

# 既存下水道施設の省エネルギー化 対策に関する調査研究（その2）

## 1. はじめに

地球規模における環境問題が懸念されて久しく、大気汚染、水質汚濁、地球温暖化など、多くの課題が問題視されている。

地球温暖化は世界的に大きな問題であることから、1992年にリオデジャネイロで開かれた地球サミットにおいて、地球温暖化防止に最大限努力すべく、持続可能な開発の実現を目指す方針が出され、気候変動に関する国際連合枠組条約への署名が開始された。1997年12月には、京都において気候変動に関する国際連合枠組み条約第3会締結国会議（COP3）が開催され、京都議定書が採択された。この議定書では、先進国全体の温室効果ガスの排出量を2008年から2012年までの期間中に、1990年の水準より少なくとも5%削減することを目的として、先進各国の削減目標を設定し、我が国は6%削減を行うこととなった。

これを受け、平成10年10月に地球温暖化防止対策の推進に関する法律（推進法）が公布され、平成11年度から施行されている。この中で、国及び地方公共団体が温室効果ガスの排出抑制などの実行計画を策定し、推進することとされている。

今後の下水道事業において新技術の採用や省資源・省エネルギー対策を実施して温室効果ガスの発生をできるだけ抑制していくことが求められている。

## 2. 目的

下水道の電力使用量は全国の電力使用量の約0.6%を占め、また汚泥の焼却処理等において重油などの化石燃料が使用されること、さらに下水処理プロセスからメタンや一酸化二窒素が発生することなどから、下水道事業において新技術の開発適用や一層の省資源・省エネルギー対策を実施することにより、温室効果ガスの発生をできる限り抑制していく努力が求められている。

下水処理にかかわる温室効果ガス排出量の削減には、個々の施設レベルにおける省エネルギー努力（電力使用量の削減）の積み上げに頼るところが大きい。そのため、より具体的な対策を検討していくためには、単位プロセスレベルのデータが不可欠であり、それらのデータの解析評価が必要である。

平成10年度の調査では、下水道の省エネルギー化対策の策定に資することを目的とし、全国の下水処理場の下水処理にかかわる処理水量当たりの電力使用量の算出と下水道研究発表会予稿集からの省エネルギー化対策のテーマ抽出を行った。

平成11年度の調査は、平成10年度の調査結果をもとに、アンケート調査および現地ヒアリング調査を実施し、より詳しいエネルギー消費の実態把握および解析をおこない、省エネルギー化対策の具体化に資することを目的としている。

### 3. 調査の概要

#### 3.1 調査内容

わが国の処理場で使用されている年間電力量は、下水道統計では、①処理場合計、②場内ポンプ場、③水処理、④汚泥処理、⑤その他の区分で集計されているが、これでは処理方式による電力使用量の差異と処理水量1m<sup>3</sup>当たりの電力使用量、処理規模による電力量の差異は算定されているものの、具体的な省エネルギー化対策検討データを得ることができない。

本調査では、各単位プロセスおよび主要機器レベルの電力使用量（運転時間、出力、運転台数、処理量、その他）のデータを収集し、さらに数字に表れていない現場固有の状況などのデータを用いて解析するために一定様式によるアンケート及びヒアリング調査を行い、単位プロセスおよび主要機器レベルの電力使用量データを把握し、解析評価することにより、省エネルギー化対策の具体事例を抽出した。

#### 3.2 アンケート調査及びヒアリング調査

調査対象処理場の処理方式は、オキシデーションディッチ法（以下「OD法」という。）と標準活性汚泥法（以下「標準法」という。）とした。

調査対象処理場は、「平成9年度版下水道統計」（社）日本下水道協会発行、以下「下水道統計」という。）に集計されている全国の処理場の中から以下の条件を満たす処理場を抽出を行った。

