

〈研究発表〉

下水処理場における省エネルギー対策の実施例とその効果について

山下 文与¹⁾, 土屋 隆史²⁾, 川津 利明²⁾

¹⁾ 株式会社 ウォーターエージェンシー (〒435-0016 静岡県浜松市東区和田町 859-1 ビジネスパークいけとも 5号室, E-mail:denki-sekkei@water-agency.com)

²⁾ 株式会社 ウォーターエージェンシー (〒162-0813 東京都新宿区東五軒町 3-25, E-mail:denki-sekkei@water-agency.com)

概要

筆者らは、これまで下水処理場を維持管理する立場から省エネルギー対策に積極的に取り組んできた。下水処理場のエネルギー使用量を現状把握するための「エネルギー消費配分表」の作成から始まり、省エネチューニングなどの運用改善を効率的に実施し、低コストながらも大きな省エネルギー効果を上げてきている。本報では、これまでの経験を踏まえ、実処理場で取り組みやすく、かつ効果の大きい具体的な省エネルギー対策の実施例をその効果と共に報告する。

キーワード: 省エネルギー、ピークシフト、見える化、運用改善、実処理場

1. はじめに

下水道の電力消費量は、下水道の普及および高度処理の増加に伴い増加傾向にあり、2004年度の下水道における電力消費量は、国内で消費される電力の約0.7% (約70億kWh)¹⁾に達している。

東日本大震災以来、電力供給が不安定になり、昨年は東京電力、東北電力管轄において電気事業法第27条に基づく15%の電力使用制限が発動された。下水処理場においては「制限緩和」措置が適用され、5%の電力使用制限に抑えられた²⁾が、今年は関西電力管轄で電力需給の逼迫が伝えられている³⁾。

このような社会情勢の中でも、下水道の目的である「公衆衛生の向上」や「公共用水域の水質の保全」など、これらは積極的に推進しなければならない。

本報では、下水処理場を維持管理する立場から実施した、効率的な省エネルギー診断手法や、これを踏まえた省エネルギー対策の実施例とその効果を報告する。

2. 推計モデルによるエネルギーの見える化

2.1 推計モデルによるエネルギー消費配分表

下水処理場は大規模であるほど機器点数が膨大である。また、ほとんどの処理場では電力量計も細かく系統分岐されていないため、どこでどれだけのエネルギーが消費されているのか不明なことが多い。

筆者らは効率的な省エネルギー対策のためには、処理場のエネルギー消費量の見える化を第一と考え、省

エネルギー対策のツールとして、推計モデルによるエネルギー消費配分表を作成した。

I 処理場の年間電力量割合を Fig.1 に示す。

Fig.1 に示すように、推計モデルでは下水処理場を設備ごと (ポンプ設備、送風機設備など) に大まかに分類する。省エネルギー対策を効率的に進めるためには、エネルギー消費量が多い設備から優先的に対策を検討することが重要である。

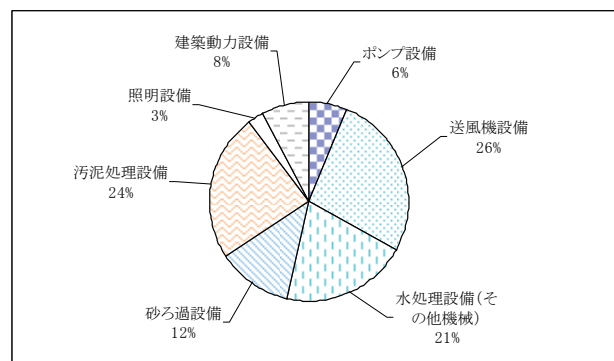


Fig.1: Ratio of annual power consumption by facility

次に I 処理場の機器一覧をもとに、以下に示す式により機器エネルギー消費量を算出し、Table.1 に示す設備区分ごとの機器単体におけるエネルギー消費配分表を作成する。

$$\text{機器単体容量 (kW)} \times \text{補正係数} (\times) \times \text{運転時間 (h)} \\ = \text{機器エネルギー消費量 (kWh)}$$

