

〈研究発表〉

下水処理施設のためのエネルギーマネジメントシステムに関する研究

内田 賢治¹⁾，落 修一²⁾，石田 貴³⁾

(財) 下水道新技術推進機構 資源循環研究部 (〒162-0811, 東京都新宿区水道町3番1号, E-mail: k-uchida@jiwet.or.jp) ¹⁾

(財) 下水道新技術推進機構 資源循環研究部 (〒162-0811, 東京都新宿区水道町3番1号, E-mail: s-ochi@jiwet.or.jp) ²⁾

(財) 下水道新技術推進機構 資源循環研究部 (〒162-0811, 東京都新宿区水道町3番1号, E-mail: t-ishida@jiwet.or.jp) ³⁾

概要

下水処理施設は、下水や汚泥の処理過程で多量のエネルギーを消費する施設であり、処理の高度化と下水道の普及に伴い、エネルギー消費量は今後も増大する傾向にある。本研究では下水処理場の省エネ対策策定を支援する枠組みについて、処理プロセスにおけるエネルギー消費量の現状把握から、省エネ対策のあり方までを整理した。本稿では、フィージビリティ・スタディから求められた「下水・エネルギーマネジメントシステム(WEMS ; Wastewater Energy Management System)」の機能とケーススタディについて報告する。

キーワード: エネルギーマネジメントシステム (WEMS), エネルギー管理, 省エネルギー

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、Fig.1に示すとおり、全国の下水処理場のエネルギー消費動向を見ると、消費原単位はほぼ横ばいであり、設備の省エネが進んでこなかったことが伺える。

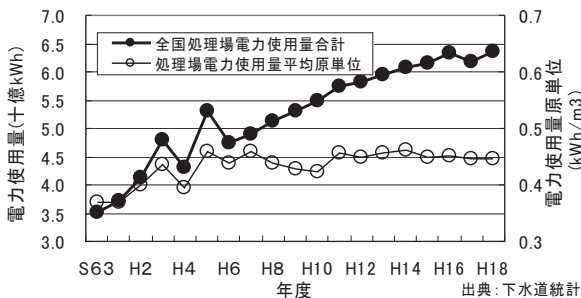


Fig.1 Transition of electric power and unit requirement in wastewater treatment plants in Japan.

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組みや課題を把握し、省エネ対策の技術的事項を提示するとともに、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.フィージビリティ・スタディ

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、アンケート調査を中心に、エネルギー管理の現状を調査し、状況を把握した上で必要とされる機能を整理した。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明らかにした。

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データ入出力機能・グラフ作成機能

エネルギー管理を念頭にデータを整理し、帳票やグラフを作成する機能である。

②データベース機能・エネルギー管理機能

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。

エネルギー管理機能はエネルギー使用状況の把握、評価に基づいて改善目標の設定を行い、省エネ手段の選定では、データベース機能を用いた対策案の選定とその効果を予測する必要がある。

③対策支援機能

Fig.2にWEMSの機能構成を示す。①、②の機能を

統合し、改善目標の設定や対策案の優先度評価、対策効果の確認、費用対効果の試算機能を有し、対策案の抽出、選定を支援する。また、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機能である。

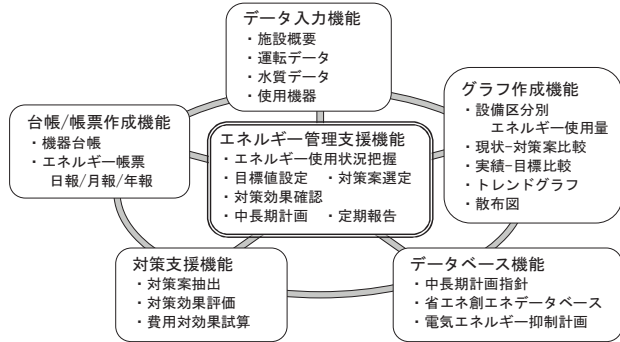


Fig.2 Composition of WEMS function.

2.2 ケーススタディの流れ

(1) ケーススタディの目的

ケーススタディでは、ヒアリングおよびアンケート調査により得られた下水処理場における合理的なエネルギー管理方法を検討、確認し、WEMS機能にその内容を反映することを目的に行った。

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利用方法、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Fig.3に示す。

(2) 優先対策案リスト作成手順

優先対策案リスト作成はFig.4の手順で行う。「稼働容量」、「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。

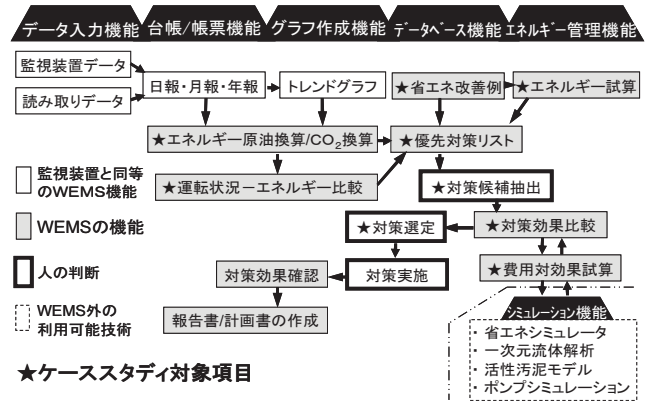


Fig.3 Case study and WEMS function composition.

