

小規模下水処理場の エネルギー使用量実態

濱田 知幸 田中 裕大 藤井 都弥子 高村 和典

要旨：新下水道ビジョン加速戦略では概ね 20 年で下水道事業における消費電力量の半減を目標としている。小規模処理場も下水処理場における電力量全体の 18% 程度を占め、省エネルギー対策が必要であるが、小規模処理場を対象とした調査研究は少ない。そこで本検討では、小規模下水処理場について、統計データの整理、試算により消費電力量原単位の特徴を整理したうえで、小規模下水処理場にてヒアリング調査を行い、消費電力量原単位が高くなる原因を推定し、省エネ推進に必要となる方策について検討した。

キーワード：小規模下水処理場、省エネ、消費電力量原単位

1. はじめに

人口減少や電力料金の高騰など、下水道経営は厳しさを増している。また、パリ協定を踏まえ、温室効果ガス等の排出が大きい公共施設の 1 つである下水処理場において省エネ対策を推進していく必要がある。このような状況の中、国土交通省では新下水道ビジョン加速戦略¹⁾(平成 29 年 8 月)において「概ね 20 年で下水道事業における消費電力量の半減」を目標として取り組むことを掲げている。

国土交通省では地方公共団体の消費電力量削減を支援する具体的な取り組みとして、流入水量 1 万 m³/日以上を対象とした「下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル(案)」²⁾を策定しており、適切な処理水質を維持しながら省エネルギー化対策の効果を上げることを前提として、消費電力の大きい主ポンプや送風機等の運転管理手法の改善、最新の省エネ設備導入による効果と導入時の留意点についてとりまとめている。一方、小規模下水処理場の消費電力量については、下水道統計³⁾を基に全国の下水処理場の年間消費電力量を規模別に整理すると(図-1)、流入水量 1 万 m³/日未満の小規模処理場も消費電力量の 18% を占めており、消費電力量半減のためには小規模下水処理場の省エネルギー化も推進していく必要がある。

国土技術政策総合研究所では、下水道技術開発会議の下にエネルギー分科会を設置し、その活動の一環として、小規模下水処理場(以後、処理場)にお

ける省エネ方策を検討するため、オキシレーションディッチ法(以下、OD法)を採用する処理場を対象とし、処理場規模毎の水処理に係る流入水量 1 m³あたりの消費電力量(以下、消費電力量原単位)の試算、及びOD法を採用する処理場を対象として曝気装置の運転方法を中心にヒアリング調査を行った。この入手データから、曝気装置の運転時間と曝気装置の定格出力を用いてエアレーションによる消費電力量の試算を行い、実消費電力量と比較した⁴⁾。

本稿では、平成 31 年度のエネルギー分科会における取り組みを基に、処理場の消費電力量原単位の特徴・実態を整理するとともに、省エネ推進に必要となる方策について検討したので報告する。

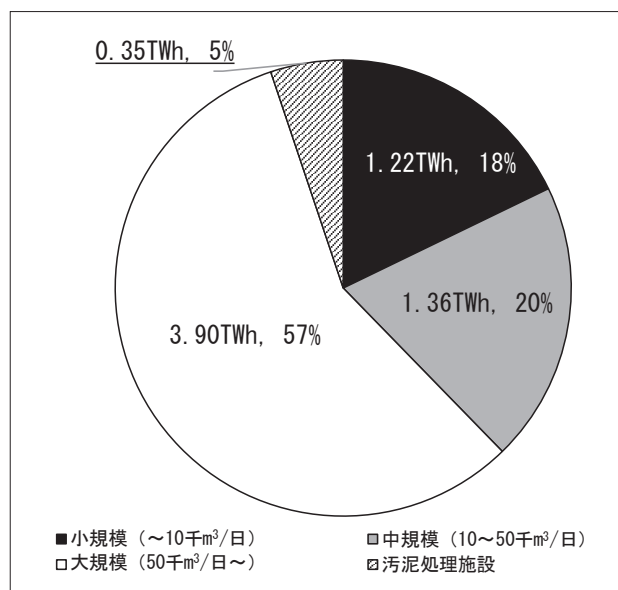


図-1 流入水量別の年間消費電力量の割合の比較

2. 下水処理場の消費電力量原単位の実態

2.1 下水道統計を基に整理した消費電力量原単位

下水道統計³⁾を用いて、OD法の年間処理水量を用い、日平均処理水量別の消費電力量原単位を算出した(表-1)。なお、整理にあたり、水処理の電力使用量が記載されていない処理場は除外した。処理水量別の消費電力量原単位は、処理水量が多いほど低い傾向にあった。また、現有処理能力に対する年間処理水量から求めた日平均処理水量の比率を流入比率と定義し、日平均処理水量と流入比率の関係を整理した結果、日平均処理水量が多い施設ほど流入比率が大きくなった。消費電力量原単位の変動係数(消費電力量原単位の標準偏差/消費電力量原単位平均値)は、日平均処理水量が少ない処理場ほど大きくなる傾向にあった(表-1)。処理水量が少ないとき消費電力量原単位及び変動係数が大きく、以後、この影響を排除するため日平均処理水量1,000m³/日以上以上の処理場を対象に以後の分析を行った。流入比率と消費電力量原単位を示す(図-2)。全体的に流入比率が小さいほど電力消費量原単位が高くなる傾向にある一方で、同程度の処理水量及び流入比率でも個別の処理場による差が大きかった。処理場の供用開始年代別の消費電力量原単位を表-2に示す。

