

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）

－2019 年 6 月－

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部

は じ め に

東日本大震災以降、電力料金の高騰が下水道経営を圧迫するようになり、省エネルギー化（以下、省エネという）の取り組みが喫緊の課題となっている。平成 26 年のデータによれば、下水道事業における電力購入量は年間 1,100 億円に上り、維持管理費の約 10%に相当している。

国土交通省が平成 29 年 8 月に策定した「新下水道ビジョン加速戦略（平成 29 年 8 月）」では健全な下水道経営の確保のため省エネ技術採用等を通じたコスト縮減の徹底が掲げられ、また省エネ、創エネの推進により、概ね 20 年で下水道事業における電力消費量の半減を目標として取り組んでいくこととしている。

こうした中、国土交通省では、平成 30 年 3 月に「二軸管理手法のガイドライン」を公表し、下水処理場の運転・維持管理における処理水質と消費エネルギーの両面からの最適管理を実施するためのツールとして、二軸管理手法を用いることを提案している。

本マニュアル（案）では、下水処理場における消費電力量の大きい施設を対象とし、適切な処理水質を維持しながら省エネ効果を上げることを前提として、運転管理手法の改善による省エネ対策と、省エネ設備導入による省エネ対策について取り上げている。運転管理手法については、詳細な消費電力分析による改善事例や、従来省エネと思われてきた運転手法についても十分な効果が発揮されないケースがあることなど、可能な限り事例に基づいて定量的に示すことで、省エネ対策の実務者に活用され、継続的な省エネの取組改善が図られることを目指している。省エネ設備については、下水処理場への導入が進みつつある省エネ効果の高い技術を取り上げ、導入状況の調査等により確認された導入における留意点を合わせて示すことで、より効果的な導入が進められることを目指している。

各自治体におかれては本マニュアル（案）を参考に、短期的には、運転管理手法の改善についての考え方を理解され、日常の運転管理における省エネ対策を進めていただくとともに、中長期的には、より省エネ効果を高めるための省エネ設備の導入を実施いただくことで、電力消費量の削減についてのより高い目標を目指していただきたい。

加えて B-DASH 技術に代表される新たに開発された省エネ技術の導入や、汚水処理事業全体としてより効率的に事業運営を行うための広域化・共同化を進めていくことにより、下水道事業における電力消費量の半減の目標が達成されることを期待するものである。

下水処理場におけるエネルギー最適化検討委員会

(順不同・敬称略)

委員長	日本大学生産工学部土木工学科教授	森田 弘昭
委員	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	藤井 都弥子
〃	国立研究開発法人 土木研究所先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ上席研究員	重村 浩之
〃	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部 技術開発企画課課長代理	水田 丈裕
〃	茨城県流域下水道事務所県西浄化センター技佐兼 県西浄化センター長	藤ヶ崎 一美
〃	東京都下水道局計画調整部 エネルギー・温暖化対策推進担当課長	竹俣 政則
〃	大阪府都市整備部下水道室事業課計画グループ長	中西 嘉則
〃	横浜市環境創造局都筑水再生センターセンター長	福田 有克
〃	公益社団法人日本下水道協会技術研究部技術指針課技術主査	土橋 昌郎
〃	公益社団法人全国上下水道コンサルタント協会 下水道委員会下水道施設小委員会委員長	小野 和子
〃	一般社団法人日本下水道施設業協会技術部長	堅田 智洋
〃	一般社団法人日本下水道施設管理業協会常務理事	佐藤 洋行

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） 目次

第1章	総 則	1
第1節	目 的	1
§1	目 的	1
§2	適用範囲	3
§3	マニュアルの基本的考え方と構成	5
第2節	用語の定義	7
§4	用語の定義	7
第2章	下水処理場の消費エネルギーの概要	8
§5	標準的な消費エネルギー	8
§6	処理場全体の消費エネルギー	10
第3章	主ポンプ設備における省エネ手法	13
§7	主ポンプの運転方法改善手法	13
第4章	水処理設備における省エネ手法	31
第1節	最初沈殿池設備	31
§8	最初沈殿池の運転方法改善手法	31
第2節	反応タンク設備，送風機設備	34
§9	送風機の運転方法改善手法	34
§10	高効率散気装置の導入	51
§11	反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転方法改善手法	58
§12	省エネ型反応タンク攪拌機の導入	61
第5章	污泥処理設備における省エネ手法	74
§13	污泥貯留槽の攪拌機の運転方法改善手法	74
§14	省エネ型污泥濃縮機の導入	75
§15	省エネ型消化タンク攪拌機の導入	84
§16	省エネ型污泥脱水機の導入	88
§17	省エネ型污泥焼却炉の導入	97
第6章	省エネ対策の導入へ向けて	102
§18	運転方法改善手法の導入の注意点	102
§19	省エネ機器の導入ロードマップ	105

資料編 目次

1. ケーススタディ

(1) 省エネ対策の効果のまとめ.....	資料-1
-----------------------	------

§ 1 消費エネルギー削減事例.....	資料-1
----------------------	------

(2) モデル自治体による検証結果.....	資料-2
------------------------	------

§ 2 省エネ手法の適用状況.....	資料-2
---------------------	------

1) モデル自治体への運転手法改善による省エネの適用状況.....	資料-2
-----------------------------------	------

2) モデル自治体への省エネ機器導入による省エネの適用状況.....	資料-2
------------------------------------	------

§ 3 事例 E での検証結果.....	資料-3
----------------------	------

1) 処理場の概要.....	資料-3
----------------	------

2) 主ポンプの運転方法改善に関する検討結果.....	資料-4
-----------------------------	------

3) 送風機の運転方法改善に関する検討結果.....	資料-7
----------------------------	------

4) 汚泥貯留槽攪拌機の運転方法改善に関する検討結果.....	資料-10
---------------------------------	-------

5) 運転手法改善による省エネ効果のまとめ.....	資料-11
----------------------------	-------

6) 省エネ機器導入による省エネ対策.....	資料-12
-------------------------	-------

7) 省エネ対策のまとめ.....	資料-15
-------------------	-------

§ 4 事例 F での検証結果.....	資料-19
----------------------	-------

1) 処理場の概要.....	資料-19
----------------	-------

2) 主ポンプの運転方法改善に関する検討結果.....	資料-20
-----------------------------	-------

3) 送風機の運転方法改善に関する検討結果.....	資料-20
----------------------------	-------

4) 反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転方法改善に関する検討結果.....	資料-45
--	-------

5) 運転手法改善による省エネ効果のまとめ.....	資料-47
----------------------------	-------

6) 省エネ機器導入による省エネ対策.....	資料-47
-------------------------	-------

7) 省エネ対策のまとめ.....	資料-54
-------------------	-------

§ 5 事例 G での検証結果.....	資料-58
----------------------	-------

1) 処理場の概要.....	資料-58
----------------	-------

2) 主ポンプの運転方法改善に関する検討結果.....	資料-59
-----------------------------	-------

3) 送風機の運転方法改善に関する検討結果.....	資料-66
----------------------------	-------

4) 最初沈殿池水面積負荷低減による運転方法改善手法.....	資料-75
---------------------------------	-------

5) 反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転方法改善に関する検討結果.....	資料-76
--	-------

6) 汚泥貯留槽攪拌機の運転方法改善に関する検討結果.....	資料-77
---------------------------------	-------

7) 運転手法改善による省エネ効果のまとめ.....	資料-78
----------------------------	-------

8) 省エネ機器導入による省エネ対策.....	資料-79
-------------------------	-------

9) 省エネ対策のまとめ.....	資料-83
-------------------	-------

2. 技術紹介

(1) 固液分離促進による省エネ技術.....	資料-88
(2) 濃縮一体化脱水法.....	資料-90
(3) 下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト)	資料-92

3. 運転日報の例	資料-93
-----------------	-------

4. 問診票	資料-107
--------------	--------

第 1 章 総 則

第 1 節 目 的

§ 1 目 的

本マニュアル（案）は、省エネに資する運転方法と近年、下水処理場に導入されつつある省エネ設備について、具体の事例を用いて可能な限り定量的に効果を提示すること等により、下水処理場のエネルギー消費量の削減が図られることを目的とする。

【解 説】

東日本大震災以降、電力料金の高騰が下水道経営を圧迫するようになり、省エネルギー化（以下「省エネ」という。）の取り組みが喫緊の課題となっている。また、「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき「下水道における地球温暖化対策マニュアル」（平成 28 年 3 月、環境省・国土交通省）が策定され、下水処理場の一層の省エネが求められている。更に、「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～」（平成 30 年 3 月、国土交通省）では、適切な処理水質と消費エネルギーを両立させつつ事業を進めていく考え方が示されている。

省エネを進めるにあたっては、処理場全体、システム全体として事業執行が効率的になるようにすべきであり、省エネ技術の導入は他設備への影響に配慮して検討していく必要がある。

本マニュアル（案）で取り上げる省エネ技術は、主に処理水質に影響のない省エネルギー化技術を選定しており、処理水質を維持しながら消費エネルギーを低減させることが可能となる。また、省エネ技術には、運転管理手法の改善による省エネ技術と省エネ機器導入による省エネ技術があり、運転管理手法の改善による省エネ技術については、省エネ効果を可能な限り事例に基づき定量的に提示している。

第 2 章の下水処理場の消費エネルギーの概要に示すように、汚泥焼却設備の有無で消費エネルギーの構成比率は大きく異なり、汚泥焼却設備が無い場合は消費エネルギーの約半分を主ポンプと送風機で占める。主ポンプや送風機の省エネルギーを考慮した運用方法は、第 3 章、第 4 章に示すように、エネルギー原単位として、日報データに示される時間ごとの消費電力量等のデータに基づく単位揚水量あるいは単位送風量当たりの数値を分析することにより明らかとなる。しかし、§ 7 に示すように、監視制御設備で収集する消費電力量データの最小計測値が消費電力量に対して粗く消費電力分析が困難な事例も少なからず見られる。

§ 7 では、主ポンプで導入が進んでいる回転速度制御設備の利用が必ずしも適正に行なわれていないため、省エネが効果的になっていないことを消費電力分析の結果から示している。特に、近年、省エネ手法として採用事例が多い高水位一定制御では逆効果となっている場合があることを具体的な数値で示している。このように、従来省エネと思われてきた手法も有効な効果が得られないことがあるため、定量的な分析・評価を行うことによりその有効性について確認する必要がある。

また、省エネ技術は一度導入したら終わりではなく、設備の更新や流入水量・水質の変化などに

合わせて、継続して検討・改善していくことが重要であり、より省エネを進めていくためには、資料編に示す新技術（B-DASH 技術）のような省エネシステムの導入や、汚水処理事業全体としてより効率的に事業運営を行うための広域化・共同化を進めていくことも必要である。なお、広域化・共同化については、「広域化・共同化計画策定マニュアル（案）」（平成 31 年 3 月，総務省，農林水産省，国土交通省，環境省），「下水汚泥広域利活用検討マニュアル」（平成 31 年 3 月，国土交通省）などを参照されたい。

§2 適用範囲

本マニュアル（案）は、概ね平均処理水量 1 万 m^3 /日以上 of 活性汚泥法を採用する下水処理場に適用する。

なお、1 万 m^3 /日未満の下水処理場については、適用できる設備等を有しない場合等があることから、留意されたい。

【解 説】

全国の下水処理場は約 2,200 箇所存在するが、図 2-1、表 2-1 に示すように、日平均処理水量 1 万 m^3 /日以上 of 下水処理場は約 600 箇所あり、消費エネルギーの約 9 割を占める。下水処理場における省エネ量を考慮して、本マニュアル（案）は、概ね日平均処理水量 1 万 m^3 /日以上 of 活性汚泥法を採用する下水処理場が省エネを図る際に参考となる情報を提供している。

日平均処理水量 1 万 m^3 /日未満の下水処理場については、適用できる設備等を有しない等、個別の省エネ技術については対象とはならない場合があるが、省エネに対する考え方を参考に検討されたい。

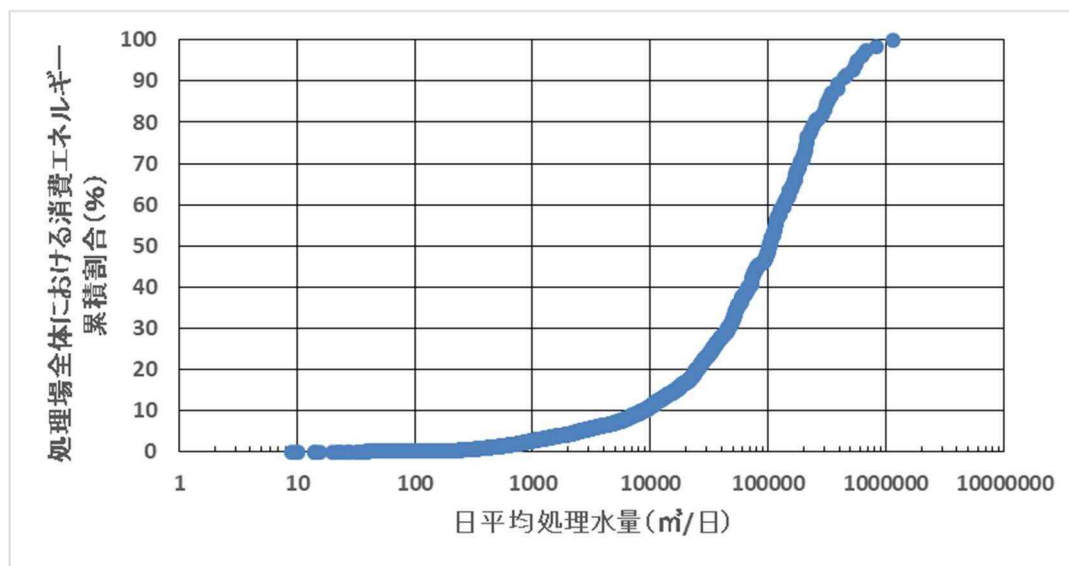


図 2-1 日平均処理水量と処理場全体における消費電力量の累積割合の関係
(下水道統計 H26)

表 2-1 日平均処理水量と消費電力（下水道統計 H26）

日平均処理水量 m ³ /日	処理場数 箇所	全体		水処理	
		消費エネルギー 千kWh/年	割合 %	消費エネルギー 千kWh/年	割合 %
0～1万	1,615	751,799	11.0	390,908	12.0
1～2万	144	400,498	5.8	180,048	5.5
2～5万	185	1,048,551	15.3	517,701	15.9
5万～10万	95	1,191,971	17.4	541,743	16.7
10万～15万	44	901,099	13.1	415,377	12.8
15万～20万	27	641,636	9.4	339,119	10.4
20万～25万	13	502,559	7.3	246,013	7.6
25万～30万	4	168,057	2.5	79,476	2.4
30万～35万	7	376,770	5.5	155,139	4.8
35万～40万	2	134,600	2.0	70,813	2.2
40万～45万	1	112,848	1.6	36,018	1.1
45万～50万	1	33,764	0.5	16,044	0.5
50万～	7	591,109	8.6	257,532	7.9
合計	2,145	6,855,260	100	3,245,931	100

§3 マニュアルの基本的考え方と構成

本マニュアル（案）では、下水処理場の主ポンプ、水処理、汚泥処理の各設備のエネルギー消費の概要、運転方法改善や省エネ機器導入による省エネ効果、それらの省エネ対策における課題を本編において示す。

いわゆるシステムとしての省エネについては、事例を資料編に示す。

【解 説】

本マニュアル（案）は、概ね日平均処理水量 1 万 m³/日以上活性汚泥法を採用する下水処理場の省エネ技術に関して、主ポンプや送風機などの運転方法改善手法や省エネ機器の導入による省エネ効果などについて解説したものである。

第 1 章では、目的、適用範囲などを示す。

第 2 章では、統計資料や問診票によるアンケート調査（平成 29 年度国土交通省実施、以下「H29 問診票調査」）を用いて下水処理場のエネルギー消費の実態を明らかにしている。また、下水処理場の標準的消費エネルギーについて、標準活性汚泥法、高度処理法、焼却施設を有する下水処理場の 3 区分に分けて、日平均処理水量などを関数とする算定式を示している。

第 3 章では、主ポンプ設備における省エネ手法として、主ポンプの運転方法の改善事例を示す。

第 4 章では、水処理設備における省エネ手法を示す。第 1 節で最初沈殿池設備、第 2 節で反応タンク設備、送風機設備を取り上げ、省エネ手法として消費電力分析による送風機の運転方法の改善事例、省エネ機器導入による省エネ技術などを示す。

第 5 章では、汚泥処理設備における省エネ手法を示し、運転方法改善手法や省エネ機器導入による省エネ技術について示す。

第 6 章では、モデル自治体における検討結果などを踏まえ、省エネ技術の導入における注意点や省エネ技術の導入ロードマップについて述べる。

資料編では、モデル自治体における消費電力分析の結果についてケーススタディとしてまとめ、本編で取り上げた主に処理工程ごとに適用される省エネ技術の他に、処理システム全体に影響を与えるような省エネ技術の例を紹介している。また、消費電力分析に必要な運転日報の例を挙げ、分析に必要な情報をまとめた問診票を紹介する。

なお、設備の改築更新にあたっては、省エネ設備の導入を前提とするが本マニュアル（案）に記載する設備以外の採用を妨げるものではない。

また、省エネ技術の適用範囲を示したフロー図を図 3-1、図 3-2 に示す。

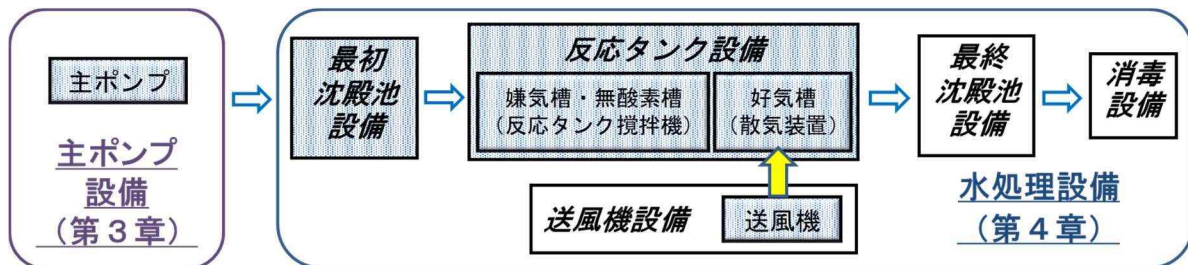


図 3-1 主ポンプ設備、水処理設備における省エネ手法の適用範囲（着色部）

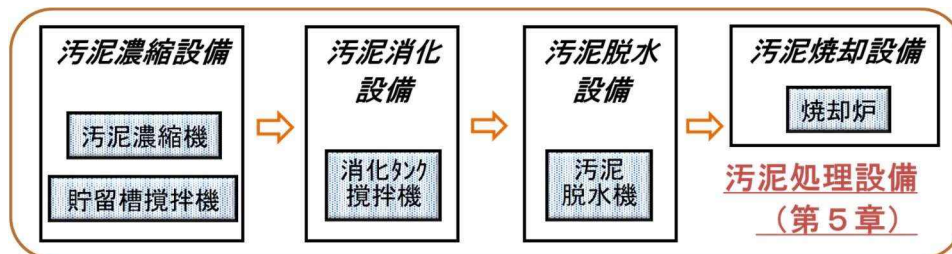


図 3-2 汚泥設備における省エネ手法の適用範囲（着色部）

第2節 用語の定義

§4 用語の定義

本マニュアル（案）で用いる用語を定義する。

【解 説】

本マニュアル（案）で用いる用語を，以下のように定義する。なお，下水道施設の基本的な用語に関しては「下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年版」（社団法人 日本下水道協会），「下水道用語集 2000 年版」（社団法人 日本下水道協会）に準拠する。

1) 省エネ技術

従来技術と比べて運転時の単位仕事量当たりのエネルギー消費量が少ない技術，仕事量自体を減少させる技術をいう。

2) エネルギー消費原単位

エネルギー消費量をエネルギー消費と関連のある量で除した値であり，効率を比較するための単位である。本技術マニュアル（案）では，仕事のために要したエネルギー消費量を生産量等で除した値とする。

3) 主ポンプ

下水処理場に流入する下水を揚水するための汚水ポンプを言う。

4) 水中攪拌機

反応タンク設備においては，吐き出し部に散気構造を組み合わせることで，攪拌と曝気の両方の機能を持ち合わせた水中駆動部をもつ攪拌機を言う。散気を止めることで，嫌気槽，無酸素槽での攪拌機として使用できる。

5) アンモニアセンサー

下水中のアンモニア濃度を概ね連続的に計測できる機器を言う。

第2章 下水処理場の消費エネルギーの概要

§5 標準的な消費エネルギー

下水処理場の標準的なエネルギー消費量は、水処理方式や焼却設備の有無で大きく異なる。

「下水道における地球温暖化対策マニュアル」（平成 28 年 3 月 環境省・国土交通省）では、全国の下水处理場の消費エネルギー量を分析し、標準的な処理水量当たりのエネルギー起源の二酸化炭素排出量を日平均処理水量の関数として示しており、管理する処理場の数値を代入することで、当該処理場におけるエネルギー消費量を全国の平均的な処理場と比較する目安として使うことができる。

【解 説】

「下水道における地球温暖化対策マニュアル」（平成 28 年 3 月，環境省・国土交通省）によれば、標準活性汚泥法，窒素除去を目的とした高度処理法，焼却設備を有する下水処理場のそれぞれについて標準的な処理水量当たりのエネルギー起源の二酸化炭素排出量（Y）を求める算出式が以下のように示されている。本算定式は，東日本大震災前の「平成 22 年度版下水道統計」（公益社団法人日本下水道協会）を用いて，全国の下水处理場の消費エネルギー量について分析した結果得られたものである。

（標準活性汚泥法）

$$\log(Y[\text{t-CO}_2/\text{千 m}^3]) = -0.208 \times \log(\text{日平均処理水量}[\text{m}^3/\text{日}]) + 0.059 \times \log(\text{流入 BOD}) \\ - 0.368 \times \log(\text{流入比率}) + 0.092$$

（高度処理法）

$$\log(Y[\text{t-CO}_2/\text{千 m}^3]) = -0.293 \times \log(\text{日平均処理水量}[\text{m}^3/\text{日}]) + 0.811$$

（焼却設備有）

$$\log(Y[\text{t-CO}_2/\text{千 m}^3]) = -0.282 \times \log(\text{日平均処理水量}[\text{m}^3/\text{日}]) + 0.846$$

例えば，排出係数 0.555（t-CO₂/千 kWh）を用いて上記算定式を電力消費量に，更に換算係数 0.248454kℓ/千 kWh を用いて消費エネルギーの原油換算原単位に換算すると，表 5－1 が得られる。

表 5 - 1 標準的な二酸化炭素排出量と消費エネルギー量

処理規模	単位		標準活性汚泥法	高度処理法	焼却設備有
2 万 m ³ /日	二酸化炭素排出量	t-CO ₂ /千 m ³	0.233	0.356	—
	電力量換算	千 kWh/年	3,070	4,680	—
	原油換算原単位	kℓ/千 m ³	0.1045	0.1593	—
5 万 m ³ /日	二酸化炭素排出量	t-CO ₂ /千 m ³	0.485	0.680	0.829
	電力量換算	千 kWh/年	6,380	8,940	10,910
	原油換算原単位	kℓ/千 m ³	0.0869	0.1217	0.1485
10 万 m ³ /日	二酸化炭素排出量	t-CO ₂ /千 m ³	0.834	1.109	1.365
	電力量換算	千 kWh/年	10,970	14,590	17,950
	原油換算原単位	kℓ/千 m ³	0.0747	0.0993	0.1222

窒素除去を目的とした高度処理法の下水処理場の標準的な消費エネルギー量は、標準活性汚泥法の下水処理場に比べて 1.33～1.52 倍となっている。硝化促進を行っている標準活性汚泥法の下水処理場との比較で見ると、流入水質が同じであれば、MLSS の違いによる送風機電力量分、無酸素槽や嫌気槽の攪拌動力分と循環式であれば硝化液循環ポンプの動力分の増加程度の違いとなるはずである。しかし、高度処理の算定式では日平均処理水量のみの関数となっている。水処理に最も酸素を必要とするのがアンモニアの硝化に必要な送風機電力量であることを考えれば、標準活性汚泥法と同様に流入水質が変数に入ることが想定される。このことは、現状の高度処理では、必要空気量に応じた維持管理が行われず、省エネ余地が大きいことを暗示している。

また、焼却設備を有する下水処理場の消費エネルギー量は非常に大きく、焼却設備が省エネを図る場合の最大のターゲットであることが分かる。

§ 6 処理場全体の消費エネルギー

全国の下水处理場のデータを用いて、下水処理場の電力や燃料等の消費エネルギー量を原油換算等で単位を合わせた場合、以下の特徴がある。

- ・下水処理場全体で使用しているエネルギー種別では電力が 92% を占める。
- ・施設別では水処理施設がエネルギー使用量の約半分を占める。
- ・汚泥焼却設備を有する下水処理場では、汚泥処理施設のエネルギー使用量の占める割合が約 45% であり、水処理施設よりも大きくなる。

【解 説】

「平成 24 年度下水道統計」（公益社団法人日本下水道協会）によれば、消費エネルギーを原油換算してエネルギー種別に示すと図 6-1 のとおりである。エネルギー種別で見ると、電力が約 92% を占める。また、設備別に示すと図 6-2 に示すように、水処理設備 49%、汚泥処理設備 28%、主ポンプ 14%、その他 9% となっている。水処理設備が約半分を占めることがわかる。「汚泥焼却設備」を有する下水処理場は、数では約 6% に過ぎないが、図 6-3 に示すように、水処理設備 38%、汚泥処理設備 45%、主ポンプ設備 13%、その他 4% となっている。汚泥焼却設備の消費エネルギー量が非常に大きいため、汚泥処理設備の消費エネルギーの方が水処理設備よりも大きくなっている。

一方、平成 29 年度に実施した国土交通省の間診票調査（H29 間診票調査）によれば、処理場全体の消費エネルギーの分布は図 6-4 の通りであり、焼却設備の有無で消費エネルギーが大きく異なることがわかる。また、下水処理場におけるエネルギー消費量を主な設備である主ポンプ、送風機、水処理、汚泥処理、焼却、その他に分類して、焼却の有無でその割合を示すと図 6-5 のとおりである。焼却設備の無い処理場における消費エネルギーの割合は、送風機が 32% と大きく、次いで水処理 24%、主ポンプ 17%、汚泥処理 16%、その他 11% となっている。送風機と水処理の合計は 56% となり、非常に大きな割合を占めていることが分かる。焼却を有する下水処理場について見ると、焼却の割合が 37% と非常に大きくなっている。焼却が有る場合は、焼却 37% に次いで、送風機 20%、水処理 18%、主ポンプ 10%、汚泥処理 8%、その他 7% となっている。送風機を除く水処理の割合が比較的高いが、間診票調査の対象処理場には好気槽に水中攪拌機を使用する割合が 53% と高かったことが原因と考えられる。

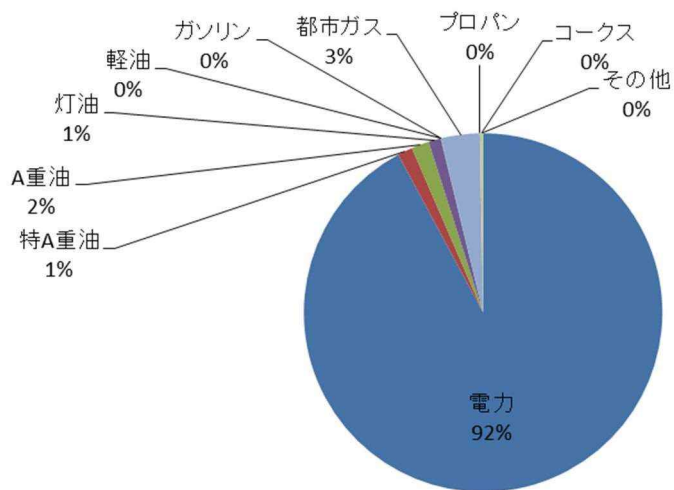


図 6 - 1 エネルギー種別の消費量の割合
(処理場全体)

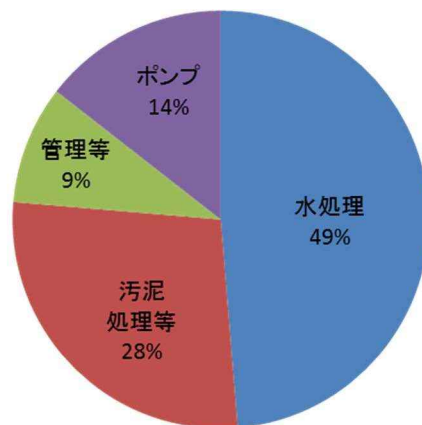


図 6 - 2 施設別の消費エネルギーの割合
(処理場全体)

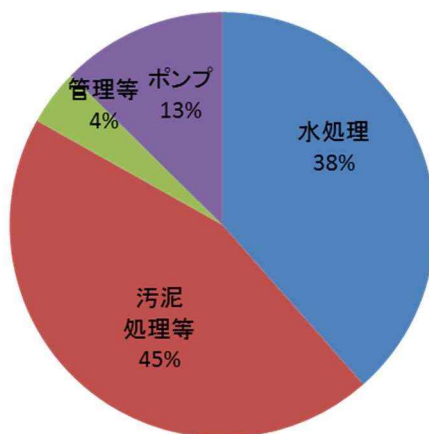


図 6 - 3 施設別の消費エネルギーの割合
(汚泥焼却設備を有する場合)

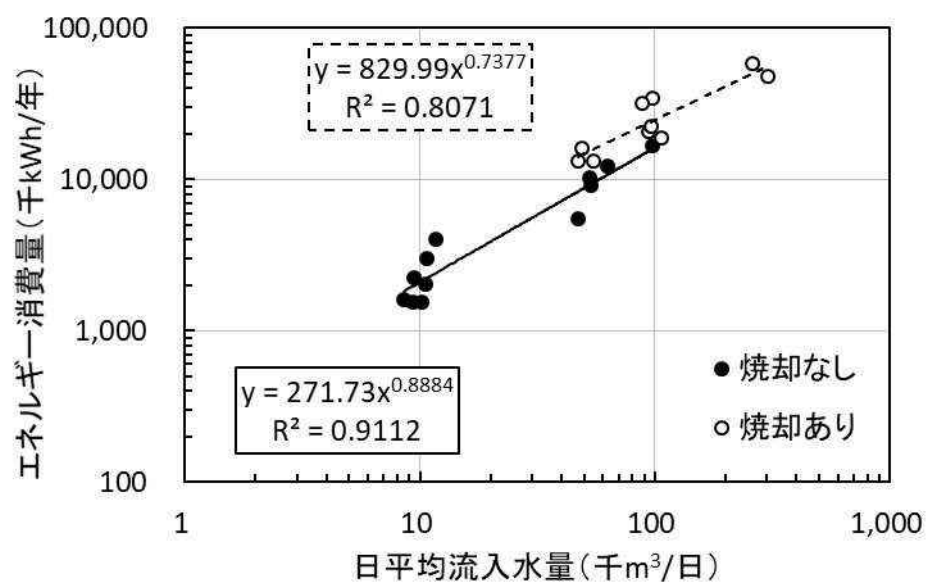


図 6-4 処理場全体の消費エネルギーの分布（H 2 9 問診票調査：33 処理場）

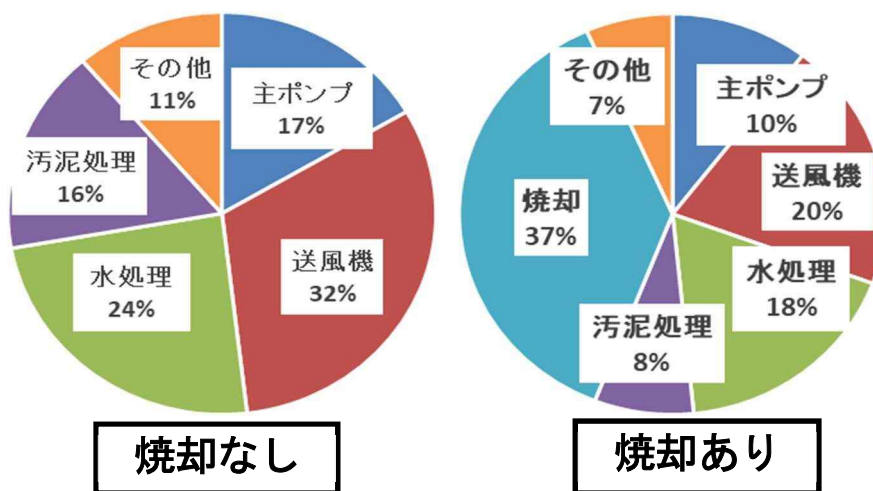


図 6-5 設備別の消費エネルギー（H 2 9 問診票調査：33 処理場）

第3章 主ポンプ設備における省エネ手法

§7 主ポンプの運転方法改善手法

主ポンプの省エネには、導入する機器の性能向上も必要であるが、運転方法を見直すことにより改善できる事例が多く見られる。

ポンプごとに最も効率の良い回転速度があるため、既存の主ポンプの運転状況と消費電力を分析し、複数あるポンプを送水量に応じて最適な組合せで運転できるように検討することが省エネに有効である。

【解説】

ここでは、下記について述べる。主ポンプは電動機容量の大きな設備のため、主ポンプの消費電力分析を行うことにより、現状の運転方法が省エネの観点から適正かどうか、確認が必要である。

- (1) 適用範囲
- (2) 主ポンプの運転状況
- (3) 主ポンプの消費電力分析手法
- (4) 消費電力分析で得られた改善事例

(1) 適用範囲

図7-1に示すように、省エネ手法を適用する「主ポンプ」は、主ポンプ設備の主ポンプのうち、汚水ポンプを対象とする。雨水ポンプは対象外である。但し、雨天時等に流入水量が増えた時だけ使用する大容量の汚水ポンプも対象とする。汚水ポンプの号機選択では、小容量から大容量の全ての汚水ポンプに対して、最適な運転の組み合わせを検討する。

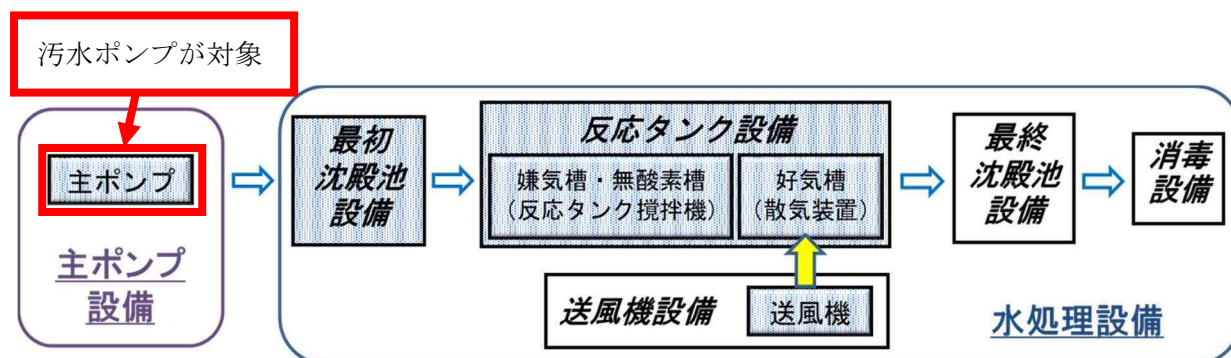


図7-1 主ポンプの運転方法改善手法の適用範囲

(2) 主ポンプの運転状況

第2章の図6-2，図6-3に示したように，下水処理場全体の消費エネルギー量に占める主ポンプの割合は，13%～14%と大きな割合を占めている。また，主ポンプは比較的長期にわたり使用される機器であるため，現在設置されている主ポンプをいかに効率的に運転して省エネを実現するか，すなわち主ポンプの運転方法改善による省エネが必要である。平成29年度に実施した国土交通省の問診票調査（H29問診票調査）から，主ポンプの常用機における揚水量調整方法について整理したものを図7-2に示す。問診票調査対象の処理場の内，75%の処理場において日常的に揚水量の調整を行っており，調整方法としてはVVVF（インバータ）の採用が63%と最も多かった。また，依然として少数であるがエネルギーを大幅にロスさせる吐出弁の開度による揚水量調整を行っているケースもあった。

ポンプ井の水位変動幅と主ポンプの揚程当たりの電力量及びVVVFの有無と主ポンプの揚程当たりの電力量を整理したものを図7-3，図7-4に示した。これらの図では，ポンプ井の水位変動幅，VVVFの有無により揚程当たりの電力量に若干の差は見られたが，大きな影響は確認されなかった。

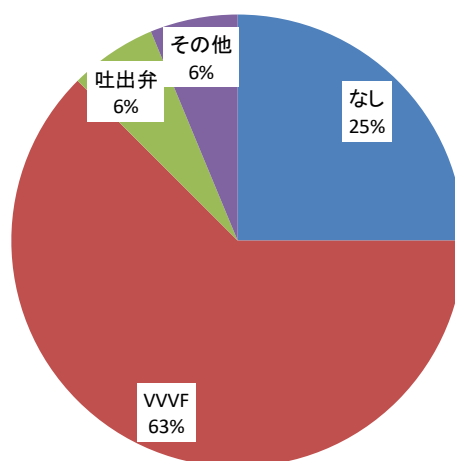


図7-2 主ポンプの揚水量調整方法

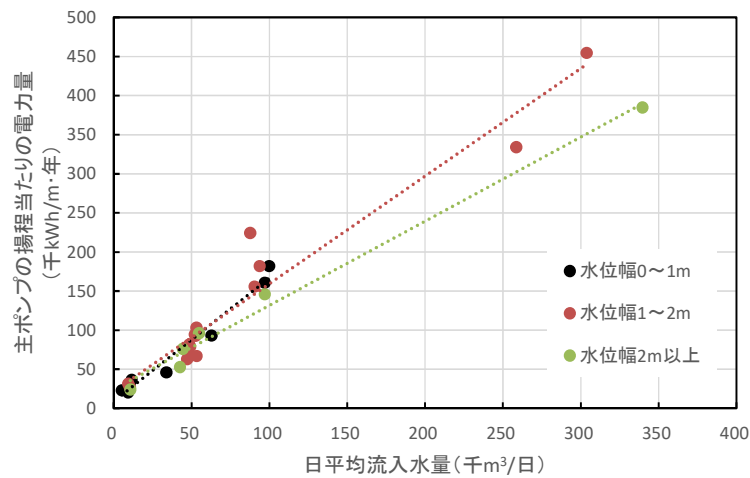


図 7-3 ポンプ井の水位変動幅と主ポンプの揚程当たりの電力量

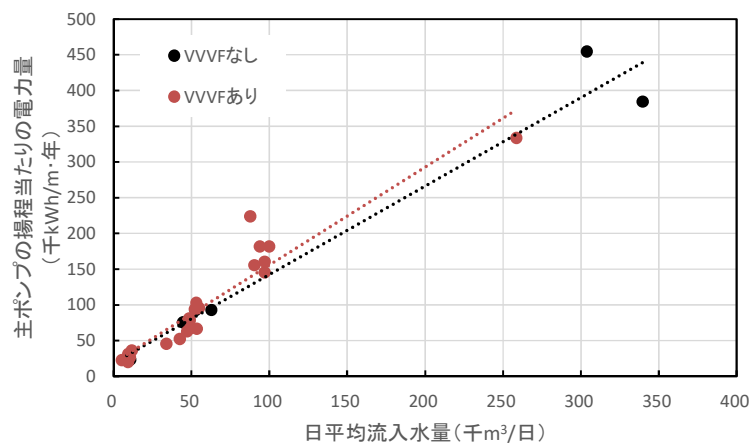


図 7-4 VVVFの有無と主ポンプの揚程当たりの電力量

(3) 主ポンプの消費電力分析手法

主ポンプの消費電力分析に当たっては、主ポンプについて情報収集を行い、得られた情報に基づき消費電力量を分析する。

①情報収集

主ポンプの仕様、水位関係図、1週間分程度の主ポンプ運転データ（機器毎・時間毎の送水量と消費電力量、ポンプ井水位、可変制御の場合は可変制御量：ポンプ回転速度や吐出弁開度など）、沈砂池を含むポンプ井の平衡面図、単線結線図について情報収集を行う。

主ポンプの仕様については、検査成績書を参考にするのがよい。特に検査時の性能曲線図があれば、現状との比較が可能である。

1週間分程度の主ポンプ運転データについては、運転日報から、各ポンプの運転時間、1時間毎の送水量、対応する消費電力量、ポンプ井水位等の情報を収集・整理する。これらの情報は、運転日報に記載されているが、多数のシートに分散しているので、これらを統合して分析する必要がある。資料編の3に、運転日報の例を示した。また、1週間分程度としたのは、多くの運転パターンを含むデータとしての最低限の必要量である。複数台のポンプを時期によって使い分けている場合などは、その時期ごとの運転データが必要である。

