

〈論文〉

遠隔監視システムへの適用を目的とした制御性能改善技術の信頼性向上

難波 諒¹⁾, 平岡 由紀夫²⁾, 橋本 敏一³⁾

糸川 浩紀³⁾, 井上 英男⁴⁾, 矢野 洋一郎⁵⁾

¹⁾(株)東芝 (〒183-8511 東京都府中市東芝町1, E-mail:ryo.namba@toshiba.co.jp)

²⁾東芝インフラシステムズ(株)
(〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町72-34 E-mail:yukio.hiraoka@toshiba.co.jp)

³⁾日本下水道事業団
(〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 E-mail:Hashimotot@jswa.go.jp)

⁴⁾福岡県 (〒812-8577 福岡県福岡市博多区東公園7-7 E-mail:inoue-h3900@pref.fukuoka.lg.jp)

⁵⁾(公)福岡県下水道管理センター
(〒812-0893 福岡県福岡市博多区那珂4-5-1 E-mail:y-yano@fukuoka-spc.or.jp)

概要

制御性能改善技術は、上下水道施設の運転監視データをもとにPID制御の改善パラメータを提示することで制御性能を向上させる運転支援技術である。本技術は平成26, 27年度に下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)「ICTを活用したプロセス制御とリモート診断による効率的な水処理運転管理技術実証研究」において実証が行われた。本論文では運転支援のみに留まらず、改善パラメータを自動適用可能な遠隔監視システムの実現を目標として、平成28年度に継続して制御性能改善技術の信頼性向上方法を検討した結果を報告する。

キーワード: ICT, PID制御, パラメータ調整, 制御性能改善技術, B-DASH

原稿受付 2017.7.7 原稿受理 2017.8.24

EICA: 22(2・3) 12-19

1. はじめに

上下水道施設を管理する事業体では、厳しい財政状況下で、専門知識が要求される施設運用を少人数で担うことが求められている^{1,2)}。そのため、上下水道施設の効率的な運用は喫緊の課題であり、中でも、ICTを活用した運用効率化への期待は大きい³⁾。

上下水道施設の運用では、PID制御が薬品注入制御や曝気風量制御などで多く用いられているが、水質維持や省エネの観点も含めて運用の効率化を図るためには、PID制御のパラメータを高い頻度で適切に調整することが望ましい⁴⁾。少人数で水質維持や省エネに配慮した効率的な施設運用を担うためには、これまで人手と専門知識が要求されてきたPID制御のパラメータをICT活用により自動調整する技術が有用であると考えられる。

近年では、これに対応する技術として運用データから直接PID制御パラメータを自動調整するVRFT(Virtual Reference Feedback Tuning)⁵⁾やFRIT(Fictitious Reference Iterative Tuning)^{6,7)}などの技術が開発され、実規模のプロセスへの適用も試みられるようになってきているが、著者が知るかぎり、このようなPIDパラメータ調整手法を上下水道施設に適用

した例は少ない⁶⁻⁹⁾。

以上の背景のもと、著者らは下水道事業における新技術の研究開発及び実用化を加速することを目的としたB-DASHプロジェクト(Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project)「ICTを活用したプロセス制御とリモート診断による効率的な水処理運転管理技術実証事業」¹⁰⁾にて、水質維持と省エネを両立する効率的な曝気風量制御技術と、それをリモートから支援する診断技術の実証研究を平成26, 27年度に実施した。本プロジェクトでは、リモート診断技術の一つとして、曝気風量制御に用いるPID制御パラメータを自動調整する「制御性能改善技術」について、その有効性の検証を行った¹¹⁾。

制御性能改善技術は、一般には非線形最適化問題となるFRITを簡便な線形問題に帰着させ、監視システムなどへの実装を容易とした技術である^{12,13)}。B-DASH実証研究では、制御性能改善技術を遠隔(リモート)監視システムに実装し、推定したパラメータの良否を運転員が判断した上で調整できることを確認したが、多数の制御パラメータを遠隔監視システムから一括管理することを目標とし、最終的に運転員の判断を介さずに自動調整する技術開発を目指して、B-DASH実証研究完了後も継続研究を実施している。

本論文では、継続研究として、運転員による判断を必要としないPIDパラメータ調整手法を実現するために、運用データから課題を抽出し、その改良方法について検討した結果を報告する。具体的には、良否判断を必要とする要因の一つである不適切なパラメータの推定を抑制し、信頼性を向上させるアルゴリズムの改良を検討する。

