

実下水を用いた膜分離活性汚泥法における異なるpH条件下での  
微小後生動物数の変動と処理特性との関係

東京大学大学院工学系研究科   ○久保利晃  
東京大学大学院工学系研究科   中島典之  
東京大学環境安全研究センター   山本和夫

1. はじめに

膜分離活性汚泥法において、微小後生動物の存在が余剰汚泥発生の抑制や目詰まり物質の制御につながる可能性があり、微小後生動物の利用は処理効率を高めるための方法の一つになりうる。これまでに膜分離活性汚泥法における微小後生動物の変動と処理特性についていくつかの報告があるが、実下水処理における事例は限られている。

本報では、流入水として下水処理場の実下水を用いて微小後生動物数と膜分離活性汚泥法における処理特性との関係を明らかにすることを目的として、pHを7.0、6.0、5.0に設定した3つのリアクターを並列運転し、微小後生動物の変動、膜間差圧および処理水質の変化等について約200日間モニタリングを行った結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 実験施設、装置

合流式下水道に接続された下水処理場内に、pHをそれぞれ7.0、6.0、5.0に設定した3種類のリアクターを設置して連続運転を行った。pH以外の運転条件はすべて同じに設定した。本研究における膜分離活性汚泥法では、試料採取以外には汚泥の引き抜きは行わず、また膜の洗浄については膜間差圧が30kPaを超えた時に水道水でもみ洗いを行った。リアクターの設計諸元と運転条件を表1に示す。また図1にはリアクターの概略を示す。

本リアクターに供給した原水は、処理場の最初沈殿池流入直前の流入下水を実験施設用に設けた最初沈殿池・スクリーン槽に通したものである。水温は20℃に制御されている。また、pH5の条件は、硝化の進行によりpHが大幅に下がる系を想定して設定した。

2.2 測定項目及び測定方法

分析・測定項目は、流入水・処理水中のTOC、槽内上澄み水中DOC、MLSS、微小後生動物数、膜間差圧、ブロック径分布である。流入水については、オートサンプラーで3時間おきに200mLずつ採水し24時間で1.6L貯まった流入水を、1日平均の流入水とみなして測定に用いた。また、微小後生動物(貧毛類、輪虫類)数については、下水試験方法を参考にして光学顕微鏡により計数した<sup>1)</sup>。ブロック径分布については超遠心式自動粒度分布測定装置(堀場CAPA-700)を用いて体積換算で推定した。

表1 リアクターの設計諸元、運転条件

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| 膜仕様     | 浸漬型中空糸MF膜                  |
| 公称孔径    | 0.1 $\mu\text{m}$          |
| 膜面積     | 0.2 $\text{m}^2$           |
| リアクター容積 | 9L                         |
| HRT     | 12hr                       |
| SRT     | 引き抜きはサンプリングのみ(約490日)       |
| Flux    | 0.09 $\text{m}^3/\text{d}$ |
| 吸引サイクル  | 1分吸引、3分休み                  |
| 送風量     | 5L/min                     |

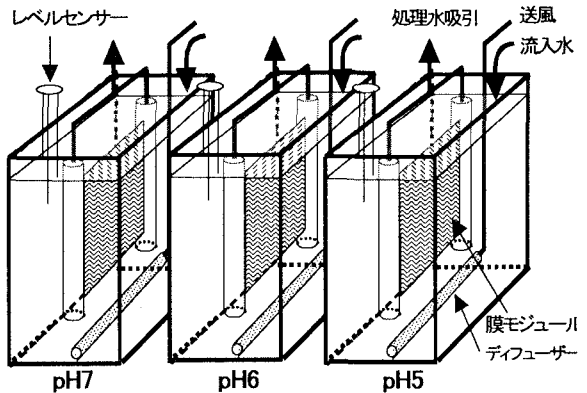


図1 リアクター概略

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 結果

運転は、2000年2月から8月にかけて行った。図2に流入水および処理水中のTOCの変化を、図3にMLSSを、図4に膜間差圧を、図5に輪虫類数の変化を、図6に貧毛類数の変化をそれぞれ示す。期間中、109日目と157日目に流入水チューブの詰まりや停電の影響などで、リアクターにトラブルが生じた。その影響で水位が下がり膜に汚泥が付着するなどして、膜間差圧やMLSSに影響があった。また、室内空調機や温度調整槽の不調により、185日目～220日目付近まで槽内の水温が通常時の20℃に対し25℃程度に上昇していた。

