

B-30 槽浸漬型膜分離活性汚泥法における窒素除去特性

武蔵工業大学大学院 ○工藤 千里
武蔵工業大学工学部 長岡 裕

1. はじめに

沿岸地域における水環境の保全には、排水から窒素を除去することが重要であり、高度の窒素除去技術を持った小規模排水処理施設の開発が求められている。槽浸漬型膜分離活性汚泥法は反応槽に直接膜を浸漬し、ポンプによって吸引して透過液を得るもので、硝化脱窒を組み合わせてることによって、窒素を良好に除去することが出来る。

槽浸漬型膜分離活性汚泥法の問題点として菌体および菌体による代謝物質の堆積による膜の目詰まりがある。膜が目詰まりすると膜透過流束が低下し、膜間吸引圧が上昇する。本研究の目的は間欠曝気式膜分離活性汚泥法において生物による膜目詰まりモデルを開発し、膜目詰まりにおける間欠曝気の効果を検討したものである。

2. 実験装置および方法

Fig.1に実験装置の概略図を示す。有効容積20Lの塩ビ製反応槽に膜モジュールを直接浸漬した。膜モジュールはポリスルホン製MF平膜で、孔径 $0.2\mu\text{m}$ のものを用いた。5組の膜モジュールを膜間17mmの間隔で設置した。総膜面積は 0.288m^2 である。人工下水の組成をTable1に示す。酢酸を炭素源、塩化アンモニウムを窒素源とした濃縮人工下水を反応槽に連続的に投与した。TOC容積負荷はおよそ 0.5gTOC/L/day に設定した。反応槽の水位を一定に保つためレベルセンサーを設置し、人工下水の他水道水を供給した。反応槽内の液温を一定に保つため温度調整槽を設けた。設定水温は 20°C とした。

曝気は間欠的に（曝気30分、曝気停止30分）行い、反応槽内の環境を好気状態、無酸素状態と変化させた。膜透過液は曝気運転時のみ得られるようにした。膜透過流束は 0.25m/day 、送気量は 44L/min とした。曝気停止時にのみ 14000rpm でプロペラを回転させ、混合液を攪拌した。曝気

停止時も考慮に入れた流入基質の水理学的滞留時間は13hである。

小規模下水処理場から余剰汚泥をもらい、これを種汚泥とした。反応槽に入れ運転を開始し、流入水、膜透過液に対してアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素およびTOCを経日測定し、窒素除去率および有機物除去率を求めた。反応槽内におけるMLSS濃度、溶存酸素、pH、ORP、混合液粘度を測定した。混合液中の菌体外高分子ポリマー濃度(extracellular polymer substance:以下EPS)は5日または10日毎に測定した。EPSの抽出方法は¹⁾は 0.1N のNaOHにより菌体に付着している代謝物質のみを分離し、TOC濃度を測定した。溶出させるものである。運転は46日間行った。実験開始後39日目に水位センサーの故障により透過液を反応槽に戻し、循環させた。

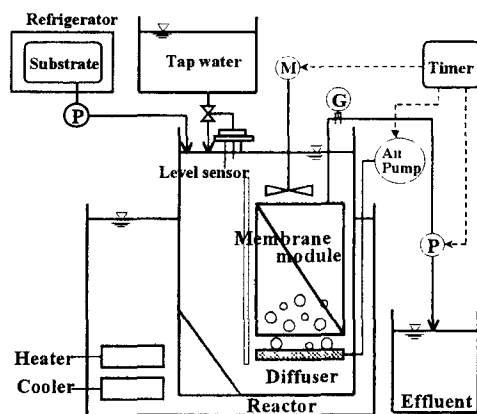


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup.

Table1 Composition of synthetic wastewater (g/L)

Acetic acid	31.6	MgSO ₄	0.2
NH ₄ Cl	8.6	KCl	0.2
KH ₂ PO ₄	1.3	NaCl	0.2
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.1	NaHCO ₃	49.8
CaCl ₂	0.2		

3. モデル式

Nagaoka et.al.¹⁾が開発した数学的モデルを用いて運転における吸引圧およびろ過抵抗の時間変化を検証した。

浮遊菌体濃度 (MLSS) の変化は次式のように簡単にモデル化した。

$$\frac{dx}{dt} = Y \cdot L - k_{dx} \cdot x \quad (1)$$

x : MLSS 濃度 (g L^{-1}), Y : 収率 (g-MLSS/g-TOC), L : TOC 容積負荷 ($\text{g L}^{-1}\text{day}^{-1}$), k_{dx} : 活性汚泥死滅速度定数 (day^{-1}), t : 時間 (day).