- ① 下水道統計に、稼働開始年月、晴天時1日最大処理量現在、晴天時1日最大処理量計画、年間処理水量、電力使用量の記述があること。
- ② 稼働年度が、昭和50（1975）年以降であること。
- ③ 流入率が50%以上であること。
- ④ 現有施設晴天量計画が、100m<sup>3</sup>/日以上および500,000m<sup>3</sup>/日未満の処理場とする。

晴天時計画処理量が2,000m<sup>3</sup>/日未満の処理場では、維持管理が1週間毎の巡回管理を実施されることが多く、日常的にデータを把握することが難しい。一方、処理量が30,000m<sup>3</sup>/日を超える処理場では、各設備棟毎に電力計が設けられ、主要機器には電流計や時間計が取り付けられ、運転データを容易に把握でき、独自の維持管理体制が確立されている。そこで、最終調査対象処理場数は、規模区分処理水量2,000 m<sup>3</sup>/日以上および30,000 m<sup>3</sup>/日未満とし80箇所とした。

アンケート調査対象処理場は、この80箇所に加え、

ヒアリング対象処理場を含め、全91箇所（OD法は34箇所、標準法は57箇所）とした。アンケート回収は、回答処理場数63箇所（OD法は24箇所、標準法は39箇所）であった。

ヒアリング調査対象処理場は、各規模区分でエネルギー使用量が最も効率的であると判断した16箇所（OD法は6箇所、標準法は10箇所）で実施した。有効データは未記入分等を勘案し、最終的に54箇所とした。調査対象処理場の特性を表-1に示す。また、調査項目を表-2に示す。

表-1 調査対象処理場の特性

水処理方式	OD法	標準法
処理場箇所数	19	35
日平均処理量 (m <sup>3</sup> /日)	600 ~ 3,000	500 ~ 156,000
汚泥濃縮	重力式	16
	機械式	0
	その他(なし)	3
消化設備あり	0	12
汚泥脱水	ベルトプレス	6
	遠心	12
	その他(なし)	1
焼却設備(流動炉)あり	0	5

注：機械濃縮は1箇所以外は重力式と併用

表-2 調査項目

基本事項	① 供用開始年月および排除方式 ② 各種設備処理量 ③ 水質 ④ エネルギー使用量（電力量・燃料使用量） ⑤ 電気設備
汚水ポンプ場	① 汚水ポンプ
水処理施設	① 最初沈殿池および最終沈殿池汚泥かき寄せ機 ② 返送汚泥ポンプ ③ 反応タンク
汚泥処理施設	① 濃縮タンク ② 消化タンク ③ 汚泥脱水機 ④ 汚泥焼却設備
その他施設	① 消毒設備 ② 脱臭設備 ③ 電気設備（受変電、自家発電機）

### 4. 調査結果

#### 4.1 全消費エネルギー

##### (1) 電力量原単位

処理規模毎の電力原単位を図-1に示す。

- ① 処理場全体では、処理水量の増加に伴い、電力原単位は減少している。処理規模が大きいく程、動力が効率よく使用されている。

- ② 水処理施設では、処理場全体と同様に処理水量の増加に伴い電力原単位は減少している。
- ③ 場内ポンプ場、汚泥処理施設、その他施設においては、処理水量の増加による変化は見受けられない。

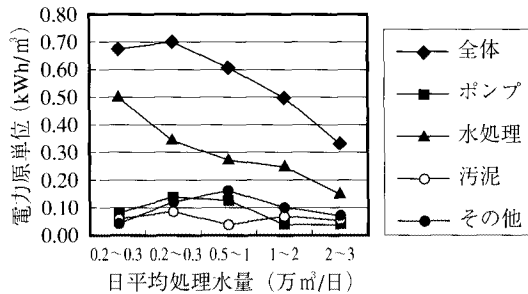


図-1 処理規模毎の電力原単位

(2) 電力使用比率

処理規模毎の電力使用比率を図-2に示す。

- ① 電力使用割合は、水処理が最も多く、処理水量3,000m³/日以上では全体の約50%である。2,000~3,000m³/日では全体の約70%である。
- ② 処理水量5,000~10,000m³/日では、ポンプ施設が約20%，その他施設が約27%と比率が高い。

