

高負荷脱窒素し尿処理へのファジイ制御の適用

Application of a Fuzzy Control Method to a High-load Biological Denitrification Process in the Night Soil Treatment Plant

岡庭 良安*、小荒井雅之**、神村 誠**、佐藤 政夫*
YOSHIYASU OKANIWA MASAYUKI KOARAI MAKOTO JIMMURA MASAO SATOH

*住友重機械工業(株)
プラント・環境施設事業本部 衛生施設プロジェクト部
Sanitary Engineering Dept.
Engineering & Environment Group,
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

**住友重機械工業(株)
プラント・環境施設事業本部 システム制御部
Electrical & Instrumentation Design Dept.
Engineering & Environment Group,
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

***東京都品川区北品川5-9-11
5-9-11 Kitashinagawa Shinagawa-Ku Tokyo, Japan

Abstract

The single basin biological denitrification system with intermittent aeration is an excellent system which consists of simple components and has flexibility in operation. Ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$) and oxidized nitrogen ($\text{NO}_x\text{-N}=\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$) were monitored in an intermittently aerated denitrification reactor by using $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_x\text{-N}$ automated analyzers, each combined with an ultra-filtration sampler for pretreatment. The monitored results suggested that the aeration-time control method was better than the air-volume control method in nitrification. Then the authors tried to apply fuzzy inference by using mainly the aeration-time control method. The fuzzy control system inferred suitable conditions from multi-variables (DO, ORP and pH) obtained in the actual process.

The fuzzy control system was steadily performed with a quick response and high nitrogen removal under easy maintenance.

Key words : activated sludge process, fuzzy inference, ammonium nitrogen, oxidized nitrogen, denitrification, night soil

1. はじめに

我が国において、生物学的脱窒素法を用いたし尿処理場は1970年代半ばに登場して以来着実に建設件数が増加し、近年では建設される施設の殆どがし尿中の窒素を高い効率で除去できる施設である。生物学的脱窒素を行う

し尿処理プロセスの技術革新は著しく、窒素除去を行うための反応槽の構成や運転方法については様々な方式が開発されている。し尿処理施設構造指針¹⁾では、6000mg/ℓ程度の活性汚泥を用いる標準脱窒素処理方式と12000~20000mg/ℓ程度の高濃度活性汚泥を用いる高負荷脱窒素処理方式の2種類の処理方式を示してい

る。また、近年では高負荷脱窒素処理における高濃度活性汚泥の固液分離に膜分離法を適用した処理システムが開発され、より安全で衛生的な処理が可能となった²⁾。

し尿処理における最終放流水の水質は、BOD 10mg/ℓ以下、T-N 10mg/ℓ以下、T-P 1mg/ℓ以下といった高度な水質を要求されるのが一般的であり、特にBOD、T-Nについてはその水質目標を安定して満足するために生物学的脱窒素処理工程の管理技術が重要な役割を担っている。特に、高負荷脱窒素処理方式ではし尿を希釈することなく小容積の反応槽を用いて窒素除去を行うため、T-N 10mg/ℓという水質を得るためには99%以上の高い窒素除去効率が必要となる。

更に、最近のし尿処理施設においては浄化槽汚泥搬入率が上昇していることを背景に、浄化槽汚泥対応型の膜分離高負荷脱窒素処理方式が開発されている。この処理方式では、浄化槽汚泥の液側の水質がし尿に比較して希薄であることから、凝集分離ないし脱水分離手段等によって浄化槽汚泥または浄化槽汚泥混入率の高いし尿中の懸濁物質(SS)を予め分離し、SS分離後の分離液を脱窒素処理することによって生物処理設備をコンパクトにする。SSを分離したし尿ないし浄化槽汚泥分離液のBOD/N比はSSを除去しないものに比較して低下するため、ここでも安定した窒素除去を行うための生物学的脱窒素処理の制御技術が要求される。

生物学的脱窒素法を設備構成で分類した場合、硝化工程と脱窒素工程を各々異なる槽の中で独立して行う方法と、単一槽を用いて槽内を空間的または時間的に使い分けて硝化および脱窒素工程を作り出す方法に分類することができる。前者は脱窒素槽と硝化槽をその順番に配置し、硝化反応を終了した活性汚泥混合液を脱窒素槽に循環し、し尿中の有機物を利用して脱窒素を行うことから、循環脱窒素法と呼ばれる。循環脱窒素法では硝化槽および脱窒素槽が分離しているため、各々の槽の中で硝化ないし脱窒素の条件を整えやすい反面、各々の工程の時間配分が変更できない。また、窒素除去率を上げるためには循環量を大きく取る必要があり、大容量の循環ポンプが必要となる。一方、単一槽脱窒素法では、タイマーを設置して曝気ブローを間欠運転することによって、硝化工程と脱窒素工程を任意に配分する運転が可能であり、また、曝気・攪拌のサイクルを短く設定することによってより高い窒素除去率を得ることができる³⁾。単一槽脱窒素法は簡単な設備構成の中で柔軟性のある運転操作を行うことができるが、交互に繰り返される硝化ないし脱窒素工程は各々の工程の影響を受けやすいという特徴が

