

宇都宮大学 工学部 応用化学科 栗山光央  
同 上 橘内浩二  
前澤工業株式会社 中央研究所 ○ 石川 進

1. はじめに

筆者らは、小規模の下水処理場に適した窒素除去システムの開発を目的として、浮上分離を組み込んだ嫌気好気ろ床法の研究を行っている。前報では、比較的水温の高い時期における窒素除去性について報告したが(参考文献 1)、今回は、低水温期の窒素除去性を中心に報告するとともに、窒素除去性能を更に高めるための検討結果についても報告する。

2. 実験装置概要

パイロットプラントの処理フローを図1に示す。装置概要を表1に示す。

実験プラントは、主に家庭排水を処理しているK下水処理場内に設置し、最初沈殿池流入水を原水として、実験を行なった。

本システムは、嫌気性ろ床と好気性ろ床の間に加圧浮上分離を組み込むことにより、嫌気性ろ床での脱窒性能および好気性ろ床での硝化性能を向上させるとともに、汚泥を高濃度で回収することを狙いとしている。

3. 処理状況について

1996 年 12 月以降の運転状況について報告する。実験期間については、水温、運転条件等により、便宜上 4 つの期間に区分している。各実験期間の運転状況を表 2 に、平均処理水質を表 3～表 6 に示す。

1)透視度、SS、BOD について、

処理水の透視度は、低水温期において、嫌気性ろ床での散気(接触効率を高めるために弱い散気を行っている)を停止したこともあり、約 80 度に低下しているが、

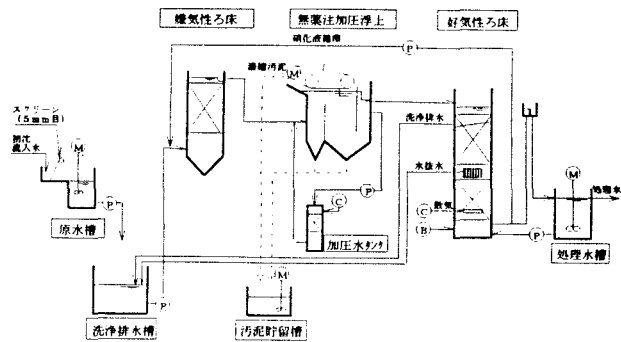


図1 パイロット実験プラント処理フロー

表1 パイロット実験プラント 装置概要

| 機器名         | 仕様                                                                                                                          |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| スクリーン       | 目開き5mmの自動バースクリーン                                                                                                            |
| 嫌気性ろ床       | 反応槽形状：1000mm×1000mm×有効4500mm<br>充填材：ボール状プラスチック製接触材（比表面積約100㎡/㎡）<br>充填高3000mm                                                |
| 無薬注<br>加圧浮上 | 浮上槽形状：400mm×2000mm×有効600mm<br>加圧水タンク：φ150mm×2000mm<br>加圧水圧力：3.5～4.5kgf/cm <sup>2</sup>                                      |
| 好気性ろ床       | 反応槽形状：1000mm×1000mm×有効3300mm<br>接触酸化部：中空円筒状プラスチック製接触材<br>比表面積約500㎡/㎡、充填高800mm<br>ろ過部：アンスラサイト（φ3～5mm）、充填高1800mm<br>洗浄頻度：1回/日 |

表2 運転状況(平均)

| RUN No.                |         | RUN1                 | RUN2    | RUN3    | RUN4    |
|------------------------|---------|----------------------|---------|---------|---------|
| 実験期間                   |         | 96年12月               | 97年1-2月 | 97年5-6月 | 97年7-9月 |
| 通水速度※1                 | 嫌気性ろ床   | m/日                  | 30      | 20      | 25      |
|                        | 好気性ろ床   | m/日                  | 30      | 20      | 25      |
| 滞留時間※1                 | 嫌気性ろ床※2 | h                    | 2.4     | 3.6     | 3.6     |
|                        | 浮上槽     | min                  | 23      | 35      | 35      |
|                        | 好気性ろ床※2 | h                    | 2.1     | 3.1     | 3.1     |
| 循環率                    |         | %                    | 200     | 200     | 200     |
| 散気倍率※1                 | 嫌気性ろ床※3 | 倍                    | 0.32    | 0       | 0.17    |
|                        | 好気性ろ床   | 倍                    | 6       | 2.3     | 2.9     |
| 加圧水比※1                 |         | %                    | 20      | 30      | 30      |
| BOD容積負荷                | 嫌気性ろ床   | kg/m <sup>3</sup> /日 | 1.67    | 1.67    | 0.73    |
|                        | 好気性ろ床   | kg/m <sup>3</sup> /日 | 1.18    | 1.18    | 0.31    |
| NO <sub>x</sub> -N容積負荷 | 嫌気性ろ床   | kg/m <sup>3</sup> /日 | 0.18    | 0.11    | 0.07    |
|                        | 好気性ろ床   | kg/m <sup>3</sup> /日 | 0.24    | 0.29    | 0.10    |
| 水温                     | 好気性ろ床   | ℃                    | 15.4    | 11.2    | 20.4    |
| DO                     | 好気性ろ床   | mg/l                 | 7.27    | 5.89    | 5.7     |
| ORP                    | 嫌気性ろ床   | mV                   | -136    | 185     | 208     |

