

# 下水処理場における電力消費量算出と省エネ施策導入による削減効果

藤井都弥子・田嶋 淳

## 1. はじめに

日本全国の下水处理場及びポンプ場における電力消費量は平成30年度の時点で合計約75億kWh/年<sup>1)</sup>、電力由来の温室効果ガス排出量は約370万t-CO<sub>2</sub>/年であり、自治体を実施する事務事業のなかでも温室効果ガス排出量が多いことから、公的機関として率先した省エネ施策の推進が求められる。

一方で水環境の保全のため高度処理化が進められているが、電力消費量増加の問題があり、省エネ施策の推進と処理水質の向上の両立が課題となっている。

下水処理場においては、省エネ施策の1つとして、運転方法の見直しによる電力削減の取り組みが進められている<sup>2)</sup>。また、水質とエネルギーの両面から運転管理を検討する取り組みが進められており<sup>3)</sup>、2018年3月にガイドラインがとりまとめられた<sup>4)</sup>。しかし、処理場全体の具体的な電力消費量をあらかじめ把握し、省エネ施策の導入や高度処理化による影響を検討するための手法については十分整理されていない。

そこで本研究においては、処理方式別に電力消費量を試算する算出式を作成するとともに、電力消費量の実態調査を行い、実際の電力消費量と試算値との比較を行って算出式の妥当性を確認した。また、モデル処理場において省エネ施策を導入した場合の電力消費量削減効果について整理した。

## 2. 調査内容

### 2.1 電力消費量算出式の作成

電力消費量算出式を作成するフローを図-1に示す。水処理方式、汚泥消化工程の有無、脱水汚泥の処理方法の違いによってケースを設定するとともに、分流式下水道を想定した高流入負荷、合流式下水道を想定した低流入負荷に分け、設定した

処理方式や負荷の条件に応じた流入水質、放流水質を、下水道統計を用いて設定した。

次に、設定した水質、処理方式の標準的な除去率等から処理工程全体の物質収支を整理し、物質収支や下水道施設計画・設計指針と解説（以下「設計指針」という。）<sup>5)</sup>に基づいて処理に必要な空気量や槽容量等の計算を行った。算出した必要空気量や別途実施した実態調査の結果等を参考に機器の種類、仕様等を設定し、

$\text{電動機容量} \times \text{設置台数} \times \text{運転時間} \times \text{負荷率}$

から各機器の電力消費量を算出し、それらを合計することで水処理・汚泥処理施設の電力消費量とした。このとき、設置実績が多い機器を設定した「基本型」、基本型のうち、電力消費量が多い反応タンク散気装置、高度処理における反応タンク攪拌機を省エネ型機器に変更した「省エネ型」の2パターンについて算出を行った。この計算を複数の処理水量について行い、近似曲線を求めることで電力消費量算出式を作成した。

### 2.2 試算値と実態との比較

2.1で作成した算出式を用いた試算値と30処理場を対象としたアンケート調査により得た実際の電力消費量（以下「実値」という。）との比較整理を行った。なお、複数の水処理方式が混在している処理場の試算については、試算を簡易に行うため、最も処理水量が多い処理方法の算出式を適用して電力消費量を算出した。

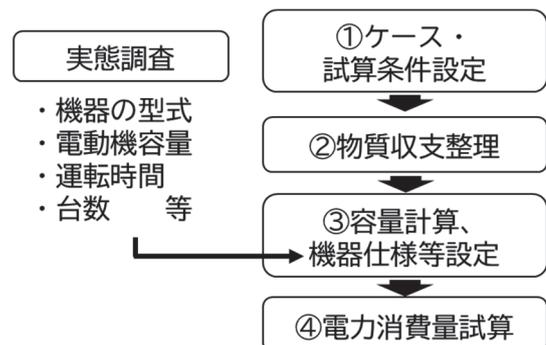


図-1 算出式作成フロー

2.3 省エネ施策導入による効果の試算

実際の下水处理場を参考に、ある自治体が表-1に示すモデル処理場（標準法を用いており、日最大処理水量が異なる3処理場）を有すると設定し、各処理場に省エネ施策（省エネ機器の導入）を実施した場合の各処理場における電力消費量を、作成した算出式を用いて整理した。また、A~C処理場の処理方式がすべて高度処理法（循環法）である条件において省エネ機器を導入した場合の電力消費量についても算出した。

