

# 低コスト畜舎排水処理施設の開発 - 活性汚泥処理水の循環処理による窒素低減 -

脇本進行・白石 誠・内田啓一・古川陽一・奥田宏健

## Development of low cost livestock barmwastewater treatment facilities - Nitrogen decrease by circulation processing of activated sludge treatment water -

Nobuyuki WAKIMOTO・Makoto SHIRAIISHI・Keiichi UCHIDA・Youichi FURUKAWA・Hiroken OKUDA

### 要 約

乳牛40頭規模の酪農に対応した連続式活性汚泥実証施設（BOD容積負荷量0.35kg/m<sup>3</sup>・日）において、活性汚泥処理水を調整槽へ循環することによる窒素除去率と処理水質を調査した。

- 1 窒素除去率は、活性汚泥処理水を循環させない区より循環させた区が向上した。
- 2 BOD、COD、SS及びT-Pは、処理水の循環により除去率が改善した。しかし、T-P除去率は50%以下に止まった。

キーワード： 乳牛、活性汚泥処理、循環脱窒法

### 緒 言

近年、自然環境保全のため家畜ふん尿処理に係る法規制が強化されてきている。酪農家における尿污水处理は、これまで貯留尿をそのまま圃場に散布したり、素掘り等により処理していたが、このような処理は、河川等の環境汚染や悪臭の発生原因となり困難になってきている。

そこで、これら尿污水については、全国的に各種の処理・利用試験が進められている<sup>6-13)</sup>。岡山県総合畜産センター（以下 当センター）では、乳牛40頭規模の酪農に対応した連続式活性汚泥処理法による尿污水处理施設を建設して、実証運転を実施し、実規模施設の可能性を検討した。今回の試験では、富栄養化の原因物質として知られている窒素の除去試験と処理水質の向上を目的に、処理水の循環による効果を検討した。

### 材料及び方法

#### 1 実験施設

試験に用いた污水处理実験施設のフローを図1に示した。

本試験施設の尿污水の処理能力は乳牛40頭規模の酪農より排泄される尿污水の処理が可能な規模である。

この施設の特徴は、曝気槽において生成されたNO<sub>x</sub>-Nを含む処理水を調整槽に循環し、処理水を嫌気的な状態に置くことにより脱窒菌が活性化して窒素を窒素ガスとして空気中へ排出し、窒素低減を行うことである。

この施設は原水槽、調整槽、曝気槽、沈殿槽及び処理水槽の5槽からなり、各槽の大きさ及び汚水の滞留時間を表1に示した。施設の中心となる曝気槽の容積は24m<sup>3</sup>であり、BOD容積負荷量は標準的な0.4kg/m<sup>3</sup>・日で、汚水滞留時間(HRT)は77hrを確保した。処理水の循環を行うための調整槽のHRTは、対照区で6.5hr、循環を行う試験区で4.3hrであった。これは、BOD/N比が低い場合においても高い脱窒率が望める6hrよりは若干短いHRTであった<sup>13)</sup>。

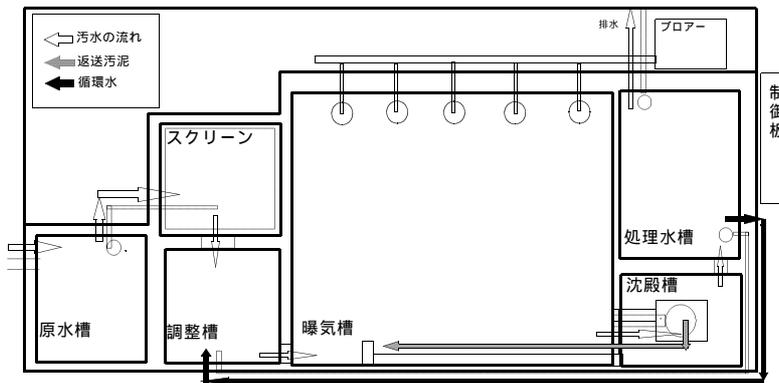


図1 低コスト畜舎排水処理施設

表1 各槽の容積、施設面積及び滞留時間 (HRT)

| 施設名  | 容積等                 | HRT    |
|------|---------------------|--------|
| 原水槽  | 2.4 m <sup>3</sup>  | 7.8hr  |
| 調整槽  | 2.0 m <sup>3</sup>  | 6.5hr  |
| 曝気槽  | 24.0 m <sup>3</sup> | 77.8hr |
| 沈殿槽  | 2.6 m <sup>3</sup>  | 8.4hr  |
| 処理水槽 | 3.0 m <sup>3</sup>  | 9.7hr  |
| 施設面積 | 36.6 m <sup>2</sup> |        |