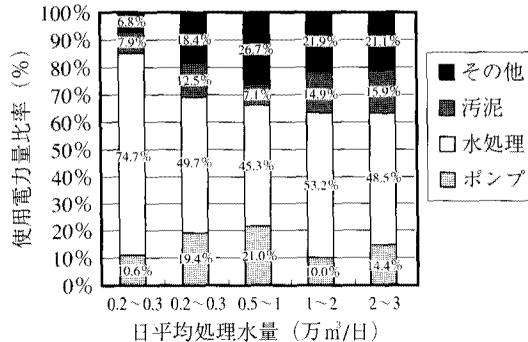


図-2 処理規模毎の電力使用比率

4.2 施設毎の調査結果

(1) 場内ポンプ場

処理水量当たりの場内ポンプ場での電力量を図-3に示す。0.05~0.15kWh/m³の電力が場内ポンプ場で使用されている。

(2) 水処理施設

1) 汚泥かき寄せ機

処理方式別に汚泥かき寄せ機の形式を見た場合、OD法のほとんどは、中心駆動式であり、標準法では、処理水量10,000m³/日以下の処理場で中心駆動式またはチェーンフライト式のいずれかが使用さ

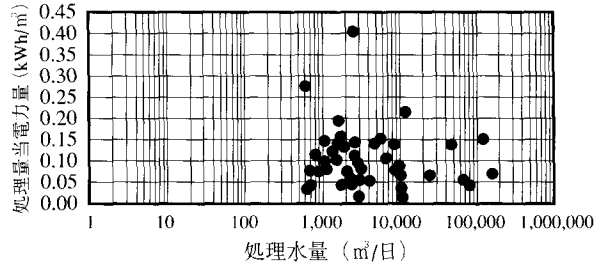


図-3 場内ポンプ使用電力量

れ、10,000m³/日以上で全てチェーンフライト式が使用されていた。

初・終沈の区分と汚泥かき寄せ機の使用電力量の関係を運転時間で処理水量を按分し、水量当りの電力量原単位としてチェーンフライト式の場合を図-4に示す。

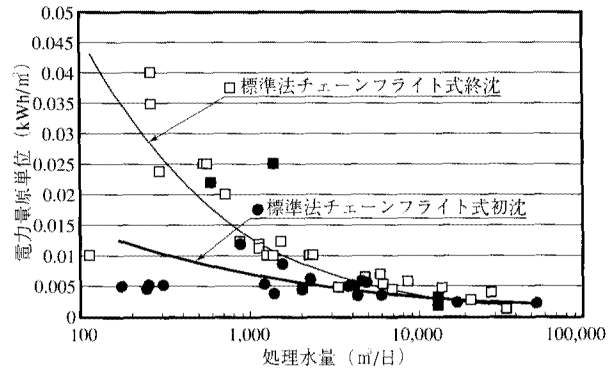


図-4 汚泥かき寄せ機の電力量原単位

10,000m³/日以下の規模では、初沈<終沈の傾向が見られる。これは、最終沈殿池は、水面積負荷が小さく取られていることから、面積が大きくなり、機器も大きな動力を必要とされるためと考えられる。

2) 返送汚泥ポンプ

① 汚泥返送比との関係

返送比と水処理施設全体の返送汚泥量当たり電力量の関係を図-5に示す。OD法・標準法とも返送比が高くなると返送汚泥量当たりの電力量原単位が減少している。また、OD法の場合、返送比の範囲が広く(30~230%)、原単位は0.1~1.2 kWh/m³の間で推移している。一方、標準法はOD法に比べて返送比の範囲は小さい(20~100%)が、原単位は0.2~1.8 kWh/m³とばらつきが大きく、特に返送比50%以下において顕著に現れている。これは返送汚泥ポンプの通常運転時の動力負荷、制御方式等運転管理方法の違いが、消費電力量に影響しているものと考えられる。

