

**完全混合型曝気槽による都市下水処理
—ORP制御による制限曝気と脱窒効率の増進—**

山口大学工学部 中西 弘、浮田正夫、関根雅彦
京都大学工学部 石川宗孝
宇部工専 深川勝之、村上定瞭、竹内正美、原田利男

1. 概 説

近年、下水処理において窒素の除去効率を上げるために種々の試みがなされている。例えば、循環脱窒法や内生脱窒素法、あるいは間欠脱窒素法等である。この内、実用化されて、現実に稼働している方法として循環脱窒素法がある。しかしながら循環脱窒素法では、硝化液の循環が循環比で約2倍程度必要であり、生物反応槽の滞留時間も約2倍となる。また内生脱窒素法は、窒素除去効率の高い方法であるが、長時間曝気法と同様の長い滞留時間を必要とする。

ここに示すORP（酸化還元電位）制御による制限曝気と脱窒効率の増進を計った完全混合型の下水処理方式は、窒素除去効率において上記の方法に劣るが、標準活性汚泥法とあまり変わらない操作条件で、窒素除去効率を上げようとする試みであって、機構的には間欠曝気法の一変形とみられる。

2. 窒素除去の基本原則と本法の特徴

既によく知られているように生物学的な窒素除去の基本原則は、次のAとBとの2つの反応による。

- A. 活性汚泥生物の増殖に伴う窒素の取り込み
- B. 窒素化合物の窒素ガスまでの分解
 - 1) 有機性窒素等の窒素化合物のアンモニアまでの加水分解（分解）
 - 2) 好気条件でのアンモニアの硝酸までの酸化（硝化）
 - 3) 嫌気条件での硝酸の窒素ガスまでの還元（脱窒）

この内、Aの反応は好気性生物処理共通の反応であり、ここで取り上げるべくもない。

Bの反応が生物脱窒素法の基本原則であるが、この反応において窒素を効率よく除去するためには、少なくとも（1）反応槽を場所的あるいは時間的に好気槽と嫌気槽との2つに分けることや（2）好気槽の硝化液を嫌気槽に加えることが必要である。

本法の完全混合槽におけるORP制御による制限曝気の窒素除去法は、単一槽において窒素除去を行うものであり、その特徴は次のようである。

- （1）好気と嫌気との接点において硝化と脱窒とを同時に行う。（制限曝気）
- （2）好気条件と嫌気条件とを時間的に小刻みに行う。（ORP制御）
- （3）内部混合により硝化液の嫌気状態での有機物との接触を計る。（完全混合）
- （4）省エネルギー型の簡易窒素除去法である。（単一槽、内部混合、短時間反応）
- （5）窒素除去率は、尿処理で80％程度、下水処理で50～60％程度。（簡易法）
- （6）既存の活性汚泥法施設での適用が容易である。（曝気槽等容量）

即ち、この方法は、完全混合型単一槽において、ORP制御によりDOレベルをゼロ近くに曝気量を制限して、反応時間を通常の活性汚泥法と同程度（6時間程度）に取ることにより、窒素除去の効率を標準活性汚泥法より高める方法であり、標準法より比較して反応時間の延長も、硝化液の循環もない、かつ曝気量も減少させる省エネルギー型の窒素除去法である。もつとも簡易省エネルギー型であるので、窒素除去効率において、循環法よりはやや低いことも理解しておかねばならない。なおこの方法は尿処理においては実用化されて80％以上の窒素除去率を得ているが、下水処理にはまだ適用されていない。

3. 都市下水処理へのパイロットプラント実験

3. 1 パイロットプラント実験の概要とORP制御

宇部市東部下水処理場に図1に示すパイロットプラントを設置して、最初沈殿池の流出水を対象にして実験を行った。曝気槽の容量は285ℓであり、滞留時間は5時間、MLSS濃度は3000～5000 mg/ℓ、汚泥返送比は0.5～1.0、pH6.6～7.2、温度は17～28℃の範囲で操作を行った。また、攪拌には粗大気泡を用い、ORP制御とDO制御により、ORP334～467 mVの範囲とDO 0.0～2.0 mg/ℓの範囲になるように、曝気装置の一部は連続曝気、一部はon-off曝気の操作を行った。サンプリングは24時間行った。

