



Title	養豚排水を対象とした運転条件による窒素除去特性比較
Author(s)	大橋, 秀一; 北島, 督市; 鈴木, 真紀 他
Description	第4回衛生工学シンポジウム (平成8年11月7日 (木) -8日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 生物処理 . 1-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 12-17
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7815
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-1-3_p12-17.pdf



1 - 3

養豚排水を対象とした運転条件による窒素除去特性比較

大橋秀一(愛知県農業総合試験場)、
北島督市、○鈴木真紀、井上祥一郎(エステム)

はじめに

養豚排水は高濃度有機性排水であり、有機物のみならず窒素、リンといった栄養塩類の濃度も高い(表1)。

表1. 下水と養豚排水の濃度比較

単位: mg/l

項目	下水(一般的な値)	農業総合試験場畜産排水	某養豚場排水 B
BOD	170	2000	4000
T-N	40	400	1500
T-P	4	40	250

従来、下水処理等でよく用いられている押し出し流れ式の連続式活性汚泥法(標準活性汚泥法及び変法である長時間曝気法)ではこのような有機性排水からの窒素除去は困難とされてきた。これは排水処理の主目的が有機物の除去にあり、脱窒に留意しなかったためであると考えられる。

窒素除去に有効な処理法として、DO と ORP による計測制御を取り入れた低負荷回分式自動計測制御活性汚泥法(複合ラグーン方式)がある。この方式は、単一の槽内でタイマーと DO および ORP 値による運転制御を行い、嫌気条件と好気条件を繰り返すことにより窒素の硝化と脱窒を効率良く行うものである。また、連続式活性汚泥法でも、浜松市の下水処理では DO、ORP 制御を運転に取り入れた嫌気・好気法(ANDER 法)により、窒素除去が効率的に行われている事例がある。

今回、愛知県農業総合試験場畜産研究所内に槽容量 3 m³ のテストプラントを設置し、浜松市下水道の ANDER 法を参考に、連続式活性汚泥法での効率的な養豚排水処理を試み、引き続き低負荷回分式自動計測制御活性汚泥法(複合ラグーン方式)での処理を追試した。

材料および方法

試験対象水(原水)

試験には、愛知県農業総合試験場畜産研究所の畜舎から排出される養豚排水を、汚水処理場(本処理場)の原水流量調整槽から直接採取し用いた。これは自動荒目スクリーンと微細目スクリーンを通過したものである。原水組成は平成7年度の分析結果から、また処理目標水質は水質汚濁防止法一律排水基準(日間平均値)から表2の様に設定した。

