

既設下水処理場におけるMLSS制御系開発の事例

金谷利憲* 西 俊光** 島田敬三*** 平岡正勝****

* (株)安川電機製作所

福岡県北九州市小倉北区大手町 12番 1号

** 大阪府東部流域下水道事務所施設課

大阪府門真市新橋町 14-14

*** 寝屋川南部広域下水道組合川俣処理場

大阪府東大阪市川俣五丁目 1-1

**** 京都大学工学部衛生工学科

京都府京都市左京区吉田本町

概要

下水処理場においては放流水水質の良質化、運転エネルギーの低減などが社会的要請として、ますます高まりつつある。このような要請に答えるには、水処理系としての制御、さらには処理場全体としての制御を考えなければならない。これらの制御系の構成は、必然的に階層的構造を取ることになる。その下位に位置するのは、DO制御や、MLSS制御といった制御系であり、中位は水処理系や汚泥処理系の安定化を目指す制御系（例えば自己回帰モデルによる処理水水質の安定化制御系）、そして上位は処理場全体としての運転を考える系である。このような構造を持つ制御系を稼働するには、各制御系の信頼性を高める事が必須条件であるが、基礎となる下位制御系の信頼性は特に重要なものとなる。近年、DO制御やMLSS制御については、その目標値の決定方法に議論を残しながらも、目標値を実現する点については完成の域にあるとされている。しかし、現実にはDO制御系やMLSS制御系を備えた処理場で、それらを長期間にわたって運用している例は少ないようである。その原因は導入されたシステムのソフトウェアに問題があると考えられる。

本報告では、約2.5年間にわたって順調に稼働してきたMLSS一定制御系について報告する。この制御系のソフトウェアは、開放性、柔軟性、堅牢性、そして運転員との協調性に配慮して開発され、運用開始後も数多くの改良がなされた。その結果処理場固有の運転法まで作りこまれ、使いやすいシステムとなり、長期の運用を実現できたと考えられる。

キーワード

既設下水処理場 自動制御 MLSS制御 余剰汚泥引抜量

1. 川俣処理場の概要

実験対象としたのは、寝屋川南部広域下水道組合川俣処理場である。処理方式は、活性汚泥法（ステップエアレーション法）であり、計画処理水量は380000 m³/day、現有処理能力は171000 m³/dayの大規模処理場である。川俣処理場は初期の流域下水処理場であり（1972年供用開始）、その電気設備は比較的早く、ポンプ、バルブ類の遠隔操作ができるレベルであった。

2. 制御系開発の基本方針

流入下水の量的、質的変動、あるいは処理場内の設備の更新など、プロセスを取り巻く環境要因は変化する。このような環境変化を前提として、長期間連続的に稼働し、運用が容易なMLSS制御系を開発する事を基本方針とした。

そのためには、開発段階で全ての状況を想定するよりも、発生した事象の解決策が追加できるよう、開放的で、柔軟なシステムにする事が肝要と考えた。また運用の容易なシステムにするには、取り扱っている情報を詳細に提供し、人間がシステムの動きを把握できるようにする事が重要である。システムの動作及びその根拠が理解できれば、人間との協調が始まり、運用は容易になるであろう。

以上に述べたように開発するシステムは開放性、柔軟性そして人間との協調性に富んだものとする事にした。

3 開発したMLSS制御系

図1に開発したシステムの、MLSS制御系に関する構成を示す。このシステムはローカルエリアネットワーク（LAN）、計測システム、MLSS制御系及び管理用パソコンから構成されている。システムの基本的な動作としては、まず計測システムで収集されたプロセスデータが、LANを介してMLSS制御系に提供される。この制御系では、収集データと制御目標値から、適切な余剰汚泥流量を算出し、その流量を実現すべく、ポンプ、バルブなどの操作を行う。以上が基本的な動作であるが、詳細については既報¹⁾を参照されたい。

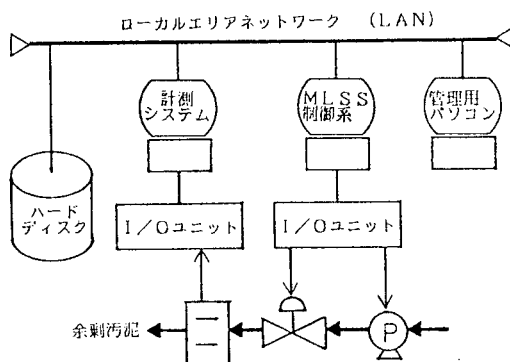


図1 川俣処理場の計装システム

3.1 システムの開放性

本制御システムの開発に際して、処理場担当者より多岐にわたる必要機能が示された。その要点とするところは、『人に隷属するシステム』を提供することにあった。すなわち計算機がどのような計測値を基に、どのような計算過程を経て、余剰汚泥引抜量を決定しているか。また計算された引抜量を実現するために、吐出弁の操作をどのように行おうとしているか。この点を開放する（明示する）ことが重要であった。

