

平膜表面近傍のマイクロ流れに関する研究

函館高専 環境都市工学科 大久保 孝樹
函館高専 環境システム工学専攻 須川 香苗(学生)

1. 実験方法および実験計測装置

1.1 活性汚泥によって馴致した平膜上の生物膜形成状態について(吸引ろ過無しの状態)

活性汚泥は、下水処理場の返送汚泥を人工下水(表1)によって1ヶ月以上半連続的に馴致したものをを用いた。平膜上に生物膜を形成させる目的で、反応層の壁面に平膜を付けたパッチを付着させ、半連続的に生物膜を馴致した。基質を投入する前のTOCは約50mg/lであり、基質投入後のTOCは約150mg/lであった。平膜は東レ社製(PVDF製精密ろ過膜)であり材質の性能も関連し、なかなか生物膜が付着せず、1ヶ月馴致して平膜の表面の色が多少薄茶色に変化した程度であり、粘質物等を含んだ生物膜は形成されなかった。図1に活性汚泥で馴致した平膜表面の写真を示す。

1.2 計測装置の構成

本研究で用いた実験装置は、実体顕微鏡、CCDカメラ2台、流体計測用チャンバー、蛍光粒子(4 μ m)、紫色レーザー、カットオフフィルター、コンピュータから構成されている(図2参照)。また、実体顕微鏡の対物レンズにカットオフフィルターを装着させることにより、蛍光波長のみを通し、生物膜表面上の紫色レーザー照射による照り返しを除去して流体挙動を示す蛍光パーティクルの光のみを画像として捉えることを考えたが、鉄酸化バクテリアによって形成された生物膜の表面の照り返しはカットすることができたが、白地の平膜では材質上の影響もあり照り返しをカットすることができなかった。

1.3 流体計測用チャンバー

図3に、流体計測チャンバーの詳細設計図を示す。平膜のパッチを流体計測チャンバー内に設置して、真上から紫色レーザーのスリット光を照射し、流体挙動と同じ挙動を示す蛍光パーティクルを斜め30°から実体顕微鏡に装備したCCDカメラによってステレオ的に画像を取り込む。斜め30°から画像を取り込むことによって、生物膜表面上の流体挙動を捕らえることが可能となる。

1.4 フィールド画像の取り込み

流体計測用チャンバー内に、生物膜を設置し、基質として調整した溶液を流し、流体の循環が一定になったところで蛍光粒子を貯留槽に投入する。流量は約3 ℓ /minであったので、チャンバー内の平均流速は約2 cm/s と推定できる。

暗室状態にして、CCDカメラでレーザー照射された生物膜表面近傍を流れる蛍光パーティクルのフィールド画像をMatrox社のボードを用い1/30間隔で4秒間連続的にパーティクル画像を取り込んだ(計120フレーム)。なお、画像の取り込みについては、Matrox社のMorphisというボードを用いて、2個のCCDカメラより同期信号を与えて、1/30秒間隔のフィールド画像をステレオ的に120個(約4秒間)取り込むソフトをC言語で作成した。ソフトを作成する際、Morphis専用の関数を用い、画像取り込みのイベントをカメラから受け取ることによって画像取り込みを行うようにした。

2. 画像解析手法<PIV(相互相関法)(Particle Image Velocimetry)>

相互相関法とは、同一点の認識のためのパターンマッチング手法である。相互相関法では、左画像内に窓領域を設定し、右画像内の探索領域内の候補領域に重ね合わせ、各画素の濃度値の積を求め、その領域全体の和から相関係数を算出する。順次、候補領域をずらしていき、相関係数が最大になる領域を、窓領域と同一の領域とみなす。なお、PIV法では、平膜の照り返しの影響は解析上ほとんど生じなかった。

3. 平膜表面傍の連続的画像取り込みとマイクロ流れ解析 (PIV 法)

図 4 は、連続的に取り込んだパーティクル画像(フィールド画像)の一部である。平膜表面では鉄酸化バクテリアの生物膜表面とは質的に異なり、蛍光波長と同じかそれ以上の長い波長が反射された可能性があり、画像には表面の照り返しがはっきりと映し出されていた。これを防ぐためには、カットオフフィルターではなくバンドパスフィルターを用いるか、平膜上の薄い生物膜をルテニウムレッド等の染色剤で染色する必要性があり、今後の課題である。

画像は、連続的に 1/30 秒間隔でフィールド画像として 4 秒間(120 フレーム)連続的に取り込んだ。フィールド画像として取り込みを行ったので、1 枚のフィールド画像より奇数線と偶数線に分け 2 枚の 1/60 秒間隔フレーム画像を得ることができる。図 5、に 1/60 間隔のフレーム画像を示す。この 2 枚のフレーム画像を PIV 法によって解析を行い流速ベクトルを作成することができる。

