

## N-8 多段型生物処理装置における 余剰汚泥減少機能の解析

谷内 亜沙美<sup>1\*</sup>・松永 祐紀<sup>1</sup>・Wasala Bandara<sup>2</sup>・渡辺 義公<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 帝人株式会社 (〒541-8587 大阪府大阪市中央区南本町1-6-7)

<sup>2</sup> 北海道大学大学院工学院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

<sup>3</sup> 北海道大学環境ナノ・バイオ工学研究センター (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

\* E-mail: a.taniuchi@teijin.co.jp

### 1. はじめに

下水処理技術の主流である標準活性汚泥法では、良好な処理水質が得られる一方、大量の余剰汚泥が発生するため、汚泥の減量化は重要な課題となっている。汚泥の減量化は、主に脱水や乾燥・焼却などの物理・化学処理によって行われているが、設備の償却費・維持管理費あるいは汚泥処理・処分委託費は規模が小さくなるほど割高になる傾向があるため、中小規模の下水処理施設では、汚泥の発生量自身を減らしたいとの要求が極めて高い。本研究で着目した多段型接触酸化法 (Multi-Stage Activated Biological Process, MSABP<sup>®</sup>) は、特殊繊維担体を用いた処理槽を直列に多段に配置することで、後段に向かって微小動物が出現し、食物連鎖の形成により余剰汚泥の発生を抑制すると考えられている。既往の知見<sup>1)</sup>により、MSABP<sup>®</sup>を用いた処理では、良好な処理水質を得ながらも、余剰汚泥の発生が少ないことが確認されている。しかし、未だ詳細な汚泥発生抑制効果の解析が行われておらず、またそのメカニズムは明らかになっていない。そこで本研究では、実下水を用いて MSABP<sup>®</sup>の下水処理性の評価及び余剰汚泥発生抑制機能の解析を行った。

### 2. 実験概要

本研究では、生物反応槽を8槽としたMSABP<sup>®</sup>を用いた。この装置を札幌市の下水処理場内に設置し、沈砂池流出水を原水としてHRT18時間で7ヶ月間運転を行った。期間中、1)装置の処理性能及び余剰汚泥発生抑制効果の確認、2)各槽の生物相、担体付着汚泥量および汚泥減少係数の解析を行い、食物連鎖による余剰汚泥発

生抑制効果を検討した。汚泥減少係数は、水温の条件が24℃(夏季)と14℃(冬季)の下、ラボスケール実験を行い測定した。実験は、装置から各槽の生物膜を一部取り出し、pH緩衝液で満たしたラボ実験装置に設置して2日間曝気した。生物膜は初期汚泥量(VSS換算)測定用と実験用に分け、実験初期からのVSSの減少量から算定した。また、同下水処理場の標準活性汚泥設備から活性汚泥を採取し、同様にラボスケール実験により活性汚泥の生物相及び汚泥減少係数を求め、MSABP<sup>®</sup>各槽との比較を行った。

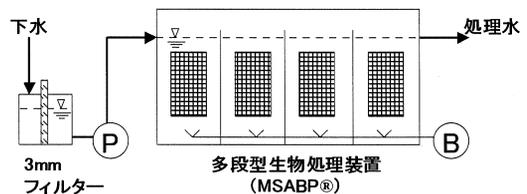


図1 実験装置フロー

### 3. 結果と考察

#### 1) リアクターの処理性

##### (1) 下水処理性

原水の平均 S-COD<sub>Cr</sub> 及び SS はそれぞれ 100mg/L、250mg/L であったのに対し、処理水の平均 S-COD<sub>Cr</sub> 及び SS はそれぞれ 18mg/L、18mg/L であり、平均 S-COD<sub>Cr</sub> 除去率及び SS 除去率はそれぞれ 82%、93% が得られ、良好に処理されていたことが明らかになった。また、水温が 15℃ 以下に低下した約 100 日目以降も安定した処理が行われていたことが確認された。

