メンブレンモジュール表面上の PTV 法による流体挙動計測

函館高専	正会員	〇大久伊	ネ 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

膜分離技術の水処理への導入は、最終沈澱池や砂 濾過施設等が不要になるなど施設の削減とそれに伴う 必要敷地面積の削減によるコスト縮減効果の他、高度 な処理水が得られるなどの多くのメリットがある。

しかし、いくつか欠点もある。その中の1つとして、 膜に集積する微生物の問題がある。微生物が集積する ことにより分離能力低下が発生する。この性能低下を 防止、軽減するために強力なエアースクラビングによ る空気の泡と流体の乱れにより生物膜(微生物が集積 したもの)を除去しているが、それではエネルギーコ ストが問題になる。

そこで本研究では、直方体形の不織布で被ったメン ブレンモジュールにバッフル棒を装着させ低エネルギ ーの遅い流速により乱れ(渦)を発生させ、不織布上 の生物膜の集積を抑える可能性を研究した。今までの 研究としてメンブレンモジュール表面近傍のマイクロ 流れ計測の確立、PTV法測定解析時に与える外部震 動の影響調査、円柱形メンブレンモジュールとそれに 合わせた流体計測チャンバーを使用したモジュール表 面上の流体挙動計測の研究を行ってきた。そして今回 それらを引き継ぎ、直方体形モジュールのバイオファ ウリング防止に対するバッフル棒による有効な乱れ

(渦)の検証をするためにモジュール表面上の流体ベ クトル計測を行った。

2. 実験手法

図 2-1 は、以前に使用していた円柱形メンブレンモ ジュールであり、図 2-2 は今回使用した不織布で被っ た直方体形メンブレンモジュールである。また、モジ ュール形態変更に伴い流体計測用チャンバーもモジュ ールの形状にあったものに変更した。変更前と変更後 をそれぞれ図 2-3、図 2-4 に示す。

図 2-5 にバッフル棒設置の概略図を示す。バッフル



図 2-1 円柱形モジュール



図 2·2 直方体形モジュール



図 2-3 円柱形モジュールの ための流体計測チャンバー

図 2-4 直方体形モジュールの ための流体計測チャンバー





図2-5バッフル棒設置の概略図(径8mmのバッフル棒)





図 2-6 バッフル棒をモジュールから 図 2-7 バッフル棒をモジュールに接 離した場合のレーザー照射状態 触させた場合のレーザー照射状態





図2-8 バンドパスフィルターで緑色蛍光のみをとらえた画像 棒の径は8mmで32mm間隔に設置し、バッフル棒をモジ ュール表面に接触させた場合と離した場合につて実験 を行った。なお、バッフル棒のない場合についても計 測を行っている。

キーワード メンブレンモジュール,バッフル棒、流体挙動計測, PTV 法,カルマン渦 連絡先 〒042-8501 北海道函館市戸倉町 14-1 函館高専 社会基盤工学科 TEL 0138-59-6487 流体計測は、青色レーザーのスリット光内で緑色に 蛍光発色したパーティクルの画像を実体顕微鏡に装着 した CCD カメラにより取得して、PTV 法により解析を行 って流速ベクトルを計算した。図 2-6、図 2-7 は、測定 領域に青色レーザーを照射した場合のバッフル棒近傍 の画像である。白い光(青色レーザー)の上方が、流体 計測の領域である。計測領域は約 21 mm×15 mmである。 図 2-8 は、実体顕微鏡の対物レンズにバンドパスフィ ルターを装着して緑色に蛍光したパーティクルのみを 取得した画像である。

3. 実験結果

図 3-1~図 3-3 はいずれも循環流量 9.1~9.60 /min 程度(平均流速約 1.0cm/sec)で 21mm×15mm の領域を 測定しており、バッフル棒(径 8mm)近傍の画像を PTV 法 で解析して計算した流速ベクトル図である。 白半円は バッフル棒、白点線はメンブレンモジュール表面を表 している。

図 3-1 はバッフル棒を設置していない状態の流体ベ クトルの図である。Y 軸方向 0mm 付近における流速は最 も遅く、5mm、10mm と離れていくにつれて速くなってい くことがわかる。

ー般的に円形物体(ここではバッフル棒)の後流で は、レイノルズ数 40 < Re < 200 でカルマン渦列として 生成することが知られている。バッフル棒径 d = 8mm、 v=10mm/sec、v=1.007mm/sec より Re=vd/v=79 とな り、Re>40 であるので渦の発生条件を満たしている。

図 3-2 はバッフル棒をメンブレンに接触させた場合 の流体ベクトル図である。メンブレンモジュールから 約 5mm 程度離れた場所のバッフル棒の後流によって渦 が生成していることがわかる。この図から、バッフル 棒の後流では渦が生じているが、メンブレンモジュー ル表面近傍(点線近傍)の流速は小さく淀んでいる様子 が伺える。

図 3-3 はバッフル棒をメンブレンから離した場合の 流体ベクトル図である。こちらもバッフル棒の後流に よって渦が生成している。(メンブレンから約 10mm 程 度の場所)また、バッフル棒下部からも流体が流入し ているためメンブレン表面近傍の淀みもなくなってい る。

4. まとめと考察

①バッフル棒を設置した場合は、設置しなかった場合では見られなかった渦が生成されることが分かった。

図 3-1 バッフル棒を設置しない場合の流速ベクトル



図 3-1 バッフル棒をモジュールに接触させた場合の 流速ベクトル



図 3-1 バッフル棒をモジュールから離した場合の流 速ベクトル

- ②バッフル棒をメンブレンモジュール表面から離した 場合の方が接触させた場合より大きな渦が生成され ることが示されている。
- ③流速が約15 mm/s (緑色のベクトル)という非常に遅い流れにおいてバッフル棒の後流に渦が生成されることを計測したことは、エネルギーの非常に小さい条件において、メンブレンモジュールによる7µm/sの吸引フラックスを打ち消す流れが存在する可能性を示している(リフトアップフロー)。