

浸漬型膜分離活性汚泥法における平膜面への汚泥堆積過程

広島大学大学院 正会員 ○尾崎 則篤
パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 八馬 正幸

1. はじめに

浸漬型膜分離活性汚泥法は、①処理水質が汚泥の沈降性に左右されないこと、②微生物の高濃度保持と分散状態の高活性維持により高度な有機物分解性が期待できること、③反応槽内の曝気によって生じる気泡流を利用することで膜面堆積物の剥離が可能となること等と利点が多い。しかしその一方で、懸濁質の膜面への堆積による膜目詰まりが原因となって生じる膜の透水性能の低下や、分離特性の変化等の問題点も有する。

本研究では、膜面への汚泥堆積メカニズムの解明を目的として、MF 平膜を用いた混合液浮遊物濃度 (MLSS : Mixed Liquor Suspended Solid) が約 20000mg・ℓ 程度の高濃度活性汚泥懸濁液のろ過を行い、膜面近傍の水理学的状況と汚泥堆積過程との関連を検討した。さらに、膜透過水の水質分析を行い、膜面への汚泥堆積ろ過特性に及ぼす影響を評価した。

2. 実験方法

膜ろ過実験に用いた活性汚泥懸濁液は、グルコース、ペプトンを中心とした基質を用いて MLSS が 20000mg・ℓ 程度で一定となるよう馴致し、1日1回の Fill and draw によって SRT を 30 日に保った。TOC 容積負荷は 0.4kgC・m⁻³・d⁻¹、水温は 20℃ 一定とした。膜ろ過実験は、Fig. 1 に示すように、有効容積 62.5ℓ のリアクター内にクボタ社製の MF 平膜（分画径：0.4μm）を浸漬させ、連続吸引によってろ過を行った。膜面近傍の水理学的状況を左右する因子として、初期透過フラックス、曝気線速度、膜間距離を考え、実験毎に初期透過フラックスを 0.2, 0.5, 1.0m・d⁻¹、曝気線速度（曝気量/流路断面積）を 0.02~0.2m・s⁻¹、膜間距離を 5, 10, 20mm の範囲内でかえて実験を行った。

本研究では、汚泥堆積に影響を与える水理学的因子として、膜面に生じるせん断応力に着目し、清水中でせん断力の実測を行った。せん断力の実測実験には、膜ろ過実験に用いたリアクターと同様のものを用いた (Fig. 1)。せん断力は、サンプリング周波数 10Hz、1回あたりのサンプリングデータ数 100 個として、測定間隔 1 分で 10 回測定を行った。

3. 結果と考察

3.1 汚泥堆積過程

初期透過フラックス 1.0m・d⁻¹ 及び 0.5m・d⁻¹ で膜ろ過を行った場合の汚泥堆積量の経時変化を Fig. 2 に示す。凡例括弧内の数字はそれぞれ（初期透過フラックス

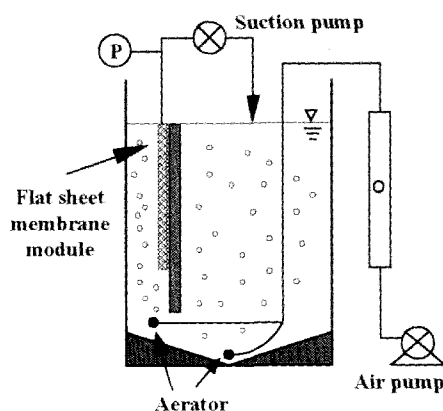


Fig. 1 Experimental set-up.

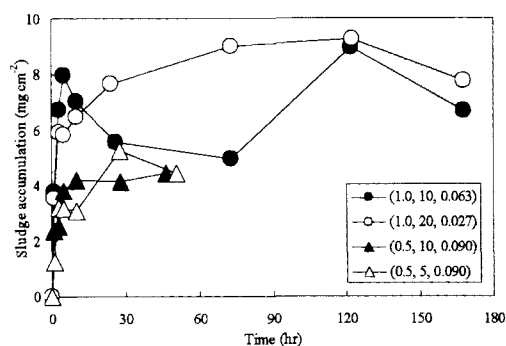


Fig. 2 Variation of sludge accumulation.

(m・d⁻¹), 膜間距離 (mm), 曝気線速度 (m・s⁻¹)) を示す。

Fig. 2 に示すように、全ての実験において汚泥堆積量は、膜ろ過開始直後から 10 時間後までに急激に上昇し、その後ほぼ一定に推移する結果となった。

また、Fig. 2 中には示していないが、初期透過フラックス 0.2m・d⁻¹ で膜ろ過を行った場合、膜面への汚泥堆積はほとんど生じなかった。このことから、初期透過フラックス 0.2m・d⁻¹ で膜ろ過を行った場合は膜面への汚泥堆積はほとんど生じないと考えられる。

Fig. 2 を見ると、汚泥堆積量は膜ろ過開始後、直線的に上昇し、その後次第に増加が緩やかになり、ほぼ一定に推移するという傾向を見出すことができる。このことから、膜面への汚泥堆積過程は次式より求められる汚泥堆積速度及び平衡汚泥堆積量によって説明され得ると考えられる。

$$C = C_e \cdot (1 - \exp(-\frac{k}{C_e} \cdot t)) \quad (1)$$

ここで、C : 汚泥堆積量 [mg・cm⁻²]、C_e : 平衡汚泥堆

積量 $[\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}]$, k : 汚泥堆積速度 $[\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}]$ を示す。

