

北海道大学工学部 正・清水 達雄 (徳東エエンジニアリング) 中野 壮一郎
北海道大学工学部 正 那須 義和 (株)前沢工業 頼尾 比良久

1. はじめに 窒素除去法の1つとして、生物学的処理法である汚泥循環式硝化・脱窒素法が確立されつつある。一方活性汚泥を好気状態と嫌気状態(溶存酸素や硝酸基の存在しない状態)に交互に保持すると、磷を過剰摂取するという特性が明らかにされている。そこで本研究では汚泥の硝化・脱窒素特性と磷過剰摂取特性を發揮できる好気過程と嫌気過程を適切に組み合わせたJ.L. Barnardによって提案された改良型活性汚泥プロセスによって、有機物・窒素・磷を同時に除去するための処理条件を確立することを目的としている。すなわち有機物の取り込みと磷の放出を促進させる嫌気槽、好気槽から流入する硝酸窒素を窒素ガスへ還元する脱窒素槽および硝化作用と磷過剰摂取を行わせしめる好気槽を組み合わせた処理システムを用いて、廃水中に含まれる有機炭素源を脱窒素反応および磷過剰摂取反応に有効に利用して、窒素および磷化合物を効率よく除去できる条件を明らかにすることである。本実験では特に窒素、磷除去率に及ぼす廃水中の有機物・窒素・磷含有比の影響に関して検討を行い、2〜3の知見を得たので報告する。

2. 実験装置および方法 本実験に用いた改良型活性汚泥プロセスは嫌気槽(3L)、脱窒素槽(5L)、好気槽(5L)および好気槽に付設した沈殿槽(3L)から構成されている。廃水は嫌気槽へ連続的に供給され、さらにover flowによって好気槽へ流入させた後、沈殿槽で固液分離を行い、汚泥の一部を嫌気槽へ返送した。また硝化・脱窒素反応を行わせるために混合液を好気槽と脱窒素槽との間で循環させた。用いた廃水はグルコース、ペプトンおよび無機塩類を含有する合成廃水である。廃水中の有機物・窒素・磷含有比はグルコース濃度を変えることによって変化させた。連続処理実験は25℃、pH 7.0に制御して行った。

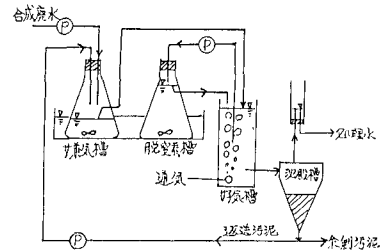


図1. 改良型活性汚泥プロセスのフローシート

3. 実験結果および考察

(1) 窒素および磷除去特性 前述した処理プロセスを用いて、合成廃水の連続処理を行った結果の1例を表1に示す。溶存磷の各槽内での分布に関しては、供給廃水中の磷濃度が11 ppm〜12 ppmであるのに対して、嫌気槽では約50 ppm、好気槽では1 ppm以下である。一方比較するために運転した標準活性汚泥プロセスの曝気槽内磷濃度が約10 ppmであることから、本処理プロセスにおいて、磷放出過程を経た汚泥は好気条件下で磷を過剰に摂取(汚泥の磷含有率; 約5%)する能力を有し、磷除去率が高められることが明らかになった。また各槽内の汚泥の呼吸活性とCOD_{Cr}濃度の分布特性から、嫌気槽での磷の放出現象が有機物の汚泥内への取り込みと共役していることおよび取り込まれた有機物が好気槽内で酸化分解されるに伴って磷の過剰摂取が起ることと示唆された。次にアンモニア、硝酸態窒素および全窒素の各槽内濃度分布特性の結果から、本処理プロセスでは硝化・脱窒素反応が起こっており、標準活性汚泥法に比べて低濃度まで窒素の除去が可能であることが明らかになった。また有機物除去率については標準活性汚泥法と同程度であった。次に上述した汚泥の磷過剰摂取および脱窒素現象に関して回分実験系を用いて更に検討を行った。連続処理系の嫌気槽から採取した汚泥を用いて好気条件下で磷の摂取に関して実験を行った結果、磷摂取は一次反応に従っており、貯蔵有機物含有率の高い汚泥(供給廃水中の有機物濃度の高い連続処理系から採取した汚泥)ほどその摂取速度が大きい

