

〈研究発表〉

必要風量の予測計算に基づいた曝気ブロワ運転台数の自動制御

湛 記 先¹⁾, 池 田 洋 平²⁾

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: jx-zhan@water-agency.com)

²⁾ 前(株)ウォーターエージェンシー
(〒162-0813 新宿区東五軒町3-25)

概 要

ICT技術は著しく進歩しており、下水処理場主要機器の自動運転の可能性が高まっている。しかし、多くの処理場においてブロワの台数制御はまだ自動化されていない。この自動化が達成されることで、下水処理場の水処理工程の完全自動運転が現実的なものとなる。筆者らは、予測風量計算とブロワ能力計算をもとにしたブロワ台数の自動制御に取り組み、実施設において1年間の実機運転を達成したので、結果を報告する。

キーワード：下水処理、曝気ブロワ、オン・オフ制御、酸素必要量、風量予測
原稿受付 2017.7.21

EICA: 22(2・3) 64-67

1. はじめに

多くの自治体において下水道事業は深刻な財政難にあり、団塊世代の退職に伴う次世代の下水道事業の担い手不足も深刻となりつつある。一方で、ICT技術等の進歩により、リアルタイム情報に基づく効率的な運転管理の可能性が高まっている。このような状況の中、下水道施設でも運転の自動化を進めることが、人件費削減や、担い手不足の解消に繋がると考えられる。

多くの標準活性汚泥法等（以下、標準法等）の下水処理場では、未だに人手を用いた24時間のオペレーションが行われているのが現状である。下水処理場で自動化されていない、または実用化されていない最も大きな制御対象の一つに、反応タンクの曝気に要するブロワの運転台数制御がある。この自動化を達成することで、下水処理場の水処理設備の完全自動運転が現実的なものとなる。また、負荷変動の大きい処理場では、不慣れなオペレータ手動操作によって制御した場合、台数増減の判断が遅れやすく、処理水質への影響や、エネルギー的に非効率な運転となる可能性がある。本報では、実施設におけるブロワ運転台数の自動制御に取り組み、1年間の実機運転を行った結果を報告する。

2. 検証の方法

2.1 検証対象

検証は、弊社が運転管理を行っているA処理場（Table 1）で行った。A処理場は硝化促進運転を行う嫌気-好気活性汚泥法である。制御対象としたのは、

Table 1 Outline of the plant

排除方式	分流式
処理方式	標準活性汚泥法
処理能力	31,800 m ³ /日
流入水量	12,500 m ³ /日
水処理系列数	3系列
使用系列数	2系列

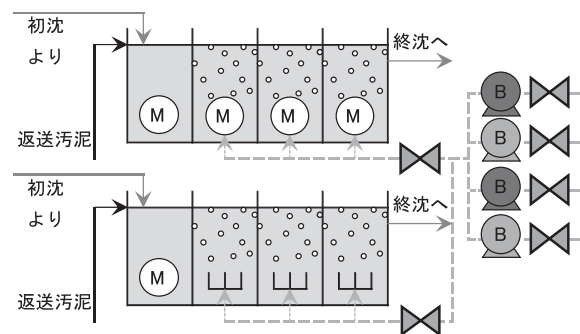


Fig. 1 Configuration of aeration system and reaction tanks

仕様上同等な吸込み風量能力を有し、並列に接続された4台の多段ターボブロワである（Fig. 1）。

A処理場は流入負荷変動が非常に大きいため、ブロワの吸込み風量はインレットベーン開度の調節だけでは調節し切れず、ブロワ運転台数も1日の中で1~3台と変更する必要がある。

また処理場には沈砂池が無く、流入水が場外ポンプ場から直接圧送される。場外ポンプ場の污水ポンプが間欠運転するため、反応タンクへの流入水量も短時間に大きく変動する（Fig. 2）。