本論文の構成を以下に説明する。まず、2章において、対象とするプロセスおよび文献13)のPIDパラメータ調整手法(制御性能改善技術)とその改良手法に共通する評価方法について説明する。3章では、2章で述べた方法で、制御性能改善技術が推定した制御パラメータを評価し、その課題について整理する。特に、正負の符号が誤った不適切な制御パラメータを推定するケースを例に挙げ、不適切なパラメータを適用すると、制御が不安定化してしまうリスクがある事を指摘する。4章では、3章で整理した課題をもとに、改良手法について検討する。具体的には、制御の不安定化を避けるために、推定される制御パラメータの範囲に制約を与えた改良手法を提案し、評価結果を考察する。最後に5章では、結論と実用化に向けた今後の展望をまとめる。

2. 対象システムおよび評価方法

2.1 対象システム

実証を実施したのは、Fig. 1に示す福岡県宝満川浄化センターのI系(標準活性汚泥法)の既設2池(I-1池、I-2池;処理能力2,700 m³/(日・池))である。

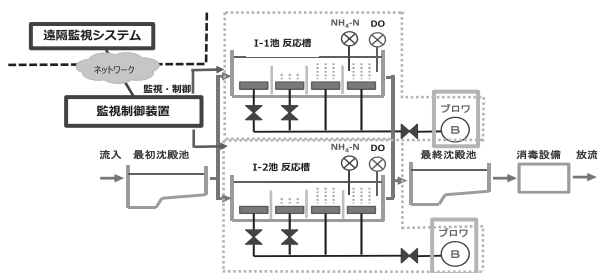


Fig. 1 Flow Diagram of Facilities for Full-scale Evaluation

実証試験の開始時には、各系列にブロウと水質センサを設置し、平成26年12月より連続運転を行なっている。制御性能改善技術が対象とする制御は、Fig. 1に示す実証施設の反応槽に関わるFig. 2のDO一定制御である。

DO一定制御では、監視制御装置により設定された溶存酸素(Dissolved Oxygen)の目標値に対し、DO計測値を追従させるフィードバック制御(PI制御)を行なっている。実証試験では、DOの目標値を2.0 mg/LとしたDO一定制御による運用、あるいは各系

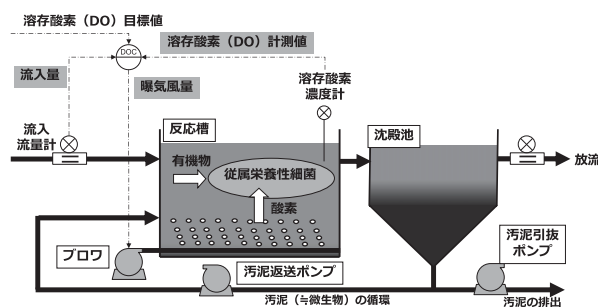


Fig. 2 Schematic Illustration of Dissolved Oxygen Regulation Control System

列に設置したNH₄-Nセンサ計測値に基づきDO目標値を変化させる目標値可変制御(以下、NH₄-N/DO制御^{10,11)}による運用を行った。また、I-1池、I-2池の各反応槽では、流入する流入量が計測可能な外乱信号として収集されており、流入流量の値に応じたフィードフォワード制御もPI制御と組み合わせて使用することができる。本論文では上述した曝気風量制御システムにて制御性能改善技術の評価および、改良手法の検討を行った。

2.2 評価方法

制御性能改善技術および改良手法の評価には、Fig. 2に示す下記の3つの信号の運用データを用いた。

- ・曝気風量(操作量)
- ・DO計測値(制御量)
- ・流入流量(計測可能な外乱)

運用データの計測周期は1分で、Fig. 1内の監視制御装置経由で遠隔監視システムに伝送して収集した。遠隔監視システムでは、蓄積した運用データを1日間隔で抽出した1440分/日(60分/時間×24時間/日)のデータに対して制御性能改善技術を適用している。その後、推定した制御パラメータを1回/日の頻度で結果をメール通知すると同時に実証施設の監視制御装置に伝送し、現場で良否判断を行った上で、制御パラメータを調整できるように設備を構築している¹⁰⁾。

本論文の評価では、平成28年4月1日から平成29年3月31日までの期間で収集した運用データに対し、実証施設と同じく1日間隔で運用データを抽出し、制御性能改善技術や改良手法を適用した結果を評価する。

また、制御性能改善技術や改良手法が推定したパラメータが適切であるかを比較判断する「正解データ」として、一般に手動でPID制御の調整時に用いるステップ応答信号¹⁴⁾を、監視制御装置から曝気風量を手動操作して取得した。具体的には、平成29年1月5日、6日、18日、19日の4日間に亘り、I-1池、I-2池合わせて計30回のステップ応答信号を取得した。

