

尿汚水活性汚泥処理水のリン・窒素の低減及び脱色技術の検討

脇本進行・北村直起・白石 誠・滝本英二・奥田宏健

Decrease of phosphorus nitrogen of urinesewage activated studge treatment water and examination of bleaching technology

Nobuyuki WAKIMOTO・Naoki KITAMURA・Makoto SHIRAIISHI・Eiji TAKIMOTO
and Kouken OKUDA

要 約

乳牛40頭規模の活性汚泥処理実証施設で、間欠曝気処理法によるリン・窒素の除去効果を検討したところ、間欠曝気運転は連続曝気運転よりも効率的にリン・窒素を除去できた。また、黒ぼく土による脱色装置を用いて実証施設処理水の脱色効果を検討したところ、高い脱色効果が認められた。

- 1 試験区のリン除去率は75.6%、窒素除去率は86.7%であり、対照区のそれぞれ14.5%、60.2%に比べ除去率が改善された。
- 2 黒ぼく土による活性汚泥処理水の脱色は、77日間脱色率50%以上が維持された。
- 3 脱色率とCOD除去率の間には高い相関が認められた。
- 4 脱色率が50%を下回った時点の累積の投入水量は、黒ぼく土1gに対して1区で9.73ml、2区で9.78ml、3区で12.5mlであった。

キーワード： 活性汚泥処理、間欠曝気処理、生物学的脱リン、硝化脱窒、黒ぼく土、脱色

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。酪農家における尿汚水処理は、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、このような方法は、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いる。

家畜尿汚水の処理については、全国的に各種の試験が進められている²⁻¹⁰⁾が、コスト面や窒素・リンの除去など問題点が多い、さらに近年は処理水の着色が問題視されはじめ、その対策も求められている。

このような中で、岡山県下の平均的な飼養規模である乳牛40頭規模の酪農に対応した連続式活性汚泥処理施設による実証運転を実施し、実証レベルでの処理能力を検討した。今回の試験では、富栄養化の原因物質として知られるリン・窒素について、間欠曝気法による除去効果と、いまだ問題が多いとされる浄化処理水の脱色技術について、本県で開発された土壌ろ床⁹⁾に用いる黒ぼく土の脱色への有効性を確認するため、実証施設処理水に対する黒ぼく土の脱色効果及び処理限界量を検討した。

材料及び方法

1 試験1：間欠曝気法による処理水中リン・窒素低減試験

(1) 実験施設及び運転方法

試験に用いた汚水処理実験施設のフローを図1に示した。

本試験施設は、乳牛40頭規模の酪農施設より排泄される尿汚水の処理が可能な規模である。

この施設は原水槽、調整槽、曝気槽、沈殿槽、生物膜槽及び処理水槽の6槽からなり、施設の中心となる曝気槽の容積は24m³、BOD容積負荷量は0.3kg/m³・日で運転を行う。

なお、本施設では、窒素除去のために処理水を調整槽へ循環できる構造とし、さらに処理水質の安定化と循環する処理水の硝化の促進を図るため最終沈殿槽の後に生物膜槽を設置し曝気運転を行っている。

