

(20) 生物脱窒における ORP 管理に関する研究

BIOLOGICAL NITROGEN REMOVAL FROM SEWAGE AND NIGHT SOIL WITH
AERATION CONTROL IN TERM OF ORP

深川勝之* , 竹内正美* , 原田利男* , 村上定暲* , 中西 弘**
Masayuki FUKAGAWA* , Masami TAKEUCHI* , Toshio HARADA*
Sadaaki MURAKAMI* , Hiroshi NAKANISHI**

ABSTRACT; The effect of on-off aeration control in term of ORP was studied for the nitrogen removal from sewage and night soil with the experiments conducted in bench and mini-plant scales.

The ORP was found to be as a function of ammonia concentration and to be a suitable barometer for the optimum on-off control of aeration in order to remove nitrogen. The nitrification and denitrification proceeded respectively when air was applied and not, and the maximum removal of nitrogen was obtained at a certain ORP value which depended on the substrate concentration in the waste-water. The on-off aeration control in term of ORP was much more effective than in term of DO, because the rates of nitrification and denitrification is controlled more accurately by the former operation. The BOD/N substrate ratio was necessary to be 4 or more to remove 80% or more of nitrogen from the waste-water.

KEYWORDS; activated sludge, denitrification, aeration control, redox potential

1. はじめに

わが国においては、生物脱窒の技術はし尿処理において開発され、すでに実用化されている。一方、下水処理においても窒素を除去するために、循環法や内性脱窒法、あるいは間欠曝気法などが試みられている。これらの方法は、反応槽を好気槽と嫌気槽に分離するとか、強制的に好気・嫌気サイクルを設けるとか、あるいは単一反応槽でも微小部分において、好気部分と嫌気部分とを存在させるとかの方法などがとられている。これらはどれも好気状態と嫌気状態を時間的または場所的に作り出したものである。

著者らは先に有機物・窒素の同時除去に対して、し尿のような高濃度排水と下水のような低濃度排水に対して同じ動力学的取り扱いができることを示した。^{1, 2)} そこでは DO 濃度が低いことがそのまま硝化反応が不十分であるという結論にはならなかった。すなわち DO 濃度の高低が必ずしも厳密な硝化、脱窒の反応の状況を正確に反映する指標とはなっていないことを示した。また単一反応槽において有機物・窒素の同時除去を行い得る最適の条件が DO が 0 に近い低 DO 下であるが、その酸化、還元の状態は微妙であり、この状態を DO 指標で制御することは操作上必ずしも適切であるとは言えなかった。この有機物の酸化、硝化と脱窒の 3 反応が酸化・還元反応を伴う逐次並列反応であることに着目すれば、反応系の雰囲気をより統一的であり適確に表わしているものの一つは酸化還元電位 (以下 ORP と省略) が挙げられる。ORP は系内に存在する酸化物質および還元物質に由来しており、微生物が行う反応を直接反映するものではないが、酸化還元反応が存在する以上、反応系の酸化還元の状態を間接的に反映している。

活性汚泥に関する ORP については研究は都市下水を対象とした藤井らの研究や^{3, 4)} 脱窒工程に ORP 制御を組み込もうとする田中らの研究がある⁵⁾。

本研究では、ORP が硝化、脱窒の反応の指標として大きな意義があり、し尿や下水などの有機物・窒素の

* 宇部工業高等専門学校 Ube Technical College

** 山口大学工学部 Faculty of Engineering, Yamaguchi University

同時除去に対する指標として有効であって、かつ統一してとらえることが可能であること、併せてエアレーション管理に有効であることを明らかにした。

2. 活性汚泥混合液の酸化還元電位

石川や村上らにより単一反応槽による同時除去のためのモデル化が行われたが^{6, 7)}、有機物酸化、硝化、脱窒の3反応はいずれも酸化および還元反応である。各反応は異なった電位を持つはずであり、酸化還元反応が同時に進行しているにもかかわらず系として現われる電位(反応系全体として検出される電位)は1つである。このことは活性汚泥内部の複雑な各反応が系の測定された見かけの電位を直接決めるのではなく、フロック外物質すなわち基質のある成分に由来する電位を示していることを示唆するものである。同時にフロック内あるいは微生物内部の反応に関する電位とは別の電位であると考えらるべきであろう。

2.1 DO, pHとORPとの関係

DO, pH, は重要な生物反応の環境因子である。曝気槽におけるDOとORPとの関係を明らかにするため次の実験を行った。Fig. 1は水道水と活性汚泥のDO濃度とORPの関係を調べたものである。なお、ORP値は水素電極基準に換算した値である。30℃で水道水に空気を飽和させ、窒素ガスでDO濃度を減少させて行くとDO濃度は6.0から0.3mg/L, pHは8.0から8.8まで変