## 2 試験区分

試験区は、活性汚泥処理した処理水を処理水槽から調整槽へ循環した。対照区は、処理水の循環を行わない区とし、活性汚泥処理水の循環による窒素除去率及びその他の処理水質について処理水を循環しない区と比較した。なお、処理水の循環量は、過負荷のトラブル発生時に施設へ急激な負荷がかからないようにするため、原水量に対して50%とした。

## 3 供試尿污水

供試尿污水はセンター内大家畜ゾーン乳牛舎から排出された尿污水を原水とした。施設へは1日7.4 tの污水を水中ポンプにより投入した。曝気槽のBOD容積負荷量は0.4kg/m<sup>3</sup>・日で運転した。

## 4 試験運転期間

試験運転期間では、対照区は平成14年4月から1ヶ月馴致運転を行った後、5～7月に試験運転した。また、試験区は平成14年8月から1ヶ月馴致運転を行った後、9～10月にかけて試験運転した。

## 5 調査項目等

調査試料は、原水、スクリーン分離水、調整槽排水及び処理水槽の処理水とした。分析は、pH、EC、COD、BOD、SS、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-Pを測定した。また、曝気槽では、活性汚泥の混合液を採取し、MLSS、SV、水温、DO、ORP、pH、を調査した。

分析方法では、pH、ECはガラス電極法、ORPは金属電極法、DOは隔膜ポーラログラフ法、CODは過マンガン酸カリウムによる100 加熱法、BODはウインクラーアジ化ナトリウム変法、SSはガラス繊維濾過法、T-N及びT-Pは同時分解法、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nはプレムナー蒸留法、SVは1 Lメスリンドーによる30分沈殿法、MLSSはろ過して乾燥後秤量した。

水質検査は、試験運転期間中の雨水などの混入により水質、BOD容積負荷量に影響のあった梅雨の6月を除く期間で、BOD容積負荷量が0.2～0.6kg/m<sup>3</sup>・日以内の範囲にあるデータ4回(水質検査日、対照区5月8日、24日、7月10日、24日、試験区9月12日、19日、26日、10月4日)の平均を比較した。

## 6 試験運転期間中の気温条件および曝気槽の運転状況の変化

### (1) 気温条件及び曝気槽の運転状況の変化

試験運転期間中の水温の変化を図2に示した。

水温は4月の馴致開始時から気温の上昇とともに上昇し、8月下旬から低下する傾向が認められた。しかし、いずれも水温の影響を受けると言われる10 以下<sup>5)</sup>になることはなかった。

原污水中BOD、SS、T-Nの濃度の変化を図3に示した。

BOD濃度については、雨水の混入などにより315mg/L～4,425 mg/L前後と試験運転期間中大きく変動した。T-N濃度は、98～2,071mg/Lの間で変化した。

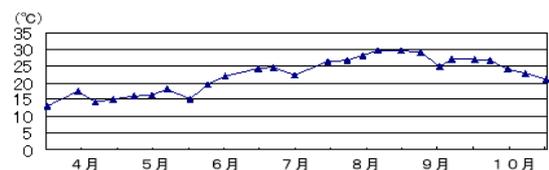


図2 曝気槽の水温の推移

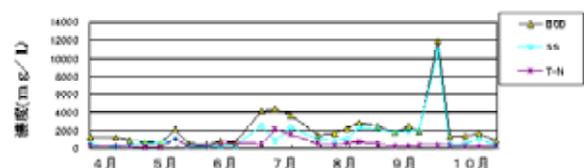


図3 試験運転期間中の原水質の推移

(2) 曝気槽活性汚泥混合液の水質

曝気槽活性汚泥混合液の水質検査結果4回の平均を表2に示した。

BOD容積負荷量は試験区で0.35 kg/m<sup>3</sup>・日、対照区で0.3kg/m<sup>3</sup>・日となり、標準活性汚泥法の0.4kg/m<sup>3</sup>・日<sup>1)</sup>よりやや低いBOD容積負荷量となった。

水温は、試験区21.4度、対照区23.3度であった。

MLSSは、対象区で4,222mg/L、試験区で5,098mg/Lと一般的な活性汚泥量の3,000~6,000mg/Lの範囲内であった。SVは対象区44.5%、試験区49.5%でいずれも良好な沈降性を示した。

DOは、曝気による泡の影響がないように散気管設置場所の対角線の位置で測定し、対照区で0.43mg/L、試験区で0.45mg/Lとなった。また、ORPについては、試験区で22mV、対照区で47mVを示し、いずれもプラスで槽内で活性汚泥微生物による酸化分解が進行していると考えられた。

