

下水処理場におけるエネルギー マネジメントに関する技術資料の概要

(財) 下水道新技術推進機構
資源循環研究部長
石田 貴

1. はじめに

平成 18 年 4 月の省エネ法改正により、エネルギー使用の合理化を更に進めることが求められている。省エネ法ではエネルギー消費原単位を年平均 1% 以上低減させることを目標としており、下水処理施設における特有の条件を考慮すると十分な合理化、改善を実行するには緻密な作業が必要である。

一方、図-1 に示すとおり、全国の下水処理場のエネルギー消費の動向は、原単位がほぼ横ばいであり、設備の省エネが進んでいないことが伺える。

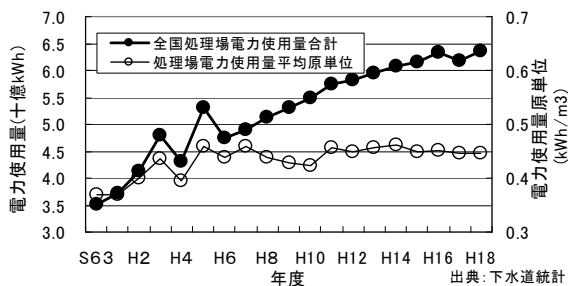


図-1 全国処理場電力使用量と原単位の推移

エネルギーマネジメントでは、下水処理施設での省エネに対する取り組みや課題を把握し、省エネ対策の技術的事項を整理するとともに、エネルギー管理・分析を行うことが必要とされる。本報告は、このための「下水・エネルギーマネジメントシステム (WEMS ; Wastewater Energy Management System)」について研究したものである。

2. 研究内容

エネルギー管理に求められる機能については、下水処理場へのヒアリング、アンケート調査をもとに、エネルギー管理の現状を把握し、必要機能を整理した。また、ケーススタディを実施し、エネルギー管理業務と WEMS の対象範囲を明らか

にし、基本的な利用方法を整理することにより、下水処理場向けエネルギー管理の機能と構成を設定した。

2.1 WEMS とその機能

従来の監視制御では施設のモニタリングと運転管理が主であるが、WEMS ではさらにエネルギーの使用状況把握とその評価、改善目標の設定を支援するツールを備える。

①台帳／帳票作成機能・データ入出力機能・グラフ作成機能

機器台帳とエネルギー管理をもとにデータを整理するとともに、運転データ等の必要データは通信機能により入力し、エネルギー使用量等のグラフを作成する。

②データベース機能

データベース機能は、下水処理場におけるエネルギー削減方法に関する技術資料を備え、対策案の抽出を支援する機能である。

③対策支援機能・エネルギー管理支援機能

図-2 に WEMS の機能構成を示す。

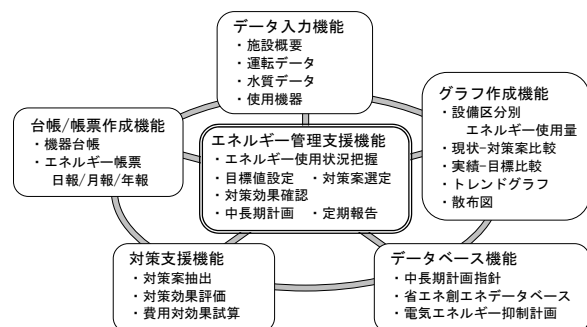


図-2 WEMS 機能構成

エネルギー管理支援機能では、①よりエネルギー使用状況と目標値を設定する。また、対策支援機能において①、②をもとに対策案の抽出と対策効果の評価資産・費用効果試算を行う。さらにエ

エネルギー管理支援機能において対策案の選定を支援し、結果を用いて中長期計画の作成や定期報告書の作成等の作業を支援するとともに、対策効果を検証確認する。

2.2 ケーススタディの流れ

(1) ケーススタディの目的

ケーススタディの目的は、ヒアリングとアンケート調査から得られた下水処理場の合理的なエネルギー管理方法について検討・確認し、WEMS機能にその内容を反映することにある。

具体的には、①エネルギー管理に必要な運転データ、管理データの選定、②対策案を抽出するためのデータの活用方法、③データベースの活用、④対策案が合理的かつ効果的であることを確認する方法等である。ケーススタディとWEMS機能との関係を図-3に示す。

