

## 深層反応槽の空気量制御

石田宏司 師正史 和泉清司

久保田鉄工株式会社 水処理技術部  
大阪市 浪速区 敷津東 1-2-47

### 概要

し尿中の有機物及び窒素を除去する方法として、生物学的脱窒素技術をベースに無希釈にて処理する高負荷脱窒素法が構造指針化されている。

高負荷脱窒素法では、脱窒素効率を高めるために汚泥濃度を高く維持し又酸素の供給速度・溶解効率を高めるために反応槽を深層化している例が多い。

反応槽の運転方法としてし尿の間欠投入・間欠曝気処理を行なうことで従来必要とされていた通性嫌気性槽と好気性槽を一体化した単一槽のみで、98%以上の窒素除去が可能となっている。

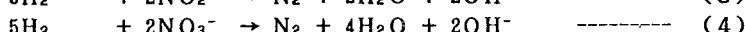
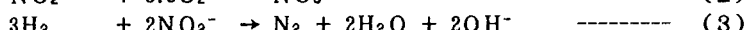
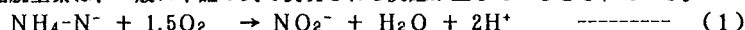
水深10mの深層反応槽にポンプ循環式のUチューブエアレーション装置を導入し、DOをモニタリングし、プログラブルコントローラー（以下PCと称す）により適正な吹込空気量に設定する事により、投入し尿の質・量の変動に速やかに対処可能な脱窒素処理システムを確立したので以下に紹介する。

### キーワード

深層反応槽 硝化脱窒素 Uチューブエアレーション 自動制御 膜分離

### 1. 深層反応槽の運転方法

生物学的硝化脱窒素は、一般に下記の式で表現される反応が生じているとされている。

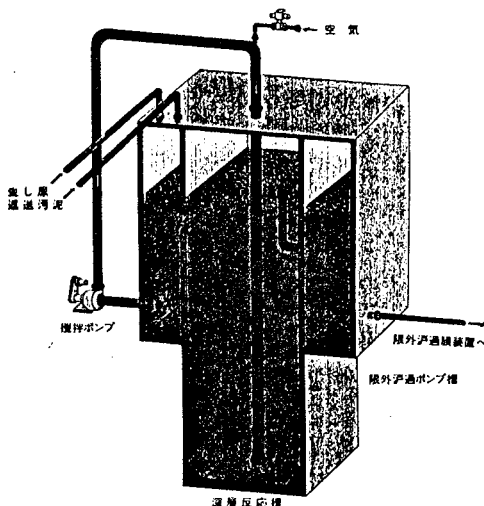


(1)・(2)は、分子状の酸素を必要とし、生酸反応であり、一方(3)・(4)は、結合酸素を利用した有機物の酸化反応であり、生アルカリ反応である。

この様に全く異なった反応を効率よく単一槽で行なうために、深層反応槽（<図-1>に示す。）の空気量をPCを利用して、3時間を1サイクルとし、サイクルの初めにし尿の投入を行い、吹き込む空気量を段階的に変化させ、深層反応槽に投入されたし尿を回分的に処理する運転を行なう。空気量は、PCにより電動弁の開閉をPID制御し、一定の空気量に調節した。

深層反応槽に投入されたし尿中の窒素は、硝化菌及び脱窒菌により硝化脱窒されるが、窒素除去率をメタノール等の有機炭素源の添加を行なうことなく98%以上の効率に維持するためには、硝化菌及び脱窒菌の活動に最適な環境を作る必要がある。硝化菌が活動するためには酸素が、脱窒菌が活動するには、有機物（BOD）が必要となる。

各々の菌に最適な環境を作るため、空気量を3段階に変化させることにより次の3工程を形成する。



<図-1> 深層反応槽の模式図

イ) 脱窒優先工程

この工程では、し尿中の有機物が深層反応槽内に豊富に存在し、活性汚泥の酸素要求量が大きいため、曝気しても溶存酸素は殆ど無く、前サイクルで残留した亜硝酸・硝酸を脱窒する。溶存酸素濃度の変化が小さいのに対して、ORPは<図-2>にみられるようにNO<sub>x</sub>-Nの多寡により大きく変化する。

すなわち、前サイクル終了時に蓄積しているNO<sub>x</sub>-Nが脱窒反応により減少して行くにつれてORPも低下し、NO<sub>x</sub>-Nがなくなると急激にORPが低下する。

なお、この工程においてもアンモニアの硝化反応は進行しているが、深層反応槽へのし尿の投入が継続されているため、NH<sub>4</sub>-Nは<図-2>にみられるように徐々に上昇する。

ロ) 硝化・脱窒同時進行工程

この工程では、アンモニアの亜硝酸化反応と生成した亜硝酸の脱窒素反応が逐次的に効率よく進行する。このことは、<図-2>より理解できる。

すなわち、<図-2>にみられるようにNO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N共に殆ど増加せず、NH<sub>4</sub>-Nのみ減少していることからアンモニアの亜硝酸化により生成したNO<sub>2</sub>-Nは、NO<sub>3</sub>-Nに酸化されることなく、直ちに脱窒されていることが判る。