ある。

筆者らは、短サイクルで行う生物学的脱窒素処理の制御技術としてファジイ制御の有効性について報告すると共に、従来から用いられてきたpH、DO(溶存酸素濃度)、ORP(酸化還元電位)といった間接指標に加えて、処理の対象物質である活性汚泥混合液中のアンモニア性窒素を計測し、これら複数の計測指標によって硝化・脱窒素反応を制御する方法の有意性を示した⁴⁾。

本報告では、高負荷脱窒素処理方式の硝化脱窒素設備において、アンモニア性窒素分析計(NH₄-N計)⁵⁾と新たに開発した酸化態窒素分析計(NO_x-N計)⁶⁾を用いて硝化脱窒素反応の制御実験を行った結果と、その結果を反映して作成したファジイ制御アルゴリズムによって、実際のし尿処理設備の中でファジイ制御運転を行った結果を報告する。

2. NH₄-N計, NO_x-N計を用いた硝化脱窒素反応制御実験

2.1 実験設備と実験目的

実験を行った硝化脱窒素槽の断面模式図を図1に示す。

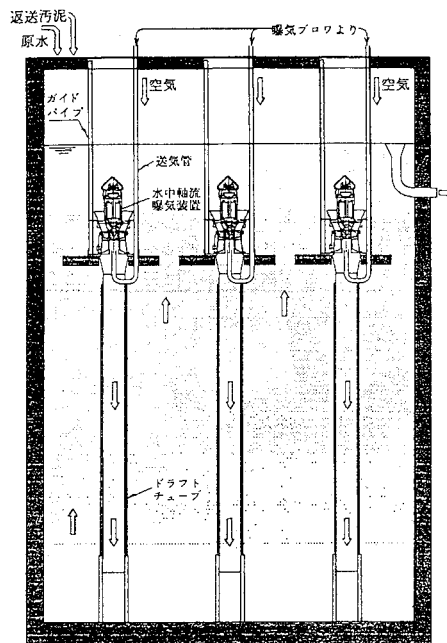


Fig. 1 Profile of the nitrification-denitrification reactor

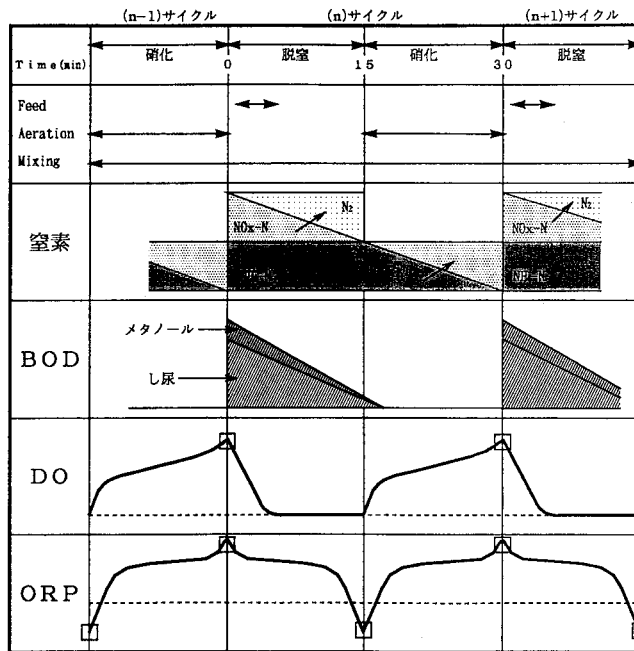


Fig. 2 The effects of the intermittent aeration

水深10mの硝化脱窒素槽の内部にはドラフトチューブ及びその上部に水中軸流曝気装置が設置されており、水中軸流曝気装置の下部に曝気ブロワからの空気配管が設置されている。硝化および脱窒素のための好気ないし嫌気雰囲気は曝気ブロワを間欠運転して作り出している。

図1に示す硝化脱窒素槽の中で行っている短サイクル単一槽間欠曝気方式の運転模式図を図2に示す。図2に示すとおり単一反応槽内においてし尿の投入と曝気を30分サイクルで繰り返すことによって、ブロワーを停止した攪拌時間に脱窒素、ブロワーを運転した曝気時間内に硝化を行いし尿中の窒素（主にアンモニア性窒素）を脱窒素する。この間欠曝気に伴って反応槽内のDO、ORPは図2に模式化したように変化する。