化した。またORPは280mVから250mVまで変化した。一方、活性汚泥は合成し尿で馴致したものを使用し、基質は与えていない状態での実験であり、25℃, MLSS 4350 $\frac{mg}{L}$ での実験である。その結果pHは6.8から6.5, DO濃度は6.5から0, ORPは420から380mVまで変化した。すなわち無生物的条件下と生物存在の条件下ではORPに約130mVの差が認められた。一般的に微生物培養におけるORPは挙動が複雑であり難解とされている。しかし、本実験のように基質を与えていない場合には極めて単純な挙動であった。活性汚泥は水道水のみの場合より130mV高い電位を与えたが、これは基質を与えていないので内性呼吸の結果として現われる電位である。内性呼吸では微生物個々の体内で酸化還元反応が起こっているのであるが、系全体として検出される電位は一つで代表される。

ORPは微生物反応において重要な役割を果たしており、ORPを環境制御因子としてとらえた場合、どんな操作因子でORPを制御するかが問題となるが、活性汚泥のような絶対好気性菌あるいは通性嫌気性菌を対象とする場合、硝化・脱窒反応のような酸化還元反応に対しては反応に最も重要な影響を与えるのは消費される酸素の量と考えられる。したがって、曝気量を変化させることによるORP定値制御が可能と考えられる。またこの方法は比較的容易である。

3. 実験装置および方法

3.1 実験装置

実験は、実験室スケールの(A)合成下水および(B)合成し尿による実験と合流式下水処理場(宇部市東部下水処理場)における(C)小規模パイロットプラントによる実験との3種について行った。パイロットプラントについては最初沈殿池からプラント実験の原水を導入したため、若干の工夫をしたが、基本的には何れの実験も同じ処理フローで実験を行った。例として小規模パイロットプラントの略図をFig. 2に示す。曝気槽有効容積(実験室: 10L, パイロットプラント: 285L), 沈殿槽有効容積(実験室: 5L, パイロット

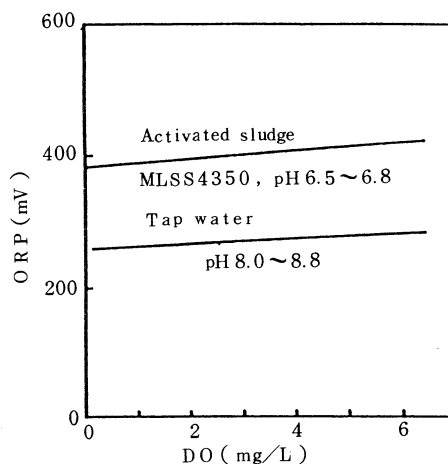


Fig. 1. Relationship between DO and ORP

プラント：165L)である。反応槽内の攪拌は実験室スケールでは曝気と機械攪拌の組み合わせ、パイロットプラントは粗大気泡で行った。反応槽内には散気球、散気板、DO、pH、ORP各センサーを挿入し、DO、pH、ORPを自動記録した。また実験装置には曝気量、曝気時間測定用のフローメータ及びタイマーを取り付け、積算曝気量、瞬間曝気量、曝気時間が測定できるようになっている。図中、 T_1 は曝気量測定用のタイマーであり、 T_2 は2点制御用のタイマーである。戸外で行ったパイロットプラントによる実験では厳冬期には反応槽内の水温が0℃近くまで下がるのでヒーターで加温した。

3.2 実験方法および条件

各実験における条件をTable 1に示した。

Table 1 Experimental condition

Feed	MLSS (mg/L)	Temp. (°C)	Ret. time (h)	pH	ORP (mV)
(A) Artificial night soil	6000 ± 1000	30	48	7.0 ~ 7.2	250 ~ 350
(B) Artificial sewage	4500 ± 1000	17 ~ 25	5	7.0 ~ 7.2	200 ~ 430
(C) Sewage (Ube city)	4500 ± 1000 (MLVSS: 60%)	17 ~ 29	5	6.5 ~ 7.1	320 ~ 550

