

し尿処理における生物反応槽への ファジィ制御の適用

Application of fuzzy control to night soil treatment bioreactor

筒井泰治* 師正史*

* (株)クボタ 水処理技術部
大阪市浪速区敷津東1-2-47

概要

し尿処理プラントの生物反応槽では、微生物により窒素除去を行っているが、その反応系は複雑で、従来の手法では自動化は困難であり、熟練運転員の介入が必要であった。近年、熟練運転員の不足や浄化槽汚泥の増加による負荷変動の増大が深刻化してきており、大きな負荷変動に対応できる自動制御システムの開発が望まれていた。そこでこれらの解決策としてファジィ制御を導入し、実プラントへ適用し安定した処理性能が得られることを確認した。また、リモートチューニング機能を付加し、遠隔地のプラントのメンバーシップ関数や制御則のチューニングを可能とした。

キーワード

し尿処理プラント 生物反応槽 ファジィ制御 リモートチューニング

1. はじめに

し尿処理プラントにおいて重要な位置を占めるものに生物反応槽がある。その自動化についてはDOの定値制御が一部実用化されているが、長時間安定した処理性能を得るためには、現状では、熟練運転員によりいくつかの間接的な指標により経験と勘によって行われている。この原因として生物反応槽は、温度や空気量などに敏感に影響を受ける生物化学反応を基調とすることから、その反応が複雑で非線形な制御系であることが挙げられる。また近年、運転員の高齢化等による人的な問題や浄化槽汚泥の増加による負荷変動の増大という反応自体の複雑化による問題が深刻化してきている。このような状況の中、運転員が操作介入する必要がない制御システムの開発が望まれていた。その実現手法としてファジィ制御を導入した。

当社では、まず反応速度が遅い標準脱窒素処理方式に適用し¹⁾、平成5年に実用化した。そして今回、より反応速度の速い膜分離高負荷処理方式に適用し実用化した。また、本システムでは、電話回線を利用して遠隔地のプラントを結び、ファジィ制御の課題の一つであるチューニングを行うことを可能とし開発効率の向上を図った。

2. システムの概要

2.1 生物反応槽の構造

本研究でファジィ制御を適用した生物反応槽の構造¹⁾を図1に示す。この反応槽は深層反応槽と呼ばれるものである。気泡の上昇速度より速い流速で下降する水流中へ空気を吹き込むと、空気は吹き込み点で微細気泡となり、水流にともなわれて下降し、気液接触管内での強力な攪拌と水深による酸素分圧の増加により空気が高効率で吸収される。この反応槽では、微生物により硝化反応脱窒素反応を進行させ、し尿のBODとアンモニアを分解除去している。図2に示すように、し尿の投入や曝気操作を間欠的に行うことにより時間的な酸素濃度変化を与えて同一槽で硝化と脱窒を行わせている。それらの反応状態を示す指標としてORPやDOがある。

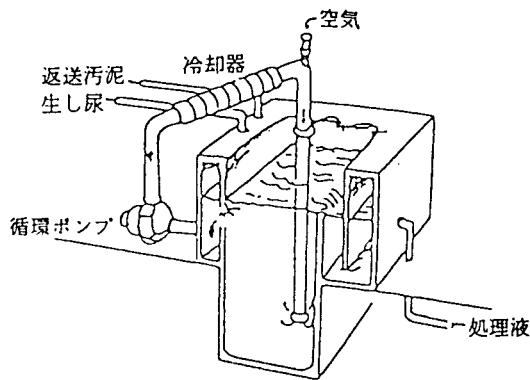


図1 生物反応槽の構造

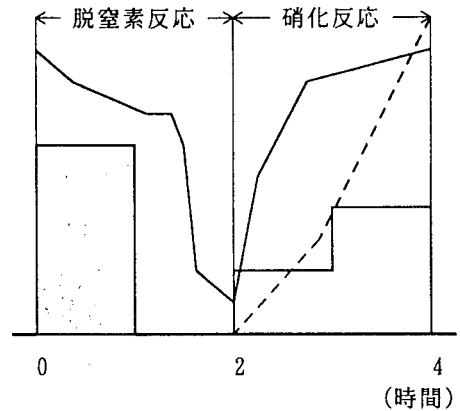


図2 生物反応槽の運転
 ● 投入量 空気量
 — ORP (酸化還元電位)
 --- DO (溶存酸素濃度)