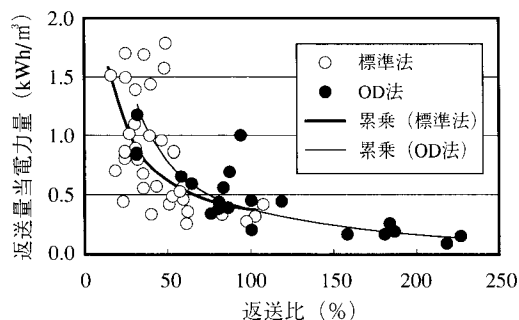


図-5 汚泥返送比との関係

② 返送汚泥ポンプ制御方式の影響

返送比と返送汚泥ポンプの返送汚泥量当たり電力量の関係を図-6に示す。

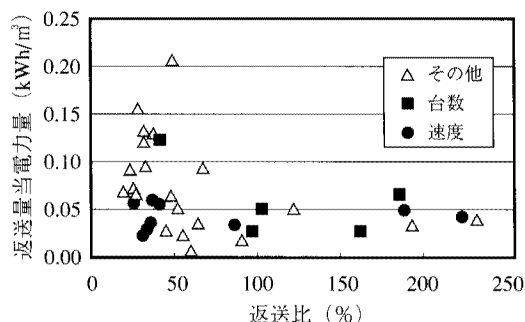


図-6 返送汚泥ポンプ制御方式の影響

今回調査を行った処理場の場合、速度制御採用時の電力量が返送比等の影響を受けず、0.05 kWh/m<sup>3</sup>程度以下で比較的安定している。したがって、全体的には速度制御が電力量の低減に有効といえる。

返送汚泥ポンプは、最大送泥量と実運転量が大幅に異なるポンプであり、回転数制御などの方策を実施しても、エネルギー効率を高くすることが非常に難しい。返送ポンプのように負荷変動が大幅に変化する一方、常時運転での消費エネルギーも大きい施設の場合、低負荷運転用ポンプを増やしたり、電動機を複数用意して取替えるなど、特別な配慮をしていくことが省エネ方策として合理的であると考えられる。

3) 送風機と曝気機

① 曝気風量当たり電力量原単位

図-7に標準法における処理水量と曝気風量当たりの電力量原単位を示す。処理水量10,000m<sup>3</sup>/日以下の処理場では曝気風量当たりの電力量のばらつきは大きいですが、処理水量10,000m<sup>3</sup>/日を越えると0.04~0.05 kWh/m<sup>3</sup>程度に落ち着く傾向にあ

る。これは、ある程度の規模(10,000m<sup>3</sup>/日)以上の処理場では、設備仕様、運転管理方法等が概ね同じになるため、消費電力量も同様の傾向を示すものと考えられる。

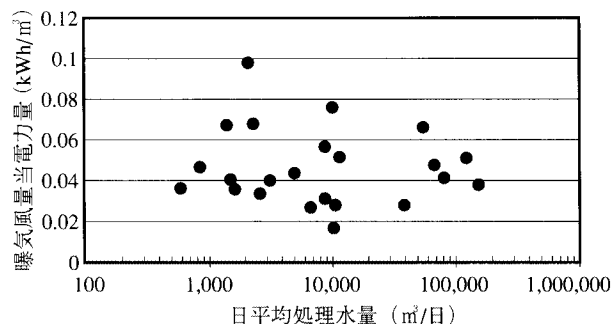


図-7 曝気風量当たり電力原単位

② 送風倍率と曝気風量当たり電力原単位

図-8に標準法における送風機の送風倍率と曝気風量当たりの電力量原単位を示す。今回調査を行った処理場の場合、送風倍率は4~22倍と幅広く、22倍の処理場は長時間エアレーションを行っている。10倍以下では電力量原単位のばらつきが大きいですが、10倍を越えると0.04 kWh/m<sup>3</sup>程度に収束する傾向にある。