Recycle sludge ratio : 50 ~ 100 %

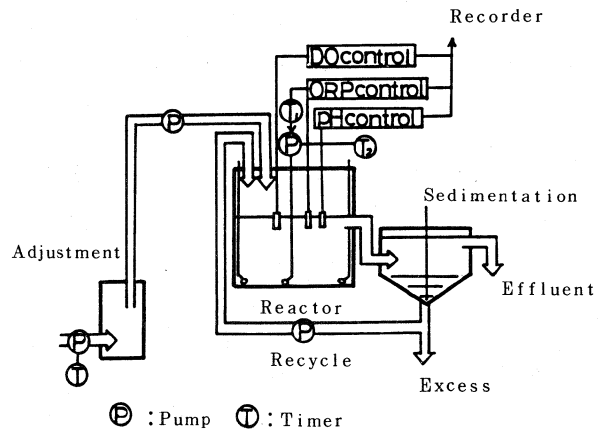


Fig. 2. Scheme of experimental equipment

表中、滞留時間は原水滞留時間を示す。下水処理における有機物・窒素の同時除去を単一反応槽で行うのに必要な滞留時間を決定するために、予備実験を行った。その結果、BOD除去に対しては4時間でも十分可能なことが明らかとなったが、本実験では5時間で行った。合成し尿は無希釈処理も可能であるが処理水量がある程度必要なため5倍希釈で行い、滞留時間は48時間とした。同時除去を効果的に行うために、MLSS濃度を高くすることが好ましいが、パイロットプラントではMLSSで5,000mg/L以上にはすることができなかった。またMLVSSは約3,000mg/Lであった。生下水(以下、下水処理場におけるプラント実験の原水を下水と表現する)は緩衝作用が大きいため、pHはあまり大きく変動せず特に制御は行わなかった。合成し尿及び合成下水は硝化反応によりpHが下がるため0.1N-水酸化ナトリウムを添加し、pHを制御した。曝気が停止したとき、脱窒反応によりpHは上昇するがその幅は小さく0.2程度であったので、酸の添加は行わなかった。この程度の変化ではORPに対するpHの影響は小さい。反応温度は合成し尿については30℃にコントロールした。合成下水については室温(17~25℃)で行った。プラントでは17~29℃であった。

室内実験では汚泥管理のため余剰汚泥を適宜引き抜いた。プラントでは汚泥が処理水とともに流出することが多く、汚泥の管理はできなかったがほぼ一定のMLSS濃度を保つことができた。

3.3 ORP制御の方法

供給酸素が消費され、そのため酸化反応が促進されることにより、メーター上のDOが0でも系内のORPはかなり高い値を示す。また、脱窒反応が十分に促進されている場合でも、反応槽内のORPはかなり高いことが観察された。このことは系内のORPを酸化電位側の適当な値で制御することにより、同時除去が有

効に働くことを示唆している。本実験では操作の可能な範囲でORPを変化させて実験を行った。制御方法には曝気ポンプをon-offすることによる定値制御法を用いた。この方法では曝気は非定常となり、雰囲気は短時間の間に好気・嫌気を非定常的に繰り返す。曝気量が少ない時は曝気時間が長くなり、多い時は短くなる。またORPは反応系の雰囲気を反映しているため反応が活発なときは曝気量が多くなり、そうでないときは減少する。原水の性状によってもORPは異なる。このため供試原水について、どの程度の電位が適当であるかをあらかじめ知っておく必要がある。合成下水では200mV以下、合成し尿では250mV以下では汚泥の膨化が著しく、このORPでは沈殿槽を用いる本実験は困難であった。また、パイロットプラントでは散気曝気を止めても粗大気泡による攪拌を行っているため、電位を350mV以下には下げることができなかった。また、本実験装置では合成し尿については350mV、合成下水については430mV、下水については550mV以上には上げることができなかったためこの範囲で実験を行った。フローメータで瞬間曝気量を知ることができるが、積算曝気量は設定したORPによって制限されるためあらかじめ知ることはできない。

3.4 供試原水

合成し尿はペプトン、肉エキスを主成分とし各種の無機塩を含むもの、合成下水はスキムミルクを主成分とし各種の無機塩を含むものを用いた。各原水の性状をTable 2に示す。表中、実験に用いた宇部市の下水は年間の最大、最小の範囲を示した。ただし表中の下水は最初沈殿池から調整槽を経て反応槽に至る間でゴミなどの固形物を除去したため、処理場の最初沈殿池の濃度よりかなり低くなっている。したがって、Table 1 には調整槽流出水濃度を表示してある。

Table 2 Substrate of feed

Substrate	Artificial night soil (mg/L)	Artificial sewage (mg/L)	Sewage (Ube city) (mg/L)
BOD	8000 ~ 10000	220 ~ 250	30 ~ 80
COD	3000 ~ 4100	150 ~ 200	20 ~ 35
Kj-N	3500 ~ 4500	50 ~ 60	15 ~ 30
Alkalinity	6000 ~ 8000	110 ~ 150	100 ~ 200

4. 結果及び考察

4.1 ORP制御による除去率

ORPとBOD, COD_{MN}(以下、COD_{MN}をCODとする)除去率の関係をFig. 3.4に示す。合成下水及び下水については亜硝酸の生成がわずかなためT-COD, 合成し尿の場合は亜硝酸の生成が多くCODへの影響が大きいためC-CODでプロットしている。BODはいずれの場合も100%近い除去率が得られ、BOD除去に対しては十分な滞留時間であったと言える。CODは合成下水および合成し尿については高い除去率を得たが下水については80%前後に留まった。これはCODの種類が異なるため、下水のCODに対しては滞留時間が短かったためと考えられる。これら有機物分解に対しては実験範囲内ではORPの差による影響は見られなかった。なおこのときDOは0~1.0の範囲にあった。

Kj-N除去率とORPの関係をFig. 5に示す。各実験とも、馴致期間はORPを変化させたのち、5~7日とした。この間、ORPは一定である。合成下水、合成し尿についてはORPに関係なく高い除去率が得られたが、下水についてはORPの低下とともに除去率は減少した。合成下水では比較的低いORPでも酸素が十分供給されているのに対し、下水の場合にはDOが0でもORPが高いため、DOの挙動はFig. 9(A)のようにならず曝気時間が短くDOがほとんど0のままであった。下水の場合には酸素の供給が不十分なために硝化率が減少しているものと考えられる。この結果、Fig. 6に示すように処理水中にアンモニウムイオンが残留することになる。ORPが低いほどアンモニウムイオンが残留している。このことは