単線結線図は、運転日報でポンプ単体の電力量が明確でない場合にどの項目がポンプの電力量を示しているのか、電力量にポンプ以外の機器が含まれるかなどを確認するために必要である。

沈砂池を含むポンプ井の平断面図は、ポンプ井及び沈砂池、流入渠、流入管の貯留容量を算出するために必要である。

<監視システムの問題点と対策>

消費電力量データについて、現場盤から中央監視盤へデータが伝達される際に、100kWh 単位で送られている事例がある。この場合、単位が大きいため、正確な数字が把握できず、消費電力分析が困難となる。一例を図7-5に示す。この処理場では、黒で示すNo.1とNo.2の主ポンプの消費電力量の表示単位が100kWhのため、主に1時間当たりの消費電力量が100kWhまたは200kWhの2つの値しかない。そのため、黒で示したポンプ毎の送水量と送水量当たりの消費電力量のグラフが、100kWhを送水量で割ったもの($y=100/x$)と、200kWhを送水量で割ったもの($y=200/x$)の2本の曲線上に分かれてプロットされているだけであり、あたかも送水量が下がると送水量当りの消費電力量が上がるように見えてしまうが、実態を反映したものではなく、分析ができない結果となった。この図において赤で示したプロットがほぼ1本の線になっているのは、No.3とNo.4の主ポンプの消費電力量の表示単位が10kWhのため、消費電力量の実態を表した値を送水量で割ったものでプロットできたためである。消費電力分析を行うためには、図7-5に示すNo.1とNo.2の主ポンプの事例では運転日報の消費電力量単位を10kWh単位とする必要があり、更に、消費電力量の小さい場合（電動機容量が小さい場合やインバータを使用して送水量を絞っている場合）は、1kWh単位とする必要がある。

また、消費電力量のデータは、機器の立ち上げ時や立ち下げ時には異なる数値を示すので、少なくとも1時間以上継続して運転している時のデータのみを用いて分析する必要がある。

この事例以外にも、消費電力分析を妨げる以下のような事例がみられた。

- ・電力量の測定が、機器毎になく、複数台の機器をまとめたものや、他の機器も含んだ設備毎の測定である事例がある。
- ・送水量の測定が、機器毎に無く、複数台の機器をまとめたものの事例がある。
- ・電力量を時間毎に測定しておらず、1日毎の測定値しかない事例がある。

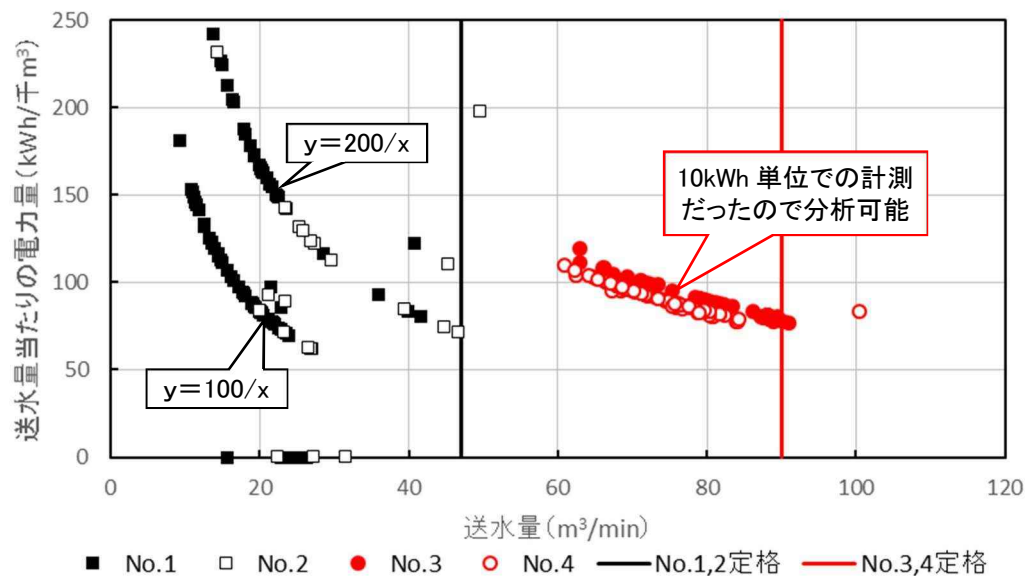


図 7-5 100kWh 単位のデータを用いた主ポンプの送水量と
送水量当たりの消費電力量の関係の例

以上のような場合、消費電力分析のためだけに監視システムを更新することは、費用の面で効率的ではない。しかしながら、次の監視システムの更新を待っていたのでは、無駄な電力を使い続けることになる。したがって、別の方法で電力量等の測定をする必要がある。

ここでは、電力量について簡易電力量計による測定方法を紹介する。

図 7-6 に示すようなフロー及び工程を計画して、図 7-7 で示すように電気盤に簡易電力量計を設置し、測定を行い、データの収集を行う。工程はなるべく多くの機器の組み合わせで計画を立て、処理に影響の無い範囲で実施する。なお、同じ仕様の機器であっても、製造メーカー、設置年数、経年劣化、設置状況等により性能差があり、送水量当りの消費電力量に差が出る場合もあるため、なるべく全ての号機で組み合わせ運転を実施した方がよい。簡易電力量計では 1 分ごとの電力量を測定可能であるが、中央監視装置側は 1 時間ごとのデータである場合が多いので、1 回の計測は 3 時間以上の連続運転とするのが好ましい。

測定したデータは、簡易電力量計の機種によるが、一般的にはメモリーカードにより CSV 形式のデータの取り出しが可能である。

また、簡易電力量計は、測定できる電圧や精度のよい測定ができる電流値のレンジが決まっているので、測定場所の検討や測定対象に合せた選定も必要である。VVVF を使用している機器は、VVVF の 1 次側で測定することにより、インバータ損失も含めた電力量が測定できる。

その他の運転データで中央監視装置に記録していない情報があれば、電力量の測定時間に合わせて、現場盤や電気盤、計測機器から直接数値を読み取り、記録すればよい。

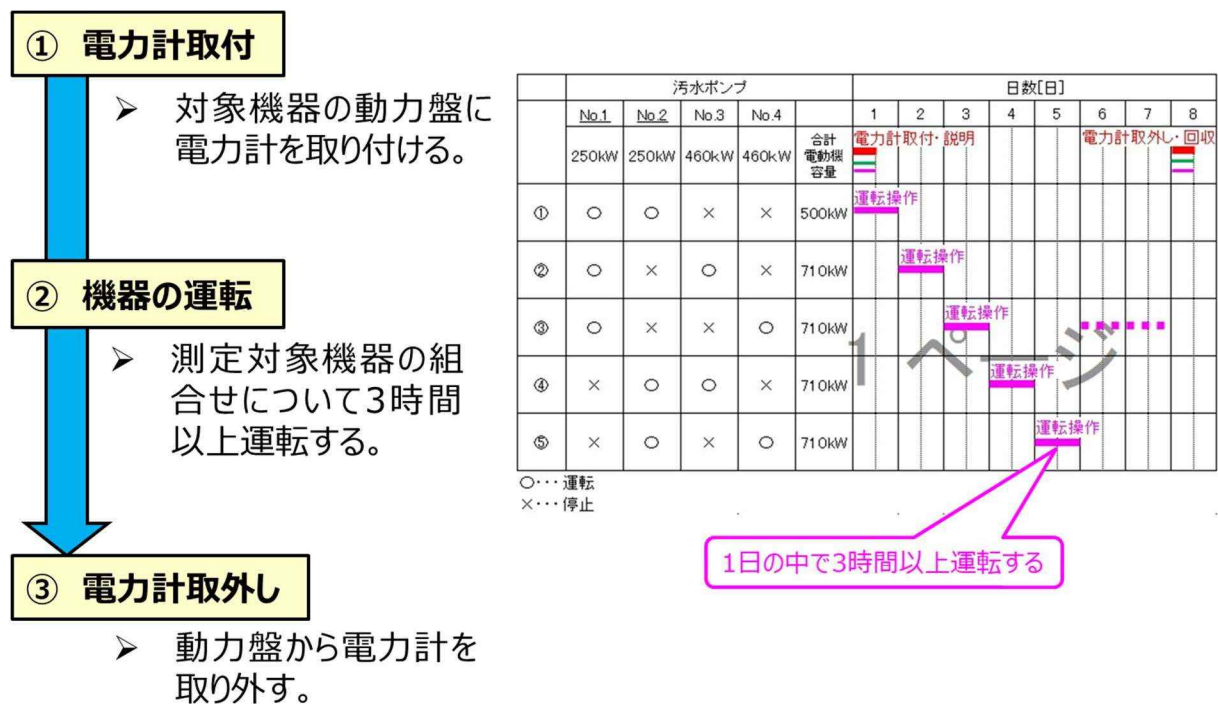


図 7-6 簡易電力量計による計測フローと工程例

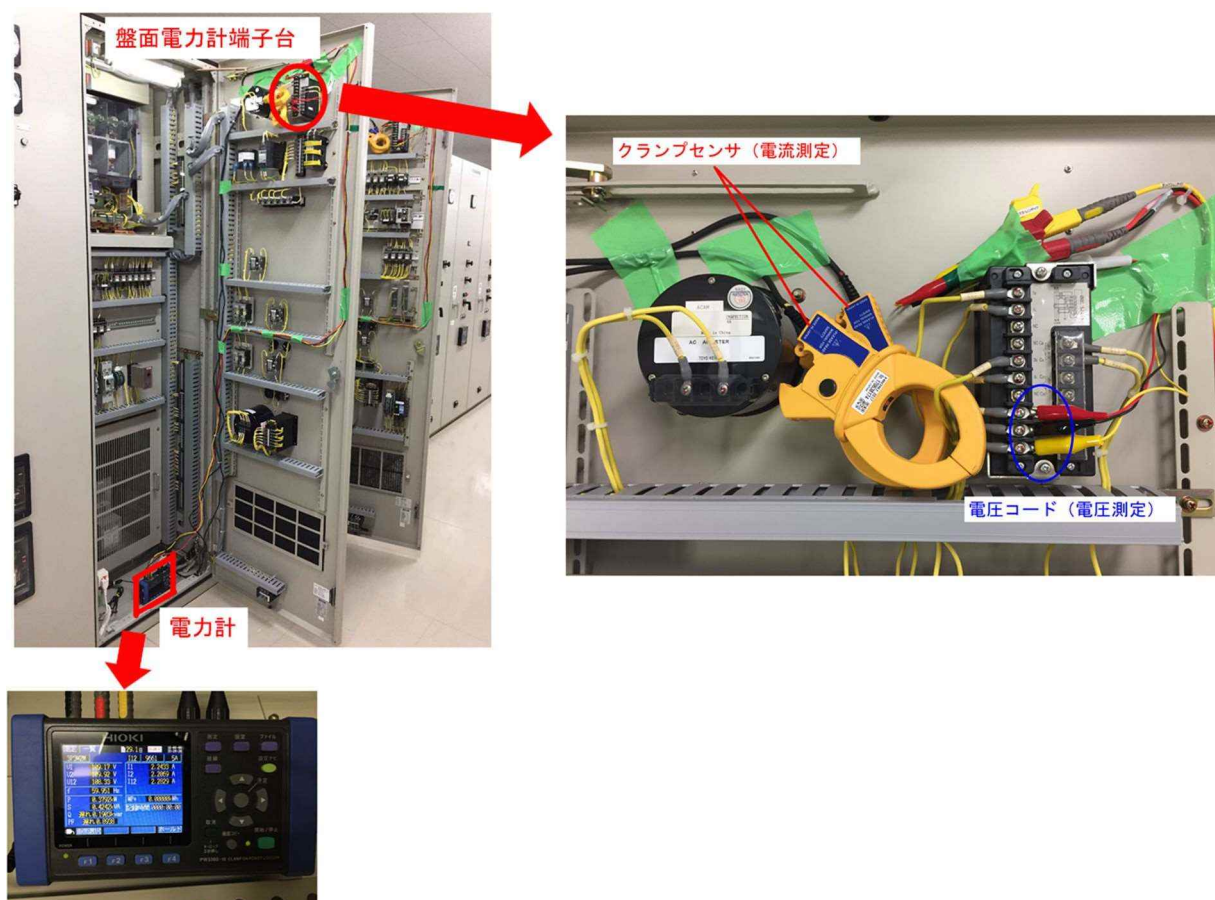


図 7-7 簡易電力量計の設置例

②消費電力分析(1)

主ポンプの消費電力分析に当たっては、情報収集により得られた情報に基づき消費電力量を分析する。特に、送水量当たりの消費電力量（エネルギー原単位）を算出し、この値がどういう条件で変化するかをグラフ化することが重要である。

ここでは、ある処理場における主ポンプの消費電力分析の事例をもとに主ポンプの消費電力分析の考え方について解説する。主ポンプの仕様を表 7－1 に示す。水処理設備へ 4 台の主ポンプを組み合わせ送水している。定格水量で電動機容量に対する消費電力の比率 100%とした時の送水量当たり消費電力量を比較すると、2, 3 号に比べて 4, 5 号の主ポンプの方が高い値になっている。また、2, 3 号ポンプは吐出量と吐出圧力が同じにもかかわらず 2 号の電動機容量の方が小さいため、定格値での送水量当たり消費電力量は 2 号が最も小さく、定格値通りであれば 2 号の運転による省エネ効果が高いと考えられる。

表 7－1 主ポンプの仕様

名称	2 号	3 号	4 号	5 号
型式	立軸斜流渦巻ポンプ			
送水量×揚程	42m ³ /min × 17.6m	42m ³ /min × 17.6m	20m ³ /min × 17.6m	20m ³ /min × 17.6m
電動機	185kW	200kW	100kW	100kW
回転速度制御	—	—	AS モーター (渦電流継手式)	AS モーター (渦電流継手式)
送水量当たりの 電力量（定格）	73 kWh/千 m ³	79 kWh/千 m ³	83 kWh/千 m ³	83 kWh/千 m ³

【主ポンプの運転状況】

1 日当たりの主ポンプの運転時間の分布を図 7－8 に示す。2, 3 号の固定速ポンプは雨天時対応としており、小型の 4, 5 号の可変速ポンプを中心とした運用をしていた。

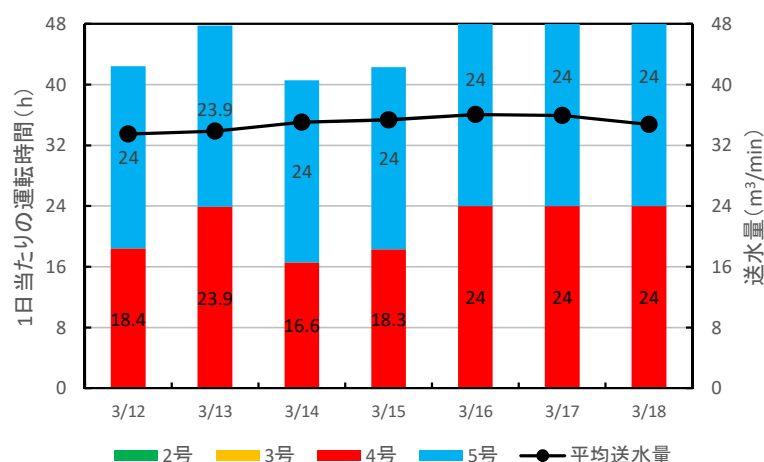


図 7－8 主ポンプの運転時間

ポンプ井の水位と送水量を図 7-9 に示す。図中の棒グラフは主ポンプの運転号機を表しており、4、5 号のポンプをほぼ連続で運転しているのが分かる。また、ポンプ井水位が 3.0～3.6m の範囲となるように、回転速度を調整して運用していた。

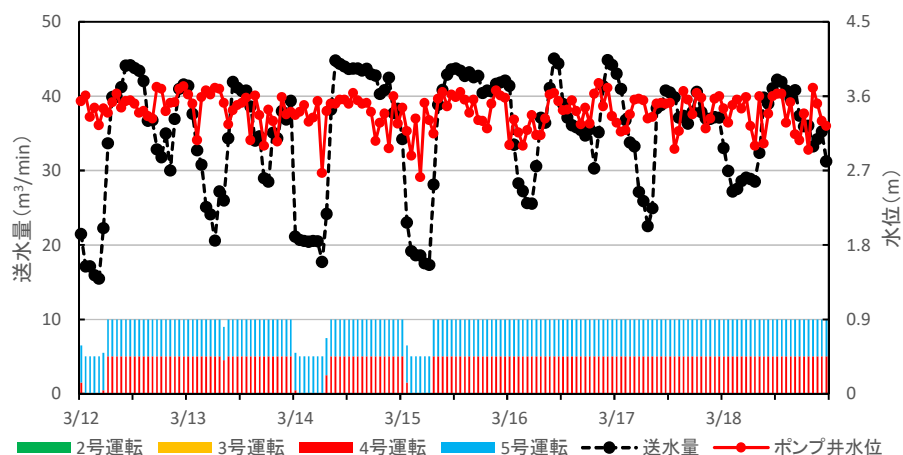


図 7-9 ポンプ井水位と送水量

【主ポンプの消費電力分析】

各ポンプの送水量と送水量当たりの消費電力量を図 7-10 に示す。図中の黒線は運転しているポンプにおける定格水量を表している。定格水量（黒線）と実際の送水量（棒グラフの高さ）の差が回転速度制御による調整量となるため、この差が大きい程送水量当たりの消費電力量は大きくなる傾向となっていた（図中破線部）。過度な回転速度調整は効率悪化の原因となるため、この事例ではポンプ井や流入管の貯留機能を活用して定格運転に近づけることが省エネ的には有効であることがわかる。

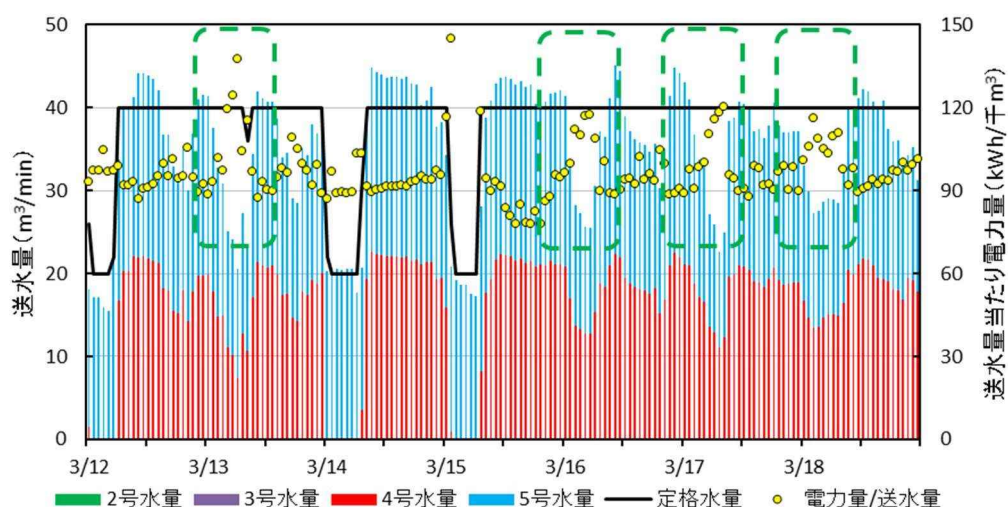


図 7-10 主ポンプの消費電力分析

各ポンプの送水量当たりの消費電力量を図 7-1-1 に、送水量当たりの消費電力量の平均値を表 7-2 に整理する。図には参考として雨天時に 2, 3 号を運転しているデータもプロットしている。4, 5 号ポンプに関しては、図に示す通り回転速度の調整に伴う送水量の減少とともに送水量当たりの消費電力量が大きくなり、効率の悪化が見られた。一方で固定速の 2, 3 号ポンプは、送水量の変動がなく送水量当たりの消費電力量も小さい。平均値を見ると 4 号と 5 号は同等であり、3 号の効率が最も良い結果となっていた。

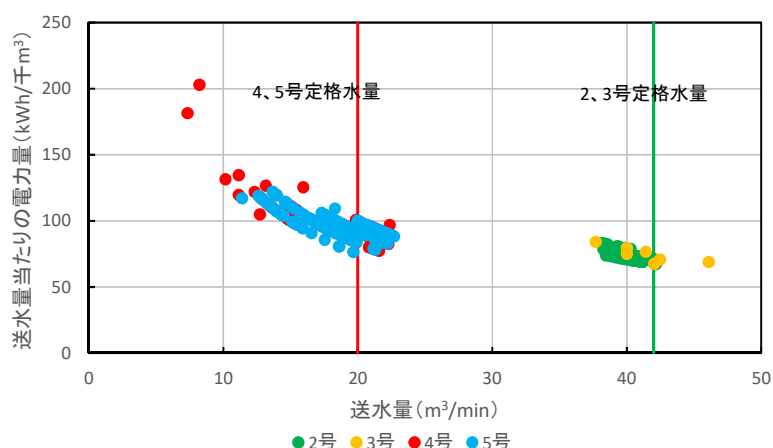


図 7-1-1 送水量当たりの消費電力量の分布

表 7-2 送水量当たりの消費電力量の平均値

	2 号	3 号	4 号	5 号
送水量当たりの消費電力量 (kWh/千 m³)	75	67	95	95

各ポンプの電動機容量に対する消費電力の比率(=消費電力[kW]/電動機容量[kW])の分布を図 7-1-2 に、電動機容量に対する消費電力の比率の平均値を表 7-3 に整理する。図には参考として雨天時に 2, 3 号を運転しているデータもプロットしている。2, 3 号に比べて 4, 5 号の電動機容量に対する消費電力の比率が高く、定格負荷に近い運転になっていた。また、2, 3 号の電動機容量に対する消費電力の比率の平均値と電動機容量から算出した消費電力を下記に示す。

2 号消費電力：185kW(電動機容量)×0.98(電動機容量に対する消費電力の比率)=181kW

3 号消費電力：200kW(電動機容量)×0.92(電動機容量に対する消費電力の比率)=184kW

3 号ポンプの電動機容量が 200kW と大きく、一見して省エネ性が悪いように感じられるが、運転時の電動機容量に対する消費電力の比率が小さいため消費電力に大きな差が見られなかった。電動機容量は設計時の安全率の考え方等により変わる場合があるため、省エネ性を評価する場合は運転時の電動機容量に対する消費電力の比率を考慮して判断する必要がある。

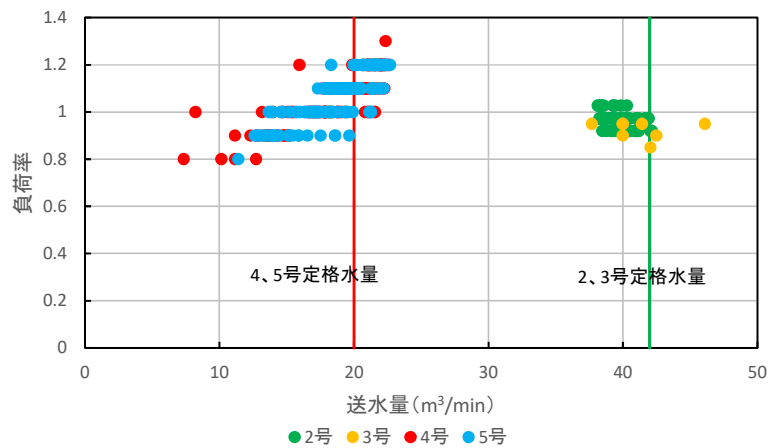


図 7－1 2 電動機容量に対する消費電力の比率の分布

表 7－3 電動機容量に対する消費電力の比率の平均値

	2 号	3 号	4 号	5 号
電動機容量に対する 消費電力の比率	0.98	0.92	1.06	1.05

主ポンプの運転組合せと送水量当たりの消費電力量を表 7－4 に示す。表には参考として雨天時に 2, 3 号を運転しているデータも記載した。運転台数が多い程送水量当たりの消費電力量は大きくなる傾向となっていた。また、定格値と実績平均値の差が大きい程回転速度調整の影響が大きいため、送水量当たりの消費電力量は大きくなっていた。送水量が同等であっても、No. ①と No. ⑥や No. ④と No. ⑤のように送水量当たりの消費電力量に差が見られることがあるので、送水量に応じて効率の良い運転組合せを採用することが重要である。

表 7－4 主ポンプの運転組合せと消費電力量

No.	運転号機				送水量 (m³/min)		送水量当たりの電力量 (kWh/千 m³)
	2 号	3 号	4 号	5 号	定格値	実績平均値	
①	○				42.0	35.8	85.6
②		○			42.0	42.0	73.5
③				○	20.0	16.4	98.4
④	○			○	62.0	51.6	89.1
⑤	○		○		62.0	52.5	86.6
⑥			○	○	40.0	36.6	93.6
⑦	○	○	○		104.0	123.9	84.1
⑧	○	○		○	104.0	96.0	83.9
⑨	○		○	○	82.0	76.8	86.8
⑩	○	○	○	○	124.0	112.9	87.5

ポンプ井水位と送水量当たりの消費電力量を図 7-13 に示す。図には参考として雨天時に 2, 3 号を運転しているデータもプロットしている。4, 5 号ポンプは同じポンプ井水位においても送水量当たりの消費電力量に 35kWh/千 m³ 程度の変動が見られた。これは、回転速度調整による効率悪化が原因と考えられた。一方で固定速の 2, 3 号ポンプのデータを見ると、水位が 1m 変動することによる送水量当たりの消費電力量に及ぼす影響は 3 kWh/千 m³ 程度であり、回転速度調整による影響に比べて小さくなっていた。

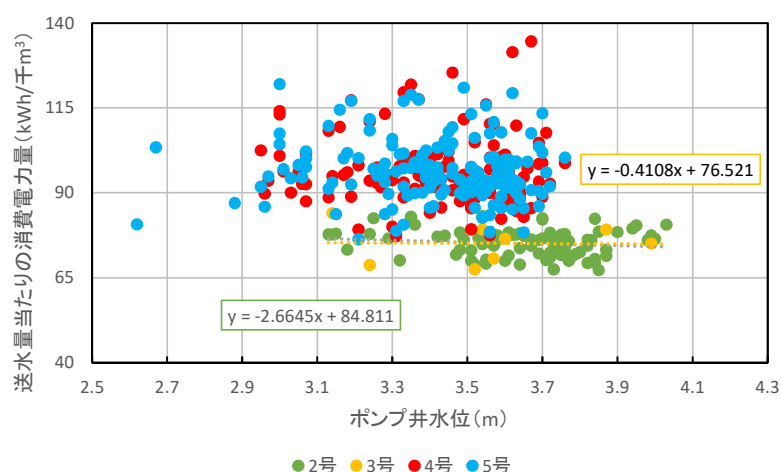


図 7-13 ポンプ井の水位と送水量当たりの消費電力量

【現状分析まとめ】

上記の分析結果により得られた主ポンプの運転方法に関する本事例における留意点を下記に示す。

- 2, 3 号の固定速ポンプは 4, 5 号の可変速ポンプに比べて送水量当たりの消費電力が小さく効率が良いため、雨天時だけの運用でなく常用機として運用した方が良い。
- 3 号ポンプは 2 号ポンプに比べて電動機容量が大きく、一見して消費電力が多そうであるが、電動機容量に対する消費電力の比率が低いことから消費電力は同等であり、機器保全の観点からは均等に運用することが望ましい。
- 同じ送水量でもポンプの運転組合せによって運転効率が異なるため、送水量に応じて最適な運転組み合わせを適用することが有効である。
- 4, 5 号の可変速ポンプについては、過度な回転速度調整は運転効率悪化の原因となるので、回転速度の調整を 80～85%以上で運用するのが望ましい。
- ポンプ井水位の変動による送水量当たりの消費電力への影響は、回転速度調整による送水量当たりの消費電力への影響よりも小さかったため、ポンプ井や流入管の貯留機能を活用（水位変動幅を大きく）し、定格運転での運用を目指した方が効率は良い。

③消費電力分析(2)

吐出弁による流量制御の事例を紹介する。

A処理場では、主ポンプを3台設置しており、大容量のNo.3ポンプは吐出弁開度の手動操作による流量制御をしていた。図7-14に示すように、No.3ポンプは送水量を絞るにつれ、送水量当りの消費電力量が急激に大きくなり、大幅に効率が悪化することがわかる。

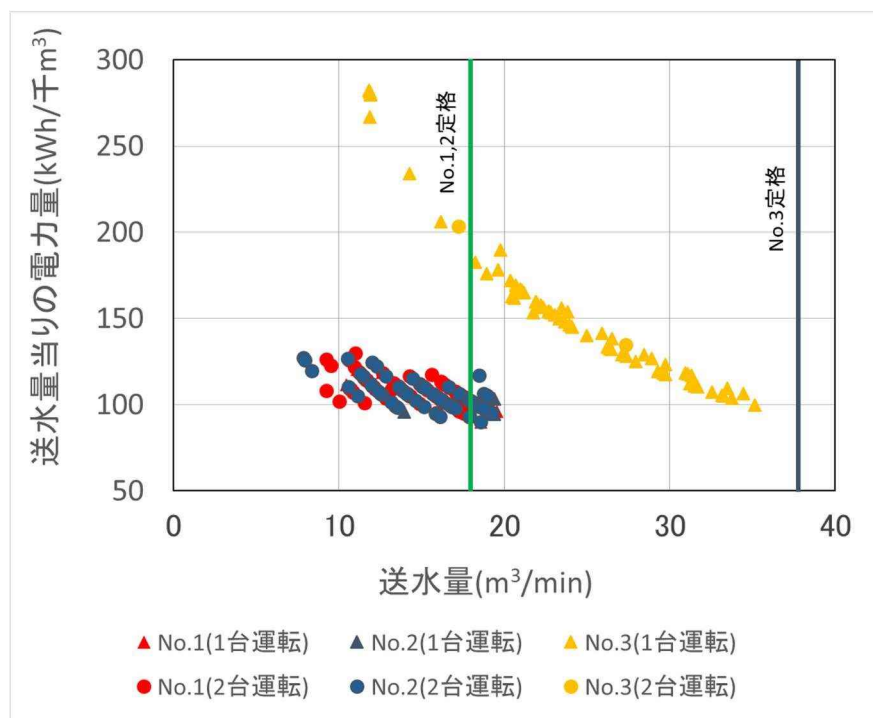


図7-14 送水量と送水量当りの消費電力量の関係

④消費電力分析(3)

高水位一定運転の事例を紹介する。

近年、省エネの取り組みとして、ポンプ井の高水位一定制御を採用する処理場が見られる。ポンプ井の水位を保つことを優先しすぎると、回転速度制御による流量調整が頻繁になり、省エネ効果が損なわれることがある。

B処理場では、可変速のポンプの回転速度制御により、高水位一定制御を行っており、水位調整が頻繁となっていた(図7-15)。本事例では消費エネルギー分析の結果、図7-16に示すように、水位変動よりも回転速度変動の方が、消費電力量への大きいことが分かった。

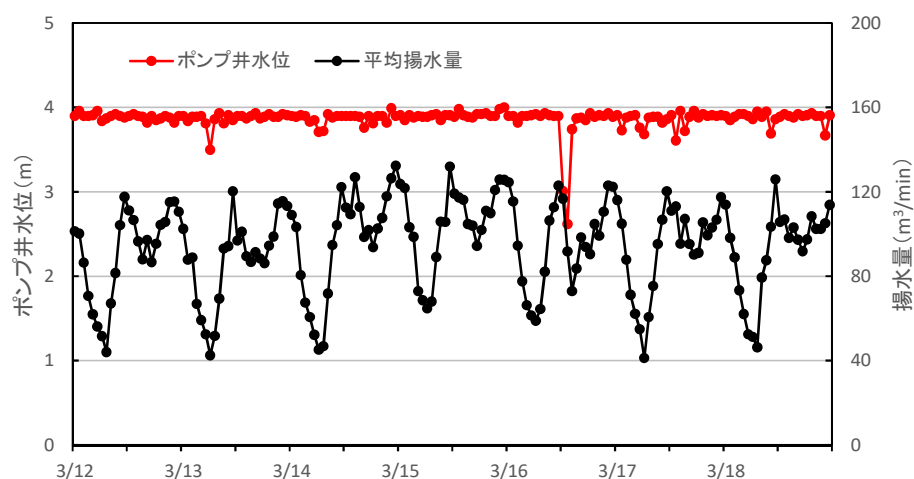


図 7-15 ポンプ井水位の変動

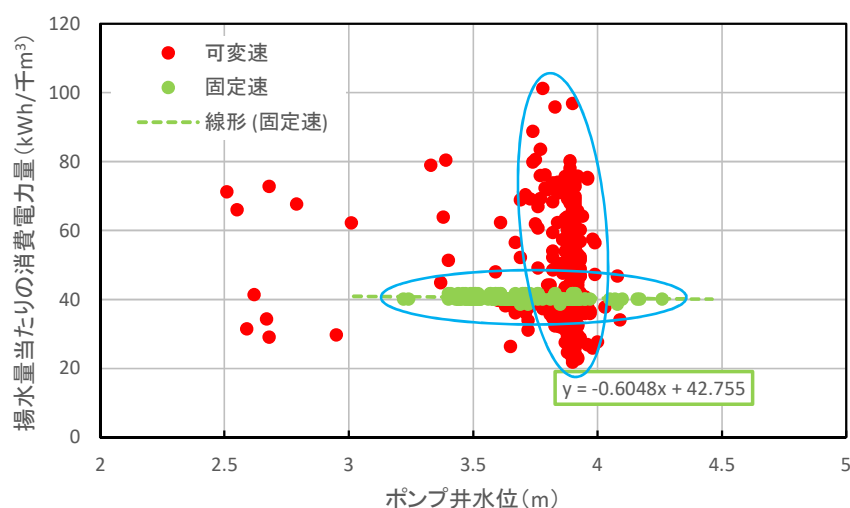


図 7-16 ポンプ井水位と揚水量当たりの消費電力量の関係

⑤消費電力分析(4)

インバータによる回転速度制御の事例を紹介する。

主ポンプの運転水量を調整する方法として、多くの処理場でインバータによる回転速度制御が行われている。流入水量に対して送水量の大きなポンプのみ設置されている場合は、ポンプ寿命に影響の大きいポンプの運転停止頻度を少なくするために、回転速度制御により送水量を調整する必要がある。また、実揚程に対し、定格の仕様点での揚程が大きい場合は実際の運転では送水量が仕様点よりも多くなり、ポンプの効率が悪化する場合があることから、回転速度を定格よりも下げた方がよい場合がある。

しかしながら、回転速度制御により送水量を絞りすぎると効率が悪化するため、性能曲線にもとづいた適正な管理が必要である。さらに、固定速運転において、ポンプ効率が最大になる条件であれば、インバータ損失が発生しない固定速運転の方がより省エネ効果が高くなる。

D処理場での検討事例を示す。D処理場では表 7-5 に示す 5 台の主ポンプを設置していた。う

ち2台がVVVFによる可変速ポンプである。

表 7－5 主ポンプの概要（D処理場）

名称	2号	3号	4号	5号	6号
型式	立軸斜流渦巻ポンプ				
仕様	85m ³ /min×13m				
電動機	260 kW				
設置年度	2006年	1990年	1988年	2006年	2014年
回転数制御	VVVF	—	—	VVVF	—
送水量当たりの 電力量（定格）	51 kWh/千 m ³				

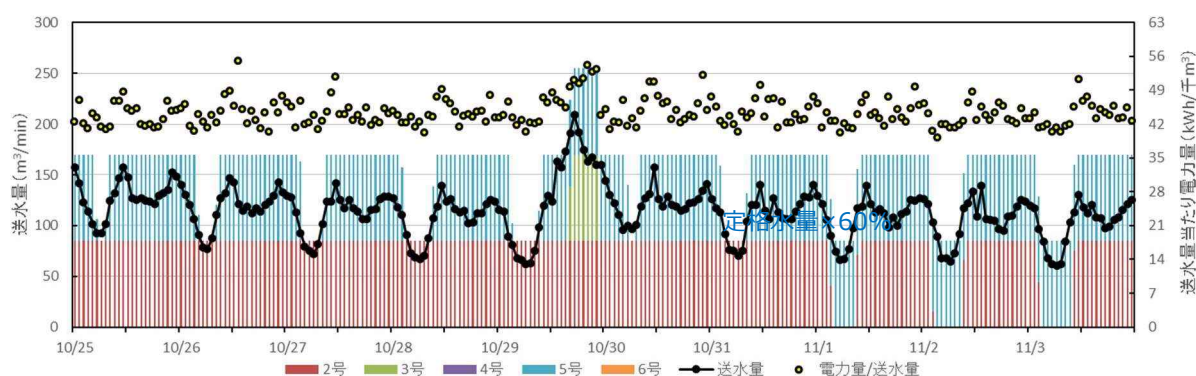


図 7－17 現状の運転方法

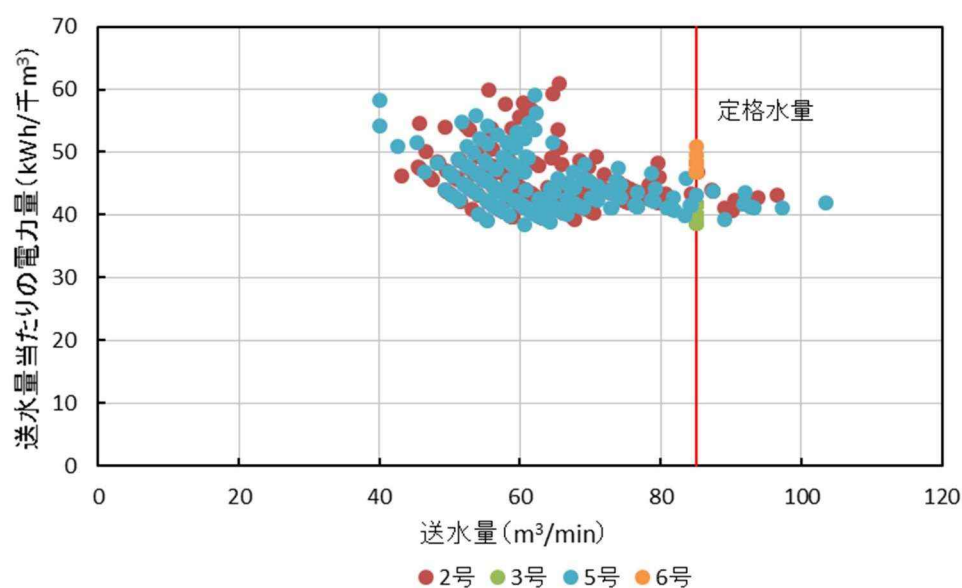


図 7－18 送水量に対する送水量当りの消費電力量

表 7-6 送水量当たりの消費電力量の平均値

	2 号	3 号	5 号	6 号
送水量当たりの消費電力量 (kWh/千 m ³)	44	40	44	48

図 7-17, 図 7-18 から, D 処理場では回転数調整を行っている 2 号, 5 号は, 同じ送水量でも電力量の変動が大きい。一方で固定速である 3 号, 6 号は電力量が安定している。また, 表 7-6 に送水量当たりの電力量の平均値を示す通り, 3 号ポンプが 40kWh/千 m³ と最も運転効率が良いことがわかる。