表-1 流入水量別の水処理の消費電力量原単位

日平均処理水量	処理場数	消費電力量原単位 kWh/m ³	標準偏差	変動係数	流入比率(-)
300m ³ 未満	145	1.26	0.96	0.76	0.31
300~500m ³	147	0.75	0.46	0.61	0.42
500~1000m ³	235	0.58	0.27	0.46	0.47
1,000~2,000m ³	137	0.49	0.18	0.37	0.49
2,000~3,000m ³	55	0.43	0.20	0.45	0.56
3,000~5,000m ³	34	0.42	0.14	0.33	0.60
5,000m ³ 以上	21	0.34	0.11	0.34	0.68

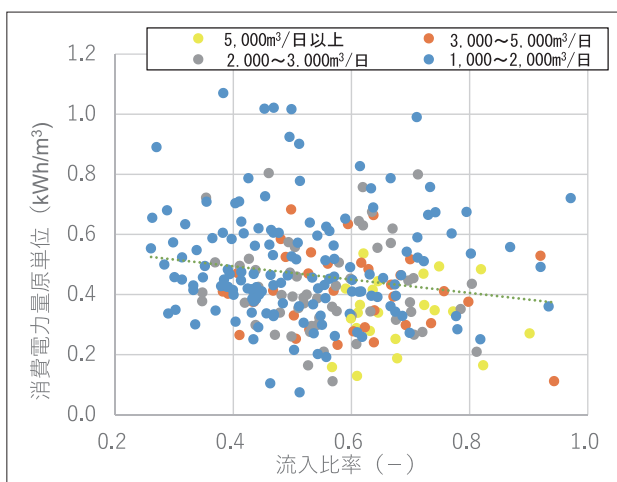


図-2 流入比率，日平均処理水量による消費電力量原単位

表-2 処理場の整備年代別の消費電力量原単位

	処理場数	消費電力量原単位 kWh/m ³	日平均処理水量 m ³ /日	流入比率
2005年以降	15	0.48	1,712	0.50
2000-2004年	65	0.47	2,017	0.52
1995-1999年	88	0.50	2,360	0.55
1990-1994年	52	0.42	3,699	0.59
1985-1989年	36	0.36	2,803	0.60

整備年代が新しい処理場ほど省エネ化が進んでいることが予想されたが、整備年代による消費電力量原単位への影響については明確な傾向はなかった。

2.2 消費電力量原単位の試算

処理規模別の同じ流入比率における標準的な消費電力量原単位を明らかにするため、計画日最大汚水量1,500m³/日、3,000m³/日、5,000m³/日、10,000m³/日の条件で、処理能力の80%の汚水が流入した際の水処理設備に係る消費電力原単位を試算した。

(1) 設備構成

試算にあたり設備構成を仮定した。曝気攪拌装置は、OD法導入当初は横軸型曝気装置の採用が多かったが、日本下水道事業団が平成7年4月に縦軸型曝気装置のオキシレーションディッチ標準設計を作成し、運用を開始したため縦軸型が増加している⁵⁾。また、下水処理場ガイドに掲載されたOD法を採用する処理場の平面図⁶⁾から、1990年代後半に供用開始した処理場は殆ど縦軸型機械攪拌式を採用しているものと推察される。以上の状況を踏まえ、曝気攪拌装置については縦軸型曝気装置と仮定した。最終沈殿池の設備構成は、汚泥掻き寄せ機、スラム移送ポンプ、消泡水ポンプ、返送汚泥ポンプ、余剰汚

表-3 処理場内の各水質の収支計算条件

項目	設定値
処理場流入水	
BOD(mg/L)	200
SS(mg/L)	180
T-N(mg/L)	40
放流水	
BOD(mg/L)	3.0
SS(mg/L)	3.0
T-N(mg/L)	8.0
返流水(汚泥処理設備)	
返流水質(重力濃縮分離液)	BOD(mg/L) 800 T-N(mg/L) 140
反応タンク・最終沈殿池設備	
除去SSあたり汚泥転換率(%)	75
反応タンク内のMLSS濃度(mg/L)	3,000
汚泥返送比(%)	150
余剰汚泥濃度(%)	0.5
重力濃縮設備	
濃縮汚泥濃度(%)	1.5
SS回収率(%)	85

