

## メンブレンモジュール表面上に設置したバッフル棒の効果 PTV法を用いた流体挙動計測による考察

函館高専 正会員 大久保 孝樹  
 東京大学 正会員 山本 和夫  
 横浜国大 西野 耕一

### 1. はじめに

膜分離活性汚泥法(MBR)は、最終沈澱池が必要でないことや高度の処理水(SS, BOD, COD など)が得られこと、さらに、汚泥滞留時間が長くなることによる余剰汚泥の削減など、多くのメリットがある。しかし、欠点もあり、膜によって活性汚泥と処理水を分離するため、膜が目詰まりを起こすファウリングという現象を生じる。このファウリングには、可逆的ファウリングと不可逆的ファウリングがあり、可逆的ファウリングは逆洗や膜表面のエアースクラビングによって低減され、不可逆的ファウリングでは、薬品洗浄する必要がある。可逆的ファウリングの低減のために行われているエアースクラビングは、曝気のために多大のエネルギーを消費しており、MBRの大きな欠点となっている。次世代型のMBRとして、この欠点を解消した省エネルギー型のMBRの開発が望まれている。

本研究では、チャレンジ的な研究の一つとして低エネルギーの低流速条件下(平均流速約1.0 cm/s)で、ファウリングの低減効果のために、メンブレンモジュール表面上にいかに逆流やリフトアップフローなどの揺らぎを生じさせ得るかを流体力学的に考察した。本実験で用いたメンブレンモジュールは中空糸を束ね、プレフィルター(不織布)で被った直方体型のモジュールであり、モジュール表面上に揺らぎを生じさせるもとなる渦を生じさせるためのバッフル棒を設置してある。今までの研究では<sup>1)2)</sup>、バッフル棒をモジュール表面から離れた場合の方が接触させた場合の条件より、効率的に後流渦が生じることを確認し、バッフル棒間隔(36 mm, 60 mm)は狭い方が後流渦を良好に発生することを確認している。バッフル棒径(6mm, 8mm, 10mm)に関しては、動画により径が大きい方が大きい渦を生成させる傾向にあることも確認している。バッフル棒間隔が36 mmの狭い方が後流渦が良好に発生する理由として、



図-1 実験装置の写真



図-2 ミクロ領域の測定位置  
(青色テープの右側)

図-3 マクロ領域の測定画面  
(右側が後方バッフル棒)

後方バッフル棒の存在が渦に何らかの影響を及ぼしている可能性が高いという点が挙げられる。この点を踏まえ、今回の実験研究ではモジュール表面上の後方バッフル棒を含めた約23mm×17mmのマクロ領域で流体挙動を計測することを試みた。さらに、バッフル棒間中央のモジュール表面近傍の約2mm×2mmの領域であるミクロ領域の流体挙動も計測を行い、逆流やリフトアップフローの存在を確認することも目的とした。

### 2. 実験装置、実験方法

図-1に実験装置の写真を示す。実験に必要な器材を以下に示す。流体計測用チャンバー、バッフル棒を装着したメンブレンモジュール、実体顕微鏡、青色レーザー、バンドパスフィルター、蛍光パーティクル(5 $\mu$ m)、CCDカメラ、画像取込用のコンピュータ。

図-2にバッフル棒間中央付近のモジュール表面上約2mm×2mmの領域(ミクロ領域)の計測位置を示す。青色テープの右側のモジュール表面がミクロ領域の計測位置である。図-3は、後方バッフル棒を含めた計測範囲

キーワード：MBR、メンブレンモジュール、省エネルギー、流体挙動、PTV法、バッフル棒  
 連絡先：〒042-8501 函館市戸倉町14-1 函館工業高等専門学校 社会基盤工学科 TEL 0138-59-6487

画像である。バッフル棒中央付近より後方のバッフル棒を含めた約 23 mm × 17 mm のマクロ領域である。モジュール表面上の流体挙動の計測では、蛍光パーティクルを青色レーザーによって蛍光発色(緑色)させ、青色レーザーのモジュール表面上での照り返し除くために緑色の光(蛍光色)のみを透過するバンドパスフィルターを実体顕微鏡の対物レンズに装着した。

CCD カメラと画像取込用コンピュータによって取得された画像は、画像処理され PTV 法によって流速ベクトルを解析した。さらに、流速ベクトルの動画を MicroAVS によって作成し可視化できるようにした。

3. 実験結果および考察

図-4 は、バッフル棒無しの場合のマクロ領域(約 23 mm × 17 mm)とミクロ領域(約 2 mm × 2 mm)の流体挙動であり、大きな揺らぎがほとんどなく一定方向(上昇流方向)に流れている。

図-5 は、バッフル棒径 8 mm における後方バッフル棒前面のマクロ領域の 1 秒間隔の流体挙動である。それぞれのバッフル棒径を代表長さとしたレイノルズ数は、径 6 mm で  $Re=60$ 、径 8 mm で  $Re=80$ 、径 10 mm で  $Re=100$  と

