汚泥沈降性を考慮した
ＳＲＴのファジィ制御

清水公一*、関根孝夫*、井手慎司*

＊（株）明電舎
東京都品川区大崎２－１－１７

概要

現在、活性汚泥処理場の問題点の１つとして、糸状性バルキングに代表される汚泥の沈降性悪化が挙げられる。この対策として、総汚泥量に基づいた余剰汚泥量の調整等が考えられる。しかし、汚泥の沈降性が悪化した際の曝気槽内及び最終沈殿池内の汚泥分布とその挙動が複雑であるため、これらを考慮した制御システムの確立が困難であった。そこで、筆者らは、操作員の経験や勘を容易に表現できるファジィ理論を適用し、SRT，SVIを入力データとした余剰汚泥量の制御方式を構築し、その有効性を動的シミュレーションにより検討した。その結果、本制御法が汚泥の沈降性変動に対し有効であることが確認された。

キーワード

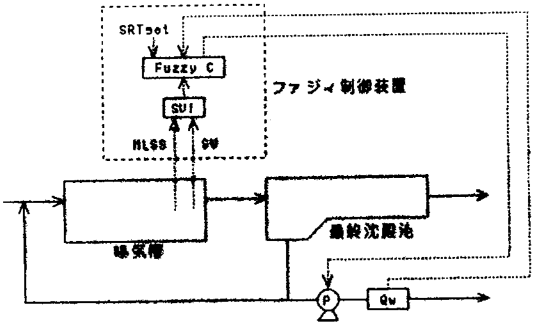
活性汚泥，汚泥沈降性，余剰汚泥，ファジィ，SRT，SVI，糸状性バルキング

1.はじめに

現在、活性汚泥システムの維持管理における問題として、糸状性バルキングに代表される汚泥の沈降性悪化がある。この対策としては、①生物相の管理に基づく対策，②プロセス内の総汚泥量に基づく対策，の２つに大別される。①は、微生物の出現状況を考慮し、沈降性の悪化を招く微生物を抑制させることを目指したものであり、②は、沈降性の悪い状態でも、SRTを一定に保ち、安定した処理水を得ることを目指したものである。これらの対策についてはそれぞれ次の問題点がある。①については、バルキングの原因となる微生物の種類が多いこと及び、その発生／消滅パターンに再現性がないことから効果的な対策が確立されていない。②については、沈降性悪化時の曝気槽内及び最終沈殿池内の汚泥分布とその挙動が複雑[1]であるため、制御システムの確立が困難である。そこで、筆者らはファジィ推論に基づく汚泥沈降性を考慮にいれた制御方式を提案し、その有効性を動的シミュレーションにより検討した。その結果、本制御法が有効であることが確認されたので、その概要を報告する。

2.システム構成

システムの全体構成を図1に示す。曝気槽出口付近にSVI計（SV計+MLSS計）を設置し、SVI値をファジィ制御装置に入力する。ファジィ制御装置では、SVI値とSRT設定値から余剰汚泥量を算出する。この余剰汚泥量に基づいて、間欠引き抜き制御の場合には余剰汚泥ポンプの運転時間により、また、連続引き抜き制御の場合には余剰汚泥流量調節弁により、余剰汚泥をそれぞれ制御する。



ここで、Fuzzy C：ファジィ制御部，SVI：SVI計
SRTset：SRT設定値，MLSS：MLSS計
SV：SV計，P：余剰汚泥ポンプ，Qw：余剰汚泥流量計

図1 システム全体構成図

3.ファジィ制御規則

本制御では、SRT設定値及びSVI値より、ファジィ制御規則を用いて、余剰汚泥量（Qw）を算出した。ファジィ推論方法は、種々提案されている[2)]が、ここでは、後件部に線形関数を用いる直接推論法を採用した。

本制御で用いた制御規則を以下に示す。

ルール1：IF SRT=長い & SVI=高い THEN Qw(1)=a11・SRT+a12・SVI+a13
ルール2：IF SRT=長い & SVI=低い THEN Qw(2)=a21・SRT+a22・SVI+a23
ルール3：IF SRT=普通 & SVI=高い THEN Qw(3)=a31・SRT+a32・SVI+a33
ルール4：IF SRT=普通 & SVI=低い THEN Qw(4)=a41・SRT+a42・SVI+a43
ルール5：IF SRT=短い & SVI=高い THEN Qw(5)=a51・SRT+a52・SVI+a53
ルール6：IF SRT=短い & SVI=低い THEN Qw(6)=a61・SRT+a62・SVI+a63　　(1)