表-4 容量計算条件

No.	機器名称	項目	設定値	単位	適用条件・設定根拠	
反応タンク設備/送風機設備						
1	反応タンク	設計諸元	HRT	24	時間	設計指針p.103 24~36時間
		反応タンク容量(全池合計)		<計算値>	m ³	=計画日最大汚水量×HRT/24
		反応タンク流入水量		<計算値>	m ³ /日/池	1.5~10千m ³ /日 下水道統計
		構造寸法	池数	≥2	池	設計指針p.103 2池以上
			池幅	4	m	設計指針p.103 2~6m
			水深	3	m	設計指針p.103 1~5m
池長	<計算値>		m	=反応タンク容量/(池幅×水深×池数)		
反応タンク容量(1池あたり)		<計算値>	m ³	=タンク容量(全池合計)/池数		
1-a	縦軸型曝気装置	設計諸元	酸素移動量	12~50	kg-O ₂ /h	メーカーカタログ
		電動機出力	7.5~30	kW		
		台数	≥2	台	設計指針p.105 2台以上	
		運転時間	24	時間/日		
最終沈殿池設備						
2	最終沈殿池 (円形放射流式)	設計諸元	水面積負荷	8.0	m ³ /m ² /日	設計指針p.108 8~12m ³ /m ² /日
		沈殿時間		9.0	時間	設計指針p.108 6~12時間
		構造寸法	池数	≥2	池	設計指針p.107 2池以上
			有効水深	<計算値>	m	設計指針p.108 3~4m (=沈殿時間×水面積負荷/24)
直径		<計算値>	m	≤20m=(日最大流入水量/水面積負荷/池数×4/π) ^{1/2}		
2-a	汚泥掻き寄せ機 (中央駆動式)	運転台数原単位	1	台/池		
		電動機出力	0.4	kW	技術資料 ¹⁰⁾ 直径10m以下 直径10m超え	
		0.75	kW			
		運転時間	24	時間/日	常時運転	
2-b	スクラム移送ポンプ (吸込スクリュウ式)	運転台数原単位	0.5	台/池	0.5台/池とする。	
		スクラムスキマ スクラム排出量 (1池あたり)	スクラム排出量	<計算値>	m ³ /分/池	=60×流出係数×切り欠き幅×越流水深 ^{3/2}
			切り欠き幅	<計算値>	m	=池幅-0.5m
			越流水深	0.02	m	
		吐出量		<計算値>	m ³ /分/台	=スクラム排出量/運転台数原単位/運転時間×24/60
		電動機出力	吐出量~0.4m ³ /分/台	2.2	kW	メーカーカタログ (吐出圧0.1MPa時)
吐出量0.4~1.0m ³ /分/台	3.7		kW			
吐出量1.0~1.6m ³ /分/台	5.5		kW			
運転時間	2	時間/日	技術資料 ¹⁰⁾			
2-c	消泡水ポンプ (横軸渦巻ポンプ)	運転台数原単位	0.5	台/池	スクラム移送ポンプと同様で0.5台/池とする。	
		吐出量原単位	0.3	m ³ /分/池	技術資料 ¹⁰⁾ p.130-134より原単位を作成	
		吐出量	0.6	m ³ /分/台	<計算値>運転台数原単位×吐出量原単位	
		電動機出力	吐出量~0.75m ³ /分/台	5.5	kW	メーカーカタログ
		運転時間	6	時間	技術資料 ¹⁰⁾ p.127	
2-d	返送汚泥ポンプ (吸込スクリュウ式)	運転台数原単位	1	台/池		
		汚泥返送比(設計)	150	%	設計指針p.103 100~200%	
		吐出量 <計算値> =日最大流入水量×汚泥返送比(設計)/100/運転台数/運転時間/60		m ³ /分/台		
		電動機出力	吐出量~2.3m ³ /分/台	7.5	kW	メーカーカタログ
			吐出量2.3~3.5m ³ /分/台	11	kW	
吐出量3.5~4.1m ³ /分/台	15		kW			
吐出量4.1~6.3m ³ /分/台	18.5		kW			
運転時間	24	時間/日				
最終沈殿池設備						
2-e	余剰汚泥ポンプ (吸込スクリュウ式)	運転台数原単位	0.5	台/池		
		運転時間(設計)	2	時間/日	1時間に5分運転(2時間/日)するものとする。	
		吐出量 <計算値> =日最大汚泥量/運転台数/運転時間(設計)/60		m ³ /分/台		
		電動機出力	吐出量0.3~0.4m ³ /分/台	2.2	kW	メーカーカタログ
			吐出量0.4~1.0m ³ /分/台	3.7	kW	
吐出量1.0~1.6m ³ /分/台	5.5		kW			
吐出量1.6~2.3m ³ /分/台	7.5		kW			
運転時間	<計算値>	時間/日	=日平均汚泥量/(吐出量×運転台数×60)			
消毒設備						
3	次亜塩素酸ソーダ注入 (ポンプダイヤフラム式 定量ポンプ)	運転台数	1	台		
		設計諸元	塩素注入率	4	mg/L	設計指針p.237 1~4mg/L
			有効塩素濃度	10	%	設計指針p.236 12%程度
			比重	1.1	-	
		吐出量 <計算値> =日最大流入水量×塩素注入率/有効塩素濃度/比重/運転台数/運転時間/60/10		L/分/台		
		電動機出力	吐出量2.2L/分/台 未滿	0.2	kW	メーカーカタログ
吐出量2.2~9.4L/分/台	0.4		kW			
吐出量9.4~25.3L/分/台	0.75		kW			
運転時間	24	時間/日				

泥ポンプと仮定した。消毒設備は塩素消毒とし、次亜塩素酸ソーダ注入ポンプとした。

(2) 設備能力

① 処理場内の各水質の収支計算条件

表-3の条件で設定処理場ごとに処理場の各水質の収支を計算した。モデル処理場の流入水質・処理水質については、分流式の下水処理場における平均的な水質を想定した。過去の消費電力量原単位の試算事例⁷⁾から設定し、流入水質はBOD:200mg/L, SS:180mg/L, T-N:40mg/L, 処理水質はBOD:3.0mg/L, SS:3.0mg/L, T-N:8.0mg/Lとした。流入汚水量は計画日最大汚水量の80%に設定した。反応タンク、最終沈殿池に関する各諸元については設計指針⁸⁾等により設定した。なお、脱水濾液については考慮していない。