なる。一般に境界のない領域での円柱によるカルマン渦列の生成レイノルズ数範囲は 40 ~ 200 と言われており、本実験の条件はこの範囲に入っている。後流渦が生成されたこれらの画像を見ると、前方バッフル棒(この画像には写っていない)によって生成された後流渦が、後方バッフル棒前面のバッフル棒下面の隙間に流れ込む流れによって、維持強化生成されている様子が伺える。この現象は、バッフル棒径 6 mm、10 mm の場合にも生じており、バッフル棒間隔が狭い方(36 mm)が渦の生成にとって良好であるという現象を説明できる。

図-6 は、バッフル棒間中央のモジュール表面近傍(約 2 mm × 2 mm のミクロ領域)の 1 秒間隔の流体挙動を示したものである。この図は、バッフル棒径 8 mm の場合であり、後流渦の通過とともに逆流やリフトアップフローが生じていることがわかる。バッフル棒径 6 mm と 10 mm の場合では、これほど極端なリフトアップフローを生じている画像に当らなかった。10 秒間 1000 フレームの画像をランダムに 5 回計測しているが、高々 10 秒間なので、このような現象が 6 mm、10 mm の径のバッフル棒で生じている可能性は高い。

4. まとめ

バッフル棒間隔が後流渦の生成に影響を与え、間隔が狭い方(36 mm)が後方バッフル棒底面の隙間に流れ込む流れによって後流渦を維持強化生成している。

ファウリングを低減する可能性のある逆流やリフトアップフローの存在を確認できた。

(文 献)

- 1) 大久保・山本・西野：土木学会年講平成 25 年度 -052
- 2) 大久保：NEDO 成果報告書(Web に掲載)平成 26 年

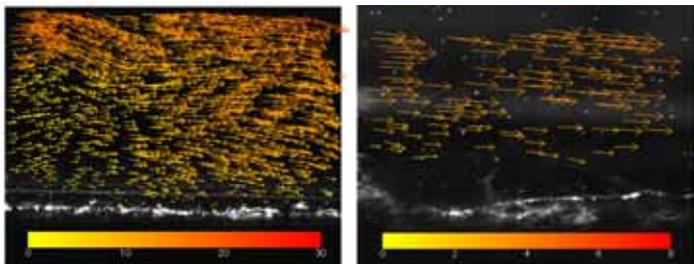
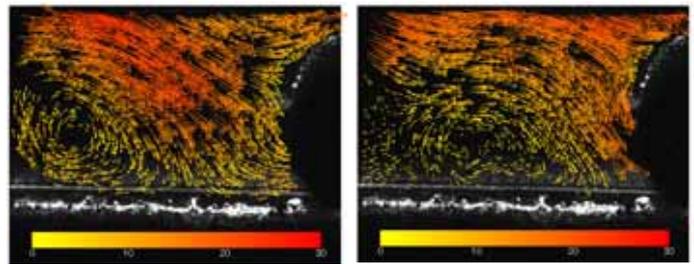
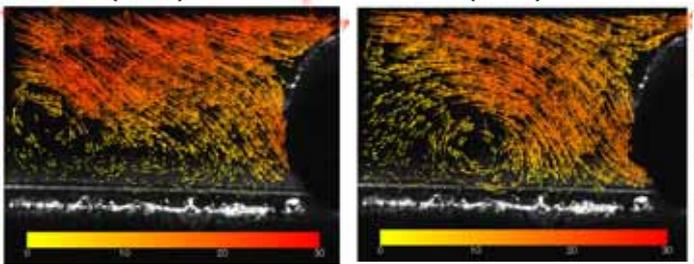


図-4 バッフル棒無しの場合のマクロ領域とミクロ領域の流体挙動(左：マクロ領域、右：ミクロ領域)：単位 mm/s



(0sec)

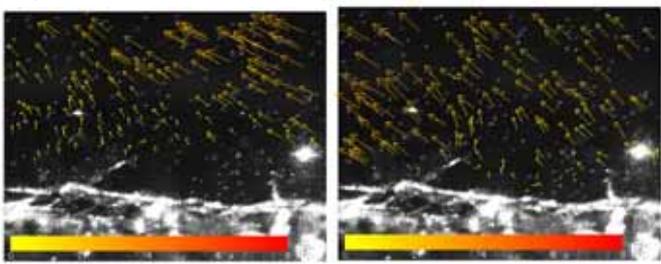
(1sec)



(2sec)

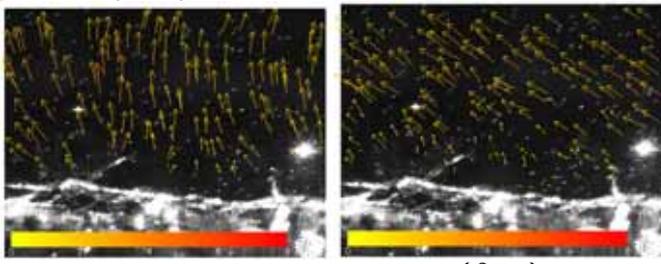
(3sec)

図-5 後方バッフル棒前方のマクロ領域の流体挙動(バッフル棒径 8 mm の場合)：単位 mm/s



(0sec)

(1sec)



(2sec)

(3sec)

図-6 バッフル棒間中央のミクロ領域の流体挙動(バッフル棒径 8 mm の場合)：単位 mm/s