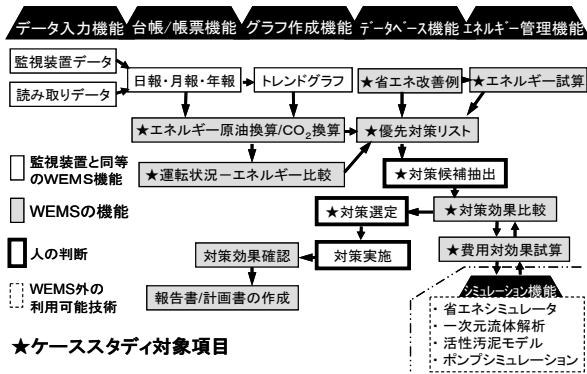


図-3 ケーススタディとWEMS機能との関係

(2) 優先対策案リスト作成手順

優先対策案リスト作成は図-4の手順で行う。「稼動容量」、「実施状況」、「技術的実現性」、「5年実施可能性」の各値を掛け合わせ一次評価点を算出する。一次評価点の高い方が対策案として効果的であり、高得点の項目を優先対策案とする。得点の高い項目についてエネルギー削減効果の評価・比較を行い、対策案として選定する。

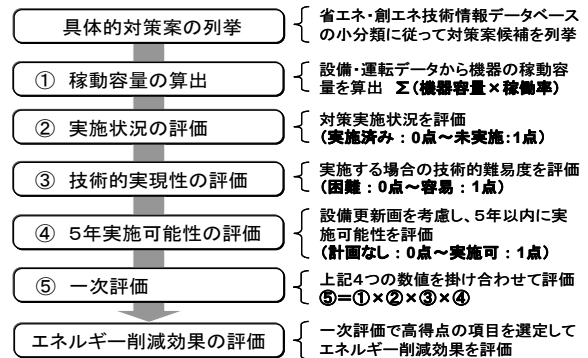


図-4 優先対策リスト作成手順

2.3 ケーススタディの実施例

(1) エネルギー使用状況

ケーススタディ処理場の概要とエネルギー使用状況を表-1に示す。各処理場は污泥処理が含まれるため、図-1に示した全国平均値 0.45kWh/m³に比べ、原単位が大きい。図-5に②主要な水処理設備容量の割合を示す。本施設では、曝気ブロー設備等の割合が大きいことがわかる。

表-1 ケーススタディ処理場の概要

| 検討対象設備 | ①ポンプ・沈砂池 | ②水処理 | ③水処理 | ④污泥処理 | ⑤污泥処理 |
|--------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---|--------------------|
| 排除方式 | 分流 | 分流 | 分流・一部合流 | 分流・一部合流 | 污泥処理のみ |
| 晴天時最大 | 343 千m ³ /d | 101 千m ³ /d | 273 千m ³ /d | 200 千m ³ /d | — |
| 処理方式 | 標準法+A ₂ O | 標準法 | 標準法+A ₂ O | ステップ ⁷ 多段硝化脱窒 | — |
| 計画汚泥量 | 1,578 m ³ /d | 4,577 m ³ /d | 5,877 m ³ /d | 8,150 m ³ /d | 120 t-ds/d |
| 污泥処理 | 濃縮・脱水・焼却 | | | | |
| 汚水処理量 | 90,075 千m ³ /年 | 24,516 千m ³ /年 | 65,317 千m ³ /年 | (1,626 千m ³ /年) | (27,130t-ds/年) |
| 原油換算 | 9,332 kℓ | 4,968 kℓ うち、新エネ 400kℓ | 9,478 kℓ | 9,980 kℓ (3,210 kℓ) | 5,600 kℓ |
| 原単位 | 0.415kwh/m ³ | 0.811kwh/m ³ | 0.581kwh/m ³ | 0.630kwh/m ³ (1.973kℓ /m ³) | (2.064kℓ /10t) |
| 特徴等 | ポンプ系が全体の8%。 | 水処理系が全体の55%。 | 水処理系が全体の44%。 | 污泥系の66%が焼却、濃縮が29%。 | 污泥系の46%が焼却、濃縮が19%。 |

※ () は、污泥処理に係わる値を示す。

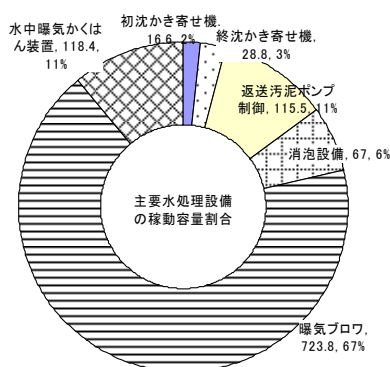


図-5 主要な水処理設備容量の割合 (②水処理)
(2)優先対策リスト

表-2 に②水処理設備に関する優先対策リスト一次評価例を、各処理場のケーススタディにおける優先対策リストの選定結果を表-3 に示す。各処理場とも、省エネ対策が検討されてきているため、今後5年程度でエネルギー管理者の立場からみたマネジメント項目は限られた状況にある。