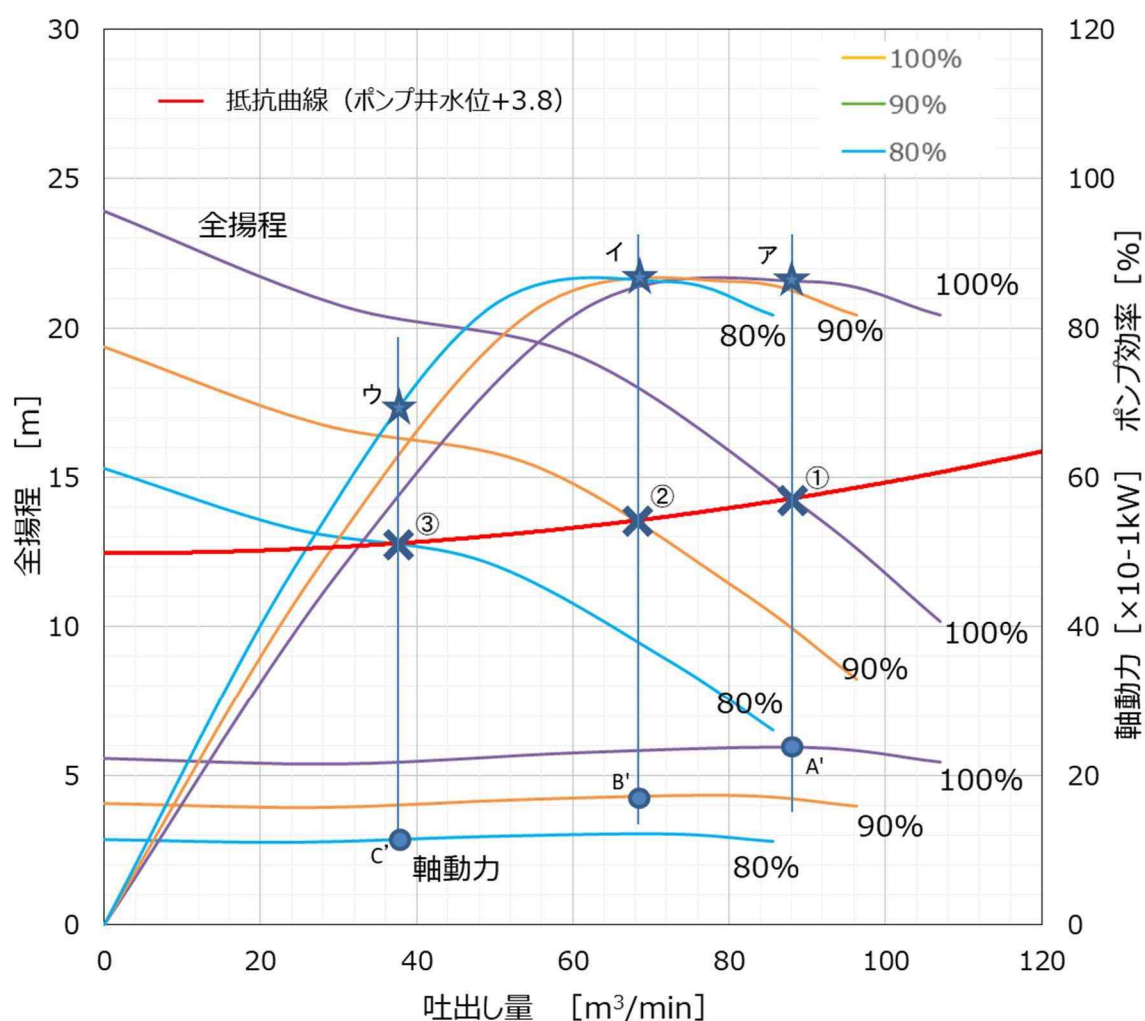


図 7-19 回転速度制御時の運転点の変化

2, 5 号ポンプにおいて, ポンプ井水位を+3.8m とし て回転速度制御した場合の性能変化を図 7-19 に示す。回転速度が 100% の時の運転点は①で示され, 回転速度を小さくしていくと運転点は①→②→③のように変化する。この際, 軸動力 (≡ 電動機出力 = 消費電力 × 電動機効率) は A' → B' → C', ポンプ効率は ア → イ → ウ の順に変化するため, 回転速度の減少により軸動力は小さく

なっていく。D処理場においては、ポンプ井水位が+3.8m の場合においてポンプ回転速度が 90～100%の範囲ではポンプ効率のよい運転ができるが、ポンプ回転速度が 80%ではポンプ効率が悪化することがわかる。

なお、適切な調整範囲は、ポンプ仕様や実揚程、ポンプ井水位の調整幅等によって異なる。

(4) 消費電力分析で得られた改善事例

ここでは、(3)の消費電力分析に基づく、運転改善事例を紹介する。

消費電力量削減のためには、送水量当りの消費電力量が多い運転を送水量当りの消費電力量が少ない運転に切り替える方法を検討し、実施することが必要である。

ポンプ井及び沈砂池、流入渠、流入管の貯留容量を算出し、流入水量とポンプ運転パターンのシミュレーションを行うことで、ポンプ効率の良い回転速度での運転をした場合のポンプの運転停止の頻度からポンプ効率の良い運転の可否を判断し、運転改善が可能な場合は各号機の運転時間を算出し、送水量当りの消費電力量の改善率を試算することができる。

ポンプの運転停止の頻度が多くなる場合は、ポンプ寿命に与える影響を製造メーカーに確認した上で、ライフサイクルコストへの影響を考慮して対策実施の可否を判断されたい。

① 回転速度制御から定格運転とした改善事例

(3) ②消費電力分析(1)の分析を行った処理場（C処理場）について、実証試験が行われた。消費電力分析結果に基づき、主ポンプの運転は回転速度調整を行わないポンプ効率の良い定格運転を基本とし、流入水量の少ない時間帯は小容量ポンプを運転、流入水量の多い時間帯は大容量ポンプを運転する運用として7日間実施された。

図7-20に実証試験における、主ポンプの運転状況と消費電力量を示した。これまで雨天時のみ運転されていた大容量の4号機、5号機を運転し、加えて小容量の2号機、3号機を定格運転した結果、送水量当たりの電力消費量は75 kWh/千 m³となった。従来の運転方法では、送水量当たりの電力消費量は95 kWh/千 m³であったため、消費電力量の削減率は21%となった(表7-7)。

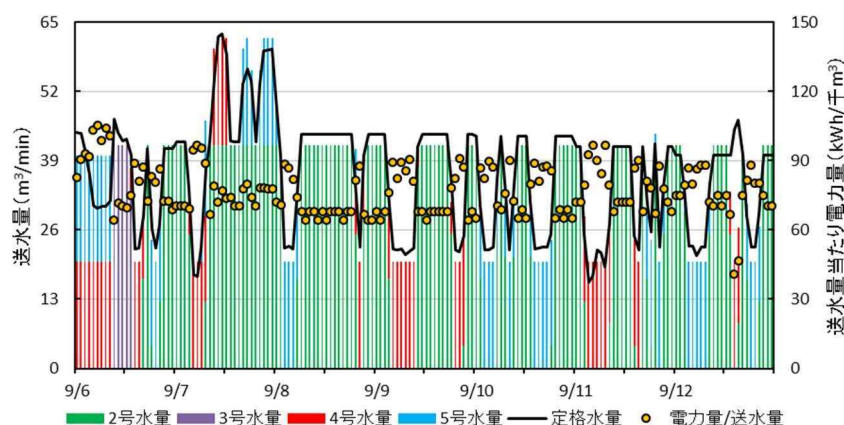


図7-20 主ポンプの運転状況と消費電力量（実証試験）

表 7-7 運転方法の変更による消費電力量の削減効果

	項目	単位	2 号	3 号	4 号	5 号	合計
変更前	送水量合計	千 m ³ /7 日	—	—	164	185	349
	消費電力量	kWh/7 日	—	—	15,610	17,620	33,230
	送水量当たりの消費電力量	kWh/千 m ³	—	—	95	95	95
変更後	送水量合計	千 m ³ /7 日	210	11	42	44	307
	消費電力量	kWh/7 日	14,480	730	3,750	3,980	22,940
	送水量当たりの消費電力量	kWh/千 m ³	69	69	90	90	75

② 吐出弁開度での水量調整を止めた検討事例

(3) ③消費電力分析(2)の分析結果に基づき、No.3 ポンプについて、吐出弁開度での水量調整を止め、「水位」による号機切り替え、「水量」による号機切り替えの2パターンについてシミュレーションを行った。表 7-8 に示すように、どちらのパターンでも 28~29%の省エネ効果が見込まれる結果となった。

表 7-8 ポンプ運転方法改善の効果

		No.1	No.2	No.3	合計
対策前	送水量(m ³)	9,895	0	90,852	100,747
	消費電力量(kWh)	1,010	0	12,970	13,980
	送水量当たりの電力量 (kWh/千 m ³)	102	—	143	139
対策後 (水位)	送水量(m ³)	76,967	24,812	0	101,779
	消費電力量(kWh)	7,586	2,451	0	10,037
	送水量当たりの電力量 (kWh/千 m ³)	98.6	98.8	—	98.6
	削減率(%)	—	—	—	29
対策後 (水量)	送水量(m ³)	42,408	0	58,968	101,376
	消費電力量(kWh)	4,180	0	5,936	10,116
	送水量当たりの電力量 (kWh/千 m ³)	98.6	—	101	99.8
	削減率(%)	—	—	—	28

③ 高水位一定運転を水位制御に変えた検討事例

(3) ④消費電力分析(3)の分析結果に基づき、図7-21に示すように、主ポンプの運転を(この事例においては)ポンプ効率の良い固定速として運用すると、ポンプ効率の向上による消費電力量の削減及び間欠運転による運転時間の削減により、10%の消費電力量削減が見込めることが分かった。

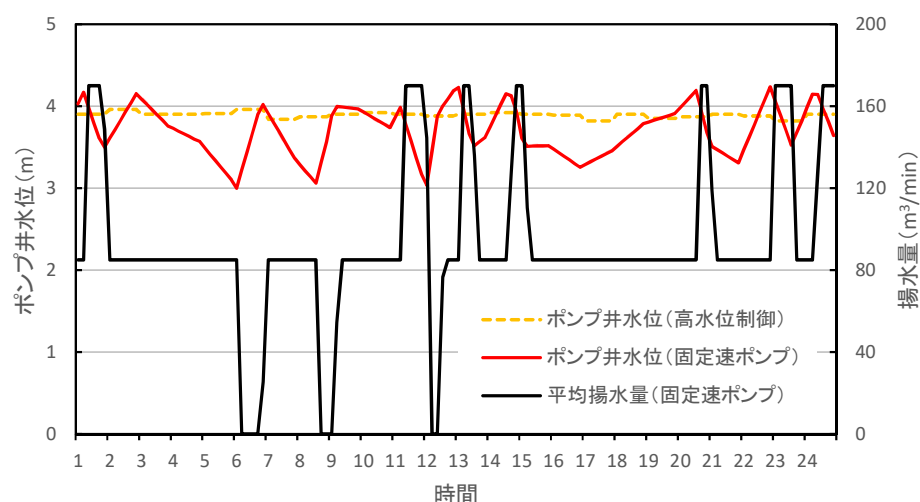


図7-21 固定速ポンプによる運用のシミュレーション

④ インバータによる回転速度制御を適正な制御範囲とした検討事例

(3) ⑤消費電力分析(4)の分析結果に基づき、流入水量の少ない夜間の時間帯に1~2時間程度、ポンプの運転を停止することで、定格水量の60%以上での運転を行うことを検討する。表7-9に示すように、この運転により効率が良くなり、No.4では2.0%、No.5では2.7%の消費電力量削減が見込めることが分かった。

表7-9 ポンプの運転方法改善による効果

名称	No.4	No.5
送水量当たりの電力量(改善前)	55.3kWh/千 m ³	52.6 kWh/千 m ³
送水量当たりの電力量(改善後)	54.2kWh/千 m ³	51.2 kWh/千 m ³
送水量当たりの電力量の改善率	2.0%	2.7%

第4章 水処理設備における省エネ手法

第1節 最初沈殿池設備

§8 最初沈殿池の運転方法改善手法

最初沈殿池において、SS除去率を向上させることは、反応タンクへ流入するBOD濃度が低下し、必要な送風量を低減することが可能となるので、省エネに有効である。

また、消化プロセスを採用し、消化ガスを有効利用している場合、利用可能な汚泥の固形物量が増加することから、消化ガス発生量の増加にも期待できる。

ただし、汚泥かき寄せ機、汚泥引き抜きポンプ等のエネルギー消費量が増加する可能性もあることや、高度処理を行っている場合には、窒素除去等のために反応タンクにおいて、一定以上の有機物負荷が必要であることに注意する必要がある。

【解説】

ここでは、下記について述べる。最初沈殿池における除去率が、後段の設備、特に反応タンクの処理に影響する。反応タンクに採用している処理方式に最適な除去率を検討して、本手法の適用の是非を判断する必要がある。

- (1) 適用範囲
- (2) 最初沈殿池の運転方法改善手法
- (3) 検討事例
- (4) 導入にあたっての留意事項

(1) 適用範囲

休止している最初沈殿池設備がある場合に適用する。躯体のみで汚泥かき寄せ機等の設備が設置されていない池は対象外である。また、省エネ効果を得るためには、送風量を削減して送風機の消費電力を削減する必要がある。

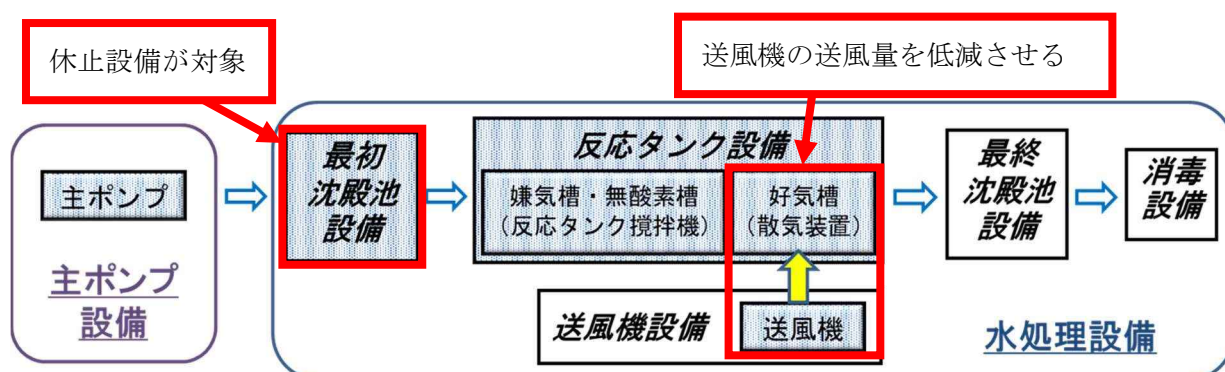


図8-1 最初沈殿池の運転方法改善手法の適用範囲

（２）最初沈殿池の運転方法改善手法

標準活性汚泥法において、最初沈殿池に余裕がある場合、例えば建設済みの最初沈殿池が流入水量の関係により現時点では使われていない場合、最初沈殿池の稼働数を増やすことにより、ＳＳ除去率を向上させ、反応タンクへの流入ＢＯＤ濃度を減少させ、結果的に反応タンクの消費エネルギーの削減が見込める可能性がある。この場合、反応タンク流入水の固形性ＢＯＤ濃度が減少することにより、反応タンクへの送風量が削減でき、送風機の電力消費量削減が見込める。一方、最初沈殿池の稼働数増加により、汚泥かき寄せ機、スクラムスキマ、汚泥引き抜きポンプのエネルギー消費量は増加する。また、汚泥の消化を行っている処理場では、有機物濃度が高い消化に適した最初沈殿池汚泥の固形物量が増加するため、有効利用可能な消化ガス発生量の増加も期待でき、消化を行っていない処理場でも、脱水性の良い最初沈殿池汚泥の固形物量が増加することで、脱水設備のケーキ含水率を低減させる効果も期待できる。反面、汚泥の固形物量の増加により、汚泥処理設備の負荷が増大する場合があることに注意が必要である。

なお、高度処理においては、反応タンクにはある程度の有機物負荷が必要なことから、ＢＯＤ－ＳＳ負荷に注意して実施の有無を検討する必要がある。

（３）検討事例

E処理場では、10 池の最初沈殿池の内 7 池を稼働させていた。下水道統計から、流入水量、流入ＳＳ濃度、生汚泥引拔量、汚泥濃度を用いて計算すると、最初沈殿池のＳＳ除去率は 51%となった。10 池すべてを稼働させるとＳＳ除去率の向上が期待できるため、実験を行った。実験では、4 池の内 2 池を稼働させている増設系列の最初沈殿池を用い、4 池すべてを稼働させ、ＳＳ除去率を測定した。実験の結果、最初沈殿池のＳＳ除去率は想定より高く、2 池稼働の場合でも 81%であった。実験結果を用い最初沈殿池 10 池すべてを稼働させた場合、ＳＳ除去率は 82%と算定された。反応タンク送風量について、反応タンクの流入水質（ＳＳ、ＢＯＤ、アンモニア濃度）から反応タンクの必要空気量を試算した結果、反応タンクへの送気量減少による送風機の電力量削減見込みは 82 千 kWh/年（送風機消費電力量の 1.7%）となった。なお、最初沈殿池使用による電力量増加見込みは 22 千 kWh/年と試算され、結果的に 60 千 kWh/年の削減見込みとなった。

（４）導入にあたっての留意事項

E処理場のように、最初沈殿池ＳＳ除去率が現状でも 80%など非常に高い場合があるため、検討に先立ち、最初沈殿池の現状のＳＳ除去率を確認する必要がある。試験的に最初沈殿池稼働数を増加させ、最初沈殿池流出ＳＳ濃度の変化を確認した上で、処理場内各施設における物質収支及び省エネ効果を試算することが望ましい。

また、生汚泥の固形物量が増加することで、後段の汚泥処理設備への影響があることに注意が必要であり、高度処理においては、反応タンクの処理に必要な有機物負荷を確保する必要性から、最初沈殿池流出ＢＯＤ濃度の変化を確認した上で、ＢＯＤ－ＳＳ負荷が一定以上確保出来て

いるかを確認する必要がある。また、反応タンク S R T，H R T の調整，硝化の状況との調整も必要である。

省エネ効果をより高めるには，後述する § 9 （４）と合わせて実施するのがよい。

第2節 反応タンク設備、送風機設備

§9 送風機の運転方法改善手法

送風機の省エネには、導入する機器の性能向上も必要であるが、運転方法を見直すことにより改善できる事例が多く見られる。

既存の送風機の運転状況と消費電力を分析し、複数ある送風機を送風量に応じて最適な組合せで運転できるように検討することが省エネに有効である。

必要空気量に応じて、適正な送風量とすることも重要である。そのためには、散気装置の仕様や通日試験時の反応タンク運転データ等、必要な情報を収集した上で、必要空気量を算出し、風量制御することが省エネに有効である。

必要空気量を低減するためには、適切なMLSSの管理も重要である。

【解説】

ここでは、下記について述べる。送風機は焼却設備を除くと下水処理場内で最も消費電力の大きな設備のため、送風機の消費電力分析を行うことにより、現状の運転方法が省エネの観点から適正かどうか、確認が必要である。

- (1) 適用範囲
- (2) 送風倍率の状況
- (3) 送風機の消費電力分析手法
- (4) 消費電力分析で得られた改善事例
- (5) 送風量の適正化による送風機の運転方法改善手法

(1) 適用範囲

(3)、(4)では送風機単体での運転方法の改善について、(2)、(5)では反応タンクに必要な空気量と送風機の組み合わせでの改善手法について述べる。

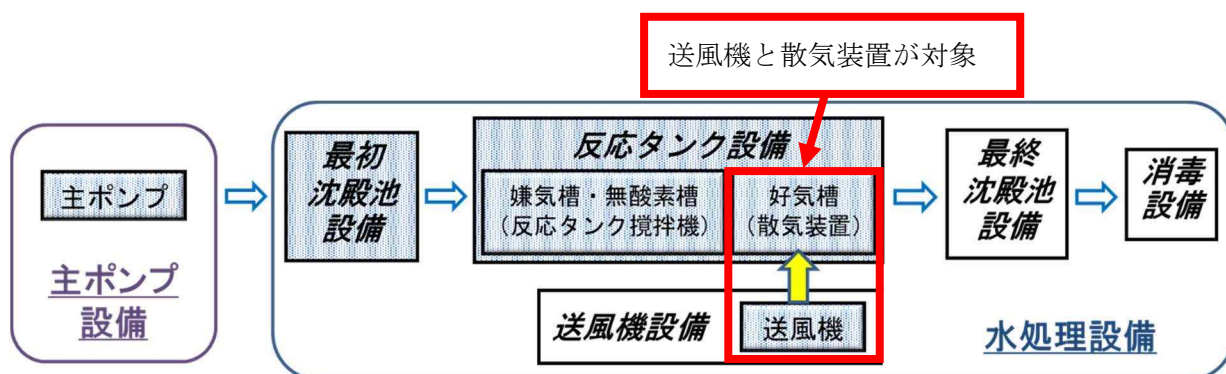


図9-1 送風機の運転方法改善手法の適用範囲

(2) 送風倍率の状況

第2章の図6-4に、H29問診票調査による処理場設備別のエネルギー消費量割合を示したが、送風機のエネルギー消費割合は、汚泥焼却炉を持たない処理場で32%、汚泥焼却炉を持つ処理場で20%と、大きな割合を占めている。このため、消費電力分析を行うことにより、大きな省エネ効果が期待できる。

標準活性汚泥法における硝化抑制運転は、硝化促進運転に比べて送風量が削減されるため、エネルギー消費量について評価する上では重要な項目である。H29問診票調査では、硝化抑制運転・硝化促進運転についても調査を行っている。問診票回答結果によると、地域によって硝化抑制運転・硝化促進運転が分かれる結果となっており、北海道、東北、北陸地方においては、硝化抑制運転による処理となっていた。その他の地域は基本的に硝化促進運転となっていたが、関東や九州地方においても、場合によっては硝化抑制運転としているケースも見られた。

送風倍率についての問診票調査結果を図9-2～図9-4に示す。送風倍率は、流入水量当たりの送風量を示しており、図9-2に示すように、送風機の電力量への影響が大きい。図9-3は、硝化抑制、硝化促進、高度処理それぞれについて、流入BOD濃度と送風倍率の関係を整理したものである。図中には水質データ等の情報から算出した理論値による近似線を破線で示している。特に硝化抑制運転時において理論値を上回るデータが多くみられており、送風量削減の余地が確認された。また、標準法の硝化促進運転と高度処理のデータについて、流入T-N濃度と送風倍率の関係を図9-4に整理した。この図においても、理論値を上回るデータが多く見られており、送風量削減の余地が確認された。

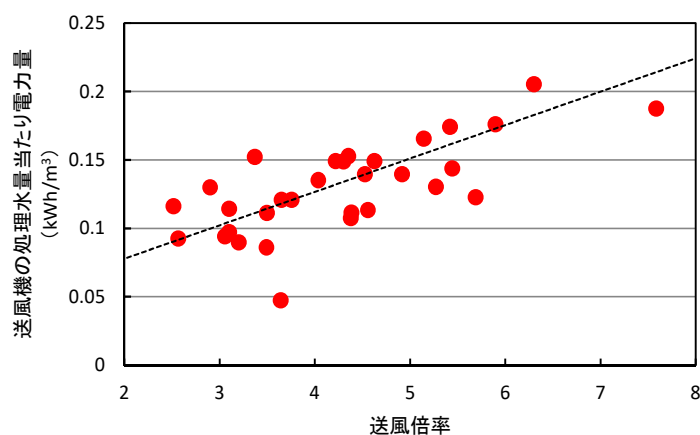


図9-2 送風倍率と送風機の処理水量当たり電力量

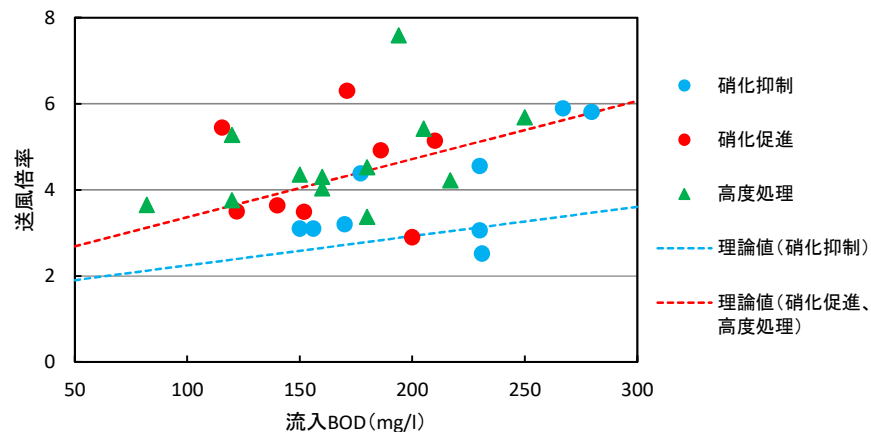


図 9-3 流入 BOD 濃度と送風倍率

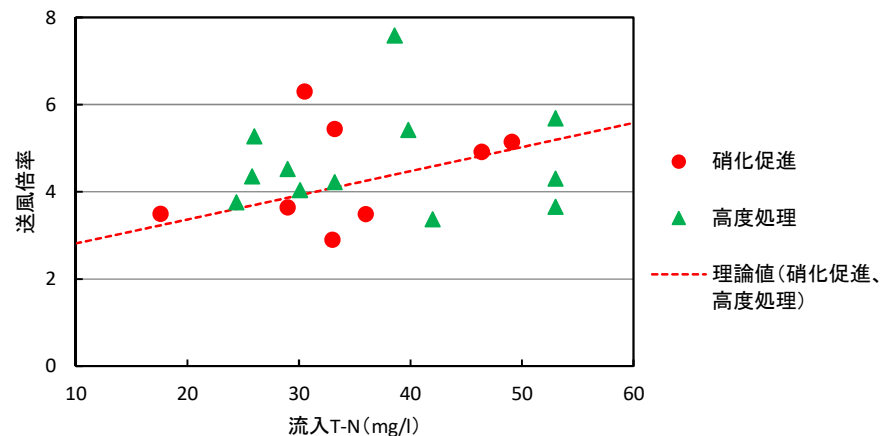


図 9-4 流入 T-N 濃度と送風倍率

(3) 送風機の消費電力分析手法

送風機の消費電力分析に当たっては、送風機について情報収集を行い、得られた情報に基づき消費電力量を分析する。

①情報収集

送風機の仕様、1週間分程度の送風機運転データ（機器毎・時間毎の送風量と消費電力量、可変制御の場合は可変制御量：インレットバーン開度や吸込み弁開度、放風弁開度など）、単線結線図について情報収集を行う。

送風機の仕様については、検査成績書を参考にするのがよい。特に検査時の性能曲線図があれば、現状との比較が可能である。

1週間分程度の送風機運転データについては、運転日報から、各送風機の運転時間、1時間毎の送風量、対応する消費電力量等の情報を収集・整理する。これらの情報は、運転日報に記載されているが、主ポンプ同様に多数のシートに分散しているので、これらを統合して分析する必要がある。

資料編の3に、運転日報の例を示した。また、1週間分程度としたのは、多くの運転パターンを含むデータとしての最低限の必要量である。複数台の送風機を時期によって使い分けている場合などは、その時期ごとの運転データが必要である。

単線結線図は、この日報で送風機単体の電力量が明確でない場合にどの項目が送風機の電力量を示しているのか、電力量に送風機以外の機器が含まれるかなどを確認するために必要である。

一般的に、電力計の表示は10kWh単位で表示されていることが多いが、中には100kWh単位の処理場も存在する。測定が100kWhの場合、送風機の消費電力量に対して電力量計の最小単位が大きすぎるため、分析が困難となる。また、送風機の消費電力量が小さい場合（電動機容量が小さい場合や、高速単段ブロワなどインバータが組み込まれていて風量を絞っている場合）は、1kWh単位で表示・記録することが必要である。監視装置の問題点と対策については、§7を参照されたい。送水量を送風量と置き換えることで同様の対応が可能である。

②消費電力分析

送風機の省エネ運転を行うためには、現状の運転について情報を収集し、送風機の消費電力分析を行うことが必要である。特に、送風量当りの消費電力量（エネルギー原単位）を算出し、この値がどういう条件で変化するかをグラフ化することが重要である。ここでは、事例をもとに送風機の消費電力分析の考え方について解説する。

この事例における送風機の仕様は表9-1のとおりである。

表9-1 送風機の仕様

水処理系列	1～4系					
名 称	1号	2号	3号	4号	5号	6号
型 式	ターボブロワ					
仕 様	90m ³ /min×62kPa		270m ³ /min×62kPa		230m ³ /min×62kPa	
電 動 機	190kW		460kW		380kW	340kW
設置年度	1978年		1989年		1997年	2010年
風量調整	吸込ダンパ		インレットベーン			
送風量当たり 電力量(定格)	35kWh/千m ³		28kWh /千m ³		23kWh /千m ³	25kWh/千m ³

消費電力分析のための現状把握として、維持管理日報データより、送風機に関する運転時間、消費電力量、送風量、水質測定値等のデータを抽出し、送風機の運転状況を確認する。抽出したデータにより運転号機の組合せ、流入水量と実績送風量の変動をグラフ化する。(図9-5, 9-6)

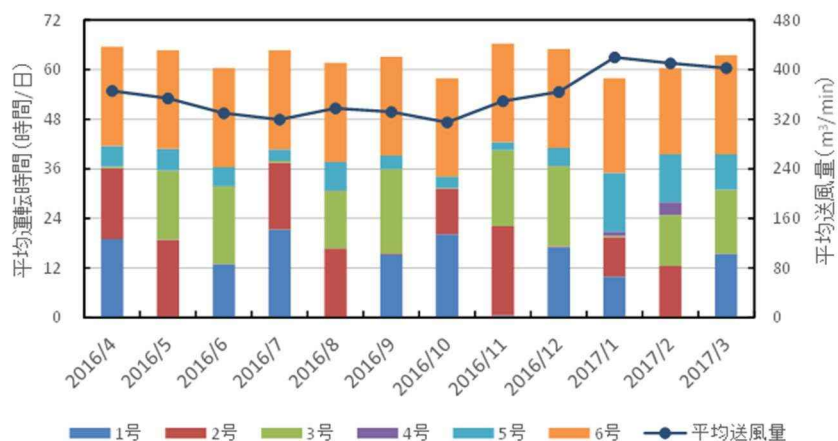


図 9－5 月別の各送風機平均運転時間と平均送風量

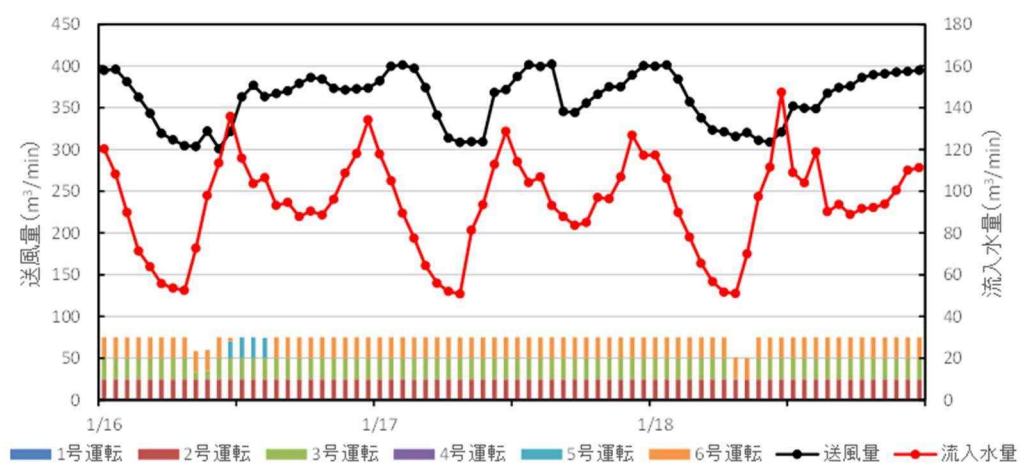


図 9－6 送風機の運転号機組合せと送風量

各送風機の送風量と送風量当たりの消費電力量を図 9－7 に示す。図中の赤線は運転している送風機における定格風量を表している。定格風量（赤線）と実際の送風量（棒グラフの高さ）の差が大きく、インレットベンによる風量調整が多い時に、送風量当たりの消費電力量が増加することが分かる（図中破線部）。

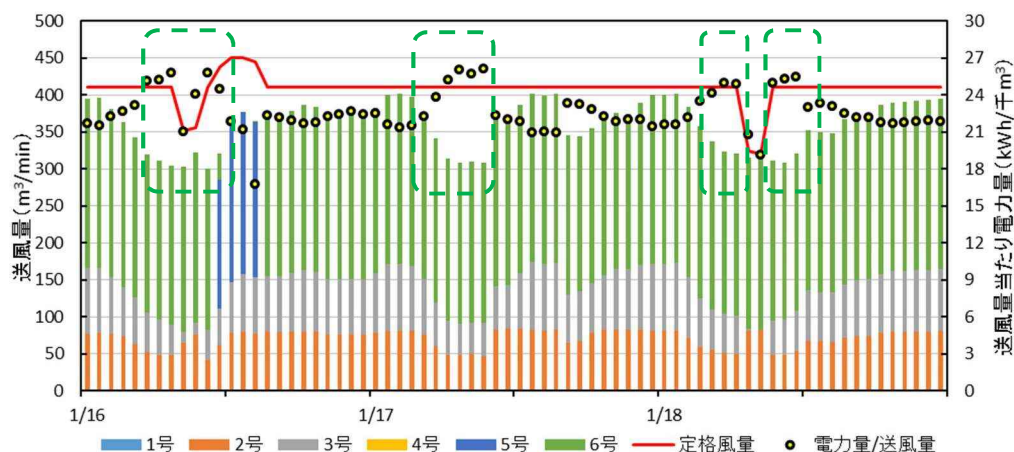


図 9－7 送風機の消費電力分析

各送風機の送風量当たりの消費電力量を図 9－8 に示す。小容量の 1～3 号は、中・大容量の 4～6 号に比べて送風量に対する送風量当たりの消費電力量の変化の割合が大きく、風量調整による消費電力量への影響が大きくなっているため、送風量の調整は 4～6 号で行う方が省エネには有効となる。小容量の 1～3 号は定格風量で運転することが望ましいことが分かる。

また、送風量が同じで電動機容量の異なる 4 号と 5 号の送風量当たりの電力量を比較すると、同等の値になっており、主ポンプの時と同様に省エネ性能に差は見られない。

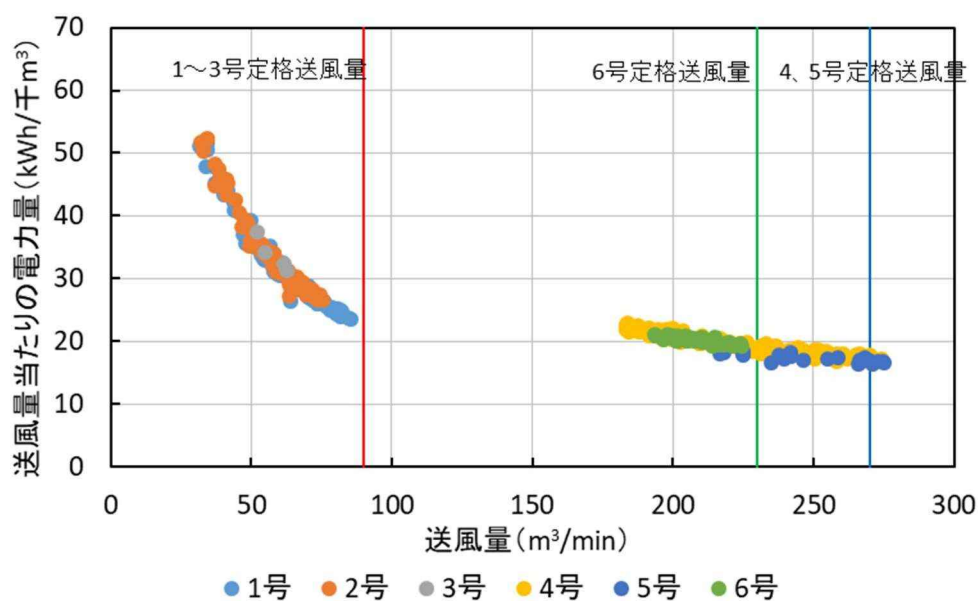


図 9－8 送風量当たりの消費電力量の分布

(4) 消費電力分析で得られた改善事例

ここでは、消費電力分析に基づく、運転改善事例を紹介する。

消費電力量削減のためには、送風量当りの消費電力量が多い運転を送風量当りの消費電力量が少ない運転に切り替える方法を検討し、実施することが必要である。

① 風量調整を小容量機種から大容量機種に変更した改善事例

(3) に記述した分析事例 (F 処理場) について、小容量機種は定格運転とし、大容量機種で風量調整を行うこととした改善事例について述べる。F 処理場について、表 9-1 に示した 6 台の送風機の組合せと定格送風量の合計値を整理すると表 9-2 の A~H の 8 パターンようになった。定格送風量の合計値を上限として、インレットバーンにより風量調整をする範囲について検討した。

表 9-2 送風機の組合せと定格送風量合計値

送風機号機		A	B	C	D	E	F	G	H
小	1号			○	○	○	○		
	2号					○	○		
	3号								
大	4号		○		○		○	○	○
	5号								○
中	6号	○		○		○		○	
定格送風量合計 (m^3/min)		230	270	320	360	410	450	500	540

送風量の調整範囲に応じた送風機の運転パターンと送風量当たりの消費電力量を図 9-9 に示す。送風量当たりの消費電力量が小さくなるように送風機の運転パターンを選定するとグラフ中に実線で示したようになる。この結果を踏まえて、表 9-3 に示すような送風量調整範囲に応じた運転パターンを得る。このような最適号機組合せの可視化により、省エネ運転の実現に向け、運転管理者への伝達がスムーズとなる。なお、号機切替えの際に、吐出圧力が高くなりすぎるとサージングを起こす場合があるので、注意が必要である。

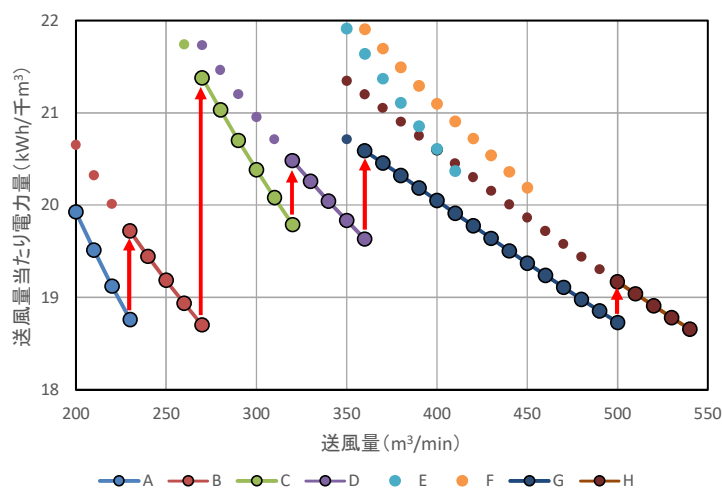


図 9-9 運転パターンと送風量当たりの消費電力量

表 9－3 送風量調整範囲と運転パターンのまとめ

送風量調整範囲 (m^3/min)	180～230	230～270	270～320	320～360	360～500	500～540
運転パターン	A	B	C	D	G	H
運転ブロワ	中×1	大×1	小×1 中×1	小×1 大×1	中+大	大×2

図 9－10 に、運転方法改善後の 10 日間の送風量と送風量当たりの電力量の結果を示す。運転方法改善の結果、表 9－4 に示す通り、送風量当たりの電力量は $22.0 \text{ kWh}/\text{千 m}^3$ から $19.6 \text{ kWh}/\text{千 m}^3$ に削減されており、消費電力量は約 11% 削減した。

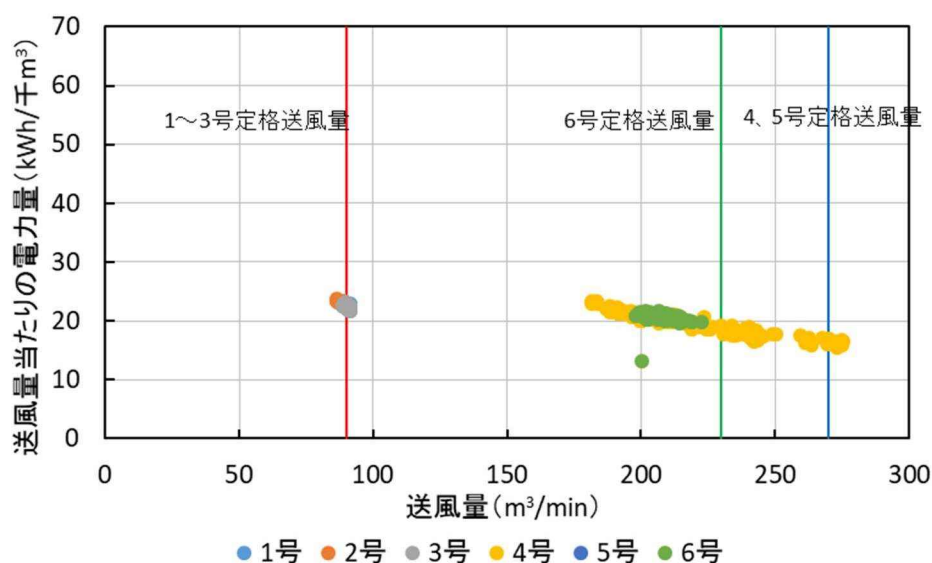


図 9－10 送風量当たりの消費電力量の分布（運転方法改善後）

表 9－4 実証試験における消費電力量削減効果

		1号	2号	3号	4号	5号	6号	合計
運転方案 変更前	送風量($\text{m}^3/10\text{日}$)	655,424	571,018	13,856	2,882,586	390,818	699,148	5,212,850
	消費電力量($\text{kWh}/10\text{日}$)	19,906	18,144	466	55,385	6,742	14,098	114,741
	送風量当たり電力量 ($\text{kWh}/\text{千 m}^3$)	30.4	31.8	33.6	19.2	17.3	20.2	22.0
運転方案 変更後	送風量($\text{m}^3/10\text{日}$)	210,817	74,858	140,817	3,266,118	0	1,549,933	5,242,543
	消費電力量($\text{kWh}/10\text{日}$)	4,766	1,704	3,160	61,261	0	31,916	102,806
	送風量当たり電力量 ($\text{kWh}/\text{千 m}^3$)	22.6	22.8	22.4	18.8	－	20.6	19.6

