

し尿中の窒素成分の生物学的除去に関する 中間実用化研究 (第2報)

井上 互 菊地 幹夫 備藤 敏次
 川原 浩 古井戸 良雄 土屋 隆夫
 石丸 圀雄 大山 銀四郎
(東京農業大学) (東京農業大学) (公害分析センター)

1 緒 言

著者らは、公共用水域の富栄養化を抑止するために、排水中の窒素・リン等の栄養塩類の除去技術を開発する一環として、高濃度の窒素成分を含有するし尿について生物学的硝化脱窒素法による処理技術の開発を検討してきた。前報¹⁾では、生物学的硝化脱窒素法により有機炭素源としてメタノールを用いると、BOD成分および窒素成分を90%以上除去でき、ほぼ満足できる処理水質を得られることを述べた。この報告では、本法を実用化するにあたって各反応槽への負荷や滞留時間をどのように設定したらよいか検討することを目的としており、合わせて本法に必要な薬品費の算出を行った。

2 実 験

し尿処理プラントのフローシートを図1に、プラントの運転条件を表1に示した。

試料水の分析は前報¹⁾のとおりである。

3 結果と考察

硝化槽では流入水中のBODを除去すること、およびNH₄-N、Org-NをNO₂-NまたはNO₃-Nにかえること、脱窒素槽では流入水中のNO₂-NまたはNO₃-NをN₂にかえること、再曝気槽では流入水中のBODを除去することをそれぞれの目的にしている。

各運転条件下におけるプラントの水質変動を図2~4に、また平均水質を表2に示した。

(1) 硝化槽の反応

BOD除去率は4月28日から5月12日(条件I)において97%、11月12日から11月26日(条件II)において98%、12月13日から12月21日(条件III)において91%となり、BOD-MLSS負荷が0.13~0.20kg/kg・日のときは極めて高い除去率を示すが、BOD-MLSS負荷が0.30kg/kg・日と高くなると、除去率はやや低下した。(NH₄-N+Org-N)の(NO₂-N+NO₃-N)への転化率(硝化率)は4月28日から5月12日(条件I)において93%、11月12日から11月26日(条件II)においては97%であるが、12月13日から12月21日(条件III)においては60%となり、BOD-MLSS負荷が0.13~0.20kg/kg・日と低いときは高い硝化率を示すが、BOD-MLSS負荷が0.30kg/kg・日と高くなると硝化率は大きく低下した。したがって硝化反応を効果的に行うためには、BOD-MLSS負荷を約0.20kg/kg・日とするのが好ましいと考えられる。この場合、5倍程度の希釈でも反応は十分進行した。

(2) 脱窒素槽の反応

脱窒素反応において添加すべきメタノール量は、(1)、(2)式から概算される。

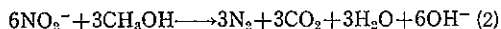


図1 し尿処理のフローシート

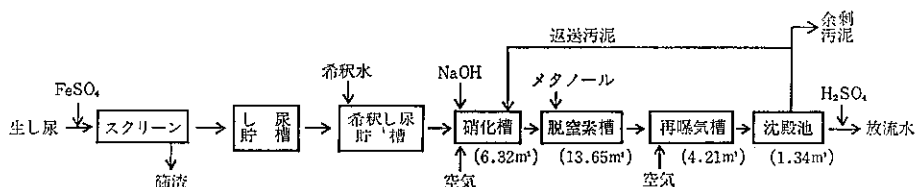


表1 プラントの運転条件

期 間	条 件 I	条 件 II	条 件 III
	1973.4.28~5.12	1973.11.12~11.26	1973.12.13~12.21
し尿処理量 (m ³ /日) (希釈し尿、m ³ /日)	0.50 5.0	1.0 5.0	1.0 5.0
硝化槽 (完全混合型) 滞留時間 (hr) MLSS (mg/ℓ) pH BOD-容積負荷(kg/m ³ ・日) BOD-MLSS負荷(kg/kg・日) N-MLSS負荷(kg/kg・日)	15 3800 6.6 0.49 0.13 0.056	15 6510 7.2 1.3 0.20 0.058	15 4720 7.5 1.4 0.30 0.079
脱窒素槽 (密閉系、緩速攪拌、 メタノール添加) 滞留時間 (hr)	33	33	33
再曝気槽 (完全混合型) 滞留時間 (hr)	10	10	10
沈殿池 滞留時間 (hr)	3.2	3.2	3.2