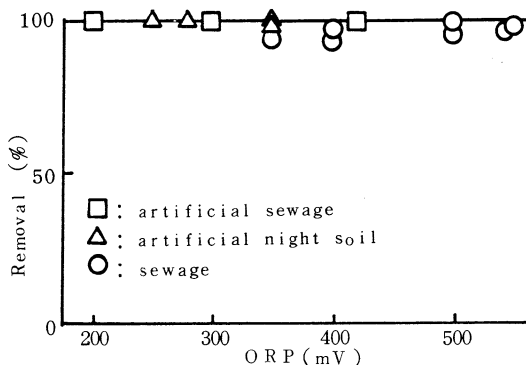


Fig. 3. BOD removal with ORP control

ORPが硝化についての普遍的な指標とはならず、流入下水や曝気槽の状態によって変わる指標であることを示している。すなわち、この下水では高い硝化率を得るため550mV以上の高いORPを保持する必要がある。

T-N 除去率とORP との関係をFig. 7に示した。合成し尿、合成下水、下水など原水成分に関係なくORPの増大にともない除去率は低下した。このように、基質の違いにもかかわらず、T-N 除去率に対して同じような傾向が得られたことは反応系内のORPが窒素系の酸化還元反応に支配されていることを示唆する。400mV付近で傾きが変わっているのはORPが小さいところでは硝化律速、ORPの大きいところでは脱窒律速であり、400mV付近が遷移域であると思われる。また合成し尿および合成下水はORP制御により十分な窒素除去が可能であるのに対し、下水については十分な除去率を得るには至らなかった。これはORPの低いところでは酸素不足による硝化反応の抑制が一つの理由であるが、さらに本実験は合流式処理場で行っているためBOD/Nは1~5の範囲で、年間を通じてBOD/Nが2未満、BODは80mg/L未満の時が圧倒的に多い。このように有機物濃度が低いため脱窒反応に要する有機物が不足するためと考えられる。Fig. 8に下水原水BOD濃度とT-N除去率の関係を示した。ORPは脱窒反応が比較的よく進行する350~450mVでプロットした。最初沈殿池のBOD濃度は低い時(8月)で50mg/L程度である。最大280mg/L、年間平均で80mg/L程度となっている。本実験における原水は砂やゴミを除くため最初沈殿池と反応槽の間に調整槽を置くなどしているため、さらにBOD濃度は低くなっている。図中、白丸は原水にメタノールを添加して、BOD濃度を上げてみたものである。130mg/Lを越えると脱窒率は80%に達する。このように

下水処理における有機物、窒素の同時除去を効率よく行うためには、BOD/Nが4以上、本プラントでは流入水のBOD濃度が130mg/L程度存在することが必要と思われる。BOD濃度が上がれば、Fig. 8に見られる通りORPをさらに低くし、脱窒率も向上させることが可能である。実際には最初沈殿池のBOD

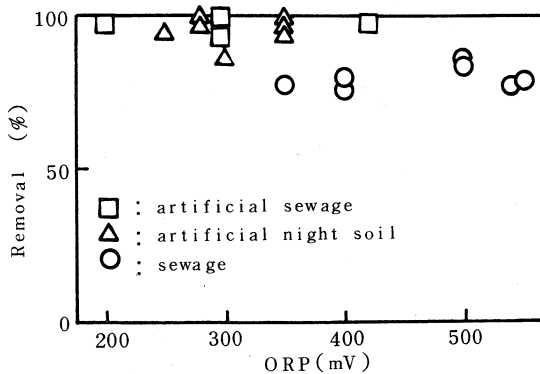


Fig. 4. COD removal with ORP control

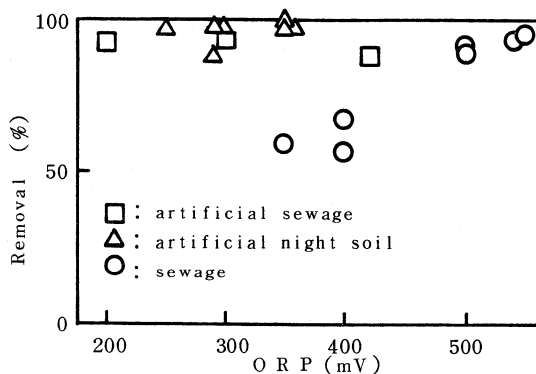


Fig. 5. Kj-N removal with ORP control

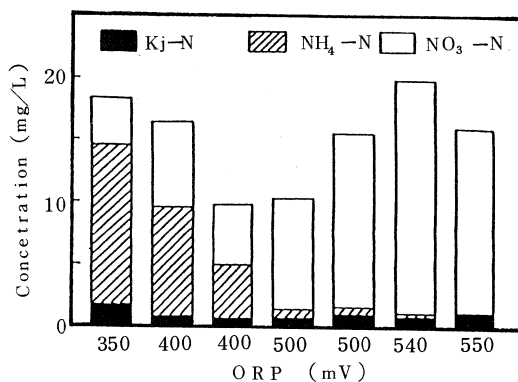


Fig. 6. Nitrogen concentration in treated water of confluent sewage with ORP control