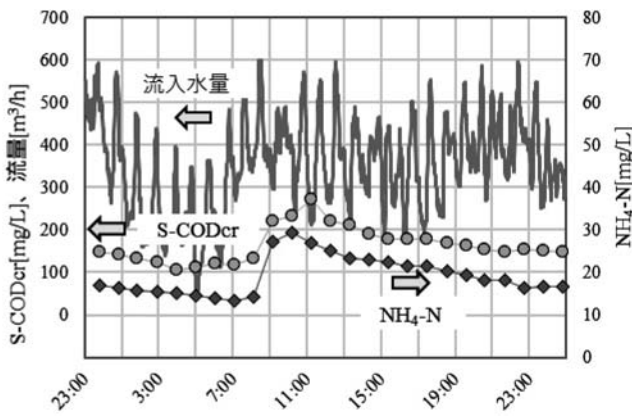


Fig. 2 Diurnal trend of influent flow rate and concentrations measured with sensors

2.2 制御方法

約1年間のオンラインシミュレーションと試運転を重ねた後、2016年3月よりブロワ運転台数の指示値を計算・出力する台数自動運転を開始した。曝気設備のオーバーホールなど特殊なケースを除いて、台数制御を自動で行った。既存の制御システムに付加したコントローラから出力した運転台数指令と、既存の制御システムで設定した各ブロワの起動順序に基づき、ブロワの運転・停止制御を行った。

2.3 ブロワ台数計算方法

筆者らが調べた限り、殆どの標準活性汚泥処理場において曝気ブロワの台数制御は、前述のように人間(オペレータ)によって行っている。その原因について、運転管理体制を除いて、技術面からは以下のことが考えられる。

- 第1、曝気運転そのものが自動化されていない。
- 第2、ブロワの吸い込み側と反応槽供給側の制御が一体化されていない。

第3、曝気運転が自動化されていたとしても、DO制御などのフィードバック制御しかない。フィードバック制御では、弁開度信号などに基づいて現在時刻のブロワ供給量の過不足が分かるとしても、将来の要求風量を把握できないため、ブロワ増減の適切なタイミングをコントロールできない。極端な場合は、頻繁なオン・オフ運転になりかねない。

第4、温度と圧力の影響、更に異なるブロワの組み合わせによるブロワ送風能力への影響を調査し、ブロワの能力範囲を把握しなければ、的確なブロワの台数切り替え運転ができない。

これらの問題を解決するために、筆者らは、OR制御に基づいて、現在時刻の必要風量と一定時間先の必要風量を計算し、ブロワ現在時刻の台数と増減した場合の台数条件での送風能力に合わせ、ブロワの台数を自動で制御する手法を開発した。

Fig. 3に示すように、ブロワ運転台数の計算は、①ブロワ吸込み風量の能力上限(以下、能力上限)、②現在反応タンクで要求している風量(以下、要求風量)、③一定時間後に反応タンクで要求すると予測される将来の要求風量(以下、予測風量)の、3つの要素を元に行った。

ブロワ運転台数の追加は、②要求風量と①能力上限(現時点の運転台数)との差が設定値を上回り、かつ、③予測風量と①能力上限(現時点の運転台数)との差が設定値を上回ることを条件に判断した。ブロワ運転台数の削減は、①能力上限(現時点の運転台数から1台停止)と②要求風量との差が設定値を上回るか、または①能力上限(現時点の運転台数から1台停止)と③予測風量との差が設定値を上回ることを条件に判断した。

