

〈研究発表〉

りん負荷量比例方式による凝集剤添加量の自動制御

池畑 将樹¹⁾, 蔵田 高大²⁾, 紙谷 侑樹²⁾, 湛 記先¹⁾

¹⁾(株)ウォーターエージェンシー 研究開発部

(〒162-0813 新宿区東五軒町3-25 E-mail: wa04-00009@water-agency.com)

²⁾(株)ウォーターエージェンシー

概要

A 下水処理場では反応タンク流出部に硫酸バンドを添加することで化学的りん除去を行っている。これまでは硫酸バンドを24時間定量添加しており、放流 T-P が一定基準値以下となるよう調整していた。一方、本施設では OR 制御により流入負荷変動に対応した送風量の自動制御を実施している。この技術を応用し、硫酸バンドについても OR と比例させることで間接的にりん負荷量比例方式とした凝集剤添加量の自動制御技術を考案したので報告する。

キーワード：りん除去、凝集剤、自動制御、FF-FB 制御、OR

原稿受付 2018.6.29

EICA: 23(2・3) 52-55

1. はじめに

1.1 背景

滋賀県内にある A 下水処理場（以下、当処理場：Table 1）は、放流先である琵琶湖への環境負荷低減のため、窒素・りんの高度処理が強く求められている。

りん除去の方法としては、主に凝集剤の添加による化学的りん除去が行われており、凝集剤には硫酸バンド（硫酸アルミニウム）が用いられている。平成 28 年度の運転実績では、処理水コンポジットサンプルにおける全りん濃度分析値は年間平均値で 0.21 mg/L、年間最大値で 0.30 mg/L と非常に低い値を維持してきた。これまで凝集剤の添加方式には 24 時間一定量を添加する定量方式が採用されており、日々の分析結果や全窒素・全りん計の測定結果に基づいて添加量を調整していた。

本報では、凝集剤添加の新たな試みとして、負荷量比例方式での自動制御を考案したので報告する。

Table 1 Outline of the plant

排除方式	分流式（一部合流式）
処理方式	I 系：凝集剤添加活性汚泥法（擬似嫌気） II 系：凝集剤添加担体利用循環式硝化脱窒法
処理能力	88,400 m ³ /日（日最大汚水量）
流入水量	56,480 m ³ /日（平成 28 年度実績）

1.2 凝集剤添加の課題

処理水の全りん濃度は、全窒素・全りん計によって中央監視室から常時監視している。凝集剤の添加量は処理水質が悪化しないよう経験的に設定されており、

高負荷にも対応できるよう設定してきた。このため、低負荷時にはある程度の余裕があると考えられた。また仮に処理水りん濃度が上昇した場合は人的対応によって添加量を増加させる必要があり、初期対応の遅れが懸念された。

1.3 凝集剤の添加方法

化学的りん除去に必要な凝集剤添加量の最適化を考えた場合、目標水質に応じて AL/P モル比を一定に保つことが望ましいとされている。一方で、下水処理施設においては生物学的りん除去が同時に進行していると考えられるので、処理状況に応じた凝集剤添加の最適化は非常に難しい課題である。

自動制御における代表的な添加方式である流量比例方式は、負荷変動にある程度追従できるが、水量変化のみに応じて凝集剤を添加するため降雨による流量増大時には凝集剤添加量が過剰になりやすい問題がある。

最も正確で無駄のない制御方式として負荷量比例方式がある。これは反応タンクから流出するりん負荷量に応じて凝集剤を添加する手法であるが、一般的に制御方式が複雑であり、実処理レベルではほとんど採用実績がない¹⁾。

筆者らは反応タンク流入負荷量をセンサーで把握し、曝気の自動制御を行うシステムをすでに当処理場に導入しており、この技術を応用することで間接的に負荷量比例方式とした凝集剤の自動添加技術を考案した。