今年度は、この施設の曝気槽を間欠曝気処理を行うことによるリン・窒素の除去効果を調査した。

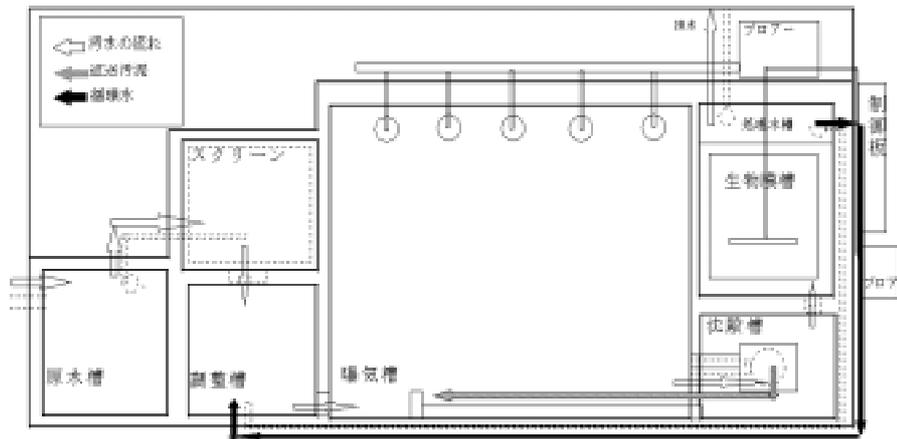


図1 汚水処理実証施設の平面図と汚水の流れ

(2) 試験区分

試験区分を表1に示した。

試験区は、リン・窒素除去を行うため、曝気槽を2時間の間欠曝気運転を行い、連続曝気運転の対照区と比較した。その他の運転方法は同じとした。

今回の試験では、リン除去を中心に曝気時間を設定した。間欠曝気の間隔は、著者ら⁵⁾による生物膜法間欠曝気運転の試験において連続曝気と比較して、3時間と6時間の間欠曝気を行った試験区でリン除去率が向上したが6時間の間欠曝気では水質の悪化が認められた。住吉ら¹¹⁾による嫌気・好気法によるリン除去試験では、好気時間が2.4時間以内で嫌気時間に関係なくリンを除去できた。深瀬ら¹⁹⁾による好気滞留時間は下水を対象とした場合は、1.5~2.0時間が適当である。これらの成績から、今回の曝気間隔は、リン除去効果が見込まれ、処理水質の低下がない条件として2時間間隔の間欠曝気とし、その時のリン除去効果や処理水質へ及ぼす影響について連続曝気と比較検討した。

区 分	処 理 方 式	
	曝 気 槽	生 物 膜 槽
試 験 区	2時間間欠曝気	連 続 曝 気
対 照 区	連 続 曝 気	連 続 曝 気

注) 両区ともに汚水投入量：循環量 = 1 : 0.5で循環

(3) 供試尿汚水

供試尿汚水は、大家畜ゾーン乳牛舎から排出された尿汚水を原水とした。施設へは1日7.4tの汚水を水中ポンプにより投入した。

(4) 調査項目等

調査試料は、原水、調整槽水、沈殿槽排水及び処理水を定期的に採取した。

分析は、T-P、T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、pH、EC、COD、BOD、SSを測定した。また、曝気槽では、SV、水温、DO、ORPを測定した後、活性汚泥の混合液を採取し、MLSSと活性汚泥中リン含量を測定した。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、NH₄-N、NO₂-N及びNO₃-Nはプレムナー蒸留法、SVは1 Lメスシリンダーによる30分沈殿法、MLSSは蒸留水で洗い蒸発乾固後秤量し、活性汚泥中リン含量は乾式灰化した後、硫酸モリブデン酸法により、分光光度計で測定した。

(5) 試験期間

試験運転期間では、対照区は平成15年6月から1ヶ月馴致運転を行った後、7月9日から8月13日にかけて試験運転を行った。また、試験区は平成15年9月から1ヶ月馴致運転を行った後、10月1日から11月6日にかけて試験運転を行った。

水質検査は、試験区、対照区ともに1ヶ月の調査期間中週1回計5回(水質検査日、対照区7月16日、23日、31日、8月7日、13日 試験区10月1日、9日、17日、30日、11月4日)の平均を比較した。

(6) 試験運転期間中の水温および曝気槽の運転状況の変化

曝気槽の運転管理状況について、検査日5回の平均を表2に示した。

MLSSは、対象区で3,046mg/L、試験区で3,950mg/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37.7%、試験区55.8%でいずれも良好な沈降性を示した。

曝気槽の水温は、試験期間の平均で示すと試験区21.4、対照区23.3であった。いずれも活性汚泥が水温の影響を受けるとされる 10^{-2} 以上であったことから、水温の違いによる影響はないものと考えられた。

