

## 2-4-2 D0 計を用いた可変圧力制御による

### 送風電力量削減効果等の検証

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 安田 将太  
水谷 英樹  
(現 東京都下水道サービス株式会社)

#### 1. はじめに

東京都下水道局（以下「当局」という。）では、新たな地球温暖化防止計画の指針となる「アースプラン2023」を策定し、温室効果ガス排出量を抑制する新技術の開発や導入等の取組を強化している。

芝浦水再生センター（以下「当センター」という。）では、**図-1**に示すとおりセンター内電力量の約4割を送風機が占めており、削減が求められている。

そこで、送風機から反応槽までの空気本管に着目した新たな省エネ技術である「可変圧力制御」（以下「本制御」という。）について、実施設で検証を行い、一定の電力量削減効果が得られたため、その結果について報告する。

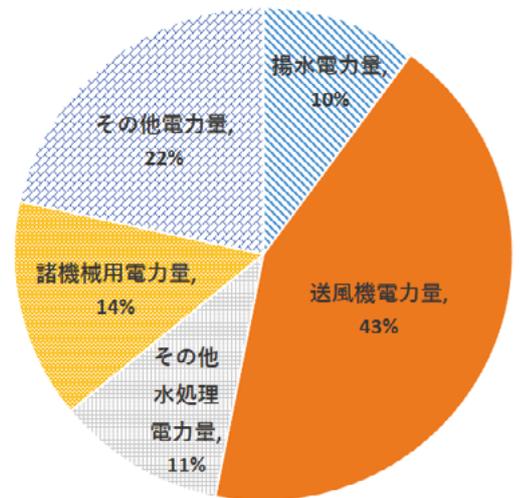


図-1 芝浦水再生センター電力量実績（2021年度）

#### 2. 送風機の可変圧力制御について

従来の圧力一定制御は、送風母管内の吐出圧力設定値（以下「設定値」という。）を一定とするのに対し、本制御は、反応槽のD0値を基に必要風量を求め、それを用いて設定値をリアルタイムに算出することで、負荷の変動に応じて適時圧力を可変させる制御技術である。**図-2**に示す送風機送気圧の式において、反応槽負荷が小さいときには要求風量が少なく圧力損失 $H_p$ が小さくなるため、送風機の吐出圧力を低く設定できる。

また、送風機消費電力は、**図-3**に示す概念イメージ式のとおり、吐出圧力の2乗に比例する。このことから、**図-4**に示すとおり、吐出圧力を低く設定できる本制御ではエネルギーロスが削減され、省エネルギー効果が期待できる。

$$P_Y = h + H_C + H_p + H_M + H_A + \alpha$$

$P_Y$  : 送気圧 (kPa)

$h$  : 水頭圧 (kPa)

$H_C$  : 空気ろ過機の通過抵抗 (kPa)

$H_p$  : 送気管の圧力損失 (kPa)

$H_M$  : 風量測定装置の通過抵抗 (kPa)

$H_A$  : エアレーション装置の通過抵抗 (kPa)

$\alpha$  : 余裕 (kPa)

図-2 送風機送気圧の式

$$\text{送風機消費電力 (kW)} = \frac{\text{送風量 (m}^3\text{)} \times (\text{吐出圧力 (kPa)})^2}{\text{送風機効率 (\%)}}$$