これらのことから両区ともに尿汚水の処理に曝気槽の運転状況は順調であると推定された。

表2 曝気槽の管理状況

| 区分  | BOD容積負荷量<br>(kg/m <sup>3</sup> ・日) | 曝気槽            |           |            |              |             |
|-----|------------------------------------|----------------|-----------|------------|--------------|-------------|
|     |                                    | MLSS<br>(mg/L) | SV<br>(%) | 水温<br>(°C) | DO<br>(mg/L) | ORP<br>(mV) |
| 試験区 | 0.35                               | 5098           | 49.5      | 21.4       | 0.45         | 22          |
| 対照区 | 0.3                                | 4222           | 44.5      | 23.3       | 0.43         | 47          |

結 果

1 原水から処理水までのpHの変化

水質検査実施時の原水から処理水に至るまでのpHの変化を表3に示した。

対照区では原水pHが8.27に対して曝気槽では7.63まで低下した。その後、沈殿槽通過後の処理水では、7.76に若干上昇した。試験区でのpHの変化は、原水の7.8は、調整槽で7.86、曝気槽8.06まで上昇し、沈殿槽を通過した最終処理水では8.11と原水から処理水まで上昇した。

表3 原水から処理水までのpHの変化

| 区 分 | 原水  | 調整槽  | 曝気槽  | 処理水  |
|-----|-----|------|------|------|
| 試験区 | 7.8 | 7.86 | 8.06 | 8.11 |
| 対照区 | 8.3 | 8.27 | 7.63 | 7.76 |

2 試験期間中の投入汚水、スクリーン分離水及び処理水等の水質の変化

各区の水質検査4回の平均を表4に示した。原水はスクリーン投入前、分離水はスクリーン通過直後、調整槽は、調整槽排水、処理水は処理水槽から採取した汚水である。

T-N濃度は、対照区では、原水373.32mg/L、処理水145.8mg/L(除去率61.0%)であったのに対して、試験区では原水280.35mg/L、処理水中31.53mg/Lに低減した。T-N除去率は、61.0%から88.8%に向上した。

BODは、対照区で原水1186.68mg/L、処理水で31.2mg/Lまで低下したのに対して試験区では原水1257.34mg/L、処理水で18.48mg/Lまで除去され、除去率では対照区97.4%に対して試験区98.5%に向上した。

SSは、対照区で原水594.18mg/L、処理水で46.25mg/Lまで低下したのに対して、試験区では原水563.85mg/L、処理水で13.16mg/Lまで低下した。除去率は対照区92.2%に対して試験区で97.7%に向上した。

CODは、対照区で原水676.12mg/L、処理水で150.82mg/Lまで低下したのに対して、試験区では原水571.2mg/L、処理水で83.23mg/Lまで低下した。除去率は対照区77.7%に対して試験区で85.4%に向上した。

T-Pは、対照区で原水11.66mg/L、処理水で9.39mg/Lまで低下したのに対して、試験区では原水13.31mg/L、処理水で7.37mg/Lまで低下した。除去率は対照区19.5%に対して試験区で44.7%に向上した。

表4 原水及び処理水等の性状

| 区 分 | pH   | EC   | COD    | BOD     | SS     | T-N    | T-P   |
|-----|------|------|--------|---------|--------|--------|-------|
| 試験区 |      |      |        |         |        |        |       |
| 原水  | 7.80 | 3.65 | 571.20 | 1257.34 | 563.85 | 280.35 | 13.31 |
| 分離水 | 7.86 | 3.74 | 568.68 | 1254.06 | 573.33 | 271.08 | 16.50 |
| 調整槽 | 7.81 | 3.37 | 375.48 | 763.20  | 318.19 | 187.20 | 12.83 |
| 処理水 | 8.11 | 2.88 | 83.23  | 18.48   | 13.16  | 31.53  | 7.37  |
| 除去率 |      |      | 85.4%  | 98.5%   | 97.7%  | 88.8%  | 44.7% |
| 対照区 |      |      |        |         |        |        |       |
| 原水  | 8.27 | 4.28 | 676.12 | 1186.68 | 594.18 | 373.32 | 11.66 |
| 分離水 | 8.27 | 4.25 | 668.64 | 1112.45 | 493.75 | 377.64 | 12.00 |
| 調整槽 | 8.15 | 4.23 | 575.08 | 986.40  | 260.00 | 320.85 | 12.04 |
| 処理水 | 7.76 | 3.34 | 150.82 | 31.24   | 46.25  | 145.80 | 9.39  |
| 除去率 |      |      | 77.7%  | 97.4%   | 92.2%  | 61.0%  | 19.5% |