濃度は80~100mg/L程度であるから本処理場の場合約60%の窒素除去が可能である。

ORP制御は有機物酸化、硝化、脱窒の3反応を単一反応槽で行わせるために酸素を過不足なく供給しようとするものであり、設定したORP値に対応して曝気のon-offが行われる方式である。したがって槽内は好気・嫌気的非定常曝気の繰り返しとなる。その様子をFig. 9(A)に示す。この方法では好気状態で硝化反応が促進され、アルカリ度が消費される。しかし嫌気状態では脱窒反応が促進され、アルカリ度が生成されるため、次の好気状態での硝化反応が促進されるという有利な点を持つ方法である。下水におけるDO制御とORP制御によるアルカリ度の違いをFig. 10(A),(B)に示す。(A)図はDOとアルカリ度、T-N除去率、(B)図はORPとアルカリ度、T-N除去率の関係である。ここで言うDO制御とは連続的に曝気を行いながら別にDOコントローラに接続されている曝気ポンプを設定DOに応じてon-offさせる方法で行った実験のことである。DO制御ではDOが0でかなりのアルカリ度が生成しているものの、DOが0.5以上になるとアルカリ度は急激に下がっている。DOが0でも硝化率はほぼ100%であったが、T-N除去率は低い値であった。これはDOが0でもORPが400mVと高いためである。これに対しORP制御では400mV以上でかなりのアルカリ度の生成が見られた。500mVでもDO制御に比べて脱窒反応がかなり起こっているため、アルカリ度の生成は比較的大きい。これはFig. 9に示したように(B)DO制御が一貫して好気雰囲気であるのに対し(A)ORP制御は好気・嫌気雰囲気を繰り返すことによるものであり、曝気ポンプのon-offの履歴が異なるためと考えられる。このように有機物・窒素の同時除去に対してはアルカリ度が自動的に供給されるORP制御はかなり有効な方法と考えられる。

以上の結果からORP制御による有機物・窒素の同時除去を高能率に行うためには、適当な有機物濃度があり、硝化反応が十分に促進される程度に酸素が供給されるような条件下で、できるだけ低いORPを設定することが必要である。

4.2 ORPの成分依存性

本実験で行ったORP制御は微生物内あるいはフロック内のORPを測定したものではなく、フロック外の電位を測定したものである。実際の酸化還元反応は細胞内で行われているにもかかわらず、系全体として

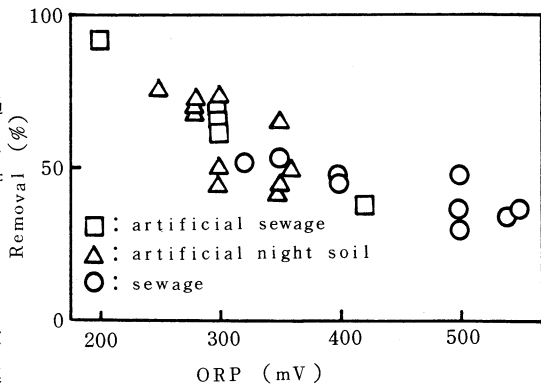


Fig. 7. Relationship between ORP and T-N Removal

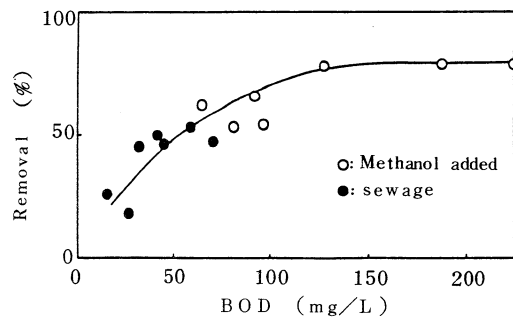


Fig. 8. Relationship between BOD and T-N removal (conflux sewage)

