

## 2-2-5 酸素移動効率からみた散気装置の劣化状況の推測

東京都下水道サービス(株) 施設部 水質課 ○田中歩・小池範明・石井享  
 東京都下水道局 西部第二下水道事務所 前保竜一・町田真由美・笹原貴志・小峯純夫

### 1. はじめに

東京都下水道局では地球温暖化防止計画「アースプラン 2023」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいる。特に、水処理工程での使用電力では、反応槽への送風電力が約4割を占めることから、電力使用量の削減を目的に、設備更新に合わせて微細気泡散気装置の導入を進めている。

一方、散気装置は、経年劣化により徐々に酸素移動効率が低下し、処理水質の低下や曝気送風量の増大による電力使用量の増加が見込まれることから、定期的に酸素移動効率を確認し、効率的な運転管理に反映することが望まれる。しかし、反応槽の酸素供給能力を評価する手法として多点測定法やガス収支法があるが、測定が煩雑であり定期的に把握するには負担となる場合がある。

そこで、「下水道施設計画・設計指針と解説」(以下、設計指針)<sup>1)</sup>に記載されている必要空気量の算出式から、反応槽の酸素移動効率を算定することで、散気装置の劣化状況の推測が可能か調査を行い、一定の知見が得られたので報告する。

### 2. 酸素移動効率の算定方法

今回、酸素移動効率の算定は、設計指針に記載されている必要空気量( $G_S$ )の算出式(式1)を一部変更することで求めた

(式2)。具体的には、表1に示す水質分析結果及び運転データ等から酸素供給量

(SOR)を求め、必要空気量( $G_S$ )には実際の曝気風量を使用して逆算することにより酸素移動効率を算定した。

なお、酸素移動効率の算定に用いる係数( $\alpha$ 値等)は一律(範囲のある係数は中央値を採用)として算定した。

本手法の特徴として、必要空気量( $G_S$ )に実際の曝気風量を用いることで、従来法を用いなくても現状の散気装置の酸素移動効率を推測できること、また、本手法の算定に必要な水質分析項目は、法定試験及び施設管理のための水質試験で行う分析の範囲内であることから、比較的簡易に酸素移動効率が算定できることが挙げられる。

表1 水質分析項目と運転データ

水質分析項目	分析試料		分析項目
	反応槽流入水		
放流水			BOD、T-N、NO <sub>x</sub>
反応槽	無酸素槽	NO <sub>x</sub>	
	好気槽	水温、DO(3地点)、MLSS、MLVSS、T-N、無機態窒素	
運転データ	反応槽流入水、返送汚泥量、硝化液循環量、曝気風量		

$$G_S = \frac{SOR}{E_A \times \rho \times O_W} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \quad (\text{式 1})$$

$$E_A = \frac{SOR}{G_S \times \rho \times O_W} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \quad (\text{式 2})$$

- $E_A$  : 酸素移動効率
- $G_S$  : 必要空気量 (=曝気風量)
- SOR : 酸素供給量
- $\rho$  : 空気密度 (=1.293)
- $O_W$  : 空気中酸素含有重量 (=0.232)
- $T_2$  : 混合液の水温

### 3. 調査概要

#### (1) 酸素移動効率（反応槽毎）の確認調査

調査は、浮間水再生センターの反応槽を対象（表 2）とし、令和 4 年 7～12 月にかけて、計 10 回実施した。散気装置の異なる反応槽毎に水質分析（表 1）を行い、運転データ等から（式 2）を用いて酸素移動効率を算定し、反応槽内の目視点検と合わせて本手法の有効性の確認及び散気装置の劣化状況の推測を行った。

表 2 調査対象（反応槽）の概要

対象槽	散気装置	設置年	$E_A$ 参考値	散気水深	処理方式
1、2、3号	従来型メンブレンパネル	平成16年	28%	4.3m	A <sub>2</sub> O法
6号	散気板	平成12～31年	14～15%	4.5m	
	低圧損型メンブレンパネル	平成31年	26%		
9号	低圧損型メンブレンパネル	平成24年	30%以上	5.5m	