### 3 原水から処理水までのNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nの変化

窒素除去に関係の深いNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nの原水から分離水、調整槽及び処理水中の変化を図4、5に示した。対照区では、処理水中NH<sub>4</sub>-Nは、調整槽汚水中NH<sub>4</sub>-Nに比べ55%の除去に留まったの

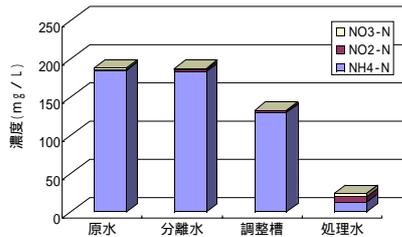


図4 NH<sub>4</sub>-N及びNO<sub>x</sub>-Nの推移 (試験区)

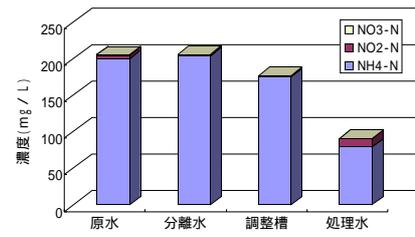


図5 NH<sub>4</sub>-N及びNO<sub>x</sub>-Nの推移 (対照区)

に対して、試験区では、90%が除去された。また、硝化反応の最終産物である処理水中NO<sub>3</sub>-N濃度は、対照区と比較して試験区で高い結果となった。

また、処理水の循環による処理水中NO<sub>3</sub>-Nは、処理水循環を行った調整槽の汚水に含まれず、NO<sub>3</sub>-Nは調整槽汚水中に認められなかった。

### 4 前処理（スクリーン、調整槽）と曝気槽の除去率

試験期間中における前処理施設（スクリーン、調整槽）と曝気槽の除去率を表5に示した。

網目間隔1mmのスクリーン（振動篩式）の除去率は、SSが7.9%、BODが3.2%であった。また、調整槽での汚水の沈殿分離については、SS除去率45.8%、BOD除去率26.1%と比較的高い結果が得られた。

また、施設の中心となる曝気槽の除去率は、BOD除去率が97.2%、SS除去率89.7%、COD除去率81.2%、T-P除去率32.9%であった。

表5 前処理（スクリーン、調整槽）と曝気槽の除去率

| 区分       | COD   | BOD   | SS    | T-N   | T-P    |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|
| スクリーン除去率 | 0.8%  | 3.2%  | 7.9%  | 0.8%  | -14.1% |
| 調整槽除去率   | 23.2% | 26.1% | 45.8% | 21.7% | 12.8%  |
| 曝気槽除去率   | 75.4% | 97.2% | 89.7% | 65.1% | 32.6%  |
| 全体除去率    | 81.2% | 98.0% | 94.9% | 72.9% | 32.9%  |

## 考 察

#### 1 各槽のpHの変化

対照区曝気槽においては硝化反応が促進されpHが低下したことが考えられた。また、試験区でのpHは、原水から処理水まで徐々に上昇する傾向が認められたことは、硝化反応により生成されたNO<sub>x</sub>-Nが循環脱窒により減少し、調整槽でpHが上昇し、かつ循環によりpHが高く保たれたと考えられた。また、両区ともに、曝気槽混合水に比べ処理水のpHが上昇したことから沈殿槽においても脱窒が行われたことが推察された。

#### 2 試験期間中の投入汚水、スクリーン分離水及び処理水等の水質の変化

対照区に比べ、試験区でT-Nの除去率が上昇したことは、試験区において、処理水循環により原水の有機物源を利用して調整槽で処理水中のNO<sub>x</sub>-Nが脱窒菌の働きにより窒素ガスとして空気に排出されたことが考えられた。

BOD及びSS除去は、対照区に比べ試験区で改善が認められた。これは循環による希釈効果による除去率が改善したと考えられた。また、特に対象区で処理水中に比較的高い濃度で残存し、水質汚濁防止法排水基準をクリアしていなかったCODについても循環により排水基準値以下に改善された。これは循環による希釈効果とあわせて、COD濃度に影響を与えるNO<sub>2</sub>-Nの除去による効果と考えられた。

T-P除去は、いずれの区も低い結果となった。除去されたT-Pは沈殿分離及び活性汚泥微生物の増殖に利用されたものと推察された。

なお、BOD/T-N比が3未満になるとT-N除去率が低下することが知られている<sup>13)</sup>が、本試験のBOD/T-N比は3以上であり、BOD/T-N比の違いによる影響は認められないと考えられた。