② 容量計算方法

容量計算の条件を表-4に示す。HRTは24時間、池数は2池以上とした。縦軸型曝気装置について、必要酸素量(AOR)は単位BOD当たりの必要酸素量 $1.8\text{kgO}_2/\text{kgBOD}$ ⁸⁾にBODを乗じて算出した。AORから酸素供給量SORを計算した(表-5)。設計上の酸素供給量よりも縦軸曝気装置の酸素供給量が大きくなるよう適した仕様の縦軸型曝気装置を選定した。縦軸型曝気装置の酸素供給効率は $2.2\text{kgO}_2/\text{kWh}$ ⁹⁾とした。設備能力のラインナップの関係で3~6割程度余裕がある割付となった。その他設備の設備容量は設計指針等により諸元を設定し、必要能力に見合った設備を設定した。設備の定格電力や能力についてはメーカーカタログにより設定した。設備の運転時間について、縦軸型曝気装置、汚泥掻き寄せ機、返送汚泥ポンプ、次亜塩素酸ソーダ注入ポンプは24時間運転、余剰汚泥ポンプは日平均汚泥量から設定した。

表-5 必要酸素量 AOR, 酸素供給量 SOR 試算結果

計画日最大汚水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	①必要酸素量AOR ($\text{kgO}_2/\text{日}$)	②酸素供給量SOR ($\text{kgO}_2/\text{日}$)	③縦軸曝気装置酸素供給量SOR ($\text{kgO}_2/\text{日}$)	SOR 余裕率 (③/②)
1,500	588	898	1,152	1.28
3,000	1,175	1,795	2,400	1.34
5,000	1,958	2,992	4,800	1.60
10,000	3,915	5,984	9,600	1.60

③ 定格電力に対する負荷率

縦軸型曝気装置の高速運転時の負荷率は、文献値¹¹⁾より機械効率を87%、電動機負荷率を75%とし、0.65とした。また、無酸素運転時は高速運転時のインバータ回転数が半分になると仮定し、既存調査事例¹²⁾の回転数と消費電力の関係を参考に0.18と

した。運転時間は、計画日最大汚水量に対する日平均汚水量の比率0.8、設計上のSORに対する曝気装置の割付の余裕率1.3~1.6であることを踏まえ、高速運転14時間、無酸素運転10時間に設定し、日平均の負荷率を0.45とした。

その他の水処理設備の定格電力に対する負荷率は、機械効率を87%、電動機負荷率を75%と想定し、直入電動機を0.65とした。また、可変速電動機(返送汚泥ポンプ、次亜塩素酸ソーダ注入ポンプ)については、流入水の時間変動を考慮して定格流量の1.5倍の流量を出せるポンプを選定することが一般的であるため、定格回転数で運転した場合の電動機負荷率は半分以下となるため0.3とした。

(3) 試算消費電力量原単位

容量計算結果により割りつけた水処理設備の定格電力に、定格電力に対する負荷率及び運転時間を乗じて総消費電力量を算出し、計画日最大汚水量の80%で除して試算消費電力量原単位を算出した(表-6)。縦軸型曝気装置の電力消費が大きく、原単位のうち反応タンクが大半を占めた。最終沈殿池及び消毒設備は、処理量が大きくなるにつれて原単位が低くなった。反応タンクについても計画日最大汚水量が大きくなると原単位が低くなるのが予想されたが、設備選定の関係で逆に高くなった。水処理全体では計画日最大汚水量による原単位の変動は軽微であった。

表-6 試算消費電力量原単位

	消費電力量原単位 (kWh/m^3)			
	水処理 合計	反応 タンク	最終沈 殿池	消毒 設備
1,500 $\text{m}^3/\text{日}$	0.404	0.270	0.133	0.0012
3,000 $\text{m}^3/\text{日}$	0.337	0.270	0.066	0.0006
5,000 $\text{m}^3/\text{日}$	0.377	0.324	0.053	0.0004
10,000 $\text{m}^3/\text{日}$	0.377	0.324	0.053	0.0002

2.3 統計値と試算値の消費電力量原単位の比較

消費電力量原単位について、統計値(表-1)と試算値(表-6)の比較を図-3に示す。統計値の日平均処理水量は、表-1の階級別日平均処理水量の中央値を用いた。試算値は流入汚水量(計画日最大汚水量の80%)を用いた。日平均処理水量4,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 未満では試算値よりも統計値が高くなる傾向にあった。

処理水量4,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 未満の処理場は、多くの処理場で試算値よりも高い消費電力量原単位で運転していることが示唆された。このように消費電力量原単位が高くなる要因として、表-6に示したように縦軸型曝気装置の消費電力量原単位の比率が大きいため、表-1に示すように日平均流入水量が少ない

処理場で流入比率が低く変動が大きくなっていることが想定される。つまり、施設能力に対して流入水量が少ない処理場では、電力消費を抑制するため、流入負荷に応じた曝気装置の運転管理が必要になるものと考えられる。