図2 プラント運転結果

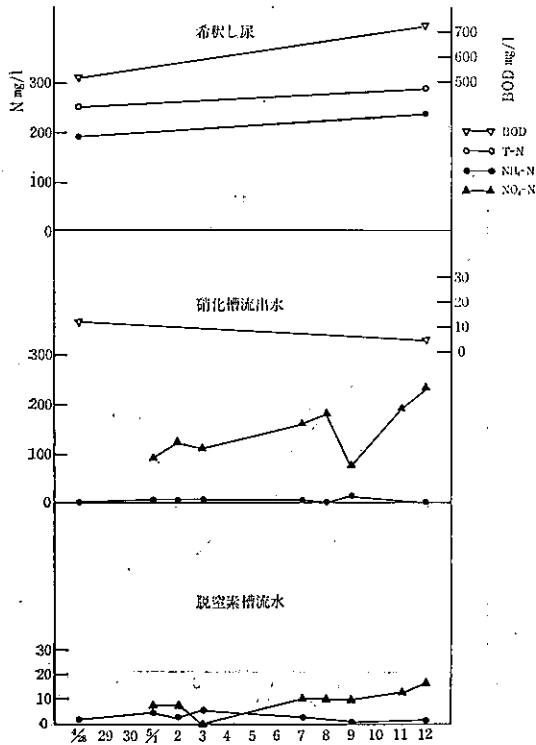
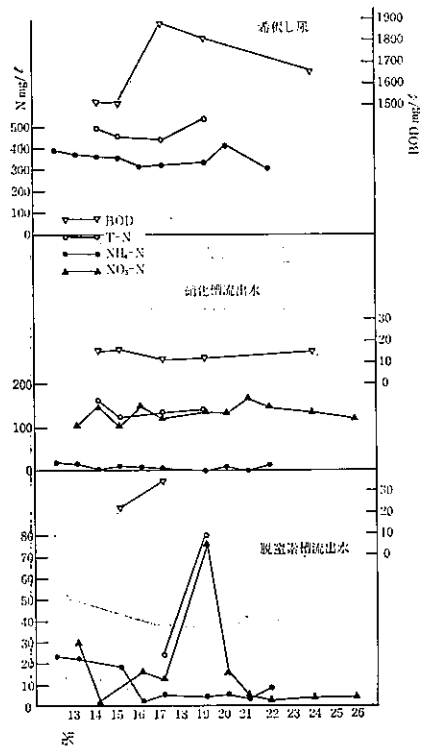


図3 プラント運転結果



本実験では、脱窒素反応にはほぼ十分な量として T-N の約 2 倍量のメタノールを添加した。

図 2 に示したように、4 月 28 日から 5 月 12 日(条件 I) において脱窒素槽流入水(硝化槽流出水)の平均水質は BOD=9.3mg/l, NH₄-N=4.4mg/l, NO₂-N=Tr, NO₃-N=145mg/l であるが、脱窒素槽流出水の水質は BOD=12mg/l, NH₄-N=2.8mg/l, NO₂-N=Tr, NO₃-N=9.4mg/l であり、NO₃-N は 94% 除去された。

図 4 プラント運転結果

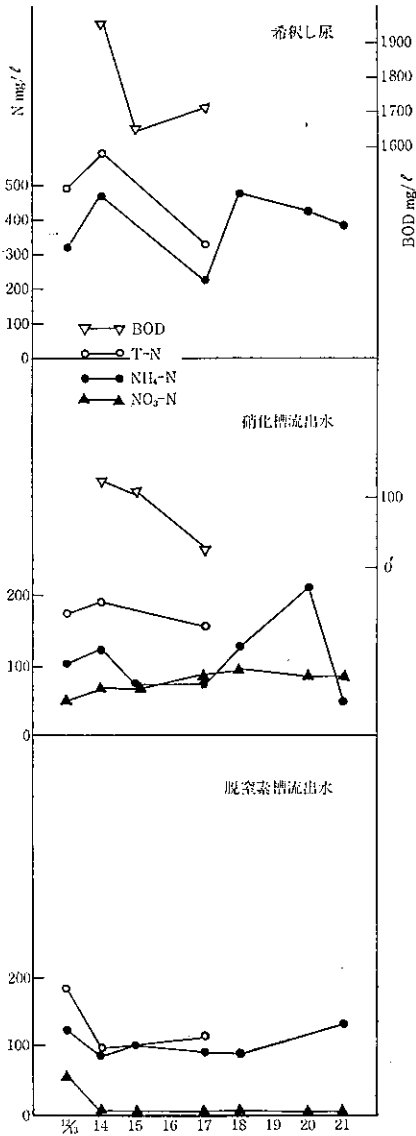


図 3 に示したように、11 月 12 日から 11 月 26 日(条件 II) においては、脱窒素槽流入水(硝化槽流出水)の NO₃-N は 137mg/l であるが、脱窒素槽流出水の NO₃-N は 17.2mg/l となり、NO₃-N は平均して 88% 除去された。

