

# 間欠曝気による曝気洗浄を行った際の中空糸膜モジュール内部の液相流速の変化

東京都市大学 学生会員 ○秋山 侑介  
 東京都市大学大学院 学生会員 遊佐 大介  
 東京都市大学 正会員 長岡 裕

## 1. はじめに

従来の下水処理では標準活性汚泥法が多く用いられていた。この方法は処理水と活性汚泥との分離には沈殿槽による沈降分離が用いられるが、これは処理状況によってその処理効率が左右されることがあり、安定した処理が行えないことが多くあった。<sup>1)</sup>

そこで近年ではこのような課題を解決した技術として膜を通したろ過で汚泥と処理水を分離する膜分離活性汚泥法 (MBR) の導入が進んでいる。この膜分離活性汚泥法は、沈殿槽が不要なため設置面積が小さく、省スペースで透明感のある良好な処理水が得られるという利点があげられる。一方で、膜を用いた水処理にはファウリングが伴い、透過流速が低下する。この現象は膜ろ過を行う上で回避できない現象であり、解消するためには曝気による抑制や薬品による洗浄が必要となるが、ランニングコストがかかることや薬品洗浄による膜の品質低下が問題としてあげられる。

そこで、このような課題を解決する有用なツールとして中空糸膜に注目が集まっている。中空糸膜は膜面積が広くモジュールがコンパクトであり、膜の補修、曝気や薬品による洗浄が可能であり、効率の良い運転を行うことが可能である。しかし、中空糸膜には数年間使用し続けると中空糸間に汚泥が堆積するという欠点が存在する。ゆえに、長所を生かしつつ欠点を補える最適な運用方法の実行が必要なのである。

こういった社会背景や問題点をふまえて本研究では、膜分離活性汚泥法におけるランニングコストの増加や膜品質の低下を防ぐために、実スケールの浸漬型中空糸膜モジュールを使用し、ファウリングの緩和に最適な曝気方法を見極めることを目的とする。ここでいう最適な曝気方法とは、広範囲で大きい流速を得ていること、また膜通過後の流速が大きいことを基準として判断する。さらに、省スペースで多くの処理水を得るために膜槽のコンパクト化の検討を

行う。

## 2. 実験概要

### 2.1. 実験装置

実験装置の正面図を図-1に、側面図を図-2に、上面図を図-3に示す。この装置は容積1720mm×1000mm×600mmのアクリル水槽にアクリル製の囲いと膜エレメントを設置し、水道水に浸漬させた。また、膜エレメントの下部には散気管、散気管の上部に散気装置を設置している。散気装置の概要については図-4に示す。この装置は一定量のエアが装置内にたまとエアが放出される仕組みとなっており、気泡径が大きく、多量のエアが放出されるので高い膜洗浄効果が期待されている。

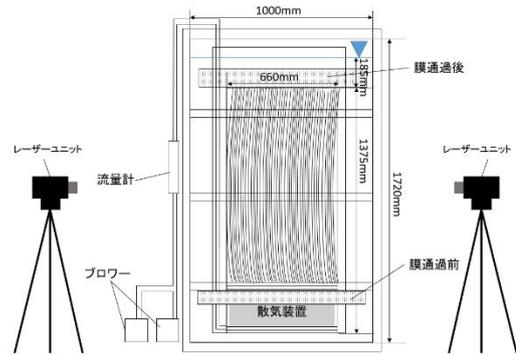


図-1: 実験装置 (正面図)

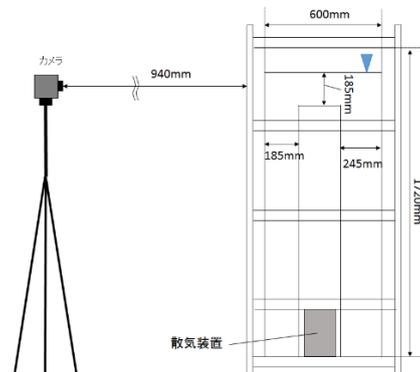


図-2: 実験装置 (側面図)

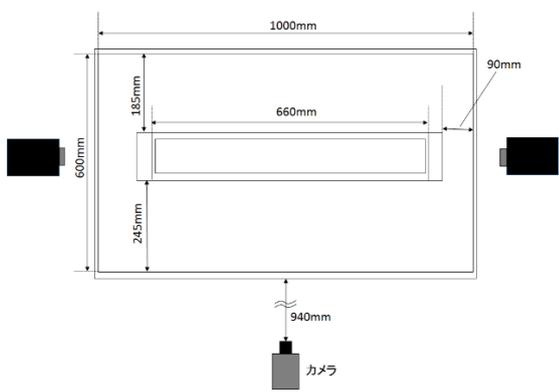


図-3：実験装置（上面図）

2.2.実験条件

本研究の実験条件を表-1に示す。曝気風量は50L/minとし、モジュールの上部、中部、下部、散気装置直上の4か所について測定を行う。さらに、曝気方法は単管のみによる連続曝気と散気口の形が異なる散気装置A、Bを用いた間欠曝気の3種類を行う。図-4に散気装置A,Bについての上面図、正面図を示す。また、1700mm×802mm×140mm アクリル囲いを使用し、水の循環する範囲を制限することによって膜槽のコンパクト化の検討を行う。図-5において、囲いを使用していない条件を現行、アクリル囲いを使用して水の循環する範囲を制限した条件を改良としている。