ここで、
　Qw(i)は、ルールiにおける余剰汚泥量
　aijは、後件部パラメータ（$1 \leqq i \leqq 6, 1 \leqq j \leqq 3$）
を意味する。

入力 SRT=SRT0,SVI=SVI0 に対する前件部の適合度 w1,w2,w3,w4,w5,w6 を次式に示す。

$$\begin{aligned} w1&=\min\{\mu_{11}(SRT0),\mu_{12}(SVI0)\}\\ w2&=\min\{\mu_{21}(SRT0),\mu_{22}(SVI0)\}\\ w3&=\min\{\mu_{31}(SRT0),\mu_{32}(SVI0)\}\\ w4&=\min\{\mu_{41}(SRT0),\mu_{42}(SVI0)\}\\ w5&=\min\{\mu_{51}(SRT0),\mu_{52}(SVI0)\}\\ w6&=\min\{\mu_{61}(SRT0),\mu_{62}(SVI0)\} \end{aligned} \qquad (2)$$

ここで、
　$\mu_{ij}(x)$はxにおけるメンバーシップ値（$1 \leqq i \leqq 6, 1 \leqq j \leqq 2$）
　min{A,B} は、A,Bのうち小さい値を取る関数
を意味する。

推論値として後件部のQwは、適合度付き平均値として次式のように求められる。

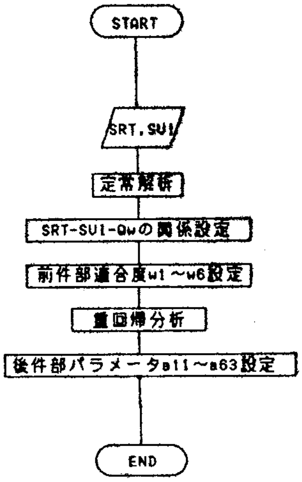


図2 後件部パラメータ同定手順

$$Qw=(w1\cdot Qw(1)+w2\cdot Qw(2)+w3\cdot Qw(3)+w4\cdot Qw(4)+w5\cdot Qw(5)+w6\cdot Qw(6))/\sum_{i=1}^{6} wi$$

$$\begin{aligned}= &a11\cdot W1\cdot SRT0+a12\cdot W1\cdot SVI0+a13\cdot W1\\ &+a21\cdot W2\cdot SRT0+a22\cdot W2\cdot SVI0+a23\cdot W2\\ &+a31\cdot W3\cdot SRT0+a32\cdot W3\cdot SVI0+a33\cdot W3\\ &+a41\cdot W4\cdot SRT0+a42\cdot W4\cdot SVI0+a43\cdot W4\\ &+a51\cdot W5\cdot SRT0+a52\cdot W5\cdot SVI0+a53\cdot W5\\ &+a61\cdot W6\cdot SRT0+a62\cdot W6\cdot SVI0+a63\cdot W6\end{aligned} \quad (3)$$

ただし、$Wi=wi/\sum_{i=1}^{6} wi$

したがって、後件部パラメータ aij ($1\leqq i\leqq 6, 1\leqq j\leqq 3$) を同定すれば、SRT,SVIより、Qwを導ける。

4.パラメータの同定

後件部パラメータの同定手順を図2に示す。SRT設定値におけるSVIとQwとの関係を、（対象システムを数学モデル化した）定常解析シミュレーションにより求めた。この結果を図3に示す。この Qw-SRT-SVI の関係を入力データとし、重回帰分析により後件部パラメータ aij の同定を行った。(1)の制御規則を用いて前件部の適合度wi ($1\leqq i\leqq 6$) を求め、(3)式よりQwを算出する。重回帰分析では、定常解析より求められる余剰汚泥量Qwと、ファジイ規則により求められる余剰汚泥量Qwとの差の自乗和が最少になるような後件部パラメータを算出する。

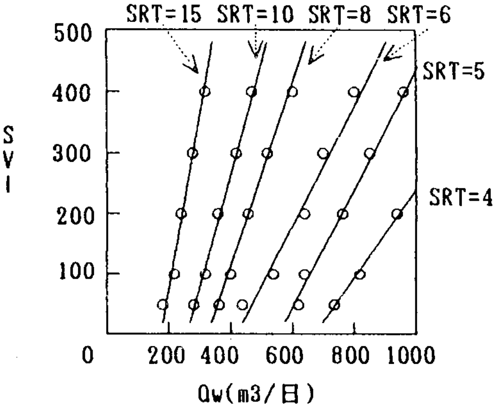


図３ 定常解析によるQw-SRT-SVIの関係

5.動的シミュレーションによる検証

ファジイ制御規則に基づく制御方式（RUN1）と、1日当たりの余剰汚泥量一定引き抜き制御方式（RUN2）とのシミュレーションによる比較を行い本ファジイ制御方式の有効性を検証した。