図 4 に示したように、12 月 13 日から 12 月 21 日(条件 III) においては、脱窒素槽流入水(硝化槽流出水)の NO₃-N は 77mg/l であるが、脱窒素槽流出水の NO₃-N は 12mg/l となり、NO₃-N は平均して 84% 除去された。

条件 I から III を通じて脱窒素槽 流出水の NO₃-N は ほぼ 30mg/l 以下となり、脱窒素反応は十分進行した。そこで必要最小限の脱窒素槽滞留時間を求める目的で、バッチ式で脱窒素反応速度定数 k を求め図 5 に示した。その結果 $k=1.6\text{mg-N/g-MLSS}\cdot\text{時}$ となり、したがって実験条件 II のように MLSS=6510mg/l で 2.43kg-N/日 を処理する場合には滞留時間=23 時間と計算される。つまり、実験条件 II のもとでは 9.6m³ の容積があればよく、今回の実験に供した脱窒素槽は約 5 割ほど過大といえよう。負荷としてみると、N-MLSS 負荷=0.039kg/kg・日、N-容積負荷=0.25kg/m³・日となる。このバッチ反応は 11 月下旬の室温 10 数度 C で行っており、また実施プラントでは寒冷期でも水温 10 数度 C を維持できると期待できるので、この値に安全率 0.8 から 0.9 を乗じた数値を実施プラントの設計基準として採用できるであろう。

(3) 再曝気槽の反応

図 5 脱窒素反応

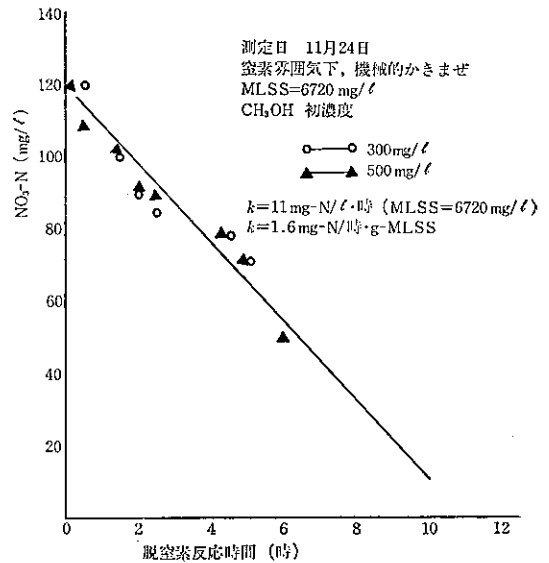


表2 プラントの運転結果

試料	項目	実験期間		
		条件 I	条件 II	条件 III
		1973.4.28~5.12	1973.11.12~11.26	1973.12.13~12.21
希釈し尿	BOD (mg/l)	619	1680	1793
	COD (mg/l)	—	591	651
	T-N (mg/l)	267	481	472
	NH ₄ -N (mg/l)	211	360	382
	Org-N (mg/l)	—	126	90
硝化槽流出水	水温 (°C)	19.9	—	—
	pH	6.45	7.17	7.51
	BOD (mg/l)	9.3	15	81
	COD (mg/l)	43	49	100
	T-N (mg/l)	—	143	177
	NH ₄ -N (mg/l)	4.4	8.5	111
	Org-N (mg/l)	5.0	—	—
	NO ₂ -N (mg/l)	Tr	—	—
NO ₃ -N (mg/l)	145	137	77	
脱窒素槽流出水	水温 (°C)	20.7	—	—
	pH	7.66	8.05	8.34
	BOD (mg/l)	(12)	29	—
	COD (mg/l)	(46)	61	—
	T-N (mg/l)	(23)	(52)	131
	NH ₄ -N (mg/l)	2.8	10.6	104
	Org-N (mg/l)	(4.3)	—	—
	NO ₂ -N (mg/l)	Tr	—	—
NO ₃ -N (mg/l)	9.4	17.2	12	
再曝気槽流出水	水温 (°C)	20.4	—	—
	pH	7.77	7.91	7.64
	BOD (mg/l)	3.2	15	68
	COD (mg/l)	34.9	48	65
	T-N (mg/l)	(25.7)	41.9	106
	NH ₄ -N (mg/l)	1.4	2.8	83
	Org-N (mg/l)	(4.3)	—	—
	NO ₂ -N (mg/l)	Tr	—	—
NO ₃ -N (mg/l)	12.6	29.4	7.2	
沈殿池越流水	水温 (°C)	20.3	—	—
	pH	7.86	8.13	7.83
	BOD (mg/l)	9.9	15	68
	COD (mg/l)	37	49	93
	T-N (mg/l)	—	52	90
	NH ₄ -N (mg/l)	(0.7)	2.6	80
	Org-N (mg/l)	(5.0)	—	—
	NO ₂ -N (mg/l)	—	—	—
NO ₃ -N (mg/l)	21.0	30.2	5.1	
BOD 除去率 (%)		98	99	96
T-N 除去率 (%)		90	89	81