図-3 送風機消費電力の概念イメージ式

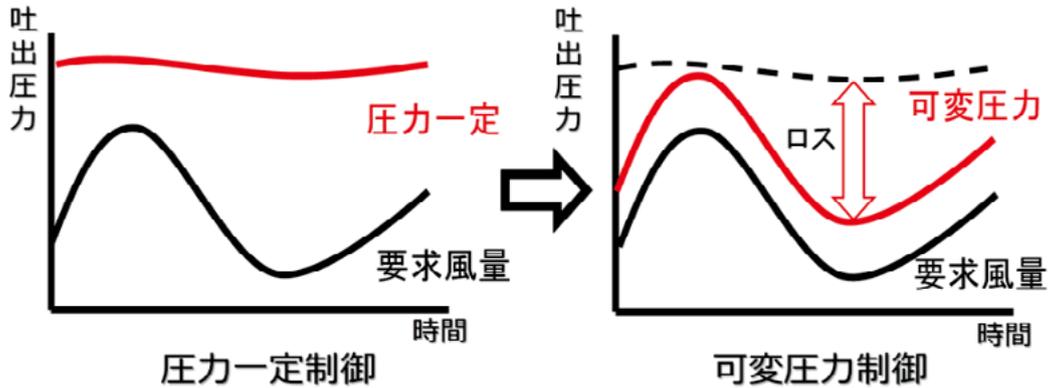


図-4 本制御の実施によるエネルギーロス削減の概念図

### 3. 実証内容

本実証は、簡易型共同研究で行った。

また、本共同研究の概要を以下に示す。研究期間は、2021年2月～2022年2月の13か月である。

#### 3.1 対象施設概要

本共同研究では、本系・西系水処理施設（以下「本系・西系」という。）及び東系水処理施設（以下「東系」という。）を対象として実証を行った。その諸元を表-1に示す。本系・西系及び東系においては反応槽の数や送風機の型式が異なることから、この2系列を対象とした。

表-1 本系・西系及び東系の施設諸元

施設名称	曝気方式/機種	数量
本系・西系 (合計 68 万 m <sup>3</sup> /日)	旋回流式深槽・浅槽反応槽 (本系)	12 槽
	旋回流式深槽反応槽 (西系)	2 槽
	送風機 (多段形)	5 台
東系 (合計 15 万 m <sup>3</sup> /日)	旋回流式深槽反応槽	3 槽
	磁気浮上式送風機 (単段形)	4 台

#### 3.2 D0 計を用いた本制御システムの構成

本制御のシステム構成を図-5に示す。圧力一定制御のシステム構成に、赤い破線部に示した本制御装置を追加するだけで、本制御を実現することができる。必要風量の演算には既設 D0 計を用いることから、既存施設を有効活用する観点で取扱いのしやすいシステムとなっている。

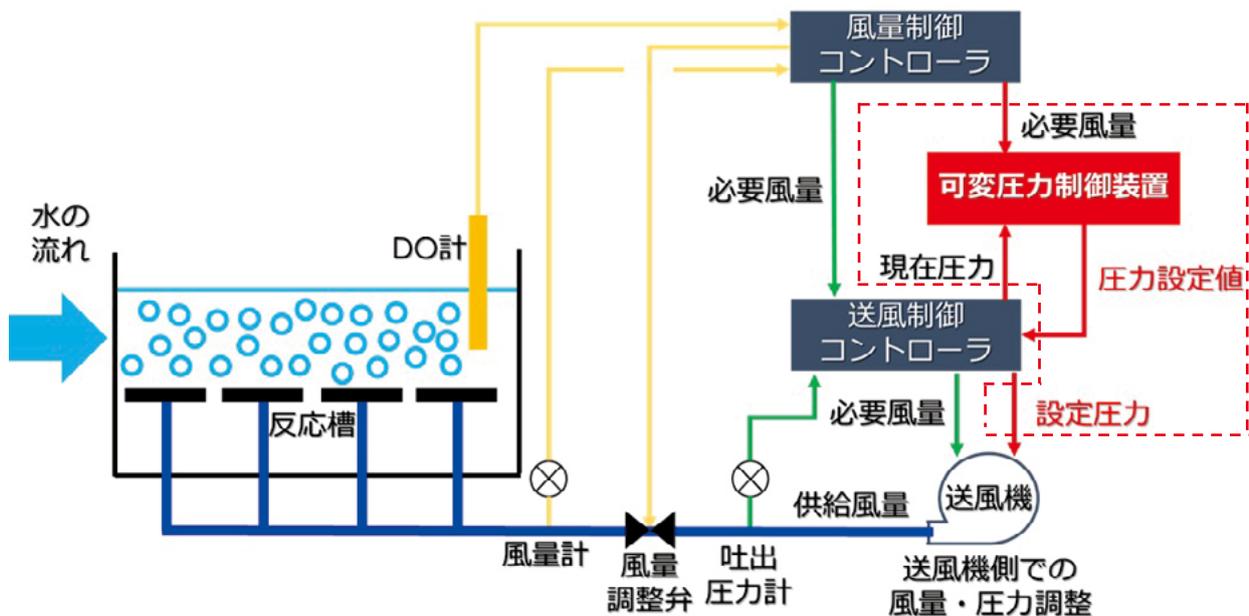


図-5 本制御のシステム構成

### 3.3 評価項目と目標設定

送風機設備における制御の運用を、圧力一定制御と本制御で交互に切替え、評価を行った。主な評価項目と目標値を表-2に示す。評価項目として次の3点を設定した。

表-2 評価項目と目標値

評価項目	目標値	
	本系・西系	東系
送風機電力量	2.0%以上削減	5.0%以上削減
制御の追従性	風量	偏差 5.0%以内*
	圧力	偏差 1.0%以内*
建設費のコスト回収	10年以内	