※これまでの診断実績から設定。例) VVVF 機器 0.3~0.9、送排風機器 0.6~0.8、減速機器 0.2~0.5 など

Table.1: Allocation of energy consumption based on the estimation model

推計モデルによるエネルギー消費配分表 (I 処理場) 2011年度

設備区分	機器名称	容量 [kW]	運転時間 [h]	係数	エネルギー消費量 [kWh]	小計 [kWh]	区内割合	全体割合
ポンプ設備	Na.1汚水ポンプ	11	3,960	0.5	21,781		44.9%	
	Na.2汚水ポンプ	11	3,921	0.5	21,568		44.5%	
	ポンプ井攪拌機	2.8	1,830	1.0	5,124		10.6%	
ポンプ設備機械 小計						48,473	100.0%	6.2%
送風機設備	Na.1送風機	22	77	0.6	1,016		0.5%	
	Na.2送風機	22	77	0.6	1,018		0.5%	
	Na.3送風機 (VVVF)	45	8,804	0.5	198,099		99.0%	
送風機設備機械 小計						200,133	100.0%	25.7%
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

このエネルギー消費配分表から、エネルギー消費量の大きい機器を抽出し、当該機器に対してのみ電力測定を実施することで、省エネルギー診断のデータ分析を効率化する。

2.2 推計モデルによる最大需要電力削減試算

現在、社会的要請により需要電力 (以下、デマンド) の削減が求められている。また、デマンドは電力契約において基本料金に直結するため、コスト削減の面からもデマンドの削減は重要である。

デマンド削減試算の手法としては、エネルギー消費配分表と同じくデマンドを見える化し、電力のピーク時間帯における設備・機器の運転状況を把握する。

下水道は人間生活が活発な日中に概ね流入のピークを迎えることから、通常、下水処理場におけるエネルギー消費量のピークも日中に形成される。

M 処理場のデマンドの日変化を Fig.2 に示す。

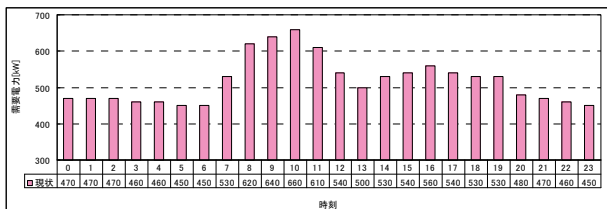


Fig.2: Hourly variation of power demand

M 処理場では午前中に消費電力の山があり、特に 9 時から 10 時の間にピークが形成されている。この場合、ピーク時間帯に運転している設備・機器で、一時的に停止が可能な機器や運転時間のシフトが可能な機器を抽出する。代表的なものとして、前者は脱臭ファンや消泡水ポンプなど、後者は機械濃縮機や汚泥脱水機などが挙げられる。

抽出した機器の一時停止 (ピークカット) や運転時間のシフト (ピークシフト) を組み合わせ、スケジューリングすることで、最適なデマンドの削減試算シミュレーションを実施する。

3. 省エネルギー対策

3.1 空気圧縮機の低圧力化

空気圧縮機は工場など、多くの施設で使用されており、多くの電力を消費している。下水処理場においても同様で、計装 (空気圧駆動機器) 用動力や砂ろ過器洗浄用および貯留槽攪拌用などに使用されている。

空気圧縮機の省エネルギー対策としては、空気漏れ対策および空気配管の単純化やループ化などが知られているが、これらの対策には部品費等のコストが発生する。しかし、低圧力化にはこれらコストが発生せず、簡単かつ効果的であるため、消費電力量が多い場合は最初に取り組むべき対策である。

モータ出力 15kW 以上の圧縮機は、大半が標準吐出圧力を 0.69MPa としている。しかし、現場状況によっては、0.69MPa までの圧力を必要としないことも多い。容積形 (スクリー・レシプロなど) 1 段圧縮機においては、吐出圧力を 0.69MPa から 0.59MPa に下げることにより、消費電力量が約 8%削減になる⁴⁾ことが知られている。経験上、出力 15kW 未満の圧縮機でも吐出圧力を 0.69MPa としていることが多い。