空気量は、アンモニアの亜硝酸化を積極的に進行するため、脱窒優先工程より多く吹き込まれる。溶存酸素濃度は、<図-2>にみられるように0.2~0.5 mg/l程度である。

ハ) 硝化優先工程

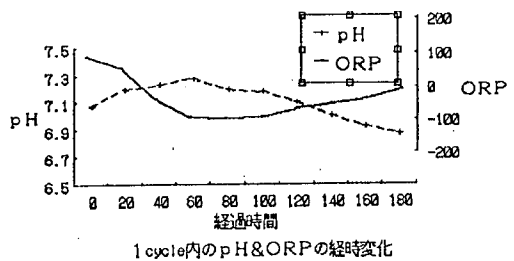
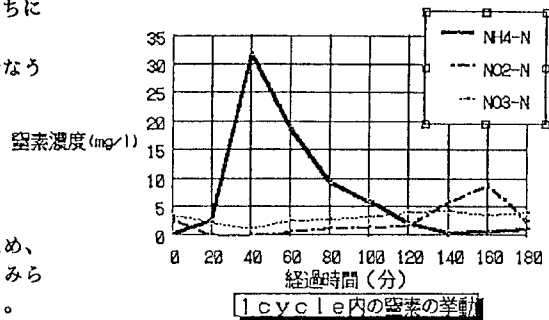
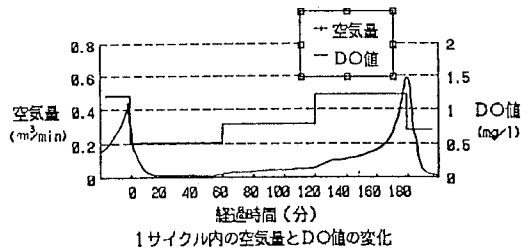
この工程では、有機物の残存量が少なくなるため、脱窒率が低下してくる。この結果、<図-2>にみられるようにNO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nが徐々に増加する。

通常は、NO<sub>2</sub>-Nの増加率が大きい。

このことは、<図-2>にみられるように溶存酸素濃度が1 mg/l以下の低レベルにあるときにはNO<sub>2</sub>-Nの酸化反応が抑制されることを示唆している。

この工程での空気量は、硝化反応を完了させるため、前工程よりさらに多くなる。また、この工程での空気量は、各サイクル毎に変化させると各サイクル間の溶存酸素濃度の差異を判別することができなくなるので、各サイクル共一定にしてある。しかし、し尿の投入量を変化させると自動的にこの工程の空気量は増減される。

この工程での溶存酸素濃度は、<図-2>にみられるように通常 0.5~1.0 mg/l程度である。



<図-2> 1 cycle 内の空気量・pH&ORP・窒素の変化

ニ) 硝化完了

硝化が完了して、NH<sub>4</sub>-Nが無くなると活性汚泥の酸素要求量が極端に少なくなるため、溶存酸素濃度は急上昇する。

NO<sub>3</sub>-Nの生成を抑制するため、溶存酸素濃度が 2 mg/l を越えると自動的に空気量を下限設定値まで低下させている。

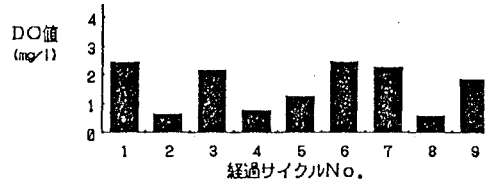
深層反応槽内の溶存酸素濃度は、槽内の水質変化に応じて<図-3>のように変化するので、溶存酸素濃度の

変化パターンを自動計測することにより、硝化反応の完了、または未完了を判断し、次サイクルの空気量を自動計算し設定する。

<図-3>に各cycle終了時の空気量・DOの変化を示す。

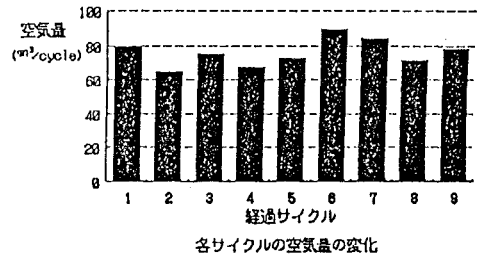
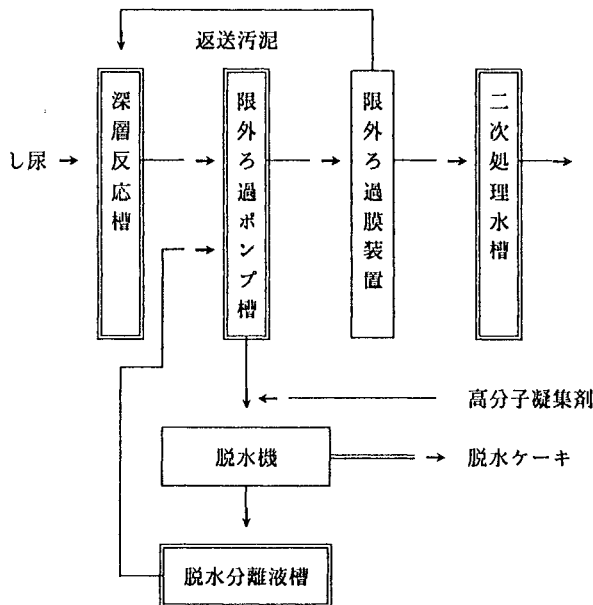
各cycle内では空気量が少ない時にはcycle終了時のNH<sub>4</sub>-Nは残留しておりDOは低くなっている。