なお、3処理場それぞれに省エネ機器を導入する場合に加えて、複数の処理場を統合した上で省エネ機器を導入するケースについても試算を行った。

3. 調査結果

3.1 電力消費量算出式の作成

今回は、処理場規模として日最大流入水量10,000m<sup>3</sup>/日以上、水処理方式として標準活性汚泥法（以下「標準法」という。）、高度処理法（循環式硝化脱窒法（以下「循環法」という。）、嫌気無酸素好気法（A2O法）、ステップ流入式硝化脱窒法）の計4方式を検討対象とした。標準法については、滞留時間や送風量を増やしてアンモニア態窒素を除去する硝化促進運転と、逆に放流水質基準の範囲内で送風量を抑え、電力消費量を抑える硝化抑制運転とがあり、電力消費量が大きく異なるため、それぞれについて算出式を作成した。処理方式別に設定した水質を表-2に示す。なお、硝化促進運転と硝化抑制運転の違いは反応タンクにおける必要酸素量であり、試算の簡略化のため設定水質には影響しないものと設定した。

結果の一例として「循環法・汚泥消化あり・高濃度流入負荷・脱水汚泥場外搬出」のケースにおいて設定した水処理設備各機器の基本型及び省エネ型における電力消費量を表-3に示す。着色している送風機及び反応タンク攪拌機を省エネ型に変更した場合、それぞれの電力消費量は30~40%程度低くなる事が明らかとなった。

こうして作成した算出式のうち、「汚泥消化あり・高濃度流入負荷・脱水汚泥場外搬出」の基本型について図-2に、省エネ型について図-3にそれぞれ示す。

同じ標準法でも、硝化促進運転は硝化抑制運転

表-1 モデル処理場の概要

処理場	日最大処理水量	日平均処理水量	処理方式	流入水質		
				流入BOD	流入SS	分類
	m <sup>3</sup> /日	m <sup>3</sup> /日		mg/L	mg/L	
A	14,500	10,500	標準法（硝化抑制）	210	230	高流入負荷
B	52,500	48,800	標準法（硝化抑制）	178	221	高流入負荷
C	179,200	109,800	標準法（硝化促進）	170	120	低流入負荷

表-2 設定した水質

	標準法		循環法		A2O法		ステップ式	
	高流入負荷	低流入負荷	高流入負荷	低流入負荷	高流入負荷	低流入負荷	高流入負荷	低流入負荷
流入BOD	203	146	203	146	203	146	203	146
流入SS	171	118	171	118	171	118	171	118
放流BOD（消化なし）	3.4	3.4	1.3	1.3	2.8	2.8	2.3	2.3
放流BOD（消化あり）	3.9	3.9	1.8	1.8	1.7	1.7	2.9	2.9