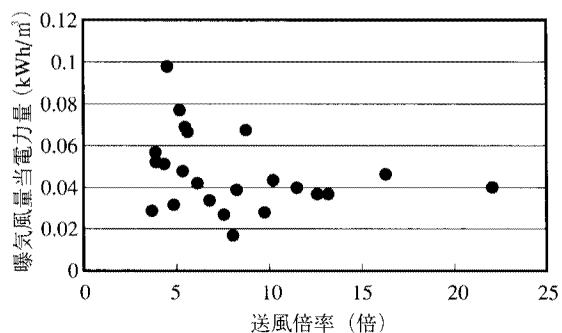


図-8 流入BOD負荷当たりの送風機電力量

(3) 汚泥処理施設

1) 濃縮設備

① 濃縮槽かき寄せ機の電力量原単位は、処理水量、汚泥量に依存する。しかし、処理水量10,000m<sup>3</sup>/日或いは汚泥量が500m<sup>3</sup>/日を越える程度からその差は小さくなり、スケールメリットはなくなっている。これは、槽の大きさ及び駆動装置に制約を受けるためであると考えられる。

② 遠心濃縮については、投入汚泥量当たりの電力量原単位は0.80~1.13kWh/m<sup>3</sup>と処理規模による差は少ない。

③ 濃縮設備全体としては、遠心濃縮による場合が、重力濃縮の場合より電力量原単位は大幅に大きくなるが、これは汚泥処理方式、処分方法、水処理方式等も考慮して、処理場全体として効果を評価すべき事項である。

2) 汚泥脱水設備

処理水量当たりの電力量を図-9に示す。

- ① 処理水量が3,000m<sup>3</sup>/日以下の処理場では、遠心脱水機が多く使用されている。処理水量当たりの電力量は、0.016~0.222 kWh/m<sup>3</sup>で、平均0.099 kWh/m<sup>3</sup>となる。遠心脱水機の場合、本体の駆動機出力が補機のトータル出力よりも大きい。
- ② 処理水量が3,000m<sup>3</sup>/日を超える処理場では、ベルトプレスろ過機が多く使用されている。処理水量当たりの電力量は、0.010~0.356 kWh/m<sup>3</sup>で、平均0.077 kWh/m<sup>3</sup>となる。ベルトプレスろ過機は、本体の駆動出力よりも付属補機（ろ布洗浄水ポンプ、汚泥貯留槽攪拌機、汚泥移送設備など）の動力が大きくなる。
- ③ 調査対象の処理水量にて比較した場合、使用電力量は遠心式>ベルトプレス式となる。

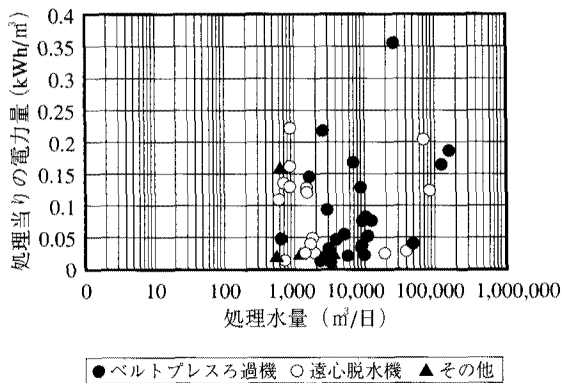


図-9 汚泥脱水機の処理水量当たり電力量

3) 焼却設備

調査対象処理場の焼却設備は、流動焼却炉である。

図-10に投入汚泥量当たりの電力量原単位の関係を示す。処理規模と電力量原単位との関係はばらつきが少なく、0.3~0.4kWh/kg-DSである。

(4) その他施設

その他施設が処理場全体に占める処理水量当たりの電力量を図-11に示す。標準活性汚泥法においては、処理水量が20,000m<sup>3</sup>/日を超えると単位電力量0.1 kWh/m<sup>3</sup>未満となり、処理水量が多い程その他施設に含まれる電力量の範囲が限定されている。