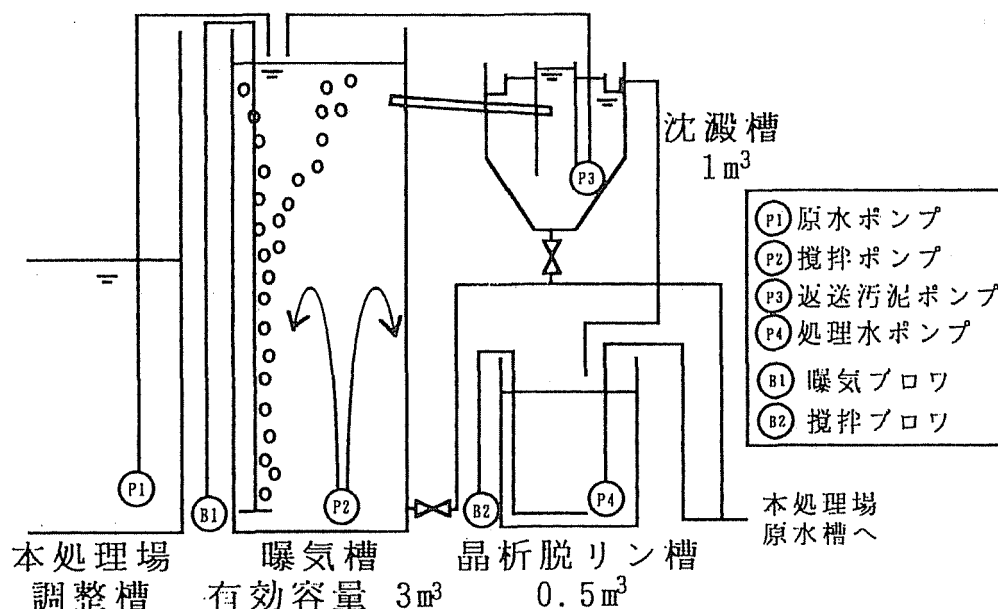
表2. 原水組成と処理目標水質

単位: mg/l

項目	原水設計値	処理目標水質	除去率
BOD	2000	120	94%
COD	750	120	84%
T-N	400	60	85%
T-P	40	8	80%

試験装置

曝気槽有効容量 3m³、沈殿槽有効容量 1m³とし、リン除去の目的で晶析脱リン槽（有効容量 0.5 m³）を後段に設けた（図 1）。また、曝気槽の DO、ORP、pH および水温を自動記録計を用いて連続測定した。



回分式自動計測制御活性汚泥法の場合は、曝気槽と沈殿槽を連結する移流管を外し、替わりに排出ポンプを取付けた。また、プログラマブルコントローラを用いた自動運転を行い、沈殿槽にはひも状接触材を付加して SS の捕捉をはかった。

図 1. 実験装置図

試験条件

試験条件は以下のように設定した。

表 4. 試験条件

	処理方式	備考	試験期間(平成 8 年)
試験 A	連続式活性汚泥法	返送比 : 400%	7 月 20 日～8 月 6 日
試験 B	連続式活性汚泥法(流入一時停止)	返送比 : 400%	8 月 7 日～8 月 21 日
試験 C	回分式自動計測制御活性汚泥法	2 バッチ/日	8 月 22 日～9 月 11 日

流入原水量 : 300 l/day

送風量は DO および ORP 値により判断し、量の増減を行った。

試験 A を対照として試験 B で連続式活性汚泥法での効率的な窒素除去運転を試みた。試験 C では回分式自動計測制御活性汚泥法での窒素除去の追試を行った。

運転方法

試験 A : 24 時間連続流入・連続曝気で運転した。管理指標には DO(0.5～1 mg/l)を用いた。また、送風量の調整は原則として 3 日(あるいは 4 日)に一回の割合で行い、記録紙に残された DO と ORP の波形情報から過不足を判断した。

試験 B : DO=0 mg/l で ORP=+100 mV となるように送風量を調整し運転した。DO を低く抑

えた運転を行うため、有機物の酸化と窒素の硝化が不十分となるため、8月7日～9日までは午前6時から8時までの2時間(試験 B-2 hr)、8月10日～21日は午前4時から8時までの4時間(試験 B-4 hr)の原水流入を停止させ、酸化を十分に進行させた。他は試験 A に準じた(図 2)。

試験 C：一日2バッチ(150 l/batch)で行った。曝気の開始はタイマーと ORP 値、曝気の終了はタイマーと DO 値による自動制御をプログラマブルコントローラを用いて行った(図 2)。