表-2 優先対策リスト一次評価例

| No | 小分類 (具体的対策) | 稼働 容量 | 実施 状況 | 技術的 実現性 | 5年以 内実施 可能性 | 一次 評価 |
|----|----------------|----------|----------|------------|-------------------|----------|
| 1 | 自動間欠運転 初沈 | 16.6 | 1 | 1 | 1 | 17 |
| 2 | 自動間欠運転 終沈 | 28.8 | 1 | 0.25 | 1 | 7 |
| 3 | 引抜ポンプ回数削減 生汚泥 | 2.9 | 0.25 | 0.25 | 1 | 0 |
| 4 | 引抜ポンプ回数削減 余剰汚泥 | 1.9 | 0.25 | 0.25 | 1 | 0 |
| 5 | スカム捕捉効率向上 | 6.4 | 0.5 | 0.25 | 1 | 1 |
| 6 | 省エネかき寄せ機の導入 初沈 | 16.6 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 省エネかき寄せ機の導入 終沈 | 28.8 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | 返送汚泥ポンプ制御 | 115.5 | 0.25 | 1 | 1 | 29 |
| 9 | 消泡設備の間欠運転 | 67 | 1 | 1 | 1 | 67 |
| 10 | 送風量の適正化 | 723.8 | 0.5 | 1 | 0.5 | 181 |
| 11 | 超微細気泡散気装置採用 | 723.8 | 1 | 0.8 | 0 | 0 |
| 12 | 散気かくはん機の制御方法改善 | 118.4 | 1 | 0.25 | 1 | 30 |
| 13 | 送風管路圧損低減 | 723.8 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 14 | 過大塩素注入防止 | 1.5 | 0.25 | 0.25 | 1 | 0 |
| 15 | 汚泥引抜き濃度調整 生汚泥 | 2.9 | 0.25 | 0.25 | 1 | 0 |
| 16 | 汚泥引抜き濃度調整 余剰汚泥 | 1.9 | 0.25 | 0.25 | 1 | 0 |

※項目欄の評価については、図-4作成手順参照

(3)エネルギー削減対策の例(②水処理)

優先対策案リストの結果から、対策案として、①送風量の適正化、②消泡設備の間欠運転、③攪拌機制御方法の改善のうち、送風量の適正化についてエネルギー削減効果の例を以下に示す。

本処理場には、送風量制御として流入水量比例制御およびDO一定制御が導入されているが、流入水質の変動が激しく流入水量比例制御では処理水質を確保することが困難であり、また、DO一定制御については応答性が不十分であることを理由にどちらの制御も使用されていない。

改善方法として、反応タンク流入水の有機汚濁濃度をUV計で測定し、その値と流入水量の積で流入汚濁量を求め、流入汚濁量に比例した送風量に制御する方法がある(図-6)。

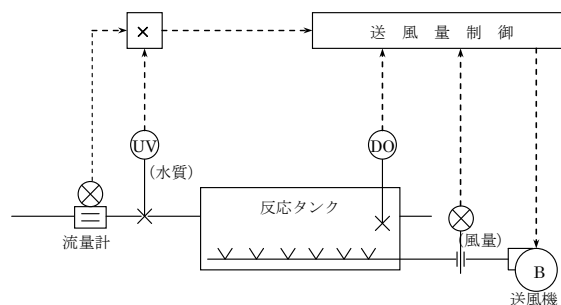


図-6 流入汚濁量比例送風量制御

類似制御システムの文献内容から流入汚濁量比例送風量を導入することにより送風量を約10%節減できると推定できる。また、曝気ブロウの年間エネルギー消費量は、設備の年間電力量約6,340,000 kWh から以下の通りエネルギー削減効果を試算できる。

削減電力量は、

$$\begin{aligned} \text{削減電力量} &= \text{電力使用量} \times 10\% (\text{削減見込率}) \\ &= 6,340,000 \text{ kWh} \times 0.1 = 634,000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