I 処理場の汚泥貯留槽攪拌用空気圧縮機を低圧力化した際の電力量を Fig.3 に示す。

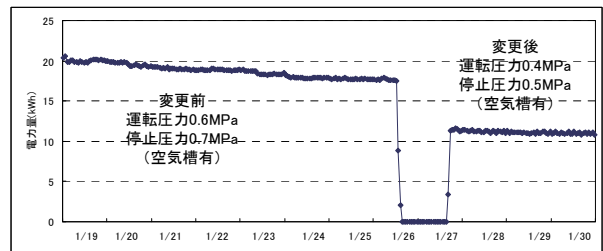


Fig.3: Power consumption by air compressor

貯留槽の管理液位の最大値は 3 メートルであり、現状の制御圧力 (0.59MPa~0.69MPa) を攪拌状況から過大と判断し、制御圧力を 0.4MPa~0.5MPa に変更した。

その結果、消費電力量は変更前が平均 18.8kWh、変更後が平均 11.1kWh であり、その削減電力量は 7.7kWh、削減率は約 41%であった。なお、心配された汚泥の堆積などの問題は生じていない。

その他、別の処理場で実施した空気圧縮機低圧力化の対策例を Table.2 に示す。

Table.2: Effect on power saving by lowering-pressure of air compressors

設備用途	変更前 圧力 (MPa)	変更後 圧力 (MPa)	変更前 電力 ^{注)} (kW)	変更後 電力 ^{注)} (kW)	削減電力 (kW)	削減率 (%)
薬品溶解用	0.39~0.69	0.3~0.5	1.5	1.3	0.2	13.3
焼却炉冷却用	0.59~0.69	0.4~0.5	24.0	21.0	3.0	12.5
砂ろ過洗浄用	0.4~0.7	0.4~0.6	3.3	3.0	0.3	9.1

注) 運転~停止間の実測平均電力

3.2 水中攪拌機の間欠運転

下水処理において生物学的窒素・りん除去を行うことは富栄養化抑制などの観点から重要である。

生物学的窒素・りん除去を促進するための無酸素槽や嫌気槽には、汚水と汚泥の混合・攪拌や汚泥の堆積・腐敗を防止する目的で水中攪拌機が設置され、常時運転されている。しかし近年の調査で、水中攪拌機を間欠運転した場合でも良好な処理水質が維持できる⁵⁾ またはりん除去機能がむしろ向上する⁶⁾ といった報告がされていることから、水質担当者と協同して間欠運転の実施に取り組んだ。

一池当たり4槽に区分され、前段の1槽目を嫌気槽としているB処理場において、水中攪拌機（プロペラ式）2台を連続運転から間欠運転に変更した際の削減電力量をTable.3に示す。

間欠運転は試験運用を経て、30分/1回×4回/日の日当たり計2時間が適切であると判断された。この結果、間欠運転による削減電力量は日当たり約130kWhであり、年間では約50,000 kWhであった。

Table.3: Reduction in power consumption by intermittent operation of underwater agitators

水中攪拌機	実測電力 (kW)	連続運転 (時)	間欠運転 ^{注)} (時)	連続電力量 (kWh/日)	間欠電力量 (kWh/日)	削減電力量 (kWh/日)
2-4-A	2.9	24	2	69.6	5.8	63.8
2-4-B	3.0	24	2	72.0	6.0	66.0
合計	-	-	-	141.6	11.8	129.8

注) 間欠運転は30分間×4回/日サイクル

試験運用中のある期間の水質データ (COD, SS, BOD) を Fig.4 に示す。B 処理場は高度処理を実施していないため、窒素・りんのデータは測定していない。

期間の半ば（楕円に囲まれたプロット）に SS, BOD の上昇が見られた。これは池点検による汚泥の巻き上がりや原因で、点検終了後は良好な状態に戻ったことから、水中攪拌機の間欠運転による水質への影響は無かったと判断された。