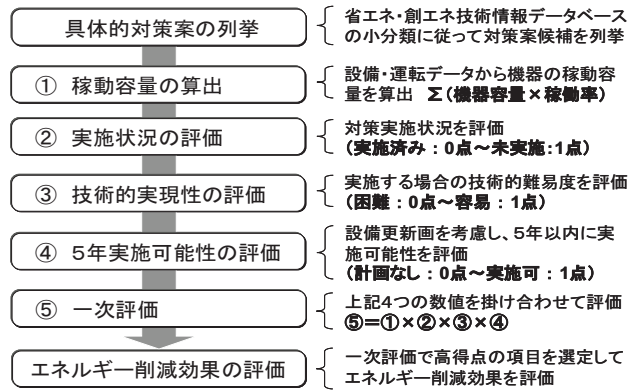


Fig.4 Technique to make a list of the means to have priority.

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Table 1に示す。各処理場は汚泥処理が含まれるため、Fig.1に示した全国平均値0.45kwh/m³に比べ、原単位が大きい。Fig.5に④汚泥処理設備におけるエネルギー使用状況を、Fig.6にその内訳を示す。本施設ではエネルギー原単位の減少傾向がみられ、焼却設備のエネルギー使用量に占める割合が大きいことがわかる。

Table 1 The summary of wastewater treatment plants for the case study.

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
排除方式	分流	分流	分流・一部合流	分流・一部合流	汚泥処理のみ
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 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
汚泥処理	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	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 (1.973 kℓ/m ³)	(2.064 kℓ/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%。	汚泥系の66%が焼却、濃縮が29%。	汚泥系の46%が焼却、濃縮が19%。

※ () は、汚泥処理に係わる値を示す。

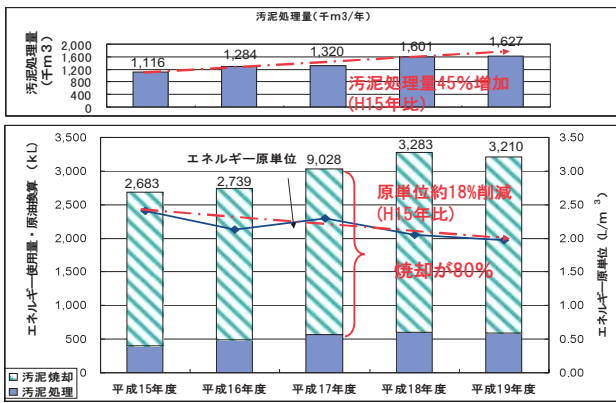


Fig.5 Case of energy use situation on wastewater treatment plant of④to Table 5.

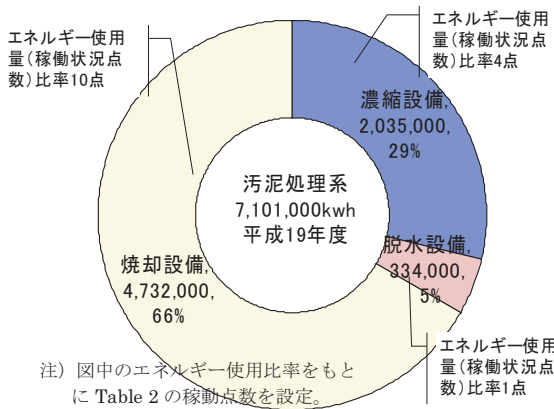


Fig.6 Case of energy use situation on wastewater treatment plant of④to Table 5.

(2)優先対策リスト

Table 2 に④汚泥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 Table 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。

(3)エネルギー削減対策の例(④汚泥処理)

優先対策案リストの結果から、対策案として、①流動ブロワ・誘引ファン回転数の自動制御、②省エネ型電動機の導入のうち、流動ブロワ・誘引ファン回転数の自動制御についてエネルギー削減効果の適正化の例を以下に示す。

焼却炉に投入する脱水汚泥の性状範囲が広い場合や、投入汚泥量を変動させる場合は、自動制御システムを活用して、発熱量に合わせた燃焼空気量や流動用空気

Table 2 Case of listing priority plan by the first stage evaluation.