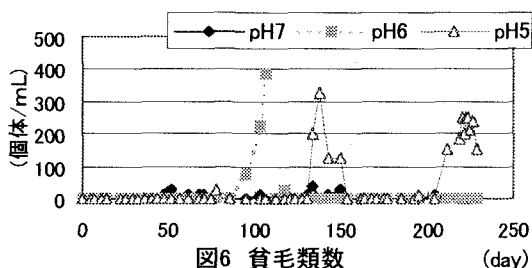
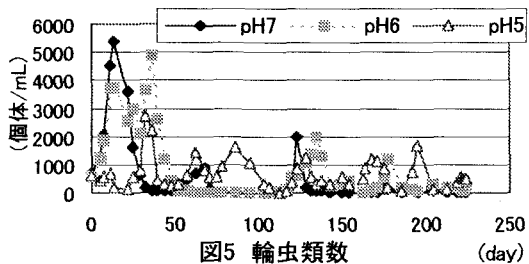
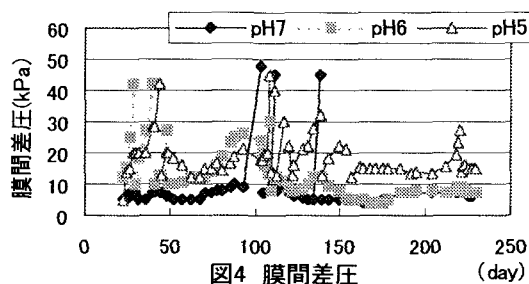
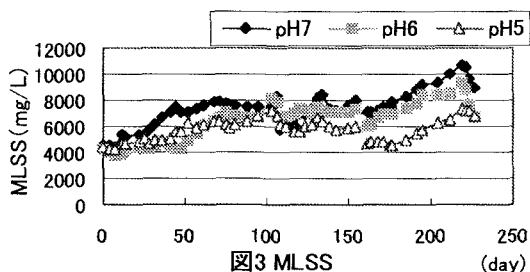
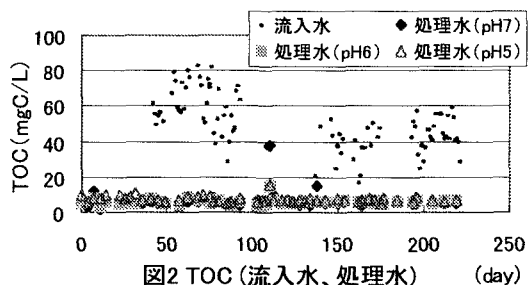
図2より、流入水TOCは大きく変動しているものの、処理水質はトラブルを除いて3つのリアクターで終始4～7mgC/Lで安定していた。図3より、MLSSについてはpH7とpH6で良く似た挙動を示した一方で、pH5ではpH7に比べ2割程度低い値で推移した。図4より、膜間差圧については初期にpH6で不安定であったが、それ以降はトラブルを除けば、pH7とpH6では安定して運転が出来ていた。pH5では、他の2つに比べ膜間差圧が高く膜に汚泥が付着することも度々あって不安定な運転が続いた。

図5より、輪虫類の個体数についてはpH7とpH6では特定の時期にピークを示すのみで、検鏡観察されない期間の方が長かった。一方、pH5では1000～2000個体/mLの個体数のピークが特定の周期で繰り返し観察され、全体を通してほぼ常に輪虫類は観察され続けた。図6より、顕微鏡で観察される類の貧毛類(*Aeolosoma hemprichi*)については、全体を通して数回個体数のピークが観察されただけであった。一方で、膜に直接付着する貧毛類も幾度か観察された。これらについては3.3節で詳しく述べる。

なお、槽内上澄み中DOCとフロック径の変化については、図は割愛するが、槽内上澄み水中DOCはpH7とpH6では5～10mgC/Lで推移しており、pH5では90日目まで10mgC/L以上の値が続いていたが、それ以降は他の2つと同じ程度になった。フロック径の平均値は、pH7とpH6では100日目付近まで100μm程度で推移していたが、その後減少し両者とも70μm程度となっていた。pH5では運転開始と共にフロック径が減少しつづけ、40日目以降ほぼ50μmで一定となっていた。

#### 3.2 微小後生動物数と処理特性に関する考察

期間中貧毛類はほとんど出現しなかったため、ここでは輪虫類にのみ注目する。まず、処理水質については図2より微小後生動物数、流入水濃度に関わらず安定していた。一方、輪虫類数とMLSSとの関係を調べる為に、MLSSが安定していた安定期間(68日目～88日目)と、MLSSの増加が顕著に見られた増加期間(192日目～219日目)の2つの期間について炭素収支をとり、輪虫類数との関係を表2にまとめた。



安定期間では、収率から分かるように 3 つのリアクターでほとんど MLSS の増加が見られなかった。その期間中の平均 MLSS は pH7、pH6、pH5 の順に小さくなった。この違いは、pH による微生物相の違いに依るところが大きいものと思われるが、平均輪虫類数が最も多い pH5 において平均 MLSS が最も低いことから、pH5 の平均 MLSS の低さは輪虫類の存在数と関係している可能性も考えられる。あるいは、pH5 では死滅した細菌類の分解速度が大きいと考えられ、それにより MLSS が結果的に低くなり、増殖の余地が生じて輪虫類が増加したという可能性も考えられる。