硝化脱窒素反応では、硝化時間帯にはアンモニア性窒素を酸化態窒素（亜硝酸性窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）と硝酸性窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）の和）に酸化するのに十分な酸素を必要とするが、過剰の曝気によって供給された酸素は高いDO値として検出される。また、脱窒素の時間帯にはし尿中のBODを水素供与体として $\text{NO}_x\text{-N}$ を還元する。反応に関与する細菌は各々硝化菌、脱窒素菌として知られているが、脱窒素菌は酸素共存下では酸素、無酸素条件下では NO_2 ないし NO_3 中の酸素を利用して呼吸する通性嫌気性細菌である。このため、硝化の時間帯に過剰の

酸素を供給すると次の脱窒素工程にDOが持ち込まれ、通性嫌気性菌がDOを酸素源としてBODを消費してしまうために、脱窒素のための有機物の減少および脱窒素反応が進行するための正味の脱窒素時間の減少という反応遅延要因を生じてしまう。この状態を放置していると脱窒素反応が完結しないままに次の硝化工程が始まることとなり、反応槽内の酸化態窒素濃度は間欠のサイクルを繰り返す毎に上昇することとなる。更に、酸化態窒素が上昇すると反応槽内の活性汚泥混合液のpHが下降し、硝化菌の最適pHが保てなくなるために硝化反応が減速されてアンモニア性窒素も残留してくる結果となる。硝化時間帯に供給する曝気空気総量の制御方法としては、①間欠曝気の時間配分を一定として単位時間内の曝気空気量をコントロールする方法（以降、曝気量制御という）②単位時間内の曝気空気量を一定にして硝化の時間を増減する方法（以降、曝気時間制御という）のとおり制御方法が考えられる。

本報告では、①、②のどちらの方法が効果的であるのかを、単一槽間欠曝気方式による高負荷脱窒素処理を行っているY処理施設の設備を用いて調査した。

2.2 実験方法

活性汚泥混合液中のアンモニア性窒素および酸化態窒

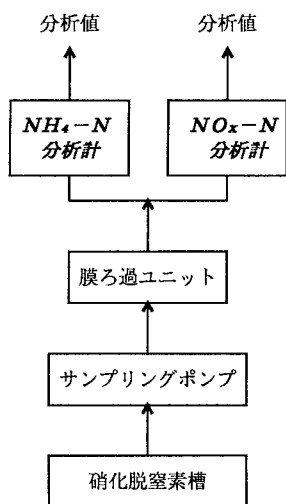


Fig. 3 Schematic of the $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_x\text{-N}$ monitoring unit

素濃度の自動計測計を用い、Y処理場の運転条件を変更して硝化・脱窒素処理の運転データを取得した。

Y処理場の硝化脱窒素設備の概要は以下のとおりである。

処理施設：八尾市立衛生処理場

処理方式：高負荷脱窒素処理方式(遠心濃縮固液分離法)
+高度処理

処理規模：275kl/日(し尿157kl/日+浄化槽汚泥118kl/日)

(高負荷脱窒素処理設備は137.5kl/日×2系列)

$\text{NH}_4\text{-N}$ 計および $\text{NO}_x\text{-N}$ 計を用いた計測フローシートは図3に示したとおりであり、硝化脱窒素槽内の活性汚泥混合液を限外ろ過膜で膜ろ過した後、透過液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_x\text{-N}$ を計測した。Y処理施設の運転はし尿の間欠投入・間欠曝気方式であり、曝気時間を変化させずに曝気空気量を自動制御する設備を設けている。曝気空気量の制御は図2に示した模式図の中の硝化時間帯終了時の計測 DO 値(□で示した DO_N)を、制御プログラムの中で設定した設定値に近づけるように次の曝気工程の曝気空気量を増減し、設定値と計測値の偏差が大きいほど増減量を大きく変化させている。曝気空気量を制御する場合、定常運転時の曝気時間は30分サイクルの中の15分間を標準としており、この時の適正な DO_N 設定値は2mg/l程度である。この制御設備を使用して以下の実験を行った。

[実験1] $\text{NO}_3\text{-N}$ を意図的に残留させた間欠曝気槽の中

中で、曝気時間を一定として曝気量をサイクル毎に徐々に減少していった場合の硝化脱窒素反応の進行状況の把握

[実験2] $\text{NO}_3\text{-N}$ を意図的に残留させた間欠曝気槽の中で、曝気量を最大として曝気時間を変更した場合の硝化脱窒素反応の把握

実験はY処理場の硝化脱窒素槽一系列(832 m^3)を用い、温度36.4 $^{\circ}\text{C}$ 、MLSS11600 mg/l 、全窒素容積負荷0.33 $\text{kg-N/m}^3\cdot\text{日}$ の条件下で行った。

2.3 硝化脱窒素制御実験の結果

硝化脱窒素実験の結果を図4、図5に示した。

[実験1] 曝気量制御の結果(図4)

