

実下水を対象としたパイロット規模での 活性汚泥法ファジィ自動制御システムの検証実験

岩堀恵祐*、安井幹人**、山川公一郎***、藤田正憲****

* 静岡県立大学環境科学研究所／静岡市谷田52-1

** 大阪市下水道局建設部／大阪市北区梅田1丁目2-2

*** (株)竹中工務店 環境・エネルギー本部／東京都中央区銀座8丁目21-1

**** 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻／吹田市山田丘2-1

概要

演者らが構築・検証してきた活性汚泥法ファジィ制御システムに、各種の水質計測器からの信号を連結したインターフェイスを実装した。この自動制御システムをパイロット規模の活性汚泥処理装置に組み込み、実下水を対象とした長期的な安定制御や日間負荷変動などに対する評価実験を行うとともに、実際の下水処理場に本システムを導入するための基礎的知見を得ることを目的としている。

キーワード

活性汚泥法、ファジィ制御、自動化、流入水質・水量変動、運転管理

1 はじめに

演者らは先に、ファジィ推論を活用した活性汚泥法の制御システムを構築し¹⁾、パイロット規模の活性汚泥処理装置による合成下水での実験²⁾、また小規模汚水処理施設での実験³⁾を通して、流入水質・水量変動に対するファジィ制御システムの有効性を検証した。しかし両実験とも、実際の操作変量は手動で調節し、また前者の実験は4日間、後者の実験は約1日間という短期間での変動実験であった。このため、実際の下水処理場への適用には、ファジィ推論を担うパソコンと各種の計測器を結びつけたインターフェイスを実装することにより、本制御システムの自動化とその長期的な安定制御の可能性を最終的に検証する必要がある。そこで本稿では、先に用いたパイロット規模の処理装置²⁾を実際の下水処理場に設置し、そのインターフェイスの実装による自動運転と実下水を対象とした長期間の変動実験を行い、活性汚泥法ファジィ自動制御システムの長期的な安定制御を確認したので、その概要を報告する。

2 ファジィ自動制御システムの基本構成

ファジィ自動制御システムの基本構成を図1に示した。本システムは、先に構築した制御システム¹⁾を担う「推論パソコン」、計測・制御情報の入出力を担う「制御器」、推論データの入出力やデータの蓄積・解析を行う「計測パソコン」から構成されている。計測パソコンは、①計測器からの情報を制御器を介して受信、②推論パソコンへの計測情報の送信と推論結果の受信、③データの蓄積と解析、④操作変量の制御情報を制御器を介して送信、の4つの送受信機能をもたせ、そのプログラムはN₈₀-BASICで作成した。計測パソコンの各機能は次の通りである。