\*設定風量・圧力と供給風量・圧力の標準偏差

#### (1) 送風機電力量の削減効果

目標値は、過去のデータから削減率をシミュレーションした結果に基づき、系列ごとに設定した。シミュレーションに使用したデータは、送風機電力量、送風機吐出圧力、送風機風量、送風本管圧力、本系・西系風量、東系風量、各反応槽の空気調節弁開度である。

なお、系列ごとに電力量削減効果の目標値が異なる理由として、圧力一定制御での運用圧力の設定値の違いが挙げられる。

#### (2) 制御の追従性

目標値は、圧力一定制御と本制御が同等になるよう設定した。

#### (3) 建設費のコスト回収

電力削減量をもとに、建設費のコスト回収期間について評価した。建設費の内訳は、中央監視室の監視制御設備整備費（プラント監視画面等の変更）、本系・西系又は東系水処理の監視制御設備整備費（信号授受の構築）、圧力演算制御装置の設置費（圧力演算機能の構築）、工事費・一般管理費相当額である。ハード品は、圧力演算制御装置の本体が該当する。

なお、目標値については、耐用年数を考慮し10年以内と設定した。

#### 4. 実証結果

##### 4.1 本系・西系の実証結果（実証期間：2021年9月、2021年12月～2022年1月）

本実証期間中の運転実績を図-6に示す。当センターでは、送風機省エネ運用の取組として、吐出圧力を設計圧力52kPaから段階的に下げていき、現在46kPaにて運転している。このことから圧力一定制御時は46kPa一定で、本制御時には必要風量に応じて設定値が変動する運用として評価した。圧力一定制御による運用時には、46kPa付近で制御されているのに対し、本制御では概ね44～46kPa付近で変動しており、低い圧力での運転傾向が確認された。それぞれの運転期間毎の送風機電力原単位の平均値は、圧力一定制御では0.0200kWh/Nm<sup>3</sup>であったのに対し、本制御では0.0195kWh/Nm<sup>3</sup>となり、2.4%程度の原単位削減効果を確認することができた。