表-3 各処理場の優先対策リスト

| 検討対象設備 | ①ポンプ・沈砂池 | ②水処理 | ③水処理 | ④汚泥処理 | ⑤汚泥処理 |
|--------|----------------|-----------|-----------|------------------|-------------|
| 優先項目① | 主ポンプ自動制御・高水位運転 | 送風量の適正化 | 送風量の適正化 | 流動ブロー・誘引ファン回転数制御 | 脱水機汚泥搬送時間短縮 |
| ② | 省エネ電動機主ポンプ | 消泡設備の間欠運転 | 攪拌機制御方法改善 | 省エネ電動機の導入 | 省エネ型電動機の導入 |
| ③ | — | 攪拌機制御方法改善 | 返送汚泥ポンプ制御 | — | — |

これを原油相当量に換算すると

$$\begin{aligned} \text{原油換算} &= \text{削減電力量} \times (\text{昼間}(8 \sim 22) + \text{夜間}(22 \sim 8)) \text{kJ/kWh} \times \text{原油k}\lambda / \text{kJ} \\ &= 634,000 \text{kWh} \times \left(9,970 \text{kJ} \times \frac{14}{24} + 9,280 \text{kJ} \times \frac{10}{24} \right) \times 0.258 \times 10^{-7} \\ &= 158 \text{k}\lambda \end{aligned}$$

平成19年度の総エネルギー原油換算使用量は、表-1から4,968kλ，新エネ発電量が400kλであるから削減率は以下の通りとなる。この値はエネルギー消費原単位の削減率に相当する。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費原単位削減率} \\ &= 158 \div \{4,968(\text{総使用エネルギー}) - 400(\text{新エネ発電量})\} \times 100\% \\ &= 3.46\% \end{aligned}$$

また、この対策で削減できるCO₂は、今年度の対象処理場所在地の電気に対する換算係数0.481 kg-CO₂/kWhを用いて以下の通り算出できる。

$$\text{CO}_2 \text{削減量} = 634,000 \times 0.481 \div 1,000 = 305 \text{t} - \text{CO}_2$$

(4)結果

各処理場におけるケーススタディの結果を表-5に示す。現状のエネルギー原単位が大きな②および④については省エネ効果がみられる。しかし、検討対象である各処理場は、第一種エネルギー管理指定工場に該当し5年を経過するため、既に運転操作における改善対策が尽くされた感がある。そのため、年平均1%削減が困難である処理場では、更新計画の前倒し等の対応も必要と思われる。

2.4 ケーススタディのWEMSへの反映

ケーススタディの実施により、現状の下水処理場におけるエネルギー管理の課題が抽出された。

(1)監視設備機能の改善

エネルギー管理には、対象設備と項目毎に管理標準に準拠した管理計画が必要とされる。そのため、エネルギー使用に関する適切な書式データと判断が容易なグラフの作成機能などが要求される。

(2)更新計画・新エネ創エネ導入

年平均1%のエネルギー削減が困難な処理場が

存在する。温暖化対策等社会的効果を加味した更新計画の前倒しや新エネ・創エネ導入などの施策が必要である。

(3)処理水質の確保

送風量の適正化などでエネルギー削減を行う場合、処理水質の確保が必要である。検証方法の一つとして、活性汚泥モデルなどによる検証が考えられる。

3.まとめ

本研究では、ケーススタディを通して水処理・汚泥処理プロセスにおけるエネルギー消費量の現状把握、各設備のエネルギー消費の改善点把握のあり方について整理した。

その結果、エネルギー管理において、①監視設備機能の改善、②更新計画の前倒しや新エネ創エネ導入、③処理水質の確保などの必要性が考えられた。

本システムのハードウェアは、基本的に個別装置として配置するものである。WEMSは簡易なシステムであるが、導入にあたっては、要求・応答のプロトコルが一致していること（監視制御装置とWEMSが同一メーカー等）が必要であるため、監視システムの改築時における導入が最も有用とみられる。なお、本研究の成果は技術資料¹⁾としてとりまとめた。

謝辞

本技術の共同研究を実施して頂いた(株)日立製作所、(株)東芝、三菱電機(株)、メタウォーター(株)、(株)明電舎の各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 「下水処理場におけるエネルギーマネジメントに関する技術資料」(財)下水道新技術推進機構 2009

表-5 優先対策案のエネルギー原単位削減効果

| 検討対象設備 | ①ポンプ・沈砂池 | ②水処理 | ③水処理 | ④汚泥処理 | ⑤汚泥処理 |
|----------------------|----------|---------|-------|-------|--------|
| 削減電力量の原油換算値 | 40.9kλ | 234.5kλ | 134kλ | 303kλ | 29.0kλ |
| CO ₂ 削減効果 | 55.5t | 453t | 227t | 570t | 39.3t |
| 原単位削減効果 | 0.43% | 5.13% | 1.41% | 3.02% | 0.52% |