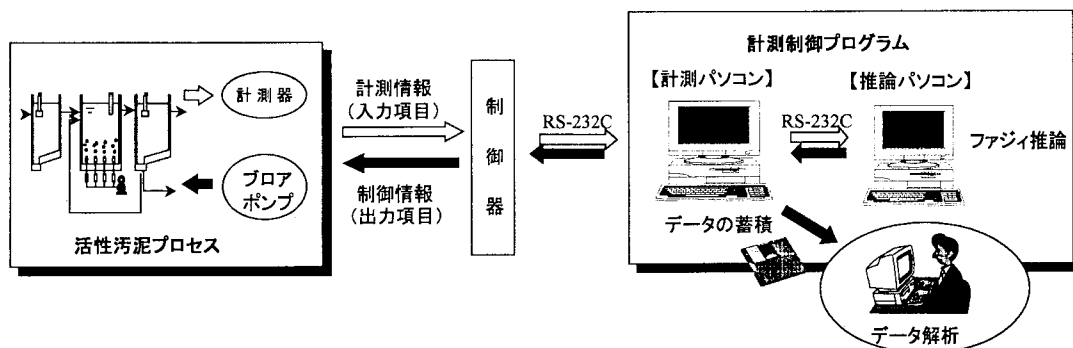


図1 活性汚泥法ファジィ自動制御システムの基本構成

- 計測情報の受信： 計測器からの信号は随時、制御器に一定時間ごとに取り込まれ、RS-232C回線を通じて計測パソコンへ蓄積される。このデータはリアルタイムでモニター表示され、経時変化や最大・最小値などはグラフ化ツールを利用することで表示できる。
- 計測情報の送信と推論結果の受信： 計測パソコンでは設定時間間隔に入力項目（流入水量； Q_s 、流入COD濃度； lnL_s 、流入SS濃度； $lnSS$ ）の計測値を推論パソコンに送信する。推論パソコンは計測パソコンから入力データを受信すると直ちにファジィ推論を行い、解析結果の操作偏差量を計測パソコンに返信する。
- データの蓄積と解析： 推論結果と各種の計測値は計測パソコンのハードディスク内にテキスト形式で保存される。各データはフロッピーディスクを介してアプリケーションソフトによる解析に供される。
- 制御情報の送信： 推論された制御量はRS-232C回線を通じて計測器に送られ、4～20mAの制御信号に変換された後、フロア・ポンプに伝送され、制御が行われる。

なお、先の報告^{2),3)}と同様に、自動計測による入力変数は流入水量と流入COD濃度、流入SS濃度、制御量として帰結させる出力変数は返送汚泥量(Q_r)と引抜き汚泥量(Q_w)、曝気風量(G_a)である。

3 実験材料並びに方法

3.1 活性汚泥処理装置の概要と自動計測・制御の方法

処理装置の基本仕様は先の報告²⁾と同様であるが、自動計測・制御が可能となるように改良して実験に用いた(図2)。曝気槽への安定した送水量保持のため、原水貯留槽(200L)を新たに設け、その入口にはスクリーン籠を設置することで夾雑物を除去した。また、原水貯留槽には初沈越流水を過剰に供給して滞留時間を短くすることで、原水の腐敗や変質を防ぎ、曝気槽への流入水が常に初沈越流水と同等の水質を保てるようにした。汚泥貯留槽は返送汚泥の活性保持に限定したので、その容量を半分(50L)とした。

処理装置には各種の計測器(表1)を設置して自動計測を可能とし、流入水のCODとSSの両濃度はプロセス用UV計の出力値から換算した。また、制御方法として、返送汚泥量は返送汚泥ポンプのインバータ制御、引抜き汚泥量は汚泥貯留槽に装着した電磁弁の開時間でそれぞれ行い、曝気風量は、同一規格のプロア2台を用い、1台は定常運転し、もう1台の放風量で所定の風量に調節した。なお、流入水量の変動を与えるため、原水ポンプのインバータ制御が可能となるようにした。

3.2 実験方法

当該下水処理場の返送汚泥を種汚泥として、処理装置の曝気槽と汚泥貯留槽に所定量を投入し、流入水量0.4L/分(基準水量、HRTは8時間)、曝気風量12.0L/分、汚泥返送比30%、引抜き汚泥量14.5L/日で運転を開始した。この運転を約1ヶ月継続し、定常状態が確認されてから、1日サイクルの流入水量変動を与え、約3ヶ月間の長期安定性に関する評価実験(実験1)と、実験1の期間で1ヶ月に1度の短期的な負荷変動に対する処理性能の評価実験(実験2)をそれぞれ行った。なお、変動パターンは「朝と夕方に多く、昼間に少ない」も