まずアルゴリズムの開放性を実現するために、汎用的な高級言語BASICを採用する事にした。BASIC言語は、特定機種への依存性が高い事、プログラムの構造化が難しい事などの難点を持っている。しかし最もポピュラーな言語であり、下水処理場の職員にとってはなじみやすい言語といえる。従って、BASIC言語で記述された制御系は、その細部まで理解する事ができソフトウェア上の改良が可能となる。

次にシステムの開放性をさらに高めるために、詳細情報を出力することにした。詳細情報には、使用した計測データはもちろん、余剰汚泥流量の演算過程、さらには流量制御のためのバルブ操作に関する演算過程等、制御系が取り扱っているほとんど全ての情報が含まれる。これらの情報をCRT画面へ表示するとともに、LANを介してハードディスクに記録するようにした。これによって制御系の動作を細部まで追跡できるようになり、システムの理解、不合理な動作の原因追及等に大きな効果があった。

3.2 システムの柔軟性

システムの柔軟性は色々な角度から捉えられるが、ここでは制御用プログラムの改良、修正に関する柔軟性について述べる。計算機制御システムが導入され、処理場担当者の手で運用が開始されると、自分たちにとってもっと都合のいいように様々な修正がしたくなる。これは、制御用プログラムの仕様に記載できなかった細部の使い勝手や、現場で育ててきた制御ノウハウの活用要求等に起因すると考えられる。またプラント設備の更新によって、不具合が発生する事もある。従ってプログラム修正の要求は運用開始時だけでなく常時起こると考えるべきであろう。

ここでプログラム改良の具体例を紹介する。MLSS制御系の操作因子である余剰汚泥引抜量についてテスト運転開始後、下記の問題が顕在化した。川俣処理場の水処理系は、3系列から構成されるがポンプ能力及び配管経路による圧力損失から、第1系列の余剰汚泥流量は、他の系列と競合する場面では低く抑えられてしまう。この問題点について処理場担当者と共にプログラムを改良し、競合する場面では流量の上限値を下げ、系列間の不均衡が生じないようにした。

この様に制御プログラムの修正は、操作量決定のための演算部分よりも、データチェック（使用するデータ

の吟味、演算結果のチェック)及びこれらの表示・記録方法に関することが多かった。図2にMLSS制御用プログラムの各ブロックサイズの比率を示した。現在運用中のプログラムを、開発時のものと比較すると、表示・記録及びデータチェックの比率が大きくなっており、プログラムの改良がこれらの部分を中心に進められた事が明らかである。

また紹介した事例からもわかるように、修正を加えたのは宣言的な動作を行う部分であり、一連の計算手順に従って進められる操作量演算部とは趣が異なっている。従って、手続的言語と宣言的言語の共存が可能ならば、計測データの吟味、演算結果のチェック、画面表示といった作業は宣言的な言語によって記述した方が効率的であろう。またこの様にすれば、プログラムの修正も実施しやすくなる。

プログラムの改良については、さらに下記の2点を挙げておきたい。第1点は、最も基本的な事であるが、プログラムを機能単位に分割し、全体構造の見通しを良くした点である。第2点目は、修正プログラムの検証手段を準備した点である。変更したプログラムは、十分な検証を行う必要がある。本システムでは、管理用パソコン上で、過去及びリアルタイムのデータを用いて、制御用プログラムを実行する事ができる。もちろん検証のためであるから操作端へ操作指令は出力されないが、操作量等の詳細情報が表示されるので、どのような操作を行う事になるか把握する事ができる。この様にして動作の確認を行った後、制御用パソコンにプログラムがロードされる。

以上の機能によりシステムの運用開始後に出力された多数の改良も容易に実現され、川俣処理場の設備に適合した、運転員にとって使いやすいシステムとなった。

3.3 システムの堅牢性

既報²⁾でも述べたように川俣処理場のMLSS制御には、3種のアルゴリズムを準備し、各々の利点を確認した。従ってプロセスの状況に応じて、最も適した制御法を選択し適用することになる。例えば制御目標値を変更した直後は、応答の速いPI制御をベースにした制御法を適用し、目標値の近傍に入ったならば物質収支に基礎を置く制御法に切替えて制御精度の向上、余剰汚泥引抜量の变化が穏やかな運転を目指せば良い。また、多数の計測値を使用する物質収支型の制御法で運転中に、計測器のトラブルが発生したならば、2項目の計測値で実施可能なPI制御型制御法での対応を検討する。このように、各々に長所を有する複数の制御法によってMLSS制御系を構成すれば、プロセスの多様な状況に対処可能となり、システムとしての堅牢性を高めることになる。