ステップ応答信号から制御パラメータを求める具体的な手順は以下のとおりである。まず、プロセスを式

(1) に示す 1 次遅れとむだ時間で近似し、ステップ応答の波形から、ゲイン K 、時定数 T 、むだ時間 L を読み取った。

$$P(s) = \frac{K}{1+Ts} e^{-Ls} \quad (1)$$

その後、北森の部分的モデルマッチング¹⁴⁻¹⁷⁾によって PI 制御の制御パラメータを求めた。対象プロセスは、微生物反応であるため、流入水の水質や DO 計測値の動作点などに応じて、読み取ったゲイン K や時定数 T がばらつくため、適切な制御パラメータ (正解データ) は範囲あるいは分布として与えられる。3 章および 4 章では、ステップ応答信号から得られた制御パラメータの範囲や分布と比較することで、推定した制御パラメータが適切であるかを評価する。

3. 制御性能改善技術の評価と課題の整理

本章では、まず、文献 13) に示されている制御性能改善技術の概要を説明する。特に、改良手法の理解を簡単にするため、制御性能改善技術が最小二乗法を用いていることを説明する。その後、2.2 節で述べた適切な制御パラメータの範囲を確認し、制御性能改善技術を評価することで課題を整理する。

3.1 制御性能改善技術

制御性能改善技術が対象とするのは、**Fig. 3** のブロック線図に対応する制御プロセスである。

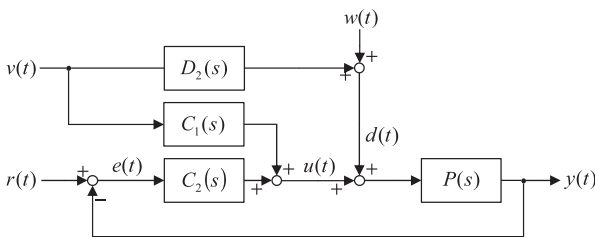


Fig. 3 PID Control System with Measured Disturbance Feedforward

対象プロセスにおいて、**Fig. 3** における目標値 $r(t)$ 、計測値 $y(t)$ 、操作量 $u(t)$ 、計測可能外乱 $v(t)$ に対応するのがそれぞれ、DO 目標値、DO 計測値、曝気風量、流入流量である。 $w(t)$ はプロセス $P(s)$ に入力される計測不可能な外乱を示しており、 $d(t)$ は $v(t)$ および $w(t)$ を合わせた外乱、 $D_2(s)$ は $v(t)$ から $d(t)$ への動特性を示している。 $e(t)$ は目標値と計測値の偏差を示している。以降、数式を記述するにあたって、特に記述のない場合は、 s は微分演算子を表し、伝達関数は初期値がすべて零の微分方程式を表しているものとする。

制御器 $C_1(s)$ 、 $C_2(s)$ はそれぞれ式 (2) のゲイン

によるフィードフォワード制御と PI 制御であり、フィードフォワードゲイン γ 、比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i が制御パラメータである。

$$\begin{aligned} C_1(s) &= \gamma \\ C_2(s) &= K_p s^{-1} + K_p = K_p \{(T_i s)^{-1} + 1\} \end{aligned} \quad (2)$$

このとき、計測値 $y(t)$ 、操作量 $u(t)$ 、計測可能外乱 $v(t)$ の運用データから制御性能を改善する制御パラメータは文献 13) の制御性能改善技術によって式 (3) 中の $\hat{\theta}$ を用いて与えられる。

$$\begin{aligned} \hat{\theta}^T &= [T_i \cdot K_p^{-1} \quad T_i \quad \gamma \cdot T_i \cdot K_p^{-1}] \\ &= (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{Y}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} sM(s)u(0) & sM(s)y(0) & sM(s)v(0) \\ sM(s)u(1) & sM(s)y(0) & sM(s)v(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ sM(s)u(t) & sM(s)y(t) & sM(s)v(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y(0) - M(s)y(0) \\ y(1) - M(s)y(1) \\ \vdots \\ y(t) - M(s)y(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式 (3) 中の \mathbf{X} 、 \mathbf{Y} は式 (4)、式 (5) により与えられる行列である。 \mathbf{X} 、 \mathbf{Y} 中で使用する $M(s)$ は FRIT のモデルマッチングに使用する規範モデル¹³⁾であり、外乱 $d(t)$ から計測値 $y(t)$ までの閉ループ伝達関数 $P(s)(1+P(s)C(s))^{-1}$ とのマッチングに使用する^{13,17)}。