DO_N 設定値を4 mg/l と定常運転時より高く設定し、曝気時間を30分サイクルの中の15分として一晩自動運転し、意図的に酸化態窒素濃度を残留させた後、図4の12:00の段階で DO_N 設定値を1 mg/l に設定した。12:00以降4サイクルの硝化脱窒素運転において、 DO_N 計測値は設定値である1 mg/l より高いために曝気空気量が自動制御によって減少し、設定値を変更後4サイクル目には曝気量は975 m^3/hr から760 m^3/hr まで約22%減少した。その結果 DO_N 計測値は4サイクルの中で徐々に減少して3 mg/l 程度となったものの、曝気量が22%減少されても間欠サイクル内の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度の最大値は34 mg/l 程度から殆ど変化せず、反応槽内に蓄積された $\text{NO}_x\text{-N}$ を減少させることができていない。この間、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度については2~3 mg/l で変化がなかった。

[実験2] 曝気時間変更の効果(図5)

実験1に続き硝化脱窒素槽の運転を手動運転に切り替えて曝気量を975 m^3/hr に戻し、曝気時間を15分間から13%減少して13分間とした。その結果、運転変更後4サイクル目にはサイクル内の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度の最大値は30 mg/l まで減少した。

実験1および実験2から以下の事が確認できた。

- 1) 短サイクル間欠曝気運転を行う硝化脱窒素処理では、曝気量制御より曝気時間制御の方が反応制御の応答性を高められると考えられる。
- 2) 硝化反応の終了段階では DO の上昇が急勾配となるため、適正な DO_N 設定もしくは曝気時間内の急激な DO 上昇ポイントを検出し制御指標とすることが可能である。
- 3) 曝気時間制御では硝化反応を進めるのに必要な時間を最短とし、それ以外の時間を脱窒素反応に利用できる利点がある。

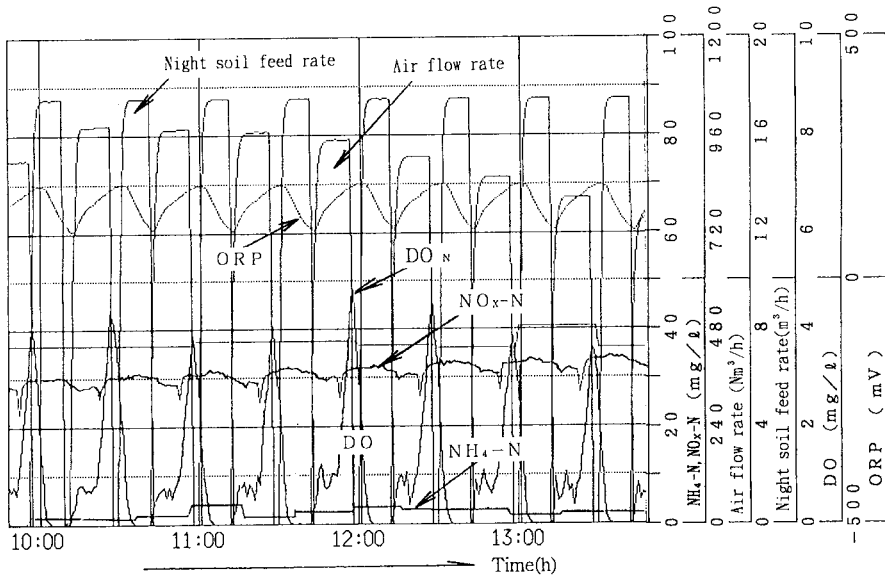


Fig. 4 Typical operating data for air-volume control method

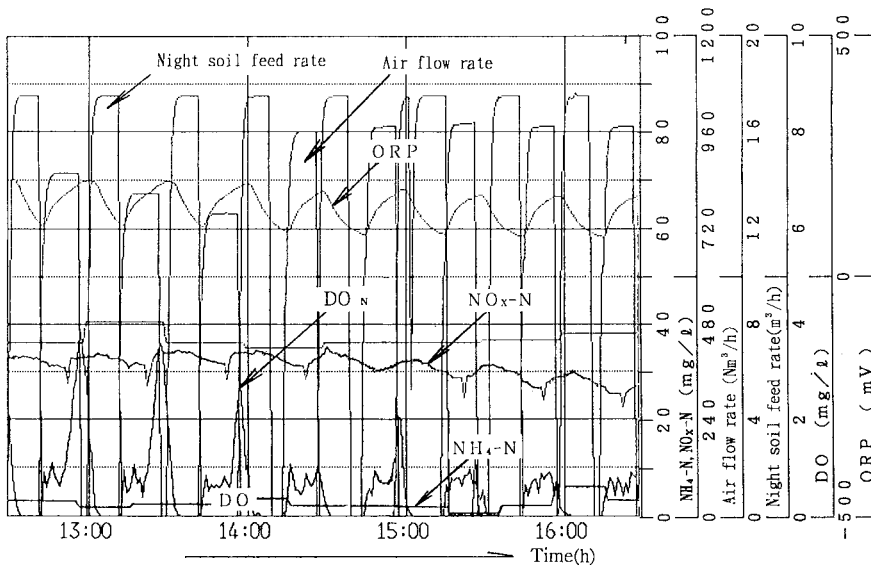


Fig. 5 Typical operating data for aeration-time control method

3. ファジイ制御システムの設計

3.1 制御システム作成の基本概念

硝化脱窒素実験の結果を踏まえ、硝化脱窒素槽の中の

pH, DO, ORP 計測値を入力としてファジイ推論を行い、短サイクル間欠曝気法の硝化時間、曝気量および脱窒素時間帯のメタノール注入時間を出力とする制御システムを作成した。

