

II-93

硝化・脱窒を目的とした下水処理運転操作のシミュレーションモデルによる検討

北海道大学工学部 正員 船水尚行

北海道大学工学部 正員 高桑哲男

1. はじめに

窒素やリンのような栄養塩の放流水域への負荷量削減も有機物除去とともに下水処理の重要な目的である。本論文では窒素除去（硝化，脱窒）のひとつの方法であるステップ流入式嫌気好気法をとりあげ，IAWPRC活性汚泥モデルを用いたシミュレーションにより，本法の主な操作因子であるステップ流入量配分，余剰汚泥引き抜き量と窒素除去の関係を検討した結果を示す。

2. シミュレーションモデル

(1) ステップ流入式嫌気好気法の操作条件

図-1に概要を示したステップ流入式嫌気好気法は好気槽と嫌気槽を交互に配置したものであり，好気槽における硝化菌によるアンモニア態窒素の硝酸態窒素への変換（硝化反応）と嫌気槽における他栄養細菌の硝酸態窒素と有機物を利用した増殖による脱窒作用により窒素を除去しようとするものである。ステップ状の下水流入は脱窒反応に必要な有機物を嫌気槽に供給する目的で行われる。本法は好気槽流出水の循環や最終

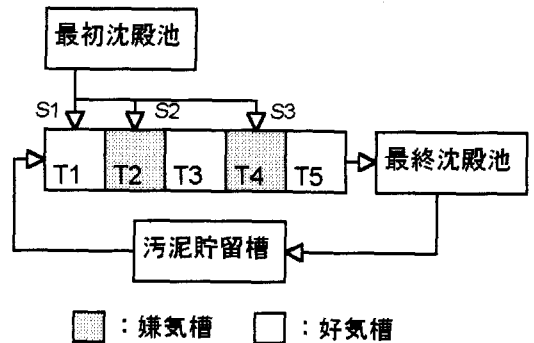


図 1 ステップ流入式嫌気好気法の概要

沈殿池水面積負荷の増加につながる汚泥返送率 R_s を増加させる必要がなく，下水のステップ流入設備を持つ下水処理場では運転操作法の変更によって容易に脱窒処理を行うことが可能となる。運転操作項目は(1)エアレーションタンクの嫌気，好気槽への区分，(2)ステップ流入量の配分，(3)好気槽への空気供給量，(4)余剰汚泥引き抜き率 R_o （余剰汚泥量／流入下水量），(5)汚泥返送率等があげられる。本論文では，これらの項目のうちエアレーションタンクの区分を図-1のように5等分とした場合について，空気供給を好気槽の溶存酸素濃度を 2mg/l となるように調整し，汚泥返送率 $R_s=0.3$ と固定した上で，ステップ流入量配分割合 S_1, S_2, S_3 （ $S_1+S_2+S_3=1$ ）と余剰汚泥引き抜き率が窒素除去に与える影響について検討した。

(2) シミュレーション対象

シミュレーション対象として，表-1の容量をもつ処理場の污水処理工程をとりあげ，流入下水水質は処理場の運転実績より定めた¹⁾。また，水温は 15°C とした。

(3) モデル

最初沈殿池モデルは除去率と流入SS濃度，表面負荷率の関係を表現する実験式を実処理場の運転結果より定めたもの²⁾を用いた。エアレーションタンクの各槽を完全混合と近似し，槽内の生物反応を有機物の酸化，硝化，脱窒反応を表現するIAWAPRC活性汚泥モデル³⁾によって表

表-1 シミュレーション対象

下水量	50800m ³ /day
最初沈殿池水面積	1910m ²
エアレーションタンク容積	15220m ³
最終沈殿池水面積	2320m ²
汚泥貯留槽容積	1200m ³

Simulation of a denitrofication plant by the IAWPRC activated sludge model
by Naoyuki FUNAMIZU and Tetsuo TAKAKUWA