大分類	項目 小分類 (具体的対策)	①稼働状況		②実施状況	③技術的実現性	④5年以内可能性	⑤一次評価
		点数	効果				
濃縮設備	濃縮性の向上	4	3	0	1	0	0
	固形物回収率の向上	4	3	0	1	0	0
	凝集剤の注入	4	2	1	0	0	0
	省エネ型濃縮機の導入	4	3	1	1	0	0
脱水設備	切り替えに伴う運転時間短縮	1	1	0	1	0	0
	前処理における薬注制御	1	1	1	0	0	0
	凝集剤添加における固形分比例制御	1	1	0	0	0	0
	脱水汚泥の低含有率化	1	3	1	0	0	0
	機械脱水動力の低減	1	3	1	1	0	0
焼却設備	燃焼空気量制御の改善	10	1	0	0.5	0	0
	流動ブロワ・誘引ファン回転数の自動制御	10	2	1	1	0.2	4
	汚泥負荷の適正化	10	1	0	0.5	0	0
	省エネ型の燃焼方式の採用	10	3	0.5	0.5	0	0
	断熱強化	10	1	1	0.5	0	0
	熱媒体の漏洩防止	10	1	1	0.5	0	0
	高効率型脱水機の導入	10	3	1	1	0	0
	乾燥工程の導入	10	2	1	1	0	0
省エネ型電動機の導入	10	3	1	0.5	0.5	7.5	

※項目欄の評価については、Fig.4 作成手順参照

量を調整することが必要となる。この変動を流動ブロワや誘引ファンの回転数制御(インバータの導入)で既存設備に適用可能であれば、省エネルギーが期待できる(Fig.7 参照)。

本処理場では3台の汚泥焼却があり、2号機・3号機が運転、1号機が予備となっている。

汚泥焼却設備の電動機改善に伴う省エネ効果検討は、2号機、3号機の流動ブロワ・誘引ファンを対象とし、その電動機容量および運転時間を Table 4 に示す。

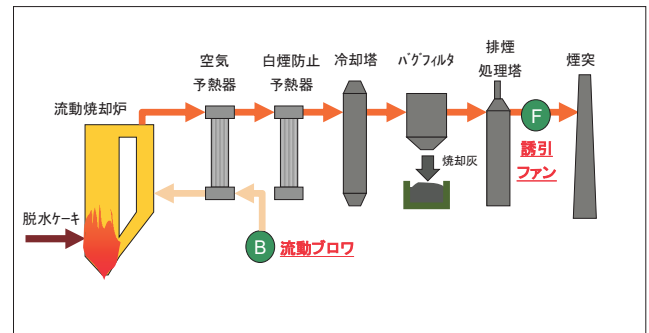


Fig.7 The outline flow of sludge incineration facilities 現状の風量調節弁制御による平均風量を83%、風量

Table 3 Results of list of plans given priority by the case studies.

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	流動ブロワ・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	-	-

調節弁開度を平均 30° と仮定し、その開度における軸動力が Q(風量)-H(圧力)特性より 83.6%であったと想定する。また、インバータによる回転数制御での軸動力は回転数 83%より、57.2% (=0.83³) と求まる [軸動力は回転数の 3 乗に比例]。

Table 4 Capacity and operation time of blowers

対象機器	容量 (kW)	台数	運転時間 (h)
No.2 流動ブロワ (400V)	140	1	8,760
No.2 誘引ファン (400V)	75	1	8,760
No.3 流動ブロワ (400V)	170	1	8,760
No.3 誘引ファン (400V)	90	1	8,760
概算年間電力量	4,073,400kWh		

また、本条件における電動機効率を 84%、インバータ効率を 96%とする。

従って、削減電力量は、

$$\begin{aligned} \text{削減電力量} &= \text{電力使用量} \times \left(\frac{\text{現軸動力}}{\text{電動機効率}} - \frac{\text{インバータ制御軸動力}}{\text{電動機効率} \times \text{インバータ効率}} \right) \\ &= 4,073,400 \text{ kWh} \times \left(\frac{0.836}{0.84} - \frac{0.572}{0.84 \times 0.96} \right) = 1,164,637 \text{ kWh} \end{aligned}$$

これを原油相当量に換算すると、

$$\begin{aligned} \text{原油換算} &= \text{削減電力量} \times (\text{昼間}(8 \sim 22) + \text{夜間}(22 \sim 8)) \text{ kJ/kWh} \times \text{原油 k}\ell/\text{kJ} \\ &= 1,164,637 \text{ kWh} \times \left(9,970 \text{ kJ} \times \frac{14}{24} + 9,280 \text{ kJ} \times \frac{10}{24} \right) \times 0.258 \times 10^{-7} \\ &= 291 \text{ k}\ell \end{aligned}$$

平成 19 年度の処理場全体での総エネルギー使用量の原油換算量は、9,980kℓ (Table 2 参照) 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。

$$291 \div 9,980 (\text{総使用エネルギー}) \times 100 = 2.9\%$$

また、この改善対策で削減できる CO₂ は、今年度の α 県の係数 0.470kg-CO₂/kWh を用いて以下の通り算出できる。

$$1,164,637 \text{ kWh} \times 0.470 \div 1,000 = 547 \text{ t-CO}_2$$

(4)結果

各処理場におけるケーススタディの結果を Table 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、対象設備と項目ごと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、FS 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)明電舎の各位に対して厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 「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

Table 5 The results of energy reduction effects by priority operation

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	40.9kℓ	234.5kℓ	134kℓ	303kℓ	29.0kℓ
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%

※注) ④汚泥処理設備の検討結果は、本文中の削減対策例に Table 3 優先項目②の省エネ電動機の導入を加えた結果を示す。