表-3 各機器の電力使用量算出値  
（循環法・汚泥消化あり・高濃度流入負荷・脱水汚泥場外搬出）

		電力使用量[kWh/年]						
		基本型			省エネ型			
日最大流入水量(千m <sup>3</sup> /日)		10	50	100	10	50	100	
水処理設備	最初沈殿池	汚泥掻き寄せ機	4.5	9.0	17.9	4.5	9.0	17.9
		初沈汚泥ポンプ	1.5	6.4	12.8	1.5	6.4	12.8
		スカム移送ポンプ	13.1	35.0	65.6	13.1	35.0	65.6
	反応タンク設備	スカムスキマ	0.3	0.8	1.4	0.3	0.8	1.4
		送風機（散気装置含む）	630.7	2863.5	5802.3	454.1	1718.1	3423.4
		風量調節弁	2.2	2.2	4.5	2.2	2.2	4.5
		空気ろ過設備	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
		返送汚泥ポンプ	49.0	175.2	395.1	49.0	175.2	395.1
		循環汚泥ポンプ	24.5	105.1	221.6	24.5	105.1	221.6
		無酸素槽攪拌機	83.0	311.2	684.5	27.7	103.7	228.2
最終沈殿池	汚泥掻き寄せ機	4.5	14.9	27.5	4.5	14.9	27.5	
	スカム移送ポンプ	13.1	30.6	56.9	13.1	30.6	56.9	
	スカムスキマ	0.3	0.7	1.2	0.3	0.7	1.2	
	消泡水ポンプ	37.0	73.9	147.9	37.0	73.9	147.9	
	余剰汚泥ポンプ	3.2	12.2	24.4	3.2	12.2	24.4	
脱臭設備	水処理用脱臭ファン	61.7	123.3	246.7	61.7	123.3	246.7	

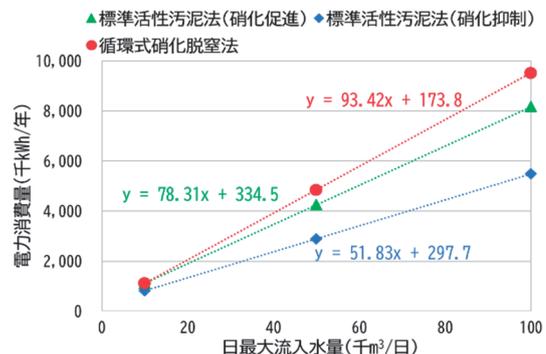


図-2 水処理・汚泥処理設備の電力消費量  
（高濃度流入負荷・消化あり・脱水汚泥場外搬出・基本型）

より30%程度電力消費量が大きく、循環法と標準法（硝化促進運転）との差は数%程度という結果となった。また、同じ処理方式で基本型と省エネ型を比較すると、電力消費量は30~40%程度差が生じる結果となった。

なお、A2O法とステップ流入式硝化脱窒法については、循環法とあまり差が見られない結果となった。

### 3.2 試算値と実態との比較

図-4~6に水処理・汚泥処理施設における処理水量あたりの電力消費量（実値及び算出式から得た試算値）を示す。図-4は高度処理法（3処理法）、図-5は標準法（硝化促進運転）、図-6は標準法（硝化抑制運転）をそれぞれ示している。

高度処理法では、流入水量が小さい場合に電力消費量実値が試算値の1.5倍ほどであるが、流入水量が大きくなるにつれて実値と試算値がほぼ同じ0.35 kWh/m<sup>3</sup>程度となる傾向が見られた。

標準法（硝化促進運転）では、流入水量が大きくなって電力消費量実値は0.35 kWh/m<sup>3</sup>程度、試算値は0.25 kWh/m<sup>3</sup>程度と、実値は試算値より20~30%程度高い値となる傾向が見られた。

標準法（硝化抑制運転）では、流入水量が大きい場合に処理水量あたりの電力消費量実値は0.25 kWh/m<sup>3</sup>付近、試算値は0.2 kWh/m<sup>3</sup>付近に近づく傾向が見られた。

おおよその傾向は再現できた一方、一部の機器で試算における設定と実態とで構成や型式が一致していないこと、試算では効率のよい設備容量や機器仕様等を設定しているが、実際の処理場では設備容量に対して処理水量が少ない等の状況により理想的な運転が行えていない可能性があること、標準法については、試算上は硝化促進運転または硝化抑制運転のいずれかで通年運転していると仮定しているが、実態は季節に応じて運転を切り替えている可能性があることなどから試算値と実値に差が生じていると考えられる。そのため、より理想的な運転に近づける等の対策により、さらに電力消費量を削減できる可能性がある。