3. 2 プラント実験結果

(A) 曝気槽への流入下水のBODは、50～100 mg/ℓの範囲に変動したが、何れも90%以上のBOD除去率が得られた。なお、メタノールの添加によりBOD150 mg/ℓ以上でも80%以上のBOD除去率が得られている。

(B) 流入水のk_j-Nは20～35 mg/ℓ程度であったが、DO濃度が0.0 mg/ℓであっても、NH₄-Nの除去率(硝化率)はほぼ100%であり、図2に示すようにORPが320～460 mg/ℓにおいても、80%前後の除去率が得られている。

(C) 脱窒素については、図3に示すようにORP制御では55～80%の窒素除去率が得られた。これはDO制御(DO濃度0.0～2.0 mg/ℓの範囲)において20%程度の除去率しか得られなかったのに比較して、除去率は良好である。

3. 3 プラント実験結果の考察

プラント実験結果は、有機物の酸化や硝化においてはDO制御がやや勝れているが、脱窒を含めた全体の窒素除去率ではORP制御のほうが勝れていることを示している。この理由として図4に示すように、DO制御ではon-offの期間が短く、連続曝気の状態に近いのに比較して、ORP制御ではon-offの期間が長く、間欠曝気の状態を示して好気と嫌気の状態が繰り返されているので、嫌気状態での脱窒がよく進行しているためと考えられる。

また、ここでプラント実験の対象とした都市下水では、BOD濃度が低く、十分な脱窒が進行していないが、メタノールを添加した実験結果や合成下水での実験結果等から、炭素源としてのBOD濃度を高めてBOD/N比を4以上すれば、80%以上の窒素除去率が確保できることが明かとなった。

なお本法は、MLSSを比較的高濃度に保つこと、および好気と嫌気サイクルを短時間で往復するために汚泥が膨化しやすくORPを下げすぎると沈殿による固液分離が困難になることも注意しなければならない。

4. 都市下水処理への適用と既存施設の改善

既存の都市下水の活性汚泥法施設を対象として簡単な改善のみで窒素除去効率のアップを計った方法として、本法の都市下水処理への適用を検討してきたが、その適用にあたって次のような留意点がある。

- (1) 曝気槽が容易に完全混合型の構造に改善できること。
- (2) 汚泥返送比を上げて高MLSS濃度が保てる施設に改善できること。
- (3) 曝気装置がORP制御により、ON、OFF運転ができること。
- (4) 常時混合攪拌ができる装置を備えていること。
- (5) 最終沈殿池の滞留時間に余裕のあること。
- (6) 窒素除去効率を上げるためには、流入水のBOD/N比が4以上あることが望ましい。

また次の操作を基準として運転管理を行えば、窒素除去率を50～60%以上に上げることができる。

- a. 曝気槽の滞留時間：5～6時間程度、b. MLSS濃度：3000～5000 mg/ℓ程度
- c. 汚泥返送比：0.5～1.0、d. ORP制御：下水の水質によって変わるので現場において最適値を求める。(宇部市の下水では330～460 mV)