※1：原水量に対する値で表示

※2：充填部の空塔容量に対する滞留時間

※3：RUN1では連続散気、RUN2では散気なし、

RUN3-4では、30分間に1回、1～5分間程度の散気としている。

※4：RUN4においては、NH<sub>4</sub>Clを原水量に対して、10mg N/l添加

中、高水温期では、常に 100 度以上であり良好であった。

処理水の SS は、低水温期において 3~10mg/l、中、高水温期において 1~5mg/l であり、良好であった。

処理水の BOD は、低水温期において約 10mg/l、中、高水温期において 1~5mg/l であり、良好であった。

## 2) 窒素について

硝化液の循環率は、いずれの期間においても 200% としている。従って、理論脱窒率は、66.7% となる。低水温期においては、流入下水中の窒素濃度が増加したこと、外気温の影響を受けて実験プラントの最低水温は約 10℃まで低下したこと等から、窒素の除去性は、やや低下している。低水温期の T-N 除去率は約 60%、中、高水温期では約 70% となっている。なお、RUN4 は、窒素負荷を高めるために、NH<sub>4</sub>Cl を原水量に対して、10mg-N/l 添加した期間である。

## 3) リンについて

全期間を通じて、50~60% の T-P 除去率が得られている。しかし、Ort-P についてみると、10% 程度の除去率となっていることから、凝集剤を添加しない場合には、主に、懸濁性のリンが除去される程度と考えられる。

## 4) 浮上分離について

図 2 に浮上分離での SS 除去特性を示す。循環水量を含めた水量に対して、滞留時間 7~11min、加圧水比 6~10% の条件で、SS の除去率は約 70% であった。また、BOD の除去率は、約 50% であり、回収された汚泥の濃度は、3~4% と高濃度であった。

## 4. 窒素除去性の検討

### 1) 硝化速度について

パイロットプラント好気性ろ床における水温と硝化速度の関係を図 3 に示す。実施施設における最低水温と考えられる 15℃において、約 0.15kg-N/m<sup>3</sup>-ろ床/日の硝化速度が得られた。

本好気性ろ床では、処理効率を高めるため、上部に接触材を充填し、2 床式としている。前段に浮上分離があるため、懸濁性成分の流入は少なくなっている。従って、比表面積の大きな接触材(言い換えれば、小さなサイズの接触材)を用いることが可能となる。そこで、接触材の種類による硝化速度への影響について、カラム実験を行った。その結果を表

表3 RUN1平均水質(1996年12月)  
(処理水量30m<sup>3</sup>/日、循環率200%、好気槽平均水温15.4℃)

|                    | 原水   | 嫌気槽<br>処理水 | 浮上槽<br>処理水 | 好気槽<br>処理水 | 除去率<br>% |
|--------------------|------|------------|------------|------------|----------|
| 透視度                | 度    | 4.9        |            | 80.3       |          |
| SS                 | mg/l | 177        | 60.0       | 22.5       | 8.6      |
| T BOD              | mg/l | 167        | 74.1       | 32.4       | 9.6      |
| D BOD              | mg/l | 46.9       | 11.9       |            | 4.8      |
| T N                | mg/l | 28.0       | 17.0       | 14.2       | 11.9     |
| NH <sub>4</sub> -N | mg/l | 17.1       | 7.8        |            | 3.7      |
| NO <sub>3</sub> -N | mg/l |            | 3.2        |            | 8.0      |
| T P                | mg/l | 4.9        | 3.5        | 2.9        | 2.3      |
| Ort P              | mg/l | 1.8        | 1.7        |            | 1.6      |