なお、制御の追従性について、設定値と供給値の差における標準偏差が、風量は3.9%、圧力は0.47%と、双方において目標値を満足する結果であることが確認された。

また、本実証期間中の放流水質を表-3に示す。本実証期間中の処理水質については、双方の制御において同等であることが確認された。

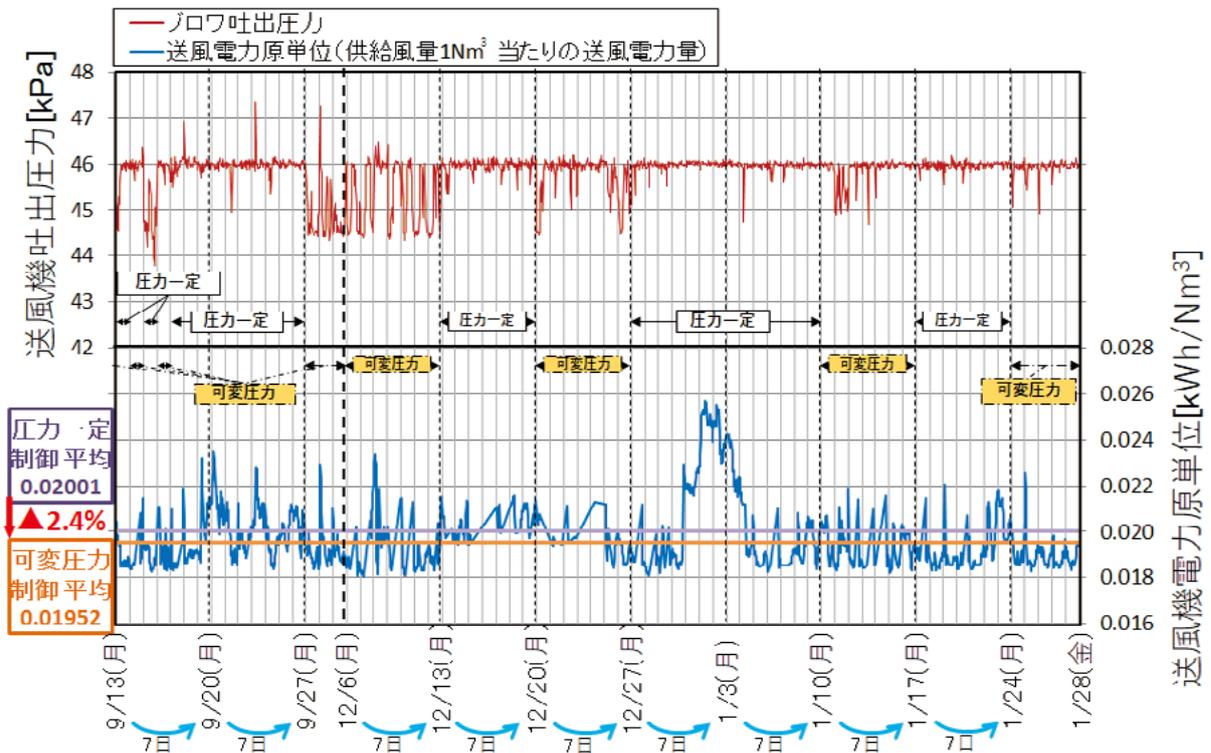


図-6 本系・西系の吐出圧力（上）と送風機電力原単位（下）

表-3 実証期間中の本系・西系放流水質

吐出圧力制御		放流水 T-N[mg/L]	放流水 COD[mg/L]	放流水 T-P[mg/L]
本系・西系 平均 (最小、最大)	圧力一定制御	14 (7.4～24)	10 (7.9～21)	0.6 (0.0～2.0)
	本制御	14 (7.4～21)	10 (6.2～18)	0.9 (0.0～2.4)

#### 4.2 東系の実証結果（実証期間：2021年2月～4月）

本実証期間中の運転実績を図-7に示す。圧力一定制御時には吐出圧力を65kPa一定とし、本制御時には必要風量に応じて設定値が変動する運用として評価した。圧力一定制御による運用時には、65kPa付近で制御されているのに対し、本制御では概ね59～62kPa付近で変動しており、本系・西系と同様に低い圧力での運転傾向が確認された。運転期間毎の送風機電力原単位の平均値は、圧力一定制御では0.0264kWh/Nm<sup>3</sup>であったのに対し、本制御では0.0236kWh/Nm<sup>3</sup>となり、10.5%程度の原単位削減効果を確認することができた。