表-1：実験条件

ステップ	散気管	膜エレメント	水槽仕切り	曝気風量(L/min)
1-1	単管 (連続)	有	現行	50
1-2			改良	50
1-3			現行	50
1-4			改良	50
1-5	A (間欠)	有	現行	50
1-6			改良	50
1-7			現行	50
1-8			改良	50
1-9	B (間欠)	有	現行	50
1-10			改良	50
1-11			現行	50
1-12			改良	50



図-4：散気装置図

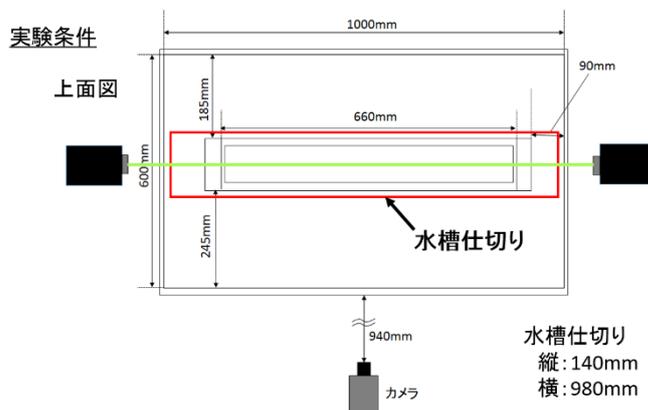


図-5：水槽仕切りによるコンパクト化（改良）

2.3.実験方法

測定箇所は膜無の条件がエレメントの中心部分、膜有の条件は2膜の間とした。そして、測定範囲を装置のフレームを基準に上部、中部、下部、散気装置直上の4ヶ所とっている。水槽の両側にレーザー(G2000 カトウ光研)を設置して正面から高速度カメラ(K4 カトウ光研)で約20000フレーム(約40秒間)の撮影を行った。また、トレーサーの移動量から流速ベクトルを算出しており、トレーサーには粒子径75~150μmのダイヤイオン(HP20 5A505)を約30g使用した。

2.4. 解析方法 (PTV 解析)

液相流速の測定には解析ソフト(FlowExpert2D2C カトウ光研)を用いて、PTV (粒子追跡法)を行った。PTVとは、ある時間間隔で画像中の各トレーサー粒子の移動を自動的に追跡し、流れ場を計測する方法である。PTVの利点は、画像相関法に比べて高い空間解像度の計測ができる点である。画像相関法では数個から十数個のトレーサー粒子

が含まれる検査領域を設け、検査領域内の粒子像分布状態を判断基準としているのに対し、PTVでは個々の粒子像の移動を求めるため、同じ数密度の画像であれば数倍から十数倍の空間解像度が得られる。

撮影前には実際の距離と画像の距離を一致させるために測定箇所にて規をあて画像をとり、キャリブレーションを行った。また、解析を行うと主流と明らかに異なる速度、方向のベクトルを持つ粒子が観測される。このようなベクトルに関しては、解析前に除去をおこなった。その際、各座標点を囲む周囲の8個のベクトルの平均との誤差が速度100%以上、角度90°以上のものを除去の対象とした。

3.実験結果及び考察

表2では、各曝気方法、測定位置において水槽の大きさを現行から改良に変えたとき液相流速にどのような変化が出たかを示している。まず、膜通過前の値は散気装置A、単管では改良の方が流速が速いが散気装置Bでは遅くなっている。一方、膜通過後ではすべての曝気方法において改良の方が流速が遅くなっている。これは、改良の水槽では水の流れが逃げスペースがなく、新たに来る流れの妨げになっているためだと考える。

表2：各曝気方法・測定条件における液相流速 (mm/s)

曝気条件 と測定位置	水槽の大きさ	現行	改良
散気装置A-膜通過前		128.83	150.96
散気装置A-膜通過後		260.35	236.29
散気装置B-膜通過前		173.32	159.02
散気装置B-膜通過後		289.83	253.71
単管-膜通過前		209.08	266.72
単管-膜通過後		271.68	266.43

図-6・7は、各曝気方法・水槽の大きさごとの膜通過前の液相流速と膜通過後の液相流速の比較を示している。このグラフから装置の左右、中央どの位置で大きい流速を得ているのかを知ることができる。今回