2. 間接的な負荷量比例方式の検討

2.1 凝集剤添加停止試験

当処理場の反応タンクはⅠ系4池、Ⅱ系5池の計9池からなる。凝集剤は各系列1台のポンプで供給しており、系列内各池へは分配槽を用いて均等分配している。負荷量比例方式での凝集剤添加方法を検討するにあたり、まずは反応タンクを流出するりん負荷量を把握する必要があるが、実施設で添加された凝集剤は、返送汚泥や循環汚泥によって反応タンク内に滞留するため、通常の運転を行いながらりん負荷量を直接測定することは困難であると考えられた。そこで、2系列全9池の反応タンクのうち、1池で一時的に凝集剤添加を停止し、反応タンク流出りん負荷量を測定する試験を行った。この際、試験の影響で処理水のりん濃度が極端に上昇しないよう対象池のりん酸値が1.0 mg/L以下であることを確認しながら試験を行った。

Fig. 1 に試験時の構成を示す。試験対象はⅡ系の2号池とし、最終沈殿池入口付近にりん酸計 (WTW社製 P700IQ) を設置した。りん酸計は採水膜フィルターを通した試料に含まれるオルトリン酸を吸光光度法 (モリブデンイエロー法) により計測するもので、最短で10分間隔で計測することができる。なお、Ⅱ系の5池は返送システムを含めて全て独立しているため、基本的に他の池で添加した凝集剤が対象池に回り込むことは無い。

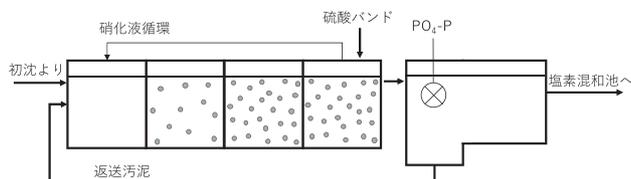


Fig. 1 Process flow for intermittent flocculant dosing test

Fig. 2 にりん酸計による測定結果を示す。りん酸値は凝集剤停止後すぐに上昇することはなく、およそ3日間経過後に上昇し始めた。このことから現状の添加量に余裕があることと、凝集剤の残留効果があることが確認できた。また、りん酸値上昇時には時間変動が認められ、流入りん負荷量の経時変化がやや遅れて反映されていると考えられた。凝集剤停止から10日後に添加を再開したところ速やかにりん酸値が低下した。約24時間後に再度凝集剤を停止したが、その後3日程度は極端なりん酸値の上昇は見られなかった。このときの凝集剤の流入水量あたりの添加量は、およそ30 mL/m³であり、流入水の溶解性りんを1.0 mg/L程度と推測するとAL/Pモル比で2.0程度に相当した。

なお、りん酸計の測定結果と手分析との比較をFig. 3 に示す。多少のばらつきはあるが、計測値は十分信頼できるものであった。

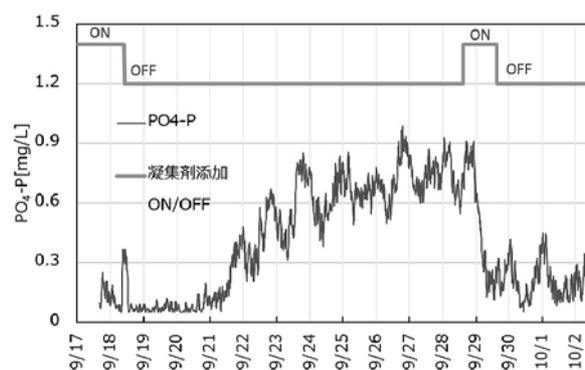


Fig. 2 Time-course PO₄-P concentration during intermittent flocculant dosing test

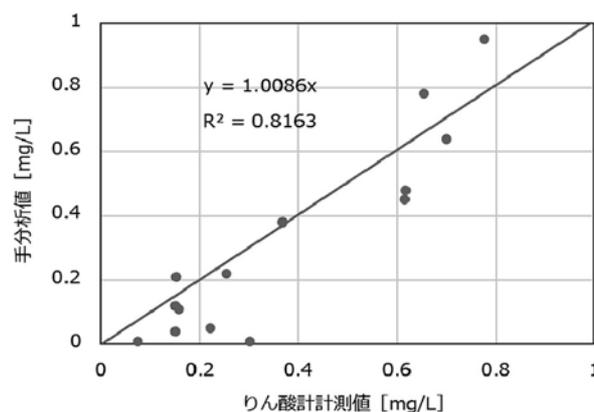


Fig. 3 Correlation of sensor measurement and manual analysis PO₄-P concentration values