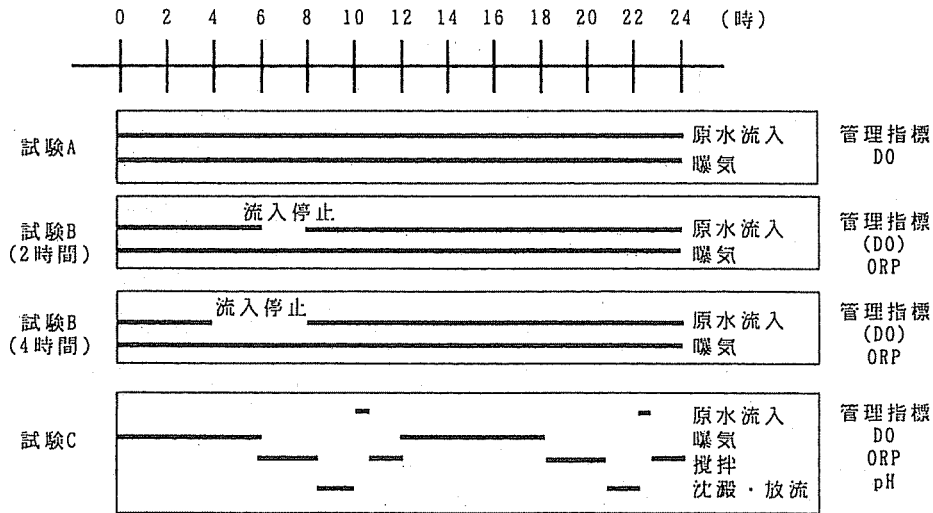


図 2. 運転方法

脱窒菌数の計量

脱窒菌数は下水道試験法に基づき、MPN 法により求めた。

結果

水質分析結果

水質分析結果の平均値を表 4 に示す。BOD、COD は全試験区で処理目標値を達成した。一方、窒素については試験 A では全く目標を達成できず、試験 B の後半と試験 C では目標値を大きく上回る結果が得られた(表 4)。

表 4. 水質分析結果

単位：mg/l

項目	試験 A (n=5)			試験 B (n=4)			試験 C (n=3)		
	値	目標値	達成率	値	目標値	達成率	値	目標値	達成率
BOD	1118	37	96.7%	1420	37	97.4%	1317	19	98.6%
COD	532	93	82.5%	625	58	90.7%	603	33	94.5%
SS	1078	181	83.2%	1405	72	94.9%	1307	18	98.6%
T-N	262	135	48.5%	310	49	84.2%	317	15	95.3%
T-P	54	10	81.5%	56	7.8	86.1%	49	10	79.6%

：T-P のみ晶析脱リン槽(三次処理水)の値を、他は二次処理水の値を示している。

窒素の動態

窒素の動態は表 5、図 3 に示す通りであった。試験 A ではアンモニア体窒素濃度が低い時は硝酸体窒素濃度が高く、硝酸体窒素濃度が低い時はアンモニア体窒素もしくは有機体窒素濃度が高くなっており、全窒素としてみると除去率は 35～65%であった。試験 B では硝酸体窒素が残留せず、アンモニア体窒素濃度は低くなったが、亜硝酸体窒素の残留が認められるように

なった。全窒素除去率としては 69~95%であった。試験 C では硝酸体窒素の残留が若干認められるものの、その他の各体窒素は非常に安定して除去され、全窒素除去率は 93~96%であった。

表 5. 窒素の動態

日付	pH		T-N			Org-N			NH4-N			NO2-N		NO3-N	
	原水	処理水	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率	原水	処理水	除去率	原水	処理水	原水	処理水
7月23日	7.3	6.1	150	180	-	0	6.6	-	76	0.02	100	-	0.08	-	170
7月26日	7.4	6.2	260	170	35	90	13	86	170	0.02	100	-	0.33	-	160
7月30日	7.7	7.9	190	120	37	50	61	-	140	0.02	100	-	1.4	-	55
8月2日	7.4	8.1	400	85	79	240	83	65	160	0.01	100	-	0.44	-	2.0
8月6日	7.6	7.9	340	120	65	160	17	89	180	93	48	-	3.7	-	2.0
8月9日	7.5	7.9	320	100	69	120	17	86	200	83	59	-	3.6	-	0.2
8月12日	7.5	8.1	330	60	82	90	14	84	240	37	85	-	8.7	-	0.1
8月16日	7.6	7.2	370	18	95	170	7.5	96	200	3.5	98	-	2.7	-	4.5
8月20日	7.6	7.8	220	16	93	60	11	82	160	0.02	100	-	2.0	-	2.6
8月23日	7.5	7.1	390	14	96	180	7.4	96	210	0.01	100	-	0.35	-	6.1
8月27日	7.8	7.3	260	18	93	90	3.1	97	170	0.03	100	-	0.16	-	15
8月31日	7.8	7.3	300	12	96	80	3.7	95	220	0.02	100	-	0.3	-	8.5