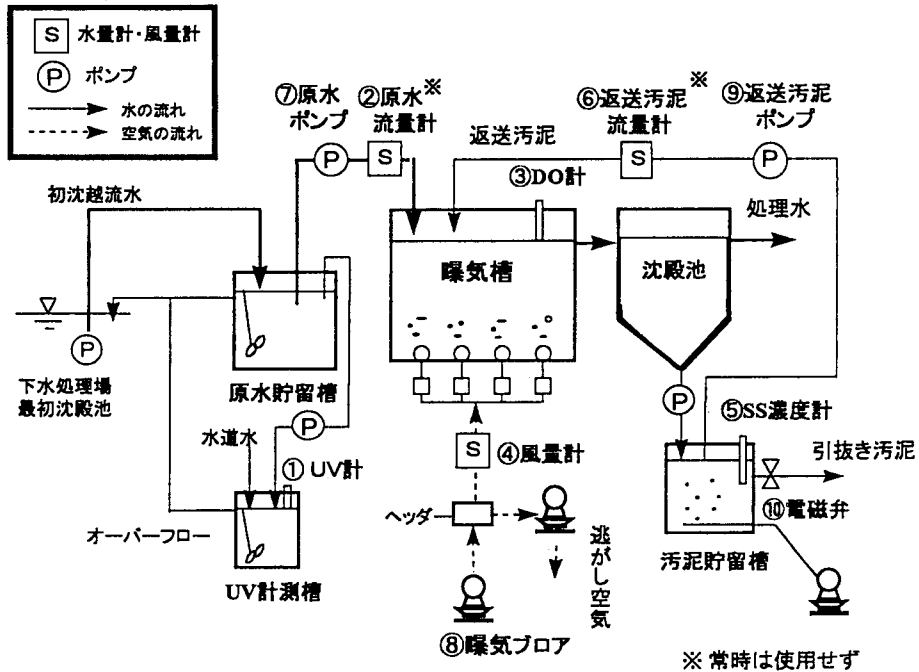


図2 自動計測・制御機器を装着したパイロット規模の活性汚泥処理装置の模式図

表1 計測情報とその検出方法

対象	計測情報	検出方法	備考
原水貯留槽	原水供給量 (L/分) UV-VIS VIS	電磁流量計 UV計 UV計	推論の入力情報 (曝気槽流入水量) 推論の入力情報 (流入水COD濃度に換算 ^{注)}) 推論の入力情報 (流入水SS濃度に換算 ^{注)})
曝気槽	送風量 (L/分) DO濃度 (mg/L)	差圧風量計 DO計	推論結果からの制御情報 モニター情報
汚泥貯留槽	返送汚泥量 (L/分) 引抜き汚泥量 (L/分) 汚泥濃度 (mg/L)	電磁流量計 電磁弁の開時間 汚泥濃度計	推論結果からの制御情報 推論結果からの制御情報 モニター情報

注) 紫外光 (UV : 254nm) と可視光 (VIS : 365~435nm) による吸光度を同時測定した。対象とした実下水による予備実験から [UV-VIS] がCOD、[VIS] がSSとそれぞれ高い相関関係を示した。なお、実験期間中、手分析値との比較を行い、その精度を高めた。

ので、基準水量に対して1/2~3倍となるように設定した。

各種計測器からの信号は10秒ごとに計測パソコンに格納され、30分間の平均値を推論パソコンに送信してファジィ推論を行い、各制御量に反映させた。なお、自動計測値と自動制御量が正確であるか否かは日々の運転管理の中で任意にマニュアル操作による実測から確認した。

ファジィ推論に必要なメンバーシップ関数 (MSF) と規則は前報^{2), 3)}と同様であるが、対象とした実下水の水質分析結果から、流入関連のMSFの上下限值のみを変更した。また、計測情報以外の分析項目は、2~4時間ごとにオートサンプラーで採水した流入水と処理水のCODとSS、曝気槽と汚泥貯留槽のMLSS、SV₃₀、処理水の透視度と水温、pHであり、下水試験方法⁴⁾に準じて測定した。なお、CODはSSを含むもの (T-COD) と溶解性のもの (1μmのろ液、S-COD) をそれぞれ測定した。また、目視観察や検鏡を適宜行い、ファジィ機能診断システム⁵⁾による活性汚泥の状態把握と運転支援への適用を試みた。

4 実験結果並びに考察

4.1 長期安定性の評価(実験1)

実験1は平成8年9月10日から12月10日の約3ヶ月間、連続して行われた。この期間中、パソコン並びにインターフェイスは大きなトラブルもなく稼働し、計測器も定期的な保守点検により正常に機能していた。