2.2 必要酸素量と反応タンク流出りん負荷量の比較

当処理場では平成29年度よりエアレーションの制御にOR制御²⁾を用いている。OR制御とは、反応タンク内で必要とされる酸素量 (OR) を算出することで、送風量を制御する技術である。現在、Ⅱ系を対象に5台の風量調節弁と、2台のプロワ (吸込み風量) が自動制御されている。

制御の前段となるOR計算では、反応タンク流入部においてアンモニア計、濁度計、流量計などの計測値を用いて反応タンク流入負荷量 (BOD負荷量および窒素負荷量) を常時推定し、その処理に必要な酸素量 (以下、流入OR) を算出している。この際、反応タンクでの滞留時間や循環汚泥、返送汚泥による脱窒反応なども考慮されている。本報ではこの流入ORと反応タンクを流出するりん負荷量との関係に着目した。

Fig. 4 は当処理場で測定した反応タンク流入水のアンモニア性窒素とT-P及びオルトリン酸の相関図である。このように窒素とりの相関は非常に高いことがわかる。窒素負荷量の変化は流入ORに対する影響が大きいため、流入ORと反応タンクを流出するりん負荷量の経時変化についてもある程度近似するのではないかと推測された。

まず反応タンク流出りん負荷量の経時変化を確認し

た。これは化学的りん除去によって処理しなければならないりん負荷量の経時変化を把握するためであるが、前述したように凝集剤が添加された状態ではりん負荷量を直接実測することが困難である。

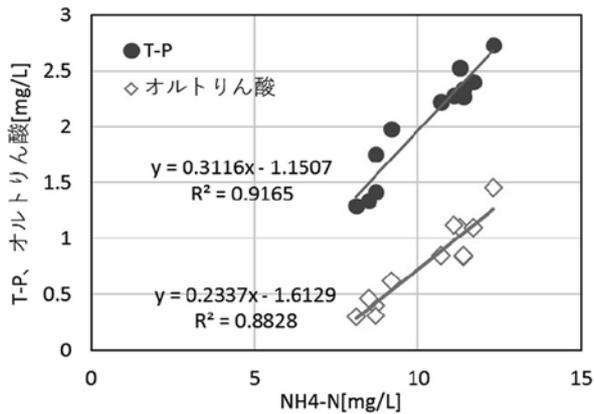


Fig. 4 Correlation between influent NH₄-N and T-P and PO₄-P

このため Fig. 2 で示した凝集剤添加を停止した試験において、反応タンク流出 PO₄-P 濃度が上昇している期間 (9/23~9/28) の濃度データを抜き取り、このときの反応タンク流出水量と掛け合わせて反応タンク流出りん負荷量を算出した。

24 時間の平均的な経時変化を求めたものを Fig. 5 に示す。また、あわせて流入 OR の代表的な経時変化を示す。流入 OR の代表的な経時変化は、夏季・冬季の各 1 週間データから、その時刻の平均値を求めたものである。りん負荷量と流入 OR の傾向は概ね一致していることがわかる。なお、反応タンク流出りん負荷量の経時変化を流入水量のみの経時変化と比較した場合、比較的近い傾向は示すが、降雨時に極端にかけ離れる問題が生じた。我々が流入 OR に着目したのは、この値が反応タンク流入水由来の濃度変化及び流量変化の両方を加味しているためである。