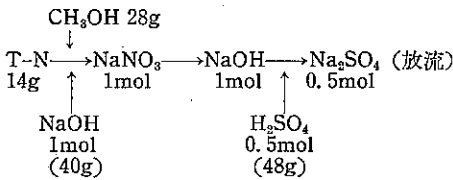
() 内の数値は1回のみの測定値であり、他はいずれも平均値である。

再曝気槽流入水（脱窒素槽流出水）のBOD, CODを再曝気により低下させることができたが、BOD-MLS S 負荷については今後検討を要する。

(4) 薬品費の算出とその低減化

プラントの運転に必要な薬品費について、運転条件をし尿（スクリーン後）のBOD 10,000mg/l, T-N 3,500 mg/l, BOD 除去率 95%以上, T-N 除去率 90%以上と設定し計算した。

〔薬品費〕



薬品必要量は、T-N/NaOH/CH₃OH/H₂SO₄ = 14g/1 mol/28g/0.5 mol = 14kg/40kg/28kg/48kgとなるので、し尿 1 m³ 当りでは T-N/NaOH/CH₃OH/H₂SO₄ = 3.5kg/10kg/7kg/12kg となる。したがって NaOH = 70円/kg, CH₃OH = 40円/kg, H₂SO₄ = 25円/kg として計算すると、薬品費は 1,280円/m³ し尿となる。

この処理方法には多額の薬品費がかかる。薬品費を低減化するためには、

- a) NaOH と H₂SO₄ の使用量を減らすために、放流水をし尿の希釈水として再利用する。条件IIのもと

で放流水の80%を再利用すると、NaOH, H₂SO₄ともその必要量は表1のフローシートに比べて20%となり、薬品費は480円/m³し尿となる。

- b) 図6のようなフローシートにすると、図1のフローシートに比べて薬品必要量は、NaOH, H₂SO₄, CH₃OHとも約20%となり、薬品費は約260円/m³し尿となる。図6に示したフローシートによるパイロットプラントの運転については昭和49年度に検討する。

(5) 図1のフローシートによる小型プラントでの実験結果²⁾との比較

遠矢ら²⁾はし尿を10~20倍希釈して硝化反応を検討した結果、硝化反応(硝酸型)は、PH=6.80~7.20, 水温15℃以上, BOD-MLSS 負荷=0.4~0.6kg/kg・日, MLSS × 滞留時間=30,000 以上, 滞留時間=10~12時間, 溶存酸素=2.5~3.5mg/l の条件が満たされれば十分進行すると述べている。しかし、今回の実験では、BOD-MLSS 負荷=0.30kg/kg・日で硝化率は60%と低下してしまった。その原因としては、水温および溶存酸素が遠矢らの示した条件を満たさなかった可能性があり、また、活性汚泥の生物相が異なっていた可能性もある。これらについては早急に解明を必要とする。