式 (3) の形から分かる通り、一般的な最小二乗法を用いている点が制御性能改善技術の特徴である。

3.2 適切な制御パラメータ範囲の確認

2.2 節で説明したステップ応答信号から得られた制御パラメータの分布を **Fig. 4** に示す。

比例ゲイン、積分時間の平均値はそれぞれ 0.96、7.01 で標準偏差がそれぞれ 0.63、2.74 であった。また、得られた制御パラメータの範囲は比例ゲイン、積分時間について、それぞれ $0.10 \leq K_p \leq 2.93$ 、 $1.01 \leq T_i \leq 12.11$ であった。

制御性能改善技術や改良手法によって推定されたパラメータがこれら最大値と最小値の範囲にあれば、少なくとも従来のステップ応答による制御パラメータの推定と同程度の信頼性であると考え、以降の評価では、この最大値と最小値の範囲を基準として制御パラメータを評価する。

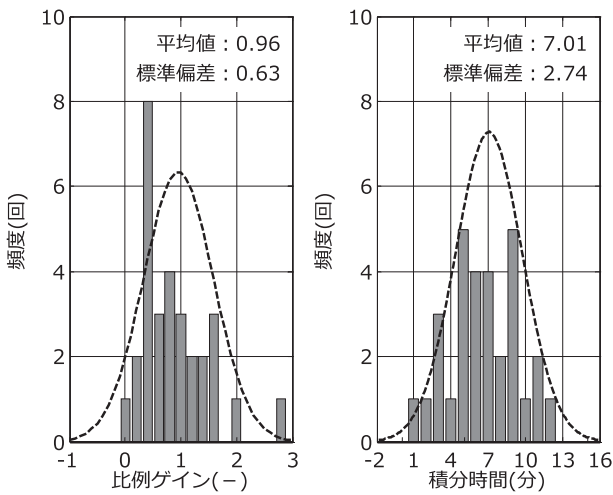


Fig. 4 Distribution of Control Parameters Obtained from Step Response Test

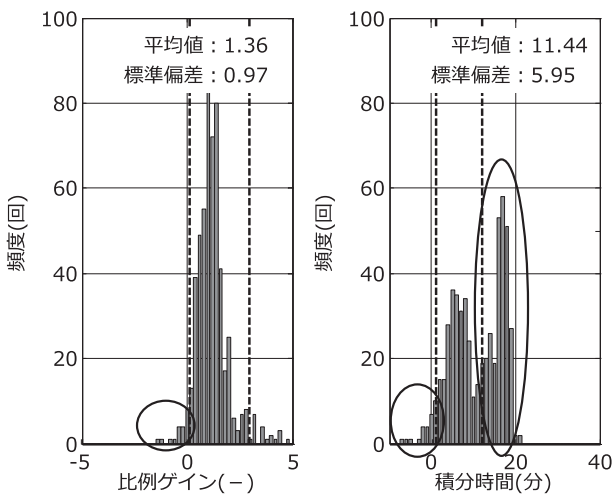


Fig. 5 Distribution of Control Parameters Obtained from FRIT Method Proposed in the Literature 13)

3.3 制御性能改善技術の評価

(1) 制御性能改善技術のパラメータ推定結果

平成 28 年 4 月 1 日から平成 29 年 3 月 31 日までの 1 年間の 2 系列の運用データ (730 ケース) に対し、制御性能改善技術で得られた制御パラメータの分布を Fig. 5 に示す。なお、実証期間中に工事等で操作量である曝気風量を一定にした場合や欠測値があった場合は評価の対象外とした。また、フィードフォワードゲイン γ の絶対値は比例ゲイン K_p と比較して約 3% 程度の小さい値であり、 $C_1(s)$ は $C_2(s)$ と比較して操作量への寄与が小さいため、評価の対象外とした。

(2) パラメータ推定結果の考察

〈制御パラメータの符号について〉

Fig. 5 に示すとおり、文献 13) の制御性能改善技術では、比例ゲイン K_p および積分時間 T_i が負値となるケースがあり、全 549 ケース中 12 ケースであった。推定した制御パラメータの正負の符号が適切でない場合、以下に示すように PI 制御が不安定になるリスク

