

PTV 法による凹凸表面上の流体計測

—生物膜表面上の流体計測の基礎—

Fluid Measurement over Rough Surface by PTV Method

—Base of Fluid Measurement over Biofilm Surface—

函館高専 正 員 ○大久保 孝 樹 (Takaki Okubo)
 横浜国大 機械学会会員 西 野 耕 一 (Kouichi Nishino)
 函館高専 学 生 伊 藤 篤 史 (Atsusi Ito)
 函館高専 学 生 梶 川 隆 裕 (Kajikawa Takahiro)

1. はじめに

水環境中に存在する微生物は、担体に付着するか浮遊した状態で存在しているが、そのほとんどは担体に付着して生物膜を形成している。生物膜は、自然環境中や廃水処理場などに存在しているが、処理場や自然の自浄作用などのように有益な面を我々に与えている一方で、いろいろな障害(Biofouling: 腐食・伝熱阻害・圧力損失・剥離汚染 etc.)を与えている。このような現象を有益な方向で捉えていくためには、生物膜の基本的本質的な挙動を把握していかなければならない。現在、このような研究は国内外で行われており、ミクロ的な部分、特に実験計測的には、かなりの部分まで解析研究がなされている。しかし、これらはミクロ的な部分にとどまっており、これらの現象を総合的なものに還元していくには、まだ遠い位置にいてと思われる。現在、生物膜の処理性能を解析するために、ほとんどの研究者、技術者は1次元の生物膜モデルで十分であるとしている。また、ミクロ的な解析や2次元、3次元モデルの解析では、定性的な生物膜の性状を知るだけで十分としている。

しかし、このようなミクロ的な現象や2次元的、3次元的現象は、1次元の生物膜モデルに簡易的に内包されるべきであって、その寄与の度合いを定量化するためには、2次元的、3次元的解析が重要となってくる。

本研究では、特に凹凸を呈した生物膜表面上の2次元の流体挙動を捉えるための計測手法の確立と、ミクロ的な部分も含めた総合的な流体挙動を把握する手法の確認を目指している。

ここでは、生物膜の代わりに既知の円弧の凹凸(直径 1mm)を持った真鍮版の表面上の流れを計測した。この流体計測によって、生物膜の基質除去の制御の確立が可能になり、シミュレートも含めた生物膜の制御という大きな問題への解明の一助となることを願っている。

2. 実験装置と計測手法の概要

(1)実験装置

図-1は、CCDカメラを装着した実体顕微鏡(オリンパス)と流体計測用のチャンバーである。図-2は、チャンバー内の蛍光パーティクルを含んだ流体に紫色レーザー(日亜化学)を照射しているところである。

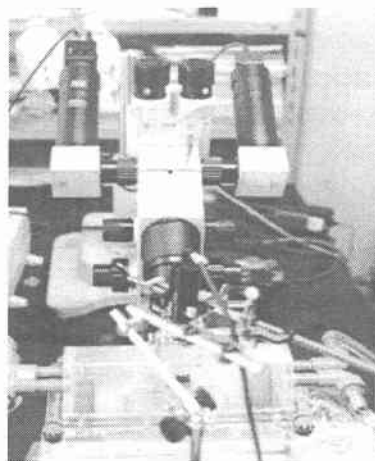


図-1 CCDカメラ・実体顕微鏡・流体計測用チャンバー
紫色レーザーヘッド



図-2 流速チャンバー内への紫色レーザーの照射

実体顕微鏡の対物レンズには、蛍光波長のみを通すようにフィルターを装着している。これは、凹凸物体の反射光を取り除くためである。

(2)計測手法の概要

①流体計測チャンバーに、真鍮凹凸板を設置し、チャンバー中に水を流し、蛍光粒子(約 $30\mu\text{m}$)を入れ、紫色レーザーを上部から垂直に照射する。凹凸と照射した部分を 30° の傾きを持った実体顕微鏡を用い CCD カメラで画像を取り込む。そのときのシャッター速度は、1/1000, 1/2000, 1/5000 でそれぞれ行い、フィールド画像(1/60sec)を取り込んだ。

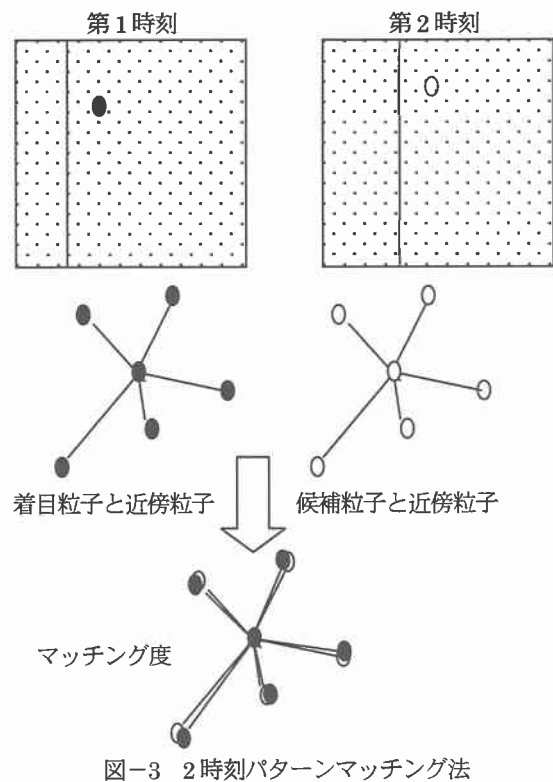
②フィールド画像とは1/60sec間隔に2画像を垂直方向に交互に取り込んだ1枚の画像であり、1/60sec前後の画像の情報が入っている。そのフィールド画像をセパレートし、2つのフレーム画