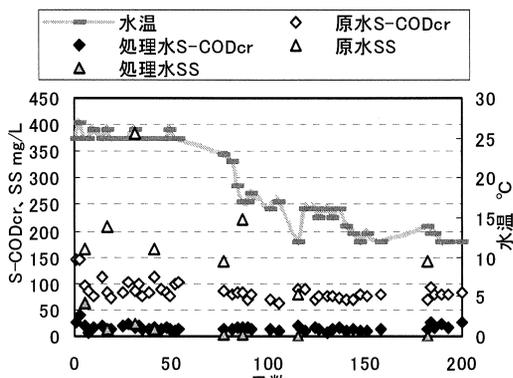


図2 原水、処理水水質および水温の経日変化

## (2) 余剰汚泥発生量

MSABP<sup>®</sup>槽底部に余剰汚泥が蓄積されていないことを確認するため、槽底部処理水を槽上部処理水と比較した。調査は、設備稼働から4ヵ月後に行ない、槽底部処理水は槽底部のドレンバルブより採水した。表1に示すとおり、槽内のSS濃度と比較して底部のSS濃度に大きな差はなく、底部の汚泥の蓄積は認められなかった。本装置では、曝気によって過剰の付着汚泥が剥離されるため、生物膜の閉塞が防止されている。また実験期間中、一度も汚泥の引抜きを行っていないことから、余剰汚泥は、全て処理水中のSSとして槽外に流出されたことになる。上述のように、処理水中のSSは平均18 mg/Lと低く、余剰汚泥発生量は流入水中のSSの約7% (18mg/250mg)であることが分かった。

表1 槽内及び槽底部のSS

槽	1,2	3,4	5,6	7,8
槽内SS(mg/L)	177	27	16	2
底部SS(mg/L)	136	28	18	5

## 2) 汚泥発生抑制機能

### (1) 後生生物相

食物連鎖による余剰汚泥発生抑制機能を検討するため、MSABP<sup>®</sup>の各段の担体付着汚泥の後生生物個体数を測定した。結果、後生生物の単位汚泥量当りの個体数は1槽目(#1)から後段に向かうほど増加し、活性汚泥と比較して後段では2倍~6倍の個体数が確認された(図3)。一般に、細菌類の汚泥収率は0.5 g/gであるが、後生生物である輪虫類及び貧毛類の汚泥収率はそれぞれ0.40 g/g、0.18 g/gと細菌類よりも小さいことが報告されており<sup>2)</sup>、摂取した有機物のほとんどを細胞の増殖ではなくCO<sub>2</sub>として排出している。そのため、後段にかけ

て汚泥中の後生生物個体数が増加することにより、汚泥量が効率よく分解すると考えられる。

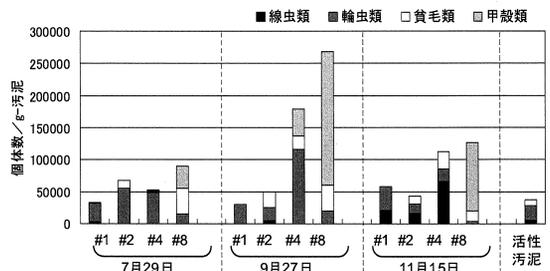


図3 各槽の後生生物の個体数

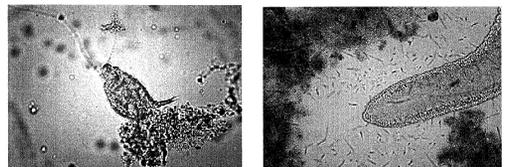


図4 観察された後生生物(左:輪虫類, 右:貧毛類)

### (2) 汚泥減少係数

汚泥減少量は汚泥量と汚泥減少係数を掛け合わせて算出される(式1)。そのため、槽内の汚泥減少係数が大きいとき、汚泥減少量は大きくなる。既往の報告<sup>1)</sup>より、MSABP<sup>®</sup>の槽内保持汚泥量は前段で大きく(MLSS換算で8000~12000 mg/L)、後段にかけて小さくなるということが報告されている。また、活性汚泥法及びMSABP<sup>®</sup>各槽の汚泥減少係数を求めたところ、平均水温24°Cの条件下での活性汚泥法の汚泥減少係数は0.064 1/d、これに対しMSABP<sup>®</sup>の1槽目では0.070 1/d、4槽目では0.16 1/d、8槽目では0.16 1/dであった(図5)。本装置では中段から後段にかけて汚泥減少係数が活性汚泥法よりも高いことが分かった。この結果は、汚泥中の後生生物個体数の傾向と同様であり、高次の生物による食物連鎖が進むことで汚泥減少係数が高くなると考えられる。

$$\text{汚泥減少量} = \text{汚泥量 (g)} \times \text{汚泥減少係数 (1/d)} \quad \dots \text{(式1)}$$