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0.8mg/L、試験区で1.9mg/Lとなった。また、ORPについては、試験区で11mV、対照区で139mV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	MLSS (mg/L)	SV (%)	水温 ()	DO (mg/L)	ORP (mV)
試験区	3950	55.8	21.3	0.8	139
対照区	3046	37.7	24.5	1.9	11

2 試験2：黒ぼく土による処理水脱色試験

(1) 試験区分及び試験方法

試験区分は表3に示すとおり、1日当たりの投入水量の違いによる3区を設定した。

脱色に用いた実験装置の概略は、図2に示した。装置は有効容積10Lの脱色処理槽に黒ぼく土8Kgを充填した。黒ぼく土表面積は362cm²であった。原水の投入は、マイクロチューブポンプを用いて毎日定量を間欠投入した。

原水は、実証施設より得られた処理水を原水槽(20Lタンク)にストックして用いた。水量負荷は、表3に示すとおり、1区では、井上ら⁹⁾による試験で定められた最大負荷水量25L/m²・日とほぼ同様の約1L/362cm²・日とし、これを基本として高い負荷量の2区及び3区を設定した。

表3 試験区分

区分	投入汚水量	水量負荷
1区	1,000ml/日	25.0L/m ² ・日
2区	2,500ml/日	62.5L/m ² ・日
3区	5,000ml/日	125.0L/m ² ・日

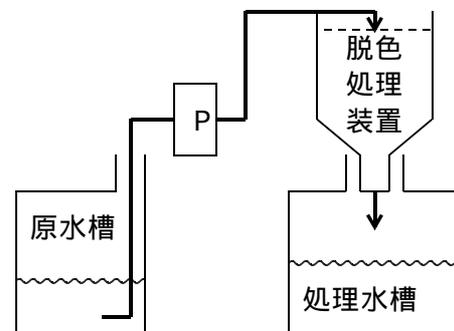


図2 脱色処理装置の概略

(2) 調査項目及び方法

調査は、原水に対する処理水の脱色率、投入汚水、処理水の性状と試験開始前及び終了時の黒ぼく土の成分について行った。なお、土壌成分については、試験終了後装置より採取分析した。投入汚水及び処理水の性状は週1回、pH、EC、COD、BOD、SS、T-N、T-P、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nについて行った。

黒ぼく土の成分は、開始前と終了時の2回、pH、EC、T-N、T-C、可給態P、ex-K、ex-Ca、ex-Mgについて分析測定した。

分析方法については、脱色率は、分光光度計(Ubest-30型)による410nmの吸光度を測定した。水質成分については試験1に準じて分析した。

黒ぼく土の固形分調査については、pH、ECは蒸留水で5倍希釈しガラス電極法で分析し、T-C、T-NはCNコーダーで分析した。可給態Pは分光光度計、ex-K、ex-Ca、ex-Mgは原子吸光を用い分析した。

(3) 試験期間

試験期間は、平成15年9月16日から12月10日の約3ヶ月間実施した。

結 果

1 試験1：間欠曝気法による処理水中リン・窒素低減試験

(1) 処理水中リン・窒素の除去率

各区の水質検査5回の平均を表4に示した。

T-Pは、対照区で原水14.5mg/Lから処理水で12.4mg/Lまでしか低下しなかったのに対して、試験区では原水24.2mg/Lから処理水5.9mg/Lまで低下した。除去率は対照区14.5%に対して試験区で75.6%に向上した。

T-Nは、対照区では、原水172.2mg/L、処理水68.6mg/Lであったのに対して、試験区では原水299.7mg/L、処理水中39.9mg/Lに低減した。除去率は、対照区60.2%から試験区86.7%に向上した。