しかし、次cycleでは空気量が増加され、その結果NH<sub>4</sub>-Nも殆ど無くなりその結果DOは急上昇している。



## 2. 試験装置のフロー及び運転条件

試験装置のブロックフローを示す。



<図-3>各cycleにおけるDO値と空気量の変化

深層反応槽は、<表-1>の運転条件にて自動制御運転を行なった。

活性汚泥は、限外ろ過膜により透過液と濃縮液に分離し、濃縮液は返送汚泥として投入し尿の約5倍量を返送した。

<表-1> 深層反応槽の運転条件

cycle数	(回/日)	8
1 cycle時間	(Hr)	3
し尿投入時間	(分)	50
脱窒優先工程	(分)	60
硝化・脱窒同時進行工程	(分)	60
硝化優先工程	(分)	60
DO上限値	(mg/l)	2 ~ 4

深層反応槽容量 32 m<sup>3</sup>  
(直径 2m 水深 10m)

PC・限外ろ過膜の仕様は、次の通りである。

プログラマブルコントローラー 仕様

入力点数	2点	(DO・空気量)
制御出力	1点	(電動弁の開閉)
接点出力	2点	(ポンプの運転)
使用ウエハー	48枚	

限外ろ過膜 仕様

膜素材	ポリオレフィン
分画分子量	20,000
Flux	1.2(m/日)
膜面積	13.8 m <sup>2</sup>

### 3. 試験結果

試験期間中の運転条件・結果を<表-2>に示す。

<表-2> 運転条件及び試験結果

	範囲	平均値
し尿処理量 (kl/日)	9 ~ 5	7.8
MLSS濃度 (mg/l)	29,000 ~ 14,000	19,800
T-N負荷 (Kg-N /Kg-SS/日)	0.059 ~ 0.023	0.035
BOD負荷 (Kg-BOD/Kg-SS/日)	2.57 ~ 1.01	1.94
(Kg-BOD/m <sup>2</sup> /日)	0.59 ~ 0.18	0.10
BOD (mg/l)	15 ~ 1	7.3
// 除去率 (%)	99.95 ~ 99.87	99.91
T-N (mg/l)	45 ~ 33	39
// 除去率 (%)	98.95 ~ 98.49	98.72

深層反応槽をDOを抑制した状態で運転を継続していると硝酸化菌の基質となるNO<sub>2</sub>-Nが乏しく硝酸化菌の増殖が抑制され、その結果亜硝酸化菌を優占種としたバランスとなった。

下水試験方法に基づき硝化菌数を測定したところ、亜硝酸化菌数が10<sup>8</sup>~10<sup>9</sup>程度であり硝酸化菌数は亜硝酸化菌数の2オーダー以下であった。

又、混合液にNO<sub>2</sub>を添加し強曝気したがNO<sub>2</sub>の減少及びNO<sub>3</sub>の増加が殆ど見られなかったことから亜硝酸化菌を優占種とした系となっているものと推定される。

亜硝酸菌を優占種とした系では、亜硝酸脱窒が行なわれ脱窒効率も高く安定した。

深層反応槽は完全混合型の反応槽でありバッチ処理を行なうためし尿投入にともない一部未処理のNH<sub>4</sub>-Nが流出する。流出したNH<sub>4</sub>-Nは限外ろ過ポンプ槽を曝気することにより<表-3>に示される水質が得られた。

### 4. まとめ

完全混合型の単一槽にてし尿を間欠投入及び吹込空気量の曝気強度を変化させることにより時間的に脱窒素環境及び硝化環境を形成し、DOの計測により各サイクル毎の空気量を変化させることで投入し尿中の窒素の98%以上が非常に安定して効率よく除去された。

<表-3> 限外ろ過膜透過液の性状

pH		7.2
TS (mg/l)		4484
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)		13.2
NO <sub>2</sub> -N (mg/l)		0.7
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)		1.7
PO <sub>4</sub> (mg/l)		80.3
Cl (mg/l)		1929
COD (mg/l)		315
色度 (mg/l)		1427
BOD (mg/l)		4.8