全実験期間における流入水と処理水のCOD・SS両濃度の変化を図3に示した。なお、機能診断の結果を制御に反映させたため、実験期間中、操作基準量を変更したので、本図に併記した。処理水のT-CODとS-CODは、平均濃度でそれぞれ12.4mg/L(変動係数20.0%)、9.5mg/L(変動係数15.7%)、処理水SSは14.3mg/L(変動係数46.1%)であった。当該下水処理場の年間処理成績(T-COD濃度15.5mg/Lで変動係数18.3%、SS濃度8.2mg/Lで変動係数60.2%)と比較すると、本実験では処理水SSのバラツキは認められるが、①1日最大で6倍もの大きな流量変動を与えていることと②処理水T-CODの平均濃度が低く、変動係数は同程度であったこと、さらに③季節の移り変わりや水温・気温の変化(曝気槽水温:13.9~27.0°C)、ファーストフラッシュとその後の低濃度原水の流入(合流式下水道のため)などの種々の条件で実験を継続したことから、長期間の安定した処理性能が得られていることがわかる。なお、曝気槽のMLSS濃度は571~1,893mg/L(平均値1,009mg/L、変動係数21.1%)、貯留槽のそれは1,319~3,734mg/L(平均値2,607mg/L、変動係数17.0%)であり、また曝気槽の平均DO濃度は5.7mg/L(変動係数12.6%)で十分な好気状態を保持できており、SRTは5.7~12.6日で、通常の運転とほぼ同じ値が維持されていた(後述する「糸状性バクテリウム」の前兆時には約6.2日、その他の期間では6.4~12.6日)。

4.2 日間負荷変動の評価(実験2)

変動開始41日目に行った第2回目の日間負荷変動実験の結果を図4に示した。処理水のT-CODとS-COD、SSはそれぞれ、11.4mg/L(変動係数9.4%)と8.8mg/L(変動係数11.2%)、13.3mg/L(変動係数18.0%)で、図示した