表4 原水及び処理水の性状

		(mS / cm mg / L)						
区 分		T-N	T-P	pH	EC	COD	BOD	SS
試験区	原 水	299.7	24.2	6.5	2.6	675.1	3123.9	1098.0
	処理水	39.9	5.9	7.8	1.8	44.3	16.3	14.8
	除去率	86.7%	75.6%		30.7%	93.4%	99.5%	98.7%
対照区	原 水	172.2	14.5	7.9	2.1	421.9	631.7	257.6
	処理水	68.6	12.4	7.9	1.5	65.6	6.5	23.6
	除去率	60.2%	14.5%		28.6%	84.5%	99.0%	90.8%

(2) 活性汚泥中のリン含量

試験区の活性汚泥乾物中リン含量は2.4%で対照区1.9%に比べ高く、対照区に比べ試験区でリン含有率が26%向上した。

(3) 有機態窒素、NH₄-N、NO₂-NおよびNO₃-Nの変化

窒素除去に係わる有機態窒素、NH₄-N、NO₂-NおよびNO₃-Nの各槽における増減を図3に示した。

両区とも原水中に多く含まれていた有機態窒素、NH₄-Nは、処理水槽に至るまでに低減した。

また、対照区では、沈殿槽、処理水にNO₂-N、NO₃-Nが各々20~30mg/L含まれていた。これに対して試験区では、沈殿槽でNO₂-N、NO₃-Nは認められず、また、処理水では2mg/L以下であった。

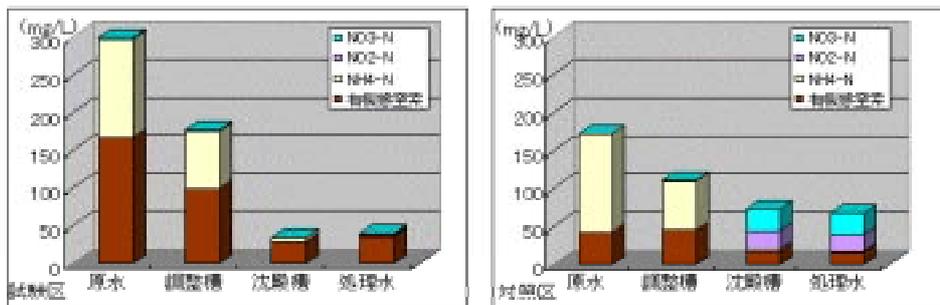


図3 原水から処理水までの有機態窒素、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの変化

2 試験2：黒ぼく土による処理水脱色試験

(1) 原水に対する処理水の脱色率

各試験区の脱色率は、図4に示した。投入水量の多い順に脱色率が早く低下し、投入量の少ない1区で長期にわたって高い脱色率が維持できた。

各区の脱色率は、開始時で1区98.1%、2区98.1%、3区98.5%といずれの区も98.0%を超え、処理水は、無色透明な処理水が得られた(写真1)。

また、全ての区において10日目の脱色率は97.0%以上であったが、その後は投入量の多い3区、2区、1区の順に脱色率が低下した。

脱色率が50%を下回ったのは、試験開始から1区77日目、2区28日目、3区21日目であった。

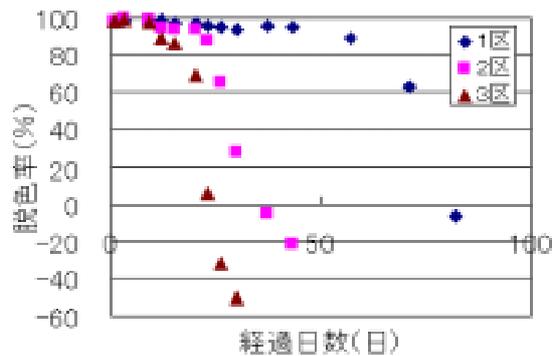


図4 各区の脱色率の推移



写真1 試験開始直後の脱色の様子

(2) 原水及び処理水の性状及び除去率

各試験区の原水及び処理水の性状を図5に示した。

pHは、全ての区において試験開始直後は、原水より処理水が若干低い数値で推移したが、その後は、原水と処理水の差はほとんどなかった。また、処理水のpHは、原水のpHの影響を受けて変動した。