表4 RUN2平均水質(1997年1~2月)  
(処理水量20m<sup>3</sup>/日、循環率200%、好気槽平均水温12.2℃)

|                    | 原水   | 嫌気槽<br>処理水 | 浮上槽<br>処理水 | 好気槽<br>処理水 | 除去率<br>% |
|--------------------|------|------------|------------|------------|----------|
| 透視度                | 度    | 3.5        |            | 80.8       |          |
| SS                 | mg/l | 278        | 97.1       | 29.1       | 3.6      |
| T BOD              | mg/l | 250        | 98.2       | 46.3       | 10.6     |
| D BOD              | mg/l | 55.8       | 23.2       |            | 7.1      |
| T N                | mg/l | 36.3       | 20.5       | 17.5       | 14.7     |
| NH <sub>4</sub> -N | mg/l | 19.6       | 11.3       |            | 6.6      |
| NO <sub>3</sub> -N | mg/l |            | 2.7        |            | 7.2      |
| T P                | mg/l | 6.5        | 4.3        | 3.2        | 2.5      |
| Ort P              | mg/l | 2.5        | 2.2        |            | 2.1      |

表5 RUN3平均水質(1997年5月~6月)  
(処理水量20m<sup>3</sup>/日、循環率200%、好気槽平均水温20.4℃)

|                    | 原水   | 嫌気槽<br>処理水 | 浮上槽<br>処理水 | 好気槽<br>処理水 | 除去率<br>% |
|--------------------|------|------------|------------|------------|----------|
| 透視度                | 度    | 6.7        |            | 100以上      |          |
| SS                 | mg/l | 111        | 24.4       | 5.7        | 1.2      |
| T BOD              | mg/l | 110        | 33.9       | 13.4       | 2.3      |
| D BOD              | mg/l | 26.6       | 9.7        |            | 1.9      |
| T N                | mg/l | 20.7       | 9.2        | 8.2        | 6.4      |
| NH <sub>4</sub> -N | mg/l | 12.9       | 4.2        |            | 0.5      |
| NO <sub>3</sub> -N | mg/l |            | 1.2        |            | 5.5      |
| T P                | mg/l | 2.7        | 1.5        | 1.3        | 1.0      |
| Ort P              | mg/l | 0.7        | 0.6        |            | 0.6      |

表6 RUN4平均水質(1997年7月~9月)  
(処理水量25m<sup>3</sup>/日、NH<sub>4</sub>Clを原水に対して10mg N/l添加、循環率200%、好気槽平均水温23.7℃)

|                    | 原水   | 嫌気槽<br>処理水 | 浮上槽<br>処理水 | 好気槽<br>処理水 | 除去率<br>% |
|--------------------|------|------------|------------|------------|----------|
| 透視度                | 度    | 7.4        |            | 100以上      |          |
| SS                 | mg/l | 100        | 19.9       | 9.7        | 0.9      |
| T BOD              | mg/l | 105        | 31.6       | 20.1       | 3.6      |
| D BOD              | mg/l | 29.4       | 14.7       | 10.2       | 2.5      |
| T N                | mg/l | 30.4       | 14.6       | 13.1       | 11.6     |
| NH <sub>4</sub> -N | mg/l | 22.1       | 7.9        |            | 2.3      |
| NO <sub>3</sub> -N | mg/l |            | 1.9        |            | 7.6      |
| T P                | mg/l | 2.3        | 1.5        | 1.4        | 1.1      |
| Ort P              | mg/l | 1.6        | 1.3        |            | 1.5      |

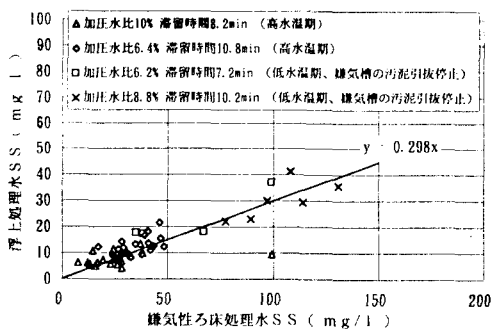


図2 無薬法加圧浮上のSS除去特性  
(加圧水比および滞留時間は循環水を含む実質的な値、加圧水圧力3.5~4.5kgf/cm<sup>2</sup>)