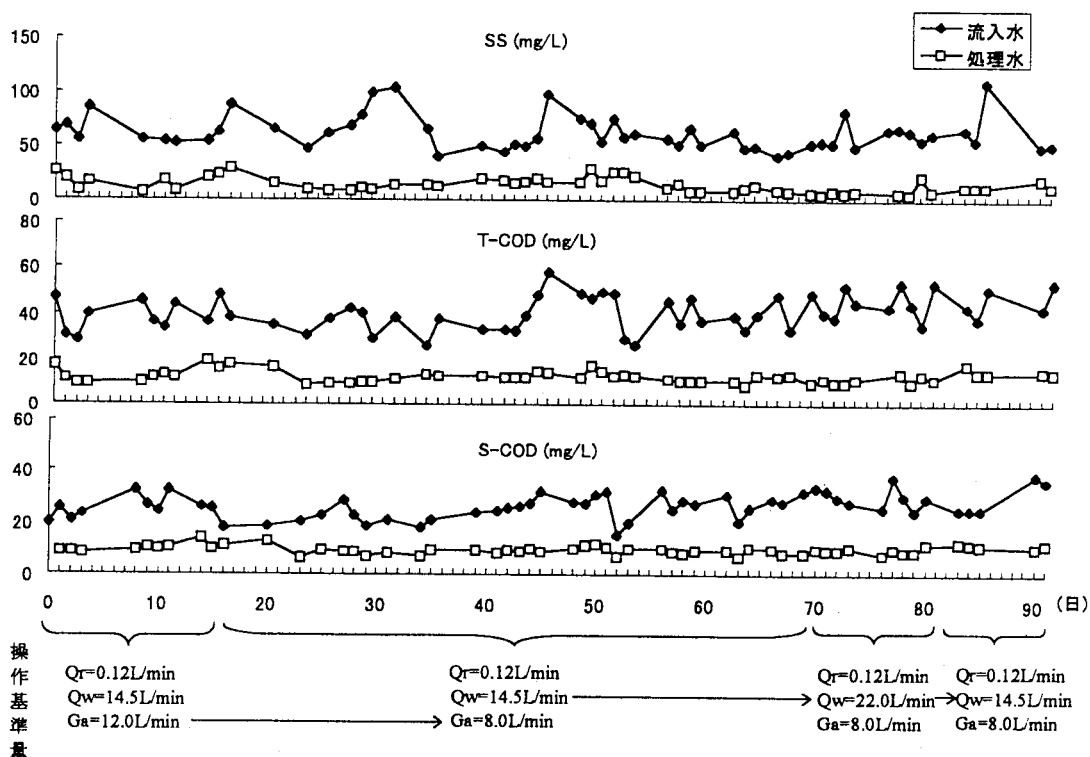


図3 長期安定性に関する処理性能

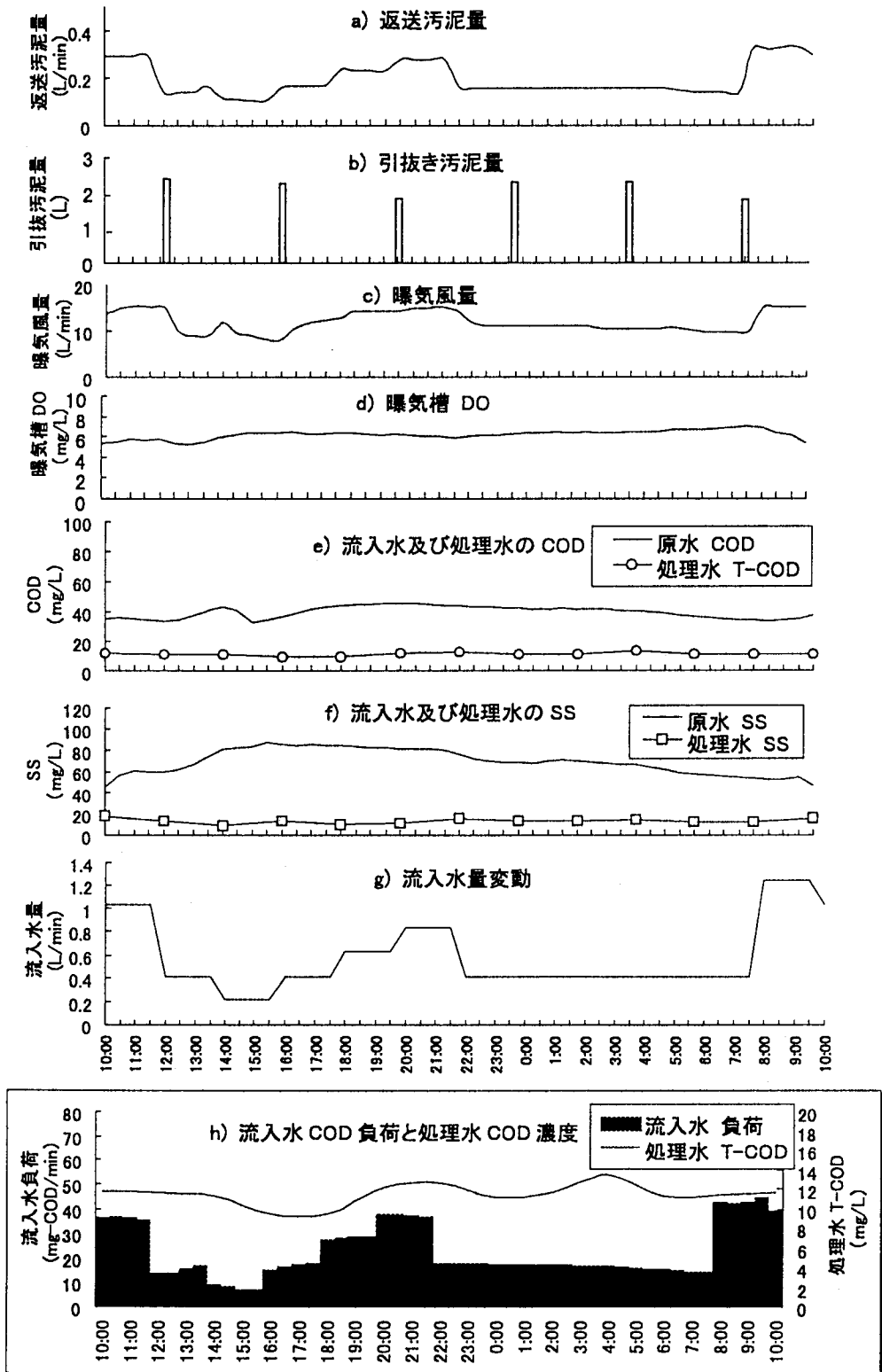


図4 日間負荷変動実験の処理性能

ような大きな水量変動にもかかわらず、安定した処理性能が得られた。これは、流入負荷変動に見合った返送汚泥量や曝気風量が確保され、曝気槽DOが5.2~7.0mg/Lに維持されていたことによると考えられる。他の日間負荷変動実験でも概ね、本図と同様の結果が得られた。