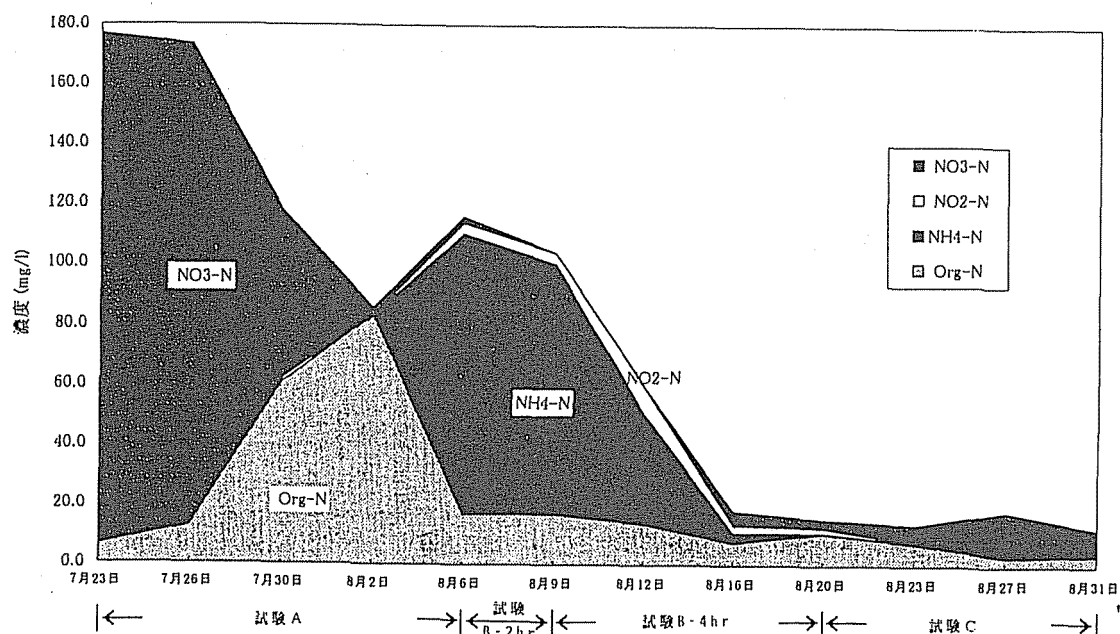


図 3. 窒素の動態

波形情報と水質

試験 A：試験開始当初 DO が 0.5~1.0 mg/l となるように送風量の調整を行った。しかし、DO が 0.5 mg/l 前後を、ORP が +150 mV 前後を示していた期間は処理水的全窒素濃度が高く、その内訳の大部分は硝酸体窒素であった。そこで、曝気槽内での脱窒を考慮し DO=0 mg/l となるように送風量の調整を行ったところ、ORP は -100 mV~+150 mV の範囲を大きく変動した。この際、処理水に含まれる硝酸体窒素濃度は低下し、有機体窒素あるいはアンモニア体窒素の残留が顕著であった。

試験 B：曝気槽内での硝化と脱窒の同時進行が起こり得るように考え、DO=0 mg/l、ORP +100mV 前後を示すように送風量を調整した。流入停止時間 2 時間(試験 B-2 hr)では ORP の値は -150~+150 mV と大きく変動し、またアンモニア体窒素の残留が見られたが、流入停止 4

時間(試験 B-4 hr)に変更したところ、ORP は+100~+150 mV で安定し、アンモニア体窒素はよく除去され、硝酸体窒素の残留も見られなくなった。

試験 C : 北島ら(1994)の報告と同様に、 $0 \leq DO \leq 1.5 \text{ mg/l}$ 、 $-120 \leq ORP \leq +250 \text{ mV}$ の範囲で標準的な波形を描いた。処理水質は最も安定しており、全窒素濃度 12~18 mg/l であり、有機体窒素と硝酸体窒素が若干残留した。