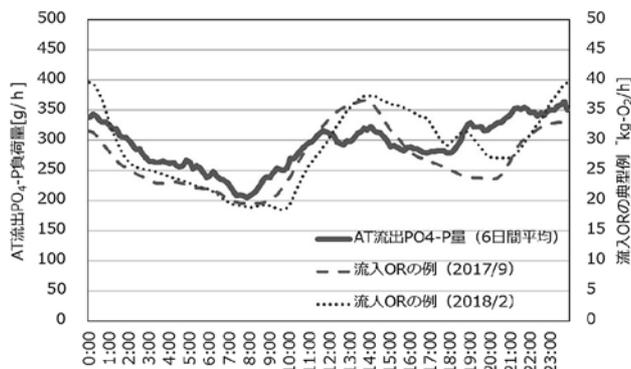


Fig. 5 Time-course phosphorous load and influent OR

2.3 自動制御の方法

これらのことを踏まえ、流入 OR に比例させることで間接的にりん負荷量比例方式とした凝集剤添加の自動

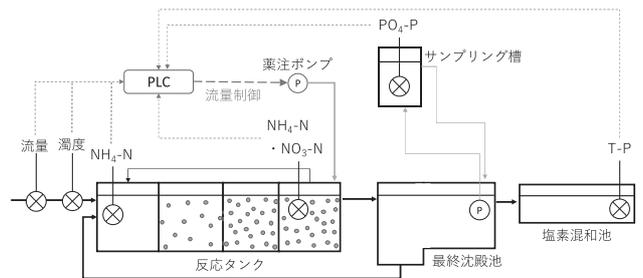


Fig. 6 Configuration of the automatic dosing control system

制御方法を考案した。システム構成を Fig. 6 に示す。

主な制御対象はⅡ系としたが、系列全体の溶解性りんの除去状況を把握できるように、りん酸計の採水膜フィルターはサンプリング槽内に設置し、最終沈殿池各池よりポンプアップした試料を 10 分間隔で測定した。

薬注ポンプの制御を行うため、機側盤の機能増設を行い、電気室に設置した PLC からのアナログ出力によって流量制御を可能とした。流量設定値の算出方法は、(1) 式のように流入 OR に対し、一定の係数 (K_{OR}) を掛け合わせて基本添加量とし、これに基づくフィードフォワード制御とした。りん酸及び T-P 計測値に応じたフィードバック制御については次章で実例データを用いて紹介する。

$$F_D = K_{OR} \times OR_{IN} + K_{PO} \times (PO_4 - PO_{4_set}) + K_{TP} \times (T-P - T-P_{set}) \dots \dots \dots (1)$$

- F_D : 凝集剤添加量 (mL/min)
- K_{OR} : 流入 OR 比例係数 (mL/gO₂) ※自動調整機能あり
- OR_{IN} : 流入 OR (gO₂/min)
- K_{PO} : りん酸値による補正係数 (mL/(min・(mgP/L)))
- PO₄ : 最終沈殿池におけるりん酸値 (mgP/L)
- PO_{4_set} : りん酸設定値(上限) (mgP/L)
- K_{TP} : T-P 値による補正係数 (mL/(min・(mgP/L)))
- T-P : 処理水 T-P 値 (mgP/L)
- T-P_{set} : T-P 設定値(上限) (mgP/L)

なお、主な制御対象としたⅡ系とは処理方式が異なるものの、流入水質や水量の経時変化が近似するⅠ系についてはⅡ系に準じた制御を行った。ただし、りん酸計を設置していないことから (1) 式第 2 項は除外した。Ⅰ系は嫌気ゾーンが無い擬似嫌気法であることから、生物学的りん除去が不利な状況にあり、流入 OR 比例係数 (以下、K_{OR}) を高めに設定して対応した。

3. 結果と課題

3.1 自動制御の実例

自動制御による凝集剤添加の実施例として、時間変動が確認できるよう3日間のデータを Fig. 7 に示す。

添加量は概ね 350~850 mL/min（上限 850 mL/min）で大きく変化しているが、生活パターンに起因した高負荷時間帯に、より多くの凝集剤添加が行われていることが分かる。りん酸設定値（上限）は 0.17 mg/L、T-P 設定値（上限）は 0.25 mg/L を採用したが、センサーによる計測値が設定値を上回った時間では、偏差に応じて自動的に凝集剤の補正添加が行われている。このフィードバック制御は、凝集剤が不足した場合の補助的な役割となるよう各項が正の場合のみ有効とした。このような短期的な補正機能は、りん上昇時の早期対応という点で有効であると考えられる。