表1 連続処理系における定常値の1例

	供給廃水	嫌気槽	脱窒素槽	好気槽	標準活性汚泥法
CO ₂ -C (mg/l)	600	48	45	40	40
PO ₄ -P (mg/l)	11.5	48.3	4.0	0.7	9.6
NH ₄ -N (mg/l)	25	13.3	2.3	1.9	0.2
NO ₃ -N (mg/l)	0	0	0.2	0.4	12.5
TN (mg/l)	30	15.0	2.1	1.6	14.8
汚泥中の磷含有率(%)	—	3.6	4.9	5.1	2.1
35℃での呼吸活性(μmol O ₂ /g 汚泥/h)	—	45	15	12	12
MLSS (mg/l)	—	3000			

あることが明らかになった。(図2) 嫌気条件下での脱窒素反応を明らかにするために、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ および $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度の経時変化を検討した。(図3) この結果から汚泥内貯蔵有機物を用いて、脱窒素反応が起るが、外部に有機物が存在すると促進されることが明らかになった。また嫌気条件下では汚泥から $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の放出が起っており、本プロセスによる最適窒素除去条件を考える場合、この放出現象を考慮する必要があることが示唆された。

(2) 有機物、窒素、磷含有比の影響 連続処理系に於ける磷、窒素の除去率におよぼすこれらの物質の含有比の影響を明らかにするため、供給廃水中の有機物濃度を变化させて実験を行った。

廃水中の磷に対する有機物濃度の比が増加するに従って、処理水中の磷濃度は減少し、 $\text{COD}_\text{cr}/\text{P} = 50$ 以上では一定となり $0.5 \sim 0.7 \text{ mg/l}$ であった。(図4) また標準活性汚泥法に比して、極めて低濃度で処理が可能であり、本プロセスを採用すると廃水中の有機物を嫌気発酵反応に有効に利用できることが判明した。また好気槽での汚泥の磷提取速度は嫌気槽での磷放出速度と比例関係にあり、(図5) かつ有機物負荷率に依存することが明らかになった。磷除去効率を増加させるためには、嫌気槽での磷の放出速度を大きくする条件を思い出すことが重要であると考えられた。図6は本活性汚泥プロセスによって生成される汚泥の磷含有率を標準活性汚泥法によって生成される汚泥の磷含有率と比較して図示したものである。この結果から本プロセスによって生成される汚泥の磷含有率(好気槽での汚泥、約5%、嫌気槽での汚泥、約3.8%)は標準活性汚泥法によって生成された汚泥の磷含有率(約2%より)もかなり高いことが明らかになった。また $\text{COD}_\text{cr}/\text{P}$ 比が50以上で汚泥の磷含有率が低下しているのは磷が制限因子となっているためである。図7は供給廃水中に含まれる窒素に対する有機物濃度比の窒素除去に及ぼす影響を検討した結果である。 $\text{COD}_\text{cr}/\text{TN}$ 比(TN:全窒素)に無関係に処理水中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は 1 mg/l 以下であることから、硝化反応は十分行われていることが示唆された。一方 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度は $\text{COD}_\text{cr}/\text{TN}$ 比が増加するに従って減少し、20以上では $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は検出されなかった。この結果は供給廃水中の有機物濃度が増加するに従って、脱窒素反応による窒素除去量が増加したことを示している。また標準活性汚泥法と比較すると、処理水中のTN濃度は低いことから、本プロセスを用いると廃水中の有機物を脱窒素反応に有効に利用できることが明らかになった。