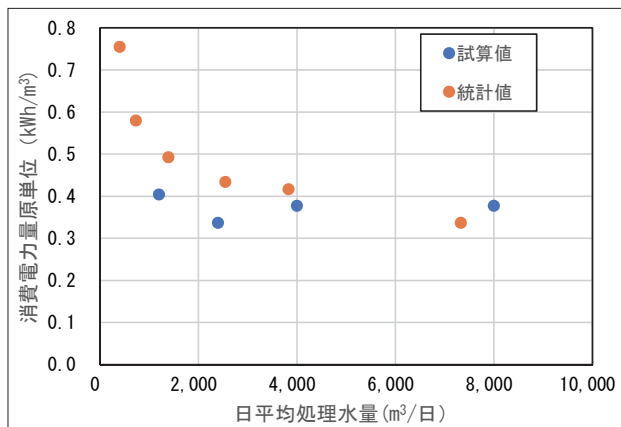


図-3 統計値と試算値の消費電力量原単位の比較

3. 下水処理場ヒアリング調査

処理場の運転管理について、実際の消費電力量原単位への影響因子を調べるため、OD法を採用する処理場を対象に曝気装置の運転方法を中心にヒアリング調査を行った。入手データから、曝気装置の運転時間と曝気装置の動力からエアレーションによる消費電力量を試算し、実消費電力量との比較を行った。

3.1 ヒアリング方法

(1) ヒアリング対象処理場の選定⁴⁾

ヒアリング対象処理場は、下水道統計から、日平均流入汚水量 1,000m³/日以上、反応槽の有効水深 2.5 ~ 3.6m 等の条件で抽出した。躯体や曝気装置の機種による影響を排除するため縦軸型曝気装置を採用する処理場を電話で確認し、9箇所の処理場をヒアリング対象とした。図-4 にヒアリング対象処理場の消費電力量原単位を示す。ヒアリング時に入

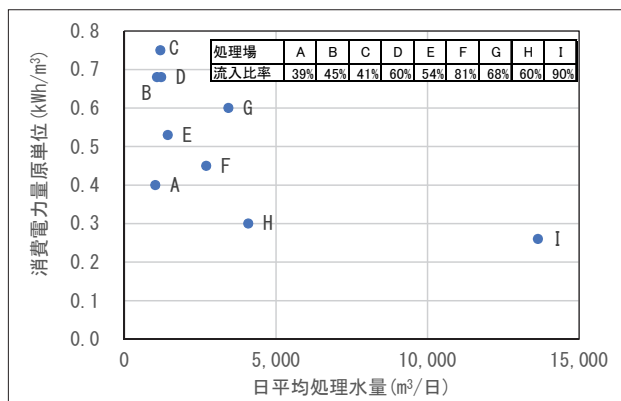


図-4 ヒアリング対象の水処理消費電力量原単位

手した運転管理年報に基づいて算出した。A, C, E, G の処理場は主ポンプの消費電力量を含んでおり、水処理に係る流入水量 1 m³ あたりの消費電力量の定義から外れており、消費電力量原単位を過大評価しているものと考えられる。消費電力量原単位が高いグループとして B, C, D を、低いグループとして H, I を選定した。

(2) ヒアリング項目⁴⁾

「消費電力量に寄与する因子」を整理するため、曝気装置を中心にヒアリングした。具体的には、曝気装置の運転状況（酸素供給目的の高速運転、攪拌目的の無酸素運転、停止時間）、曝気装置の形式・定格電力・インバータ回転数を確認した。さらに消費電力量と水質を確認するために運転管理年報・月報を入手した。ただし、処理場の管理状況により入手できないデータもあった。また、曝気装置の運転管理の背景を明らかにするため、処理場の管理体制、曝気装置の運転方法の変更経緯等についてもヒアリングを行った。

(3) 消費電力の解析方法

曝気装置の運転時間と曝気装置の定格出力を用いて、エアレーションによる消費電力量を試算した（以後、曝気装置試算消費電力量原単位）。「2.2 消費電力量原単位の試算」と同様に高速運転時間の電力負荷率は 0.65¹¹⁾、低速運転時間の電力負荷率は 0.18¹²⁾ とした。なお、C 処理場は高速運転時間も回転数を落として運転していることが確認され、現場での電流確認値及び文献¹²⁾を参考に電力負荷率を高速運転時間 0.50、低速運転時間 0.36 と設定した。曝気装置による酸素供給量は、曝気装置の電力量に酸素移動効率 2.2 kgO₂/kWh⁹⁾ を乗じて試算した。必要酸素量は、維持管理年報に記載された日平均汚水量と流入汚水 BOD 分析値から流入 BOD 負荷量を整理し、単位 BOD 当たりの必要酸素量 1.8kgO₂/kgBOD⁸⁾ を乗じて試算した。

3.2 ヒアリング結果

3.2.1 曝気装置の運転状況に関するヒアリング

(1) 曝気装置の運転状況

曝気装置の運転について、殆どの処理場では低速運転ではインバータの回転数を高速運転の半分程度に設定していた。図-5 にヒアリングにて整理した曝気装置の運転スケジュールの一例を示す。A 処理場は攪拌用の水中プロペラを設置している。0.40kWh/m³ と消費電力量原単位が低い A 処理場は流入比率が 39% であるが、高速運転時間が 9 時間、低速運転時間が 9 時間、停止時間が 6 時間であった。それに対し、消費電力量原単位 0.68kWh/m³ と高い B 処理場では高速運転時間 12 時間と高速運