3.4 運転員との協調性

一般に新しい自動制御システムを導入しても、その定着を図ることは、なかなか困難なことである。しかし本実験では、約2.5年間にわたって自動制御システムが順調に運用され、現場に定着している。筆者らは円滑な定着が進められた理由として、3つの要因を考えている。

第1の要因は、柔軟性の項で述べたように運用開始後、数多くの改良を処理場担当者自らの手で実施した点である。これによって本システムは川俣処理場用のMLSS制御系となり、非常に使いやすくなった。

第2の要因として、従来実施されていた制御アルゴリズムを新システム中に組み込んだ点を挙げたい。本システムのPI制御をベースにした制御法は、従来使用されていたアルゴリズムと同等のものである。新しく提供する制御システムの中に、アルゴリズムを熟知した従来法があれば、これを手がかりに、システム全体の理解を深めることができる。

第3の要因は、開放性のところでも述べたが、詳細な制御情報の提供を図った点である。詳細な情報が提供されれば、制御システムが実行しようとしていること、及びその根拠が見えてくる。その結果制御システムは、運転員を補助するツールとして位置付けられるようになる。

以上の3点を主要因として、制御システムと運転員の協調が図られたと考えられる。

開発初期のプログラム			
45%	14%	19%	22%
基本部分	データ チェック	表示・記録	操作量 計算
37%	16%	29%	18%
現在運用中のプログラム			

図2 プログラムサイズの比較

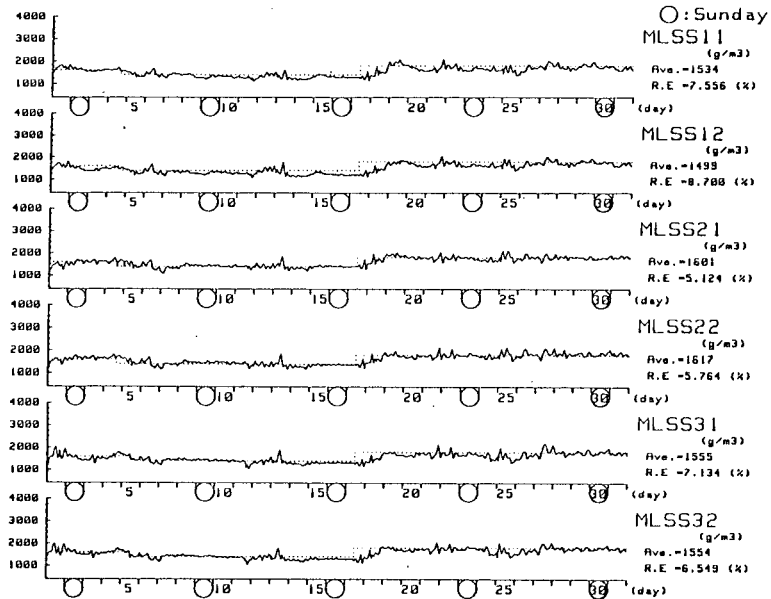


図3 MLSS制御の例
(1988年10月度)

AVE. : 平均値
R. E. : 目標値からの相対誤差

4. 実験結果

制御実験は、1987年3月の開始以来、1989年8月現在も継続中であるが、ここでは1988年10月の実験結果を図3に示す。図3には第1～3系列のMLSS濃度の計測値を実線で、その制御目標値を破線で示した。制御目標値は全系列とも2回(4日及び17日)変更されているが、いずれの場合も変更後数日間でその目標値に到達しており、MLSS制御系として順調に機能している事が明らかである。

5. まとめ

長期間にわたって順調に稼働している、川俣処理場のMLSS制御系についてその特長を報告した。この種のシステムにとって重要な事は、ソフトウェアの開放性、柔軟性、堅牢性そして運転員との協調性であると考えられた。

川俣処理場では、MLSS制御の他に、DO一定制御、返送比率一定制御等も既に稼働しており、水処理系における単位プロセス制御については、ほぼ完成の時期にあると考えられる。現在は、処理水水質の良質化あるいは省エネルギー化という、下水処理場の総合的な制御を目標に研究を進めている。これらの研究成果についても逐次報告していく予定である。

本研究は、大阪府下水技術改善対策研究会の下水汚泥の処理処分対策研究専門部会の活動の一環として行なわれたが、研究の推進に御協力頂いた川俣処理場職員各位、並びに東洋メンテナンス社の各位に感謝致します。

- 1) 金谷, 東野, 『パソコンを利用した下水処理場の計装システム』、
第25回下水道研究発表会講演集、P.581~P.583、(1988)
- 2) 山村, 島田, 藤田, 『大規模下水処理場における余剰汚泥引抜き量を操作変数としたMLSS自動制御』、
同上誌、P.602~P.604、(1988)