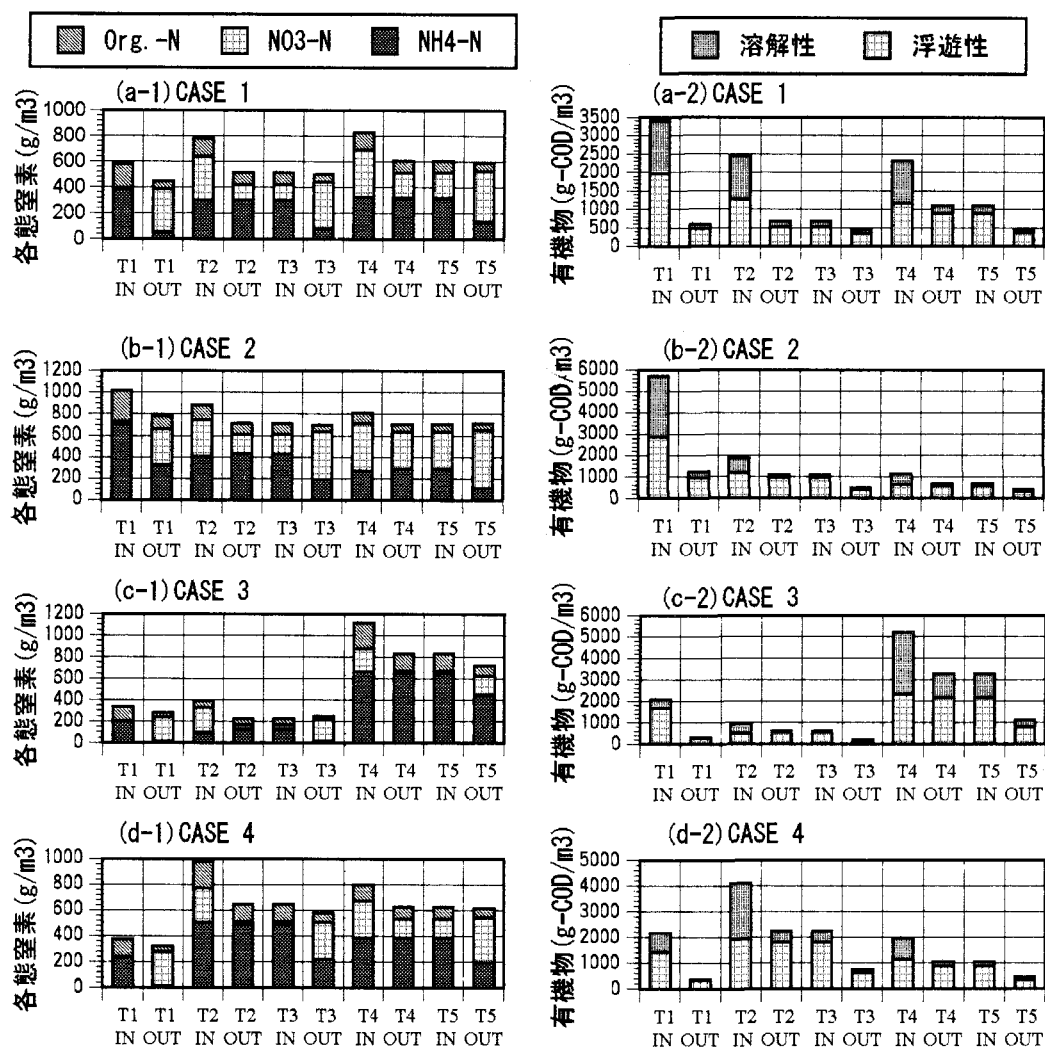


図 2 窒素，有機物の収支

現した。最終沈澱池の清澄作用は処理場運転データを整理した結果，流入SS濃度や表面負荷率と流出SS濃度の間に有意な相関関係が認められなかったため，流出SS濃度の平均値7.5mg/lと一定とした。また，最終沈澱池引き抜き汚泥濃度は定常状態の流量，固形物収支から計算した。

3. シミュレーション結果とまとめ

(1) ステップ流入量配分の影響

流入配分割合の異なる4ケースについて，余剰汚泥引き抜き率 $r_e=0.006$ のときの各槽ごとの窒素と有機物の収支を図-2に示す。はじめに，流入水量配分case1の場合（図-2(a-1)，(a-2)）を例に有機物，窒素の量と形態の変化を説明する。反応槽1への流入水（T1-IN）は下水と返送汚泥より成り，これらは主としてアンモニア態と有機態窒素より構成されている。反応槽T1は好気槽であり，硝化菌による硝化反