ここで、膜間距離10mmの場合の式(1)より求められる平衡汚泥堆積量と曝気線速度の関係をFig. 3に示す。なお、汚泥堆積速度についてもFig. 3と同様の傾向であった。

Fig. 3より、平衡汚泥堆積量は、初期透過フラックスが高くなるにつれて増加する傾向にあることが分かる。また、曝気線速度が上昇するにつれて減少する傾向にあることが分かる。

3.2 汚泥堆積過程に影響を与える水理学的因子

Fig. 4に、初期透過フラックス $0.5\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ の場合の、実測より得た膜面せん断応力と平衡汚泥堆積量の関係を示す。なお、汚泥堆積速度についてもFig. 4と同様の傾向であった。

Fig. 4に示すように、膜面せん断応力が上昇するにつれて平衡汚泥堆積量が減少する傾向にあることが分かる。しかしながら、詳細に見た場合、同じ膜面せん断応力においても膜間距離が大きくなると、平衡汚泥堆積量が増加していることが分かる。このことから、汚泥堆積過程は膜面せん断応力によってある程度説明され得るが、膜間距離の影響を完全に説明することはできないと考えられる。

3.3 汚泥堆積のろ過特性への影響

Fig. 5に膜ろ過開始時及び終了時の各水質項目の除去率の平均値、最大値、最小値を示す。なおFig. 5中のFIは、三次元励起蛍光スペクトル測定法で得られた結果のうち、フミン質に由来するピークとされる励起波長335nm、蛍光波長435nmの蛍光強度を示す。

Fig. 5より、DOCは、汚泥堆積によって除去率が上昇していることが分かる。しかし、DOC中に含まれると考えられる他の水質項目では、汚泥堆積による効果は顕著に見られず、いずれの実験においても低い除去率となった。特にタンパク質においては、汚泥堆積によって除去率が低下しており、またその値が負になっていることから、膜面堆積汚泥への濃縮によってタンパク質が溶出していることが示唆された。

また、初期透過フラックス $0.2\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ の場合(Fig. 6)、汚泥堆積はほとんど生じなかったが、その時の除去率は、DOCは膜ろ過前後で15%程度上昇し、他の水質項目は膜ろ過前後で変化なくほぼ0%であった。

4. まとめ

1) 膜面への汚泥堆積は、初期透過フラックスの影響が特に大きいことが分かった。次いで、曝気線速度、膜間距離が影響し、これらは膜面せん断応力によって説明が可能であることが分かった。ただし、膜間距離の影響を完全に説明するまでは至らなかった。

2) 汚泥堆積によってDOC除去率は上昇するが、タンパク質除去率は低下することが分かった。 E_{260} 、FI(335/435)は、汚泥堆積の影響はほとんど見られなかった。

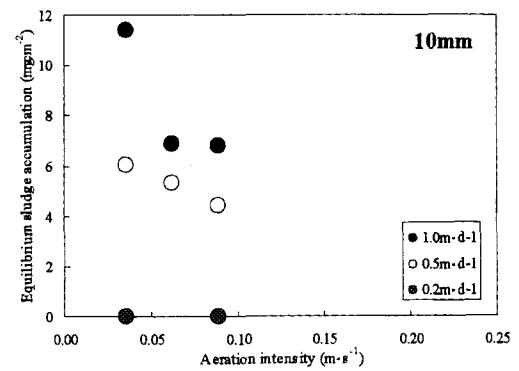


Fig. 3 Relation between aeration intensity and equilibrium sludge accumulation.

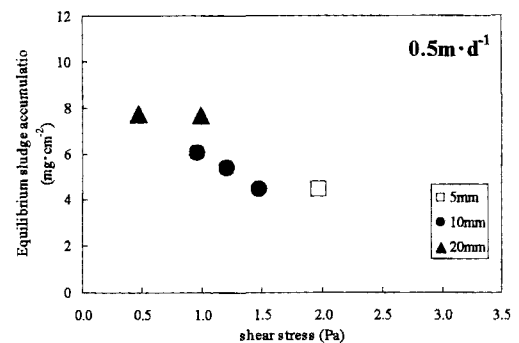


Fig. 4 Relation between shear stress and equilibrium sludge accumulation.

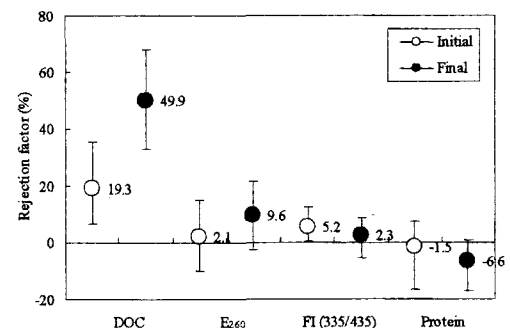


Fig. 5 Rejection factors for each item.

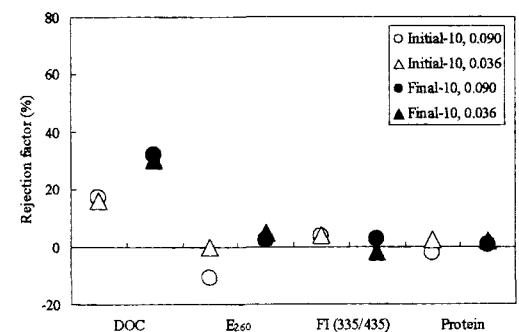


Fig. 6 Rejection factors for each item ($0.2\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)