### 3.3 省エネ施策導入による効果の試算

図-7に、3モデル処理場（標準法）それぞれに省エネ機器を導入した場合及び処理場を統合した上で省エネ機器を導入した場合の電力消費量を示す。3処理場を個別に省エネ化した場合、最も規

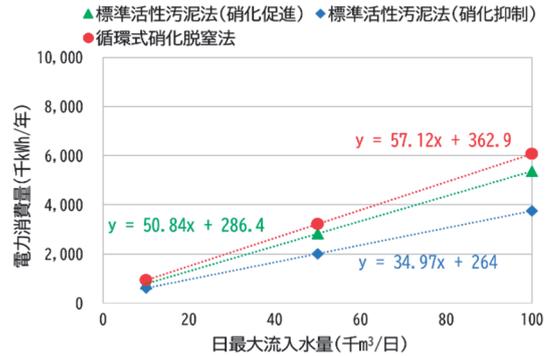


図-3 水処理・汚泥処理設備の電力消費量（高濃度流入負荷・消化あり・脱水汚泥場外搬出・省エネ型）

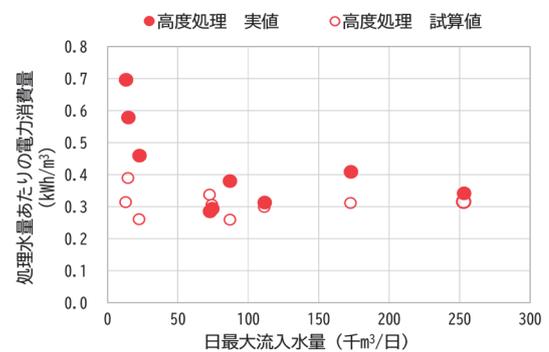


図-4 処理水量あたりの電力消費量試算値と実値の比較(高度処理法)

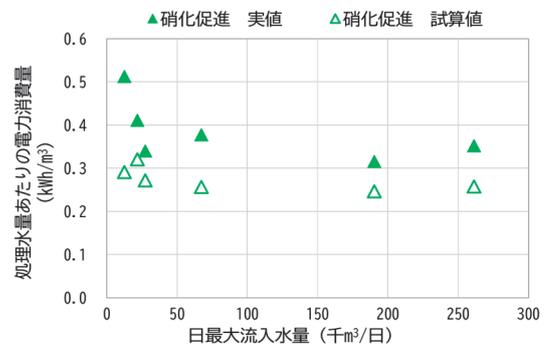


図-5 処理水量あたりの電力消費量試算値と実値の比較(標準法硝化促進)

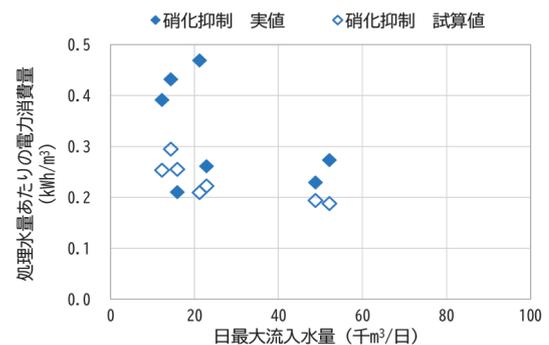


図-6 処理水量あたりの電力消費量試算値と実値の比較(標準法硝化抑制)

模が小さいA処理場で約27%、中間のB処理場で約30%、最も規模が大きいC処理場で約36%の削減となっており、3処理場の合計では34%程度の削減となった。なお、標準法においては実際の電力消費量は試算値より30%程度大きい傾向が見られたことから、省エネ機器の導入に加えて効率的な機器仕様への変更や理想的な運転へ近づける等の対策により、電力消費量を試算結果よりさらに削減できる可能性がある。