ECは、試験開始直後は、原水2.48mS/cmに対して処理水では0.2~0.33mS/cmと大きく低下した。その後は全ての区で原水に対して40%から20%の除去率で推移し、原水を上回ることはなかった。

CODは、試験開始直後は、原水50.3mg/Lに対して処理水は3.8~10mg/Lまで低下し、90%以上の除去率を示したが、その後は、いずれの区も80%前後の除去率で推移した。最終的には脱色率の低下とともに急激に低下し原水より悪化した。

また、COD除去率は、脱色率の低下と類似した低下を示したことから脱色率とCOD濃度の相関を調べたところ、図6に示すように、いずれの区も高い相関が認められた。

SSは、試験開始直後は、原水12.5mg/Lに対して処理水では0~1.7mg/Lと90%以上の高い除去率を示した。その後はいずれの区も概ね80%以上の除去率が続いたのち、急激に低下する傾向が認められた。また、除去率については原水のSS濃度の影響を受けて除去率が変動する傾向が示された。

T-Nは、試験開始直後は、原水61.1mg/Lに対して処理水中には14.5~33.6mg/Lと低下が認められたが、いずれの区も除去効果は安定しておらず、一定の傾向は認められなかった。

T-Pは、試験開始直後は、原水中10.5mg/Lに対して処理水では0.15~0.68mg/Lまで低下し、いずれの区も高い除去効果が認められた。その後も除去率90%以上が続き、脱色率が低下するまで安定して高い除去効果を示した。

(3) 黒ぼく土の脱色処理可能水量

各区において脱色率が50%を下回った時の全投入水量は、10L(表面積0.036m²)の黒ぼく土に対して1区84.8L、2区85.7L、3区100.9Lであった。

また、脱色率と相関が高かったCOD除去率が50%を下回った時点の全投入汚水量は、10Lの黒ぼく土に対して1区77.8L、2区85.7L、3区100.9Lであった。その時の全投入COD量は、10Lの黒ぼく土に対して1区3685.2mg、2区4304.7mg、3区5709.3mgであった。

(4) 使用前後の黒ぼく土の成分

脱色試験前及び試験後の黒ぼく土の組成を表5に示した。

pHは、処理前4.96であったのに対して処理後は6.5~7.5まで上昇し、活性汚泥処理水を投入することで上昇した。

ECは、試験前には0.104mS/cmであったのに対して処理後は、いずれの区も上昇し、0.988~0.445mS/cmと数値にばらつきを示した。また、1日当たりの水量の少ない1区に比べ2区と3区でより高くなる傾向があった。さらに処理装置上部の黒ぼく土が高い値を示した。

