

低動力型膜分離活性汚泥法

Energy-saving Membrane Bioreactor



丸野 紘史*
Hirofumi Maruno



島田 光重*
Mitsushige Shimada



石山 明*
Akira Ishiyama



三浦 雅彦*
Masahiko Miura
農学博士

当社は、従来の処理性能を維持したまま、曝気量を削減することを目的に、好気槽内に揺動担体を用いた低動力型膜分離活性汚泥法（MBR）を考案した。担体に汚泥を付着させることで、活性汚泥濃度を10 000 mg/L から5 000 mg/L に低減しても、従来と同等の水処理性能を維持させた。また、活性汚泥濃度を半減させると、総括酸素移動容量係数が2倍になることを確認し、生物処理向けの曝気量を削減することができた。さらに、50 m³/d 規模の実証運転を行った結果、本報で提案する低動力型 MBR の省エネルギー性を実証できた。

We designed noble low-aeration MBR. To reduce aeration volume, MLSS concentration was decreased from 10 000 mg/L to 5 000 mg/L. To keep nitrification activity, swinging bed carrier unit was installed in aeration tank. The carrier captured activated sludge and makes up for reduced biological activity. Moreover, we found out α -value, which is defined as the ratio of process water and clean water overall volumetric oxygen transfer coefficient, became 2-times higher, when MLSS concentration was decreased from 10 000 mg/L to 5 000 mg/L. We carried out verification test of low-aeration MBR using 50 m³/d scale pilot-plant. At this test, the aeration for biological treatment was reduced to 50 % and the treated water quality was the same level as that of conventional MBR system.

Key Words :

低動力型 MBR
揺動担体ユニット
総括酸素移動容量係数

Energy-saving MBR
Swinging bed carrier unit
Overall volumetric oxygen transfer coefficient

【セールスポイント】

従来の MBR に比べ、水質を維持したまま曝気量を削減でき、省エネルギーである。

まえがき

膜分離活性汚泥法（以下、MBR）とは、好気槽内に設置した膜ユニットにより固液分離を行う活性汚泥法である。そのため、最終沈殿池が不要であり、高い活性汚泥濃度（MLSS 濃度）を維持した運転が可能であるので、従来の活性汚泥法と比較して装置が小型になり、安定して良質な処理水を得られ

るなどのメリットを有している。MBR には、膜面洗浄曝気と生物処理向け散気（補助散気）が必要であり、これらの曝気量削減が動力コスト低減に直結する。膜面洗浄曝気については、曝気量削減可能性が報告されている¹⁾。一方、補助散気に関しては、MBR では MLSS 濃度が高く（10 000 mg/L 程度）、汚泥粘度が高いため、総括酸素移動容量係数が低

く、多大な曝気量が必要となる。そこで、本報では、補助散気の曝気量削減を目的とし、好気槽内に揺動担体を設置して微生物を保持させることにより、浮遊性の MLSS 濃度を低減 (5 000 mg/L) させ、総括酸素移動容量係数を改善させた低動力型 MBR を考案し、曝気量削減効果の実証試験を行った。

1. 理論

単純に補助散気の曝気量を低減しただけでは、好気槽内酸素濃度が低くなってしまい、生物処理に悪影響をおよぼす。そこで、生物処理に必要な酸素濃度を維持するためには、活性汚泥中への酸素の溶け込みやすさ、つまり、総括酸素移動容量係数を大きくする必要がある。

総括酸素移動容量係数は、曝気槽が単位時間に気相から液相へ酸素を移動させる、すなわち、溶存酸素を生成させる能力を示す係数である。また、Eckenfelder の経験式より、以下の条件式が成り立つ。

$$(K_L \cdot d_B / D) \cdot H_L^{1/3} = C \cdot (d_B \cdot V_B / v) \cdot (v / D)^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 K_L : 総括酸素移動係数 (m/h)

d_B : 気泡直径 (m)

V_B : 気泡上昇速度 (m/h)

H_L : 曝気深度 (m)

C : 係数 ($m^{1/3}$)

D : 分子拡散係数 (m^2/h)

$v (= \mu / \rho)$: 動粘性係数 (m^2/h)

さらに、単位体積当たりの気泡表面積 a (1/m) を次式で求める。

$$a = 6 \cdot G_S \cdot H_L / (d_B \cdot V_B \cdot V) \quad (2)$$

ここに、 G_S : 空気量 (m^3/h)

V : 容積 (m^3)