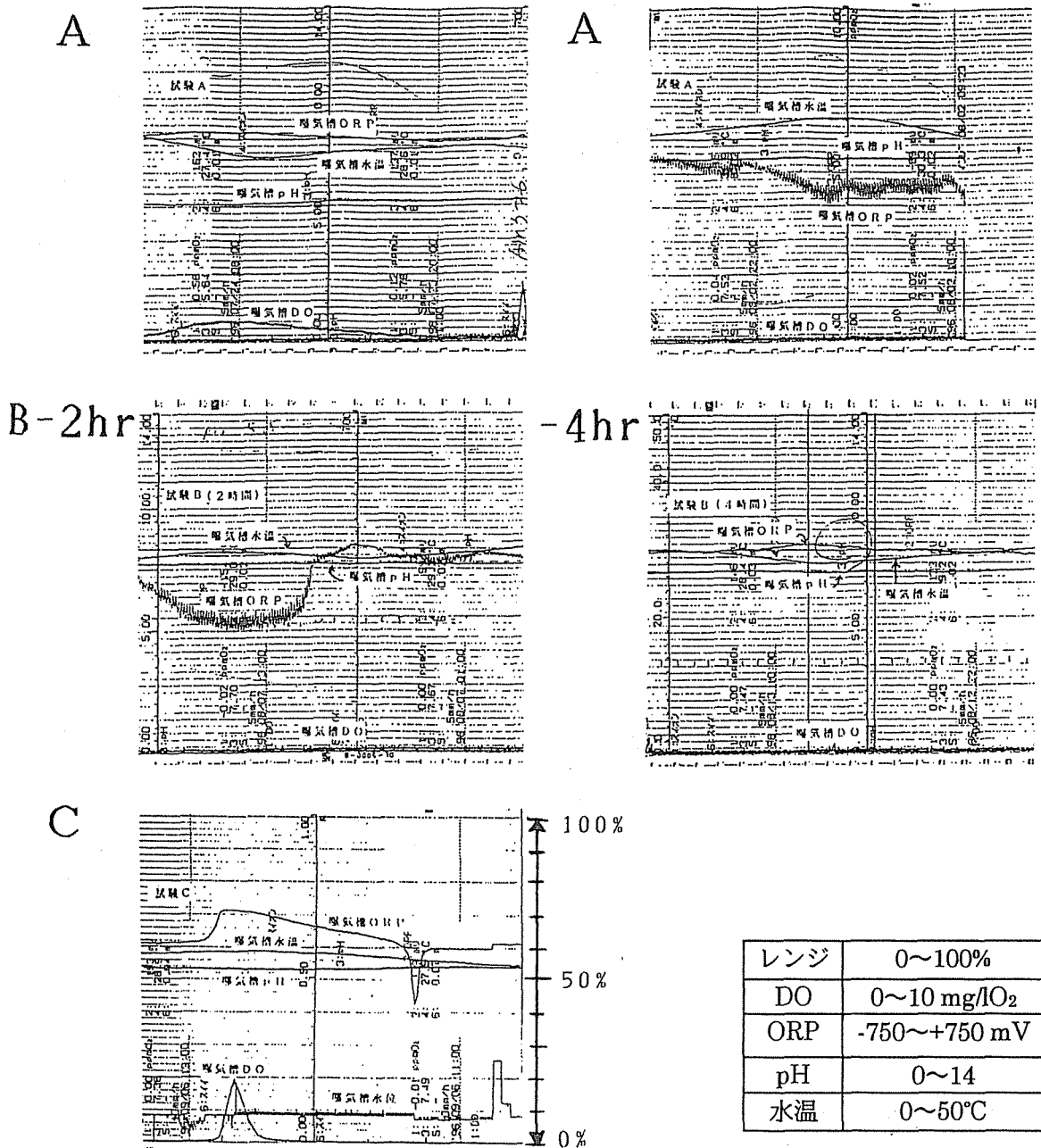


図 4. 波形情報

容積負荷、MLSS 負荷

各試験での BOD 容積負荷は表の通りとなり、設計値と比較し負荷は軽い傾向にあった。硝化が進行する BOD 容積負荷は私どもの実験から $0.28 \text{ kg/m}^3/\text{day}$ 以下を確認しているが、今回の試験条件もこれに含まれている。なお、採水時雨天により原水濃度が極端に低い場合は計算から除いた(各試験共 n=3)。