T-N、T-Cは、試験前と試験後では大きく値が変化することはなかった。

可給態Pは、試験前21.08mg/100gに比べ処理後は、いずれの区も75.56~95.44mg/100gと上昇する傾向があった。

ex-Kは、試験前1862.0mg/100gに比べ、いずれの区も274~597mg/100gと低下した。

ex-Caは、試験前には19.72mg/100gであったのに対して一部を除いて低下した。

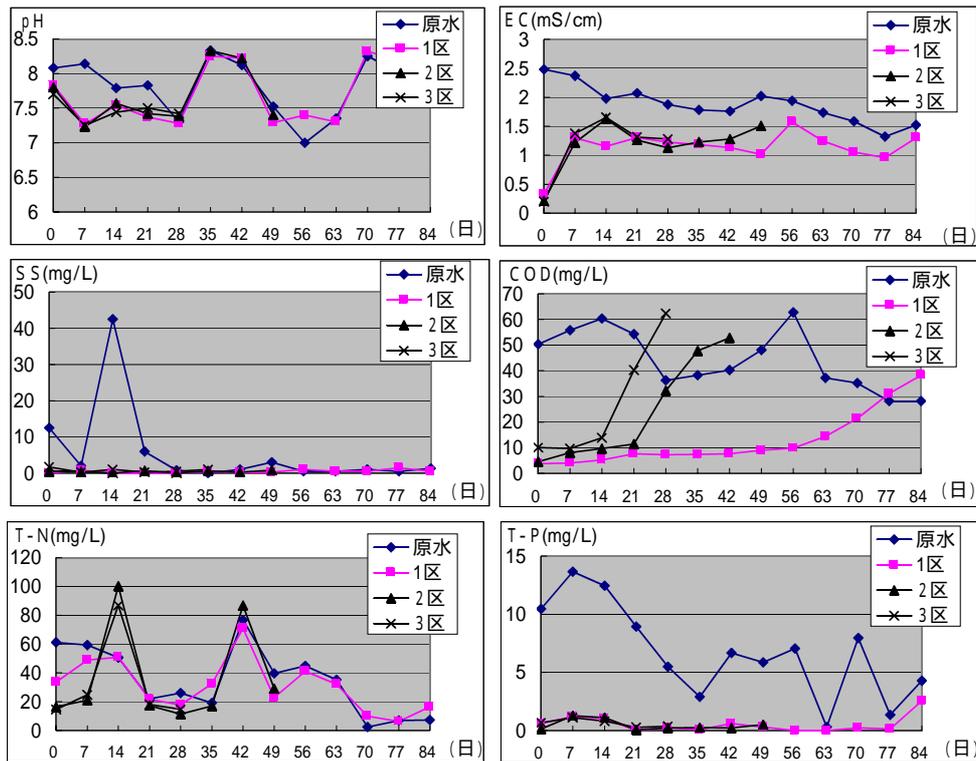


図5 原水及び各試験区の処理水の水質の変化

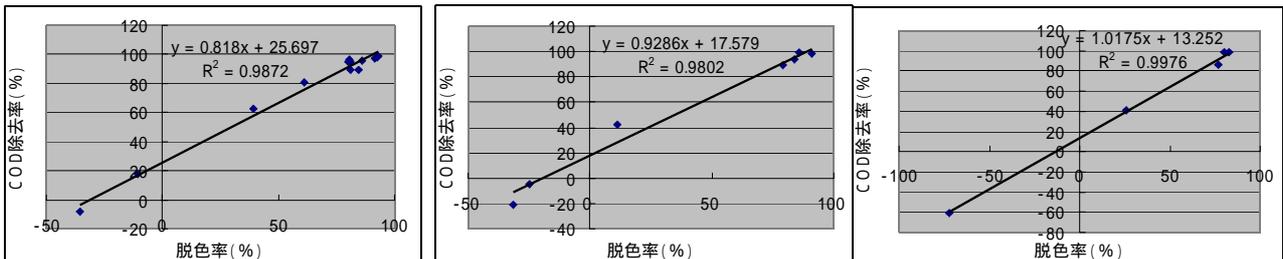


図6 各試験区の脱色率とCOD除去率との相関(左から1区、2区、3区)

表5 黒ぼく土の成分

区分	(mS/cm, mg/100g乾物)								
	pH	EC	T-N	T-C	可給態-P	ex-K	ex-Ca	ex-Mg	
脱色処理前黒ぼく土	4.96	0.104	0.515	10.185	21.08	1862.0	57.0	19.72	
脱色処理後1区上部	6.82	0.302	0.524	10.603	75.56	412.0	29.0	17.34	
中部	6.54	0.313	0.533	10.522	77.92	357.5	29.0	0	
下部	6.22	0.298	0.563	11.519	79.40	274.0	36.0	0	
2区上部	7.14	0.441	0.548	11.061	78.96	499.0	119.0	0	
中部	7.03	0.408	0.532	11.281	95.44	477.5	33.0	17.38	
下部	6.84	0.365	0.533	10.945	82.84	453.0	23.0	0.57	
3区上部	7.45	0.445	0.519	10.162	74.04	597.0	217.0	0	
中部	7.20	0.370	0.544	10.560	75.12	474.0	32.0	12.08	
下部	6.59	0.370	0.558	10.782	77.68	363.5	18.0	0.13	