混合液中の EPS 濃度は菌体の増殖に伴い一定速度で生成され、一次反応に従って分解されると考えた。

$$\frac{dp}{dt} = \beta \cdot Y \cdot L - k_{dp} \cdot p \quad (2)$$

p : 浮遊性 EPS 濃度 (g m^{-3}), β : MLSS 増殖に伴う EPS 生成比 (g-EPS/g-MLSS), k_{dp} : EPS 分解速度定数 (day^{-1}).

EPS は膜透過流束によって膜面へと付着する。また EPS は気泡やクロスフロー流速によって生じるせん断力によって剥離する。せん断力と吸引力によって生じる静止摩擦力のバランスを考慮に入れて剥離速度を表すと、

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot p - k_{dm} \cdot m \quad (3)$$

$$k_{dm} = \gamma(\tau_m - \lambda_m \cdot \Delta P) \quad (k_{dm} \geq 0) \quad (4)$$

m : 膜面付着 EPS 重量 (kg m^{-1}), J : 透過フラックス (m day^{-1}), k_{dm} : 膜面での EPS 剥離速度 (day^{-1}), γ : 定数 (day Pa), τ_m : せん断力 (Pa), λ_m : 静止摩擦係数 (-), ΔP : 膜間差圧 (Pa).

膜面に付着した EPS は吸引力によって徐々に圧密する。

$$\frac{d\alpha}{dt} - k_a(\alpha_\infty - \alpha) \quad (5)$$

$$\alpha_\infty = \alpha_0 + \alpha_p \cdot \Delta P \quad (6)$$

α : EPS 比抵抗 (m kg^{-1}), k_a : 圧密を考慮した速度定数 (day^{-1}), α_∞ : 最大 EPS 比抵抗 (m kg^{-1}), α_0 : 初期 EPS 比抵抗値 (m kg^{-1}), α_p : 定数 ($\text{m kg}^{-1}\text{Pa}^{-1}$)

ろ過抵抗は圧密した EPS 層の抵抗と膜自体の抵抗を足しあわせたものとした。

$$J = \frac{P}{\mu \cdot R} \quad (7)$$

$$R = \alpha \cdot m + R_{memb} \quad (8)$$

R : ろ過抵抗 (m^{-1}), μ : 透過液の粘度 (Pa day), R_{memb} : 膜ろ過抵抗 (m^{-1}).

(1) から (8) 式を使ってルンゲクッタ法により 30 分の時間間隔で初期状態を計算した。好気状態においてはフラックス J を一定とし、膜間差圧 ΔP を変化させて計算した。無酸素状態においてはフラックス、膜間差圧ともにゼロとした。

連続曝気運転において (1) から (8) 式を用いて浸漬型膜分離活性汚泥法をシミュレートすることが出来ている¹⁾。本シミュレートにおいても k_{dp} を除いて連続曝気運転の設定パラメータ値を用いた。設定パラメータ値を以下に示す。

$$Y=0.5\text{g-MLSS/g-TOC}, \quad k_{da}=0.022\text{day}^{-1},$$

$$\beta=0.015\text{g-EPS/g-MLSS}, \quad k_{dp}=0.040\text{day}^{-1}\text{Pa}^{-1},$$

$$\lambda_m=0.00007, \quad k_a=0.04\text{day}^{-1}, \quad \alpha_0=5 \times 10^{11} \text{ m kg}^{-1},$$

$$C_{wp}=9 \times 10^{11} \text{ m kg}^{-1} \text{ Pa}^{-1}, \quad \mu=0.0010 \text{ Pa day},$$

$$\text{運転パラメータは以下のように設定した。}$$

$$\tau_m=5.0 \text{ Pa (曝気時)}, \quad \tau_m=1.0 \text{ Pa (曝気停止時)},$$

$$R_{memb}=2 \times 10^{12} \text{ m}^{-1}$$

4. 結果および考察

Fig.2 に運転中の MLSS 濃度の経日変化、計算結果を示す。実験開始 30 日後 MLSS 濃度が徐々に減少した。これは反応槽から汚泥があふれ出たことをきっかけに減少したと考えられる。

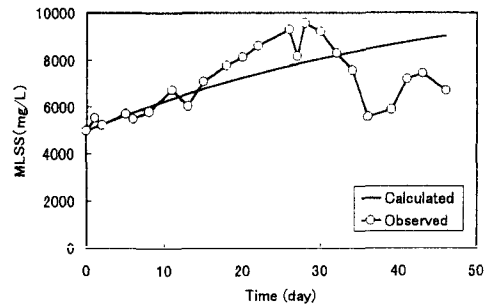


Fig.2 Change of MLSS concentration.