2. 2 システム構成

本研究で使用したハード構成を図3に示す。ORP計等の入力や空気流量等の出力はシーケンサを経由してファジィ制御用パソコンに接続されている。また、ファジィ制御用パソコンと電話回線を介して当社本社内に設置したパソコンと接続されている。ファジィ制御用パソコンのソフトは自社開発し、パソコン間の通信ソフトは市販のものを用いた。

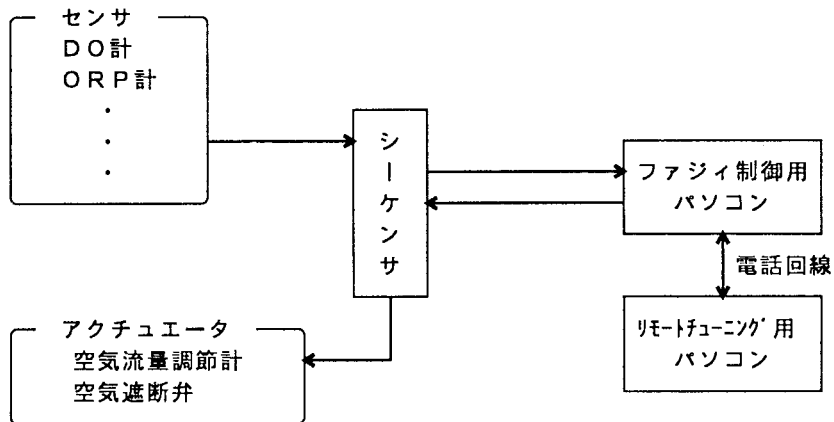


図3 ハード構成

3. 制御システム

3. 1 ファジィ制御

ファジィ推論方法としては、種々提案されている²⁾が、ここでは、後件部を定数とする簡略化法を用いた。ファジィ制御への入出力を表1に示し、その代表的なメンバーシップ関数の例を図4に示す。

表1 ファジィ制御への入出力

入 力	出 力
ORP 最小値 : ORP_MIN	深層反応槽空気量増減 : ΔB_AIR
ORP 最小値変化量 : ΔOPR_MIN	嫌気時間増減 : ΔA_TIME
DO 最大値 : DO_MAX	返送汚泥量増減 : ΔR_SLUDGE
DOピーク時間 : DO_PEEK	
ORP 変曲点 : ORP_IP	
深層反応槽空気量 : B_AIR	

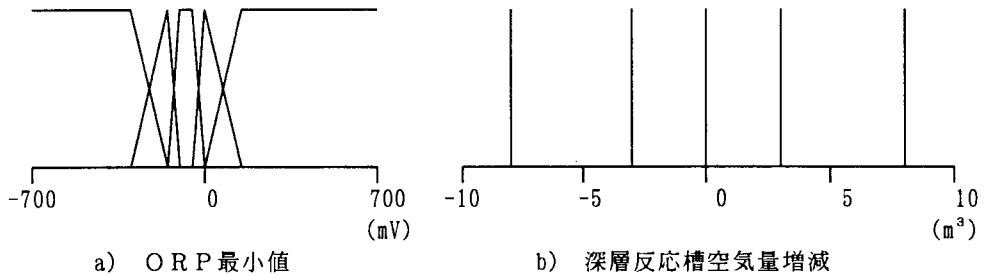


図4 メンバシップ関数の一例

本ファジィ制御で用いた制御則の一部を以下に示す。

- ルール1 : IF ORP_MIN=PB & DO_MAX=PS THEN $\Delta B_AIR = NB$
- ルール2 : IF ORP_MIN=PS & DO_MAX=NS THEN $\Delta B_AIR = ZE$
- ルール3 : IF OPR_MIN=NS & DO_MAX=PB THEN $\Delta B_AIR = NS$
- ルール4 : IF ORP_MIN=NB & DO_MAX=ZE THEN $\Delta B_AIR = PS$
- ルール5 : IF ORP_MIN=NB & ORP_IP=NS THEN $\Delta A_TIME = NB$
- ルール6 : IF ORP_MIN=NS & ORP_IP=ZE THEN $\Delta A_TIME = NS$