- 像に分割する。(中間部分の情報は補間する)
- ③その 1/60sec 間隔のフレーム画像の同一粒子を追跡するため、2時刻パターンマッチングを用いた PTV 法で追跡する。
 - ④同一点が認識できれば、流速ベクトルが計算される。
 - ⑤カメラが垂直方向に約 30°、水平方向に約 10° 傾いているので、校正板(標定板)を用い、前もってカメラの位置を計測しておいた。その計測したカメラの位置の情報(カメラパラメータ)を用い、実際の流体の座標を計算し、流速ベクトルを計算した。

3. PTV 法 (2 時刻パターンマッチング法)

PTV 法は流体力学の分野で用いられる同一点認識の手法であり、パーティクルを追跡して流速ベクトルを測定する手法である。上記で示した 2 枚のフレーム画像をそれぞれ第 1 時刻、第 2 時刻のパーティクル画像とする。

第 1 時刻の画像の着目粒子と第 2 時刻の候補粒子の近傍粒子との配列パターンを画像解析と数学的手法を用いて導き出し、それぞれの配列パターンを重ね合わせた時のマッチング度が高い時に同一粒子とみなすことができる。



4. カメラパラメータの計測

水を満たした状態で校正板を垂直に挿入する。前後(奥行き方向)に-2mm、-1mm、0mm、1mm、2mmと仮定した位置を設定し、合計5枚の画像を取り込む。それらの画像を2値化し、点の重心計算を行い、単写真標定の計算をすることによってカメラパラメータ(座標位置・傾き・レンズひずみなど)を求める。このカメラパラメータを用いることによって仮定した座標上のパーティクル位置を計算できる。

5. 測定結果

図-4 は、1/60sec の間隔の 2 つの情報が入ったフィールド画像である。このフィールド画像をもとにして、PTV 法で流速ベ

クトルを計算することになるが、結果的にはわずかにエラーベクトルが発生する。エラーベクトルを除いた流速ベクトル分布図を図-5 に示す。凹凸の上面で一様に流れ(40~70mm/sec)、凹部では 0.1~0.7mm/sec のオーダーの動きが観察された。

図-6 は、ベクトルの方向を無視し、流速の大きさのみで等高線を描いたものである。凹凸の影響で凹凸近傍に多少流速の揺らぎが見られる。

6. まとめ

今後、実体顕微鏡の倍率を変えることによって、ミクロな部分を観察するとともに、カメラをステレオ配置することによって 3 次元 PIV 法、3 次元 PTV 法に関しても実測することを考えている。

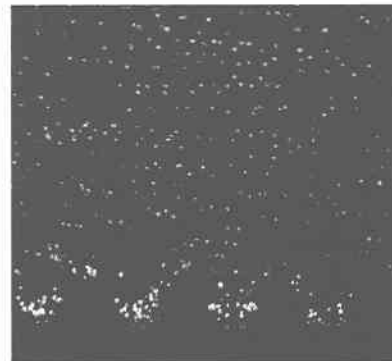


図-4 蛍光パーティクルのフィールド画像

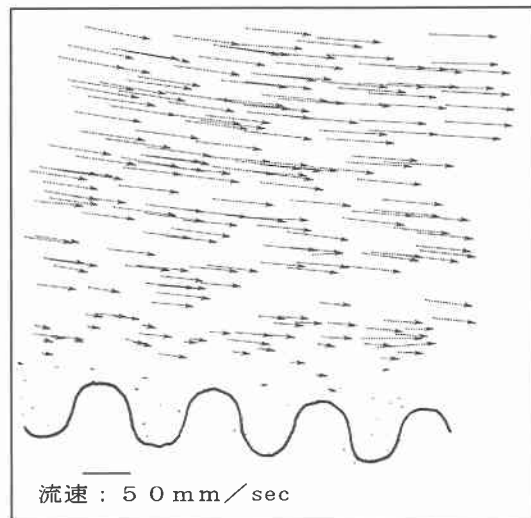


図-5 PTV 法で求めた流速ベクトル



図-6 流速の等高線図
(色の濃い部分が流速の遅い部分)