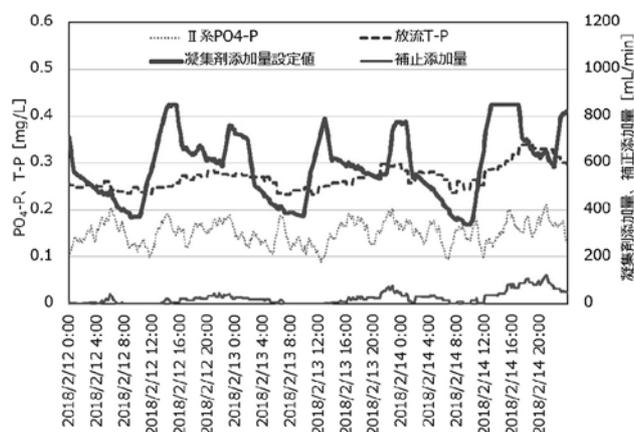


Fig. 7 Example of automatic control (3days)

3.2 KORの自動調整機能

次に、月間の凝集剤添加量の実施例を Fig. 8 に示す。図中の PO₄-P、T-P は日平均値、凝集剤添加量は日積算値である。この期間の凝集剤添加量は、凝集剤の必要量に対してやや余裕があったものと思われる。このため凝集剤添加量は徐々に減少しているが、これは流入 OR 比例係数である KOR の長期的な自動調整機能による効果である。

この自動調整機能は、Fig. 9 のように日ごとの短期的な補正機能による補正添加量に応じて自動調整される。補正添加量が上限値（50 L/日で設定）を超えると KOR が上昇し、逆に下限値（20 L/日で設定）を下回ると KOR が低下する。補正添加量に応じて KOR を調整することで基本添加量を補正する比較的単純な仕組みを採用しているが、長期的な運用により目標とする

水質に対する凝集剤添加量の最適化が図られることが期待できる。

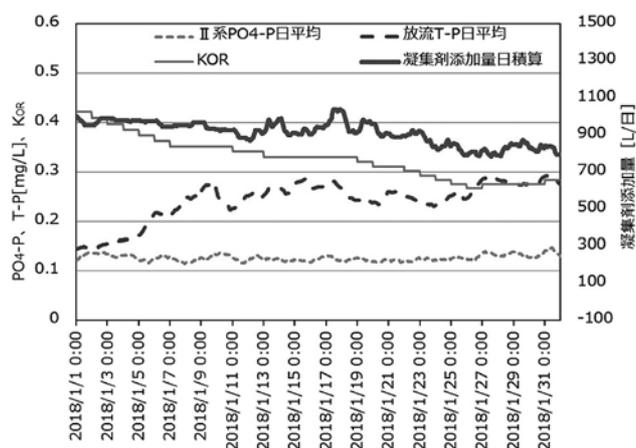


Fig. 8 Example of automatic control (Monthly)

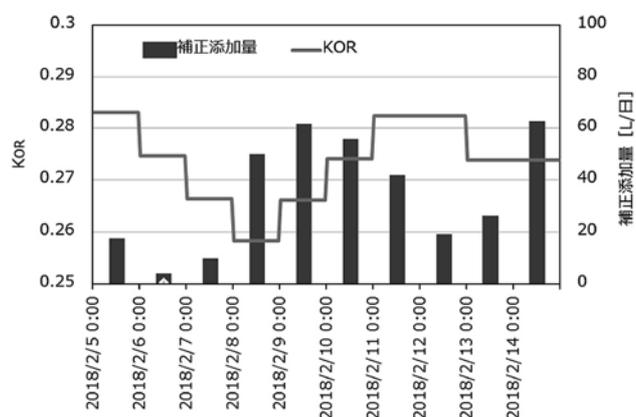


Fig. 9 Example data of automatic tuning for KOR

3.3 今後の課題

当処理場では目標とするりん濃度が非常に低く、センサーによる検出下限に近い場合、センサー校正や測定誤差の影響を強く受けている。また、放流先が琵琶湖であることから環境負荷の低減が重要であり、安易に凝集剤添加量を減らすリスクが取れないという背景がある。今後はよりニーズに合わせた自動制御が行えるよう、継続的に検証及び改善を行う予定である。

参考文献

- 1) 社団法人 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 後編 — 2009年版一, pp.194-197 (2009)
- 2) 湛記先, 小泉栄一, 黛将志, 川口幸男, 橋本敏一：流入水質のオンライン測定と酸素必要量 (OR) 計算に基づいた実下水処理場の曝気制御, 学会誌「EICA」, Vol. 17, No. 2/3, pp. 47-50 (2012)