考 察

1 試験1：間欠曝気法による処理水中リン・窒素低減試験

(1) 処理水中リン・窒素の濃度及び除去率

リン除去率が改善したのは、試験区での間欠曝気運転が曝気槽内に嫌気状態と好気状態が繰り返されることにより活性汚泥微生物中にリンを取り込む能力が向上し、汚水中のリン濃度が低下したと考えられた。

また、リンの除去率に影響を与えるものとして、佐々木ら¹²⁾によると活性汚泥によるリンの過剰摂取はpH7~8付近で高い、古畑ら¹⁵⁾による嫌気条件でNO_x-Nの存在がリン除去に悪影響を及ぼす、等が報告されており、今回の試験では、曝気槽のpHが7.8あったことやNO_x-N濃度が曝気槽内で低濃度であったことがリン除去率に良い影響を与えたと考えられた。

窒素除去率が改善したのは、試験区曝気槽内で硝化反応によって生成されたNO₂-N、NO₃-Nが、曝気停止により嫌気状態となり脱窒除去され処理水中T-Nが低減されたためと考えられた。

(2) 活性汚泥中リン含量

活性汚泥中のリン含有率は、対照区に対して試験区で高い結果であった。これは、間欠曝気運転により生物学的脱リン効果により活性汚泥中へのリン取り込み量が増加したためと考えられた。

リンの含有率については、活性汚泥中に含まれるリン含量は重量比で1.5~2.0%程度¹⁾、標準活性汚泥法での活性汚泥中リン含有率2%程度、嫌気好気活性汚泥法のリン含有率3~8%¹⁴⁾や、嫌気・好気活性汚泥法では、実験終了直前でリン含有率3.3%¹³⁾などの報告がある。これらと比較すると試験区でのリン含有率は、若干低い値となった。これは、MLSSを4,000mg/Lに調整するため、通常の運転に比べ高い頻度で汚泥引き抜きをおこなったため、汚泥滞留時間が短くなり、活性汚泥の取り込み限界まで達しなかったことが考えられた。このことから運転方法等によりリン取り込み量はさらに向上する可能性があると考えられた。

(3) 各槽における有機態窒素、NH₄-N、NO₂-N及びNO₃-Nの変化

対照区で、沈殿槽、処理水槽にNO₂-N、NO₃-Nが残存していたことは、曝気槽において硝化反応が促進されたものの、循環による脱窒処理過程が十分機能しなかったためと考えられた。

これに対して試験区では、沈殿槽でNO₂-N、NO₃-Nが認められなかった。このことは、試験区曝気槽で生成されたNO₂-N、NO₃-Nが、曝気停止時に脱窒除去されたため、沈殿槽に残存しなかったと考えられた。また、これらの変化は、原水から処理水に至るまでのpHの変化からも確認でき、曝気槽で生成されたNO₂-N、NO₃-Nが曝気停止により速やかに脱窒除去されたため、処理水のpHがアルカリ性に傾いていた。

なお、本試験の運転条件として、間欠曝気による曝気量の減少が硝化反応に影響しなかったのは、BOD容積負荷量を0.3kg/m³・日としたため、硝化反応に影響することなく処理が進められたと考えられた。このことは、窒素除去を考慮すると標準的活性汚泥法のBOD容積負荷量である0.3~0.8kg/m³・日¹⁸⁾とされており、今回は、下限値0.3kg/m³・日程度で運転することで安定した窒素除去成績が得られたと考えられた。

2 試験2：黒ぼく土による処理水脱色試験

(1) 原水に対する処理水の脱色率

黒ぼく土による脱色率は、試験開始時は98%以上であったことから脱色効果が期待できると考えられた。これは、森ら¹⁶⁾による黒ぼく土の脱色試験で得られた脱色率76.9%より高い成績であった。