② 運転台数の削減による検討事例

主ポンプや送風機は、一般に複数台を同時に運転することが多いが、同じ送風量でも、運転台数が増加するに従い消費電力量が増加するので、注意が必要となる。

F 処理場では、ブロワについて 3 台同時運転していた組み合わせを、すべて 2 台運転に変更して

運用することで、約 10%の消費電力削減が見込めることになった。G処理場におけるブロワの運転号機組み合わせを表 9-5 に示した。同じ風量でも 3 台運転と 2 台運転の場合があったが、この表から 3 台運転の場合の送風量当たりの電力量の平均は 23.7kWh/千 m³、2 台運転の場合は 19.8 kWh/千 m³ となり、2 台運転の方が 20%程度効率が良いことが分かった。3 台運転していた組合せを全て 2 台運転に変更すると、年間約 10%の消費電力削減が見込めることが分かった。

表 9-5 ブロワの運転号機組み合わせ

運転号機					平均送風量 (m ³ /min)	送風量当たり電力量 (kWh/千m ³)	
小	小	中	大	大			
		○			224	18.7	
○		○			288	21.4	2台運転 平均 19.8
○			○		298	20.4	
		○	○		447	19.3	
			○	○	460	18.6	
○	○	○			339	23.7	3台運転 平均 23.7
○	○		○		370	21.5	

(5) 送風量の適正化による送風機の運転方法改善手法

送風機の省エネには必要空気量に基づく送風量の制御が有効である。特に硝化促進型の処理を行っている処理場では、反応タンク流入アンモニア濃度に基づく送風量制御を行うことが、省エネには有効である。

送風機の送風量の適正化に当たっては、散気装置の仕様、散気装置の設置水深、通日試験時の反応タンク運転データ（池毎の曝気風量と、流入水量、流入水質、返送汚泥量、循環式硝化脱窒法の場合は循環量）について情報収集を行い、得られた情報に基づき必要空気量を分析する。ここで、曝気風量については、単位に注意する必要がある。m³/min であれば、圧力と温度で Nm³/min に変換して必要空気量と比較する。なお、日報等の運転データでは、Nm³/min との表記があっても、適切な圧力と温度で補正されていない場合があり、曝気風量の合計と送風量の合計が Nm³/min で比較した場合におおよそ合致することを確認する必要がある。

①情報収集

散気装置の仕様については、納入図面で酸素移動効率がわからない場合は、製造メーカーに確認する必要がある。

流入水質については、反応タンク流入 BOD、SS、アンモニア濃度を通日試験の結果から入手する。

通日試験時の反応タンク運転データについては、運転日報から、各反応タンクの池毎の曝気風量と、流入水量、返送汚泥量、循環量等の情報を収集・整理する。

② 必要酸素量の算出

反応タンク内で消費される酸素量は、以下の4つに分類して算定される。

- A) 流入BODを酸化するために必要となる有機物酸化での使用酸素量
- B) 流入Kj-Nを硝化するために必要となる硝化反応で使用する酸素量
- C) 反応タンク内のMLSSの内生呼吸で消費される酸素量
- D) 反応タンク末端DO値を維持するために使用される酸素量

必要酸素量の計算は、「下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2009年度版-」（社団法人日本下水道協会発刊）に記載されている必要酸素量の計算式にて算出が可能である。

③ 必要空気量の算出

反応タンクに必要な空気量は、②で求めた必要酸素量から、反応タンクに空気を供給する散気装置の性能値、反応タンクの水温、DO濃度によって算出される。

散気装置の性能値とは酸素移動効率であって、酸素移動効率は散気装置の種類、散気装置の設置方法、散気水深に依存する。したがって、省エネ効果を高めるためには、酸素移動効率の高い散気装置を選定し、適切な設置方法、適切な散気水深とすることが求められる。§10に酸素移動効率の高い高効率散気装置の例として低圧損型メンブレン式散気装置を紹介する。また、散気水深は深いほど酸素移動効率が高くなるが、同時に送風機の吐出圧力も高くする必要があるため、6m以下とするのが標準である。

必要空気量の計算は、「下水道施設計画・設計指針と解説 後編-2009年度版-」（社団法人日本下水道協会発刊）に記載されている必要空気量の計算式にて算出が可能である。

④ DO制御による送風量と必要空気量

送風量の制御については、一般的に反応タンク末端部に設置したDO計の指示値によって、送風量を増減させる方法がある。この場合、反応タンクにおいて必要となる空気量に対し、数時間遅れた送風量の制御を行う結果となる。反応タンクの滞留時間は一般に8～10時間程度であるため、反応タンク末端のDO計で示される値は8～10時間前の流入水質に対するDO値変化である。従ってDO値が変化した時刻に反応タンクへ流入する下水に必要とされる空気量を供給できるわけではない。安定した良好な放流水質を維持するためには、余裕を持った送風量制御とならざるを得ず、結果的に送風機の電力消費量が多くなる。反応タンク末端のDO濃度にて送風量を制御している事例を図9-11に示す。必要空気量の変化と実績送風量の変化は合致しておらず、乖離している部分は送風量の削減余地がある。

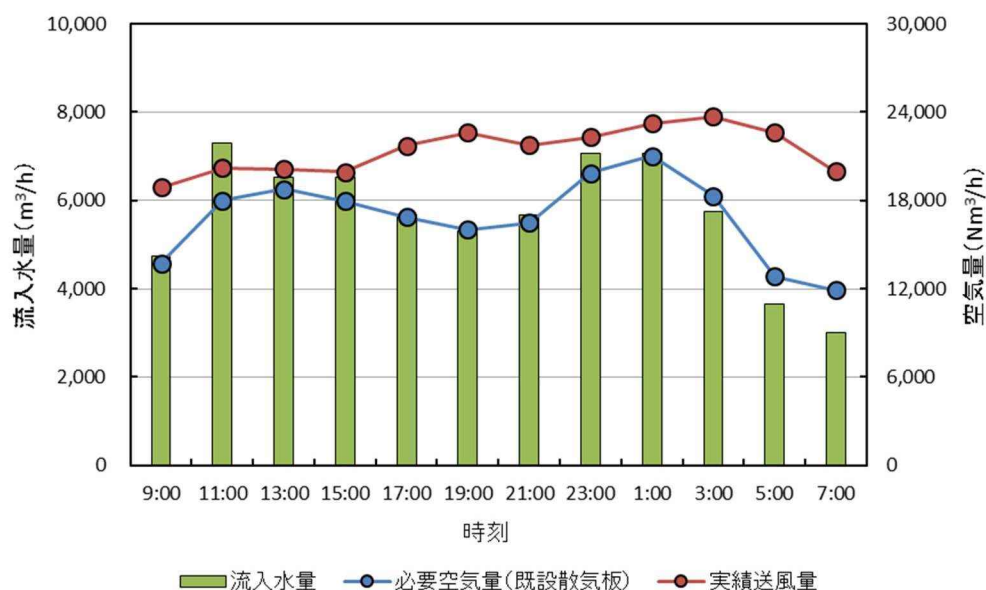


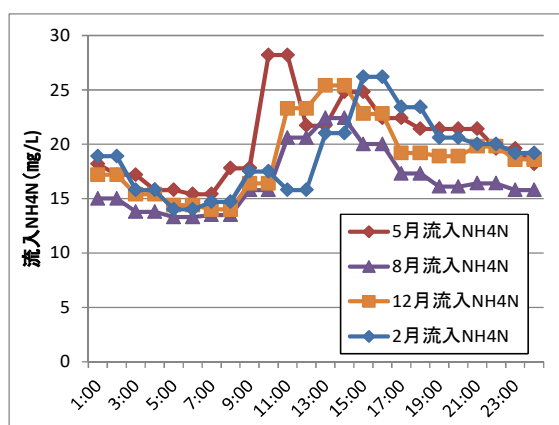
図 9－1 1 DO制御の事例

⑤ アンモニア濃度の時間変動と必要空気量

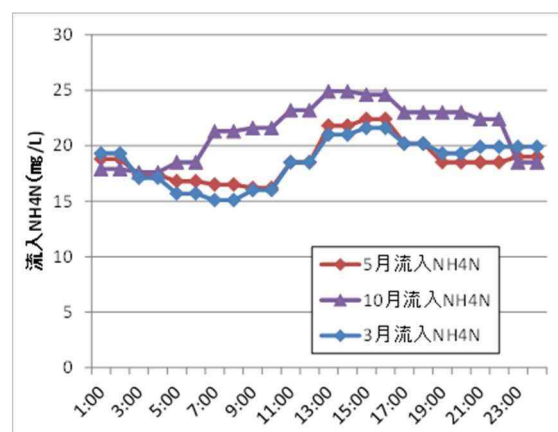
硝化促進型の処理を行っている場合は、反応タンクへ流入するアンモニア濃度を指標とする方法がある。現状では、促進運転を行っている標準活性汚泥法の処理場や、窒素除去を目的とした高度処理法の下水処理場でも、流入アンモニア濃度（あるいは全窒素濃度）の時間変動を把握していないことが多い。硝化を行う場合、アンモニアの酸化に最も酸素が消費されるため、少なくとも流入アンモニア濃度（あるいは全窒素濃度）の時間変動を把握しておく必要がある。反応タンクに流入するアンモニア濃度（あるいは全窒素濃度）の時間変動データを少なくとも四半期別に把握し、必要空気量の時間変動パターンを把握することが重要である。先に述べたように、一般的に反応タンク末端に設置したDO計の数値に基づき送風量を調整しているが、反応タンクの滞留時間は比較的長いため、そのタイムラグが出る。このため、アンモニア濃度（あるいは全窒素濃度）の時間変動パターンの把握は重要である。

下水汚水中のアンモニア性窒素濃度の時間変動の事例を図 9－1 2 に示す。アンモニア性窒素はし尿に多く含まれているため、朝のし尿排泄が多くなる午前 8 時ころから下水処理場への流入時間分だけ遅れた昼の時間帯でピークを迎えることが多い。

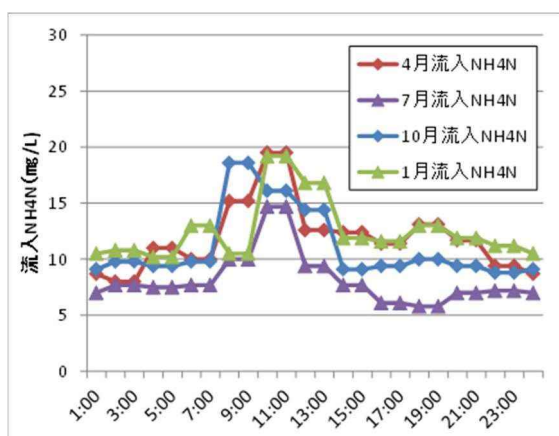
また、反応タンクの流入水量と流入水質から必要空気量を算出した事例を図 9－1 3、図 9－1 4 に示す。アンモニア濃度の時間変動の影響があり、流入水量のピークと必要空気量のピークにずれがあることがわかる。



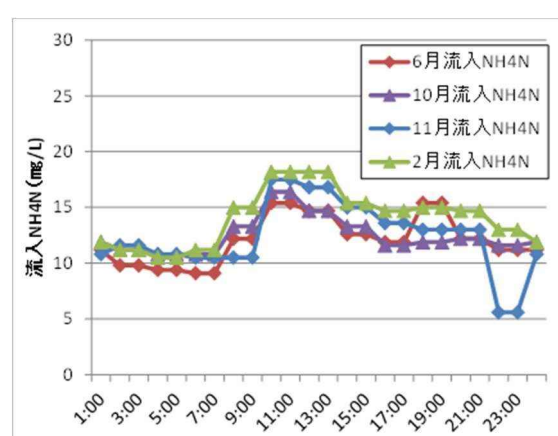
H 処理場



I 処理場



J 処理場



K 処理場

図 9 - 1 2 流入 $\text{NH}_4\text{-N}$ の時間変動の例

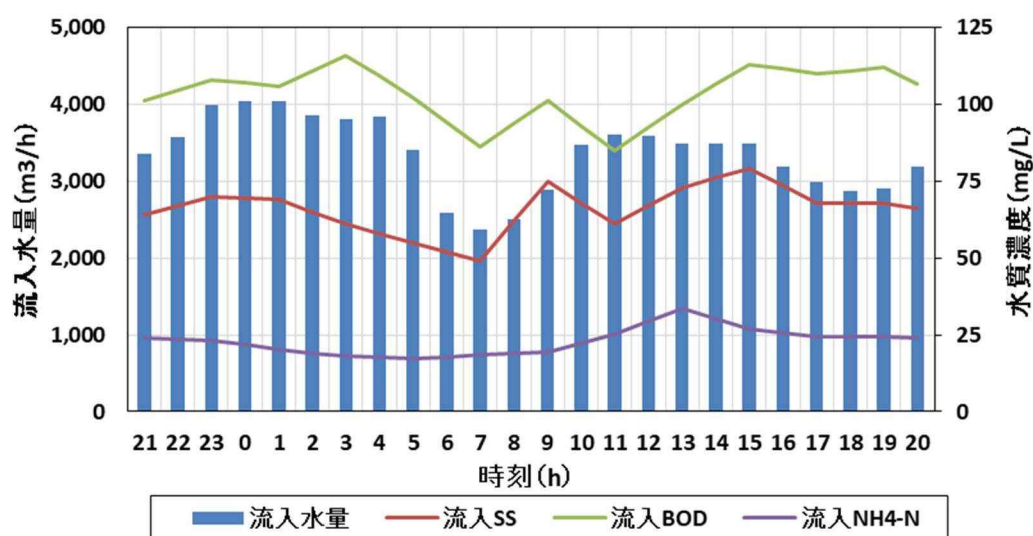


図 9 - 1 3 反応タンク流入水量と流入水質の時間変動の例

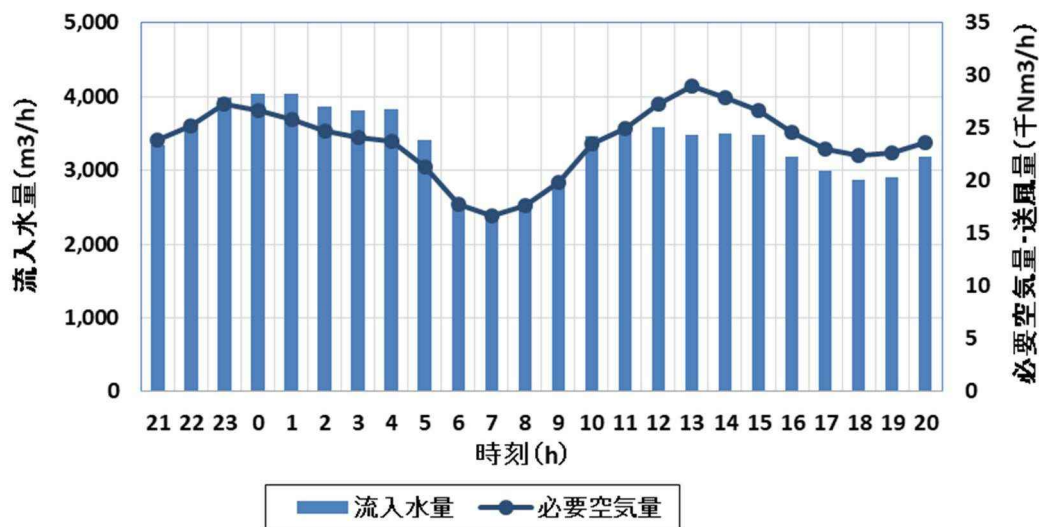


図9－14 反応タンク流入水量と必要空気量の時間変動の例

⑥ アンモニアセンサーによる送風量制御による改善事例

リアルタイムで送風量を制御する方法として、アンモニアセンサーによる制御方法がある。この方法では、アンモニアセンサーによって反応タンク中のアンモニア性窒素濃度を測定し、リアルタイムで送風量を制御することにより、必要な酸素量を供給することができる。アンモニアセンサーで測定できるアンモニア性窒素は、水処理設備で必要となる送風量（送風機の運転時間に関係）と関係があり、この数値を測定することで、必要となる空気量のある程度の予測が可能となる。このため、送風機の運転を必要最小限とし、電力消費量を削減できるため、特に硝化促進の場合に有効な手法である。また自動運転も可能である。

アンモニアセンサーを用いた風量制御を行うには、流入水質の時間変動データを測定し、反応タンクにおける必要空気量の時間変動値を把握することが必要となる。その後、算出された必要空気量の値と最初沈殿池流入部のアンモニア性窒素濃度との相関式を作成することで、最初沈殿池流出部に設置したアンモニアセンサーにより得られたデータから必要空気量を求め、送風機の運転制御を行う。参考としてアンモニアセンサー設置個所の概略図を図9－15に示す。ここでは、最初沈殿池流出部と反応タンク後段部の2か所にアンモニアセンサーを設置し、必要送風量の算定及び効果の確認を行っている。アンモニアセンサーを図9－16に示す。

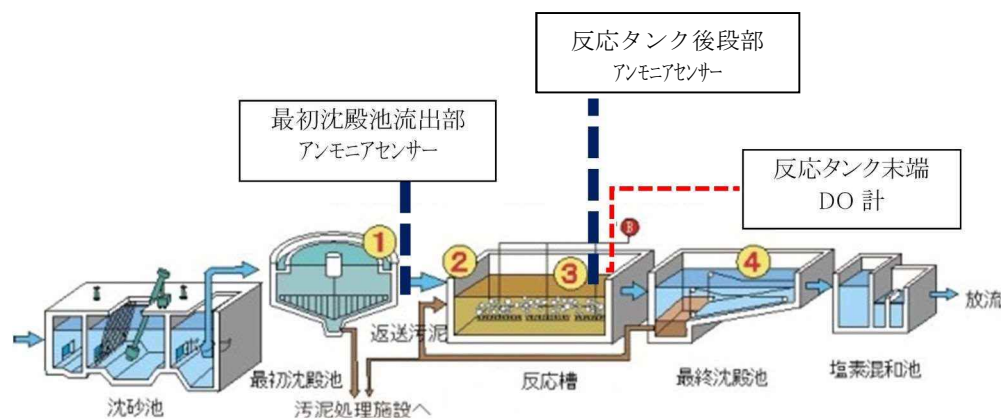


図 9 - 1 5 アンモニアセンサー設置個所 (参考)



図 9 - 1 6 アンモニアセンサー変換器と検出部

次に、アンモニアセンサーによる送風量制御の検討を行った例の概要を紹介する。この下水処理場の季節毎の反応タンク流入水質を表 9 - 6、図 9 - 1 7 ~ 図 9 - 2 0 に示す。

表 9 - 6 季節毎の流入水質

	5 月 (mg/ℓ)	10 月 (mg/ℓ)	3 月 (mg/ℓ)
流入 S S	53	48	58
流入 B O D	100	81	91
流入 K j - N	26. 8	29. 5	29. 3
流入 N H ₄ - N	18. 7	21. 4	18. 6

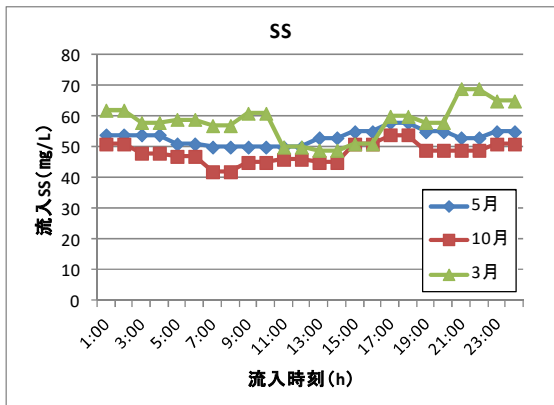


図 9－17 季節毎の反応タンク流入 SS

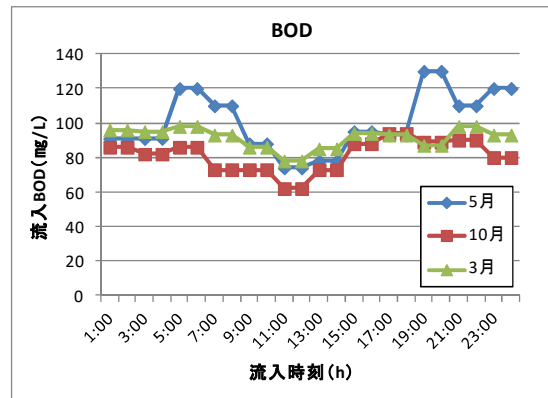


図 9－18 季節毎の反応タンク流入 BOD

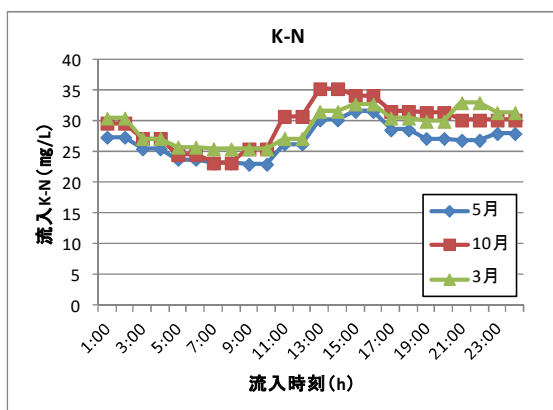


図 9－19 季節毎の反応タンク流入 Kj-N

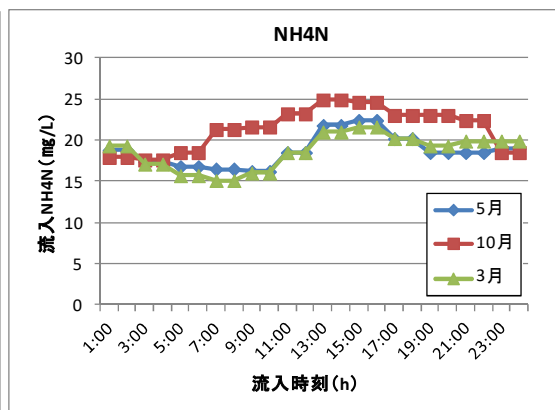


図 9－20 季節毎の反応タンク流入 NH₄-N

流入水質は季節毎に変動が見られた。10 月の NH₄-N については、Kj-N と相関がみられず、粒子性有機態窒素もしくは溶解性有機態窒素の流入が多くなっていると考えられた。

必要酸素量、必要空気量の計算式から風量制御式（風量制御のための必要空気量計算式）を作成した。

風量制御式は「目標 DO 値 0.5mg/ℓ風量制御式」と「目標 DO 値 1.0mg/ℓ風量制御式」の 2 つの式が作成された。ここでの目標 DO 値とは反応タンク末端部に設置されている DO 計の値を指している。通常、処理に必要な空気は処理過程にて消費されるため、余剰な空気が多いほど DO 値は高く検出される。目標 DO 値を低くする制御を行うと、供給空気量が下がるため風量削減効果は大きいが、処理水質に悪影響を及ぼす可能性も高くなる。このため、まず目標 DO 値 1.0mg/ℓ風量制御式での運転を行った後、目標 DO 値 0.5mg/ℓ風量制御式での運転が行われた。

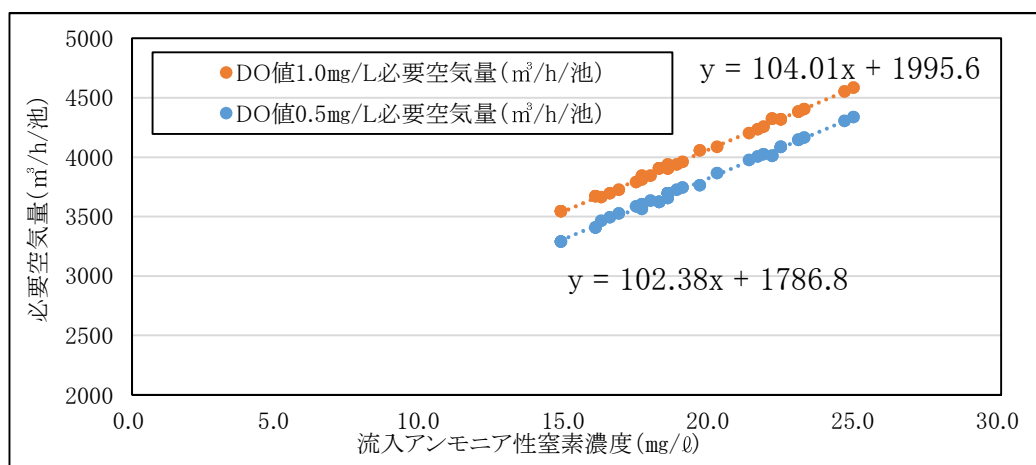


図 9－2 1 風量制御式

この風量制御式に基づき送風量制御の実証運転が実施された。2 か月半の実証運転の結果，送風量で 8 %，電力量で 4 % 程度の削減効果が確認された。

⑦適切なMLSSの設定

反応タンクに必要な酸素量には「C) 反応タンク内のMLSSの内生呼吸で消費される酸素量」が含まれることから，MLSSを適切に設定することが省エネには有効である。

一般に高度処理では硝化細菌を系内に保持するため，SRT（固形物滞留時間）を長くとる必要がある。そのため，標準的なMLSSは，標準活性汚泥法では 1,500～2,000mg/ℓであるのに対し，高度処理では 2,000～3,000mg/ℓが必要とされる。特に水温の低い冬季は硝化細菌の増殖速度が下がることからSRTをより長くとる必要があり，MLSSは 3,000mg/ℓ程度必要とされる。但し，これは全国平均の数値であり，硝化細菌の増殖速度に影響のある水温に応じて，適切なMLSSを設定することが水質を最適に維持するために必要である。しかしながら，実際には必要以上にMLSSを上げて運転管理しているため，かえって水質を悪化させている事例が見られる。

また，ステップ流入を行っている場合は特に注意が必要である。系全体の平均MLSSは返送汚泥量，流入条件，ステップ段数，槽容量等にもよるが，末端のMLSSの 1.2～2 倍程度あるため，末端のMLSSを標準的なMLSSで管理すると，必要空気量が必要以上に高くなってしまう。

図 9－2 2 に 3 段のステップ流入式硝化脱窒法を採用している事例を示す。末端のMLSSは 2,000～3,000mg/ℓの範囲にあるが，平均MLSSは 2,900～3,900mg/ℓとなっており，適切なMLSSで管理することで，必要空気量は 5～10% 程度削減可能となる。

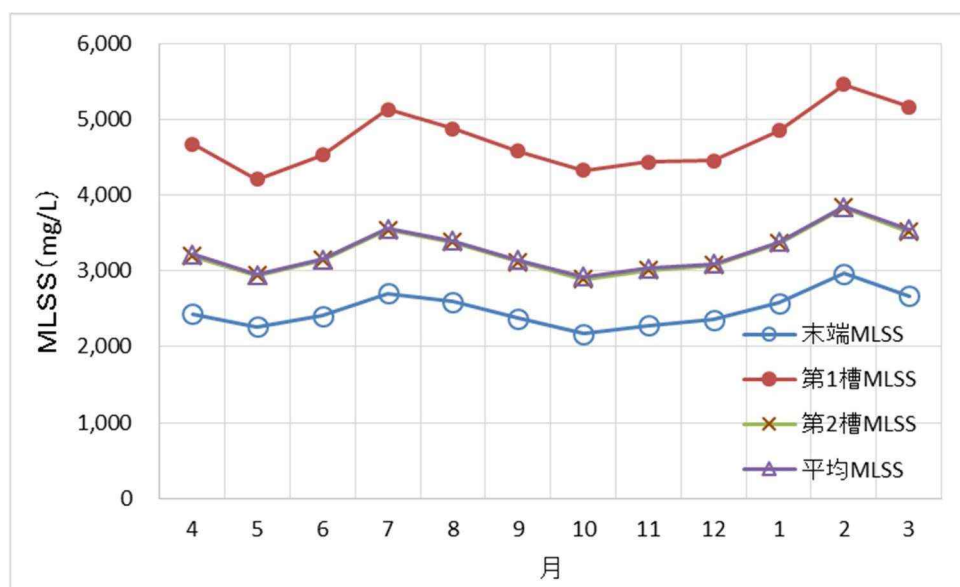


図 9-22 3 段のステップ流入式硝化脱窒法での
槽毎と平均の月ごとのMLSSの事例

§ 10 高効率散気装置の導入

散気効率に優れた散気装置の導入は省エネに有効である。

圧力損失が高いことが欠点であった従来からある超微細気泡散気装置に対し、散気のための気孔の形状等を工夫することによって圧力損失を低減するとともに、酸素移動効率も従来型の超微細気泡散気装置と同等の低圧損型メンブレン式散気装置等の導入は、省エネに効果的である。

【解 説】

圧力損失が低く、散気効率に優れた散気装置が開発され、導入が進んでいる。酸素移動効率の高い従来の超微細気泡散気装置は圧力損失が高く、再構築や増設の際に導入した場合、既設の散気装置との圧力バランスの関係から、散気水深を浅くせざるを得ず、本来の高い酸素移動効率を発揮できていないという課題があった。この課題を克服すべく、酸素移動効率は従来の超微細気泡式散気装置と同等で、圧力損失は従来の一般的な散気装置と同等、とする低圧損型メンブレン式散気装置等が開発され導入が進んでいる。

なお、本設備の導入に際しては、§ 19 に示すように段階的な導入となるため、送風機の効率的な運用ができるような配慮が必要である。

ここでは高効率散気装置の代表機種として、低圧損型メンブレン式散気装置の概要を示す。本装置の詳細については、「低圧損型メンブレン式散気装置の導入マニュアル（2019年3月（公財）日本下水道新技術機構）」を参考にされたい。

（１）適用範囲

図 10-1 に示すように、反応タンク設備の好気槽（好気槽・嫌気槽の兼用槽も含む）に設置される散気装置が対象となる。

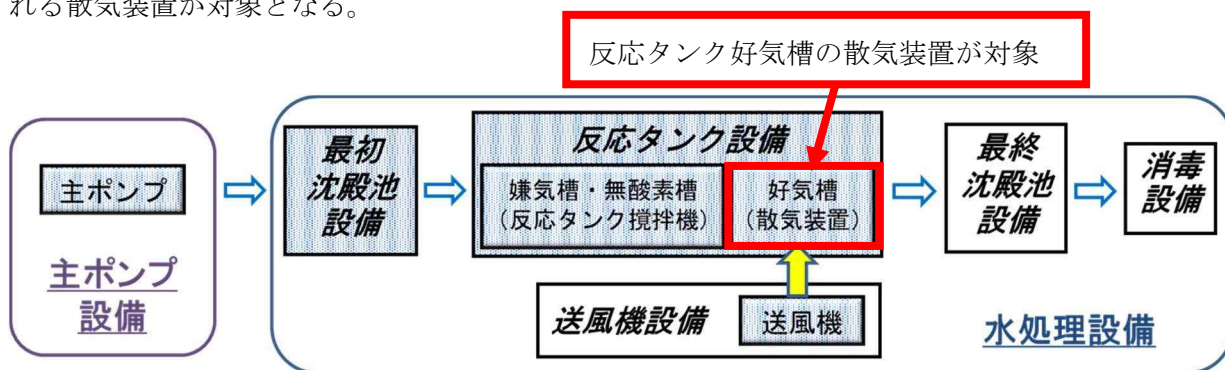


図 10-1 高効率散気装置の適用範囲

（２）低圧損型メンブレン式散気装置の構造・形状

従来のメンブレン式散気装置は、給気口よりベースプレートと散気膜の間に空気を吹き込み、散気膜が空気圧で膨らむと、気孔から超微細気泡が発生する仕組みである（図 10-2 参照）。低圧

損型メンブレン式散気装置の発泡原理も基本的には変わらないが、気孔の形状等を工夫することで、従来のメンブレン式散気装置よりも低圧損になるよう設計されている。

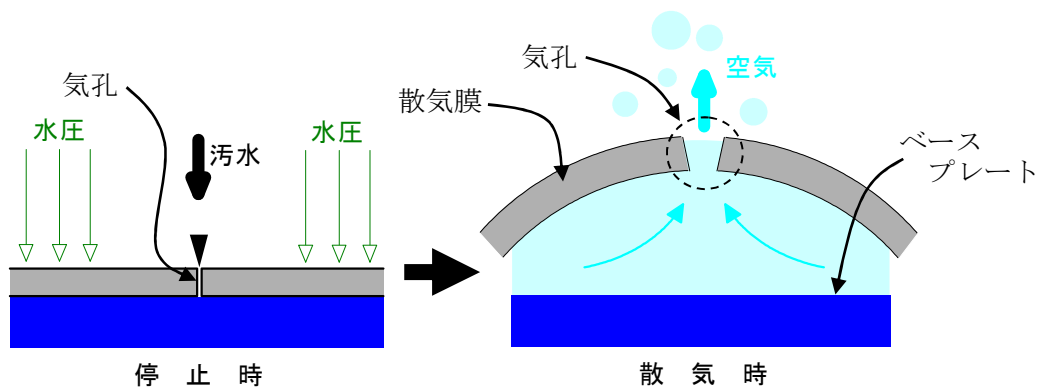
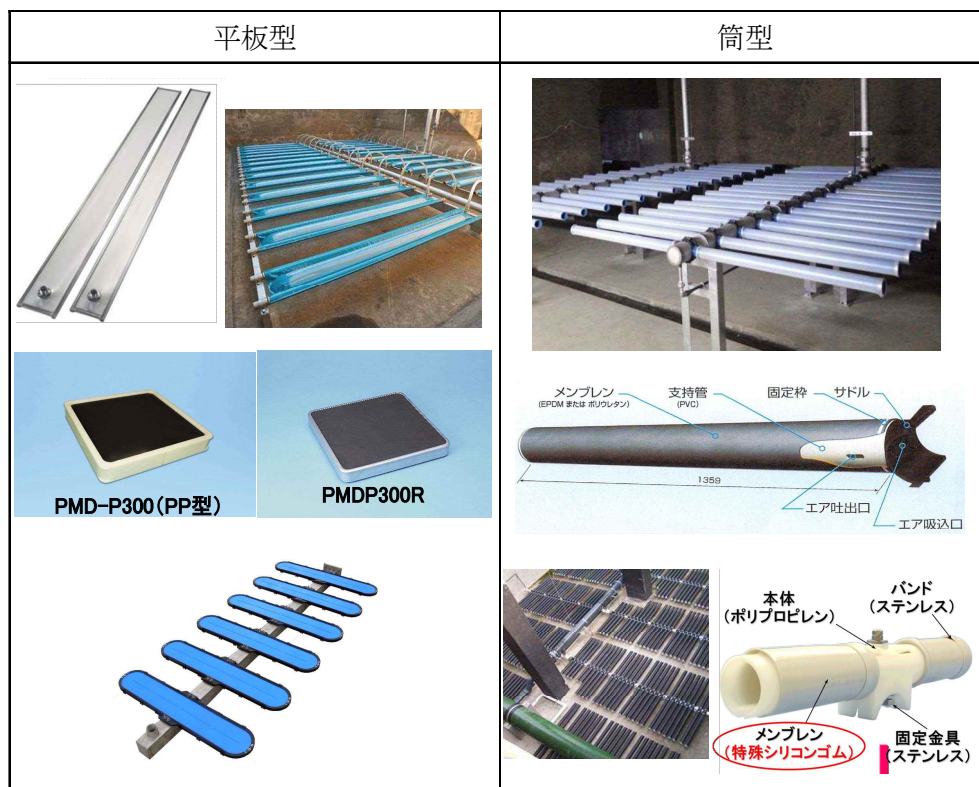


図 10-2 停止時，散気時の散気膜の状態

散気装置の構造を図 10-3 に示す。散気装置には大きく平板型と筒型の 2 種類があり、メンブレンを支持母材に固定枠又はパイプにバンドで固定させたもの、もしくはシートに溶着した形状で構成されている。なお、散気装置はメンブレン本体、ヘッダ管、設置架台、ライザ管、ライザ管用元弁、凝縮水排水装置及び圧抜き装置等から構成される。

図 10-3 低圧損型メンブレン式散気装置外観一覧



(3) 低圧損型メンブレン式散気装置の特徴

低圧損型メンブレン式散気装置は、以下の特徴を有している。

- ・発生する気泡径が小さく、酸素移動効率が低い。
- ・風量調節の制御範囲が広く、停止時でも目詰まりしにくい。
- ・従来メンブレンより圧力損失が小さく、散気版と同等程度である。

従来のメンブレン式散気装置は、メンブレン以外の散気装置と併用する場合、一般に圧力バランスを考慮し、散気水深を浅くする必要があった。低圧損型メンブレン式散気装置は、散気版と同程度の圧力損失のため、同一水深での設置が可能である（図 10-4 参照）。

- ・圧力上昇予防操作（ブローダウン）は必要としない。

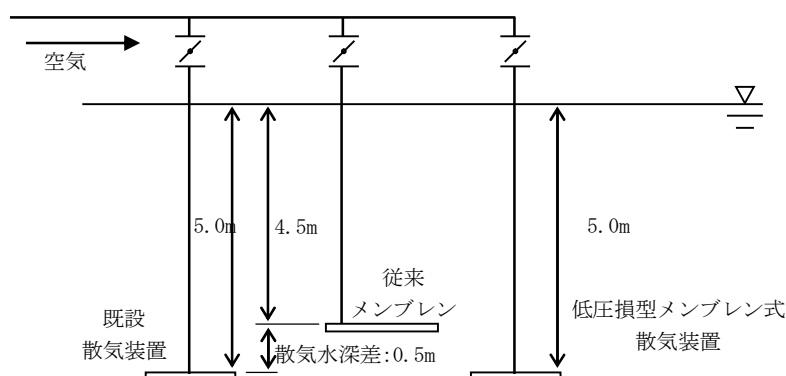
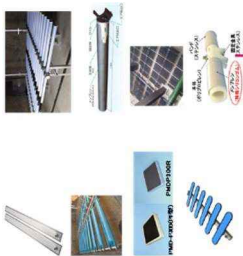
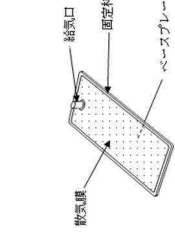
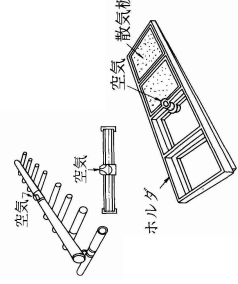
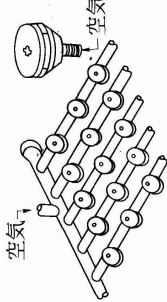
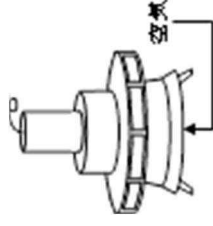


図 10-4 圧力バランス概念図

表 10-1 に、低圧損型メンブレン式散気装置、従来型メンブレン式散気装置及びその他の代表的な散気装置との比較を示した。低圧損型メンブレン式散気装置の導入コストとしては、水中攪拌機に対しては攪拌動力が不要な為電気設備が不要であり、低減される。表 10-1 に示す他の散気装置とは同等である。

低圧損型メンブレン式散気装置は、2004 年頃より採用され現段階において全国の約 170 箇所の処理場に採用されている。

表 10-1 各種散気装置の比較表

	メンブレン式		微細気泡散気装置		水中かくはん式
	低圧損型	従来	旋回流式	全面エアレーション式	
			散気板・散気筒	散気板	
構造概要	 微細孔をあけた特殊樹脂製の膜を支持母材に固定又は溶着したもので、気孔の形状等を工夫している。	 微細孔をあけた特殊ポリウレタン製の膜をベースプレートに固定したものである。	 均一な粒径のセラミックまたは合成樹脂粒子を多孔質の板状に成形したものである。	 均一な粒径のセラミックまたは合成樹脂粒子を多孔質の板状あるいは円盤状に成形したものである。	 水中攪拌機の吐出側に散気構造を組み合わせ、散気機能と攪拌機能を一体化したものである。
散気部材質	特殊ポリウレタン 特殊EPDM 特殊シリコン	特殊ポリウレタン	セラミック または合成樹脂	セラミック または合成樹脂	インペラ：ステンレス
酸素移動効率 (清水, 5m)	旋回流：24～33% 全面：28～35%	同左	14～16%	20～32%	20～30%
圧力損失	6kPa	11kPa	6kPa 程度	同左	1kPa 程度
制御性	通気量範囲が広い 制御性は良い。	同左	最低通気量が決められており制御範囲は狭い。	同左	通気量範囲に制限がないため制御性は良い。
間欠運転	可	同左	不可	不可	可
その他	圧損上昇予防操作は不要である。	圧損上昇予防操作が必要である。	経年的な圧力損失の上昇がある。	同左	減速機の油、メカニカルシーリング交換のため定期的なオーバーホールが必要である。
実績	近年増加	多い	非常に多い	多い	多い