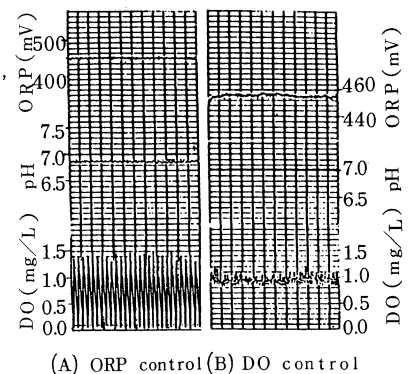


Fig. 9. Example of ORP control and DO control

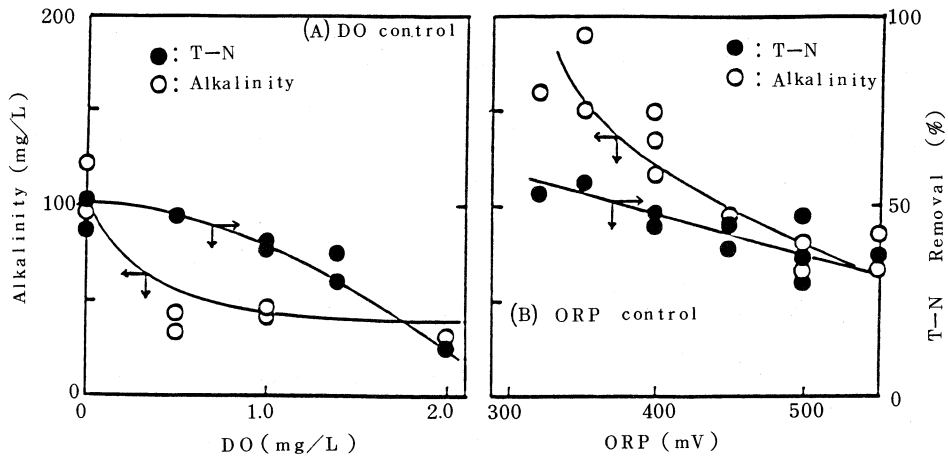


Fig. 10. Comparison of T-N removal and alkalinity on DO control and ORP control

の電位が微生物の酸化還元反応を規制していることが分かった。このことは微生物により取り込まれたり、排出される物質によってORP値が決まることを示唆するものである。Figs. 3, 4に示したように、有機物酸化に対しては200 mV ~ 550 mVの広い範囲で、ORPと無関係である。それに対してFigs. 5, 7はORPが硝化・脱窒反応と密接な関係のあることを示している。また厳密にはORP定値制御は好気・嫌気サイクルの中で上限、下限を持つはずである。すなわちFig. 9(A)におけるDOに追随して変化しているものと考えられる。このような観点から、合成下水でORPの上限値、下限値を知るために、Fig. 2に

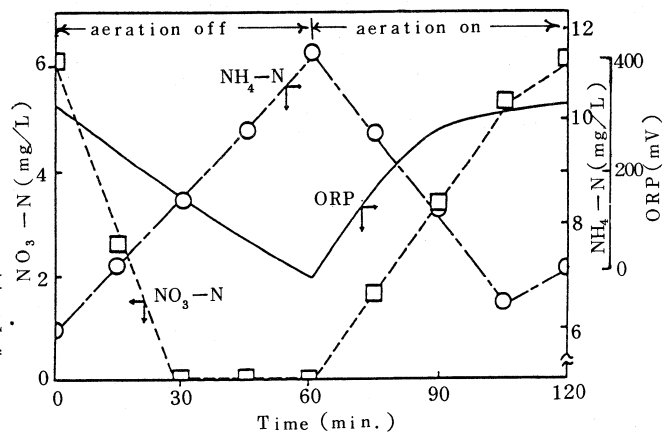
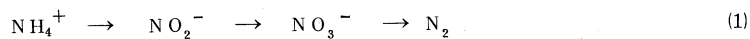


Fig. 11. Changes of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration with change of ORP

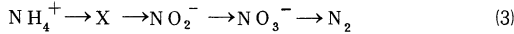
におけるタイマー T_2 で曝気ポンプをon-offさせ、1時間曝気、1時間曝気停止のサイクルの2点制御を行い、ORP、アンモニウムイオン、硝酸イオン濃度の変化を測定した。結果をFig. 11に示す。曝気停止と同時にDOは0となり、ORPは低下した。硝酸イオン濃度は急速に減少しアンモニウムイオンは急速に増大した。曝気開始と同時にORP、硝酸イオン濃度は上昇し、アンモニウムイオン濃度は減少した。条件が変わらない限りこれを1サイクルとして繰り返す。有機物の分解に対してはFigs. 3, 4に示したように、ORPの影響が見られない。このことは有機物分解は電位がかなり低いところでも十分に進行していることを示す。そこでFig. 11の反応を



と想定し、成分濃度とORPの関係調べた。本実験で行った3種類の原水についてORPとアンモニウムイオン濃度をプロットするとFig. 12のようになり合成し尿、合成下水、下水とも直線関係が得られ、次式で表わされる。

$$E = -a \log (\text{NH}_4 - \text{N}) + b$$

勾配 a はいずれもほぼ 150 mV/mg/L であった。ここで、 E は反応槽内で検出された ORP (水素電極基準に換算) 値である。この値は Nernst の式から計算される 1 電子移動当たりの電位 57 mV よりかなり高く、2.5 分の 1 個の電子の移動に相当する電位である。このことは反応が (1) の 4 段階ではなく、中間生成物 X が存在し