7に示す。比表面積が大きくなる程、単位容積当たりの硝化速度が大きくなる結果となっている。

以上のことから、より比表面積の大きな接触材を用いることにより、さらに硝化能力を向上させることが可能と考えられる。

2)脱窒速度について

パイロットプラント嫌気性ろ床における水温と脱窒速度の関係を図4に示す。実施設における最低水温と考えられる15℃において、約0.08kg-N/m<sup>3</sup>-ろ床/日の脱窒速度が得られた。

嫌気性ろ床については、現在、比表面積約100m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>のボール状接触材を用いている。この接触材においては、生物膜の付着量をMLSS濃度換算で5000mg/l程度に維持することが最も効果的と考えられた。生物膜の付着量が多くなり過ぎると、ろ床の閉塞が起こり、脱窒性能は低下した。なお、1～2ヶ月に1回空気洗浄を行うことにより、比較的容易に良好な状態を維持できることも分かっている。

脱窒性能を高めるためには、より多くの生物を保持し、ろ床内の混合状態を良くし接触効率を高める必要がある。本システムにおいては、後段に浮上分離があるため、嫌気性ろ床において固液分離を行う必要はない。従って、嫌気性ろ床を流動床とすることで、脱窒性能の向上を図ることが可能と考えられる。

5. まとめ

浮上分離を組込んだ嫌気好気ろ床法のパイロットプラントを用いて、実下水による実験を行った。その結果、低水温期においても、短時間で比較的良好な窒素除去が可能であった。また、浮上分離(無薬注加圧浮上)での固液分離性能が高く、高濃度の汚泥を回収することが可能であった。

今後の課題として、浮上分離の効果をさらに生かすために、嫌気性ろ床を流動床とすることや、好気性ろ床の上部をより比表面積の大きな接触材とすることを考えている。また、金属凝集剤を浮上槽に注入することで、窒素、リンの同時除去についても検討する予定である。

<参考文献>

1) 栗山、橋内、石川「浮上分離を組込んだ嫌気好気ろ床法による下水処理」第33回環境工学研究フォーラム講演集 pp. 6-8(1996)  
2) 栗山、橋内、石川「浮上分離を組込んだ嫌気好気ろ床法による下水処理について」第34回下水道研究発表会講演集pp. 638-640(1997)

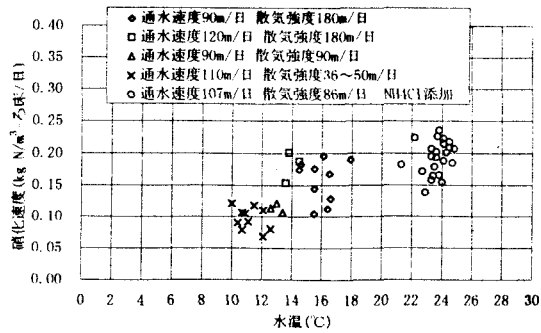


図3 パイロットプラント好気性ろ床の硝化速度 (通水速度は、循環水を含む実質的な速度)

表7 接触材の種類による硝化速度の影響 (φ100mmカラムによる実験、原水はパイロットプラント浮上処理水、水温20～25℃)

|                         | 接触材A                  | 接触材B<br>(現在使用している接触材)                                  | 接触材C                                                   |
|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 材質                      | ポリプロピレン               | ポリプロピレン                                                | ポリプロピレン                                                |
| 形状                      | ネットリング状<br>φ36mm×36mm | 中空円筒状<br>表面に多数の凹凸があり、100～300μm程度の空孔を有する。<br>φ20mm×20mm | 中空円筒状<br>表面に多数の凹凸があり、100～300μm程度の空孔を有する。<br>φ10mm×10mm |
| 比表面積<br>(m²/m³)         | 約200                  | 約500                                                   | 約1000                                                  |
| 硝化速度<br>(kg-N・m⁻³・ろ床/日) | 0.1～0.15              | 0.2～0.3                                                | 0.4～0.5                                                |

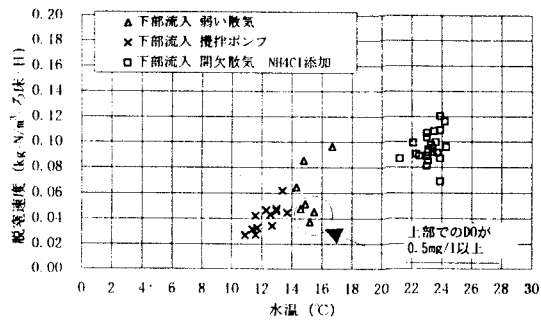


図4 パイロットプラント嫌気性ろ床の脱窒速度