#### (2) 酸素移動効率の経年変化の推定

各反応槽の酸素移動効率の推移を調べ、散気装置の劣化状況の推測が可能か把握するため調査を行った。調査対象は反応槽（3、6、9号）とし、平成 16 年以降の酸素移動効率の推移を確認した（9号槽は設置された平成 24 年以降）。本調査では、過去の水質分析結果及び運転データ（表 1）を基に、酸素移動効率を月 1 回の頻度で算定した。なお、過去データの無い水質項目は、相関のある他の項目から代用して酸素移動効率を算定した（欠損した BOD は、COD 値から換算して代用等）。

### 4. 調査結果および考察

#### (1) 酸素移動効率（反応槽毎）の確認調査

酸素移動効率の結果を表 3、図 1 に示す。酸素移動効率（平均値）は、反応槽（1～3号）では 15% 前後と参考値（メーカー設計値）である 28% を大きく下回っていたが、反応槽（6、9号）は、参考値と同等の 30% 前後を示し、設置年の違いにより大きな差がみられた。また、設備劣化等がない場合、酸素移動効率は大きく変動しないとして測定値を評価すると、変動係数が全ての反応槽で 10% 以下と低く、安定した結果を得ることができたといえる。

表 3 酸素移動効率（各槽、計 10 回）

反応槽	1号	2号	3号	6号	9号
平均値(%)	14.4	14.6	15.2	29.0	30.3
変動係数(%)	8.2	8.2	7.4	9.4	8.7

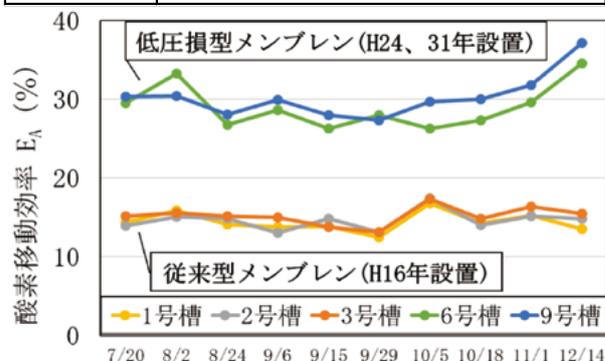


図 1 酸素移動効率（R4 年 7～12 月）

同時に実施した目視点検では、反応槽（1～3号）の水面に大きな波立ちが見られ、6号槽と明らかに様子が異なることから、酸素移動効率の差が大きい場合、目視でも確認できることがわかった（図 2）。

反応槽（1～3号）の散気装置は、設置から 15 年以上経過しており、上記結果と合わせるとメンブレンパネルの劣化（目詰まり、破損等）が考えられた。

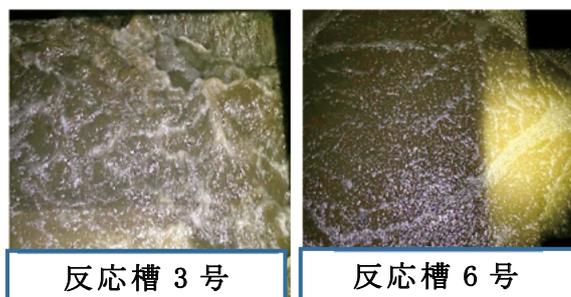


図 2 反応槽の目視点検（水面状況）

以上より、本手法は、散気装置の劣化状況を推測する手段として有効であり、今後の活用が期待される。

## (2) 酸素移動効率の経年変化の推定

反応槽（3、6、9号）の酸素移動効率の推移を図3に示す。

反応槽（3、6号）は、酸素移動効率が全体的に低下傾向を示し、散気装置の経年劣化（目詰まり、破損等）が徐々に進行しているものと推測される。なお、6号の散気装置は、平成31年に散気板から低圧損型メンブレンパネルに更新しており、酸素移動効率が更新前（20%程度）に比べ、更新後（30%程度）に大幅に上昇し、更新前後の違いを把握することができた。