NB: Negative Big NS: Negative Small ZE: Zero PS: Positive Small PB: Positive Big

主に、ORP 最小値とDO 最大値により深層反応槽空気量と返送汚泥量を、ORP 最小値とORP 変曲点により嫌気時間を決定している。

3.2 リモートチューニング

ファジィ制御におけるチューニングとは、最適な制御を行うためのメンバシップ関数や制御則の調整作業である。この作業は、実際の運転を行いそれを評価し、メンバシップ関数や制御則の調整や追加修正を行うものであり、ファジィ制御導入には不可欠な作業である。この作業の効率化を図るため図5に示す機能を付加した。

本システムでは、ファジィ制御用パソコンにファジィ制御の入出力値および制御経過時間を表示し、それらを電話回線を通じて本社側のパソコンで監視している。それらの情報を基にファジィ制御を評価しメンバシップ関数や制御則を追加修正し、遠隔地のプラントにそれらのファイルを送信し、メンバシップ関数や制御則の更新を行った。これにより、遠隔地のプラントに出向くことがほとんどなくなり、開発効

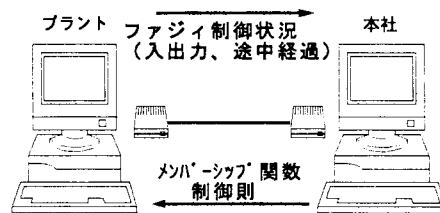


図5 リモートチューニング機能

率の向上が図れた。

4. 実プラントへの適用

本システムを丹生谷環境衛生組合 衛生センター（処理能力 16kl/day）の深層反応槽に適用し、平成6年2月より運転中である。

図6にある1日の運転結果を示す。この処理場では深層反応槽は4時間1バッチで運転されている。ORPが急激に下降している点がORPの変曲点である。これは脱窒素が完了したことを示している。曝気開始以降にDOが上昇しているが、これは硝化が行われている事を示している。図を見て明らかなように、常に安定して硝化・脱窒反応が行われている。表2に処理水の分析結果を示す。全窒素は投入し尿では、1680 mg/l あったが、処理後は2.1 mg/l であり、十分に分解除去されている。また、BODも900 mg/l から0.4 mg/l にまで除去されている。

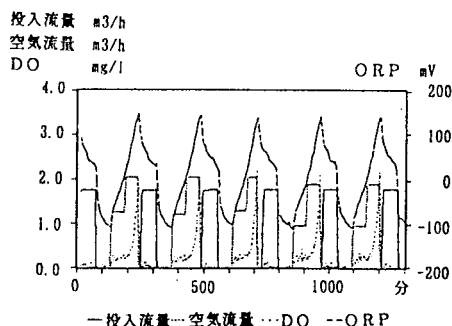


図6 ファジィ制御結果

表2 分析結果

項目	単位	投入し尿	深層反応槽	二次処理膜処理水	凝集膜処理水	活性炭処理水	放流水
全窒素	mg/l	1680	—	—	—	—	2.1
硝酸態窒素	mg/l	—	0.030	8.3	4.6	3.0	1.9
亜硝酸態窒素	mg/l	—	0.019	0.025	0.035	0.125	0.12
アモニア態窒素	mg/l	—	13.4	0.39	0.59	0.65	0.08
BOD	mg/l	900	720	70	3.5	0.7	0.4

5. むすび

本報告では、し尿処理プラントにおける生物反応槽の処理の安定化ため、ファジィ制御を適用し効果が得られ、また、リモートチューニング機能による開発効率の向上について述べた。本システムにより運転を行い約半年が経過したが、現在も安定した処理性能が得られている。し尿処理プラントは季節により負荷等が大きく変動するため、今後も運転を監視し、本システムをさらに良いシステムへと進展させていく。

最後に、本システム構築に多大な強力を頂いた丹生谷環境衛生組合 岡川耕三氏、同衛生センター 森邦生場長、衛生センター職員の皆様に謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) 筒井, 樺木, 福澤, 岩井, 片井, 井田(1993):意志決定分析手法を用いたし尿処理プラントの協制御システム的设计, 第19回システムシンポジウム第18回知能システムシンポジウム合同シンポジウム講演論文集, P271-276
- 2) 石田, 和泉, 師, 藤井(1987):深層反応槽と限外ろ過膜によるし尿処理, 水処理技術, Vol.28 No.1, P27-38
- 3) 菅野道夫(1988):ファジィ制御, 日刊工業新聞社