(1)(2) より、総括酸素移動容量係数 $K_L a$ は、

$$K_L a \propto (1/\mu)^{1/2} \quad (3)$$

ここに、 $K_L a$: 総括酸素移動容量係数

μ : 粘度

よって、活性汚泥の粘度を低減することで、総括酸素移動容量係数が増加し、曝気量を削減することが可能となる。

また、本報では低動力性の検証を行う上で、汚水と清水の総括酸素移動容量係数の比である α 値を

基に検証した。

2. 試験装置

本報で提案する低動力型 MBR の試験装置概要を表 1 に、概略図を図 1 に示す。また、写真 1 に試験装置の外観および、投入した揺動担体ユニットを示す。試験装置には、下水処理場の最初沈殿池の流入水を、スクリーンにて夾雑物を除去した後、無酸素槽に流入させた。処理方式は循環式硝化脱窒法である。好気槽には、揺動担体ユニットと浸漬型中空糸膜を設置し、また、膜面を洗浄するための膜面洗浄散気装置と活性汚泥への酸素供給のための補助散気装置を設置した。

表 1 試験装置の概要

		仕様
反応槽	無酸素槽	1.3 mW × 1.3 mL × 有効水深 3.7 mH
	好気槽	1.3 mW × 1.3 mL × 有効水深 3.7 mH
膜モジュール	形式	浸漬型中空糸膜モジュール
	材質	PVDF (ポリフッ化ビニリデン)
	膜面積	25 m ² /モジュール
	公称孔径	0.1 μm

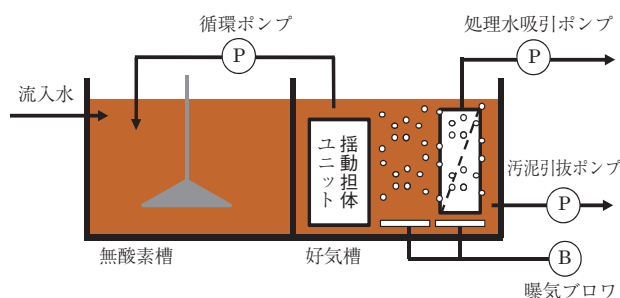


図 1 試験装置の概略図



写真 1 試験装置の外観および揺動担体ユニット

3. MLSS 濃度、粘度および α 値の関係

1 章において、活性汚泥の粘度 μ を低減すると総括酸素移動容量係数が増加し、曝気量を削減できることが示された。

そこで、MLSS 濃度が 4 000 mg/L ~ 13 000 mg/L の範囲で活性汚泥の粘度を測定し、MLSS 濃度と汚泥粘度の関係を調査した。また、MLSS 濃度 10 000 mg/L 程度（従来 MBR 相当）と MLSS 濃度 5 000 mg/L 程度（低動力型 MBR の想定）で総括酸素移動容量係数を測定し、清水での総括酸素移動容量係数との比である α 値を算出して、それぞれの関係性を調査した。

MLSS 濃度と汚泥粘度の関係を図 2 に示す。MLSS 濃度を 10 000 mg/L から 5 000 mg/L に低減すると、汚泥粘度は約 1/4 に低減することが確認できた。

つぎに、MLSS 濃度と α 値の関係を図 3 に示す。また、MLSS 濃度と α 値の既往研究結果^{2), 3), 4)} を同図に示す。

MLSS 濃度を 10 000 mg/L から 5 000 mg/L に低減すると、 α 値は約 2 倍となることが確認できた。つ

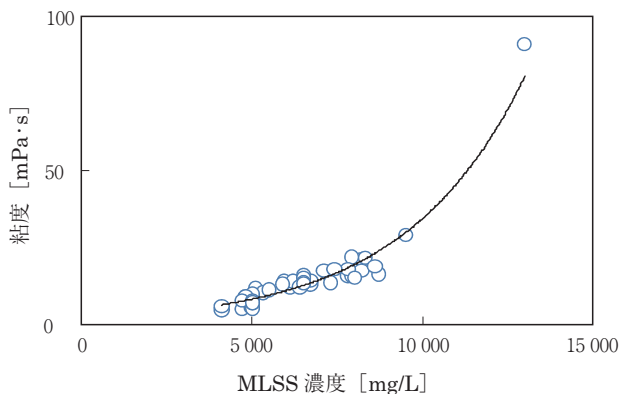


図 2 MLSS 濃度と汚泥粘度の関係

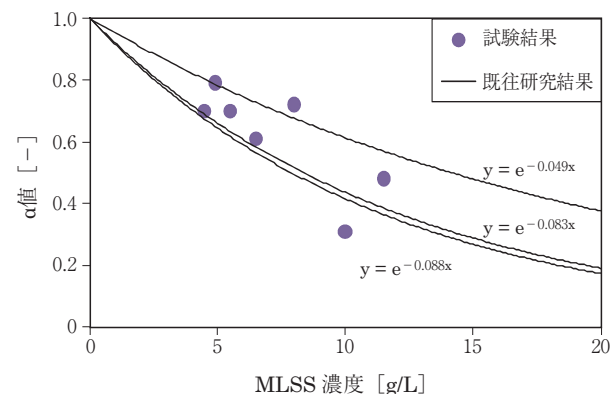


図 3 MLSS 濃度と α 値の関係

まり、MLSS 濃度を 10 000 mg/L から 5 000 mg/L に低減すると、汚泥粘度が 1/4 に、 α 値が約 2 倍になり、1 章で述べた関係式 (1) と整合する。また、既往の研究結果^{2), 3), 4)} とも、おおむね一致していることが確認できた。