表-2 窒素、有機物の除去と関連する項目

	窒素 除去率	有機物 除去率	硝化菌量 (t)	他栄養細菌量 (t)	嫌気槽の 有機物 除去割合	硝酸態窒素 量/有機物量 (T2)	硝酸態窒素 量/有機物量 (T4)
case1	0.60	0.99	1270	16200	0.45	0.14	0.16
case2	0.52	0.99	1190	15400	0.18	0.18	0.41
case3	0.53	0.96	1130	17600	0.34	0.70	0.08
case4	0.59	0.99	1250	16500	0.42	0.07	0.15

応と他栄養細菌の好気的な増殖が起こるため、反応槽1の流出水（T1-OUT）では硝酸態窒素の割合が増加している。また、T1-INとT1-OUTの総窒素量の差は微生物の増殖に用いられた窒素量に対応する。反応槽T2には下水のステップ流入があるため、T2-INでは有機物量、アンモニア態、有機態窒素量が増加している。T2は嫌気状態であり他栄養細菌が有機物と硝酸態窒素を利用して増殖するため、T2に流入する硝酸態窒素と有機物の量的な関係が反応の進行を定める。この場合の両者の比は約0.14であり、モデル中で仮定している両者の比約0.12に近いことから、バランスのとれた状態と判断できる。また、T2-INとT2-OUTの有機物量の差は主にこの脱窒反応で消費された量とみることができる。反応槽T3は好気槽で主としてアンモニア態窒素から硝酸態窒素への変換が生じている。また、有機物量の減少割合がT1、T2と比較して小さいのは、有機物の形態が浮遊態であることに起因している。反応槽T4にも下水の流入があるため、T4-INでは有機物およびアンモニア態窒素が増加し、反応槽T4では脱窒反応、T5では好気的な硝化および有機物の分解反応が生じ、最終的には硝酸態窒素の割合が高い状態で最終沈澱池に流出している（T5-OUT）。流入水量配分割合が異なる他の場合についても同様の反応が生じているが、各反応槽流入水の窒素の形態や有機物量に違いがあり脱窒反応の進行に差が生じていることがわかる。

以上の4ケースについて窒素、有機物の除去率とこれに関連する項目を整理して表-2に示す。有機物の除去率や硝化菌、他栄養細菌量には大きな差はみられないが、窒素の除去率はステップ流入量を偏在させた場合ほど低下している。嫌気槽（T2、T4）に流入する硝酸態窒素と有機物量の比からみると、case1ではほぼバランスがとれているのに対し、case2のT4、case3のT2で有機物不足、case3のT4とcase4のT2で硝酸態窒素不足になっていることがわかる。また、嫌気槽で除去された有機物の割合が大きいほど窒素の除去率も高くなっている。

余剰汚泥引き抜き率 $R_e=0.006$ の場合について、窒素除去率と流量配分の関係を整理して図-3に示す。図の結果より、最適な流量配分（ $S_1:S_2:S_3=0.3:0.3:0.4$ ）が存在していることがわかる。

(2) 余剰汚泥引き抜きの影響

余剰汚泥引き抜き率 R_e はSRT値を変化させ、処理場内保持微生物量に影響を与える。図-4に R_e とSRT、保持硝化菌量、他栄養細菌量の関係を示す。ステップ流入量配分によって多少のばらつきがあるもののSRT値と他栄養細菌量は R_e によって定まる傾向があるが、硝化菌はステップ流入量配分にも影響され、同