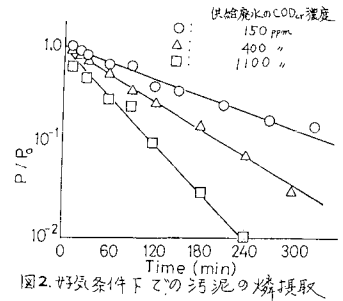


図2 好気条件下での汚泥の磷提取

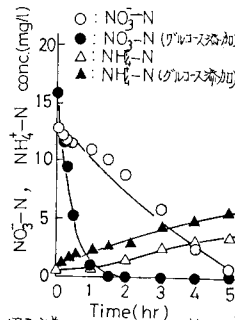


図3 嫌気条件下での窒素成分の変化

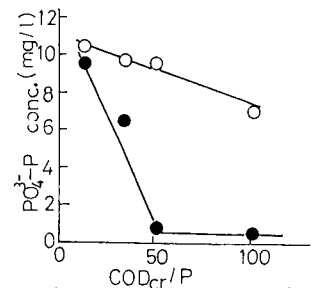


図4 供給廃水の $\text{COD}_\text{cr}/\text{P}$ 比と処理水の磷濃度との関係

比リン放出速度(%)と比磷提取速度(%)の関係

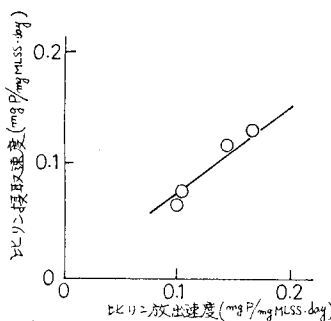


図5 比磷放出速度と比磷提取速度の関係

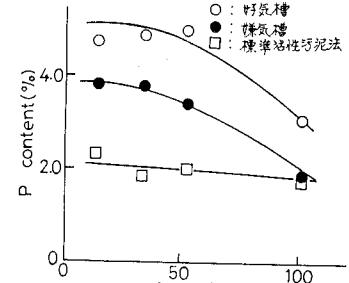


図6 供給廃水の $\text{COD}_\text{cr}/\text{P}$ 比と汚泥の磷含有率の関係

率と比較して図示したものである。この結果から本プロセスによって生成される汚泥の磷含有率(好気槽での汚泥、約5%、嫌気槽での汚泥、約3.8%)は標準活性汚泥法によって生成された汚泥の磷含有率(約2%より)もかなり高いことが明らかになった。また $\text{COD}_\text{cr}/\text{P}$ 比が50以上で汚泥の磷含有率が低下しているのは磷が制限因子となっているためである。図7は供給廃水中に含まれる窒素に対する有機物濃度比の窒素除去に及ぼす影響を検討した結果である。 $\text{COD}_\text{cr}/\text{TN}$ 比(TN:全窒素)に無関係に処理水中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は 1 mg/l 以下であることから、硝化反応は十分行われていることが示唆された。一方 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度は $\text{COD}_\text{cr}/\text{TN}$ 比が増加するに従って減少し、20以上では $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は検出されなかった。この結果は供給廃水中の有機物濃度が増加するに従って、脱窒素反応による窒素除去量が増加したことを示している。また標準活性汚泥法と比較すると、処理水中のTN濃度は低いことから、本プロセスを用いると廃水中の有機物を脱窒素反応に有効に利用できることが明らかになった。

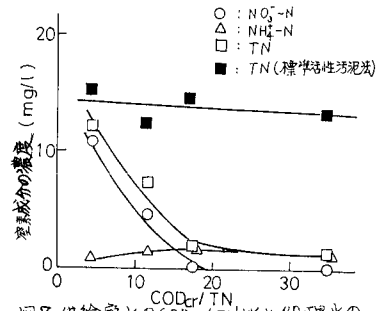


図7 供給廃水の $\text{COD}_\text{cr}/\text{TN}$ 比と処理水の窒素成分濃度との関係