一方、反応槽（9号）の酸素移動効率は、多少変動はあるものの設置当初の30%程度を維持しており、散気装置の劣化は進行していないと判断した。

本結果は、一部、過去データの無い水質項目について、相関のある他の項目から代用して算定しており、酸素移動効率の扱いは注意が必要であるが、散気装置の経年変化による劣化状況の傾向を把握するには有効と考えられる。

次に、図3の近似式から算定した各反応槽の酸素移動効率の推定値及び減少率を表4に示す。

酸素移動効率の減少率（10年後）は、散気板（6号）、従来型メンブレン（3号）、低圧損型メンブレン（9号）の順に小さくなる傾向を示した。

特に、低圧損型メンブレン（9号）の減少率（10年後）は、4.5%に留まっており、他の散気装置に比べ、劣化していなかった。

このことから、本結果は、あくまで推定値であるものの、定期的な散気装置の劣化状況の把握により、酸素移動効率の高い反応槽への水量分配による送風量削減等や劣化状況把握の支援ツールとしての活用が考えられる。

## 5. まとめ及び今後の取組み

散気装置の異なる反応槽の酸素移動効率を調査した結果、以下の知見が得られた。

- ・本手法により算定した酸素移動効率は、設置年の違いにより明確な差がみられ、メーカー設計値を大きく下回った反応槽は、水面が大きく波立ち、目視点検の状況と傾向が一致した。
- ・調査期間における酸素移動効率の変動係数は、10%以下と比較的安定した測定が可能であった。
- ・酸素移動効率の減少率（推定値）は、散気板（6号）、従来型メンブレン（3号）、低

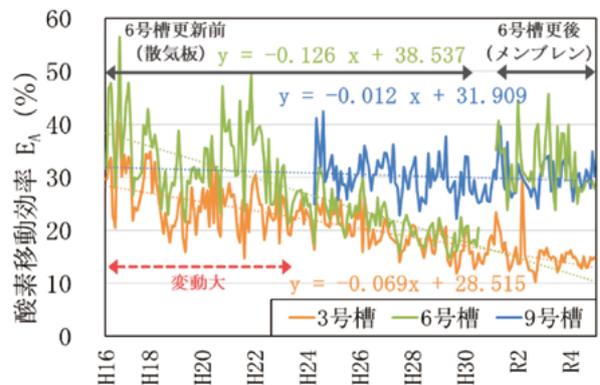


図3 酸素移動効率の推移

表4 酸素移動効率の推定値

反応槽	3号	6号 <sup>※1</sup>	9号	
	従来型メンブレン	散気板	低圧損型メンブレン	
稼働期間	H16年～現在	H12年～H31年	H24年～現在	
E <sub>A</sub> (%)	設置当初 <sup>※2</sup>	28.5	38.5	31.9
	5年後	24.4	30.9	31.2
	10年後	20.2	23.4	30.5
10年後の減少率	29.1%	39.3%	4.5%	

※1 6号槽は更新前（散気板）の値

※2 6号槽は平成16年時点の酸素移動効率

圧損型メンブレン（9号）の順に小さくなる傾向を示した。特に、低圧損型メンブレン（9号）の減少率（設置10年後）は、4.5%にとどまり、他の散気装置に比べ、劣化していなかった。

以上のことから、本手法により定期的（各試験に合わせて月一程度等）に酸素移動効率を算定することで、急な破損による性能低下の把握に活用可能と考えられた。

今後の取組みとして、①精度を維持しながら更に簡易で迅速に算定（設定値の簡略化等）できる手法の検討、②散気装置の更新時に併せて調査を行い、本手法の有効性を更に高め、劣化状況把握の支援ツールや効率的な水処理管理（水量配分調整、電力削減）等に活用していきたい。

## 参考文献

- 1) 日本下水道協会, 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2019年版, 293-296 377-381