表 6. BOD 容積負荷

	試験 A	試験 B	試験 C
BOD 容積負荷(kg/m ³ /day)	0.15	0.17	0.13

脱窒菌数の変動

曝気槽の脱窒菌数は試験開始当初から 5.4×10^6 個/ml と脱窒には十分であった。試験期間中菌数の大きな変動は見られなかった。

表 7. 脱窒菌数

	7月23日	8月6日	8月23日
脱窒菌数(個/ml)	5.5×10^6	3.3×10^6	1.1×10^7

考察

まず、低負荷回分式自動計測制御活性汚泥法では、処理水質は非常に安定しており、今回の試験でも窒素除去の有効性は確認された。また、押し出し流れ式の連続式活性汚泥法では、BOD容積負荷を $0.15 \text{ kg/m}^3/\text{day}$ 程度に低く設定すると、曝気槽内に酸素が余った状態($\text{DO} > 0 \text{ mg/l}$)を作り出すことで比較的容易にアンモニア体窒素を硝化することができる。しかし、 $\text{DO} > 0 \text{ mg/l}$ では脱窒が進行しないため、硝化により生じた硝酸は除去されず水中に残留し蓄積してしまう(試験 A 前半)。一方、曝気槽内で脱窒が起こり得るようにするためには、少なくとも酸素が余っていない状態に曝気槽を保つ必要がある。そこで、曝気槽内の酸素が適量以下となるような運転を行うと、硝酸は蓄積しないが、酸化が不十分となりアンモニア体あるいは有機体窒素が水中に残留してしまう(試験 A 後半)。今回、一般的に排水量が少ない夜中～朝方にかけて、原水の流入を任意の時間停止させ、残留したアンモニアの完全な酸化(硝化)を試みた(試験 B)。

原水流入停止時間が十分ではない条件(今回では 2 時間:試験 B-2 hr)では、曝気槽を $\text{DO} = 0 \text{ mg/l}$ となるように送風量を調整すると、曝気槽の ORP 値が安定せず、送風量の設定が一定であっても、一日を通してみると $-100 \sim +150 \text{ mV}$ まで大きく変動していた。すなわち、無酸素状態(嫌気状態)と好気状態が入り交じっていた。処理水質は試験 A と同様で、やはり酸化不十分となりアンモニア体窒素が残留した。

原水流入停止時間を十分にとると(今回では 4 時間:試験 B-4 hr)、曝気槽 $\text{DO} = 0 \text{ mg/l}$ に保っても ORP は $+100 \sim +150 \text{ mV}$ に安定した。硝化と脱窒が曝気槽内で同時に進行したかどうかは今後の実験で明らかになると思うが、アンモニアも硝酸も回分式自動計測制御法と同様に良く除去されていた。従来、通説として脱窒に最適な ORP は -100 mV 以下とされてきたが、今回、最適ではないとされる好気的な条件下($\text{ORP} +100 \text{ mV}$ 以上)でも十分に脱窒は可能であった。

試験期間中の曝気槽中の脱窒菌数は、試験 A 開始時で 5.4×10^6 個/ml であり、脱窒には充分量であると考えられる。それにも関わらずこの期間において脱窒が進行しなかったのは、脱窒菌が機能する場が与えられなかっただけであると言える。

今回の試験では、浜松市の下水処理の場合のように汚水濃度の低い時間帯に DO が上昇する波形は得られなかったが、DO のみでなく主に ORP の値を指標にした管理により連続曝気しながら効率的な窒素除去が行えた。今回は流入停止という手段を選択したが、原水濃度が非常に低い時間帯がはっきりと存在する処理場であれば、流入停止をせずとも同様な処理が可能になるはずである。

曝気槽の酸化状況を DO 値と ORP 値を基本として把握することにより、適正な曝気出力となるよう制御できる処理プログラムを構築すれば、既存の処理場においてもより簡単な窒素除去が可能になると考える。