一方の増加期間では安定期間に比べ収率が非常に高くなった。これは 157 日目に、リアクタートラブルにより MLSS が急激に減少した結果と考えられる。ただ、その後 pH7 と pH6 ではトラブル以前の MLSS の安定レベルであった 7000mg/L ～8000mg/L を大きく越えて増加し続けた。その原因としては 3.1 節で述べた槽内水温の上昇により、それ以前とは違う微生物種が優先して生産と分解のバランスが変化した可能性や、温度調整槽の不調により流入水質が変化した可能性などが考えられる。この増加期間では収率と輪虫類数の間に一定の関係は認められなかった。

### 3.3 膜表面に繁殖する微生物について

3.2 節では貧毛類数には触れなかった。実際、最も多く観察された貧毛類の一種である *Aeolosoma hemprichi* でさえ、全体を通して数回個体数のピークが観察されただけであった。しかし、図 4、図 6 より pH5 で貧毛類(*Aeolosoma hemprichi*)の個体数のピークが観察された 140 日目、220 日目付近は、共に膜に汚泥が付着して膜間差圧が上昇した時期と重なっていた。つまり、膜に汚泥が付着することで貧毛類の生息域が確保され繁殖した可能性が考えられる。一方で、膜への付着汚泥が無くても、膜そのものに直接付着する類の貧毛類も観察された。例を挙げると、61 日目に pH5 の槽の膜表面に貧毛類の赤い塊がいくつも発見された。この際、膜間差圧は一定のままであり影響は無かったようである。

一方、136 日目に pH5 では非常に密な汚泥が膜の表面に大量に付着し、エアレーションによる中空糸膜の洗浄効果がなくなっていた。その汚泥を顕微鏡で観察した所、同定はしていないものの大量の菌類様のものが観察された。菌糸状のものが複雑に絡み合っており、結果的に非常に密な汚泥が構成されていたようである(写真はポスターに掲載)。そうした糸状性汚泥が大量に膜に付着することで、膜間差圧が急激に上昇した可能性が高いと考えられた。

以上のように、pH5 ではしばしば貧毛類や菌類などといった特定の微生物が膜表面に大量に繁殖することが明らかとなった。今後は膜表面に繁殖するこれらの微生物を分子生物学的手法等により同定、定量していく予定である。

## 4. まとめ

- 1) 実下水を用いて3段階のpH に設定した状態で約 6 ヶ月間膜分離活性汚泥法のリアクターを運転した。総じて処理水 TOC にはpH の差は見られなかった。膜間差圧は、初期にpH6 で不安定であったが、それ以降はトラブル時を除けばpH7とpH6 では安定して運転が出来ていた。pH5 では、他の2つに比べ膜間差圧が高く膜に汚泥が付着することも度々あって不安定な運転が続いた。
- 2) 輪虫類については、pH7 と pH6 では特定の時期にピークを示すのみで検鏡観察されない期間の方が長かった。一方で、pH5 では 1000～2000 個体/mL の個体数のピークが特定の周期で繰り返し観察され、全体を通してほぼ常に観察され続けた。また pH5 では、しばしば貧毛類や菌類が膜表面に大量繁殖することがあり、貧毛類の繁殖は膜間差圧に影響を及ぼさなかったが、菌類の繁殖は膜間差圧に悪影響を与えていた可能性が高いと考えられた。

参考文献: 1) 「下水試験方法 上巻」日本下水道協会, pp.391-392, 1997

謝辞:本研究は、文部省科学研究費補助金 COE 形成基礎研究の補助及び東京都下水道局の協力により行われた。

表2 各期間の炭素収支  
安定期間(68日目から88日目まで)

|                  | pH7    | pH6   | pH5   |
|------------------|--------|-------|-------|
| 期間中平均MLSS (mg/L) | 7620   | 6780  | 6200  |
| 総流入量(mgC)        | 20910  | 20320 | 20540 |
| 期間中汚泥増加量(mgC)    | -1400  | 820   | 20    |
| 総流出量(mgC)        | 2090   | 2054  | 2484  |
| 収率(汚泥増加/(流入-流出)) | -0.075 | 0.045 | 0.001 |
| 平均輪虫類数(個体/mL)    | 100    | 0     | 920   |

増加期間(192日目から219日目まで)

|                  | pH7   | pH6   | pH5   |
|------------------|-------|-------|-------|
| 総流入量(mgC)        | 21770 | 21100 | 20890 |
| 期間中汚泥増加量(mgC)    | 6180  | 5040  | 6290  |
| 総流出量(mgC)        | 2530  | 2990  | 3060  |
| 収率(汚泥増加/(流入-流出)) | 0.32  | 0.28  | 0.50  |
| 平均輪虫類数(個体/mL)    | 20    | 180   | 540   |

\* 汚泥増加量に関しては、菌体を  $C_5H_7O_2N$  と仮定して MLVSS 値に 0.53 と槽内容積を乗ずることにより、mg/L から mgC に換算した。