この検証では、外乱因子として、SVIをランプ状に100から350へと変動させて行った（図4参照）。また、RUN1のSRTを5日とした。シミュレーションの結果を図5，図6に示す。

本ファジイ制御方式(RUN1)の場合には、余剰汚泥量を操作することにより、SVI変動時でもプロセス内の総汚泥量(M)はほぼ一定に維持されている。

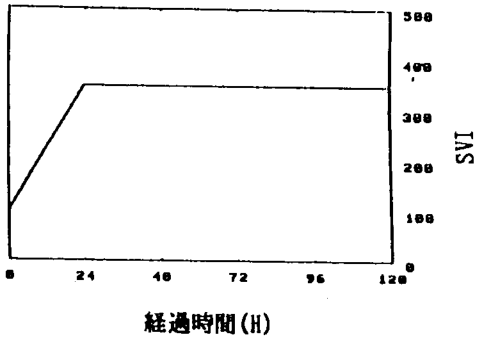


図4 SVI変動パターン

余剰汚泥量一定引き抜き制御方式（RUN2）の場合には、SVI値の上昇に伴い処理系内の汚泥分布（MF/MA比変動など）が変化し、また、最終沈殿池内における汚泥の圧密濃度及び余剰汚泥濃度が低下するという汚泥沈降性悪化時の特性[1]が考慮されていないため、実質的な引き抜き固形物量が減少する。したがって、処理系内汚泥量(M)は徐々に増加し、SRTやF/M比を一定に維持できなくなる。
RUN1，RUN2の結果より、本ファジィ制御方式はSVIの変動を考慮にいれたSRT制御方法であることが示唆された。

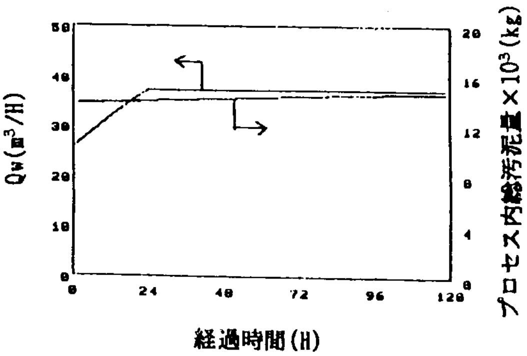


図5 RUN1

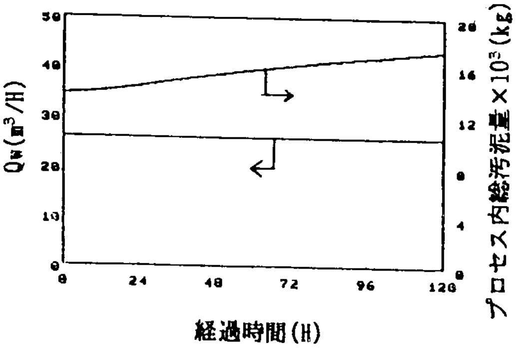


図6 RUN2

6.まとめ

本ファジィ制御装置で得られる特長を以下に示す。

①SVI値またはSRT設定値の変更に対して速やかに追従する。
②SRT設定値に対応する処理系内汚泥量(M)及びF/M比に制御されることが示唆された。
③SVIに表現される汚泥沈降性の変化に対応し得る制御が行えることが示唆された。
④前件部メンバーシップ関数及び，後件部パラメータaijを調整することにより、本制御装置を、種々の処理場に汎用的に適用でき得る。
⑤ファジィ制御規則を用いることにより汚泥沈降性を考慮にいれたSRT制御系が簡素化される。

今後は本ファジィ制御装置の実処理場における適用検証を行う予定である。

7.参考文献

1)関根，津倉，井手，古屋，松井(1989)：活性汚泥プロセスの汚泥量制御に関する研究(Ⅱ)－SVI変動の制御特性に及ぼす影響－，用水と廃水，31(3)，17-24
2)菅野道夫(1988)：ファジィ制御、日刊工業株式会社