のようになっているものと考えられる。X の内容については不明である。

亜硝酸イオンは殆ど存在しないためプロットはできなかった。また、硝酸イオン濃度と ORP の関係、および硝酸イオンとアンモニウムイオンの濃度比と ORP の関係は Fig. 13 のようになり、直線関係は得られず、硝酸イオン濃度は無関係と考えられる。硝化率 ($\text{NO}_x - \text{N} / (\text{NH}_4 - \text{N} + \text{NO}_x - \text{N})$) と ORP が直線関係にあることを示唆する報告もあるが⁸⁾、この硝化率と ORP のプロットは本実験における Fig. 13(B) と同様のものである。

以上のように単一反応槽内で、有機物酸化、硝化、脱窒 3 反応が逐次並列に進行するような系では、ORP はアンモニウムイオン濃度に依存しているものと考えられる。

4.3 ORP 制御による曝気量と硝化・脱窒反応

曝気量と硝化・脱窒反応の関係を調べるために合成下水により ORP を $0 \sim 450 \text{ mV}$ の範囲で変化させ、定値制御を行った。非定常曝気のため 1 日の積算曝気量から平均曝気量 (L/min) を求めた。Fig. 14 は合成下水における曝気量と $\text{K}_j - \text{N}$ 、 $\text{T} - \text{N}$ 除去率の関係を示したものである。3.5 L/min 以下では生成したアンモニウムイオン、硝酸イオンは全て脱窒されており、硝化律速である。しかし、それ以上では脱窒反応は抑制された。本実験条件下での最適曝気量は 3.5 L/min である。しかしこの曝気量は結果的に得られるものであり、あらかじめ設定することはできない。これは ORP に連動しており、おのずから決まってくるものである。このように合成下水の場合は実験条件が理想的なため曝気量と $\text{K}_j - \text{N}$ 、 $\text{T} - \text{N}$ 除去率の関係を明確に知ることができる。

Fig. 15 は同様の実験を下水について行ったものである。傾向は合成下水と同じで、最適曝気量はほぼ 3.0 L/min であるが合成下水ほど明確ではない。曝気量は原水濃度、汚泥濃度などにより変化するため比較が困難である。合成下水の BOD 、 $\text{K}_j - \text{N}$ 、 MLSS の濃度は下水に比べてそれぞれ 5 倍、2.5 倍、1.3 倍であること、粗大曝気で攪拌を行っていることなどの理由から下水では曝気量が少なくなっているものと思われる。

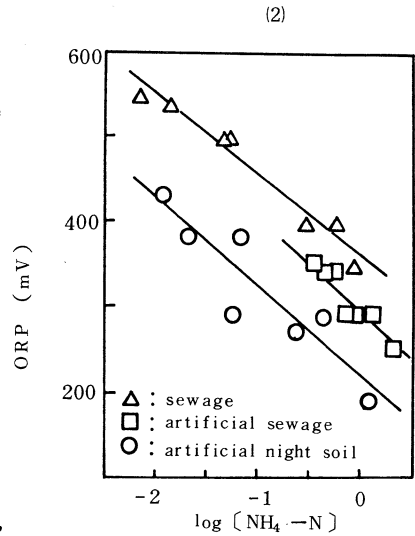


Fig. 12 Relationship between $\text{NH}_4 - \text{N}$ and ORP

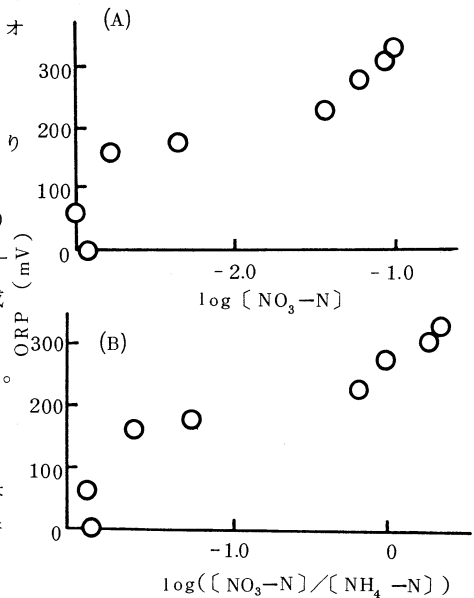


Fig. 13. Relationship between $\log [\text{NO}_3 - \text{N}]$, $\log ([\text{NO}_3 - \text{N}] / [\text{NH}_4 - \text{N}])$ and ORP