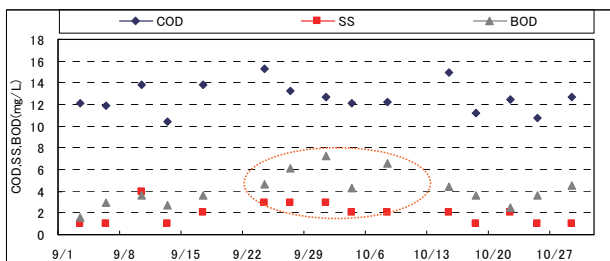


Fig.4: Changes in COD,SS, and BOD

3.3 消泡水ポンプの間欠運転

下水処理場において消泡水ポンプは、反応槽や最初沈殿池、最終沈殿池などに発生する泡やスカムを水で叩いて消泡・減少させるための機器である。よって、発泡やスカムが少ない状態であれば消泡水ポンプを連続運転する必要は無いと考えられる。

A 処理場の消泡水ポンプを連続運転から間欠運転に変更した際の削減電力量を Table.4 に示す。

消泡水ポンプは比較的容量が大きい機器であるため、間欠運転による電力削減効果は大きい。運転時間は発泡状況に応じて調整し、可能であれば日中の運転を避ける「ピークシフト」を考慮することで、より大きな効果が期待できる。

Table.4: Reduction in power consumption by intermittent operation of defoaming water pumps

設備	実測電力 (kW)	連続運転 (時)	間欠運転 ^{注)} (時)	連続電力量 (kWh/日)	間欠電力量 (kWh/日)	削減電力量 (kWh/日)
消泡水ポンプ	8.2	24	16	196.8	131.2	65.6

注) 間欠運転は8時間×2回/日サイクル

3.4 水路曝気の最適化

多くの下水処理場では最初沈殿池と最終沈殿池の入口と出口にある共用水路（返送汚泥水路なども含む）において、汚泥の堆積・腐敗を防止するために水路曝気を行っている。水路曝気は反応槽へ供給する曝気配管から細い枝配管にて分岐され、バルブなどで調整する方法が一般的である。

経験上、水路曝気は反応槽へ供給する曝気風量に比べて管理が行き届いていない。しかし、意外と風量を使用している場合が多いため注意が必要である。

原因としては、水路曝気風量のデータログがある処理場が稀で、さらには送風機の総吐出風量（または総吸込風量）と反応槽の曝気風量、双方のデータログが無い処理場もあり、水路曝気風量自体を把握できていないためと推測している。

筆者らは水路曝気風量の推計値として、送風機の総吐出風量（または総吸込風量）と反応槽の曝気風量との差を用いた。Table.5 に示すように、把握できている4箇所の処理場における推計水路曝気比率（推計水路曝気風量/総吐出風量）は15%以上であった。

Table.5: Estimated ratio of channel aeration to total aeration volume in 4 wastewater treatment plants

処理場	日平均汚水量 (m ³ /日)	推計水路曝気比率 ^{注)} (%)
C処理場	263,497	24
T処理場	77,850	17
B処理場	37,711	21
A処理場	2,122	29

注) 【推計水路曝気比率】=【水路曝気風量推計値】/【送風機吐出(吸込)風量】

Table.5 の A 処理場において反応槽曝気風量を維持しながら、水路曝気をチューニングした際の削減電力量を Table.6 に示す。

推計水路曝気比率を 28% から 14% に下げること、約 12% の電力を削減した。A 処理場の送風機はインバータ制御ルーツプロアであるため、インレットベーン制御や吸込み弁制御の送風機より電力削減効果が大きくなるのではないかと考えられる。

Table.6: Reduction in power consumption by reducing channel aeration rate at Plant A

設備	送風機吐出風量 (Nm ³ /h)	反応槽曝気風量 (Nm ³ /h)	推計水路曝気風量 ^(注) (Nm ³ /h)	推計水路曝気比率 (%)	実測電力 (kW)	削減電力 (kW)	削減率 (%)
No.4送風機	変更前	387	109	28	12.4	-	-
	変更後	306	42	14	10.9	1.5	12.1

注)【推計水路曝気風量】=【送風機吐出風量】-【反応槽曝気風量】

4. 最大需要電力削減対策

4.1 デマンド半減化

デマンド (kW) とは 30 分間の平均電力のことで、0 ~ 30 分と 30 ~ 60 分の 30 分間の時間で区切られている。

曝気機高速攪拌 (20kW × 2 台 = 40kW) を 30 分/1 サイクル × 7 サイクル/日の間欠運転としている MK 処理場 (オキシレーションディッチ) において、曝気機を 0 分から起動した場合と、15 分から起動した場合とのデマンドの相違を Fig.5 に示す。