※出典および図引用：下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年度版 (社) 日本下水道協会

(4) 導入検討

低圧損型メンブレン式散気装置の導入に当たっては、次の事項を検討する必要がある。

特に①散気水深については、既存設備の散気装置や送風機との圧力バランスに配慮する必要があるが、散気水深を浅くすると酸素移動効率が低下するため、圧力バランスが取れる範囲でできる限り散気水深を深くするのがよく、池底から 500mm 以内の高さで設置することで酸素移動効率の高い全面エアレーション式とすることもできる。

- ① 散気水深（設置高さ）
- ② エアレーション方式
- ③ 酸素移動効率
- ④ 必要空気量
- ⑤ 散気密度
- ⑥ 必要散気面積または必要散気長さ
- ⑦ 配置

③酸素移動効率は、エアレーション方式、散気水深、単位面積当たりの通気量によって変化する。酸素移動効率の設計値は、表 10-2 から求め、散気水深が 5.0m と異なる場合は、式（10.1）を用いて表 10-2 の値を補正する。

表 10-2 酸素移動効率の設計値（全面エアレーション式・旋回流式）

エアレーション方式	散気水深 (m)	酸素移動効率 (%)	
		硝化対応設計	標準設計
全面エアレーション式	5.0	28	31
旋回流式	5.0	26	30

なお、上記効率は、清水、20℃、101.3kPa での値である。

硝化対応設計と標準設計は、単位面積あたりの通気量（標準通気量）による区分である。

$$E_{A(h)} = E_{A(5)} \times (h \div 5)^{0.72} \quad \dots\dots\dots (10.1) ※$$

ここに、

$E_{A(h)}$: 散気水深 h m での酸素移動効率 (%)

$E_{A(5)}$: 散気水深 5.0 m での酸素移動効率 (%)

h : 散気水深 (m)

※出典：「板倉忠興編（1999）水理公式集（平成 11 年度版）」（社団法人土木学会）

(5) 導入にあたっての留意点

低圧損型メンブレン式散気装置の導入にあたり、以下の項目に関し留意が必要である。

①ブロウ用エアフィルタ

空気中のダストによるメンブレンの目詰まり防止のために、送風機の吸込側にエアフィルタを設置する必要がある。

②曝気用の空気源

曝気用の空気として、最初沈殿池等の臭気を使用している場合がある。この臭気中に含まれる硫化水素等により、メンブレンへの影響等が懸念される。そのため、臭気を使用している場合には、外気での希釈等、別途検討が必要である。

③ライザー管の風量と圧力の測定口

池への送風量を測定、監視するための風量計の他、ライザー管ごとに風量測定口を設置することが望ましい。この測定口を、圧力測定用および手動圧抜き用として使用することもできる。

④既設風量計、風量調節弁、送風機の使用範囲

酸素移動効率の低い従来型散気装置から低圧損型メンブレン式散気装置に更新する場合、**図10-5**に示すように送気量がそれ以前に比べ大幅に削減される事が予想される。§9で示すように、送風量を反応タンクの必要空気量まで低減させることが送風機の省エネに効果的であるため、更新後の予想風量（必要空気量）において、既設風量計、風量調節弁が使用可能かどうか、送風機が効率の良い運転範囲で運転可能かどうかを確認する必要がある。

また、更新後は風量調節弁にて適切な風量調整を行う必要がある。

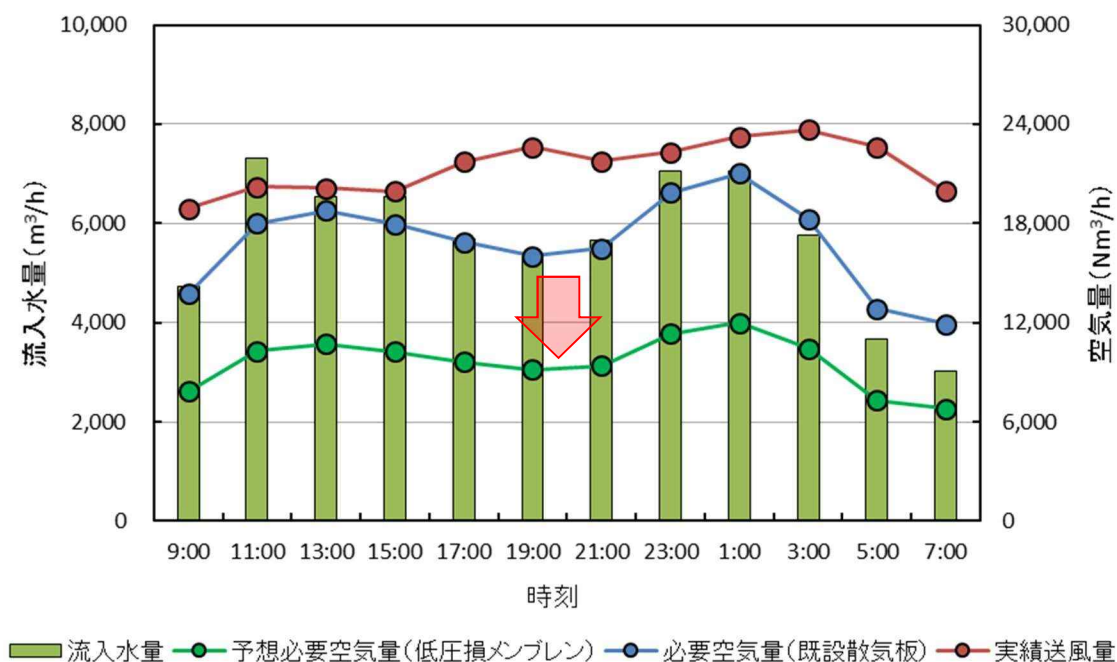


図10-5 散気板と低圧損型メンブレン式散気装置の時間毎の必要空気量の比較例

⑤ 水処理系列と送風機系列の圧力バランス

他の種類の散気装置や池深さが異なる水処理系列があり、散気装置の圧力損失や散気装置の設置水深が異なるなど、曝気に必要な圧力が大きく異なり圧力バランスが取れにくくなることで、適正な送風量に設定できなくなることや、送風機の吐出圧力を高くして風量調節弁で絞ることで調節しなければならなくなるなど、送風機の効率的な運転ができなくなる場合がある。その場合は送風機、配管の系列を分けることも検討する必要がある。

特に図10-6に示すように、既設が水中攪拌機の場合は、圧力バランスを合わせると、散気水深を浅くせざるを得ず、本来の高い酸素移動効率を発揮できない場合があるので注意が必要である。

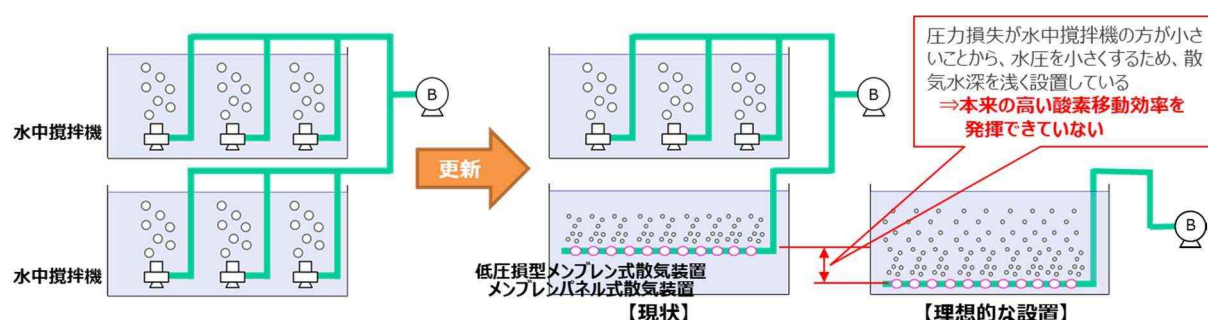


図10-6 散気装置の理想的な設置

⑥ 凝縮水排水装置

大気中の湿度が高い時期は、送風機により高压高温になった曝気空気が、配管および散気装置内部で冷却され、凝縮水（結露水）が発生しやすくなる。発生した水が配管に溜まる構造の場合、ヘッダー管の凝縮水をヘッダー管から水面上部へ導くよう凝縮水排水装置を設け、定期的に排出する。

⑦ 圧抜き装置

圧抜き操作とは、送風を停止した後、散気装置の内圧を抜き、再度送風を開始する操作である。このための装置として、散気装置への供給空気を停止する弁（送気遮断弁）と、停止後の散気装置および送気管内の残存空気を放圧する弁（圧抜き弁）を設置する。圧抜き操作の頻度が少ないため、手動式とする。

送気遮断弁については、ライザー管用元弁または風量調節弁等の流用が可能な場合には兼用としてよい。また、圧抜き弁については、凝縮水排水装置または圧力測定口の流用が可能な場合には兼用としてよい。

§ 11 反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転方法改善手法

反応タンク嫌気槽・無酸素槽の攪拌に用いられる水中攪拌機は、活性汚泥の沈降を防止し、下水と活性汚泥微生物の接触を良好に行うことを目的としてものであることを踏まえ、間欠運転が可能な機種を導入している場合には、間欠運転による省エネを検討することが有効である。

【解 説】

(1) 適用範囲

図 1 1 - 1 に示すように、反応タンク設備の嫌気槽の無酸素槽に設置される反応タンク攪拌機のうち、攪拌動力密度の大きな水中攪拌機が対象となる。

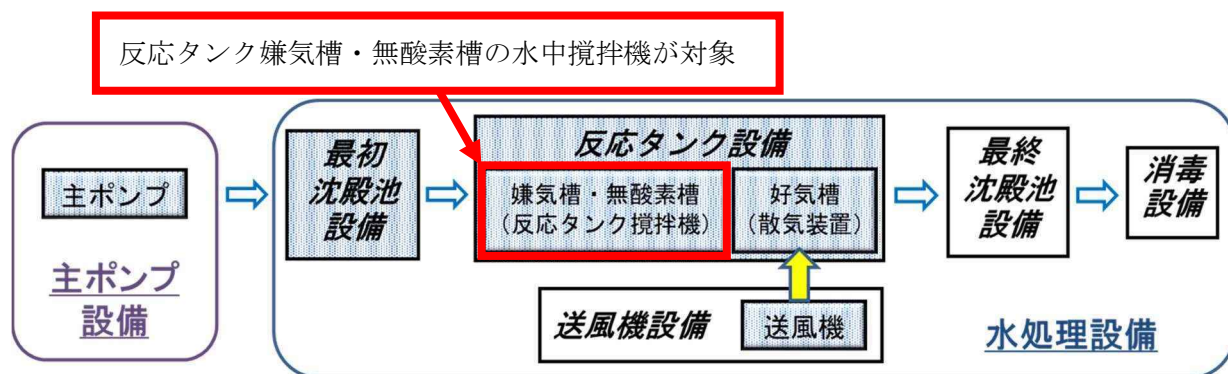


図 1 1 - 1 反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転方法改善手法の適用範囲

(2) 水中攪拌機の導入状況

「下水処理場におけるエネルギー戦略検討業務報告書（平成 30 年 3 月 国土交通省水管理・国土保全局下水道部）」では、水中攪拌機に関する問診票調査を行っている。標準法（硝化抑制または硝化促進）で運用している処理場における水中攪拌機の導入状況を図 1 1 - 2 に、高度処理で運用している処理場における水中攪拌機の導入状況を図 1 1 - 3 に示す。標準法では約 60%の処理場、高度処理ではすべての処理場において水中攪拌機が導入されていた。また、嫌気槽（無酸素槽含む）の攪拌だけでなく、好気槽において使用されるケースも多くみられた。

好気槽で水中攪拌機を使用した場合には、送風機の消費電力に加えて攪拌のための電力が必要になる。水中攪拌機は酸素移動効率が 20～30%と高いため、散気筒や散気板に代わり好気槽に使用されていたが、低圧損型膜タンク式散気装置のように酸素移動効率が 30%程度と高いものが開発・実用化されている現在、攪拌のための消費電力がプラスされることを考えると、好気槽への水中攪拌機設置の意義は無くなっていると言える。

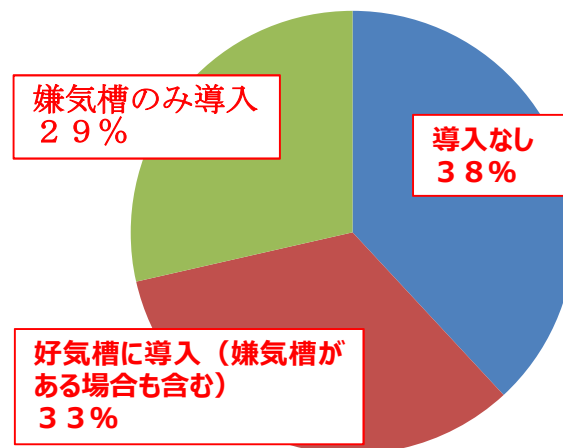


図 1 1 - 2 水中攪拌機の導入状況（標準法）

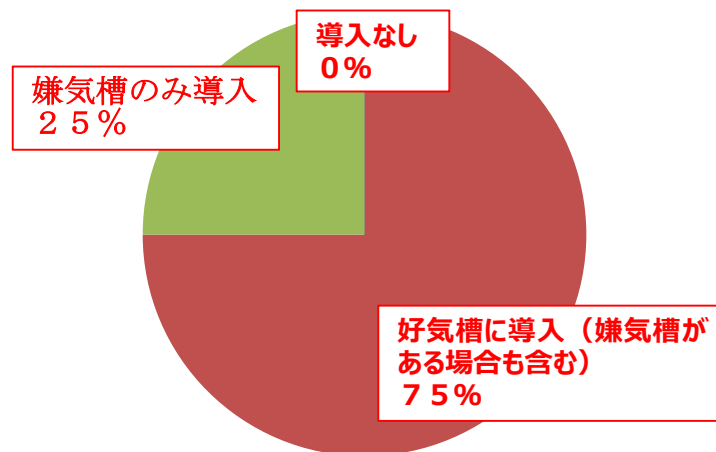


図 1 1 - 3 水中攪拌機の導入状況（高度処理）

（3）反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転改善手法

嫌気槽・無酸素槽については、活性汚泥の沈降を防止し、下水と活性汚泥微生物との接触を良好に行うことを目的として、攪拌装置が設置される。攪拌装置には様々な装置があるが、攪拌動力密度の大きな水中攪拌機が多く設置されている。

下水処理場では、先の目的を達成するために、攪拌を常時行っていることが多い。しかしながら、嫌気槽・無酸素槽攪拌を完全に停止しても、良好な水質を得られている例もある

（嫌気槽・無酸素槽攪拌機停止に伴う水処理調査

<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/data/gesui/report/h22/suishitsu-h22-01.pdf>）。

このため、水質への影響を十分考慮した上で、水中攪拌機の間欠運転の可否等を確認し、可能な場合にその取り組みを検討することは省エネに効果的である。水中攪拌機の機種によっては、間欠運転に対応していないものもあるため、間欠運転の可否及び運転停止頻度の上限については製造メーカーへの確認が必要である。間欠運転に対応していない機種を間欠運転したために、シャフトが

疲労破壊した事例もある。

間欠運転が可能な場合、運転停止頻度の上限を考慮して、タイマー設定により、○時間運転△時間停止といった間欠運転を行う。なお、攪拌停止による影響を確認するため、実験的に一時攪拌を停止し、水質の挙動を調査することが望ましく、運転、停止のサイクルは、処理水質や反応タンクのスカムの状況等を確認して調整するのがよい。

(4) 検討事例

G処理場では、ステップ流入式多段硝化脱窒法を採用しており、1池を4槽に仕切り、第1槽～第4槽すべてに水中攪拌機を採用していた。第1槽、第3槽が無酸素槽であるが、水中攪拌機は24時間運転されていた。無酸素槽の水中攪拌機を、例えば、4時間運転、2時間休止のサイクルで運転することにより、水中攪拌機の消費電力量（好気槽は含まない）は約33%の削減が見込めることとなった（表11-1、図11-4）。将来的には、§12に示す省エネ型の攪拌機を設置することにより、24時間連続運転でも省エネ効果が期待でき、約84%の削減が見込める結果となった。

表11-1 G処理場の水中攪拌機に間欠運転導入を検討した事例

従来の運転方法：全槽において水中攪拌機を連続運転（24h運転）			
第1槽：無酸素 水中攪拌機 3.7kW×1基 24h/日連続運転	第2槽：好気 水中攪拌機 5.5kW×1基 24h/日連続運転	第3槽：無酸素 水中攪拌機 5.5kW×1基 24h/日連続運転	第4槽：好気 水中攪拌機 15kW×1基 24h/日連続運転
運転方法の変更：無酸素槽において水中攪拌機を間欠運転（4h運転、2h休止）			
第1槽：無酸素 水中攪拌機 3.7kW×1基 16h/日間欠運転	第2槽：好気 水中攪拌機 5.5kW×1基 24h/日連続運転	第3槽：無酸素 水中攪拌機 5.5kW×1基 16h/日間欠運転	第4槽：好気 水中攪拌機 15kW×1基 24h/日連続運転

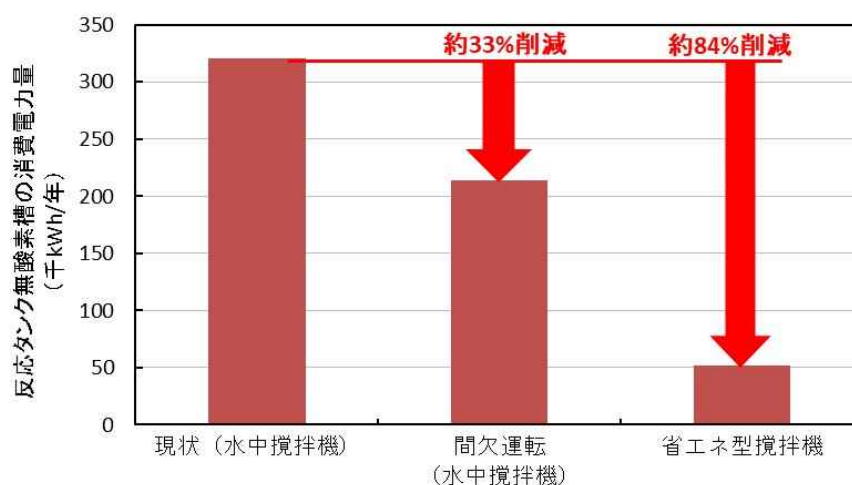


図11-4 水中攪拌機と省エネ型攪拌機の消費電力量の比較

§ 12 省エネ型反応タンク攪拌機の導入

嫌気槽・無酸素槽において、水中に設置される従来の水中攪拌機に対し、土木駆体の形状・縦横比、攪拌機架台の形状・寸法、標準機種構成等の適用条件に応じて効率的となる省エネ型の攪拌機が開発されており、その導入は省エネに有効である。

【解 説】

嫌気槽、無酸素槽など反応タンクの好気槽以外の攪拌装置として、省エネ型反応タンク攪拌機が開発されている。省エネ型反応タンク攪拌機は、装置の構造により以下の型式に分類される。

- ① プロペラ（インペラ）式
- ② 双曲面形攪拌翼式
- ③ ドラフトチューブ式
- ④ 直結式
- ⑤ 旋回機構付プロペラ式

（１）適用範囲

図 1 2 - 1 に示すように、反応タンク設備の嫌気槽・無酸素槽に設置される反応タンク攪拌機が対象となる。

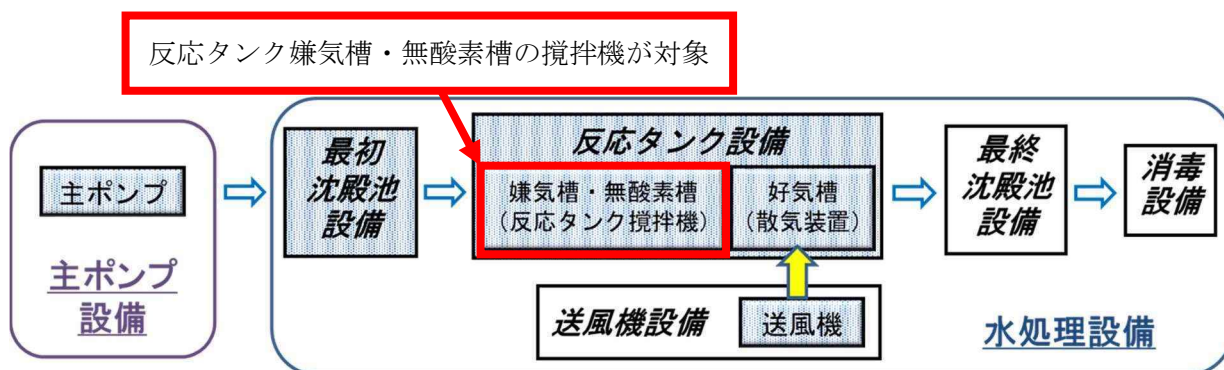


図 1 2 - 1 省エネ型反応タンク攪拌機の適用範囲

（２）省エネ型反応タンク攪拌機の特徴

以下に紹介する省エネ型反応タンク攪拌機の導入により大幅な省エネ効果が期待できる。導入コストについても、据付時に仮設足場が不要であり、工事費の低減が期待できる。

なお、この部分については、特に断りのない限り出典は「省エネ型反応タンク攪拌機の導入促進に関する技術マニュアル（平成 28 年 3 月（公財）日本下水道新技術機構）」である。

省エネ型反応タンク攪拌機は、水中攪拌機と比較して攪拌動力密度が大幅に小さい攪拌機で、構造・形状により 5 つの型式に分類される。表 1 2 - 1 に各型式の特徴概要を示す。また、建設技術審査証明書に記載された性能評価値を表 1 2 - 2 に示した。

表 1 2 - 1 省エネ型反応タンク攪拌機の特徴概要

型式 特徴 項目	プロペラ (インペラ)式	双曲面形 攪拌翼式	ドラフト チューブ式	直結式	旋回機構付 プロペラ式
駆動装置 の位置	槽上	槽上	槽上	槽上(懸垂)または 水面上(フロート)	槽上(旋回) 水中(プロペラ)
攪拌翼径[mm]	φ 1400/ φ 2200/ φ 2500	φ 1500/ φ 2000/ φ 2300/ φ 2500	φ 400	φ 200～300	φ 300～368
回転速度[min^{-1}]	10～50 程度	20～30 程度	300～500 程度	1200～1500 程度	850 以下
軸心部の 流れ方向	下方向または 上方向	下方向	下方向	下方向	水平方向
攪拌翼 設置位置	水面から 数 m 下	タンク底面から 150～350mm 上	水面から 約 1 m 下	水面直下	反応タンク底部

表 1 2 - 2 省エネ型反応タンク攪拌機の性能評価（建設技術審査証明書より）

型式	攪拌動力密度 ※	適用範囲
省エネ型 反応タンク 攪拌機	A 2.0 W/m ³ 以下	(嫌気槽, 無酸素槽) 縦横比 1:1 ～1:2.5 水深 6 m 以下 長辺長さ 15 m 以下 槽容量 520 m ³ 以下
		(兼用槽) 縦横比 1:1 ～1:2.5 短辺長さ 5.6 m 以下 水深 8 m 以下 長辺長さ 6.75 m 以下 槽容量 283 m ³ 以下
	B 1.5 W/m ³ 以下	縦横比 1:1 ～1:1.8 水深 5 m 以下 長辺長さ 13.5 m 以下 槽容量 487.3 m ³ 以下
		縦横比 1:1 ～1:1.1 水深 10 m 以下 長辺長さ 8 m 以下 槽容量 597.4 m ³ 以下
	C 1.0 W/m ³ 以下	縦横比 1:1 ～1:1.3 水深 5 m 以下 長辺長さ 13 m 以下 槽容量 650 m ³ 以下
	D 1.0 W/m ³ 以下	縦横比 1:1 ～1:2 水深 5.5 m 以下 長辺長さ 12 m 以下 槽容量 400 m ³ 以下
		縦横比 1:1 ～1:2 水深 10 m 以下 長辺長さ 18 m 以下 槽容量 1560 m ³ 以下
	E 3.0 W/m ³ 以下	縦横比 1:1 ～1:3 水深 6 m 以下 長辺長さ 16 m 以下 槽容量 498 m ³ 以下
		縦横比 1:1 ～1:3 水深 12 m 以下 長辺長さ 16 m 以下 槽容量 1007 m ³ 以下
	F 3.5 W/m ³ 以下	縦横比 1:1 ～1:2 水深 6 m 以下 長辺長さ 18 m 以下 槽容量 961 m ³ 以下
	G 3.0 W/m ³ 以下	縦横比 1:1 ～1:1.5 水深 5 m 以下 長辺長さ 9 m 以下 槽容量 270 m ³ 以下
	H 0.8 W/m ³ 以下	縦横比 1:1 ～1:4 攪拌インターバル 30 分以内 (側壁または中央) 水深 5 m 程度以下 最長攪拌距離 14 m 以下 槽容量 125 m ³ 以上
		縦横比 1:1 ～1:1.5 攪拌インターバル 7.5 分以内 (コーナー) 水深 5 m 程度以下 最長攪拌距離 12 m 以下 槽容量 125 m ³ 以上
平均	2.0 W/m ³	
水中攪拌機 (メーカー値)	6～10 W/m ³	縦横比 1:1 ～1:2

※適用範囲の条件下で、反応タンクの汚泥沈降防止に必要な底部流速 0.1 m/sec 以上を満足するために必要な攪拌動力密度。(旋回機構付プロペラ式は水中プロペラ対向時)

① プロペラ（インペラ）式

本装置は、反応タンク上部に配置した駆動装置に垂直に攪拌軸が接続し、その下端部にプロペラ（インペラ）型の攪拌翼が直結している。図 1 2－2 にプロペラ（インペラ）式の構造を、表 1 2－3 に仕様を、図 1 2－3 に外観写真を示す。

本装置では、プロペラ（インペラ）を低速で回転させることにより水流が発生し、タンク全体を攪拌する。駆動装置が反応タンク上部にあり、水中部に底部軸受や振れ止めを持たないため、日常保守・点検が容易で、反応タンク内の水を抜かずに施工ができる。また、プロペラ（インペラ）はし渣が絡みにくいような形状となっている。

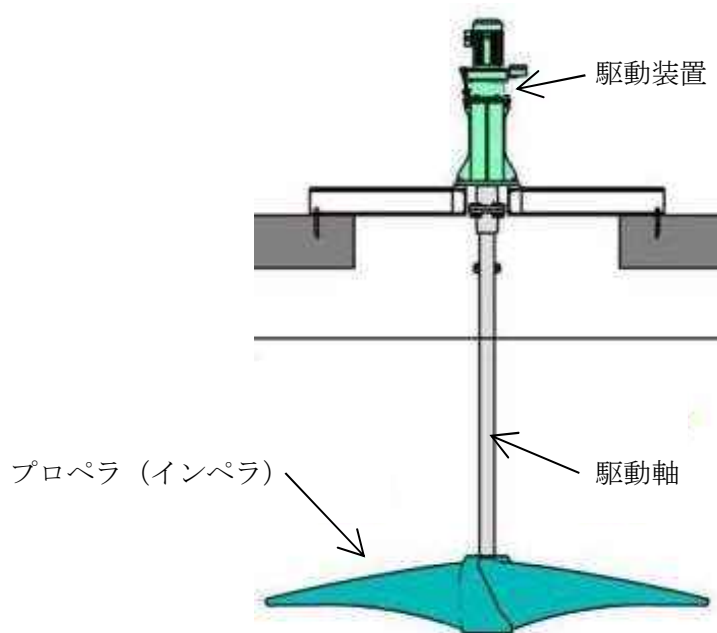


図 1 2－2 プロペラ（インペラ）式の構造

表 1 2－3 プロペラ（インペラ）式の仕様

	A 社	B 社	C 社	D 社
攪拌翼径[mm]	φ 2500	φ 2500	φ 1400/ φ 2500	φ 2200
回転速度[min^{-1}]	10～40 程度	12～40 程度	10～40 程度	10～50 程度
軸心部の 流れ方向	下方向	上方向（標準槽） 下方向（深槽）	下方向	下方向
攪拌翼 標準設置位置	水面から 1.5 m 下	水面から 水深の約 1/3 下	水面から 1.8 m 下	水面から 1.5 m 下
攪拌翼材質	FRP	ポリウレタン	FRP	SUS316 相当 SUS304 相当
攪拌軸材質	SUS304	SUS304 相当	SUS304	SUS316 相当 SUS304 相当

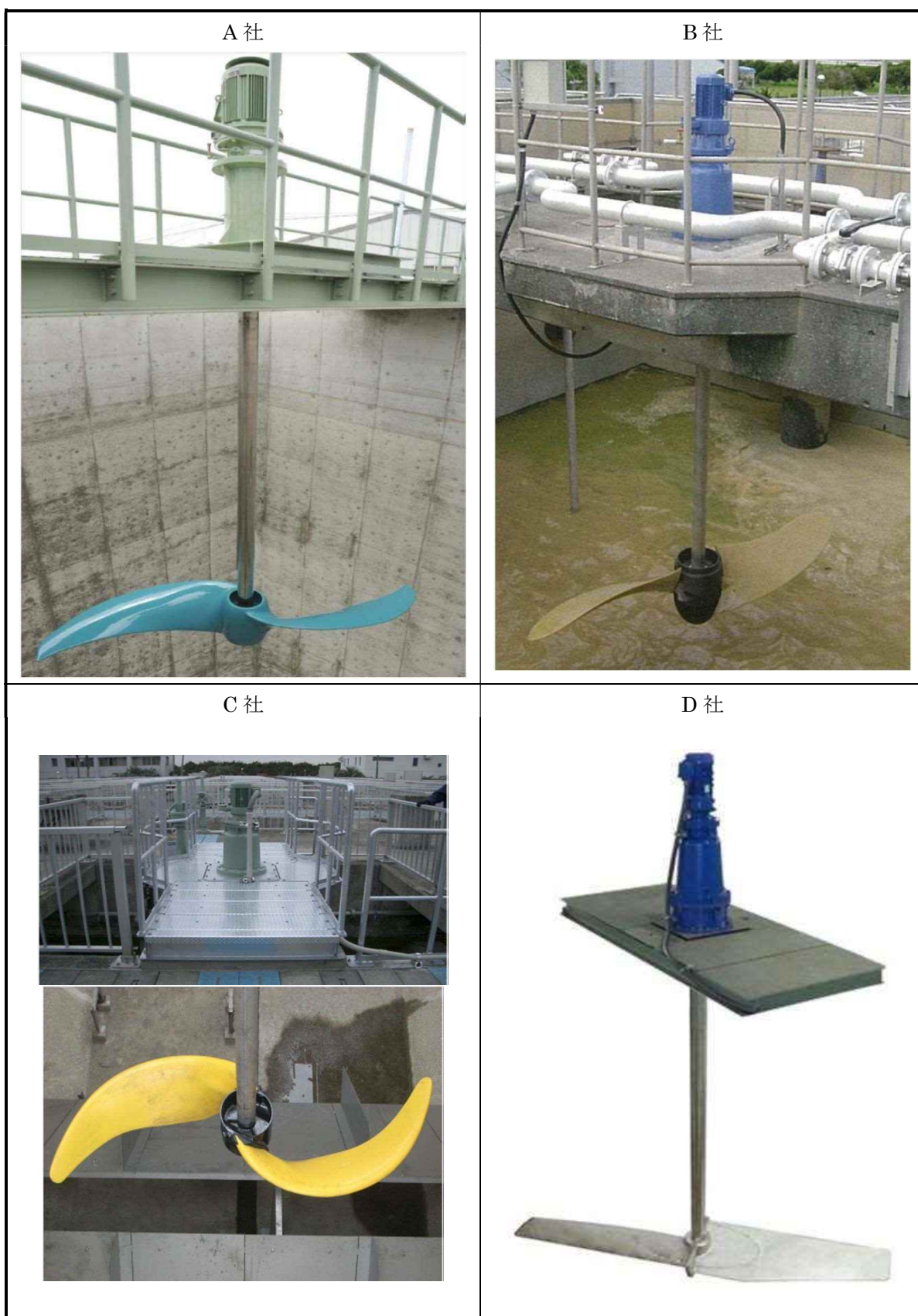


図 1 2 - 3 プロペラ（インペラ）式の外観写真

② 双曲面形攪拌翼式

本装置は、反応タンク上部に配置した駆動装置に垂直に攪拌軸が接続し、その下端部（タンク底部）に双曲面形の攪拌翼が直結している。深槽の場合は攪拌軸が長くなるため、フランジ接続にて攪拌軸を分割し、底部に下部振れ止めを設置する。図 1 2 - 4 および図 1 2 - 5 に双曲面形攪拌翼式の構造を、表 1 2 - 4 に仕様を、図 1 2 - 6 に外観写真を示す。

攪拌翼を低速で回転させることにより水流が発生し、タンク全体を攪拌する。

駆動装置が反応タンク上部にあるため、日常保守・点検が容易である。

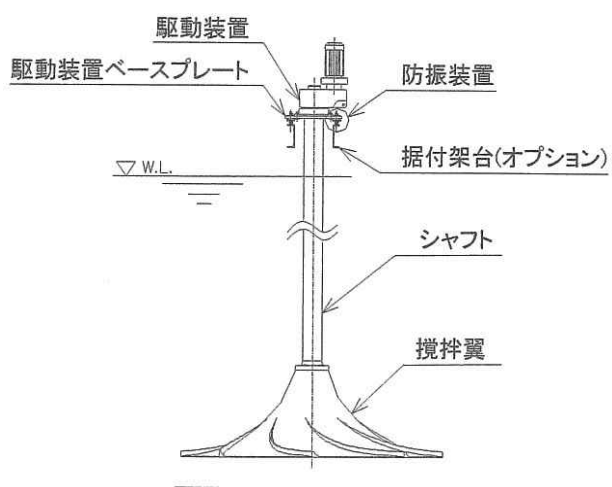


図 1 2 - 4 双曲面形攪拌翼式の構造（標準槽設置時）

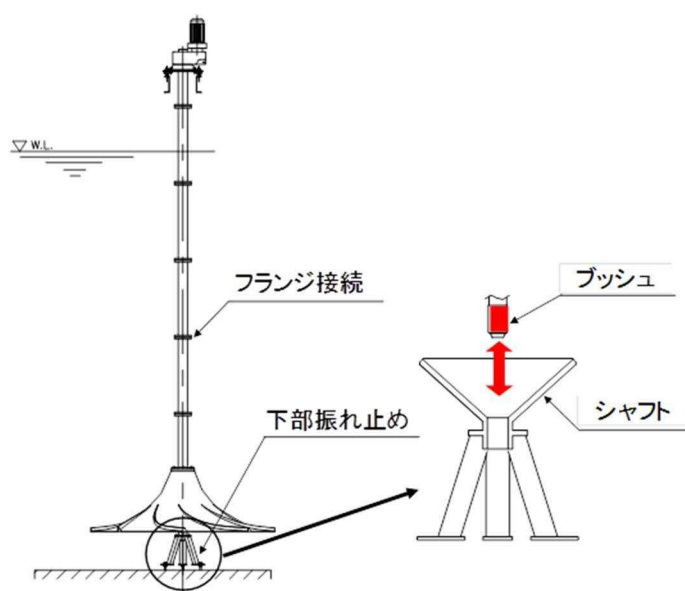


図 1 2 - 5 双曲面形攪拌翼式の構造（深槽設置時）

表 1 2 - 4 双曲面形攪拌翼式の仕様

攪拌翼径[mm]	$\phi 1500 / \phi 2000 / \phi 2300 / \phi 2500$
回転速度[min^{-1}]	20～30 程度
軸心部の流れ方向	下方向
攪拌翼標準設置位置	反応タンク底部から 150～350mm 上
攪拌翼材質	FRP
攪拌軸材質	SUS304 相当



図 1 2 - 6 双曲面形攪拌翼式の外観写真

③ ドラフトチューブ式

本装置は、反応タンク上部に設置した駆動装置に主軸，インペラ型の攪拌翼が連結しており，インペラは水中のドラフトチューブの内側に設置されている。インペラの回転により発生する下向流により，反応タンク内を攪拌する。ドラフトチューブによる吸込み効果により，水面に発生するスカムの堆積を防止することができる。図 12-7 にドラフトチューブ式の構造を，図 12-8 に外観写真を，表 12-5 に仕様を示す。

インペラが小型であるため，攪拌機の設置に必要な開口寸法を小さくすることができる。（標準槽用：800×800 mm，深槽用：1,050×1,050 mm）また，維持管理においては，反応タンク上に駆動装置があり，日常点検は吊上げを行わずに容易にできる。オーバーホール時や異常発生時に反応タンク内の水を抜かず駆動装置，主軸，インペラを反応タンク上から吊上げ可能で作業性が良好である。

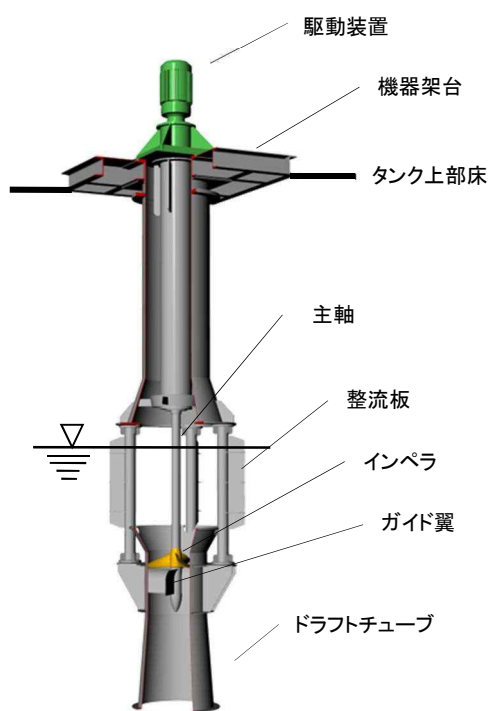


図 12-7 ドラフトチューブ式の構造



図 12-8 ドラフトチューブ式の外観写真

表 1 2 - 5 ドラフトチューブ式の仕様

攪拌翼径[mm]	φ 400
回転速度[min^{-1}]	300～500 程度
軸心部の流れ方向	下方向
攪拌翼標準設置位置	水面から約 1 m 下
攪拌翼材質	SCS19 相当
攪拌軸材質	SUS304

④ 直結式

本装置は、反応タンク上部に配置した駆動装置に垂直に攪拌軸が接続し、その下端部にインペラ型の攪拌翼が直結している。図 1 2 - 9 に直結式の構造を、図 1 2 - 1 0 に外観写真を、表 1 2 - 6 に仕様を示す。

インペラを高速で回転させることにより水流が発生し、反応タンク全体を攪拌する。減速機・軸受等を有しない電動機直結構造のため、メンテナンス箇所が少ない。

槽内水中部に施工箇所がないため、反応タンク内の水を抜かずに設置することができる。本体が軽量のため、据付作業が容易である。また、反応タンク開口部形状に応じた設置方法が可能で、フロートタイプと懸垂タイプの 2 種類がある。

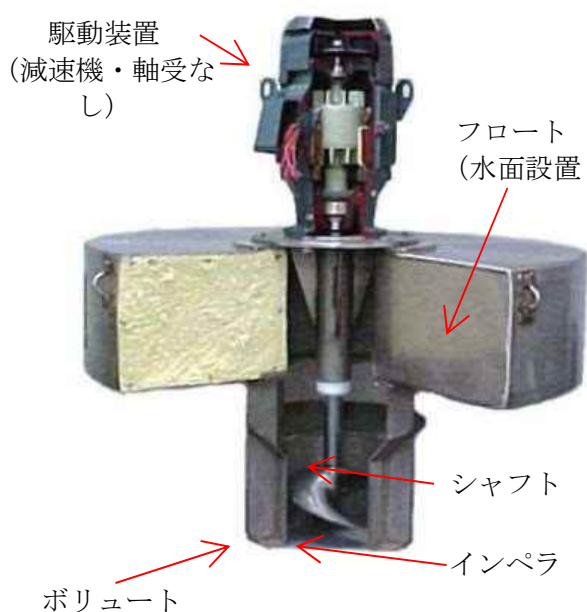


図 1 2 - 9 直結式の構造（フロートタイプ）

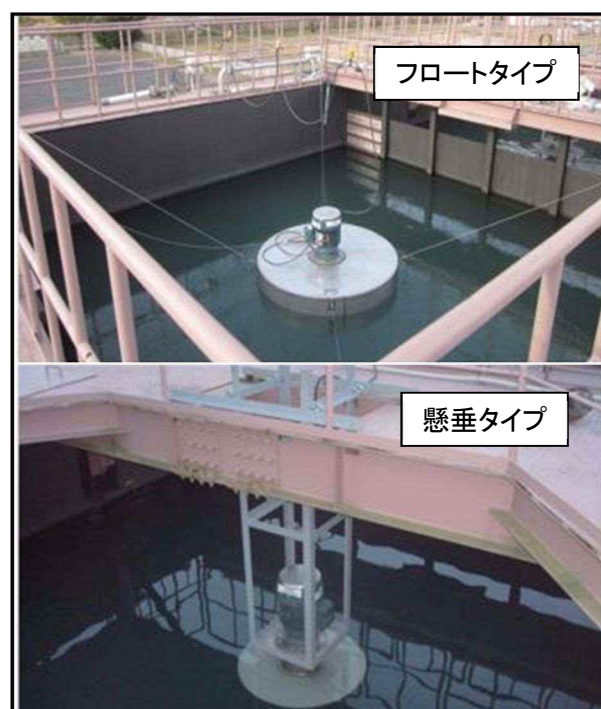


図 1 2 - 1 0 直結式の外観写真

表 1 2 - 6 直結式の仕様

攪拌翼径[mm]	φ 200～300
回転速度[min^{-1}]	1200～1500 程度
軸心部の流れ方向	下方向
攪拌翼標準設置位置	水面直下
攪拌翼材質	SUS316
攪拌軸材質	SUS630 相当