これらの結果から調整槽への処理水循環は、窒素除去や処理水質の改善にも有効であることが、実証レベルの施設においても確認された。

#### 3 各槽におけるNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nの変化

処理水中NH<sub>4</sub>-Nは、対象区と比較して試験区では減少していることが示され、曝気槽で効率的に硝化反応が進行したと考えられた。

また、処理水の循環による脱窒は、試験区で、処理水中に認められたNO<sub>3</sub>-Nは、循環した調整槽汚水中に認められなかったことから、調整槽で脱窒反応が起こり、窒素ガスとして空気中に排出されたと考えられた。

#### 4 スクリーン、調整槽及び曝気槽の処理性能

スクリーン(振動篩式)の除去率は、鈴木らによるSS除去率など<sup>3,4)</sup>と比較しても低く、雑排水の混入により原污水が希釈されたため汚水濃度がうすく、高い除去率が得られなかったと考えられた。

また、調整槽での汚水の沈殿分離によるSS除去率は両区とも高く、前処理としてSSの除去に沈殿槽が非常に有効であったことが認められた。

また、施設の中心となる曝気槽の除去率は、設計基準値<sup>1,2)</sup>のBOD、SS除去率95%と比較すると、BODについては高い除去率が得られたが、SS除去率はやや低い結果となった。

T-Pについては、両区ともに除去率が50%以下と低く、具体的な対応策が必要であると考えられた。

以上のことから乳牛40頭規模の連続式活性汚泥処理法による尿污水处理実証施設において、活性汚泥処理水の循環による窒素除去試験を実施したところ、対照区に比べて高い窒素除去率が得られた。また、COD、T-Pにおいても除去率が向上して水質汚濁防止法特定施設排水基準値をクリアーし、循環による効果が認められた。このことは、実証レベルにおける畜舎排水処理においても本法による処理が十分可能であることが示された。なお、T-Pについては、排水基準値をクリアーしているものの両区とも50%以下の除去率しか示されておらず、今後の改良の必要性が認められた。

#### 引用文献

- 1) 畜産環境アドバイザー養成研修会資料(汚水処理施設の設計・審査技術研修):財団法人畜産環境整備機構, 81-92
- 2) 水処理工学—理論と応用—:技報出版株式会社, 296~311
- 3) 鈴木直人、伊禮判、中宗根寛(2000):畜産公害対策試験(8)振動ふるい機の網目間隔の検討, 沖縄県畜産試験場試験研究報告第38号, 56-59
- 4) 杉本清美・大泉長治・高鼻聖治・曾根一幸(1994):固液分離機の性能調査( ), 千葉県畜産センター第18号, 97-98
- 5) 本多勝男ら(1988):活性汚泥浄化槽の冬期維持管理対策, 神奈川県畜産試験場研究報告第78号, 40-49
- 6) 浦野義雄・山田正幸ら(2001):土壌を活用したトン尿污水处理法の実証試験(第一報), 群馬県畜産試験場第8号, 66-76
- 7) 梶原浩昭・伊東壽夫(2001):オキシデーション・ディッチ型回分式活性汚泥法污水处理施設の性能調査, 長崎県畜産試験場研究報告第10号, 22-24
- 8) 土井真也・渡辺千春・藤田 耕(2002):無希釈尿污水の曝気処理による液肥化技術 腐植質資材の必要性および処理水が臭気に及ぼす影響の検討, 滋賀県畜産技術振興センター第8号, 26-30
- 9) 脇屋裕一郎ら(2002):低コストセラミックを利用した汚水浄化処理試験, 西日本畜産学会報45, 45-50,
- 10) 長田隆・羽賀清典・原田靖生ら(1986):間欠曝気式回分式活性汚泥法による豚尿污水中の窒素・リンの除去, 畜産研究成果情報3, 39-40,
- 11) 陳昌淑・田中康男(2001):硫酸酸化反応による畜舎污水の窒素除去と脱色, 用水と排水vol.43No.12, 25-31
- 12) 脇本進行・古川陽一・白石誠・内田啓一・日野靖興(2000):廃棄物を利用した生物膜法による家畜尿污水处理技術の確立( ), 岡山県総合畜産センター研究報告第11号, 71-76
- 13) 吉野常夫(1994):硝化液循環嫌気好気ろ床法の脱窒槽に及ぼすBOD/N比とHRTの影響, 用水と排水Vol.36 No.12, 25-30