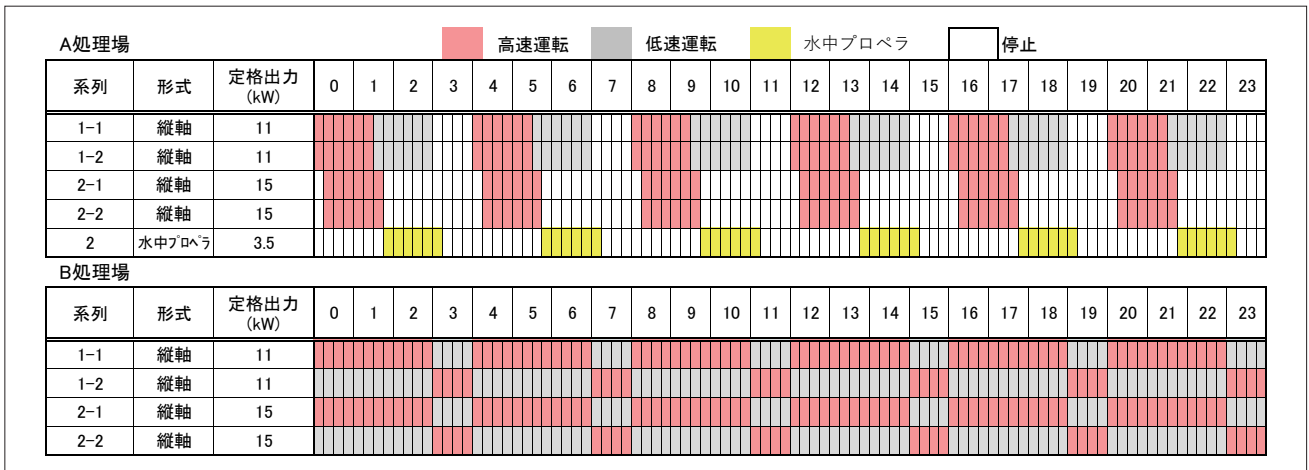


図-5 処理場における運転スケジュール

転時間が長くなっていた。

(2) 必要酸素量と酸素供給量の推定

各処理場の消費電力量原単位と、曝気装置試算消費電力量原単位を比較(図-6)したところ、全ての処理場で消費電力量原単位のほうが大きくなった。主ポンプの電力量が消費電力量原単位に含まれている処理場があること、表-6より曝気装置以外の終沈や消毒設備の消費電力量原単位が0.05～0.13kWh/m³程度と見込まれることを踏まえると、曝気装置試算消費電力量原単位の試算方法は概ね妥当であると推察される。

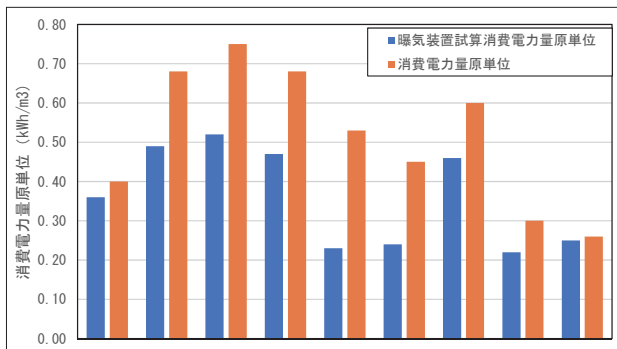


図-6 各処理場の消費電力量原単位と曝気装置の消費電力量原単位を比較

試算した必要酸素量と供給酸素量を比較すると(図-7)、消費電力量原単位が比較的高い処理場B, Cは試算された必要酸素量に対して酸素供給量が

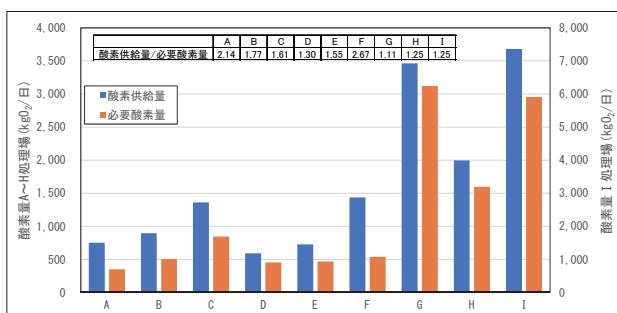


図-7 酸素供給量と必要酸素量の比較

1.61～1.77倍となった。また、消費電力量原単位が低い処理場H, Iは試算された必要酸素量に対して酸素供給量が1.25倍となった。表-6で示す通り水処理全体の消費電力量の大部分を反応タンクの曝気装置が占めるため、曝気装置の運転が適切に行われていることが消費電力量原単位を低減するために重要であることが確認できた。一方で、消費電力量原単位が比較的低い処理場Aでも2.14倍となっており、消費電力量原単位が低い処理場でも曝気装置の運転時間が過大な場合がある。逆に、消費電力量原単位の高い処理場Gは1.11倍となっており、適正な曝気装置の運転管理になっている場合もあることが示唆された。OD法ではBODにより必要酸素量を試算しているため、BODの影響は大きい。処理場FはBOD110mg/Lと小さく必要酸素量に対して酸素供給量が2.67倍と過大となっているのに対し、処理場GはBOD479mg/Lと大きく必要酸素量に対して酸素供給量が1.11倍と適正であった。当然であるが流入水質による消費電力量原単位への影響も考慮する必要がある。