なお、流入水の水質、水量の変動の大きい場合には、窒素除去率の向上は困難である。

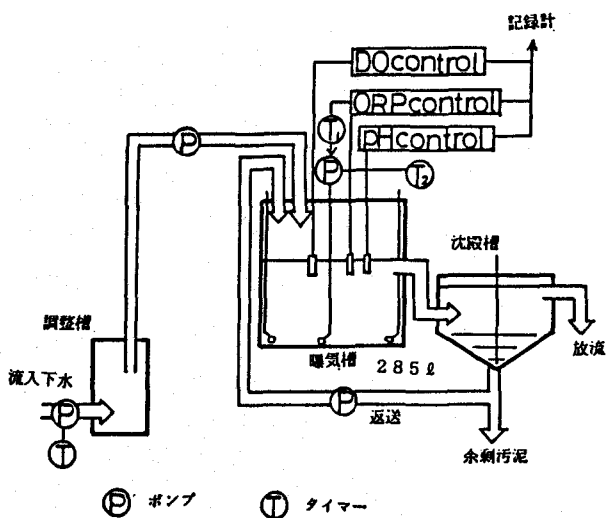


図1 ミニプラント概略図

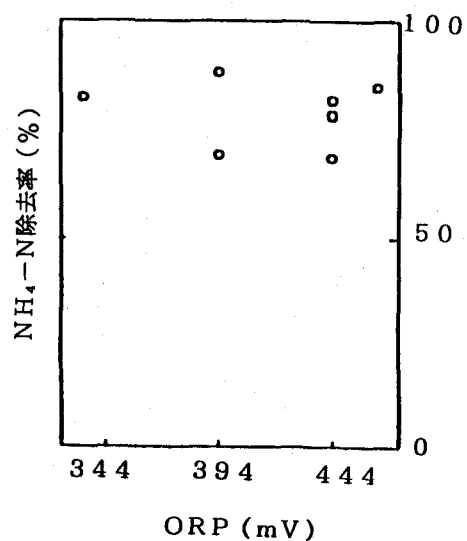


図2 ORPとNH₄-N除去率

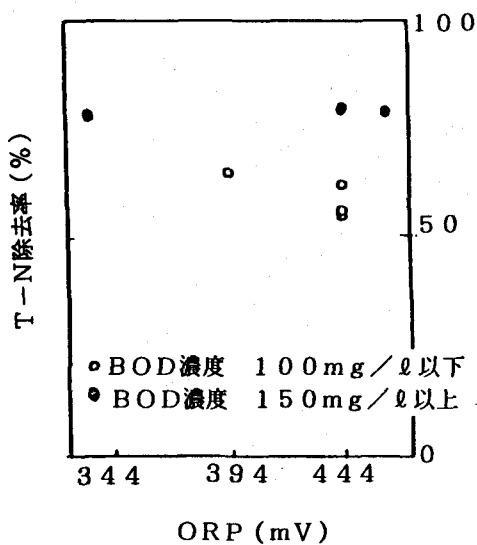


図3 ORPとT-N除去率(脱窒)

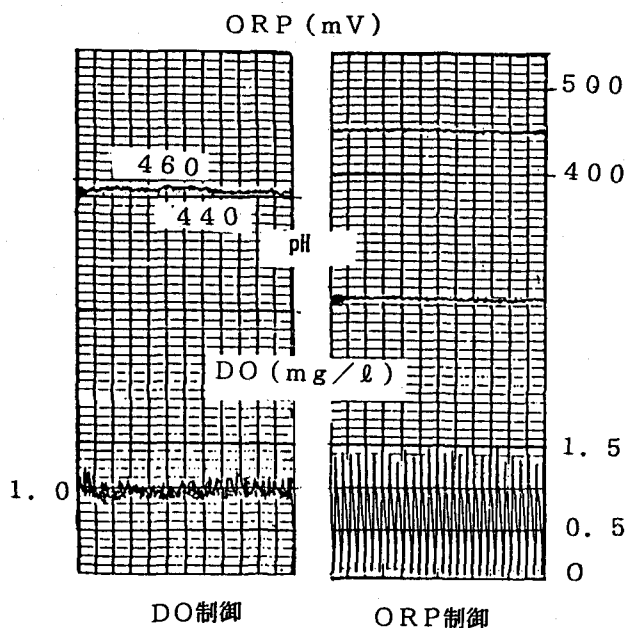


図4 ORP制御とDO制御の相違