また①能力上限は、仕様上は同等な能力であるが、

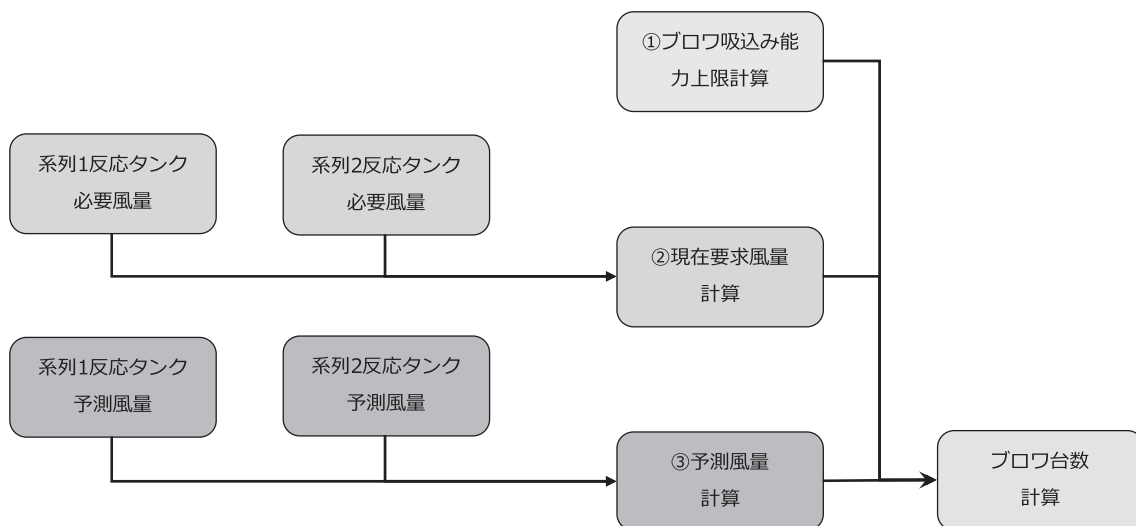


Fig. 3 Calculation diagram of the number of blowers

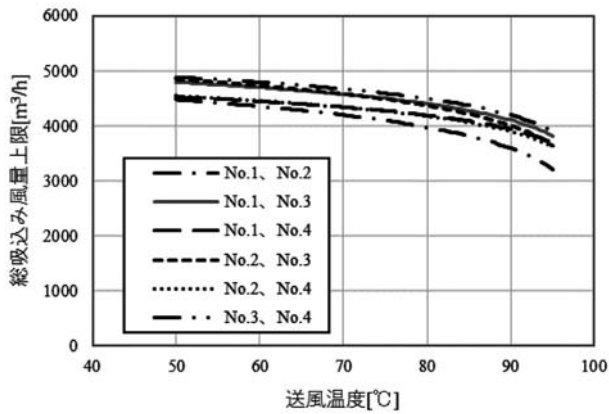


Fig. 4 Upper flow limit vs. temperature when two blowers are utilized

運転の組み合わせや、空気温度などに依存して変化する (Fig. 4)。そこで、ブロワ運転台数、運転号機の組み合わせ、送風温度をパラメータとし、常に①の能力上限を算出した。

2.4 予測風量計算方法

ブロワ運転台数の計算に用いる予測風量は、反応タンク曝気風量制御に用いた酸素必要量 (以下、OR) 制御の計算過程を応用した。OR 制御では、反応タンクで必要となる BOD の酸化に起因した OR、ケルダール窒素の硝化に起因した OR、活性汚泥の内生呼吸に起因した OR を求め、この和をとり、散気装置の性能曲線から必要な曝気風量を計算する。予測風量計算はこれを応用し、一定時間先の反応タンクへの流入水量と、BOD 濃度およびケルダール窒素濃度の予測値を用い、系列ごとに曝気風量を求め、合算してブロワ総吸込み風量を算出した。

3. 検証結果

3.1 自動制御の様子

Fig. 5 に自動制御開始前の、コントローラによるブロワ台数オンライン計算結果と、熟練したオペレータ

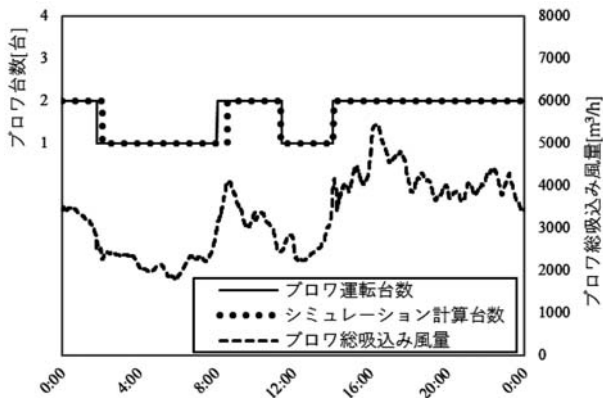


Fig. 5 On-line simulation of blower number compared with operation results by experienced operators (March 2, 2016)