(3) 酸素の用途内訳の推定

酸素の使用用途を推定するため、流入水質、放流水質、MLSS及びHRTのデータが得られたC, F, H処理場において、標準活性汚泥法のAOR算出式⁸⁾に準拠し、除去BOD量、除去N量、微生物の内生呼吸、流出水により系外に出る酸素量から必要酸素量を試算した(表-7)。なお、算出にあたり各係数は設計指針記載の中央値を用いた。微生物の内生呼吸に関して、OD槽の全てを好気槽と仮定した。また、G処理場はHRTデータを入手できなかったが、設計HRTを24時間として、流入水量より推定した。MLSSが低いG処理場を除いて、必要酸素量の半分以上を内生呼吸で消費する結果になった。一方で、流入汚水のBODが高くMLSSが低いG処理場は、

表-7 用途別必要酸素量 (AOR) 試算

処理場	流入水量 (m ³ /日)	流入水質 (mg/L)			放流水質 (mg/L)			MLSS (mg/L)	HRT (hr)	標準活性汚泥法の算出式によるAOR(kgO ₂ /日)					OD法の算出式によるAOR (kgO ₂ /日)
		BOD	SS	T-N	BOD	SS	T-N			①有機物酸化	②硝化反応	③内生呼吸	④DO維持	合計	
C	1,181	398	202	33	1.4	1.0	2.1	3,493	59	281	168	810	3	1,263	847
F	2,722	110	123	29	1.5	1.2	2.7	3,178	29	177	327	836	6	1,347	539
G	3,620	479	235	36	2.6	3.5	2.1	1,810	35	1,035	561	764	8	2,368	3,121
H	4,467	199	281	32	1.3	3.0	2.3	3,695	42	529	608	2,316	10	3,464	1,598

内生呼吸の必要酸素量は3割強に留まった。

F 処理場では OD 法の算出式による AOR では過大となっていたが、活性汚泥法の算出式を用いて AOR を試算すると、必要酸素量と酸素供給量は概ね一致していた。このように MLSS を高く保っている処理場では酸素供給量が過大となっていたが (図-6)、常に好気的な条件で槽内を維持すると、微生物の内生呼吸による酸素消費が大きくなる。流入水量が少ない時間帯に無酸素運転に切り替えるなど、適切な曝気装置の運転管理が必要だと考えられる。

3.2.2 処理場の管理体制, 曝気装置の運転方法

(1) 処理場の管理体制

管理体制についてヒアリングを行えなかった E, I 処理場以外の管理体制を表-8 に示す。下水道を担当する地方公共団体職員は、ほとんどの場合、配置されている技術者は土木職のみで、機械・電気職は配置されていなかった。処理場への来訪頻度も1~6回/月程度であり、管理は受託者主体で実施していた。受託者の体制は、平日日中のみ勤務で4~5名体制が多い一方で、1名で管理している処理場もあった。

表-8 処理場の管理体制

処理場	発注者			受託者	
	下水道担当者	来訪頻度 (回/月)	備考	体制	備考
A	5名 課長、事務4名	2	農集、浄化槽も所管	平日5名 土曜1名	日中のみ勤務
B	4名 課長、技術2名、事務1名	4	浄化槽も所管	平日1名	日中のみ勤務
C	3名 技術2名、事務1名	1	道路管理を所管	週2回2名	日中のみ勤務
D	17名	2	ポンプ場、流域下水道も所管	平日5名	日中のみ勤務
F	12名 技術2名、事務10名	6	他処理区も含む	平日4名	日中のみ勤務
G	6名 技術1名、事務4名	4	水道事業も所管	平日9名	日中のみ勤務 ポンプ場も管理
H	10名 課長1名、技術8名、事務2名	2	他処理区も含む	平日4名、 休日1名	日中のみ勤務

(2) 曝気装置の運転管理

曝気装置の運転方法を表-9 に示す。殆どの処理

表-9 曝気装置の運転管理

処理場	曝気装置制御方法	タイマーの基本運転パターンの設定	調整方法	DOの活用
A	タイマー	受託者が設定	DO、NIにより調整	DO値を踏まえタイマー設定
B	タイマー	受託者の本社技術者が設定(長期間変えていない)	調整なし	DO計未校正
C	タイマー	保障運転時にメーカーが設定	水量により調整	計測データ不良
D	タイマー	前受託者が設定(10年以上前)	調整なし	DO計未校正
E	タイマー	未確認	処理水質により調整	未確認
F	タイマー	処理場立上時に設定	NIにより調整	計測データ不良
G	タイマー(一部DO)	系列新設時に設定	水質により調整	計測データ不良
H	タイマー	受託者が設定	NIにより調整	負荷が一定のため未実施
I	タイマー	未確認	水質により調整	未確認

場で反応槽における DO 制御を行っておらず、タイマー設定により曝気装置を運転していた。特に、B 処理場や C 処理場のように少人数管理の処理場では、長期間タイマー設定を殆ど変更しておらず、必要酸素量に対して酸素供給量が大きくなった一因と考えられる。また、自動制御に必要なセンサーなど制御機器のメンテナンスを実施していない処理場が多かった。