なお、制御の追従性について設定値と供給値の差における標準偏差が、風量は2.0%、圧力は0.21%と、双方において目標値を満足する結果であることが確認された。

また、本実証期間中の放流水質を表-4に示す。本実証期間中の処理水質については、双方の制御において同等であることが確認された。

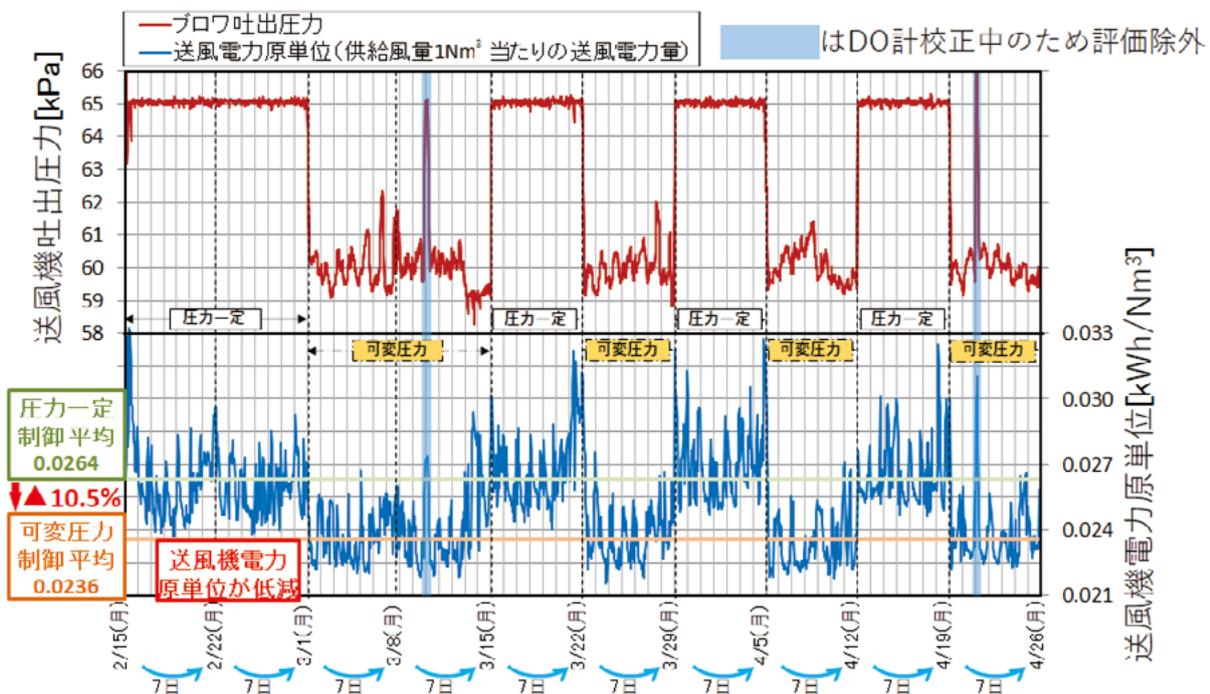


図-7 東系の吐出圧力（上）と送風機電力原単位（下）

表-4 実証期間中の東系放流水質

吐出圧力制御		放流水 T-N[mg/L]	放流水 COD[mg/L]	放流水 T-P[mg/L]
東系 平均 (最小、最大)	圧力一定制御	13 (3.7～23)	9.5 (5.3～12)	0.3 (0.0～2.1)
	可変圧力制御	13 (4.2～23)	9.8 (5.5～12)	0.3 (0.0～1.9)

## 5. 年間での送風機電力量削減効果

前項の実証結果を踏まえ、年間での送風機電力量削減効果を運転実績に基づきシミュレーションを行った。その結果を表-5に示す。

本系・西系では年間の送風機電力量削減効果が2.25%、東系では10.5%であり、今回行った実証結果と同程度の効果が試算された。

表-5 年間での送風機電力量削減

対象施設	対象年度	圧力一定制御 [kWh/Nm <sup>3</sup> ]	本制御 [kWh/Nm <sup>3</sup> ]	電力量削減効果 [%]
本系・西系	2021～2022年度	0.0199	0.0194	2.25
東系	2021年度	0.0270	0.0242	10.5

## 6. 年間でのCO<sub>2</sub>排出削減量評価結果

本系・西系と東系のCO<sub>2</sub>排出量削減効果を表-6に示す。

本系・西系のCO<sub>2</sub>排出量は年間320t削減（削減率2.25%）、東系のCO<sub>2</sub>排出量は年間220t削減（削減率10.5%）されるとの結果を得た。

表-6 年間でのCO<sub>2</sub>排出量削減効果

対象施設	制御方法	電力量 [千 kWh/年]	温室効果ガス [t-CO <sub>2</sub> /年]**	削減率 [%]
本系・西系	運用圧力46kPa一定	28,780	14,070	—
	本制御	28,130	13,750	2.25
東系	運用圧力65kPa一定	4,240	2,070	—
	本制御	3,790	1,850	10.5

\*\*CO<sub>2</sub>排出係数0.489t/千kWhを使用

## 7. 建設費のコスト回収結果

建設費のコスト回収結果を図-8に示す。電力料金単価が14円/kWhの場合、本系・西系では建設費を5.6年で回収でき、目標値の10年以内を満足する結果を得た。

本制御整備費用	47,630千円（監視制御・工事費含む）	} ▲8,590千円/年
維持管理費用	440千円/年	
電力料金	▲9,030千円/年	
回収年数	= 47,630千円 ÷ 8,590千円/年 = 5.6年	

図-8 建設費のコスト回収結果

## 8. まとめ

以上より、全ての評価項目において共同研究の目標を達成することができた。

DO計を用いた風量制御に本制御を適用することで、更なる省エネルギーを実現できる可能性がある。ただし、機場によって送風機や反応槽の構成等が異なるため、適用に当たっては、エネルギー削減量を含め費用対効果を考慮する必要がある。