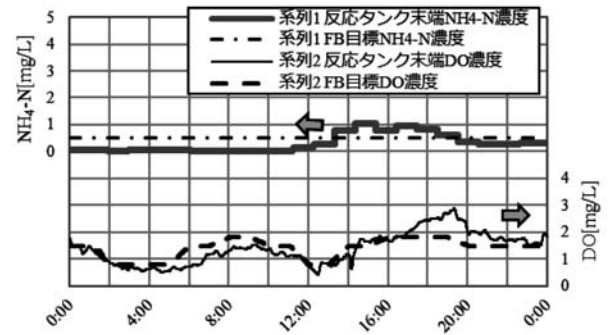


Fig. 6 Diurnal trend of $\text{NH}_4\text{-N}$ and DO concentrations (Jan. 25, 2017)

による運転の、1日の様子を例示する。オペレータとほとんど同様の台数増減の判断ができていている様子がわかる。

また、ブロワ吸込み風量と台数を計算するために、OR 制御によって各系列の曝気風量を算出した。その際、系列 1 は反応タンク末端 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を、系列 2 は反応タンク末端 DO 濃度を用いて曝気風量を補正した。

Fig. 6 に各系列反応タンクにおける目標水質 ($\text{NH}_4\text{-N}$, DO) と、それぞれのセンサー値を示す。いずれの系列も大きな負荷変動を受けたが、概ね目標値に沿った運転が出来ている。最終沈殿池で水質が更に平準化されるため、安定した処理水質が得られたと言える。これはブロワの台数制御と吸込み風量の自動制御による良好な結果である。

3.2 連続運転の結果

自動制御を開始して1年間、Fig. 6 の例のような安定した水質が得られたほか、自動台数制御によるエネルギー効率は、総吸込み風量別に求めた平均ブロワ運転台数で比較した。同じ風量条件では少ない台数で運転した方が、消費電力が小さいことから、この数値が小さい方がエネルギー効率の良い運転となる。Fig. 7 に同指標の、自動制御開始前2年間の平均値と、自動

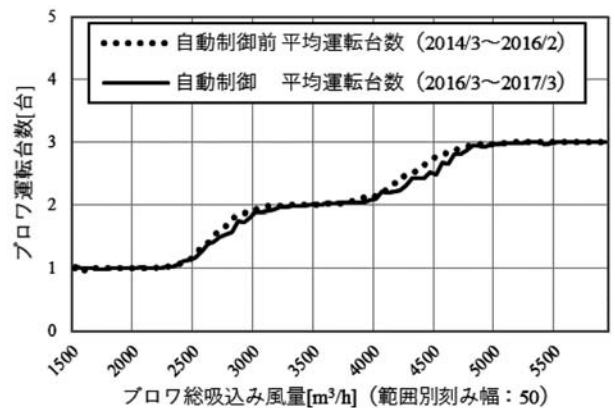


Fig. 7 Average number of blowers per air volume (Before automatic control: Feb., 2014 to Feb., 2016, Automatic control duration: Mar., 2016 to Mar., 2017)

制御開始後の1年間の平均値を示す。同じ風量条件において少ないブロワ台数で運転した場合、**Fig. 7**の曲線は図の右側に寄って行く。自動化前後の曲線を比較すると、概ね自動化前の水準と同等の数値か若干良い結果となっている様子がわかる。よって、エネルギー効率の面からも、台数自動制御はオペレータと同等かそれ以上の制御が達成できたといえる。

4. お わ り に

予測風量計算とブロワ能力計算を元に開発した、下水処理場におけるブロワ台数自動制御を、実施設において実現した。対象とした下水処理場は負荷変動が大きかったが、自動制御はこれにも対応し、1年間の実機運転を達成した。ブロワ台数の自動運転を加えた自

動曝気制御では、安定した処理水質が得られた。また、エネルギー効率の面でも、オペレータと同等かそれ以上の運転ができた。以上より、標準法等の下水処理場の、水処理設備完全自動運転の可能性を高めた。

参 考 文 献

- 1) Zhan, J. X., Ikehata, M., Mayuzumi, M., Koizumi, E., Kawaguchi, Y. and Hashimoto, T. 2013 An Aeration Control Strategy for Oxidation Ditch Processes Based on Online Oxygen Requirement Estimation, *Wat. Sci. Tech.*, 68 (1), pp. 76-82 (2013)
- 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)