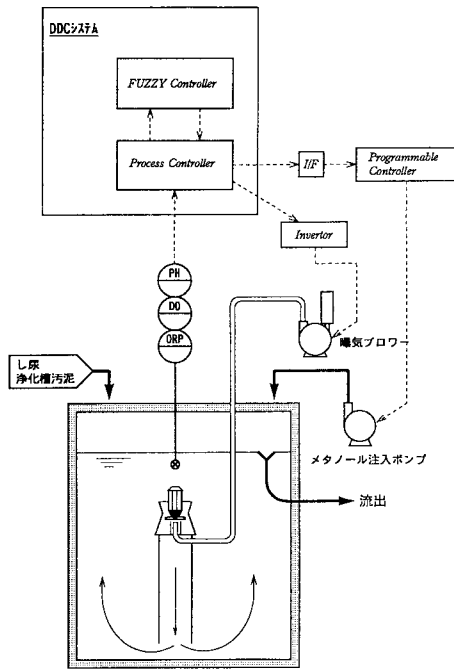


Fig. 6 Flow diagram of the fuzzy control system

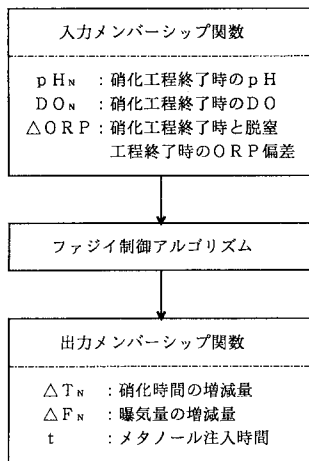


Fig. 7 Input and output membership functions in fuzzy algorithm

制御システムのシステム構成を図6に、ファジイ制御に用いた計測信号を図2中に□印を付けて示した。また、ファジイ制御の入出力フローを用いる記号とともに図7にまとめた。

作成した制御は処理が良好に進んでいる時の pH、D

O、ORPのトレンドパターンを維持するための制御である。

筆者らは、有機物が十分に存在する条件下の脱窒素反応は硝化反応の2倍程度の反応速度で反応が進行することを確認している⁷⁾。従って、硝化および脱窒素時間の制御範囲については、30分サイクルの中的最長で20分間を硝化時間、最短10分間を脱窒素時間とし、硝化時間を優先させて確保することとした。また、脱窒素反応が終了していないと判断できる場合にはメタノールの注入によって脱窒素速度を補うこととした。

間欠曝気法の制御方法として、佐々木ら⁸⁾は脱窒素時間帯のORP屈曲点を検出して硝化脱窒素反応の制御を行っている。脱窒素時間帯のORP屈曲点は図2に模式化したように脱窒素反応の終了段階に生じるORP計測値が急激に下降する変曲点であり、Y処理施設においても脱窒素反応の終了時点では屈曲点を観察する事ができた。従って、脱窒素反応が終了すればORP屈曲点が出現し、ORP屈曲点が現れた結果として図2中の硝化反応終了時のORP (ORP_N)と脱窒素反応終了時のORP (ORP_D)の差 ($\Delta ORP = |ORP_N - ORP_D|$ とする) が大きくなる。このことから、 ΔORP 計測値が予め設定した ΔORP 設定値より小さい場合にメタノールを添加することとした。筆者らの経験によれば、30分サイクルの短サイクルの中で硝化脱窒素反応が良好に進行している場合、 ΔORP 値の目安は150mV以上であると考えられる⁹⁾。

3.2 処理施設の概要

ファジイ制御を導入した高負荷脱窒素処理方式の施設概要は以下のとおりである。

処理施設：東部知多衛生センター

処理方式：高負荷脱窒素処理方式(遠心濃縮固液分離法) + 高度処理

処理規模：200kl/日(し尿45kl/日+浄化槽汚泥155kl/日)
(高負荷脱窒素処理設備は100kl/日×2系列)

制御方式：分散型DDCシステム

ファジイ制御：単一槽間欠曝気方式の高負荷脱窒素処理設備の運転制御に適用

3.3 制御ルールとメンバーシップ関数

今回用いたファジイ推論ツールは、し尿処理システムの全体管理を行う分散型DDCシステムのアプリケーション・プロセッサ上で稼働するパッケージソフトを使用した。このパッケージソフトでは推論方式にMAX-M