が高まる。

例えば、前述のステップ応答試験で得られたゲイン K 、時定数 T 、むだ時間 L の平均値である 1.25、8.37、1.82 を式 (1) にあてはめたむだ時間+一次遅れプロセスに対し、12 ケース中の負のパラメータの 1 例である $K_p = -0.53$ 、 $T_i = -2.55$ を設定する。このとき、式 (2) の PI 制御でフィードバック制御するシミュレーションを行なうと、Fig. 6 に示すように不安定になってしまう。

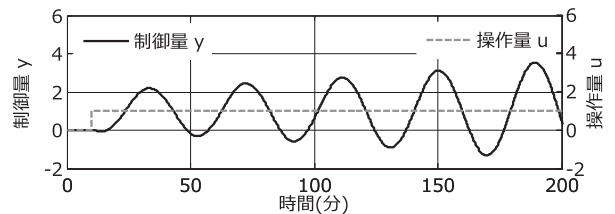


Fig. 6 Step Response Simulation for Negative Control Parameter Values

仮に不安定とならない場合であっても、実際のプロセスにおいては、制御出力の変化方向が正動作であるか逆動作であるかは事前に先見情報として得られることが多い¹⁸⁾。正逆動作が判別できれば、適切な制御パラメータの符号は先見情報として得られるため、制御性能改善技術の信頼性を向上させるためには、このような先見情報をもとに、推定するパラメータの符号を制約できることが望ましいと考えられる。

〈積分時間と DO 計測値の関係について〉

Fig. 5 に示すとおり、積分時間については 2 つの分布が重なっているように見受けられた。分布について調査した結果、制御性能改善技術が推定した積分時間 T_i は Fig. 7 に示すように 12 月頃を起点として推定値が小さくなる傾向が読み取れた。

実証試験では、曝気風量制御の省エネ効果を評価するため、Fig. 8 に示すように 12 月 20 日から I-1 池、I-2 池とも $\text{NH}_4\text{-N}/\text{DO}$ 制御にて低い DO 目標値で運

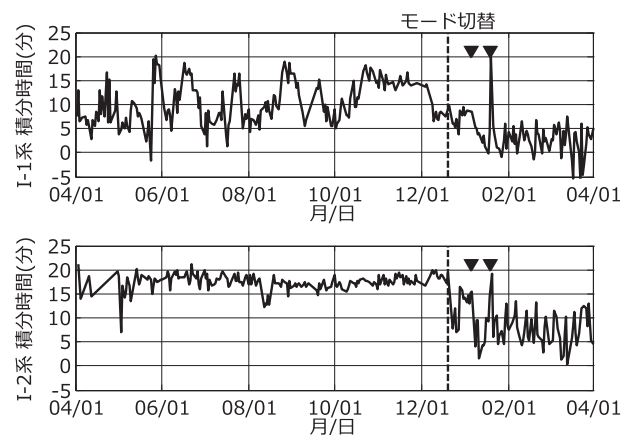


Fig. 7 Time Series Plot for Daily Average of Dissolved Oxygen and Integral Time Obtained from FRIT Method Proposed in the Literature 13)

とすることが有効であると考えられる。

もう一方の片端についても例えば、 $0 \leq K_p \leq 5$ (正動作) や、 $-10 \leq K_p \leq 0$ (逆動作) といった形でおおよその範囲は設定できると考えられる。片端が0であるため、比例ゲイン K_p の範囲はその絶対値の大きさに依存する。一般のコントローラでは、入出力信号を0~100%といった値に正規化して扱うことが多いため、比例ゲインの絶対値が100ということは考えにくく、大きくても10以下であることが多い。このため、コントローラの入出力信号の大小をある程度定量的に把握できていれば、例に挙げたような比例ゲインの範囲の設定は可能であると考えられる。もし、範囲を設定することが難しければ、 $-\infty \leq K_p \leq \infty$ と考える。ただし、無限大 ∞ は計算機で扱えないため、数値計算上、十分に大きな値を設定すればよい。

4.3 改良手法の評価

本節では、4.2節で検討した制御パラメータの設定範囲の検討をもとに、混合線形推定法による改良手法を評価する。

積分時間の設定範囲を $0 \leq T_i \leq 30$ とし、比例ゲインの範囲を無制約として混合線形推定法を実施した結果を Fig. 9 に示す。シグマ値 k は約 98% 程度が確率的に範囲内に含まれることを意図して $k=2$ を設定した。分布の形状からわかるとおり、積分時間 T_i の推定値はほぼ 15 分となり、先見情報として与えた確率分布の影響が推定結果に大きく寄与していると考えられた。この結果はシグマ値 $k=1$ としても同様であった。