以上のことから、本報で提案する低動力型 MBR では、補助散気量を従来の約半分で運転することが可能であると考えられた。

4. 低動力型 MBR の実証試験

4.1 試験条件

実証試験設定条件を表 2 に示す。なお、曝気量は、本試験対象下水を従来 MBR で処理するのに必要な量を基準に、それぞれ比で表示した。膜面洗浄曝気は従来 MBR と同量のままとし、好気槽内溶存酸素 (DO) 濃度維持のための補助散気のみ曝気量を半減させた。

表 2 に示した設定条件で MBR の運転を行い、好気槽内 DO 濃度、処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、T-N 濃度、および、BOD 濃度の推移を調査した。

また、汚泥保持のための揺動担体は、MLSS 濃度を 10 000 mg/L から 5 000 mg/L に低減することにより失われた生物処理能力を補う量を設置した。なお、比較対象として、表 2 に示す条件で従来 MBR による運転も実施し、同様の調査を行った。

4.2 試験結果

試験運転結果を表 3 に示す。なお、MLSS 濃度、原水中および処理水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、T-N 濃度および BOD 濃度は試験期間中の平均値を示す。

好気槽内 DO 濃度はどちらも 2 mg/L 以上を維持できており、生物処理に十分な DO を維持できていることを確認できた。

また、各々の試験において、原水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、T-N 濃度および BOD 濃度は、ほぼ同等であり、一般的な下水よりも窒素濃度が高い値であった。低動

表 2 試験条件

	単位	曝気量削減型	従 来
MLSS 濃度	mg/L	5 000	10 000
揺動担体	-	有	無
処理水量	m ³ /d	37.5	37.5
曝気量 (膜面洗浄曝気)	-	1	1
曝気量(補助散気)	-	1	2
曝気量(合計)	-	7	10

表3 試験結果

	単位	曝気量削減型	従来	
揺動担体	-	有	無	
MLSS 濃度	mg/L	Ave. 5 500	Ave. 10 500	
曝気量	膜面洗浄曝気	-	1 : 1	
	補助散気	-	1 : 2	
	合計	-	7 : 10	
DO	mg/L	≥ 2	≥ 2	
原水中	NH ₄ -N 濃度	mg/L	Ave. 54.6	Ave. 49.4
	T-N 濃度	mg/L	Ave. 77.3	Ave. 61.3
	BOD 濃度	mg/L	Ave. 284	Ave. 300
処理水中	NH ₄ -N 濃度	mg/L	Ave. < 1	Ave. < 1
	T-N 濃度	mg/L	Ave. 6.9	Ave. 8.7
	BOD 濃度	mg/L	Ave. < 5	Ave. < 5

力型 MBR の処理水中 NH₄-N 濃度は 1 mg/L 未満、T-N 濃度 6.9 mg/L、BOD 濃度は 5 mg/L 未満と、従来 MBR による試験での処理水質と同等の処理水質が得られることが確認できた。

以上のことより、全体の曝気量を約 30 % 削減した低動力型 MBR を実証できた。

むすび

低動力型 MBR の実証試験の結果から、以下の知見が得られた。

- ・ MBR の好気槽内に揺動担体を設置することにより、MLSS 濃度を従来 MBR の 1/2 の 5 000 mg/L 程度にすることができ、汚泥粘度を低減して α 値

を高められることを確認した。

- ・ 低動力型 MBR で、従来 MBR と比較して補助散気量を 50 % 削減して運転を行い、好気槽内の生物処理に必要な溶存酸素濃度を維持できることを確認した。
- ・ 低動力型 MBR においても、従来 MBR と同等の良質な処理水が安定して得られることを確認した。

また、MBR は単なる下水処理にとどまらず、RO 膜による下水処理利用の前処理として適用できる。周南市では、下水再利用と海水淡水化を組合わせた低動力造水システムの実用化を検討しており、さらなる低動力化の観点から本研究を実施した。本低動力型 MBR を適用することにより、再生水の造水コスト低減を図ることができると考えられる。

最後に、本研究実施にあたり、周南市には試験場所や原水の提供などご協力いただきました。ここに感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) 石山ら 2005 膜分離活性汚泥法の維持管理コスト縮減に関する検討 第42回下水道研究発表会講演集, p.762-764
- 2) Rosenberger, S. 2003 Charakterisierung von belebtem Schlamm in Membranbelebungsreaktoren zur Abwasserreinigung. Dissertation, TU Berlin, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 3 Nr. 769, VDI Verlag, Dusseldorf.
- 3) Krampe, J., and Krauth, K., 2003 Oxygen transfer into activated sludge with high MLSS concentrations. *Water Sci. Technol.*, 47, 297-303
- 4) Gunder, B. 2001 The membrane coupled activated sludge process in municipal wastewater treatment. *Technomic Publishing Company Inc.*, Lancaster.

*商品市場・技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室