—	1.00	0.94
年間償却費 ^{*3*4}	—	1.00	1.24
CO ₂ 換算排出量	tCO ₂ /年	158	245

(1池 (10,000m³/d) 当たりの値)

*1 水中攪拌機の動力は、プロアと攪拌動力の合計

*2 空気量の削減量から計算により算出した値

*3 メンブレンパネル式散気装置を100とした場合の指数

*4 年間費用 = 機器費/10年 + 動力料金

表-8 モデル4 検討結果 (硝化未考慮)

項目	単位	メンブレン	散気板
エアレーション方式	—	旋回流式	旋回流式
散気水深	m	4.5	5.0
酸素供給量 (SOR)	kgO ₂ /d	1,905	1,899
酸素移動効率	%	27	15
必要空気量	m ³ /min	18	32
散気密度	m ³ /(m ² ・h)	1.8	—
動力 ^{※1※2}	kW	23	41
電力料金 ^{※2}	千円/年	2,400	4,300
設備費 ^{※3}	—	1.00	0.71
年間償却費 ^{※3※4}	—	1.00	1.07
CO ₂ 換算排出量	tCO ₂ /年	76	139

(1池 (10,000m³/d) 当たりの値)

※1 水中攪拌機の動力は、プロアと攪拌動力の合計
 ※2 空気量の削減量から計算により算出した値
 ※3 メンブレンパネル式散気装置を100とした場合の指数
 ※4 年間費用=機器費/10年+動力料金

今回のモデルケースにおいて得られたメンブレンパネル式散気装置導入効果についてまとめたものを表-9に示す。この結果から、モデル設計においてもメンブレンパネル式散気装置の優位性が確認された。

表-9 モデルケースで得られたメンブレンパネル式散気装置の導入効果

	散気板	水中機械式	前回報告
空気量	30~45%	10~15%	30~60%
電力量	30~45%	50~55%	30~60%
CO ₂ 発生量	30~45%	50~55%	30~60%

6. マニュアル構成

- 第1章 総 則
 - 第1節 基本事項
 - 第2節 用語の定義
- 第2章 構造と特徴
 - 第1節 構造・形状
 - 第2節 特徴
 - 第3節 装置の適用

- 第4節 導入効果
- 第3章 設 計
- 第1節 散気装置の設計手法
 - 第2節 圧損上昇予防装置
 - 第3節 関連機器に関する留意事項
- 第4章 施 工
- 第1節 施工手順
 - 第2節 試運転
- 第5章 維持管理
- 第1節 圧損上昇予防操作
 - 第2節 保守点検
 - 第3節 長期休止時の保管方法

資 料 編

- 1 酸素移動と散気装置
- 2 メンブレンパネル式散気装置の導入効果
- 3 特徴を生かした適用方法
- 4 モデル設計
- 5 標準仕様書・特記仕様書・見積依頼仕様書
- 6 仕様および標準図
- 7 納入実績
- 8 問い合わせ先

7. まとめ

今回導入処理場の運転状況、実験調査結果からメンブレンパネル式散気装置の導入により、従来散気装置（散気板式、散気筒式）に比べ、3割から4割の送風量・ブロウ動力・温暖化防止ガス発生量の削減が期待できる。

使用後、散気膜表面にスライムの付着が見られるが、圧損上昇予防操作を定期定期に行うことにより、性能低下（酸素移動効率低下、圧力損失増加）は防止できるものと考えられる。

本研究における成果は、「メンブレンパネル式散気装置 技術マニュアル」としてとりまとめた。今後、技術マニュアルの適切な利用が図られ、メンブレンパネル式散気装置の普及と発展に役立つことを願う次第である。

●この研究を行ったのは

研究第二部長	高橋 隆一
研究第二部総括主任研究員	桐原 隆
研究第二部主任研究員	土屋 玄
研究第二部研究員	井上 毅
研究第二部研究員	中村 浩

●この研究に関するお問い合わせは

研究第二部長	高橋 隆一
研究第二部総括主任研究員	桐原 隆
研究第二部主任研究員	土屋 玄
研究第二部研究員	中村 浩