⑤ 旋回機構付プロペラ式

本装置は、反応タンク上部に配置した旋回駆動装置に垂直に旋回支柱が接続し、その下端部に水中プロペラが接続されている。水中プロペラは、プロペラ型の攪拌翼、ケーシング、ガイドリングおよび整流ガイドから構成される。図 1 2 - 1 1 に旋回機構付プロペラ式の構造を、表 1 2 - 7 に仕様を、図 1 2 - 1 2 に外観写真を示す。

水中プロペラを高速で回転させることにより、水平方向の水流が発生する。同時に旋回駆動装置が水中プロペラを往復旋回させることにより、水流を底部全体に作用させ、反応タンク底部全体を攪拌する。水中プロペラ前面に配置された整流ガイドは、水流の直進性を向上させ到達距離を長くする効果がある。

本装置は、反応タンクコーナー部や反応タンク側壁部にも設置することができる。

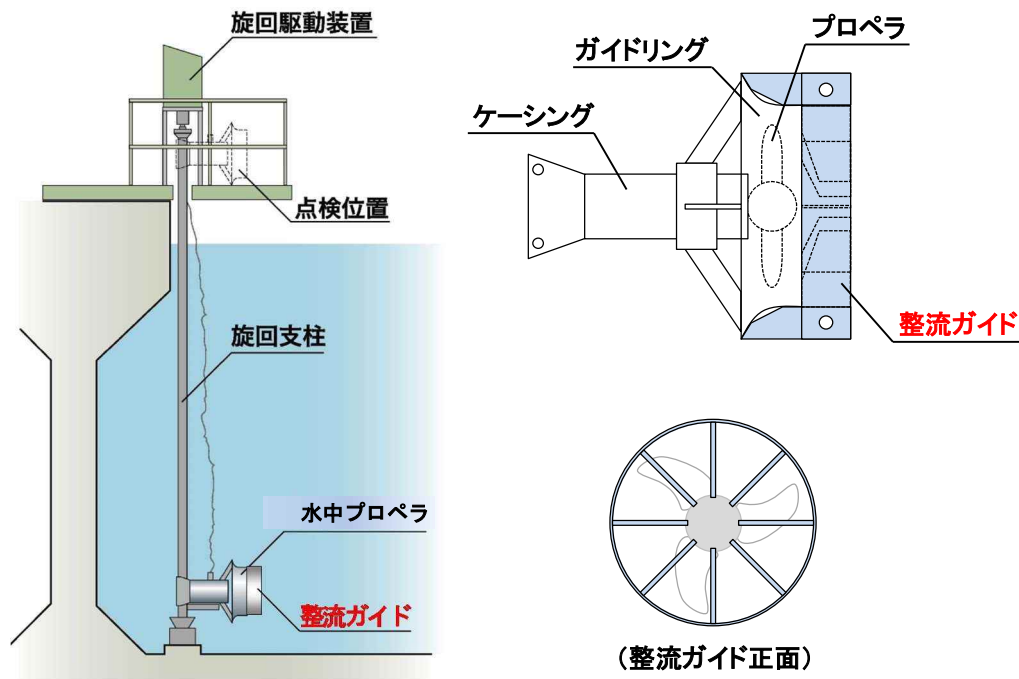


図 1 2 - 1 1 旋回機構付プロペラ式の構造

表 1 2 - 7 旋回機構付プロペラ式の仕様

攪拌翼径[mm]	$\phi 300 \sim 368$
回転速度[min^{-1}]	850 以下
軸心部の流れ方向	水平方向
攪拌翼標準設置位置	反応タンク底部
攪拌翼材質	SUS316 相当
攪拌軸材質	SUS304

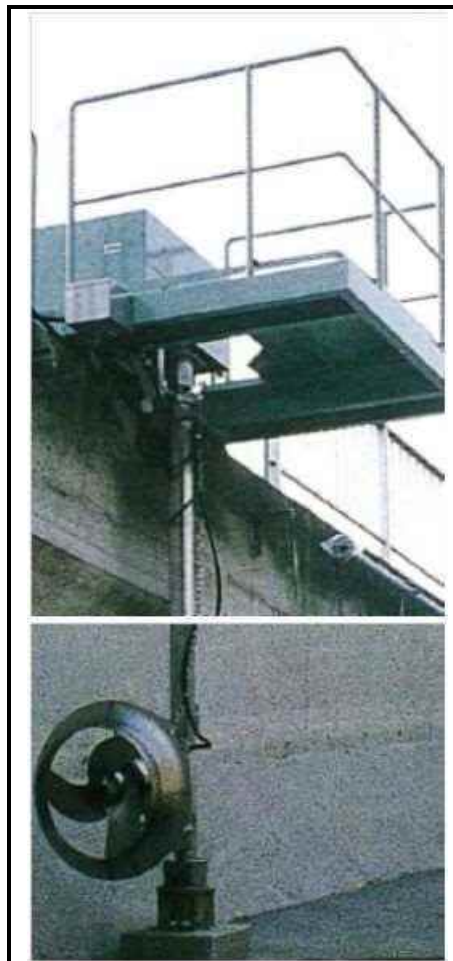


図 1 2 - 1 2 旋回機構付プロペラ式の外観写真

(3) 導入効果

下水処理場の反応タンクにはこれまで水中攪拌機が多く導入されてきた。この水中攪拌機を設置している実際の反応タンクに省エネ型反応タンク攪拌機を導入した場合の消費電力量削減効果のケーススタディ結果を図12-13に示す。

省エネ型反応タンク攪拌機を導入することによる攪拌機の消費電力量削減率は69～95%（平均79%）で、攪拌動力密度削減率は66～96%（平均79%）と試算された。型式や製造メーカーにより若干の差が生じたのは、土木躯体の形状、攪拌機架台の形状・寸法、標準機種構成、縦横比等の適用条件により、選定した攪拌機の動力に差が生じたためである。つまり、最も高い削減効果が出る型式や製造メーカーは、攪拌機を設置する反応タンクの条件によって異なる。

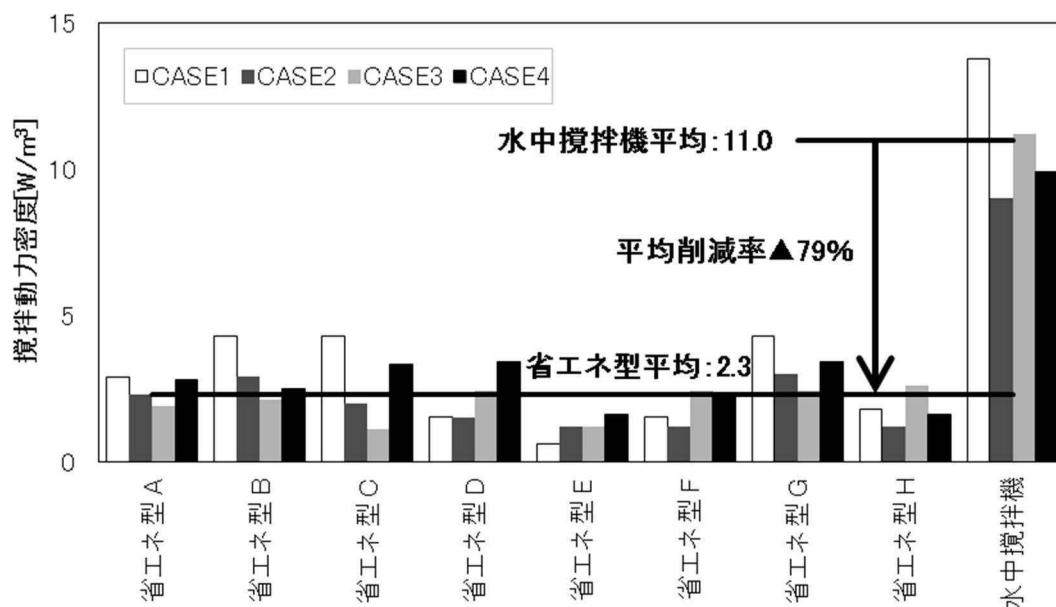


図12-13 省エネ型反応タンク攪拌機による攪拌動力密度削減効果
(ケーススタディ検討結果)

(出典：省エネ型反応タンク攪拌機の導入促進に関する技術マニュアル-2016年3月-
(公財) 日本下水道新技術機構)

(4) 導入にあたっての留意点

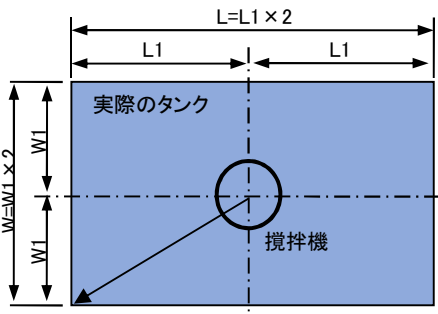
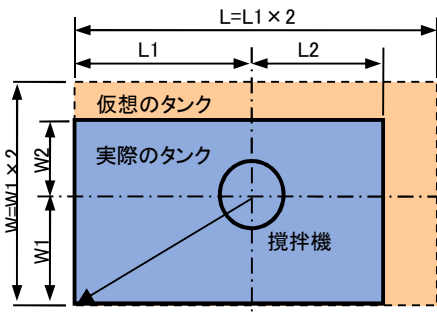
導入を検討する際は、以下①～④に該当する場合、製造メーカー毎に設置場所や必要台数・仕様が異なることが想定されるため、複数の製造メーカーに検討を依頼するのがよい。

- ① 攪拌機を反応タンク中央に配置できない場合
- ② 水中攪拌機から省エネ型反応タンク攪拌機に更新する場合
- ③ 兼用槽に設置する場合
- ④ 反応タンクの縦横比または長辺長さが上限値を超える場合

① 攪拌機を反応タンク中央に配置できない場合

攪拌機を反応タンク中央に配置できない場合は、本装置の中心が反応タンク中央となる仮想のタンクを用いたタンク寸法、縦横比およびタンク容量を設計時に使用する。攪拌機からの到達距離が最も遠い位置で底部流速を確保すると、同じ動力で同様に反対側も攪拌できることから、長い距離側を対称とした水槽形状を仮想する。

表 1 2-8 設計時の反応タンク寸法・縦横比・槽容量の考え方

	中央に配置できる場合	中央に配置できない場合（偏心設置）
平面図		
条件	$W < L$ 水深 H	$W < L$, $W1 > W2$, $L1 > L2$ 水深 H
反応タンク 設計寸法	短辺 $W = 2W1$, 長辺 $L = 2L1$	
縦横比	$1 : (2L1 / 2W1)$	
反応タンク 設計容量	$2L1 \times 2W1 \times H$	

② 水中攪拌機から省エネ型反応タンク攪拌機に更新する場合

既設開口部を流用して水中攪拌機から本装置に更新する場合、本装置を設置するための取付架台および落下防止用の蓋が必要となる場合がある。

また、新たな開口を設けて攪拌機の台数を削減することでライフサイクルコストが安くなる場合もあるので、躯体構造も含めて検討する必要がある。

③ 兼用槽に設置する場合

既設や処理状況により反応タンクの運用を変更する嫌気/好気兼用槽または無酸素/好気兼用槽に設置する場合、以下の点に留意する。

1) 攪拌機と散気装置の平面位置関係 (図 1 2 - 1 4)

散気装置の配置を検討する際は、攪拌機が発生させる水流による散気装置への悪影響や攪拌機と散気装置の干渉を避けるため、散気装置の離隔を確保する等、反応タンク形状により個別検討が必要である。

2) 散気装置の設置高さ (図 1 2 - 1 5)

散気装置の配置を検討する際は、散気装置と反応タンク底盤の離隔を確保する必要がある。省エネ型反応タンク攪拌機は、反応タンク底盤付近で水平方向の流速を確保する機構となっているためである。

3) 散気装置サポートによる攪拌動力への影響

散気装置のサポートが底部流れの妨げとなるため、攪拌動力決定の際は流体解析等による検討が必要となる場合がある。

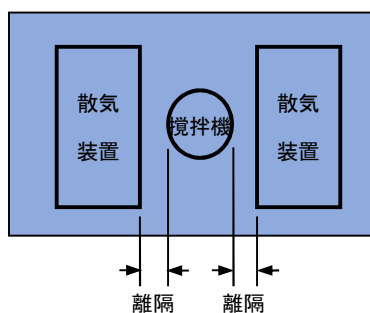


図 1 2 - 1 4 攪拌機と散気装置の平面位置

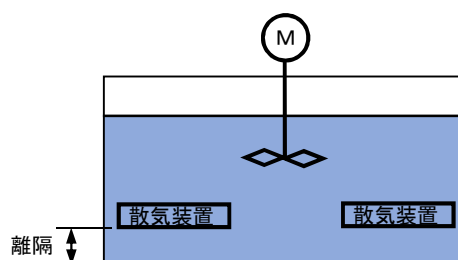


図 1 2 - 1 5 散気装置の設置

④ 反応タンクの縦横比または長辺長さが上限値を超える場合

反応タンクの寸法および縦横比が製造メーカー毎に示す上限を超える場合、複数台の設置が必要になり必要動力が大きくなる場合があるが、製造メーカーの流体解析により必要動力を削減できる場合がある。

第5章 汚泥処理設備における省エネ手法

§ 13 汚泥貯留槽の攪拌機の運転方法改善手法

汚泥貯留槽において、固形物濃度 4%程度 of 濃縮余剰汚泥は、粘度が高く、短時間で汚泥と水分が分離することは考えにくいため、間欠運転が可能な攪拌機を導入している場合には、間欠運転による省エネを検討することが有効である。

一方で、生汚泥は濃縮汚泥であっても沈降性・分離性が高いため、生汚泥を含む汚泥貯留槽の攪拌機は間欠運転の対象としない。

【解 説】

(1) 適用範囲

図 1 3 - 1 に示すように、汚泥濃縮設備の汚泥貯留槽に設置される攪拌機が対象となる。汚泥貯留槽では、攪拌機を設置し、常時攪拌を行っていることが多い。その中で固形物濃度 4%程度 of 濃縮余剰汚泥は粘度が高く、短時間での汚泥の分離は考えられないため、間欠運転を検討する。また、濃縮前の余剰汚泥貯留槽でも、余剰汚泥の沈降・分離性が高くない場合、後段の濃縮設備への影響がない範囲で攪拌機の間欠運転を検討する。なお、生汚泥は濃縮汚泥であっても、沈降・分離性が高いため、生汚泥を含む貯留槽は対象としない。

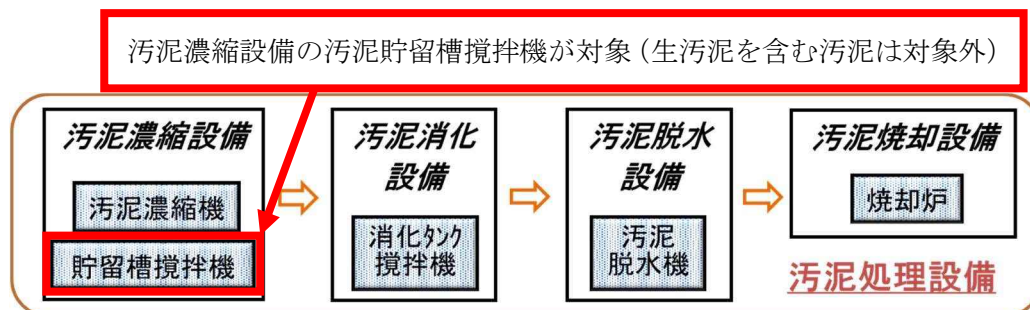


図 1 3 - 1 汚泥貯留槽の攪拌機の運転方法改善手法の適用範囲

(2) 汚泥貯留槽の攪拌機の運転方法改善手法

汚泥貯留槽に設置されている攪拌機の攪拌動力密度はある処理場の調査では $30 \sim 60 \text{ W/m}^3$ となっており、省エネ型の消化タンク攪拌機の 1 W/m^3 に比較して非常に高い。このため、省エネの観点から間欠運転を検討することが望ましい。なお、汚泥の沈降・分離状況を確認するため、実験的に一時攪拌を停止し、貯留槽内の状況を調査することが望ましい。また、機種によっては、間欠運転の可能性を製造メーカーに確認する必要がある。

L 処理場では、余剰汚泥貯留槽と濃縮汚泥貯留槽に各 2 台ずつ計 4 台の汚泥貯留槽攪拌機が設置されており、1 日 24 時間の連続運転が行われていた。現状の攪拌機による消費電力量は 70 千 kWh/年であった。攪拌機を 24 時間/日の連続運転から 12 時間/日の間欠運転に変更することで、年間の消費電力量は 35 千 kWh/年と半減することが見込まれた。

§ 14 省エネ型汚泥濃縮機の導入

余剰汚泥を対象とする機械汚泥濃縮設備において、構造の工夫等により従来から多数設置されている遠心濃縮機と比較して、3割から4割程度の省エネとなる機器（汚泥濃縮に関連する補機も含む）が開発されており、その導入は省エネに有効である。

【解 説】

余剰汚泥を対象とする機械汚泥濃縮設備において、近年、省エネ型汚泥濃縮機が開発されており、導入が進みつつある。遠心濃縮機においても一部の製造メーカーでは省エネ型の機種が開発されているが、ここでは、導入が進みつつある省エネ型汚泥濃縮機として、次の機種について述べる。

- ① 差速回転型スクリー濃縮機
- ② ベルト型ろ過濃縮機（ステンレスベルト）
- ③ ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）

（１）適用範囲

図 1 4 - 1 に示すように、汚泥濃縮設備のうち余剰汚泥を対象とする機械濃縮設備の汚泥濃縮機が対象となる。沈降・分離性のよい生汚泥は重力濃縮設備の方が省エネであり、生汚泥を含む汚泥は対象としない。

余剰汚泥を対象とする機械濃縮設備の汚泥濃縮機が対象（生汚泥を含む汚泥は対象外）

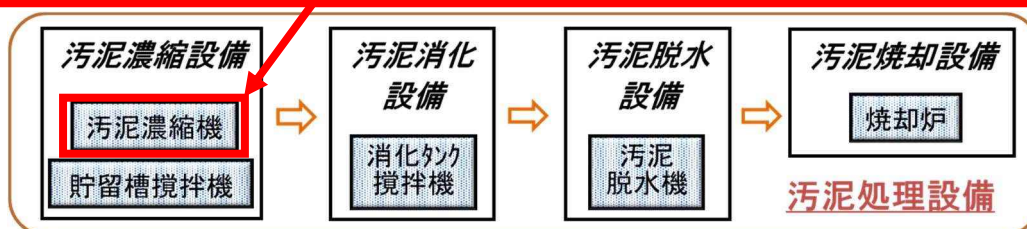


図 1 4 - 1 省エネ型汚泥濃縮機の適用範囲

（２）導入状況

現状における機械濃縮設備の汚泥濃縮機の機種分布を図 1 4 - 2 に示す（出典：下水処理場におけるエネルギー戦略検討業務報告書（平成 30 年 3 月国土交通省水管理・国土保全局下水道部））。汚泥濃縮機では、遠心濃縮機が約 41%と最も多かった。

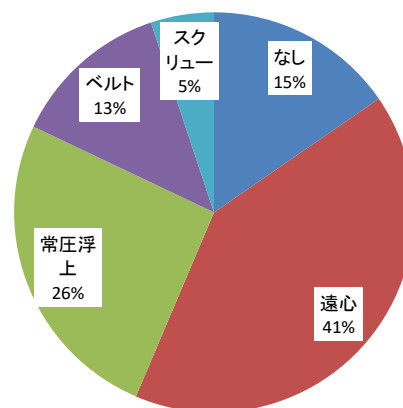


図 1 4 - 2 汚泥濃縮機の機種分布

(3) 省エネ型汚泥濃縮機の構造と消費エネルギー

以下の①～③については、特に断りのない限り出典は「省エネ型汚泥処理システムの構築に関する技術マニュアル（2016 年 3 月（公財）日本下水道新技術機構）」である。なお、導入コストについては、代表的な機種についての検討結果が上記マニュアルに掲載されている。但し、実際の導入コストは各処理場の条件によって異なるため、コストについては個別に十分に精査をしたうえで導入を判断する必要がある

① 差速回転型スクリー濃縮機

差速回転型スクリー濃縮機は、ろ材であるスクリーンを連続的に再生するために外筒スクリーンが回転するとともに、外筒スクリーンと逆方向に回転するスクリー羽根により、濃縮が進行する凝集汚泥を掻き取りながら出口方向に搬送する。差速回転型スクリー濃縮機の濃縮概念図を図 1 4 - 3 に示す。また、差速回転型スクリー濃縮機は、低濃度の凝集汚泥をすばやく固液分離する急速分離ゾーンと、ある程度濃縮が進行した凝集汚泥に転がり作用を加えてさらに効率良く濃縮させる転動濃縮ゾーンからなる。

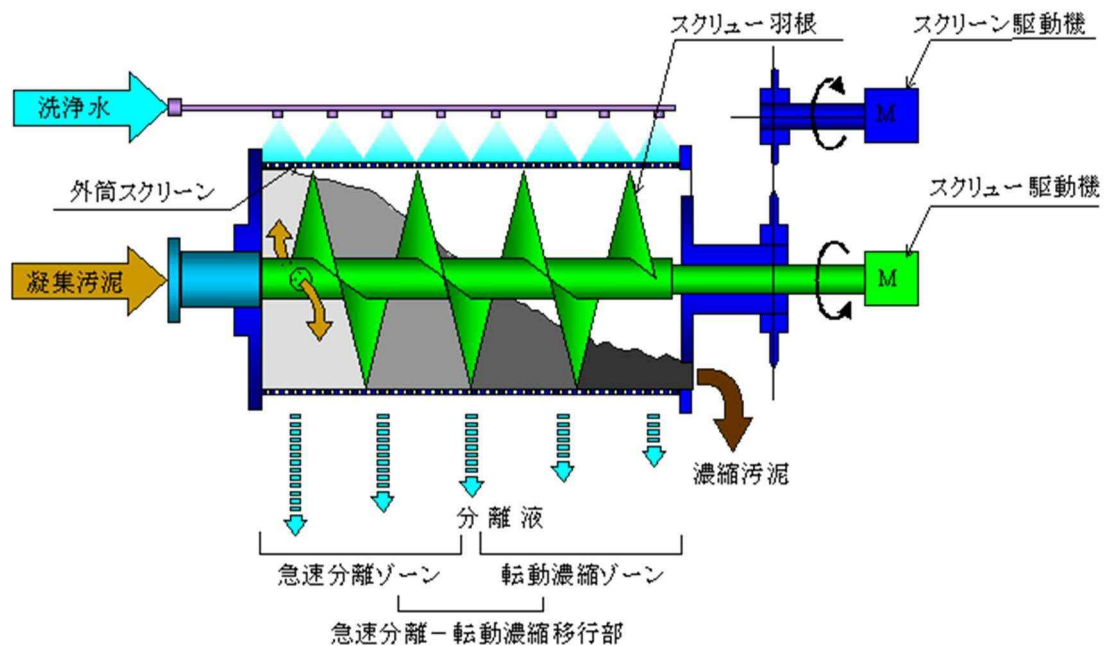


図 1 4 - 3 濃縮概念図

差速回転型スクリー濃縮機は、ろ室を形成する金属製外筒スクリーンとろ室内の濃縮汚泥を排出口方向へ移送するスクリー羽根、ろ材であるスクリーンを洗浄する洗浄装置、スクリーンを駆動する装置、スクリー羽根を駆動する装置、ろ液の飛散防止や臭気対策のための防臭カバーおよび余剰汚泥に高分子凝集剤を添加し凝集ブロックを生成する凝集装置で構成される。図 1 4 - 4 に差速回転型スクリー濃縮機の構造図を、表 1 4 - 1 に性能を示す。

差速回転型スクリー濃縮機のサイズは、スクリーン径で示し、 $\phi 300\text{mm}$ から 100mm 刻みに $\phi 1$,

200mm までである。スクリーン径が大きくなるとスクリーン面積が大きくなり、処理量が増加する。

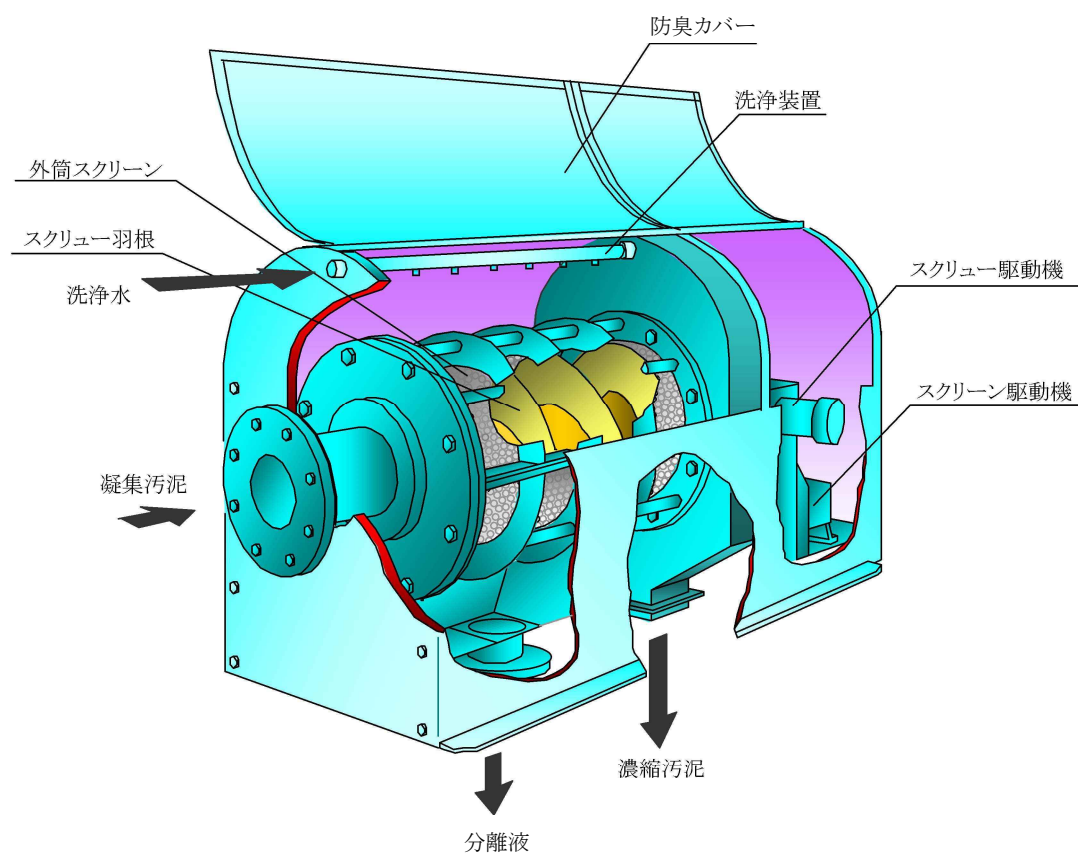


図 1 4 - 4 差速回転型スクリーユ濃縮機構造図

表 1 4 - 1 差速回転型スクリーユ濃縮機の性能

項 目	性能値		
汚泥種類	余剰汚泥	最初沈殿池汚泥	混合生汚泥
汚泥濃度 (T S)	0.3～1.0%程度	1.0～2.0%程度	0.5～2.0%程度
処理量	10 m ³ /m ² /h		
濃縮汚泥濃度 (T S)	4.0%以上		
S S 回収率	95%以上		
薬注率 (高分子凝集剤)	0.3%(対T S)程度		

エネルギー消費量に関するケーススタディ（表 1 4 - 2）では，図 1 4 - 5，図 1 4 - 6 に示すように遠心濃縮機に対する差速回転型スクリー濃縮機のエネルギー消費量の比率は 27%と試算されている。

表 1 4 - 2 基本条件

項目	諸条件
計画 1 日最大汚水量	70,000 m ³ /日
計画流入 S S 濃度	200 mg/ℓ
計画放流 S S 濃度	10 mg/ℓ
水処理方式	標準活性汚泥法
対象汚泥	余剰汚泥
汚泥濃度（T S）	0.6 %
濃縮機運転時間	24 時間/日，7 日/週

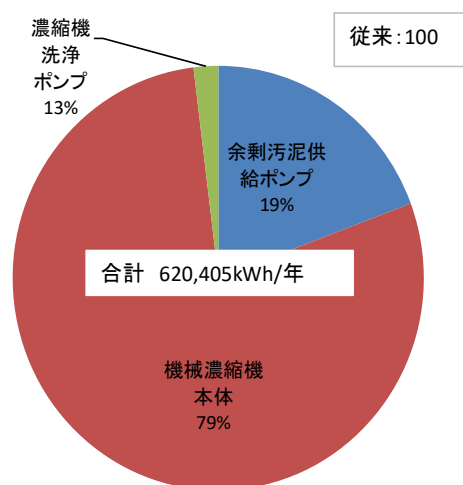


図 1 4 - 5 従来技術エネルギー消費量

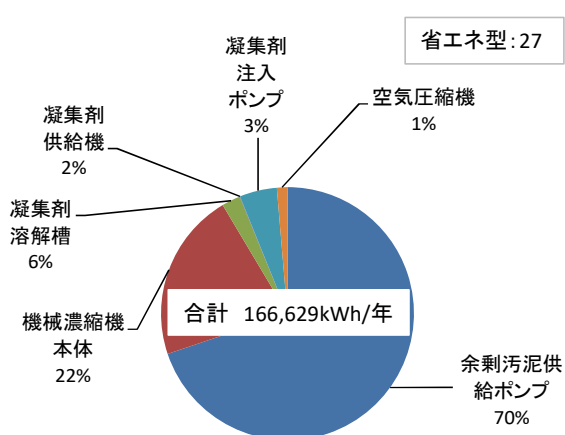


図 1 4 - 6 差速回転型スクリー濃縮機エネルギー消費量

（2）ベルト型ろ過濃縮機（ステンレスベルト）

ベルト型ろ過濃縮機は，ステンレスベルトで凝集汚泥をろ過濃縮する極めてシンプルな構造である。高分子凝集剤により凝集された汚泥は，凝集装置を経て濃縮促進装置（バタフライスクレーパー）を設置した走行するベルト上に投入され，排出側へ移送される間の短時間で濃縮汚泥濃度（T S）4.0%以上まで濃縮するものである。ベルト型ろ過濃縮機の構造を図 1 4 - 7 に示す。

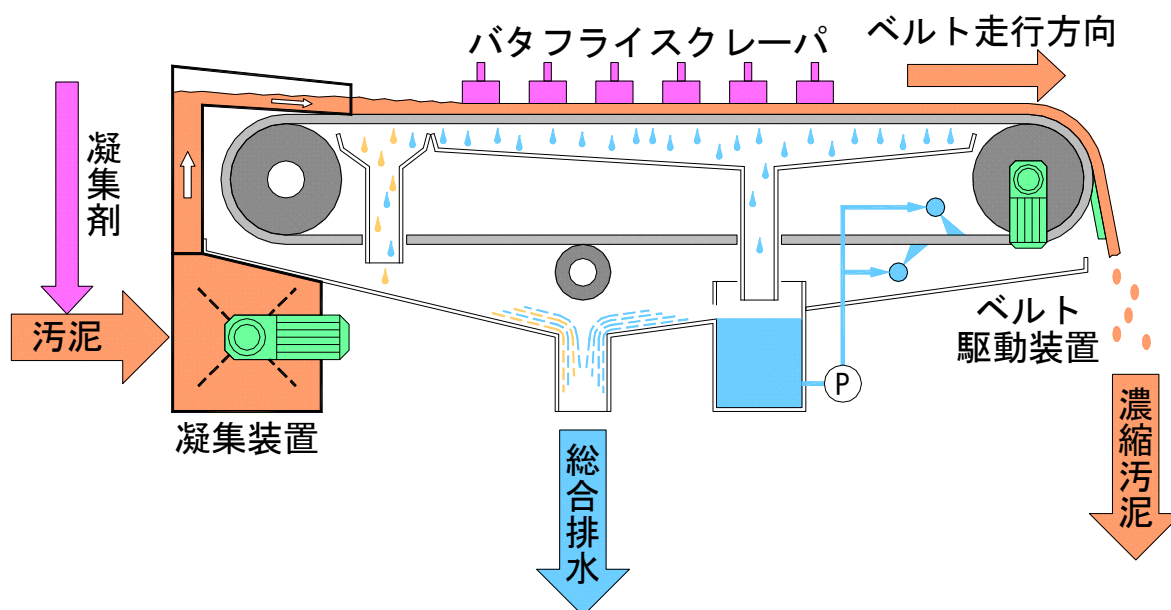


図 1 4 - 7 ベルト型ろ過濃縮機(ステンレスベルト)構造立面断面図

ベルト型ろ過濃縮機(ステンレスベルト)は、凝集装置・整流装置・ステンレスベルト・バタフライスクレーパ・排出スクレーパ・洗浄装置・防臭カバー・駆動装置等により構成される。ベルト型ろ過濃縮機(ステンレスベルト)は、処理量で区分し、10～150m³/h までラインナップしている。また、以下の項目について標準値を規定している。

・対象汚泥

- | | |
|---------------|----------------------|
| 1) 汚泥の種類 | 余剰汚泥, 最初沈殿池汚泥, 混合生汚泥 |
| 2) 供給濃度 (T S) | 0.3～1.5%程度 |

汚泥は、主に家庭污水を活性汚泥法により処理する過程で発生する汚泥とし、通常の処理工程(標準的な処理フロー, 標準的な滞留時間)を経たもので、汚泥の性状, 組成等は一般的なものとする。

・濃縮性能

- | | |
|-----------------|---|
| 1) 薬注率 | 0.3% (対 T S) 程度 |
| 2) 濃縮汚泥濃度 (T S) | 4～5%程度 |
| 3) 固形物回収率 | 95%以上 |
| 4) 標準処理能力 | ベルト有効面積当り 10m ³ /m ² ・h |

エネルギー消費量に関するケーススタディ（表 1 4－3）では，図 1 4－8，図 1 4－9 に示すように遠心濃縮機に対するベルト型ろ過濃縮機（ステンレスベルト）のエネルギー消費量の比率は 31%と試算されている。

表 1 4－3 設計条件

項目	諸条件
計画 1 日最大汚水量	100,000m ³ /日
計画流入 S S 濃度	200mg/ℓ
計画放流 S S 濃度	20mg/ℓ
水処理方式	標準活性汚泥法
濃縮対象汚泥	余剰汚泥
汚泥濃度（T S）	0.8%
濃縮機運転時間	20h/日×7日/週

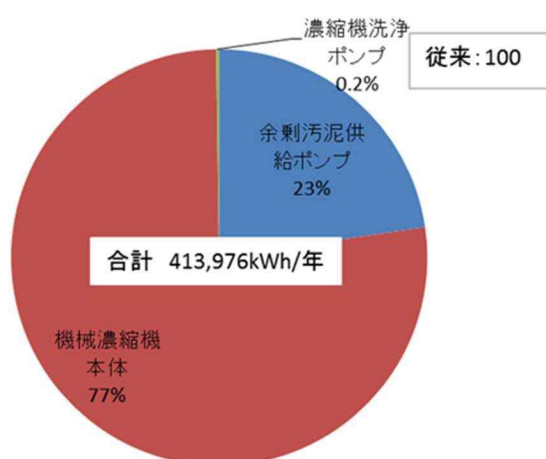


図 1 4－8 従来濃縮設備エネルギー消費量

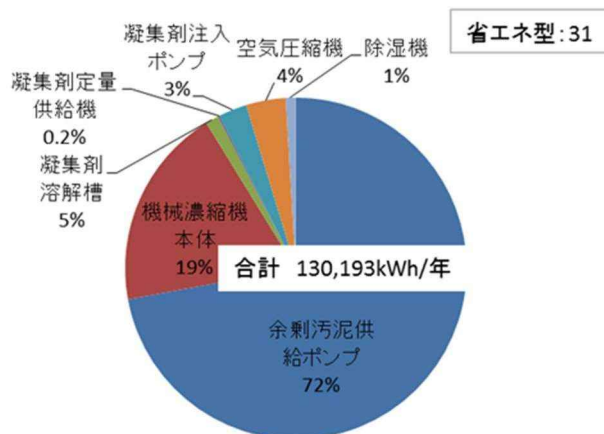


図 1 4－9 省エネ濃縮設備エネルギー消費量

（3）ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）

ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）は，走行する樹脂製ベルトの汚泥供給口に，高分子凝集剤を添加した汚泥を連続的に投入し，ベルトが排出口に達するまでの間に，重力ろ過を行うものである。

ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）は，一方向に走行する樹脂製ベルトの汚泥供給口に，高分子凝集剤を添加した汚泥を連続的に投入し，ベルトが排出口に達するまでの間に，重力ろ過を行う。ベルトが進行し，水分がろ過ベルトから滴下するにつれて，ベルトと接する汚泥濃度が高くなりろ過効率が低下する。そこで，ベルト上に千鳥状に配置された特殊な汚泥セパレータで圧密された汚泥

を掻き上げ、更新されたろ過面へ常に汚泥が接することで、ろ過効率を高めている。原理を示す概念図を図 1 4 - 1 0 に示す。

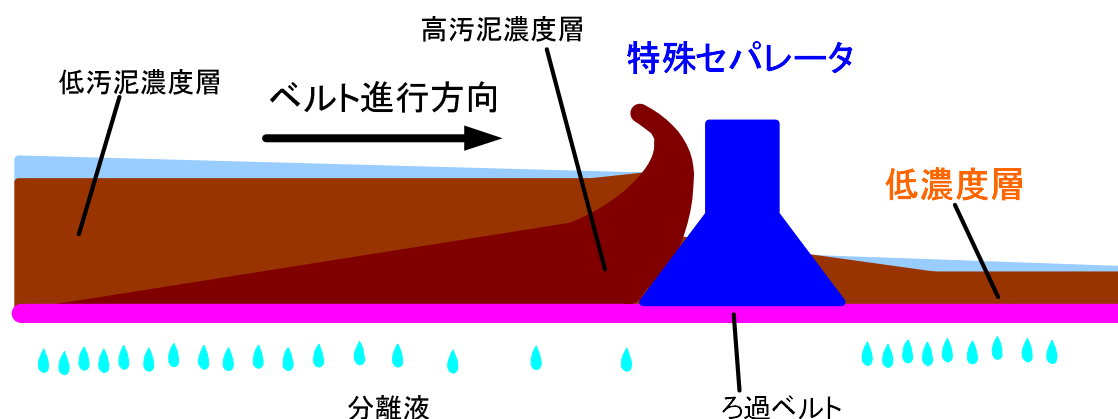


図 1 4 - 1 0 ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）のろ過原理

濃縮された汚泥は排出口から自然落下し、ベルトを通過した分離液は、ベルト下部にて集水し洗浄排水と合わせて排出する。また、排出口に達したベルトは、裏側を汚泥投入口にに戻る間に洗浄ユニットにて連続的に洗浄される。

ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）は、汚泥供給装置、樹脂製ベルト、汚泥セパレータ、ベルト駆動装置、洗浄ユニット、ならびに防臭カバーで構成される。構造図を図 1 4 - 1 1 に示す。