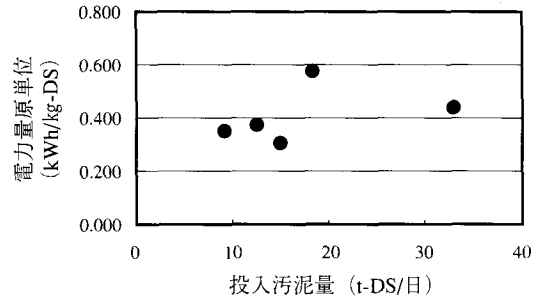


図-10 汚泥量当たりの電力量原単位

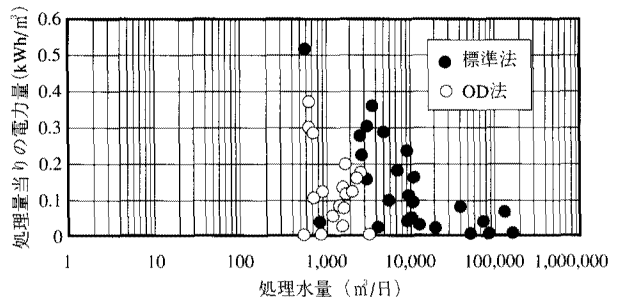


図-11 処理水量当たりの電力量（その他施設）

4.3 省エネルギー化につながる事項

アンケート回答より、省エネルギー化につながる事例として、①間欠運転やインバータ制御などによる方法、②台数制御による方法、③省エネタイプの機器に変更する方法、④エネルギーの有効利用する方法などを得ることが出来た。

これらの実施例より省エネルギー化に寄与する事項として以下の項目が挙げられる。

- ① 必要な量あるいは時間帯に対して必要限度の能力で運転し、無駄な運転はしない。汚水流入量に応じたポンプ流量や風量の設定と運転の調整、特に夜間使用電力の効率化と低減、夜間運転の停止が有効である。
- ② 設備の定格負荷に近い点で運転するのがより省エネとなる。台数制御で流量に応じた台数と容量の組み合わせ運転も有効である。
- ③ 設備容量は、必要な負荷に近いほど効率が高くなる。処理場計画と設備設計の考え方が重要であり、返送汚泥ポンプの揚程など検討が必要である。
- ④ エネルギー効率の高い機器の適用が必要であり、散気装置の適切な選択が有効である。
- ⑤ 余熱・排熱エネルギーは極力場内で活用する。

## 4. おわりに

調査解析を通じて、既設下水道施設の省エネルギー化対策として、曝気機、返送汚泥ポンプの仕様および運転状況の検討把握が特に重要であることが判った。

今後の課題を挙げると以下のとおりである。

### ① 省エネルギー化検討資料データの整備

主要機器および各設備についてさらに踏み込んだ使用電力量解析を行うためにはより精度の高い電力量の把握が必要である。また各処理場で実施している省エネルギー化対策の効果の定量的な把握も主要機器・主要設備の使用電力量の把握を行うためのデータの蓄積は必要である。

### ② 施設容量の余裕率等の検討

エネルギー効率からすれば定格容量に近いところで運転するのがよりよいわけであるが、曝気機など出力の大きいものでも低負荷で運転されていると思われるデータも多い。適正な施設容量計画と設備機器の選択、運転管理の適正化等各段階における負荷の考え方の整理が必要である。

### ③ 「その他」施設電力量の内容の把握

維持管理性や環境対策などから、施設の覆蓋化あるいは屋内化が進み、そのための照明・換気・空調と脱臭設備の電力が無視できない値になっている。これまで主たる検討対象から外れていた部分であるが、小規模施設の場合、処理場全体に占める使用電力量が30%程度にもなっており、その内訳を知り、大きい項目について省エネルギー化を検討する必要がある。

---

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長	江藤	隆
研究第一部研究員	岡本	達也
研究第一部研究員	後藤	雅子