4.3 ファジィ機能診断システムによる運転支援

実験期間中、定期的にファジィ機能診断システムによる運転支援を行った。その結果、実験開始15日目には、処理水に浮遊物が多く、透視度も15cmと低くなり、さらに原生動物の検鏡結果から菌性が「多い」・自由遊泳性が「少し多い」状態となって、「解体汚泥」の確度が高いと診断された。そこで、曝気風量を少し減少させて対応したところ、約1週間で正常な汚泥状態に戻った。また、実験開始69日目には、汚泥状態に変化がなく、多数の固着性原生動物が観察されたが、SV₃₀が20%、SVIが190mL/gで糸状性微生物も観察された。診断結果は「糸状性バルキングの発生する可能性が高い」であり、引抜き汚泥量を1.5倍に増加したところ、徐々にSVIが低下し、約2週間後には糸状性微生物も観察されなくなった。この機能診断システムによる運転支援で、大きな汚泥状態の変化や処理成績の悪化もなく、変動実験を継続できたと考えられる。したがって、計測情報だけでは判断できない処理状況を把握するには、機能診断システムを加味することが有効であると判断できる。

4.4 操作変量からみたファジィ自動制御の評価

第3回目の日間負荷変動実験の結果と曝気風量一定制御を比較することで、ファジィ自動制御の効果を検討した。曝気風量一定の制御条件は、①ピーク時の流入負荷に対しても十分な酸素供給をはかるため、実験中の最大風量を一定風量と定める、②ピーク時の流入水は制御対象とせず、最大風量の8割で対応すると設定した。その結果、前者の条件ではファジィ自動制御は65.1%、後者の条件では81.4%の風量でそれぞれ運転可能であると試算された。これは、流入状態に応じて曝気風量などの操作変量を調節し、必要に応じて無駄の少ない運転制御をファジィ自動制御が行っている成果であると判断できる。したがって、流入負荷変動の大きな処理施設では、本システムで省エネルギー効果を期待できる可能性があると思われる。

5 まとめ

パイロット規模の活性汚泥処理装置を用いて、ファジィ自動制御システムによる実下水の安定処理に関する実証試験を行った。その結果、約3ヶ月の連続運転にもかかわらず、パソコン並びに各種の計測器とそのインターフェースは大きなトラブルもなく稼働し、また1日サイクルで基準水量の1/2~3倍の変動を与えたが、ファジィ機能診断システムとの併用により良好で安定した処理成績を得ることができ、さらに省エネルギー効果の可能性が示唆された。したがって、演者らの構築した活性汚泥法ファジィ制御システムは自動運転が可能で、流入水質水量の変動に対応できるシステムとして実用化できることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 岩堀恵祐、小田原健治、辰巳安良、山川公一郎、藤田正憲：活性汚泥法ファジィ制御のシステム構成、環境システム計測制御学会誌、1(3)、9-17(1997)
- 2) Iwahori, K., Yamakawa, K., Fujita, M.: Effect of Fuzzy Control to Influent Variations in Pilot-Scale Activated Sludge Process, The 7th International Conference on Computer Applications in Biotechnology, pp. 541-546, May 31-June 4(1998)
- 3) 岩堀恵祐、安井幹人、藤田正憲、山川公一郎：小規模汚水処理施設における活性汚泥法ファジィ制御システムの検証実験、環境システム計測制御学会誌、4(3)、19-27(2000)
- 4) 下水試験方法-1984年版-、日本下水道協会、東京(1984)
- 5) 岩堀恵祐、山川公一郎、藤田正憲：ファジィ機能診断システムによる活性汚泥法の運転支援、環境システム計測制御学会誌、3(2)、75-79(1998)