次に、モデル処理場が循環法の場合の各ケースにおける電力消費量を図-8に示す。3処理場を個別に省エネ化した場合、最も規模が小さいA処理場で約22%、中間のB処理場で約34%、最も規模が大きいC処理場で約37%の削減となっており、3処理場の合計では35%程度の削減となった。

このように、例えば各処理場を個別に省エネ化した場合や処理場を統合した上で省エネ化した場合、グラフでは示していないが標準法の処理場を高度処理化した場合といった複数のシナリオについて、電力消費量削減の観点から最も高い効果が得られるシナリオや効果の度合いの把握などに算出式が活用できると考えられる。

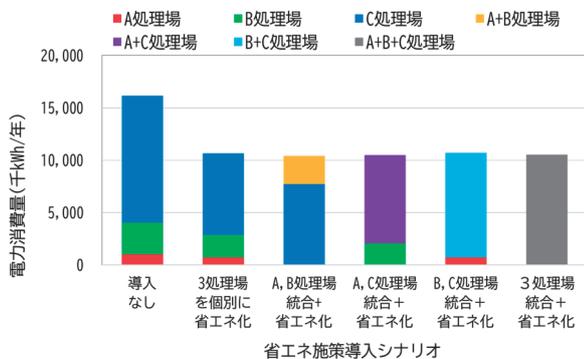


図-7 省エネ施策導入による電力消費量削減効果 (標準法)

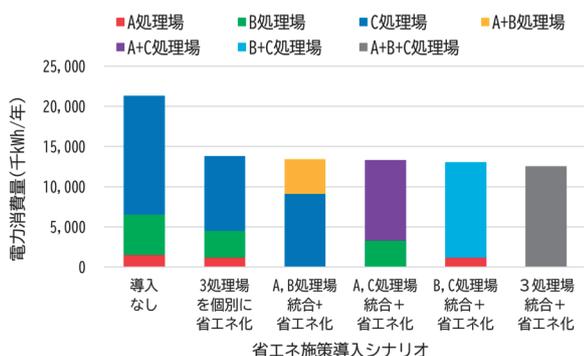


図-8 省エネ施策導入による電力消費量削減効果 (循環法)

#### 4. まとめ

下水処理場における電力消費量を算出するための算出式を作成するとともに、試算値と実値との比較を行った。

水処理・汚泥処理施設における処理水量あたりの電力消費量について、高度処理法では実値と試算値が同程度となった一方、標準法では実値より試算値のほうが30%ほど小さい傾向が見られた。今回作成した算出式では、理想的な条件での電力消費量を算出しており、実際には得られた試算値の1.3倍程度が、およそその実値になると推測される。

また、作成した算出式を用いて、モデル処理場を個別に省エネ化または複数の処理場を統合した上で省エネ化した場合の各処理場における電力消費量を試算し、それぞれのケースにおける電力消費量削減効果を整理した。

本調査により、処理場全体の具体的な電力消費量を算出し、省エネ機器の導入によるおよその効果を把握することができた。今後は、得られた成果を下水道管理者が施策導入の検討に活用できる資料、ツールとして整理していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 公益社団法人日本下水道協会：平成29年度版下水道統計、2019
- 2) 例えば 大月ら：送風設備における運転手法改善による省エネ対策と段階的更新の留意点、第55回下水道研究発表会講演集、pp503-505、2018
- 3) 例えば 北多摩二号水再生センターにおける二軸管理の取組について（事例報告）東京都下水道局 技術調査年報、Vol.38、2014
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部「水質とエネルギーの最適管理のためのガイドライン～下水処理場における二軸管理～」  
<https://www.mlit.go.jp/common/001229633.pdf>
- 5) 社団法人日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説-2009年版-後編、2009

藤井都弥子



国土交通省国土技術政策  
総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室 研究官  
FUJII Tsuyako

田嶋 淳



国土交通省国土技術政策  
総合研究所下水道研究部  
下水処理研究室長  
TAJIMA Atsushi