脱窒素反応については、遠矢らは有機炭素源としてし尿あるいは酢酸を用い、その濃度をかえて実験を行い、

図6 改良なし尿処理のフローシート

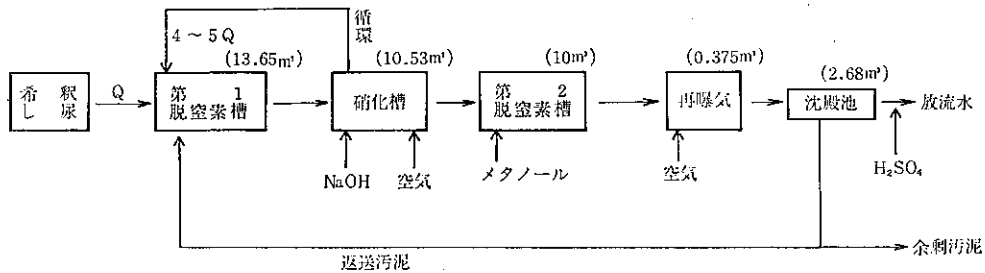
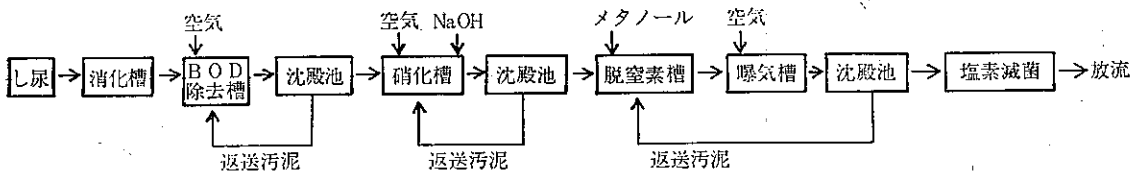


図7 し尿処理のフローシート



脱窒素速度定数 $k(27^{\circ}\text{C})=0.3\sim 4\text{mg-N/g-MLSS}\cdot\text{時}$ を得ている。著者らはメタノールを用いて $k(10^{\circ}\text{C})=1.6\text{mg-N/g-MLSS}\cdot\text{時}$ と、温度差を考慮すればほぼ同様な値を得た。

(6) 類似の処理方式による実際規模での実験結果³⁾ との比較

宮地ら³⁾ は既存の施設を図7のように改造して、し尿を $60\text{m}^3/\text{日}$ で処理したところ、4月10日から20日において、硝化工程流出水の $\text{T-N}=635\sim 937\text{mg}/\ell$ 、脱窒素工程流出水の $\text{T-N}=7.2\sim 63.5\text{mg}/\ell$ と良好に窒素を除去することができた。図7のフローシートは図1のフローシートに比べて工程が複雑でトラブルをおこしやすい欠点をもつが、各反応に適した生物相の発生をうながす利点があると期待される。しかし負荷および硝化反応速度、脱窒素反応速度等のデータが発表されていないので詳細はわからない。

6 結 論

し尿中の窒素成分の除去について、中間実用化規模(し尿処理量 $0.50\sim 1.0\text{m}^3/\text{日}$)で生物学的硝化脱窒素法を検討した結果、次のことが明らかになった。

- 1) パイロットプラントにおいて硝化槽の BOD-MLSS 負荷 $=0.13\sim 0.30\text{kg}/\text{kg}\cdot\text{日}$ 、 $\text{BOD-容積負荷}=0.49\sim 1.4\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ で実験を行ったが、 BOD 除去率 $=98\sim 91\%$ となり、また硝化率 $=97\sim 60\%$ となった。
- 2) 脱窒素槽にメタノールが十分供給され、汚泥の状態が良好な場合には流出水の $\text{NO}_3\text{-N}$ はほぼ $30\text{mg}/\ell$

以下となった。

- 3) 90%以上の窒素除去率を目的とする場合には、硝化槽の BOD-MLSS 負荷 $=0.20\text{kg}/\text{kg}\cdot\text{日}$ 、 $\text{BOD-容積負荷}=1.3\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 、脱窒素槽の N-MLSS 負荷 $=0.031\text{kg}/\text{kg}\cdot\text{日}$ 、 $\text{N-容積負荷}=0.20\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ が設計基準となる。この場合、し尿は約5倍の希釈で十分に処理でき、従来法(約20倍希釈)と比べて、用水が著しく節約できる。
- 4) 図1のフローシートによる薬品費は $1,280\text{円}/\text{m}^3$ し尿となる。
- 5) 薬品費低減化の目的で設計した図6のフローシートでは薬品費 $=260\text{円}/\text{m}^3$ し尿となるとみられ、これについては昭和49年度に検討する。

本研究を進めるにあたり、宮坂明邦氏(東京農業大学)、矢野徹男氏(同)、矢沢伸一氏(清化園衛生組合)の多大な協力に対し、また、適切な助言をいただいた角本義明氏(荏原インフィルコ株式会社)、遠矢泰典氏(同)に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 土屋隆夫ほか：東京都公害研究所年報，Vol. 5，99 (1974)
- 2) 遠矢泰典，鈴木康司，矢口昌司：用水と廃水，Vol. 12，No. 12，1076(1970)，Vol. 13，No. 2，182(1971)
- 3) 宮地有正，関川泰弘：下水道協会誌，Vol. 11，No. 120，30 (1974)