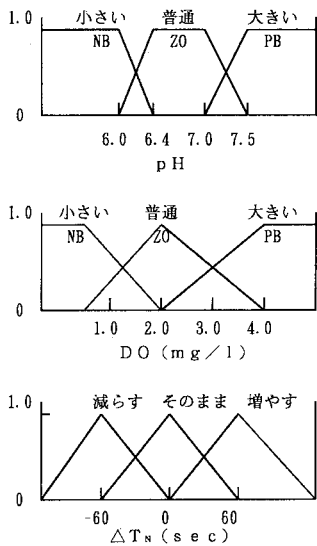


Fig. 8 Membership functions of pH, DO and ΔT_N

IN法が用いられ、推論結果は面積法で非ファジイ化される。またファジイラベルは2~7のメンバーシップ関数が使用でき、IFで記述される条件部とTHENで記述される結論部のメンバーシップ関数は三角形あるいは台形の連続関数で定義できる。図8にpH、DOおよび曝気時間増減量のメンバーシップ関数を示す。今回適用した硝化脱窒素制御では入出力値を、小さい(NB; Negative Big) 普通(ZO; Zero)大きい(PB; Positive Big)という日本語を用いた3種類のメンバーシップ関数でラベル化した。ファジイ推論の条件部の変数としたのは図7中に示した pH_N 、 DO_N 、および $|ORP_N - ORP_D| = \Delta ORP$ の3入力であり、3入力値を用いて硝化時間の増減量(ΔT_N)、曝気量の増減量(ΔF_N)、メタノール注入時間(t)の3出力をファジイ推論する。

作成したファジイルールテーブルの例を表1に示す。表1中の pH_N が大きく DO_N が小さい場合には表1に注釈したようなファジイルールが書き込まれていることとなり、表1全体では曝気時間の増減に関する9個のルールが記述されていることになる。

各々適合したルールの推論結果はOR結合され面積法で非ファジイ化されて曝気時間の増減量を決める推論結果となる。

Table. 1 A example of the fuzzy rule table

		DO_N		
	ΔT_N	小さい	普通	大きい
pH_N	小さい	そのまま	減らす	減らす
	普通	増やす	そのまま	減らす
	大きい	増やす	増やす	そのまま

IF pH_N is PB and DO_N is NB THEN ΔT_N is PB

3.4 ファジイ推論結果とファジイ制御出力の関係
ファジイ推論の結果と出力の関係は以下のとおりである。

① 硝化工程の時間変化量

前サイクル(n-1サイクル)の硝化工程終了時の pH_N 、 DO_N により、第nサイクルの硝化時間の増減量(ΔT_N^n)がファジイ推論され、第nサイクルの硝化時間(T_N^n)は以下のとおり決定される。

$$T_N^n = T_N^{n-1} + \Delta T_N^n \text{ [sec]}$$

一サイクルのトータル時間は30分に固定しているので脱窒素時間は以下となる。

$$T_{DN}^{n+1} = 1800 - T_N^n \text{ [sec]}$$

② 硝化工程の曝気変化量

前サイクル(n-1サイクル)の硝化工程終了時の pH_N 、 DO_N により、第nサイクルの曝気量の増減量(ΔF_N^n)がファジイ推論され、第nサイクルの曝気量(F_N^n)は以下のとおり決定される。

$$F_N^n = F_N^{n-1} + \Delta F_N^n \text{ [m}^3/\text{Hr]}$$

③ 脱窒素工程のメタノール注入時間

前サイクル(n-1サイクル)の硝化工程と脱窒素工程のORPの差(ΔORP^{n-1})により、第nサイクルのメタノール注入時間がファジイ推論され、第nサイクルのメタノール注入量 t^n (sec)が決定される。

4. 実設備におけるファジイ制御の結果

4.1 ファジイ制御実験

硝化脱窒素槽に投入された除渣し尿の分析結果を表2に示した。

硝化脱窒素槽は容積481 m^3 の槽が2系列あり、制御実験を行った期間の定常の混合し尿投入量は4.35 m^3/hr である。ファジイルールの作成に当たっては硝化時間を優先にコントロールすることを意図したため、通常は硝化時間が小刻みにコントロールされ、硝化脱窒素槽内のアン

Table. 2 Characteristics of screened night soil

分析項目	分析結果
pH	5.6~6.9
SS	11000mg/l
BOD(T)	7640mg/l
(F)	3460mg/l
COD(T)	4900mg/l
(F)	1100mg/l
T-N	1430mg/l
NH ₄ -N	820mg/l
T-P	220mg/l