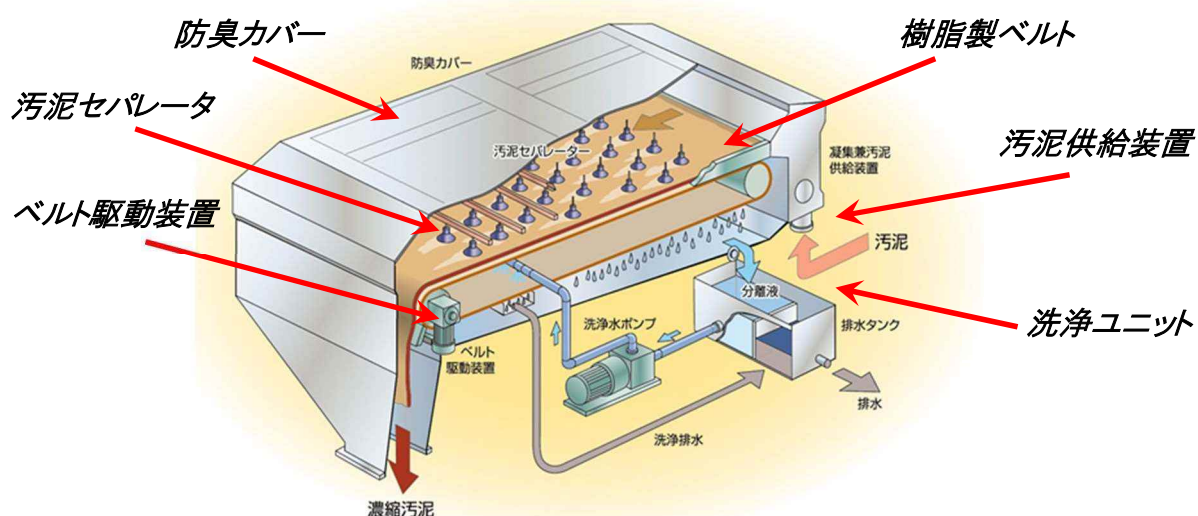


図 1 4 - 1 1 ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）の構造図

ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）の適用条件は以下のとおりである。

- ・対象汚泥は，活性汚泥法等で発生する最初沈殿池汚泥，余剰汚泥，混合生汚泥とする。
- ・1 基当たりの処理量は，10 m³/h～150 m³/h とする。なお，この範囲で標準仕様を有している。

なお，ベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）の性能は以下のとおり。

- ・薬注率：0.3% (対 T S) 程度
- ・回収率：95% 以上
- ・濃縮汚泥濃度（T S）：4～5 % 程度
- ・有効ろ過面積当たりの処理量：10 m³/(m²・時)

エネルギー消費量に関するケーススタディ（表 1 4 - 5）では，図 1 4 - 1 2，図 1 4 - 1 3 に示すように遠心濃縮機に対するベルト型濃縮機（樹脂製ベルト）のエネルギー消費量の比率は 37% と試算されている。

表 1 4 - 5 設計条件

項 目	設 計 値
計画流入水量	20,000 m ³ /日
計画流入 S S 濃度	200 mg/ℓ
計画放流 S S 濃度	10 mg/ℓ
水処理方式	標準活性汚泥法
濃縮対象汚泥	余剰汚泥
汚泥濃度（T S）	0.8%
濃縮機稼動時間	17.5 時間/日 × 5 日/週

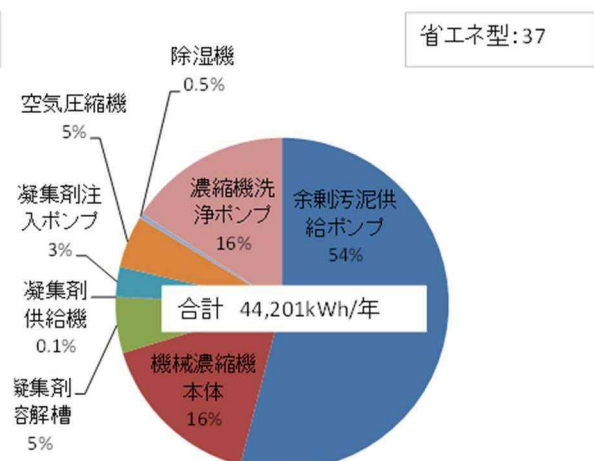
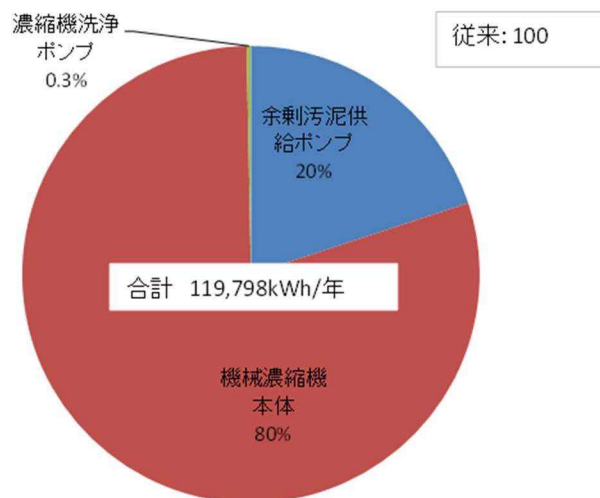


図 1 4 - 1 2 従来濃縮設備エネルギー消費量

図 1 4 - 1 3 省エネ濃縮設備エネルギー消費量

(4) 導入にあたっての留意点

省エネ型汚泥濃縮機の導入における留意点をについて以下にまとめる。

- ① 薬注設備が必要のない機種からの更新の場合、薬注設備が必要になることから、凝集剤の取り扱いについては、十分注意する必要がある。
- ② 濃縮機によって適合する凝集剤が異なることがあるため、機種を変更する場合はあらかじめ凝集・濃縮のビーカー試験をメーカー（濃縮機メーカー、凝集剤メーカー）へ依頼し、凝集剤の適合性を確認する必要がある。
- ③ 汚泥性状が変化した場合は、凝集剤の変更が必要になる場合もあるため、凝集・濃縮のビーカー試験をメーカー（濃縮機メーカー、凝集剤メーカー）へ依頼し、凝集剤の適合性を確認する必要がある。
- ④ 後段の設備、特に脱水設備への影響がある場合がある。あらかじめ脱水機メーカーへ確認するとともに、試運転時にも影響を確認する必要がある。
- ⑤ 薬注設備が必要のない機種からの更新の場合、水処理設備への返流水負荷が軽減されることが想定されるため、水処理設備の運転方案の変更等をあらかじめ検討しておくのがよい。

§ 15 省エネ型消化タンク攪拌機の導入

汚泥消化タンクの攪拌機において、形状や材質を工夫した省エネ型が開発されており、その導入は省エネに有効である。

【解 説】

汚泥消化タンクの攪拌機として、省エネ型消化タンク攪拌機が開発されている。ここでは、この省エネ型消化タンク攪拌機について述べる。

(1) 適用範囲

図 1 5 - 1 に示すように、汚泥消化設備の消化タンクに設置する攪拌装置が対象となる。

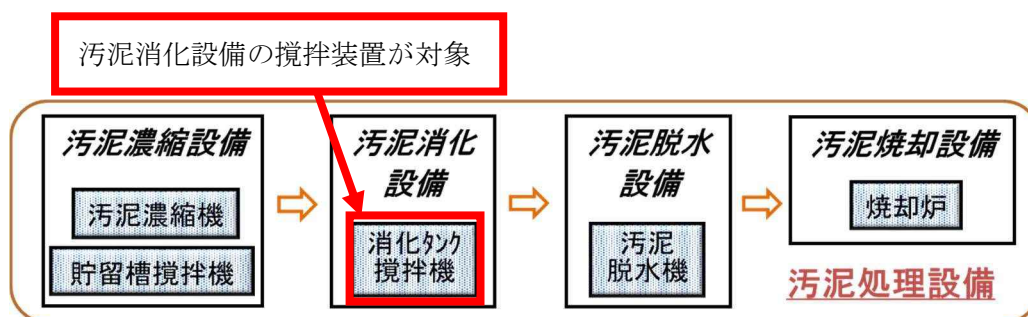


図 1 5 - 1 省エネ型消化タンク攪拌機の適用範囲

(2) 導入状況

消化タンクの攪拌方式は図 1 5 - 2 に示すように、ガス攪拌方式が 42%であり、機械攪拌方式に更新することにより、消化ガスの有効利用が図れる。一方で、機械攪拌方式の攪拌動力密度の分布を見ると、図 1 5 - 3 に示すように省エネ型消化タンク攪拌機（攪拌動力密度 $1\text{W}/\text{m}^3$ 以下）は 11 件中 3 件であり、導入はまだあまり進んでいない。（H 2 9 問診票調査）

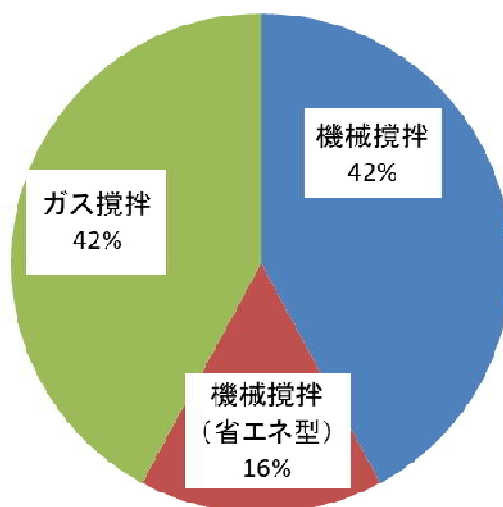


図 1 5 - 2 消化タンクの攪拌方式

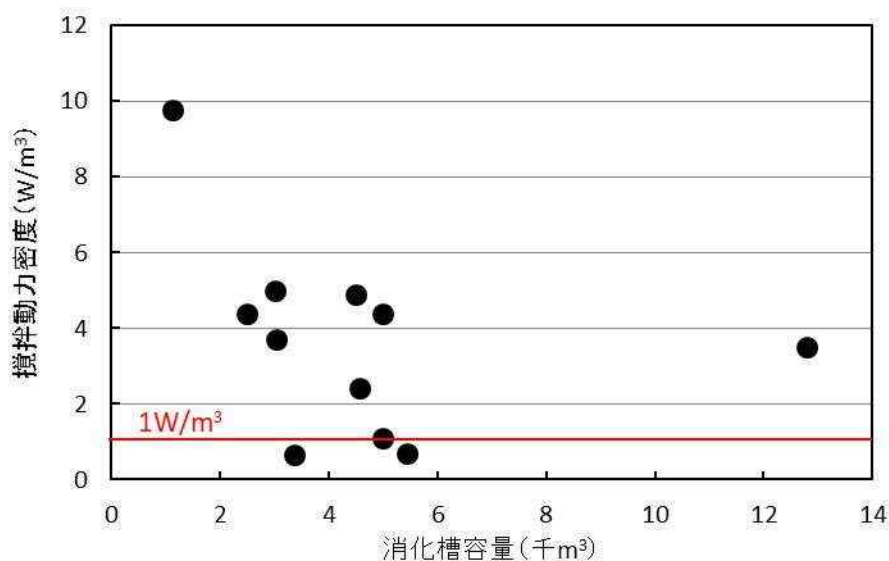


図 1 5 - 3 機械攪拌における攪拌動力密度

(3) 省エネ型消化タンク攪拌機の構造・形状

この部分については、特に断りのない限り出典は「省エネ型汚泥処理システムの構築に関する技術マニュアル（平成 2 8 年 3 月（公財）日本下水道新技術機構）」である。

省エネ型消化タンク攪拌機は、図 1 5 - 4 に示すように、消化タンク上部に設置された駆動装置、フレームおよび攪拌軸に上下二段に配置された攪拌羽根で構成されている。攪拌羽根は、FRP製の後退翼型（バナナブレード）である。この攪拌羽根を低速で回転することにより、低動力で効率よく消化タンク内を攪拌でき、上部攪拌羽根の下向流によりスカム層の形成を防止可能である。また、駆動装置が消化タンク外の上部に設置されていることにより、維持管理が容易である。

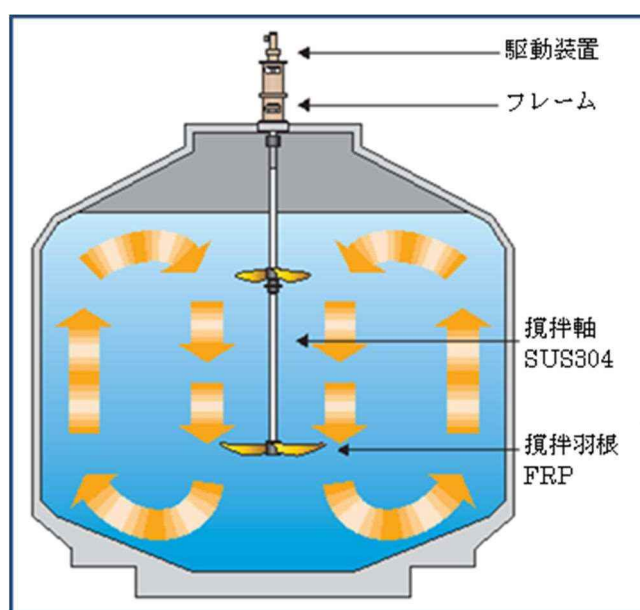


図 1 5 - 4 省エネ型消化タンク攪拌機概略図

省エネ型消化タンク攪拌機の標準仕様（型式，材質，主要寸法）を表 15－1 に示す。本装置は，消化タンク容量に応じて，３つの型式があり，それぞれで電動機出力が異なる。攪拌羽根は，FRP 製としており，十分な強度を保有しつつ鋼製と比較して軽量であるため，施工性に優れている。また，FRP 製の攪拌羽根は，MAP が付着しづらいため維持管理性も優れている。攪拌軸の材質は，汚泥に対する耐食性を考慮し，SUS304 を使用している。

表 15－1 省エネ型消化タンク標準仕様

	DB-0	DB-1	DB-2
消化タンク容量 [m ³]	2, 200 以下	3, 300 以下	6, 000 以下
電動機出力 [kW]	1. 5	2. 2	3. 7
上部攪拌羽根径 [m]	1. 8 ^{※1}	1. 8 ^{※1}	1. 8 ^{※1}
下部攪拌羽根径 [m]	2. 5 ^{※1}	2. 5 ^{※1}	2. 5 ^{※1}
攪拌羽根の材質	FRP	FRP	FRP
攪拌軸の材質	SUS304	SUS304	SUS304

※ 1：消化タンク容量・汚泥性状等の設計条件により最適な攪拌羽根径を決定する。

攪拌羽根を低速で回転することにより，消化タンク容量が同じ条件であれば，従来機と比較して低動力で運転可能である。適用範囲は，消化タンク容量は 6, 000 m³ 以下，消化タンク形状は亀甲形および卵形の 3 種類，消化タンク内汚泥濃度（T S）は 2. 5 % 以下である。

表 15－2 に省エネ型攪拌機と従来型攪拌機の電動機出力の比較を示した。省エネ型攪拌機は従来型に比較し，全ての消化タンク容量において大きな省エネ性を持っていることが分かる。

表 15－2 消化タンク攪拌機の電動機出力の比較

消化タンク容量	省エネ型 (インペラ式) (kW)	従来型 (スクリー式) (kW)
2, 200m ³ 以下	1. 5	7. 5
3, 300m ³ 以下	2. 2	18. 5
6, 000m ³ 以下	3. 7	30

(4) 検討事例

N 処理場では消化タンクを 5 槽保有しており，既存消化タンク攪拌機を省エネ型消化タンク攪拌機に更新した場合の導入効果を算定した。表 1 5 - 3 に示すように，年間の消費電力削減効果は，
 $479 \text{ 千 kWh/年} - 104 \text{ 千 kWh/年} = 375 \text{ 千 kWh/年}$
 となり，削減率は 78% となった。

表 1 5 - 3 省エネ型消化タンク攪拌機の導入効果

項目		No.1-1	No.1-2	No.2-1-1	No.2-1-2	No.2-2	合計
共通条件	タンク形状	算盤型	算盤型	縦長型	縦長型	縦長型	-
	タンク容量(m ³)	3,649	3,649	3,383	3,383	3,383	-
	台数(台)	1	1	1	1	1	-
	運転時間(hr/年)	8,760	8,760	8,760	8,760	8,760	-
既設消化タンク攪拌機	電動機容量(kW)	15	15	18.5	18.5	18.5	-
	消費電力量※(千kWh/年)	84	84	104	104	104	479
省エネ型消化タンク攪拌機	電動機容量(kW)	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	-
	消費電力量※(千kWh/年)	21	21	21	21	21	104

※電動機容量に対する消費電力の比率 0.64 として試算

(5) 導入にあたっての留意点

省エネ型消化タンク攪拌機の導入における留意点について以下にまとめる。

① インペラ式攪拌機の動力について

インペラ式攪拌機の動力は消化タンク内部の汚泥性状（固形物濃度，粘度等の条件）に依存する。また，汚泥性状に応じて運転時の回転速度等が異なる場合もある。

② 電動機について

消化タンク頂部に電動機を設置するため，防爆仕様の電動機を用いる。

③ 既存設備から更新する場合について

電気設備については，既設設備と機器構成や電気容量，制御・計装信号取り合いなどが異なる場合があるため，既存機器を含めた電気設備の見直しが必要となる。

また，既存建築設備への荷重条件については，運転時の荷重は低い，既存設備と荷重点が異なる場合があるため，既存建築物に対する荷重条件の検討を行うことが必要となる。既存設備に新たに開口を設けた場合，既存建築物の強度低下についても検討を行う必要がある。

§ 16 省エネ型汚泥脱水機の導入

汚泥脱水機において、構造や形状等の工夫により、従来からある遠心脱水機と比較して、2割から6割程度の省エネとなる機器が開発されており、その導入は省エネに有効である。

ただし、汚泥性状による脱水性能への影響が異なるため、省エネ性の観点だけではなく、汚泥性状の変化や後段の処理も考慮した機種選定に注意すべきである。

【解 説】

近年、省エネ型の汚泥脱水機が開発され導入が進んでいる。ここでは、以下の汚泥脱水機について記述する。なお、③、④については、遠心脱水機についても省エネが図られた機種が出ているため、紹介する。

- ① ハイブリッド型圧入式スクリーブプレス脱水機
- ② 高効率型二軸スクリーブプレス脱水機
- ③ 直胴型遠心脱水機
- ④ 省エネ型遠心脱水機

(1) 適用範囲

図 1 6 - 1 に示すように、汚泥脱水設備における汚泥脱水機が対象となる。

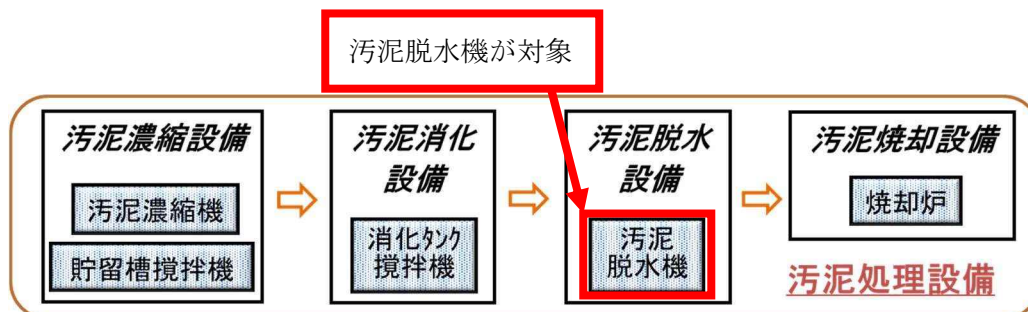


図 1 6 - 1 省エネ型汚泥脱水機の適用範囲

(2) 導入状況

現状における汚泥脱水機の機種分布を図 1 6 - 2 に示す（出典：下水処理場におけるエネルギー戦略検討業務報告書（平成 30 年 3 月国土交通省水管理・国土保全局下水道部））。汚泥脱水機ではベルトプレス脱水機が約 41%と最も多く、次いでスクリーブプレス脱水機、遠心脱水機の順となっていた。近年、開発・導入が進んでいる省エネ型の汚泥脱水機について記述する。また、遠心脱水機についても省エネが図られているため、記述する。

ただし、汚泥脱水機は、汚泥性状により脱水性能への影響が異なるため、省エネ性だけではなく、汚泥性状の変化や後段の処理も考慮した機種選定が必要となる。また、導入コストについても各処理場の条件によって異なるため、後段の設備への影響も考慮し、個別に十分に精査をしたうえで導

入を判断する必要がある

以下、特に断りのない限り出典は「省エネ型汚泥処理システムの構築に関する技術マニュアル（平成 28 年 3 月（公財）日本下水道新技術機構）である。

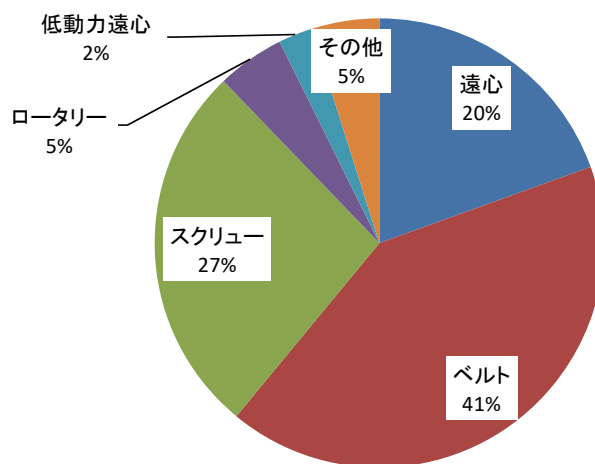


図 1 6 - 2 汚泥脱水機の機種分布

（３）省エネ型汚泥脱水機の構造

① ハイブリッド型圧入式スクリープレス脱水機

ハイブリッド型圧入式スクリープレス脱水機（以下、ハイブリッド型 S P という）は図 1 6 - 3 に示すとおり濃縮部と脱水部が独立した構造となっている。

濃縮部では単独での調整が可能となることで凝集汚泥の高濃度化が図られ、脱水部での汚泥の充填率が高まるとともに、脱水部を長くすることで脱水時間が延長され、それらの相乗効果により従来の高効率型圧入式スクリープレス脱水機（以下、高効率型 S P という）より脱水性能の向上を図った機種である。

また、無機凝集剤を使用した場合、従来のライン注入に加え、濃縮した汚泥に直接添加できる構造となっており、高分子凝集剤単独より低含水率化が可能である。

ハイブリッド型 S P のサイズは、スクリーン径で示し、 $\phi 300\text{mm}$ から $\phi 1,200\text{mm}$ まであり、スクリーン径が大きくなると処理量が増加する。

また、濃縮部は横置きにすることが可能であり、高さに制限がある建屋に対しても柔軟に対応できる構造となっている。

ハイブリッド型 S P のスクリーン径毎の総合出力を表 1 6 - 1 に示す。

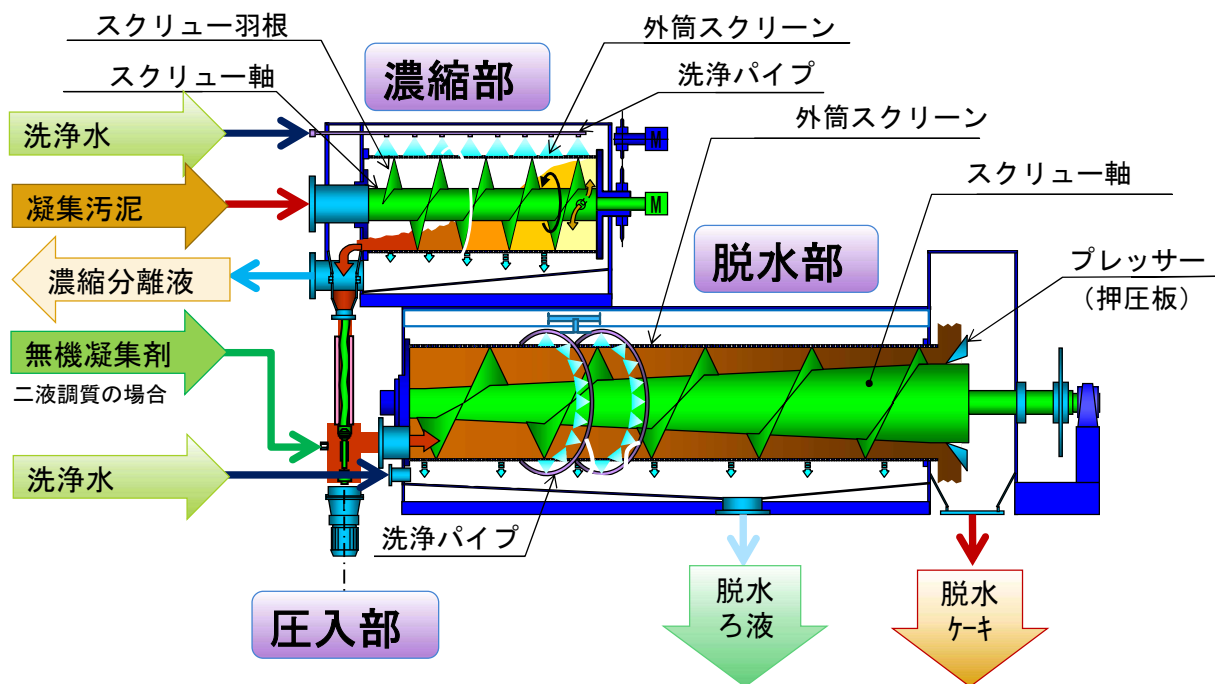


図 1 6 - 3 構造概要図

表 1 6 - 1 ハイブリッド型 S P 総合出力

スクリーン径 (mm)	総合出力 (kW)※	
	50Hz	60Hz
φ 300	8.75	8.75
φ 400	9.50	9.50
φ 500	9.85	9.85
φ 600	11.30	11.30
φ 700	12.00	12.00
φ 800	14.40	14.40
φ 900	15.90	15.90
φ 1,000	18.10	18.10
φ 1,100	23.90	25.90
φ 1,200	23.90	25.90

※標準性能に適合しない汚泥性状や脱水性能においてはヒアリングにより確認する。

破線内は、ハイブリッド型S Pの総合出力における対象の電動機である。

総合出力＝M1＋M2＋M3＋M4＋M5＋P

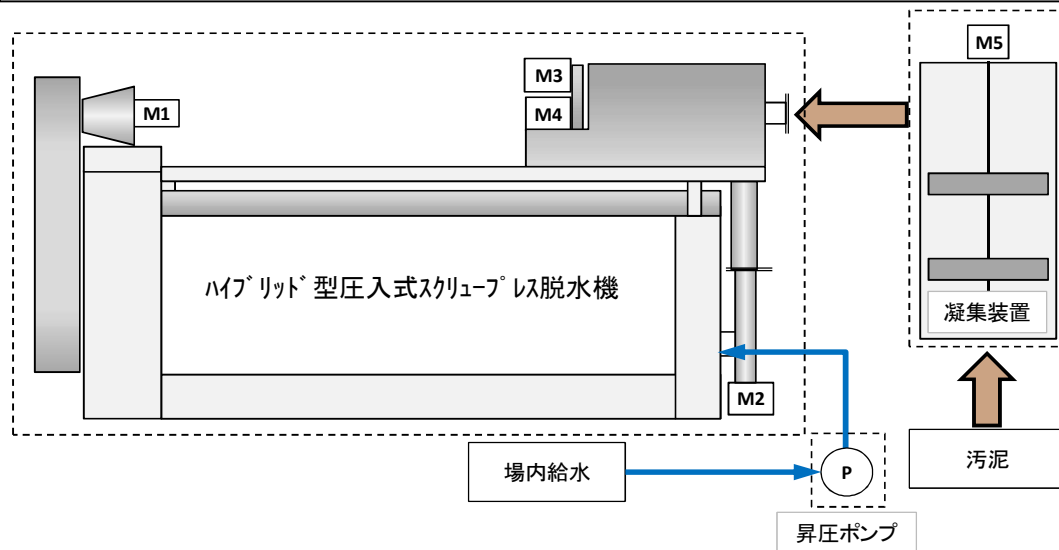


図 1 6－4 ハイブリッド型S Pの電動機概略位置図

エネルギー消費量に関するケーススタディ（計画1日最大汚水量5万 m^3 /日で比較）では、高効率型遠心脱水機に対するハイブリッド型S Pのエネルギー消費量の比率は22%と試算されている。

② 高効率型二軸スクリーブレス脱水機

高効率型二軸スクリーブレス脱水機は、金属ろ材（パンチングメタル等）からなる外胴スクリーン、水平方向に上下平行に配列した2本のスクリー、背圧プレス、駆動装置、洗浄装置、およびフロキュレタ（凝集混和槽）等から構成され、省エネルギーでありながら混合生汚泥はもとより消化汚泥等の難脱水性汚泥に対しても高い脱水性能を発揮できる脱水機である。

高効率型二軸スクリーブレス脱水機の構造を図 1 6－5 に示す。

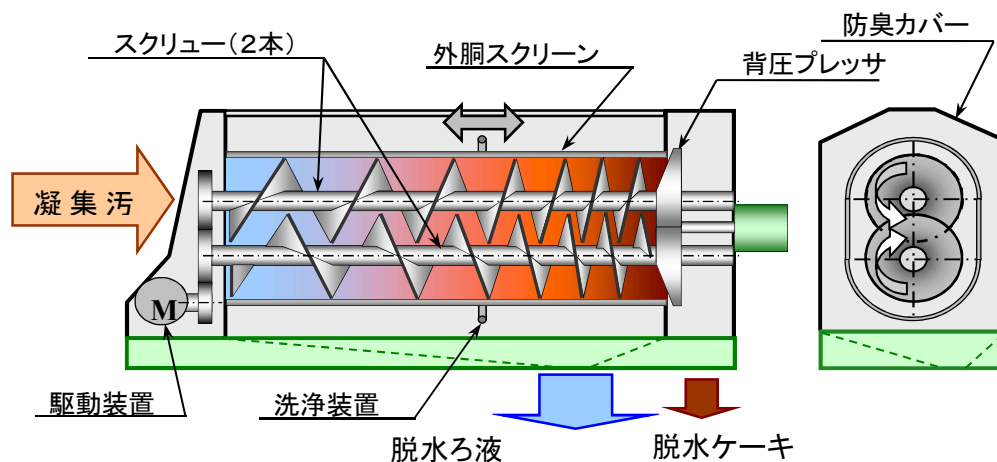


図 1 6－5 高効率型二軸スクリーブレス脱水機構造立面断面図

高効率型二軸スクリーンプレス脱水機は、スクリーン径で区分し、 $\phi 400\text{mm}$ から $\phi 900\text{mm}$ まで 100mm 刻みで大きくなり、スクリーン径が大きくなるほど過速度が増加する。

高効率型二軸スクリーンプレス脱水機の諸元を表 16-2 に示す。

表 16-2 高効率型二軸スクリーンプレス脱水機諸元表

スクリーン径		$\phi 400$	$\phi 500$	$\phi 600$	$\phi 700$	$\phi 800$	$\phi 900$
電動機	駆動装置 (kW)	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5
	洗浄装置 (kW)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	フロキュレータ (kW) ※1	0.4	1.5	2.2	3.7	3.7	3.7
質量	本体 (ton)	2.20	3.50	5.70	8.40	12.3	16.3
	フロキュレータ (ton)	0.20	0.32	0.45	0.56	0.68	0.83
	脱水機現場制御盤 (ton)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
※2 動荷重	本体 (kN)	25.5	41.2	67.7	101	147	196
	フロキュレータ (kN)	7.20	14.0	19.7	24.7	31.3	42.2
汚泥投入圧検出装置		隔膜式圧力センサー, 1 個					
過負荷検出器		トルクリミッタ, 1 個					
背圧プレッサ位置検出器		デジタル超音波センサー, 1 個					
背圧プレッサ作動弁		空気用電磁弁, 1 個					
背圧プレッサ圧力切替弁		電空レギュレータ, 1 個					
圧力異常検出器		隔膜式接点付圧力計, 1 個					

※1 フロキュレータの容量は、汚泥滞留時間で決定される。汚泥種類および性状によってフロキュレータ容量およびかくはん機動力が異なるため、表中の動力は参考値とする。

※2 動荷重は、内部汚泥も含んだ運転荷重を示す。

エネルギー消費量に関するケーススタディでは、高効率型遠心脱水機に対する高効率型二軸スクリーンプレス脱水機のエネルギー消費量の比率は中規模処理場（計画 1 日最大汚水量 3 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ）では 25%，大規模処理場（計画 1 日最大汚水量 20 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ）では 18% と試算されている。

③ 直胴型遠心脱水機

直胴型遠心脱水機は、ボウル形状を直胴型とし、ケーキ排出部に隙間構造部を設けることで、デカンタ型に対して脱水性能の向上を図った遠心脱水機である。また、ボウル形状を工夫する等により、従来の遠心脱水機と比較して消費電力を大幅に低減でき、高性能で省エネ運転が可能な脱水機である。

直胴型遠心脱水機は、デカンタ型と同様に、ボウル、スクリーコンベヤ、差速装置からなる回転部と、ケーシング、ベースフレーム、ピローブロック、主駆動装置等から構成される固定部を主たる構成要素としている。薬品の注入は機内薬注で行うため、凝集混和槽は必要としない。

直胴型遠心脱水機は、回転部がデカンタ型と異なる構造を持ち、直胴型のボウル部、およびケーキ排出部に設けた隙間構造部により特徴づけられる。そして、ボウルとスクリーコンベヤの回転部が高速で回転することにより生じた遠心力で脱水を行うものである。

また、外部への騒音を遮断するため、脱水機本体は防音カバーの内部に設置される。防音カバー内には、分離液監視装置 等も配置される。図 1 6－6 に直胴型遠心脱水機の構造図を示す。

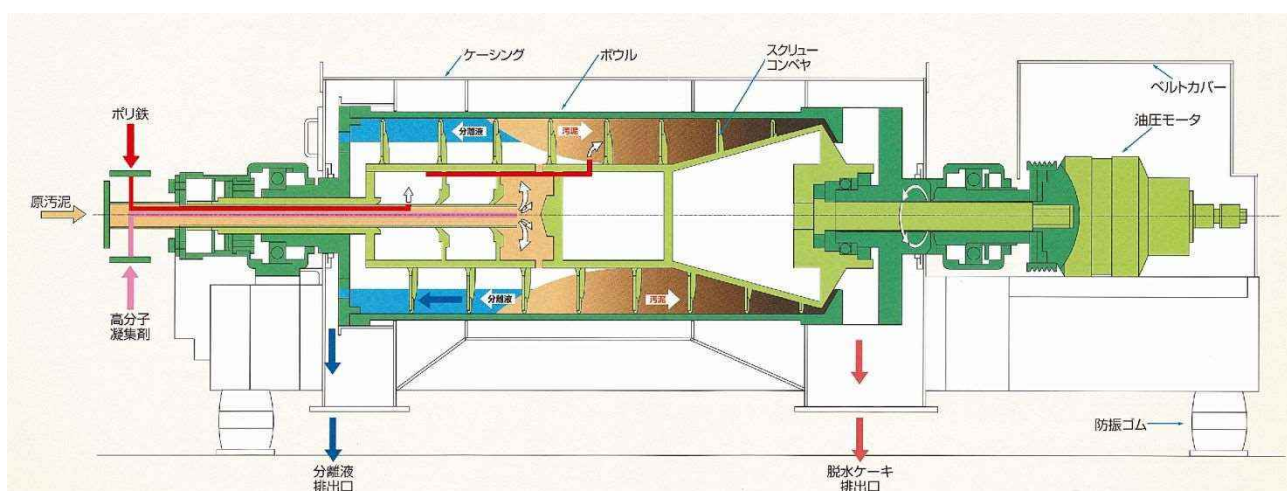


図 1 6－6 直胴型遠心脱水機構造図

直胴型遠心脱水機は公称処理量（処理量範囲）で示し、2 m³/h 機から 50 m³/h 機（～80 m³/h）までの 10 機種である。表 1 6－3 に、直胴型遠心脱水機と低動力型高効率遠心脱水機（A 型～C 型）、デカンタ型遠心脱水機（高効率型）との電動機出力（総合動力）比較を示す。

処理量によって若干の差はあるが、直胴型遠心脱水機の総合出力は、デカンタ型遠心脱水機（高効率型）と比較して 25～46% 低減でき、低動力型高効率遠心脱水機（A 型～C 型）の平均値と比較しても省エネ効果が期待できる。

表 1 6 - 3 電動機出力比較表

(単位：kW)

処理量(m ³ /h)	直胴型	低動力型(高効率)	デカンタ型(高効率)
5	15.1 (74)	14.7～20.5(平均 17.2) (84)	20.5 (100)
7	20.9 (63)	20.5～24.0(22.8) (69)	33.0 (100)
10	24.4 (60)	29.5～37.5(34.8) (85)	41.0 (100)
15	42.4 (57)	48.0～52.4(49.6) (67)	74.4 (100)
20	57.4 (54)	70.0～74.3(71.6) (68)	105.9 (100)
30	71.75 (56)	93.5～105.8(97.9) (77)	127.9 (100)
50	133.75 (75)	154.75～182.2(171.6) (96)	179.5 (100)

※表中下段の()内数値は、デカンタ型遠心脱水機(高効率型)の総合動力を 100 とした場合の、直胴型遠心脱水機および低動力型高効率遠心脱水機(平均値)それぞれの比率を示す。

※低動力型高効率遠心脱水機の総合動力は、「低動力型高効率遠心脱水機技術マニュアル」(公益財団法人 日本下水道新技術機構)に掲載された 3 型式(A 型, B 型, C 型)の最大値～最小値及び平均値を記載した。

エネルギー消費量に関するケーススタディでは、高効率型遠心脱水機に対する直胴型遠心脱水機のエネルギー消費量の比率は、中規模処理場(計画 1 日最大汚水量 3 万 m³/日)で消化汚泥を対象とした場合は 59%, 大規模処理場(計画 1 日最大汚水量 20 万 m³/日)で混合生汚泥を対象とした場合は 53%と試算されている。

④ 省エネ型遠心脱水機

省エネ型遠心脱水機は、これまでデメリットであった消費電力に着目し、流体の加速動力で失われるエネルギーの抜本的改善を図るべく、基本構造から見直して生み出されたデカンタ型遠心脱水機である。省エネ型遠心脱水機は、分離液排出エネルギーの有効利用を可能としたパワーチューブ、差速分だけコンベア回転させるDDギヤボックス、主軸受に採用したグリス潤滑等の独自技術に加え、軸径の小さいコンベアを可能としたスリムラインコンベアにより大幅な省エネルギーと省スペース化を実現した、デカンタ型遠心脱水機である。

省エネ型遠心脱水機は、遠心分離を行うボウルと脱水ケーキを搬出するスクリュコンベア等により構成される（図16-7）。高速回転（数千回転/分）するボウルに凝集剤で調質した汚泥を投入し、重力加速度の3,000倍程度の遠心効果によりボウルの内壁に沈降圧密させ、分離液層と汚泥層に分離する。

汚泥層は、ボウルと数回転の差速があるスクリュコンベアによって搬送され、脱水ケーキとして搬出される。分離液は、ケーキ排出側と逆側の越流堰より排出される。

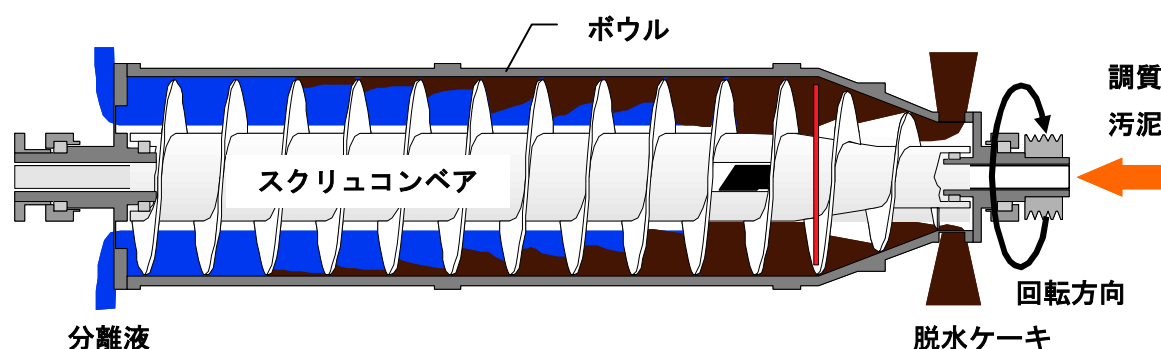


図16-7 省エネ型遠心脱水機構造図

省エネ型遠心脱水機の機種構成は、処理量 $5\text{m}^3/\text{h}$ から $120\text{m}^3/\text{h}$ である。また、各型式別の標準外形寸法・機器構成を表16-4に示す。表中の本体質量は、脱水機本体の質量であり、制御盤および防音パッケージを含まない。

表 16-4 各型式別の標準外形寸法・機器構成

型式	処理量 m ³ /h	最大遠心力 G	ボウル直径 mm	駆動機出力 kW	差動機出力 kW	本体外形寸法			本体質量 t
						L mm	W mm	H mm	
G3-45	5~15	3,549	360	11~18.5	3.7~5.5	4,300	1,000	1,350	2.3
G3-75	15~30	3,551	440	15~30	5.5~15	4,900	1,100	1,400	3.2
G3-95	25~50	3,011	510	22~45	7.5~22	5,600	1,150	1,600	4.5
G3-105	35~70	3,554	550	37~75	22~30	5,900	1,300	1,700	5.0
G3-115	45~90	3,491	650	55~110	15~30	6,500	1,450	1,800	6.5
G3-125	60~120	3,348	720	75~132	22~55	6,750	1,550	1,850	8.6