運転時間が 0 分から 30 分の場合 (左側)、0 ~ 30 分の平均電力は 40kW、30 ~ 60 分の平均電力は 0kW である。運転時間が 15 分から 45 分の場合 (右側)、0 ~ 30 分の平均電力は 20kW、30 ~ 60 分の平均電力も 20kW である。これによる消費電力量の変化は無いが、デマンドは半減 (40kW から 20kW へ) する。

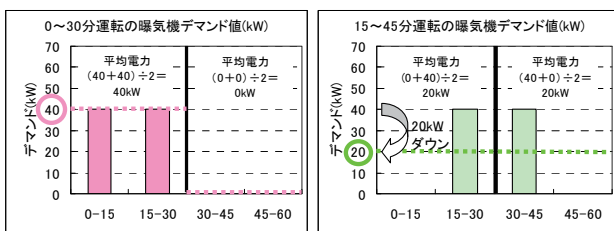


Fig.5: Reducing power demand by half

なお、通常運転しない大容量機器の試運転を高負荷時間帯に実施する場合などは、この手法を用いることでデマンドを抑制することができる。

4.2 デマンド監視・制御装置

デマンド監視・制御装置 (以下、デマコン) は取引用メーターからパルス信号を受信するため、電力会社と同様のデマンド管理が可能である。また、負荷制御ができ、デマンド上昇時に機器の運転を制御することで、運用改善によるデマンド削減効果を確実なものにすることができる。

負荷制御対象機器は短時間の停止が可能で、かつ、頻繁な運転停止が許容できる機器を選択する。

筆者らは、特に人為的にデマンド監視ができない非常駐現場への導入を進めている。デマコンによる削減試算を Table.7 に示す。

Table.7: Estimation of cost reduction by adopting demand controller

	負荷制御電力 (kW)	契約電力 (kW)	力率割引	基本料金 (円/月)	削減料金 (円/月)
制御未実施	0	100	0.85	135,235	-
制御実施	13	87	0.85	117,654	17,581

※基本料金単価: 1,591円/kW、契約電力: 100 kW、力率: 100 %、負荷制御機器: 水中攪拌機 (3 kW × 2 台) ・消泡水ポンプ (7 kW × 1 台) の計 13kW

5. おわりに

筆者らは様々な下水処理場において、無駄を徹底的に調査することで、運用改善を主体とする初期投資を極力抑制した改善策の提案を目指している。

最後に、省エネルギー対策を考える際、作業環境や水質、設備への影響を十分考慮し、部分的な試験運用から始めるとともに、しっかりとしたアフターフォローを行うことが重要である。今後も、確実な施設の機能維持と省エネルギーとの両立に努めて参りたい。

参考文献

- (社) 日本下水道協会: 下水汚泥エネルギー利用調査報告書, 下水汚泥関連事項の現状
<http://www.jswa.jp/energy/pdf/mokuji/03.pdf>
- 経済産業省: 電気事業法に基づく使用制限の具体的内容について, <http://www.meti.go.jp/earthquake/shiyoseigen/index.html>
- 関西電力: 今夏の需給見通しと節電のお願いについて, http://www.kepco.co.jp/pressre/2012/pdf/0519_1j_01.pdf
- 菅原養司郎, 小根山尚武: 空気圧システム, 月刊「省エネルギー」, Vol.63, No.9, pp.39-47 (2011)
- 住山淳, 井上高光, 恒吉敦, 木田孝一: プロペラ式水中攪拌装置の間欠運転に関する調査, 第 43 回 下水道講演会講演集, pp.31-33 (2006)
- 伊藤典大, 北谷道則, 及川孝仁: 嫌気槽攪拌機の停止に伴う水処理調査, 第 46 回 下水道講演会講演集, pp.679-681 (2009)
- 白井千雄: 新版電気管理入門, 必須知識 70 項, (2009), (財) 省エネルギーセンター