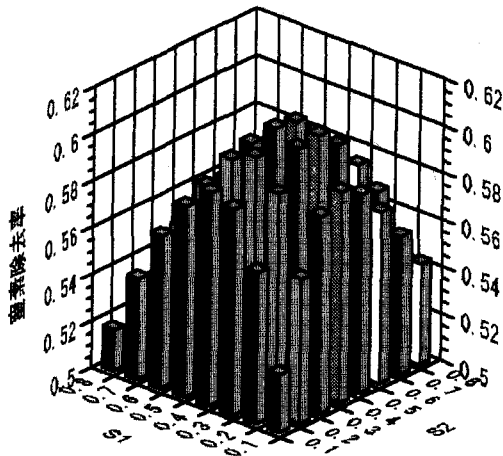


図 3 流入量配分と窒素除去率の関係

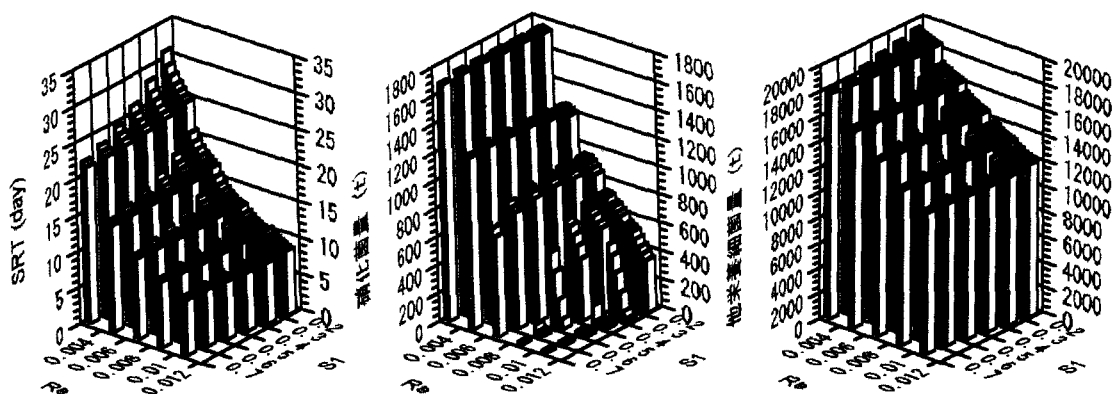


図 4 余剰汚泥引き抜き率とSRT，硝化菌量，他栄養細菌量の関係

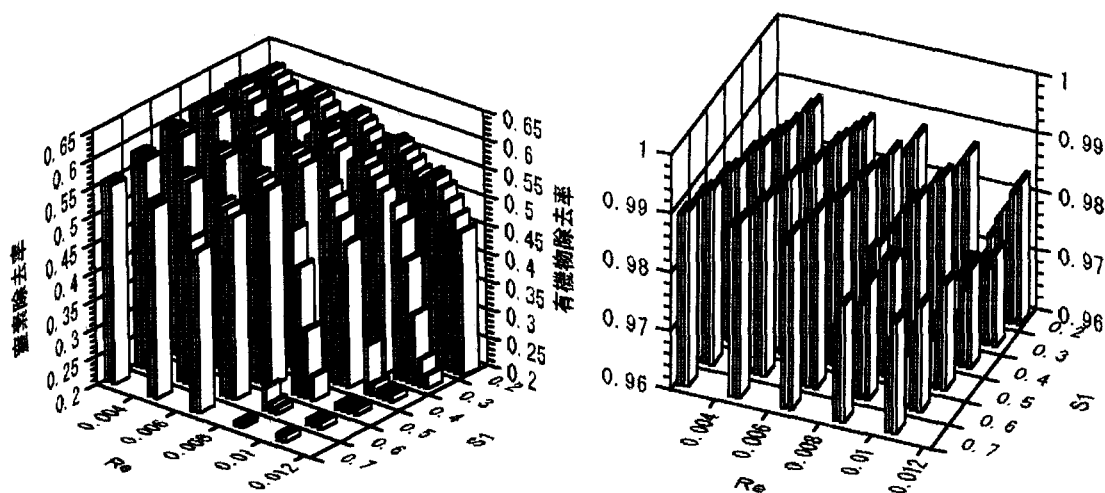


図 5 余剰汚泥引き抜き率と窒素，有機物除去率の関係

一の Re 値においても硝化菌が存在する場合としない場合がある。このため、図-5に示した Re と窒素除去率の関係では $Re > 0.01$ において硝化反応が進行しないことによる窒素除去率の低下がみられる。一方、同図中の有機物の除去率は Re の増加とともに微減するもののほとんど影響を受けていない。

(3) まとめ

以上の結果より、ステップ流入式嫌気好気法による窒素除去を行う場合の操作条件の検討は、まず好気槽で硝化反応を進める、すなわち、硝化菌を系内に保持するために必要な余剰汚泥引き抜き量を定め、続いてステップ流入量配分の調整により窒素除去の最適化を図ることが必要である。

[参考文献]

- (1),(2)船水尚行ら：低水温下水処理に関する研究，平成4年度札幌市委託研究報告書，p.24，p.25，1993
- (3)M.Henzeら：Activated Sludge Model No.1, IAWPRC, 1987