Fig.3 に流入水および透過液の全窒素濃度の経日変化を示す。流入水の全窒素濃度はアンモニア性窒素濃度をそれとした。また透過液の全窒素濃度は無機性窒素 (アンモニア性窒素, 亜硝酸性窒素)

素および硝酸性窒素の合計量)とした。実験開始13日後から透過液の全窒素濃度が5mg/L以下となりほぼ95%脱窒されている。窒素除去率は46日後に突然低くなっているが微生物の活動が低下したためと考えられる。

Fig.4 に混合液中の EPS 濃度の経日変化を示す。濃度は徐々に減少する傾向が見られた。

Fig.5 に膜間差圧の実験結果と計算結果を示す。EPS の圧密および EPS に働く力などを考慮したモデルにより指数的に増加している吸引圧の変化を示すことが出来た。Nagaoka et.al.¹⁾のモデルおよび設定パラメータ値 (EPS の圧密速度定数を除く)を用いて、間欠曝気式浸漬型膜分離活性汚泥法を示すことが出来た。

Fig.6 に MLSS 濃度と混合液粘度の関係を示す。また連続曝気運転において得られた結果²⁾も同時に示す。間欠曝気運転では粘度が連続曝気運転よりも低い。混合液粘度の上昇が EPS の蓄積によって起こると仮定するならば、間欠曝気運転が EPS の分解を促進すると推測できる。微生物の環境に EPS の分解速度は依存するので、モデルの EPS 分解速度のみを調節することによって、このモデルは連続曝気運転においても間欠曝気運転においても適用できることが示された。

5. 結論

浸漬型膜分離活性汚泥法に30分の間欠曝気運転を組み合わせることによって、窒素をおおよそ95%と良好に除去することが出来た。槽浸漬型膜分離活性汚泥法において菌体外高分子ポリマーの性質(生成、分解、膜面への堆積および圧密)を考慮に入れた数学的モデルを開発し、実験結果と同様の傾向を示すことが出来た。

膜分離活性汚泥法に生物学的窒素除去法を組み合わせることにより、EPS の分解は間欠曝気によって促進され、通常の膜分離活性汚泥法よりも膜目詰まりを抑制する効果があることが分かった。

参考文献

- 1) Nagaoka,H., Yamanishi,S and Miya, A.(1998). Modeling of bio-fouling by extracellular polymers in membrane separation activated sludge system. *Wat. Sci. Tech.*,(accepted)

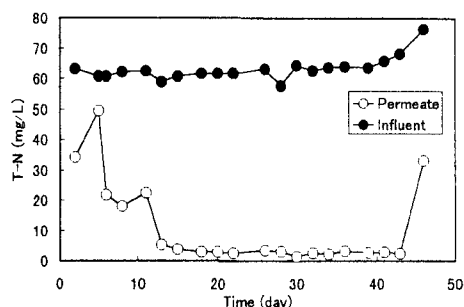


Fig.3 Change of total-nitrogen concentration in the influent and the permeate.

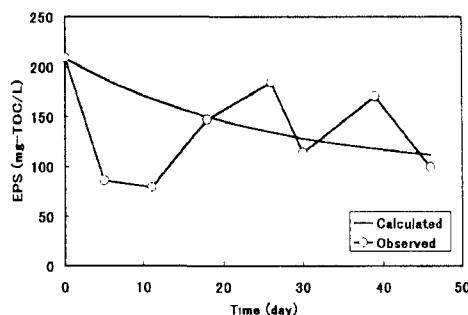


Fig.4 Change of EPS concentration in the mixed liquor.

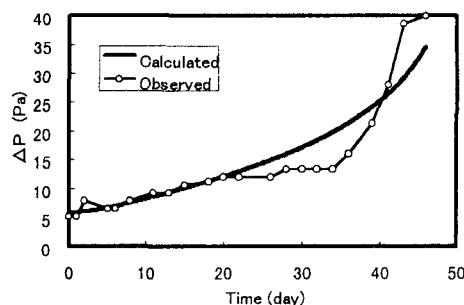


Fig.5 Change of trans-membrane pressure.

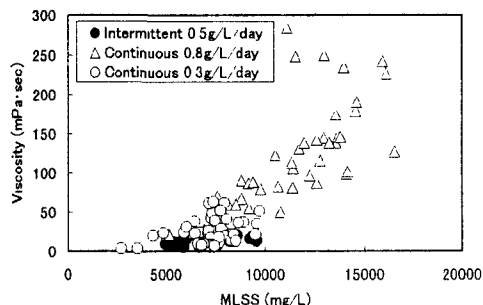


Fig.6 Relationship between MLSS concentration and viscosity of mixed liquor .