エネルギー消費量に関するケーススタディでは、高効率遠心脱水機に対する省エネ型遠心脱水機のエネルギー消費量の比率は小規模処理場（計画1日最大汚水量5千m³/日）では64%，中規模処理場（計画1日最大汚水量5万m³/日）では73%，大規模処理場（計画1日最大汚水量20万m³/日）では47%と試算されている。

（4）導入にあたっての留意点

省エネ型汚泥脱水機の導入における留意点について以下にまとめる。

- ① 後段の設備，汚泥利用計画に合わせた含水率が得られる脱水機を選定する必要がある。
- ② 脱水機の機種によっては，汚泥性状の変動（季節変動，時間変動）により，処理能力が大きく変化するものもあるので，実際の汚泥性状の変化によってどの程度処理能力が変わるのかをあらかじめ脱水機メーカーへ確認する必要がある。
- ③ 脱水機によって適合する凝集剤が異なることがあるため，機種を変更する場合はあらかじめ凝集・脱水のビーカー試験をメーカー（脱水機メーカー，凝集剤メーカー）へ依頼し，凝集剤の適合性を確認する必要がある。
- ④ 汚泥性状が変化した場合は，凝集剤の変更が必要になる場合もあるため，凝集・脱水のビーカー試験をメーカー（脱水機メーカー，凝集剤メーカー）へ依頼し，凝集剤の適合性を確認する必要がある。

§ 17 省エネ型汚泥焼却炉の導入

汚泥焼却炉において、従来の焼却炉の原理を見直し、電力が必要となる補機類を大幅に削減できるものやこれまで以上に廃熱を効率的に利用することができるものが開発されており、その導入は省エネに有効である。

【解 説】

近年、省エネ型の汚泥焼却炉が開発され、導入が始まっている。また、エネルギー効率に優れた焼却炉の導入推進のため、性能指標の導入が実施されている。ここでは、以下に示す省エネ型汚泥焼却炉について記述する。

- ① 過給式流動燃焼システム
- ② 乾燥焼却発電システム

(1) 適用範囲

図 1 7 - 1 に示すように、汚泥焼却設備における汚泥焼却炉が対象となる。

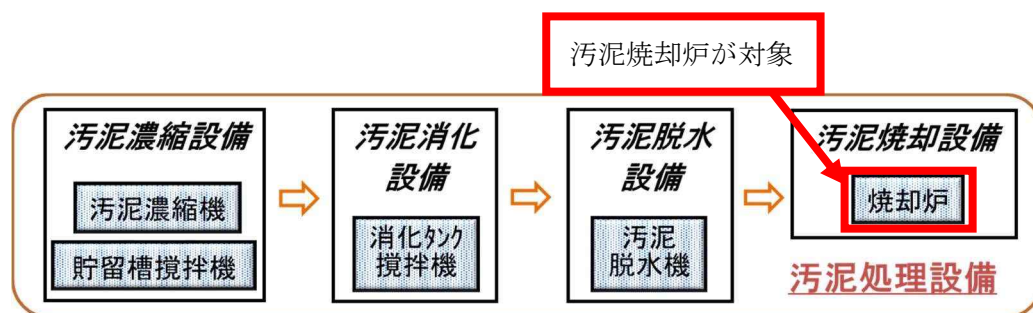


図 1 7 - 1 省エネ型汚泥焼却炉の適用範囲

(2) 省エネ型汚泥焼却炉の概要

焼却炉の設置については、平成 29 年度の国土交通省の通達により、エネルギー効率に優れた技術の導入が求められている。焼却炉に求められる性能指標としては、「排熱回収率 40%以上かつ消費電力量削減率 20%以上」とされている（出典：「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」平成 29 年 9 月 15 日国水事発第 38 号）。今後、この性能指標を満たすための技術開発が進むものと期待される。ここでは、すでに開発されたエネルギー効率に優れた 2 技術について記述する。

なお、下水汚泥過給式流動燃焼システムの出典は「省エネ型汚泥処理マニュアルの構築に関する技術マニュアル（平成 28 年 3 月（公財）日本下水道新技術機構）」、乾燥焼却発電システムの出典は「蒸気間接加熱型汚泥乾燥機技術マニュアル（平成 30 年 8 月（公財）日本下水道新技術機構）」である。

① 下水汚泥過給式流動燃焼システム

下水汚泥過給式流動燃焼システムは、脱水汚泥を圧力下で燃焼し、流動炉から出た燃焼排ガスを過給機に取り込むことでタービンを高速回転させ、その回転力でコンプレッサを駆動し、圧縮空気を発生させ流動炉に燃焼空気として供給する。

このため、従来気泡炉で必要とされた燃焼空気を炉内に供給する流動ブロワ及び燃焼排ガスを排ガス処理設備へ誘引するための誘引ファンが不要となり、大幅な電力削減が可能となる。

また、圧力下の燃焼のため、排ガス容積が小さくなり、炉内径を小さくすることが出来るので、放散熱量が減少し、補助燃料の削減が可能となる。下水汚泥過給式流動燃焼システムでは、従来気泡炉に比べ、炉本体の容積が 40%、表面積は約 70%になる。焼却炉の放散熱量は、単位表面積あたりの放散熱量が一定であるとする、表面積の減少に比例して放散熱量が小さくなる。このため、下水汚泥過給式流動燃焼システムでは、従来気泡炉より放散熱率が低下し、補助燃料使用量も低下する。

図 17-2 に下水汚泥過給式流動燃焼システムの原理を、図 17-3 に下水汚泥過給式流動燃焼システムの標準フローシートを示した。

なお、下水汚泥過給式流動燃焼システムの適用範囲は、4.3 t / 日（過給式実証試験）～ 300t / 日（従来気泡炉同等）である。

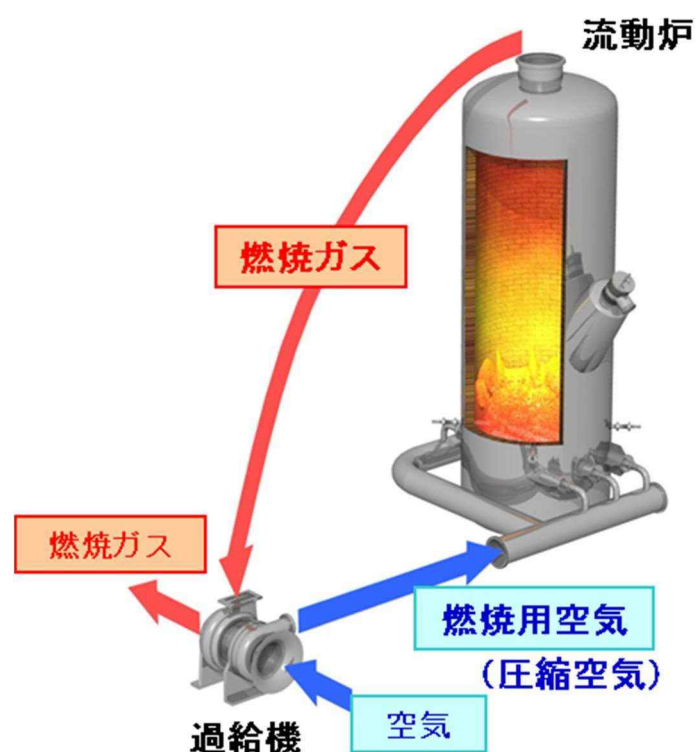


図 17-2 下水汚泥過給式流動燃焼システムの原理

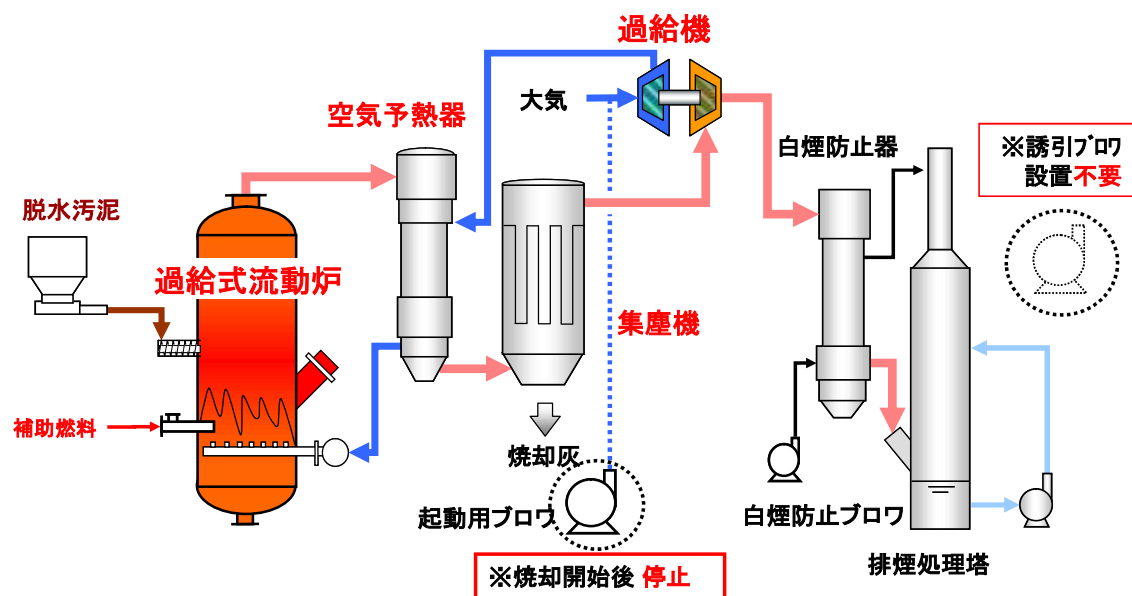


図 1 7 - 3 下水汚泥過給式流動燃焼システムの標準フロー

省エネルギー性について、処理規模 50t/日におけるエネルギー使用量が、過給式流動燃焼システムと従来気泡流動炉について試算されている。表 1 7 - 1 に示すように、過給式流動燃焼システムの消費エネルギーは従来気泡炉と比較して、27%減少する結果となった。

表 1 7 - 1 エネルギー使用量試算結果

汚泥種類		混合生汚泥		備考
システム形式		気泡式	過給式	
炉出口温度 850℃ 焼却時				
補助燃料由来使用量	kℓ -原油/日	1. 555	1. 299	
燃料使用量	ℓ/ 日	1, 540	1, 286	燃料
換算係数	kℓ-原油/kℓ	1. 01		
電力由来使用量	kℓ-原油/日	1. 239	0. 737	
電力量	kWh/ 日	4, 936	2, 937	
換算係数	kℓ-原油/千 kWh	0. 251		
合 計	kℓ-原油/日	2. 794	2. 036	
従来気泡比		-	▲27%	

② 乾燥焼却発電システム

乾燥焼却発電システムは、蒸気間接加熱型汚泥乾燥機と廃熱ボイラー付階段炉を組み合わせることにより、補助燃料を用いることなく高温燃焼を可能とするとともに、蒸気発電設備を組み合わせることで、廃熱ボイラーにて回収したエネルギーを電力変換することが可能となるシステムである。

システムフロー例を図 17-4 に示す。脱水汚泥は、蒸気間接加熱型乾燥機にて含水率 50%以下程度まで乾燥させることで、階段炉での焼却が可能となる。燃焼時に発生した 900℃以上の高温排ガスは、廃熱ボイラーで熱回収し、発生した蒸気を乾燥機や蒸気発電機等の熱源として利用する。

蒸気発電設備フロー例を図 17-5 に示す。本フロー例では、蒸気発電設備としてスクリュ式小型蒸気発電機（以下、小型蒸気発電機とする）と蒸気バイナリー発電機（以下、バイナリー発電機とする）を組み合わせた方式を示す。

従来、廃熱ボイラーで発生させた蒸気を減圧弁で減圧した後に、乾燥機等の熱利用設備に利用していたものに対し、減圧弁の代わりに小型蒸気発電機や、背圧タービン発電機のような減圧機能を有し、蒸気の圧力差を利用する蒸気発電機を適用することで、減圧により廃棄していた熱の有効利用を行うことができる。さらに、小型蒸気発電機または背圧タービン発電機より排出される圧力を有する蒸気を、乾燥機等の熱源として利用するとともに、乾燥機に使用しない余剰蒸気を圧力・温度の低い蒸気を用いた発電が可能なバイナリー発電機の熱源としてカスケード利用することにより、さらなる熱の有効利用を可能としたシステムである。

本システムの効果を最大限に高めるためには、なるべく長期間にわたって連続運転をおこなうことが必要である。

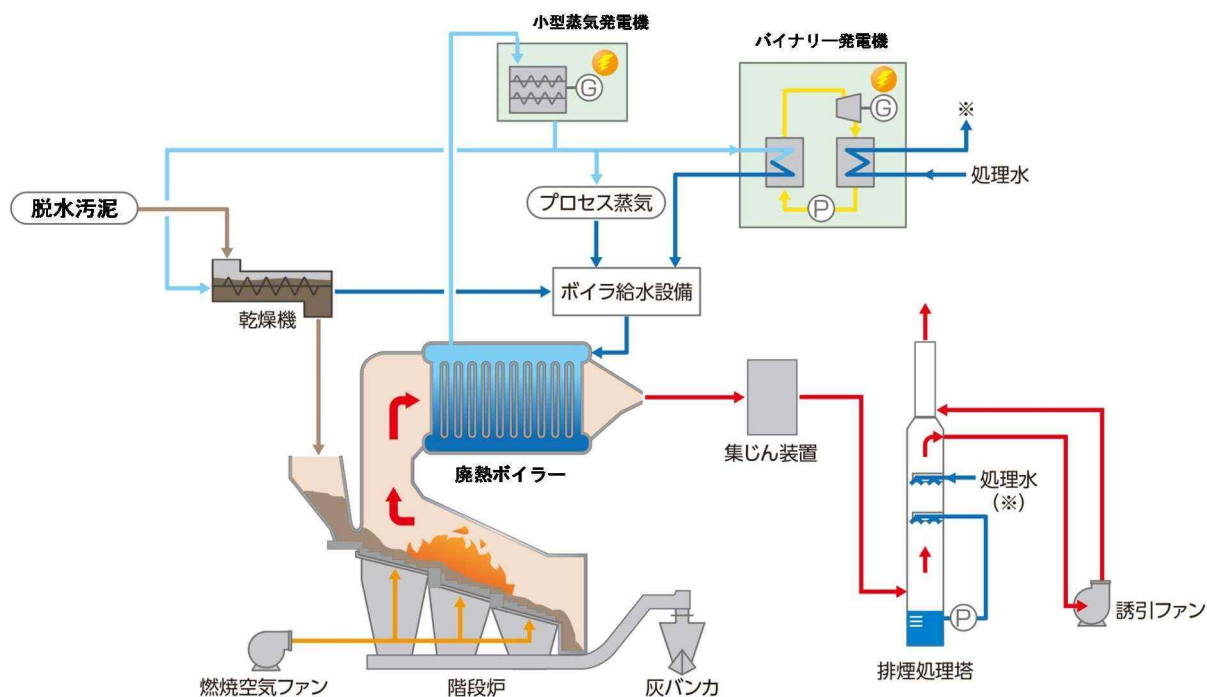


図 17-4 システムフロー例

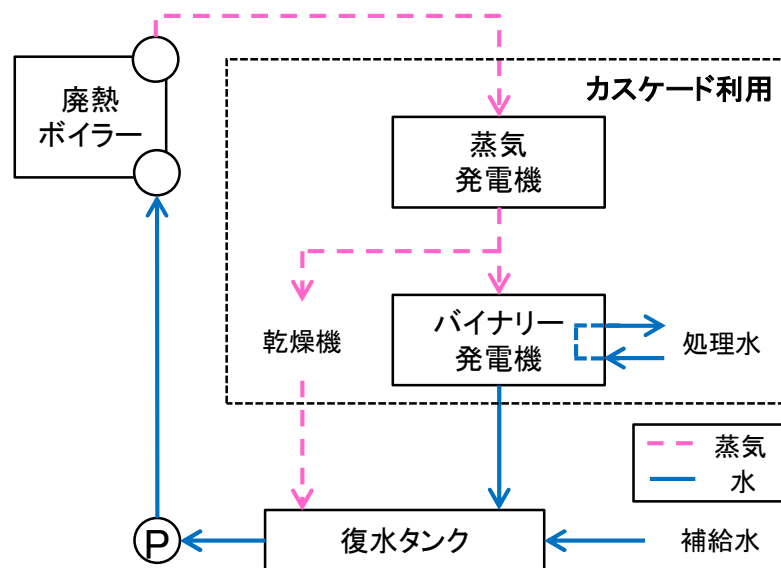


図 17-5 蒸気発電設備フロー例

従来気泡流動炉と比較した電力換算での消費エネルギー削減率について、脱水汚泥量 50t/日（混合生汚泥、消化汚泥の 2 ケース）の場合が試算されており、電力換算での消費エネルギー削減率は、混合生汚泥の場合は 81.6%、消化汚泥の場合は 85.7%であった。また、混合生汚泥を対象として、脱水汚泥量を 100t/日、150t/日とした場合についても試算されており、電力換算での消費エネルギー削減率はそれぞれ 98.8%、100.4%であった。150t/日規模においては、発電電力量が消費電力量を上回っており、設備としてエネルギーの自立が可能となっている。

（３）導入にあたっての留意点

省エネ型汚泥焼却炉の導入における注意事項を以下にまとめる。

- ① 投入する脱水ケーキの含水率の影響を受けるため、季節変動、時間変動も考慮して、脱水状況を確認し、処理計画を立てる必要がある。
- ② 導入する焼却炉により性状が異なるため、焼却灰の利用方法について検討する必要がある。
- ③ 設置者は、関連する法規を十分検討の上、決められた期日までに必要な書類を届出先に提出しなければならない。適用に当たっては、常に最新の法令・情報に基づくこと。また、各市町村の公害防止条例の基準・規定を遵守することが必要である。

第6章 省エネ対策の導入へ向けて

§ 18 運転方法改善手法の導入の注意点

運転方法改善による省エネ手法を導入するにあたって、他設備や処理場全体への影響等について注意点をまとめる。

【解 説】

運転方法改善による省エネ手法の導入は、現状設備の運転方案の見直しにより早期に導入が可能な手法であるが、他設備や処理場全体への影響等について十分に配慮した上で実施する必要がある。以下に、その注意事項をまとめる。

- (1) 主ポンプの運転方法改善手法
- (2) 最初沈殿池の運転方法改善手法
- (3) 送風機の運転方法改善手法
- (4) 反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転方法改善手法
- (5) 汚泥貯留槽の攪拌機の運転方法改善手法

(1) 主ポンプの運転方法改善手法

主ポンプの運転改善による省エネ手法では、主ポンプを固定速運転とし、流入水量の変動に合わせて台数制御をすることも、省エネに有効である。その際の注意事項について以下にまとめる。

- ① 固定速運転とした場合、晴天時に想定している最大流入量に追随するためのポンプの最大吐出量で吐出先から最初沈殿池まで、水理的に問題なく流れるかを確認する必要がある。特に、簡易処理用の水路がある場合には、注意が必要である。
- ② 同様に分配堰がある場合、ポンプの台数制御により流量が大きく変化するため、想定している水量比で調整が可能かを確認する必要がある。
- ③ 流入水量の平均水量以下の能力の主ポンプが無い場合、ポンプの運転停止の頻度が多くなり、ポンプ寿命を低下させる恐れがあるため本省エネ手法は推奨できないが、流入管の管内貯留を活用して、流入水量を調整することで対応できる可能性がある。管内貯留を活用する場合は、流入管の状況を把握するとともに、沈砂池設備や最初沈殿池設備の運転方案の見直し・異常時対応の十分な検討を行ってから実施する必要がある。

(2) 最初沈殿池の運転方法改善手法

最初沈殿池の運転改善による省エネ手法では、休止している池を再稼働させることで水面積負荷を下げ、SS除去率を上げることで反応タンクの必要空気量が削減でき、送風機の省エネに有効な場合がある。その際の注意事項について以下にまとめる。

- ① 生汚泥の固形物量が増加するため、生汚泥引抜きポンプ以降の汚泥処理設備の負荷が大きくなることが想定される。注意点を以下に示す。
- ・生汚泥引抜きの時間の調整が必要である。生汚泥濃度が一定濃度以上に濃くなると、生汚泥引抜きポンプで送泥できなくなる恐れがあることや、重力濃縮槽での汚泥洗浄が必要になる場合があるため、生汚泥の濃度を確認しながら、生汚泥の引抜きの運転方を調整する必要がある。
 - ・重力濃縮槽では、生汚泥引抜きポンプと同様に汚泥濃度と引抜きの運転方を調整する必要がある。また、汚泥界面の確認も行い、返流水負荷が増大しないように注意する必要がある。
 - ・汚泥消化設備では、固形物量の増加に伴い、発生ガス量が増加することが想定されるため、ガスの精製設備や利用設備の調整が必要である。また、汚泥流量が増えた場合は、消化汚泥の引抜き量も多くする必要がある。
 - ・汚泥脱水設備について、混合生汚泥の脱水では生汚泥の比率が高くなるため、脱水性が上がる。後段の設備に影響がないよう含水率が下がりすぎないように注意する必要がある。消化汚泥の脱水では、汚泥量が増えた場合は、運転時間の調整が必要になる。
- ② 高度処理においては、反応タンクにはある程度の有機物負荷が必要なことから、BOD－SS負荷に注意して実施の有無を検討する必要がある。MLSSを下げて、BOD－SS負荷の低減を緩和することも1つの手段である。また、反応タンクSRT、HRTの調整、硝化の状況との調整も必要である。

(3) 送風機の運転方法改善手法

送風機の運転改善による省エネ手法では、送風機の号機選択の最適化、送風量の適正化が省エネに有効である。その際の注意事項について以下にまとめる。

- ① 送風機の号機選択の最適化では、省エネになる号機選択を行った場合は、運転する号機が偏る可能性があるため、修繕計画も考慮に入れて、号機選択の幅を持たせる必要がある。
- ② 反応タンク流入のアンモニア濃度による送風量の適正化については、アンモニアセンサーによる自動制御ではないDO制御等では、必要空気量と送風量とのずれが生じる場合があることから、手動による風量調整が必要となる場合がある。運転方を見直し、できる限りDO制御等の自動制御が可能のように、必要空気量と送風量とのずれが解消できるような各種設定値への調整（処理状況に応じたDO設定値の調整など）を行う必要がある。
- ③ 必要空気量の算出には、時間毎の反応タンク流入水質の変動パターンを把握する必要があるが、通日試験はコスト面から多数の回数を実施することは負担となるため、四季データとして年に4回程度実施するのがよい。また、データの精度を高めるためには、サンプルの採取方法や採取場所などを十分に検討する必要がある。
- ④ 反応タンクのMLSSを変更する場合は、硝化不良を防ぐために、日数をかけて徐々に変化させる必要がある。

（４）反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転方法改善手法

反応タンク嫌気槽・無酸素槽の水中攪拌機の運転改善による省エネ手法では、水中攪拌機の間欠運転が省エネに有効である。その際の注意事項について以下にまとめる。

- ① 水中攪拌機の機種によっては、間欠運転できない機種、運転停止の頻度の上限が決められている機種があるため、製造メーカーへの確認が必要である。
- ② 攪拌を停止した場合に、汚水がショートパスするなどの理由により、処理水質に影響が出る場合もあるため、停止時間は短い時間から徐々に増やしていき、処理水質への影響がないことを確認する必要がある。
- ③ 汚泥が沈降し、徐々に堆積物が増えていった場合、汚泥の浚渫が必要になり多大なコストが発生する可能性があるため、定期的に汚泥が堆積していないかを確認する必要がある。

（５）汚泥貯留槽の攪拌機の運転方法改善手法

汚泥貯留槽の攪拌機の運転改善による省エネ手法では、攪拌機の間欠運転が省エネに有効である。その際の注意事項について以下にまとめる。

- ① 対象とする汚泥は余剰汚泥、濃縮余剰汚泥であるが、実施前にビーカー試験等にて沈降性を確認するのがよい。
- ② 汚泥の沈降・堆積により、汚泥が腐敗するなどの悪影響が発生する可能性があるため、実施後、長期的に後段の設備への影響がないことを確認する必要がある。

§ 19 省エネ機器の導入ロードマップ

省エネ機器の導入においては、関連する設備を含めた効率的な更新計画が必要である。
そのためには、関連する設備への影響を考慮した省エネ機器の導入ロードマップを検討・作成することが必要である。

【解 説】

省エネ機器の導入においては、関連する設備を含めて最適な運転が図れるような更新計画が必要である。そのためには、設備を更新することによって、他の設備へどのような影響を与えるかを考慮し、お互いの設備がより効率的に運用できるように、省エネ機器の導入ロードマップを検討・作成することが必要である。

ここでは、「§ 10 高効率散気装置の導入」における散気装置と送風機の組み合わせの最適化を図るための散気装置と送風機の導入ロードマップについてモデル自治体の検討例を示す。省エネ機器の導入ロードマップ策定の参考にされたい。

散気装置と送風機は組み合わせを最適化することにより、省エネ効果を高めることが可能となる。

しかしながら、一般的に送風機設備の更新間隔は長く、水処理設備と送風機設備の更新時期が同一とならないケースが多い。そのため、全体計画に合わせたために現状の水処理設備にとっては能力の大き過ぎる送風機が設置され、高効率な送風機を導入したものの送風量を大きく絞った運転となっているために、省エネになっていないケースがモデル自治体の調査で見られた。

こういった事例を回避するためには、将来の人口減少等による流入水量の減少や、散気装置の効率アップによる必要空気量の低減などにも配慮した送風機の更新計画が必要となる。

また、流入水量や流入水質の時間変動、日変動による反応タンクの必要空気量の変動に合わせた送風量の適正化に対応するために、小～中容量の送風機を1～2台程度導入することも省エネに効果がある。

(1) モデル自治体の検討例

ケーススタディで示す事例Fのケースで検討する。省エネを進めるためには、No. 13 池を除き、高効率散気装置への更新が必要である。

表 19-1 に現状の散気装置の種類と現状と高効率散気装置へ更新後の散気水深、酸素移動効率の一覧表を示す。現状の送気管は No. 1～No. 12 池と No. 13 池（将来の No. 14, 15 池を含む）で別系統となっている。No. 1～No. 12 池の散気装置は、散気筒、散気板、水中攪拌機が混在するため、散気バランスをとるために散気筒、散気板は水中攪拌機に対し散気水深が浅くなっている。高効率散気装置の圧力損失は散気筒、散気板とほぼ同一のため、更新の際は散気筒、散気板と同一の散気水深とする必要があり、散気水深は 5m となる。この場合、池底からの設置高さが 0.7m となるため、設置方式は旋回流式となる（設置高さが 0.5m 以下であれば、全面曝気式となる）。No. 13 池に高効率散気装置が旋回流式で設置されているので、酸素移動効率は No. 13 池と同じ 29% となる。No. 14, 15 池も No. 13 池と同じものとする。

以上から、散気装置を高効率散気装置へ更新すると、必要空気量は酸素移動効率に反比例するので、現状の酸素移動効率 15%（散気筒）、17%（散気板）、25%（水中攪拌機）が 29%に改善され、必要空気量はそれぞれ散気筒で 48%、散気板で 41%、水中攪拌機で 14%削減される。

表 19-1 反応タンクの散気装置，散気水深，酸素移動効率

池番号		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15
池深さ		m	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	10	10	10
現状	散気装置	-	散気筒			散気板		散気筒		水中攪拌機				高効率	未整備	
	酸素移動効率	%	15	15	15	17	15	15	25	25	25	25	25	29		
	散気水深	m	5	5	5	5	5	5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5		
高効率	酸素移動効率	%	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
散気装置 へ更新後	設置方式	-	巡回流式											深層巡回流式		
	散気水深	m	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

水処理設備（散気装置）の更新計画案を表 19-2 に示す。この表では期間を短縮して示すために 1 年ごとの更新としたが、実際には設備の耐用年数を考慮して、長いスパンでの計画が必要である。

表 19-2 水処理設備の更新計画案（処理能力 m³/日の推移）

水処理系列	池	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
1～6系 処理能力 (m³/日)	No.1池	14,000	14,000	更新	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000
	No.2池	7,000	7,000	7,000	更新	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000
	No.3池	7,000	7,000	7,000	更新	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000
	No.4池	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	更新	9,000
	No.5池	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
	No.6池	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500
	No.7池	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500	6,500	6,500
	No.8池	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500	6,500	6,500
	No.9池	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500	6,500
	No.10池	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500	6,500
	No.11池	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500
	No.12池	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	更新	6,500	6,500
7系 処理能力 (m³/日)	No.13池	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	No.14池	-	増設	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	No.15池	-	-	-	-	-	-	-	増設	18,000	18,000
処理能力合計(m³/日)		107,000	107,000	111,000	104,000	105,000	105,000	105,000	105,000	127,000	136,000

着色部の散気装置は高効率散気装置

流入水量の予測値と流入水質（一定と想定）より、必要空気量の最小値，最大値を算出した結果を表 19-3 に示す。2 年目以降はMLSS の適正化を行った結果である。

表 19-3 流入水量と最小，最大の必要空気量の推移

水処理系列		単位	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
1～6系	流入水量	千 m³/年	35,003	35,341	35,688	35,787	35,884	35,981	36,075	36,169	36,169	36,169
	最小必要空気量	Nm³/h	7,524	7,061	5,792	5,341	4,832	4,328	4,192	4,054	3,503	3,608
	最大必要空気量	Nm³/h	30,971	29,063	23,840	21,984	19,888	17,816	17,253	16,688	14,418	14,851

必要空気量の最小値～最大値に対し、送風機が効率の良い範囲で運転できるように送風機の更新計画を立てる。送風機の効率の良い制御範囲は表 19-4 の通りとする。

表 19-4 送風機の制御範囲

型式	風量制御装置	最小制御範囲
高速単段ブロワ以外	吸込み弁	0.8
高速単段ブロワ以外	インレットベーン	0.67
高速単段ブロワ	インバータ+インレットベーン	0.5

表 19-5、表 19-6 に示す通り、納入後 40 年を経過した送風機を順次更新していく。1 年目の状況を表 19-7、図 19-1 に、4 年目の状況を表 19-8、図 19-2 に、9 年目の状況を表 19-9、図 19-3 に示す。この計画案では 4 年目より効率の良い運転が可能となる。

表 19-5 反応タンク、送風機の更新計画案

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
反応タンク	送風量の適正化	MLSS低減 2000mg/L	No.1池停止 No.14池増設	No.1池更新 No.2,3停止	No.2,3更新 No.5,6停止	No.5,6更新 No.7,8停止	No.7,8更新 No.9,10停止	No.9,10更新 No.11,12停止	No.11,12更新 No.4停止 No.15池増設	No.4更新
送風機			①, ③を撤去、 ⑦→①に移設 ③, ⑦, ⑧新設					②更新		

表 19-6 送風機の更新内容案

水処理 系列	番号	型式	送風量			吐出圧 kPa	風量制御装置	稼働年数	備考
			定格	最大	最小				
			Nm ³ /min	Nm ³ /h	Nm ³ /h				
1～6系	①	多段式ターボブロワ	100	6000	4800	61.7	吸込み弁	40年稼働	
	⇒①'	高速単段ブロワ	120	7200	3600	61.7	インバータ+インレットベーン	3年目	⑦を移設
	②	多段式ターボブロワ	100	6000	4800	61.7	吸込み弁	40年稼働	
	⇒②'	多段式ターボブロワ	80	4800	3200	61.7	インレットベーン	8年目	
	③	多段式ターボブロワ	200	12000	9600	61.7	吸込み弁	40年稼働	
	⇒③'	多段式ターボブロワ	160	9600	6400	61.7	インレットベーン	3年目	
	④	多段式ターボブロワ	200	12000	9600	61.7	吸込み弁	25年稼働	
	⇒	撤去						15年目	台数削減
7系	⑤	多段式ターボブロワ	200	12000	9600	61.7	吸込み弁	19年稼働	更新まで予備機
	⇒⑤'	多段式ターボブロワ	160	9600	6400	61.7	インレットベーン	21年目	
	⑥	高速単段ブロワ	110	6600	3300	64	インバータ+インレットベーン	5年稼働	
	⑦	高速単段ブロワ	110	6600	3300	64	インバータ+インレットベーン	5年稼働	⇒①へ移設
	⇒⑦'	高速単段ブロワ	46	2760	1380	64	インバータ+インレットベーン	3年目	小容量へ
	⑧	高速単段ブロワ	46	2760	1380	64	インバータ+インレットベーン	3年目	小容量へ

(注) 赤字が更新後の設備、更新内容を示す。

表 19-7 1年目の水処理系列毎の必要空気量と送風機の組合せによる効率の良い送風量の範囲

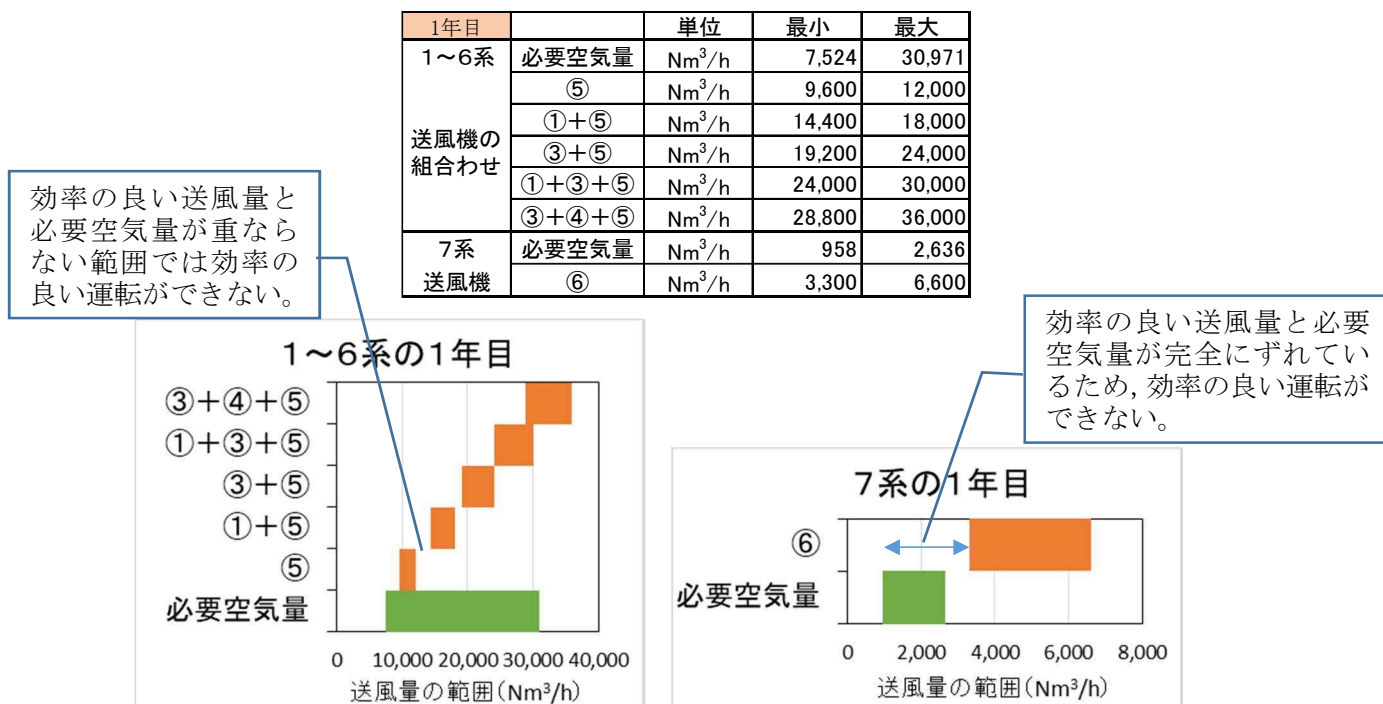


図 19-1 1年目の水処理系列毎の必要空気量と送風機の組合せによる効率の良い送風量の範囲

表 19-8 4年目の水処理系列毎の必要空気量と送風機の組合せによる効率の良い送風量の範囲

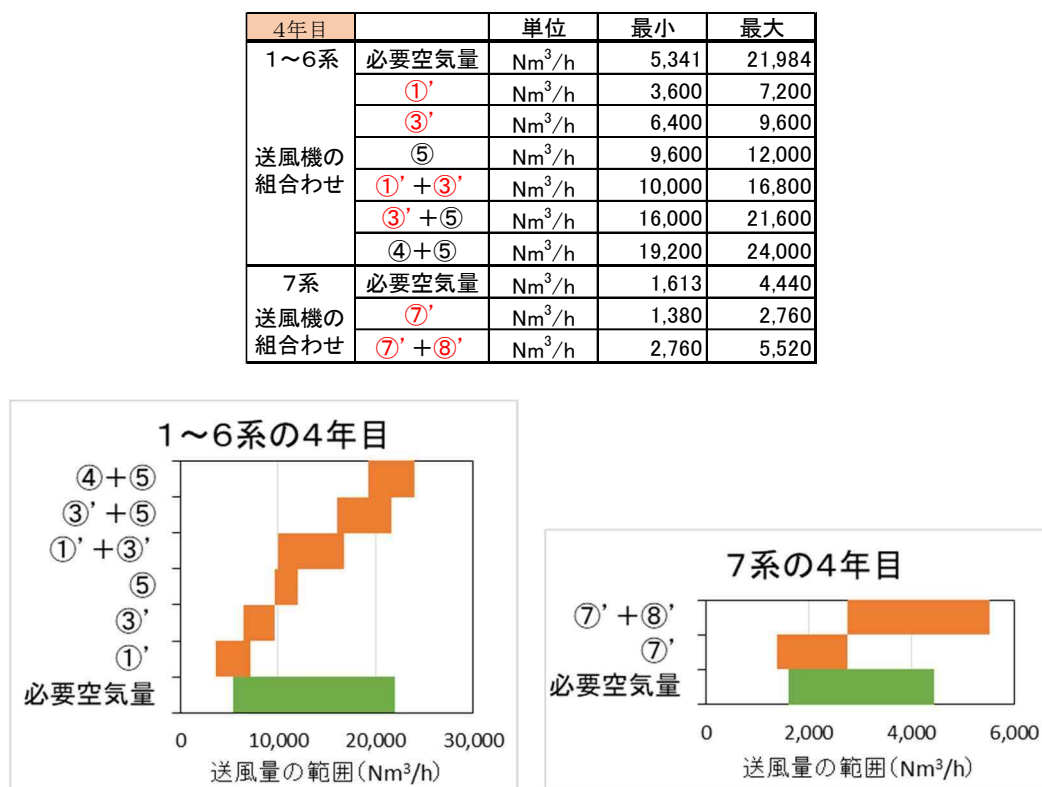


図 19-2 4年目の水処理系列毎の必要空気量と送風機の組合せによる効率の良い送風量の範囲

表 1 9 - 9 9 年目の水処理系列毎の必要空気量と送風機の組合せによる効率の良い送風量の範囲

9年目		単位	最小	最大
1～6系	必要空気量	Nm ³ /h	3,503	14,418
	②'	Nm ³ /h	3,200	4,800
	①'	Nm ³ /h	3,600	7,200
	③'	Nm ³ /h	6,400	9,600
	⑤	Nm ³ /h	9,600	12,000
	①' + ③'	Nm ³ /h	10,000	16,800
7系	必要空気量	Nm ³ /h	2,002	5,512
	⑦'	Nm ³ /h	1,380	2,760
	⑦' + ⑧'	Nm ³ /h	2,760	5,520

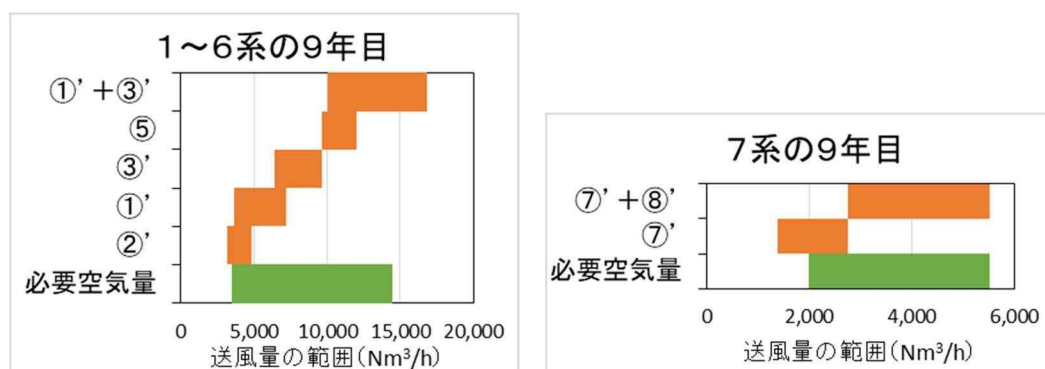


図 1 9 - 3 9 年目の水処理系列毎の必要空気量と送風機の組合せによる効率の良い送風量の範囲