以降、シグマ値 k の値を小さくする試行錯誤を繰り返し、代表的な結果について述べていく。まず、 $k=0.2$ とした結果を Fig. 10 に示す。Fig. 10 では、積分時間 T_i が $0 \leq T_i \leq 30$ の範囲にあり、積分時間 T_i が負値になることを回避できている。また、同時に比例ゲイン K_p が負値となることも回避できている。この結果から、混合線形推定法によってアルゴリズムを改良し、 k の値を調整することで負値を回避して制御性能改善技術の信頼性を向上できることを確認した。

しかしながら、得られた Fig. 10 の積分時間の分布には、制御性能改善技術に見受けられた2つの分布の重なり (Fig. 5) は確認できなかった。2つの分布が重なった傾向が適切であったとすれば、Fig. 10 の結果は、推定結果に先見情報が寄与し過ぎている可能性がある。

シグマ値 $k=0.05$ とした結果を Fig. 11 に示す。Fig. 11 の結果では、Fig. 10 と同様、積分時間 T_i および比例ゲイン K_p が負値となることを回避できている。従来の制御性能改善技術と比較して信頼性が向上していると考えられる。また、積分時間の分布に関して

2つの分布の重なりが確認でき、制御性能改善技術が示した分布の傾向を特徴として残している。そのため、Fig. 10 と比較して推定結果に寄与する先見情報の影響が小さくなっていると考えられる。

Fig. 10, Fig. 11 の結果から、混合線形推定法はシ

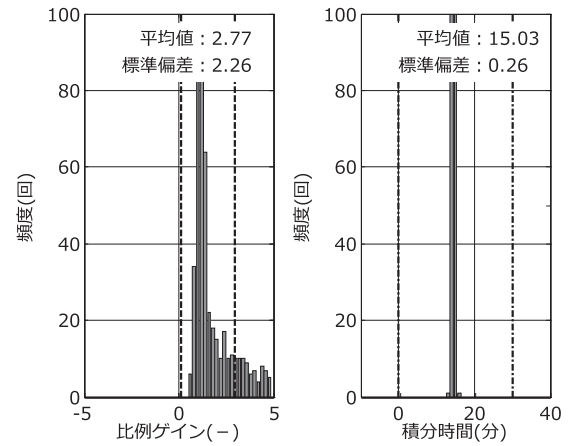


Fig. 9 Distribution of Control Parameters Obtained from Proposed Method Modified by Mixed Linear Regression Estimation ($k=2, K_p, 0T_i, 30$)

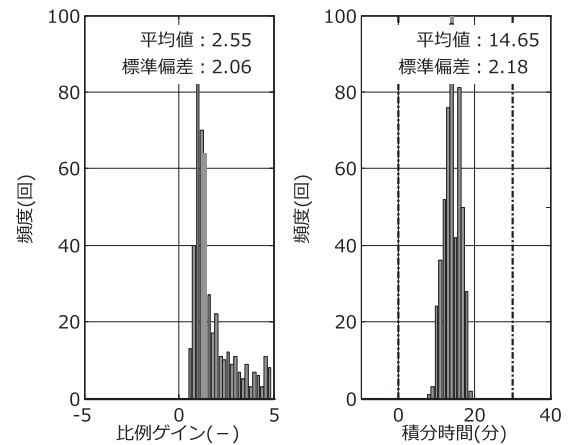


Fig. 10 Distribution of Control Parameters Obtained from Proposed Method Modified by Mixed Linear Regression Estimation ($k=0.2, K_p, 0T_i, 30$)

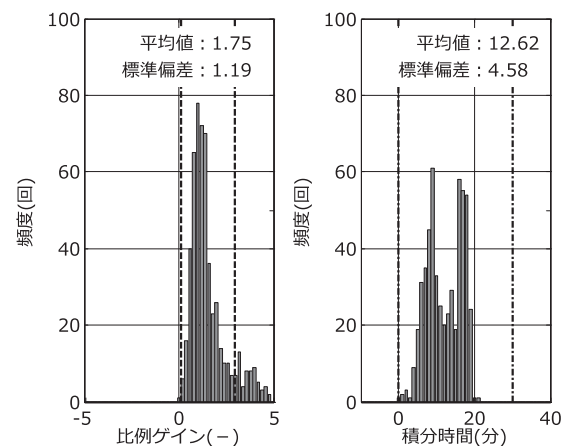


Fig. 11 Distribution of Control Parameters Obtained from Proposed Method Modified by Mixed Linear Regression Estimation ($k=0.05, K_p, 0T_i, 30$)