グラフに示している流速の値は撮影した20000フレーム(40秒間)の平均値を用いている。

まず、図-6から散気装置を用いた間欠曝気では、装置の左右を比べても液相流速に違いが見えないが、単管のみによる連続曝気では空気の出る散気口の位置に影響をうけて液相流速の大きさにバラつきが見られた。

次に図-7から膜通過後では、膜通過前と比べてどの曝気方法でも液相流速の値が上がっていることが分かる。また、膜通過前同様に単管による連続曝気では位置によって液相流速に変動があるのに対して、散気装置を用いた間欠曝気の方では液相流速の変動が少ないことが分かる。さらに、装置の中央ほど液相流速が大きく、端にいくにつれて小さくなることが分かる。



図-5：グラフにおけるプロットの凡例

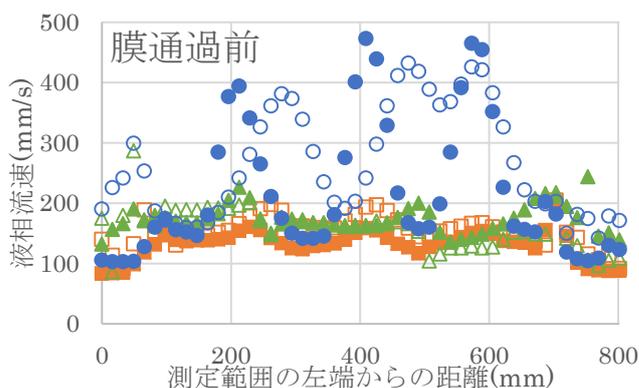


図-6：膜通過前・曝気風量50L/minにおける各条件の平均液相流速(mm/s)

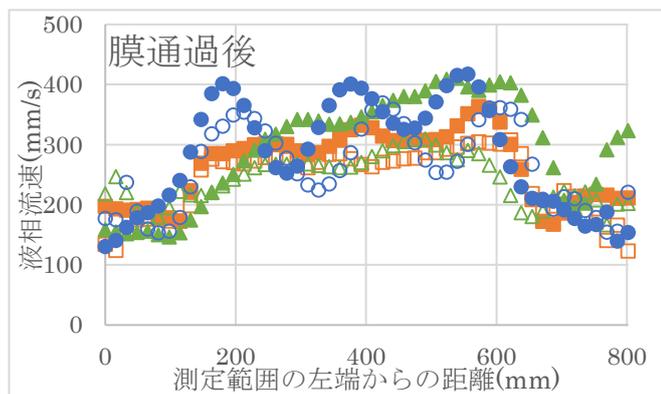


図-7：膜通過後・曝気風量 50L/min における各条件の平均液相流速(mm/s)

表-3, 図-8 には, 各条件についてすべての観測点の流速の平均をまとめた結果を示している。

まず, 曝気方法について比較すると, 単管による連続曝気が一番速い液相流速となった。さらに, 間欠曝気では水槽の大きさを小さくし改良の大きさとする と液相流速が減少しているのに対して, 連続曝気では増加している。

表 3：各曝気方法における平均液相流速のまとめ (mm/s)

水槽の大きさ	曝気方法		
	散気装置A	散気装置B	単管
現行	194.59	231.57	240.38
改良	193.63	206.37	266.58

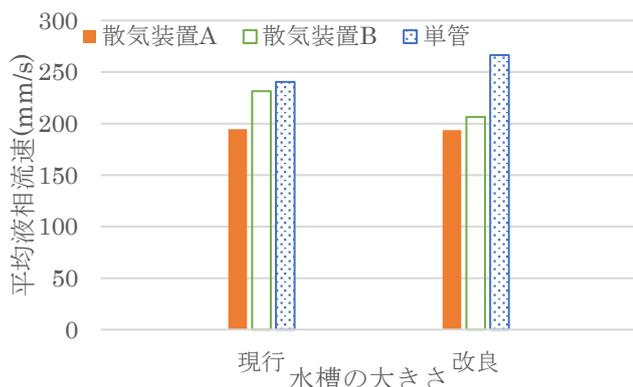


図-8：各曝気方法における平均液相流速のまとめ (mm/s)

#### 4.まとめ

散気装置を用いて間欠曝気, 連続曝気の液相流速の比較を行った結果, 以下の知見が得られた。

- (1) 水槽の大きさを基準に比較すると, 間欠曝気では装置の大きさを小さくすると液相流速は減少するが, 連続曝気では装置の大きさを小さくすると液相流速は増加する。
- (2) 平均流速では劣るが, 散気口の形が円形な散気装置 B による間欠曝気は, 単管による連続曝気に比べてむらなく左右均等に流速を得ている。

#### 5.参考文献

- 1) 松尾機器産業株式会社 2017年12月20日閲覧  
<http://www.matsuokiki.co.jp/businesslines/haisui/makubunrihaisui/>
- 2) 岡崎稔, 谷口良雄, 鈴木宏明: よくわかる水処理膜 日刊工業新聞社 2006年9月25日発行