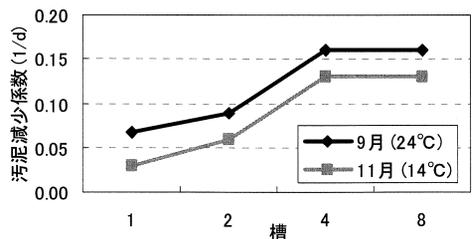


図5 各槽の汚泥減少係数

また、各槽への流入する SS と各槽から流出する SS の差を求め汚泥の減少量とし、汚泥削減率を算出した結果、槽内保持汚泥量が少ない後段でも前段と同程度の汚泥削減率を持ち、それぞれの槽で汚泥を削減していることが分かった (図 6)。これは式 1 から、汚泥減少係数が大きいことにより説明できる。このように、後段にかけて汚泥減少係数が大きく保たれることで、槽内保持汚泥量が少ない後段でも、汚泥が減少して余剰汚泥が少ない状態を保つことができると考えられる。

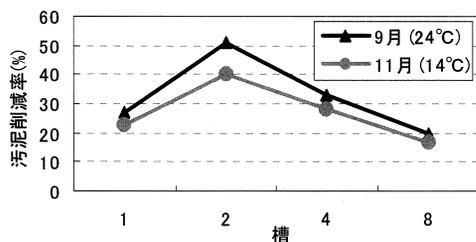


図 6 各槽の汚泥削減率

さらに、図 5 より水温 14°C の条件下では、24°C の場合と比べて全槽で汚泥減少係数が小さくなる傾向があることが分かった。同様に、それぞれの槽の担体付着汚泥量を計測したところ、24°C に比べて 14°C では、各槽で平均 30% 程度増加していた。これらの結果から、冬季などの低水温期では汚泥減少係数が小さくなるが、槽内保持汚泥量が増加することで、夏季と同程度の汚泥減少効果を保っていると考えられる。このように、本装置では一年をとおして槽内保持汚泥量や汚泥減少係数がそれぞれの環境に合わせ適切な状態になることで、余剰汚泥がほとんど出ない状態を保つことができると示唆される。

図 7 は水温 24°C の条件下で求められた汚泥減少係数より各槽の発生汚泥量を算出し、実際の流出 SS と比較したものである。図から明らかなように、各槽ともほぼ一致したことから、求められた汚泥減少係数からも MSABP<sup>®</sup> は各槽ごとに汚泥を消化し、処理水として流出する SS 以外に余剰汚泥が発生しないことが示された。ここで、装置に流入する SS から流出する SS を比較すると、汚泥減少率は 93% であることがわかった。

本装置では、汚泥が特殊繊維担体に保持されるため、SRT が長く保たれている。因みに、各槽の SRT を求めると平均 SRT は 9.4 日であった。また、槽を多段にすることで生物相が段階的に遷移し、後段にかけて高次の捕食者を保持することが可能となっている。これらの結果、MSABP<sup>®</sup> では各槽で段階的に食物連鎖が保持され、余剰汚泥の発生が抑制されることが考えられる。

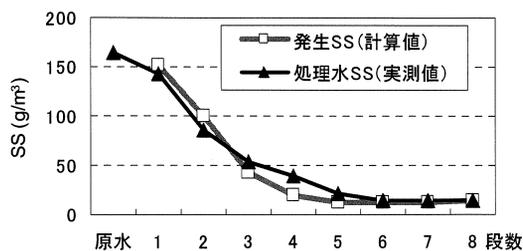


図 7 発生 SS (計算値) と処理水 SS (実測値)

#### 4. 結論

MSABP<sup>®</sup> の下水処理性は、S-COD<sub>Cr</sub> 除去率は平均 82% 及び SS 除去率は平均 93% であった。テスト期間中一度も引抜きを行わず、流入する SS に対し 93% の汚泥の発生が抑制される結果が得られた。各段の生物相及び汚泥減少係数を求めた結果、MSABP<sup>®</sup> では高次の生態系が自然に装置内に形成され、食物連鎖によって余剰汚泥の発生が抑制されることが示された。

#### 謝辞

本研究を実施するにあたり、北海道大学大学院工学研究院 佐藤久准教授のご協力を得た。ここに記し感謝致します。

#### 参考

- [1] 丹下ら：第 47 回下水道研究発表会，2010
- [2] 松永ら：第 26 回土木学会関東支部新潟会，2008