図 7, 図 8 に時系列的な流速ベクトル画像を示す。画像領域は、約 1.6mm 四方で、最大流速は約 18mm/sec, 1.6mm 四方内の平均流速は約 6 mm/sec であった。図 6 に示す鉄酸化バクテリアのマイクロ流れ解析では、表面近傍の凹部でよどんだ領域が生じているが、図 7, 図 8 に示した平膜上の流体挙動は凹部のようなよどんだ領域がなく、乱れた流れがそのまま平膜表面上を通過している様子が見られ、流速の速い部分が遷移していく様子が見られる。また、平膜上の流体計測では鉄酸化バクテリアの生物膜表面に比べ、より微小領域を拡大して測定を行ったため、レーザースリットの厚さが影響して厚さ方向から領域途中で湧き上がるように流速が変化している。3 次元的なスリット光の奥行き方向(厚さ方向)から湧き上がり 2 次元的な方向に流れが生じている可能性がある。

図 9, 図 10 は、平膜表面上のせん断応力(水温 20°C)を示したもので、空間的にも時間的にも変化をしていることが示されている。せん断応力値は 0.1N/m^2 のオーダーで大きな値を示しているので今後の考察が必要である。

以上のことから、流体の乱れは平膜上に時空間的にせん断応力の影響を与え、表面洗浄等の効果が出るものと考えられる。

5. まとめ

平膜表面近傍の画像取り込み手法の確立とマイクロ流れ解析について以下のことが明らかになった。

- ①連続的なステレオ画像取り込みは可能である。
- ②平膜ではカットオフフィルターの効果がなく、画像に平膜表面の照り返しを取り込まれたので、バンドパスフィルターや平膜上の薄い生物膜を染色する方法が考えられる。
- ③照り返しがあっても PIV 法で解析が可能である。
- ④流体的な乱れは平膜上に時空間的にせん断応力の影響を与え、表面洗浄等に効果を与えるものと考えられる。

6. 今後の課題

平膜上のレーザー光の照り返しを、染色処理やバンドパスフィルターを用いてなるべく少なくする手法を考える必要がある。今回は、ステレオでも画像を取り込んでいるので、ステレオ PIV 法を用いてスリット光奥行き方向の 3 次元的な流れを計測することも視野に入れる。

参 考 文 献

- [1] 大久保孝樹、西野耕一：生物膜の基質除去に及ぼす膜表面形態および流体力学的挙動の影響、平成 12 年度～平成 14 年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書、課題番号 12650556
- [2] 大久保孝樹：微生物膜の基質除去に及ぼす膜表面形態の影響に関する研究、1990、東北大学学位論文。
- [3] 西野耕一：2次元 PIV における粒子追跡方法 — 3時刻パターンマッチング法、1992、第 10 回流体計測シンポジウム講演。
- [4] 西野耕一：マイクロ流れの速度場計測、2

表 1 活性汚泥馴致のための人工下水基質成分

| 成分 | |
|-----------|----------------------|
| D-グルコース | 0.404 (g) |
| グルタミン酸ソーダ | 0.132 (g) |
| 酢酸アンモニウム | 0.172 (g) |
| 栄養塩類* | Fe, Mn, Mg, Ca, K, P |
| 水道水 | 1 ℓに対して |