また、1区、2区では1日当たりの投入量の違いによる脱色効果への大きな差はなく、黒ぼく土による脱色では、累積投入水量が一定量を超えると脱色効果が低下する傾向が認められたことから投入水量から投入限界量の推測ができると考えられた。

(2) 原水及び処理水の性状

COD除去率と脱色率との間に高い相関が認められたことから、処理水の着色成分に含まれるフミン酸やメラノイジンなど難分解性の高分子化合物¹⁷⁾がCOD成分と重複することが考えられた。

SSは、原水のSS濃度の影響を受けて除去率が変動する傾向が認められた。

T-PIは、脱色率が低下するまで安定して高い除去率を示した。黒ぼく土のリン吸着効果は高く、脱色率の低下までには、はっきりしたリン除去率の低下は示さなかった。

このことは、黒ぼく土による脱色では、脱色効果に加えて、CODとリンの除去も安定して行えるが、SSの影響を受けやすいことからSSを多く含む排水の投入では、前処理を行ってSSを低下した後に脱色処理することが効果的であると考えられた。

(3) 黒ぼく土の脱色処理可能水量

10Lの黒ぼく土に対して、試験1区、2区の結果では、脱色率が50%を下回った時点の累積投入量は、84.8~85.7L(投入水の試験期間の平均COD濃度45mg/L)で、これを超えると脱色効果が急激に低下した。この時点の黒ぼく土1gに対する投入汚水総量は、1区で10.6ml、2区で10.7ml、3区で12.6mlであった。また、脱色率と相関の高かったCODの累積投入COD量は、黒ぼく土1g当たり1区0.48mg、2区0.53mg、3区0.71mgであった。

(4) 試験前後の黒ぼく土の成分

脱色試験処理後の黒ぼく土の成分組成は、いずれの試験区の上層、中層、下層においても偏っ

た蓄積は認められず、上層から下層まで等しく吸着処理がなされたことが示された。

引用文献

- 1)財団法人日本環境整備教育センター(2002):浄化槽の維持管理,285.
- 2)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,40-4.
- 3)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.
- 4)脇屋裕一郎ら(2002):低コストセラミックを利用した污水浄化処理試験.西日本畜産学会報45,45-50.
- 5)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.
- 6)原田靖生(1984):畜舎排水の土壌処理.用水と排水Vol.26,No.26,29-34.
- 7)浦野義雄・山田正幸ら(2001):土壌を活用した豚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.
- 8)塩崎達也ら(2000):尿污水の浄化に関する試験.鳥取県畜産試験場研究報告第30号,35-37.
- 9)井上重美ら(1981):畜舎污水浄化のための土壌・植物ろ床の施工及び管理方法.岡山酪試研報第18号,149-163.
- 10)坂本卓馬(1999):間欠曝気による酪農污水の浄化処理.石川県畜総セ研報第33号,50-54.
- 11)住吉盛幸・森直道・大竹康友(1982):嫌気・好気による生物学的脱リン.用水と排水Vol.24,No.10,43-48.
- 12)佐々木正一ら(1982):Anaerobic-Oxicシステムによる生物学的脱リン法.用水と排水Vol.24,No.10,64-69.
- 13)村上孝雄(1982):嫌気・好気活性汚泥法による生物学的脱リン法.用水と排水Vol.24,No.10,19-24.
- 14)稲森悠平(1982):生物学的リン除去の最近の動向.用水と排水Vol.24,No.10,3-18.
- 15)古畑義正(1982):嫌気・好気法によるリンの除去.用水と排水Vol.24,No.10,27-34.
- 16)森達摩・崎元道男・森忠明・坂井拓夫(1997):黒ぼく土による畜産排水の脱色.日畜会報第68巻第10号,940-947.
- 17)押田敏雄・柿市徳英・羽賀清典(1998):畜産環境保全論.90-91.
- 18)岡崎登ら(1994):活性汚泥法と維持管理.10-13.
- 19)深瀬哲朗ら(1982):生物学的脱リン除去法の下水への適用.用水と排水Vol.24,No.10,57-64.