多くの処理場において管理業務委託は仕様発注であり、電気料金は発注者が支払っていた。曝気装置の運転に関して、省エネ推進の観点でなく、処理水質に影響の大きい不定期排水の対応を考慮するなど、安全側に立ち法令順守の観点から極力処理水質を低くすることを最優先にして管理していた。

(3) 管理員に関する課題

受託者に対するヒアリングによると、実際に維持管理を行う管理員の確保が課題となっており、募集をかけても若年層の応募は少ない状況である。受託者の管理員の技術力向上について、異動なく同一処理場で勤務していることが多い。また、維持管理に関する研修や技術指導を受ける機会がないとの課題も挙げられた。

4. まとめ

下水道統計より小規模処理場の電力量原単位を整理したところ、処理場毎の差が大きかった。また、消費電力量原単位の試算値と統計値を比較したところ、日平均処理水量 4,000m³/日未満では試算値よりも統計値が高くなる傾向にあった。表-1 に示すように流入水量が少ない処理場ほど流入比率が小さく、消費電力量原単位が高かった。これらの状況を確認するため実施したヒアリング調査では、消費電力量原単位が高い処理場において、曝気装置の運転時間が過大な所もあった。これら事象の一因としては、曝気装置の運転方法を殆ど変更していないことがあげられた。このように流入状況に応じた曝気装置の運転管理方法の柔軟な変更が省エネルギー化推進に資するものと考えられる。この規模の処理場では発注者及び受注者の管理体制が脆弱なところもあった。処理場の管理員について、人員増強や研修の実施などにより曝気装置の運転管理を適切に実施することで省エネルギーの推進が期待される。

一方、OD 法は、流入下水に水量、水質の時間的変動があっても安定した有機物除去を行うことができるのが特徴⁵⁾であり運転管理の簡素化を期待されて導入が進んだ経緯がある。今後は少子高齢化の進行により流入水量の減少が想定されることから、更なる処理場の運転管理の省力化・費用削減が求められる。

このように現実的には、社会的・財政的なりソースの関係で現行の処理場の管理体制では省エネルギー化は難しい状況にある。そのため、現在処理場の運転管理の各作業について、効率化・自動化を図る手法・技術が必要となる。具体的には、メンテナンス労力の少ないセンサー制御技術の開発や ICT を活用した集中監視による維持管理の共同化¹³⁾が想定される。管理人員を集約することで、一処理場あたりの管理費用削減、管理員の技術力向上が期待できる。また、集約先処理場で夜間監視やセンサー

制御により、不定期排水への対応も期待できる。このように運転管理の省力化を図りつつ、併せて省エネルギー化を推進するような技術の開発・導入が今後必要になるものと考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部，新下水道ビジョン加速戦略，2017
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部，下水処理場の省エネ技術導入マニュアル（案），2019，<https://www.mlit.go.jp/common/001295306.pdf>
- 3) (公社)日本下水道協会：平成 29 年度版 下水道統計，2019
- 4) 下水道技術開発レポート 2019 pp35-41，国土技術政策総合研究所資料，2020.6
- 5) 日本下水道事業団 技術評価委員会，オキシデーションディッチ法の評価に関する第 3 次報告書別添資料 p8，p12，2000.2
- 6) 公共投資ジャーナル社，下水処理場ガイド 2019
- 7) 橋本 敏一，渡邊 航介，高村和典，省エネ技術導入による下水処理場の電力消費量削減効果の検討，第 56 回下水道研究発表会講演集 pp635-637，2019
- 8) (公社)日本下水道協会，下水道施設計画・設計指針と解説 後編－2019 年版－，2019
- 9) 日本下水道事業団，機械設備標準仕様書（平成 30 年度）p6-27，2018
- 10) 活性汚泥法等の省エネルギー化技術に関する技術資料，（公財）日本下水道新技術機構，2014
- 11) 建設技術審査証明，縦軸型機械式曝気装置，公益財団法人日本下水道新技術機構 pp30-31，2020
- 12) 佐藤英二，森本茂基，若林淳司，山村健治，軸昇降式縦軸型曝気機の運転性能について（無酸素攪拌性能），第 41 回下水道研究発表会講演集 pp912-914，2004
- 13) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部，下水道事業における広域化・共同化の事例集，2018.8

(R4.4.8 受付)



濱田 知幸

国土技術政策総合研究所
下水道研究部 下水道研究室
研究官



田中 裕大

株式会社神鋼環境ソリューション
技術開発センター 技術開発部
元 国土技術政策総合研究所下水道研究部
下水道研究室 交流研究員



藤井 都弥子

国土技術政策総合研究所
企画部情報管理係長
元 下水道研究部 下水処理研究室



高村 和典

地方共同法人日本下水道事業団
審議役（研修企画）
元 国土技術政策総合研究所下水道研究部
下水道エネルギー・機能復旧研究官

Abstract

Actual energy consumption of small-scale sewage treatment plants

Tomoyuki HAMADA, Yasuhiro TANAKA, Tsuyako FUJII and Kazunori TAKAMURA

There are few studies on the actual power consumption of small-scale sewage treatment plants, and the feasible energy-saving measures are not clear.

Characteristics of electricity consumption intensity of small treatment plants were summarized using statistical data and estimates. Through hearing surveys at actual small-scale sewage treatment plants, the cause of high power consumption was estimated. Based on these survey results, we examined energy-saving measures.