*ばっ気槽内のミネラル分が、BOD 希釈液相当程度となるように添加

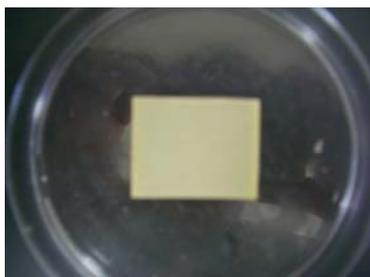


図 1 活性汚泥で1ヶ月間馴致した平膜表面の写真



図 2 流体計測チャンバーと実体顕微鏡

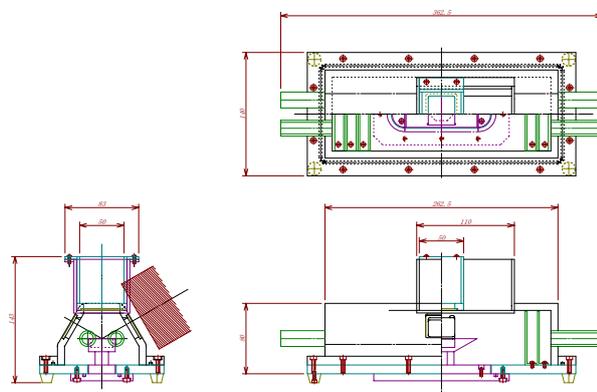


図 3 流体計測チャンバーの設計図

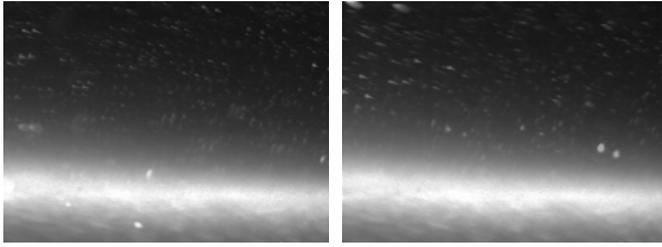


図4 1/30秒間隔のフィールド画像例

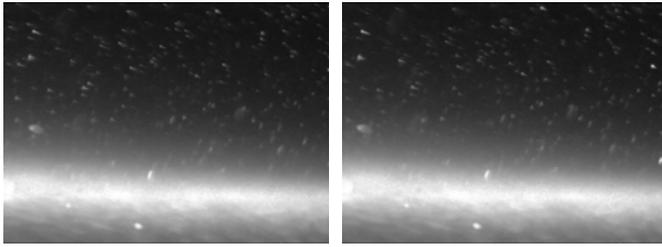


図5 図4のフィールド画像を2枚に分離したフレーム画像(1/60秒間隔)

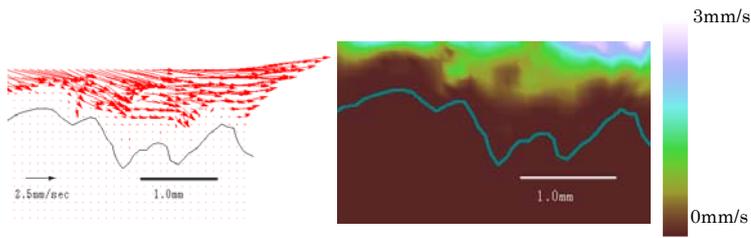


図6 凹凸の激しい生物膜(鉄酸化バクテリアによって形成された生物膜)近傍の流速ベクトル図と流速分布図

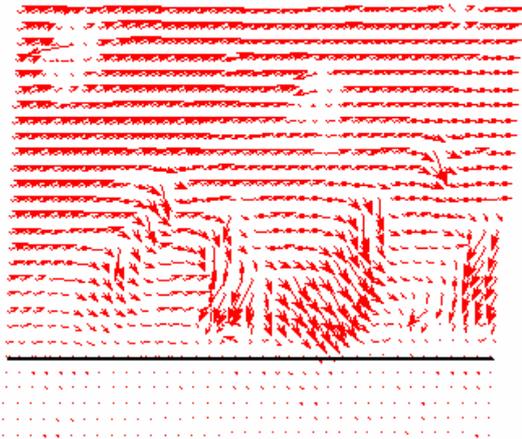


図7 平膜上の流速ベクトル例(0秒とした場合)

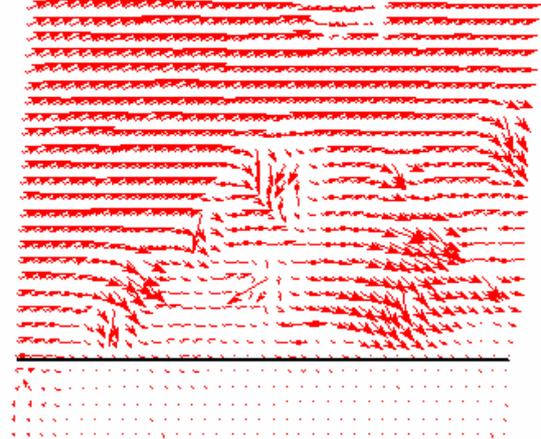


図8 平膜上の流速ベクトル例(1/30秒後)

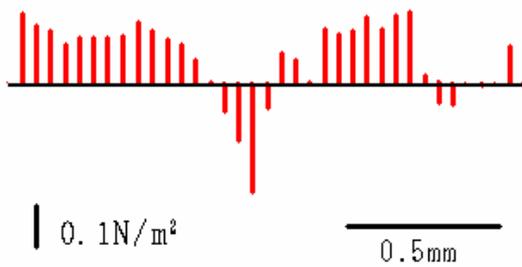


図9 平膜上のせん断応力図(0秒とした場合)

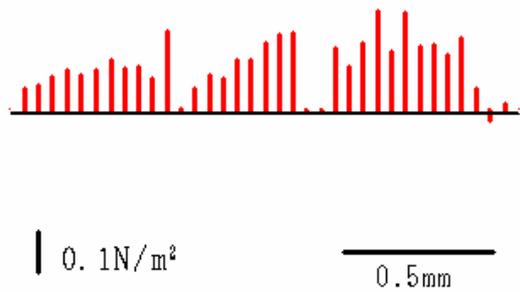


図10 平膜上のせん断応力図(1/30秒後)