グマ値 k というパラメータによって、積分時間 T_i の制約の強弱を調整でき、従来の制御性能改善技術に対して推定パラメータに先見情報を反映させることが確認できた。一方で、積分時間 T_i の範囲を制約するのに伴って、制御性能改善技術の分布と比較して比例ゲイン K_p が高い値に分布するように推定されていると見受けられる。そこで、比例ゲイン K_p および積分時間 T_i に $0.10 \leq K_p \leq 2.93$, $0 \leq T_i \leq 30$ といった範囲制約を満たすようにシグマ値 k を調整した。得られた結果を Fig. 12 に示す。結果から、シグマ値 k を調整することで、比例ゲイン K_p および積分時間 T_i の両方の範囲に制約がある場合でも、混合線形推定法が有効であることが確認できた。また、Fig. 12 で示した結果を時系列にプロットしたものを Fig. 13 に示す。Fig. 7 と同様に、12月頃を起点として推定値が小さくなる傾向を保持していることも確認できた。

以上の結果から、混合線形推定法を導入し、シグマ値 k を調整することで制御パラメータが負値となることを回避できることが確認できた。また、シグマ値 k

は、推定結果に寄与する先見情報の強弱を調整する効果があり、2つの制御パラメータの範囲制約に対しても有効であることが確認できた。本論文では、シグマ値 k を試行錯誤によって変更しているため、今後の実用化に向けて、所望のパラメータ範囲とするためには、条件を満たすシグマ値 k を機械的に探索するようなアルゴリズムに改良することが有効であると考えられる。

5. ま と め

運転員による判断を必要としない PID パラメータ調整手法を実現するために、先見情報から推定パラメータの範囲を制約可能な混合線形推定法を導入して、制御性能改善技術を改良した。改良手法によって正負の符号が誤った不適切な制御パラメータの推定を回避できることを示した。実用化に向けては、混合線形推定法に設定したパラメータ範囲を満たすシグマ値 k を機械的に探索するアルゴリズムを導入することが有効であると考えられる。

謝 辞

本研究は、国土技術総合政策研究所の委託研究である B-DASH プロジェクト「ICT を活用したプロセス制御とリモート診断による効率的水処理運転管理技術実証事業」にて設置した実証施設を用い、(株)東芝・日本下水道事業団・福岡県・(公)福岡県下水道管理センターによる共同研究体にて実施したものである。国土技術総合政策研究所ならびにすべての関係者各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 総務省：公営企業の経営のあり方に関する研究会報告書 (2017)
- 2) 厚生労働省：新水道ビジョン (2013)
- 3) 国土交通省：下水道政策研究委員会 報告書～「循環のみち」の持続と進化～ 新水道ビジョン (2014)
- 4) 大音透：インテリジェント情報処理による上下水道プロセス制御への期待、環境システム計測制御学会誌, Vol. 7, No. 3, pp. 1-4 (2002)
- 5) M. C. Campi, A. Lecchini and S. M. Savaresi: Virtual reference feedback tuning: a direct method for the design of feedback controllers, *Automatica*, Vol. 38, No. 8, pp. 1337-1346 (2002)
- 6) 相馬将太郎, 金子修, 藤井隆雄: 一回の実験データに基づく制御器パラメータチューニングの新しいアプローチ—Fictitious Reference Iterative Tuning の提案, システム制御情報学会論文誌, Vol. 17, No. 2, pp. 528-536 (2004)
- 7) 加納学, 増田士朗, 小河守正, 滝波明敏, 吉井清次, 大寶茂樹: 化学プロセス産業における E-FRIT の展開, 計測と制御, Vol. 52, No. 10, pp. 898-903 (2013)
- 8) 加納学: プロセス産業における操作データ活用の実際, 電気学会論文誌, C, Vol. 131, No. 4, pp. 710-717 (2011)
- 9) 久下本秀和, 吉村誠司, 橋爪悟, 影山孝, 山本透: プラント

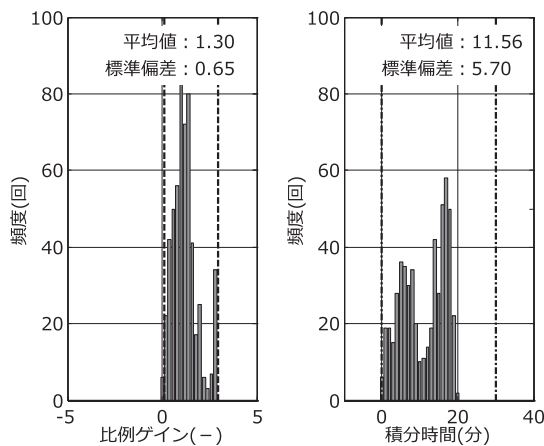


Fig. 12 Distribution of Control Parameters Obtained from Proposed Method Modified by Mixed Linear Regression Estimation ($0.10K_p, 2.93, 0T_i, 30$)