モニア性窒素および酸化態窒素の和は常に $5 \text{ mg} / \ell$ 以下の良好な水質が得られていた。制御の追従性を確認するために2系列ある硝化脱窒素槽の第2系列への負荷を定常負荷の120%として1日運転を行った後、一気に定常負荷の80%とした。この間の間欠曝気運転における硝化時間変更の推論結果は図9に示したとおりで、28日11:00に投入負荷を定常の120%に増加した後、29日の2:00前後まで一サイクルの硝化時間を $-12 \sim +30$ 秒づつ小刻みに変更し、定常負荷運転時に16.5分程度であった硝化時間を20.6分まで延長した。また、29日9:00に

投入負荷を80%に減少した直後には急激に46秒間硝化時間を減少し、更に小刻みな変更を行って15:50の時点では硝化時間を17分まで減少した。負荷の増減を行った前後5時間のpH、DO、ORPのパターンを図10に示した。負荷を増加した影響は13:00~14:00のサイクルにおいて硝化時間帯最終部分のDO上昇が緩慢になり、DO $1.7 \text{ mg} / \ell$ 程度までしか上昇しない状況として現れている。また、負荷減少の影響は負荷設定を変更した直後に現れ、9:30~10:00のサイクルの曝気時間帯終了時のDOが急激に高濃度に上昇している。しかし、DOの上昇を普通の状態とするための適切な硝化時間がファジイ推論され、負荷の減少を行ってから約3時間後にはほぼ適正な硝化時間が決定されている。

負荷の増減によって窒素容積負荷は $0.25 \sim 0.37 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \text{日}$ の間で急激に変動したことになるが、一時間毎の水質分析結果では反応槽内のアンモニア性窒素および酸化態窒素濃度の合計量は常に $5 \text{ mg} / \ell$ 以下であり、定常負荷運転時と同様であった。

今回の短サイクル間欠曝気法におけるファジイ制御では、必要となった曝気時間の増減を短時間で微調整出来るため、フィードバック制御であっても前回の処理の影響が次のサイクルに殆ど残らないという利点が確認できた。

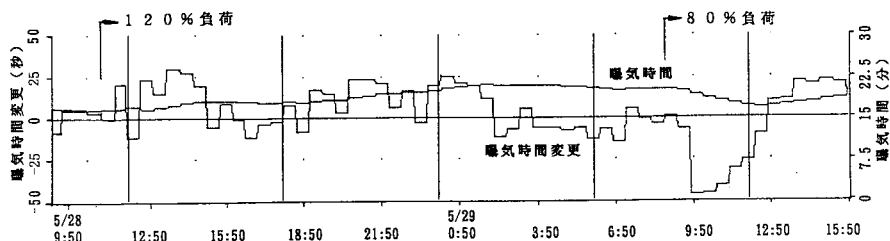
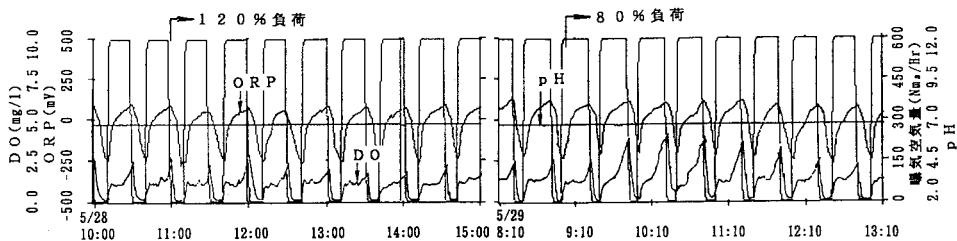
Fig. 9 Results of the fuzzy inference in ΔT_N and modified aeration time

Fig. 10 Typical operating data for the aeration-time fuzzy control method

Table. 3 Continuous operating data for the aeration-time fuzzy control method

	硝化脱窒槽(A)				硝化脱窒槽(B)			
	データ数	平均値	最小値	最大値	データ数	平均値	最小値	最大値
し尿投入量 (kl/日)	61	22.1	9.2	26.4	61	22.1	9.7	26.4
浄化槽汚泥投入量(kl/日)	61	78.7	36.0	101.8	61	78.8	36.8	101.8
温度 (°C)	61	33.4	32.4	34.7	61	33.8	32.3	36.4
MLSS (mg/l)	51	12600	10300	14200	51	12400	10100	13900
pH	51	6.73	6.66	6.82	51	6.78	6.71	6.89
NH ₄ -N (mg/l)	51	1.08	0.10	5.50	51	0.36	0.10	2.30
NO _x -N (mg/l)	51	0.99	0.33	1.64	51	0.80	0.12	1.35

尚、ファジィ制御の残る二つの出力値である曝気空気量の増減およびメタノール注入について、曝気空気量の増減は、硝化脱窒槽のpH範囲6.4~7.0の範囲では殆ど発火しないルールとしていること、メタノール注入は△ORPが150mV以下になった時に発火するルールとしていることによって今回の試験運転ではルールが発火していない。

4.2 定常運転の結果

平成8年10、11月にかけての処理データを表3にまとめた。硝化脱窒槽処理水のNH₄-N濃度平均値はA、B各々の系列について1.08mg/lおよび0.36mg/l、NO_x-N濃度平均値は各々0.99mg/lおよび0.80mg/lであり、ファジィ制御が安定性を持って行われている結果と考えられた。

尚、現在までにメタノール注入制御は発火せず、従ってメタノールは全く使用していない。

5. まとめ

短サイクル間欠曝気法における空気量制御方法として、間欠曝気の時間配分を一定として単位時間内の曝気空気量をコントロールする方法(曝気量制御)と単位時間内の曝気空気量を一定にして硝化の時間を増減する方法(曝気時間制御)が考えられるが、その比較実験を行った結果は以下のとおりであった。

- 短サイクル間欠曝気法を行う硝化脱窒素処理では、曝気量制御より曝気時間制御の方が反応制御の応答性を高められると考えられる。
- 硝化反応の終了段階ではDOの上昇が急勾配となるため、適正なDO_N設定もしくは曝気時間内の急激なDO上昇ポイントを検出し制御指標とすること

が可能である。

- 曝気時間制御では硝化反応を進めるのに必要な時間を最短とし、それ以外の時間を脱窒素反応に利用できる利点がある。

硝化脱窒素実験の結果を反映して作成したファジィルールを用いた実施設の運転結果は以下のとおりであった。

- 処理量を定常負荷の120%として運転を行い、更に一気に定常負荷の80%に減少した場合においてもファジィ推論によって曝気時間がコントロールされ、安定した硝化脱窒素処理が継続できた。
- 短周期で曝気時間の微調整を行うファジィ制御運転によって、短サイクルの間欠曝気脱窒素運転が安定的に運転出来ることが確認できた。
- 簡易水質試験の結果から、ファジィ制御によって長期間安定した硝化脱窒素制御運転ができていたことが示唆された。

今回、pH、DO、ORPという一般的な汎用計測器を用いたファジィ制御ルールによって硝化時間がファジィ推論され、安定した処理を実現できた。曝気量制御、メタノール添加時間制御についてはルールが発火しないため更に制御状況を追跡したい。また、曝気時間に替えて曝気量を主として制御するルールについても効果の確認実験を行う必要があると考えている。NH₄-N計、NO_x-N計は硝化脱窒素反応のモニタリングと制御の両方に使用できる興味ある計測器であり、これらを汎用のセンサーと組み合わせて硝化脱窒素制御を行えば省力化したよりビジュアルな硝化脱窒素処理を行うことが可能である。

(謝辞) 本論文のデータ採取にあたり御理解と御協力を頂いた八尾市立衛生処理場ならびに東部知多衛生セン

ターの職員の皆様、及び御指導御教示を頂いた、大阪府立公衆衛生研究所、山本康次博士、京都大学工学部、津村和志博士に深く感謝申し上げます。また、共同でデータ採取に当たって頂いた、住重環境エンジニアリング(株)中原重雄氏、武田栄治氏に厚く御礼申し上げます。

(参考文献)

- 1) (社)全国都市清掃会議：し尿処理施設構造指針解説(1988年版)
- 2) 真柄泰基：し尿処理における膜ろ過技術，水質汚濁研究，2(13)，89-92(1990)
- 3) 松並壯・真柄泰基・中野孝二・岡庭良安：間欠曝気好気性処理方式によるし尿中の窒素の除去に関する実験的研究，水質汚濁研究，1(5)，9-18(1982)
- 4) 青井透・岡庭良安・萩原薫・元村勝公：高負荷単一槽硝化脱窒素法へのファジィ制御の適用，土木学会衛生工学研究論文集、(28)，171-179(1992)
- 5) 中野孝二・青井透・岡庭良安・元村勝公：高負荷し尿処理硝化脱窒素槽混合液中のアンモニア性窒素直接自動測定について，第12回全国都市清掃研究発表会講演論文集，40-42(1991)
- 6) 青井透・平山千尋・岡庭良安・坂本振東・元村勝公：し尿処理硝化脱窒素槽混合液中の酸化態窒素のUVによる測定について，第12回全国都市清掃研究発表会講演論文集，43-45(1991)
- 7) 岡庭良安・萩原薫・青井透：窒素濃度自動分析計を用いた硝化脱窒反応の監視；第16回全国都市清掃研究発表会講演集、25-27(1995)
- 8) 佐々木康成・山本康次・津村和志：DO及びORP屈曲点制御による2槽式間欠曝気法の窒素・リン同時除去，第30回下水道研究発表会講演集，545-547(1993)
- 9) 中島義一・岡庭良安・松並壯：単一槽におけるし尿の脱窒について，第17回下水道研究発表会講演論文集，409-411(1980)

(受付 1996.12.22)

(受理 1997.2.17)