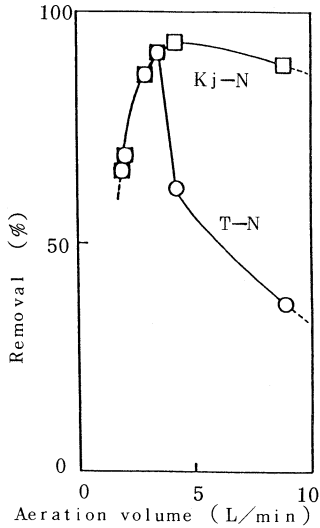


Fig. 14. Relationship aeration volume and removal with artificial sewage

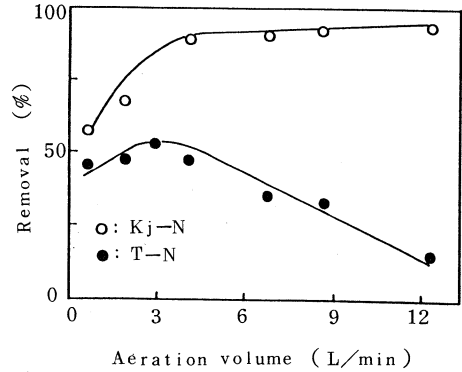


Fig. 15. Relationship between aeration volume and removal with confluent sewage

Fig. 16はT-N 除去率とORP の関係を、合成下水、合成し尿について調べたものである。十分に硝化が促進される範囲でプロットしたものであるが、この範囲ではほぼ直線関係にある。したがって、基質には関係なく、ORP を制御することにより、窒素除去率を向上させることが可能と考えられる。

以上のように適切なORPを設定することにより曝気量を自動的に調節し、硝化・脱窒反応をコントロールすることが、DO制御より有効であるが、そのためには原水に対するORPの挙動を知ることが不可欠である。

5. まとめ

酸化還元電位を指標にして非常常間欠曝気を行うことによる有機物・窒素の同時除去を試みた。その結果次のようなことが判明した。

- (1) 活性汚泥の酸化還元電位は基質の種類により異なる。このため硝化、脱窒反応を同時に行わせる電位は基質の違いによって異なる。
- (2) 活性汚泥における有機物・窒素同時除去を行わせるための酸化還元電位は広いORPの範囲で有機物酸化反応とは無関係である。
- (3) 活性汚泥の酸化還元電位はし尿、下水などの場合、他の基質とは関係なく、アンモニウムイオン濃度に大きく依存しているものと思われる。
- (4) 酸化還元電位を指標にした連続式非常常間欠曝気法は脱窒反応によって自動的にアルカリ度を補給するため、硝化反応を促進させるのに有利である。
- (5) 合流式下水処理のような低濃度排水に対しては、炭素源が不足するため窒素除去は不十分である。BOD/Nが4.0以上となるBOD濃度を確保する必要がある。
- (6) ORP制御では有機物酸化および硝化に必要なだけの酸素を供給しており、過剰のエアレーションを避けることができる。また、曝気量は設定ORPによって結果的に決まるものであらかじめ設定することはできない。

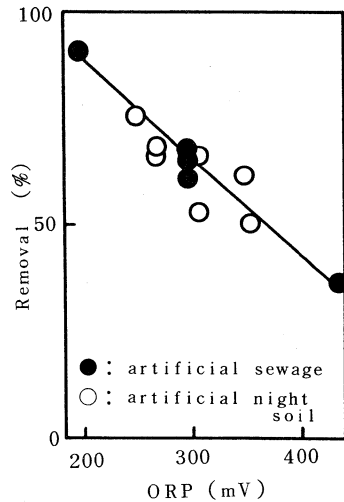


Fig. 16. Relationship between T-N removal and ORP

- (7)適切な酸化還元電位を設定することにより、硝化・脱窒反応をコントロールすることが可能であり、ORP制御はDO制御より有効である。そのためには、原水に対する酸化還元電位の挙動を知ることが不可欠である。
- (8)単一反応槽による同時除去は汚泥濃度を比較的高くする必要があるが、好気・嫌気サイクルを短時間で行うため汚泥が膨化しやすく酸化還元電位を下げすぎると沈殿法による固液分離が困難となる。

参考文献

- 1)石川宗孝，中西 弘，深川勝之，村上定瞭：「完全混合型曝気槽による有機物と窒素の同時除去に関する研究」衛生工学研究論文集，Vol. 22(1986)
- 2)深川勝之，村上定瞭，石川宗孝，中西 弘：「有機物酸化，硝化および脱窒反応の競争する系における反応速度論—低濃度域における反応速度定数—」衛生工学研究論文集，Vol. 23(1987)
- 3)藤井正博，近藤三雄：「都市下水活性汚泥処理の酸化還元電位の研究」水処理技術，Vol. 23, No. 7(1982)
- 4)藤井正博：「ORP活性汚泥法による団地下水の処理」水処理技術，Vol. 24, No. 9(1983)
- 5)田中一彦，安江敏次，大津正見，石原豊，中嶋邦雄：「酸化還元電位による生物学的脱窒処理工程の自動制御」水処理技術，Vol. 23 No. 8(1982)
- 6)石川宗孝，中西 弘，水船清司：「好気性脱窒現象のモデル化に関する研究」衛生工学研究論文集，Vol. 19(1983)
- 7)村上定瞭，石川宗孝，中西 弘：「生物学的脱窒素反応の高効率化に関する研究—生化学反応のモデル化と動力学的取り扱い(その1)，(その2)—」環境技術，Vol. 13, No. 4, No. 6(1984)
- 8)関根孝夫，松永 旭，新井喜明，稲森悠平，砂原広志：「活性汚泥法における硝化能とその制御に関する研究」用水と廃水，Vol. 29 No. 12(1987)