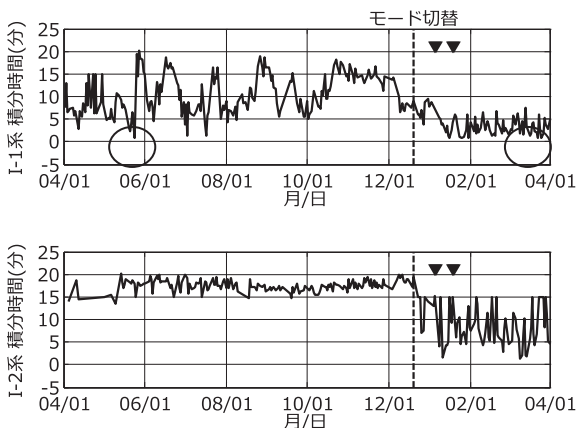


Fig. 13 Time Series Plot for Daily Average of Dissolved Oxygen and Integral Time Proposed Method Modified by Mixed Linear Regression Estimation ($0.10K_p, 2.93, 0T_i, 30$)

- 制御診断技術の開発と適用展開, 計測自動制御学会論文集, Vol. 47, No. 9, pp. 388-395 (2011)
- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所: ICTを活用したプロセス制御とリモート診断による効率的な水処理運転管理技術導入ガイドライン(案), 国土技術政策総合研究所資料第939号(2016)
- 11) 難波諒, 平岡由紀夫, 橋本敏一, 糸川浩紀, 井上英男, 矢野洋一郎, 板倉舞: 遠隔監視システムによる制御性能改善技術の実証と有効性評価, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 21, No. 2, pp. 60-64 (2016)
- 12) 増田士朗, 武田郷平: 外乱によって生成された入出力データを用いた外乱抑制FRIT法, 電気学会論文誌C, Vol. 131, No. 4, pp. 788-793 (2011)
- 13) R. Namba, O. Yamanaka, K. Yokokawa and T. Sugino: Fictitious Reference Iterative tuning for disturbance attenuation based on disturbance feed-forward and PID control, Proc. of Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS) 2014, pp. 371-376 (2014)
- 14) 須田信英: PID制御9/38, 朝倉書店(1992)
- 15) 須田信英: PID制御, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 59-65 (2004)
- 16) 須田信英: PIDの基本, チューニング則, PIDベースの高度制御, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 8, No. 3, pp. 49-55 (2003)
- 17) 北森俊行: 制御対象の部分的知識に基づく制御系の設計法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 15, No. 4, pp. 549-555 (1979)
- 18) 富田芳生: PID調節計のハードウェア, 計測と制御, Vol. 36, No. 11, pp. 800-807 (1997)
- 19) 中山慶一郎: パラメータに制約のある回帰推定について, 関西学院大学社会学部紀要, Vol. 38, pp. 59-63 (1979)
- 20) 安井清一: 統計的方法における最適化問題, オペレーションズ・リサーチ 経営の科学, Vol. 60, No. 12, pp. 714-720 (2015)

Improvement of PID Tuning Method for Remote Monitoring System

Ryo Namba¹⁾, Yukio Hiraoka²⁾, Toshikazu Hashimoto³⁾
Hiroki Itokawa³⁾, Hideo Inoue⁴⁾ and Yoichiro Yano⁵⁾

¹⁾ Toshiba Corporation

²⁾ Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation

³⁾ Japan Sewage Works Agency

⁴⁾ Fukuoka Prefecture

⁵⁾ Fukuoka Sewerage Management Center

† Correspondence should be addressed to Ryo Namba
(Toshiba Corporation E-mail: ryo.namba@toshiba.co.jp)

Abstract

This paper describes improvements of PID tuning method for remote monitoring system. This remote monitoring system was demonstrated on the project entitled Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology (B-DASH) in 2014 and 2015. It manages control parameters for feedback control such as PID by proposing new parameter values if necessary. Although this system can support operation of wastewater treatment plants, it requires confirmation of proposed parameters by operator. Hence, this paper improves reliability of the PID tuning method to realize automated remote tuning system.

Key words: ICT (Information Communication Technology), PID control, parameter tuning, operation & maintenance, B-DASH (Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology)