

# 高負荷脱窒素し尿処理へのファジイ制御の適用

岡庭良安\*、小荒井雅之\*、神村 誠\*  
佐藤政夫\*、須田祐一\*、中原重雄\*\*

\* 住友重機械工業(株)プラント・環境事業部  
\*\* 住重環境エンジニアリング(株)

## 概要

し尿処理施設の中で近年最も建設数の多い高負荷脱窒素処理方式では、高濃度の活性汚泥を用いた滞留日数の少ない反応槽の中で高い窒素除去性能が要求され、高い処理性能を安定して得るためには熟練した運転技術者の知識と経験が必要である。

単一槽間欠曝気方式の高負荷脱窒素し尿処理実設備にファジイ制御を適用した結果、安定した良好な制御結果を得ることが出来た。

## キーワード

ファジイ制御、し尿処理、硝化、脱窒、生物学的脱窒素

### 1、はじめに

廃水中の窒素除去法である生物学的脱窒素法では除去対象である窒素の処理状況をpH、DO(溶存酸素濃度)、ORP(酸化還元電位)といった計測値を用いて管理するのが一般的である。硝化脱窒素反応は再現性を有するものの複合性や時間遅れの逐次性を持った非線形の反応であり、安定した運転を継続するためには反応を熟知した技術者の知識と経験が必要である。ファジイ制御は非線形性が強くプロセス変動要因の多い時変系のプロセス制御に適していると言われ、硝化脱窒素反応の制御に適していると考えられる。

筆者らはパイロットプラントにおけるいくつかの制御アルゴリズムを用いたファジイ制御実験を経て<sup>1)</sup>、実際のし尿処理施設の硝化脱窒素設備にファジイ制御を適用した。ファジイ制御を適用した単一槽間欠曝気方式の高負荷脱窒素し尿処理設備では予期したとおりの安定した処理結果を得ることができた。

### 2、処理設備と制御方法

#### (1) 処理設備

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)

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

し尿中の窒素を除去するための処理方式には標準脱窒素処理方式と高負荷脱窒素処理方式がある。高負荷窒素処理方式は標準脱窒素処理方式に比較して低希釈、小容積の反応槽の中で同等の処理水質を要求される場合が多い。このため、安定した処理性能を得るためにはより正確な運転制御が必要である。ファジィ制御運転を行った深層反応槽設備の断面図を図1に示す。水深10mの深層反応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。硝化および脱窒のための好氧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。

(2) 制御方法

図1に示す深層反応槽の中で行っている短サイクルの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、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に示したように変化する。

今回のファジィ制御は図2のトレンドパターンをコントロールするものであり、表1にまとめた各計測値（図2に示した◎印）をファジィ制御のための入力信号とした。使用したファジィ制御ツールはY社製のTDCS3000ファジィ・パッケージである。ファジィ制御アルゴリズムではMAX-MINのファジィ推論方式が採用され、推論結果は面積法で非ファジィ化される。またファジィラベルは2~7のメンバーシップ関数が使用でき、条件部と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3に今回使用したpHおよびDO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(Z0; Zero) 大きい(PB; Positive Big)の3種類のメンバーシップ関数でラベル化した。ファジィ推論の条件部の変数としたのは表1中に示した $pH_N$ ,  $DO_N$ , および  $|ORP_N - ORP_D| = DORP$ の3入力であり、3入力値を用いて硝化時間、曝気空気量、メタノール注入量の3出力を制御した。

作成したファジィルールテーブルの例を表2に示す。表2中の $pH_N$ が大きく $DO_N$ が小さい場合には表2に注釈したようなファジィルールが書き込まれていることとなる。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ィ化されて最終出力となる。

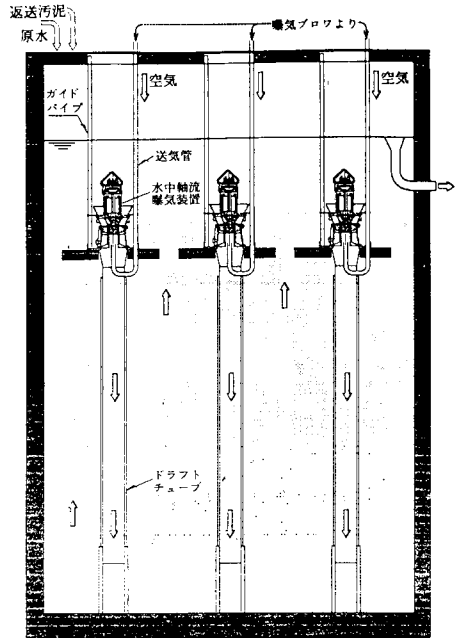


図1 深層反応槽断面図

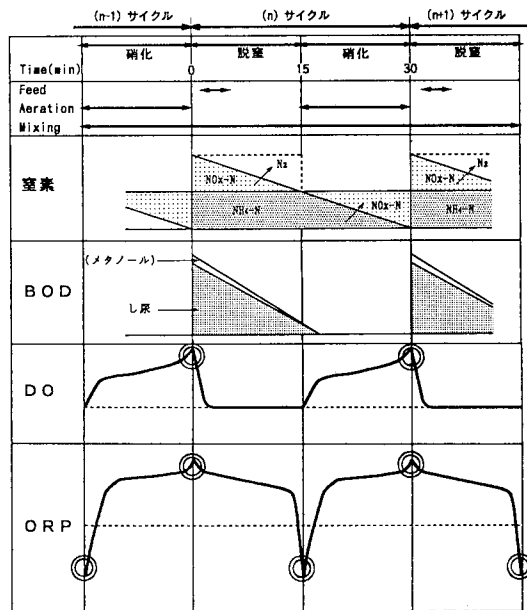


図2 単一槽硝化脱窒素方式の運転模式図

表1 ファジイ制御入出力

入力 $pH_N$ : 硝化時間終了時のpH $DO_N$ : 硝化時間終了時のDO $ORP_N$ : 硝化時間終了時のORP $ORP_D$ : 脱窒時間終了時のORP	出力 $\Delta T_N$ : 硝化時間の変化量 $\Delta F_N$ : 硝化時間帯の曝気量変化量 $T_{ME}$ : 脱窒時間帯のメタン注入量
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

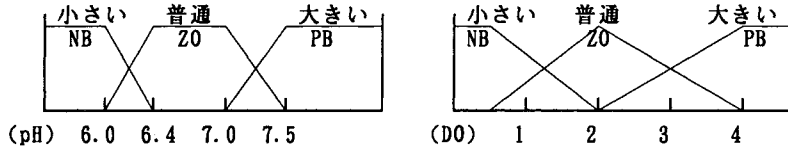


図3 pHおよびDOのメンバーシップ関数

表2 曝気時間変更のルールテーブル

		DO <sub>N</sub>		
	$\Delta T_N$	小さい	普通	大きい
pH <sub>N</sub>	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<sub>N</sub> is PB and DO<sub>N</sub> is NB THEN  $\Delta T_N$  is PB

### 3、ファジイ制御結果

深層反応槽に投入された混合し尿の分析結果を表3に示した。深層反応槽は槽容積481m<sup>3</sup>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4.35m<sup>3</sup>/hrである。ファジー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、深層反応槽内のアンモニア性窒素および酸化態窒素の和は常に5mg/l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系列ある深層反応槽の第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。この時の間欠曝気運転における硝化時間変更の推論結果は図4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~+30秒ずつ小刻みに変更し、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5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、DO1.7mg/l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0.25~0.37kg/m<sup>3</sup>日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内のアンモニア性窒素および酸化態窒素濃の合計量は

表3 混合し尿の性状  
(平成8年5月)

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

5 mg/l以内であり、定常負荷運転時と同様であった。

今回の短サイクルの間欠曝気法におけるファジィ制御では、必要となった曝気時間ないし曝気空気量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。

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、深層反応槽の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おり、メタノール注入はDORPが150mv以下になった時に発火するルールとしており、これによって今回の試験運転ではルールが発火していない。

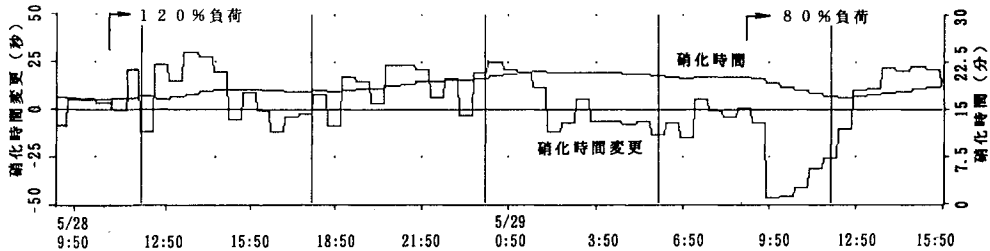


図4 硝化時間変更の推論結果

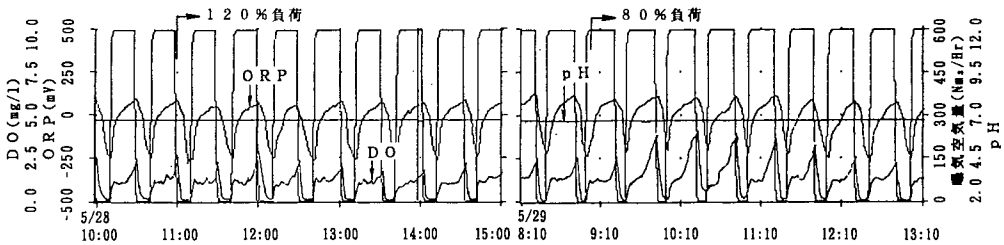


図5 負荷増減時の計測値の変化

#### 4、まとめ

- (1) 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。
- (2) 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。

硝化脱窒素の処理対象はアンモニア性窒素および酸化態窒素である。筆者らは活性汚泥懸濁液中のアンモニア性窒素および酸化態窒素の自動分析ユニットを開発し、反応槽中の窒素をリアルタイムに直接定量し、制御指標として利用することも可能とした。<sup>2)</sup>

ファジィ制御の適用は目的に合った制御ルールと信頼できる計測器なくしては成立しない。今回、pH、D.O、ORPという一般的な計測値を用いた簡単なファジィ制御ルールによって安定した処理が実現できた。しかし、実際の処理水質は手分析によって確認する必要がある。制御対象である窒素の自動分析値を用いて硝化脱窒素反応をファジィ推論し、硝化脱窒素処理を更に確実に省力化することが可能である。

(謝辞) 本報告のデータ採取に当たって御理解と御協力を頂いた東部知多衛生組合の皆様へ厚く感謝申し上げます。

(参考文献) 1) 青井ほか; 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、Vol.28, p171~179(1992)

2) 岡庭ほか; 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、p25~27(1995.2)