

活性汚泥処理施設の設計と運転管理

OD法など小規模施設の設計と運転

(省エネ方策の効果と問題点、今後の課題など)

平成27年5月15日

メタウォーター (株) プラントエンジニアリング事業本部
シニアアドバイザー 鈴木 和美

1

= 目次 =

1. 小規模下水道とは
2. 下水処理施設の設置状況
3. OD法など小規模施設の設計
4. OD法など小規模施設の運転
5. 下水処理施設における電気エネルギー消費の状況
6. 省エネ方策の効果と問題点
7. 今後の課題等

2

1. 小規模下水道とは

(1) 小規模下水道の定義

= 前提条件 =

農業集落排水事業や浄化槽等の污水処理施設による污水処理に比べ効率的な整備が可能

- 中小都市や農山漁村または大都市の周辺集落地域で整備される、**規模の小さな下水道の総称**
- 一つの下水道計画区域における計画人口が、**概ね10,000人以下の下水道**

3

(2) 小規模下水道により計画される地域の特徴

- ① 都市近郊及び観光地の一部の集落を除き、**急激な社会的変動が生じ難い**
- ② 計画区域が小さく区域内の生活様式が類似していることが多く、**流入下水水量及び水質の変動が大きい**
- ③ 処理水の放流先が流量の少ない小河川、小湖沼、農業用水路等で**処理水の影響を受けやすい**
- ④ 下水道の運営にあたって、**地域住民との密接な連携を図りやすい**
- ⑤ 計画汚水量が少なくで、特定の事業場排水による水量、水質の時間変動、日間変動の影響を受けやすい
- ⑥ **故障時や維持補修に対して技術者の確保が困難**で、メーカーによる迅速なサービスを得難い場合が多い
- ⑦ 下水道計画区域における**計画人口は、長期的には減少**が予想される
- ⑧ 下水道計画区域における**人口構成は、年々高齢化が進む**と予想される
- ⑨ 小規模下水道を計画する自治体は、一般に**財政規模が小さい**

4

(3) 下水道計画の基本方針

- ① 下水道計画は、他の汚水処理事業と連携を図りながら**効率的な汚水処理計画を立案**する
- ② 施設計画は、小規模下水道の特性や地域特性を十分に考慮し、**維持管理が容易**で、かつ、**経済的なもの**とする
- ③ 下水道計画に用いる諸元は、原則として**計画策定時点の諸元**とする
- ④ 計画人口については、**近年の人口減少傾向を踏まえ適切に考慮**する
- ⑤ なお、確定した開発計画等がある場合は、それを考慮する

5

(4) 小規模下水道の特性や地域特性

- ① **一般に流入水の水量・水質の年間変動、日間変動が大きい**
⇒ 維持管理が大中規模の処理場に比べ難しい
- ② **熟練した維持管理要員を確保することが困難**
⇒ 頻繁に水質測定・チェック、運転操作の変更、機器点数が多く点検項目が多い処理法等は不向き
- ③ **維持管理に占める人件費の割合が大きくなる傾向にある**
⇒ 施設規模に関係なく、一つの処理施設に常駐する維持管理要員が多いと経済的に維持が困難

6

(5) 小規模処理場の計画における考慮事項

- ① **維持管理の容易な処理法の選定**
- ② **維持管理の容易な処理場、ポンプ場の施設計画と機器の選定**
- ③ **少数の要員による維持管理が可能な施設**
- ④ **巡回管理や夜間、休日の無人運転が可能な施設**
- ⑤ **水質及び汚泥試験、汚泥処理等の近隣の処理場及びその他汚水処理事業施設との共同化**
- ⑥ **但し、過度な軽装・制御機器の設置や自動化、使用機会の少ない水質試験機器等の設置には、慎重な配慮が必要**

7

(6) 小規模処理場の設計における考慮事項

- ・低負荷運転が可能で、HRTが比較的長く、低水温でも処理が可能な処理法の採用
- ・広い処理用地の確保
- ・水処理に伴って発生する汚泥量が少ない処理法の採用
- ・計測装置を極力設けなくとも、処理が安定している処理法、機器の採用
- ・機器点数の少ない処理法の採用



- ・用地条件が適合すれば、OD法の採用を優先
- ・池数は、原則として2池以上設置
- ・間欠運転を考慮し、運転トラブルが少ない曝気装置を選択
- ・曝気装置は、1池につき2台以上を設置
- ・返送汚泥ポンプの形式は、量の把握が行いやすい軸ねじポンプを選択
- ・上記ポンプ台数は、予備を含めて2台以上(能力は日最大の100~200%)
- ・最終沈澱池の水面積負荷は、8~12(m³/m²・日)で極力小さい値を選択
- ・最終沈澱池の池数は、2池以上設置(反応タンク→終沈→セツト化)

8

2. 下水処理施設の設置状況

(1) 水処理方式別処理場数の割合 (平成23年下水道統計より)

分類	処理法	施設規模						水質分類		
		処理水量(千m ³ /日)								
		小規模		中規模		大規模				
		<5	5~10	10~50	50~100	100~500	>500	計		
浮遊法	嫌気無酸素好気法		4	12	8	18		42	高度処理	
	循環式硝化脱窒法	4	5	14	3	8		34		
	硝化内生脱窒法	2	2					4		
	ステップ流入式多段硝化脱窒法	1	1	17	7	22	48	1		206
	嫌気好気汚泥法	12		6	4	10		35		
	高度処理オキシデーションディッチ	44	8	3				55		
	標準活性汚泥法	42	65	318	110	102	11	648		標準活性汚泥法等
	オキシデーションディッチ法	856	92	26				974		
	長時間エアレーション法	41	6	1				48		
	酸素活性汚泥法	2	1,046	2	3	351	3	11		
ステップエアレーション法			1	3	116	2	119			
回分式活性汚泥法	66	4	2				72			
好気性ろ床法	29	1					30			
接触酸化法	10						10			
高速散水ろ床法		1	2				3			
嫌気好気ろ床法	41	1					42			
固着生物法	回転生物接触法	10	105	4	10	1	2	6	0	135
	土壌被覆型隙間接触法	32						32		
	その他	22	4	9	1	6		42		
	計	1,214	200	415	140	159	12	2,140		
			56.73%	9.35%	19.39%	6.54%	7.43%	0.56%	100%	
			66.08%		25.93%		7.99%		100%	

9

(2) 人口階段別の市町村数と人口 (総務省資料)

人口階級	市町村数					人口(1,000人)				
	1950年	1970年	1990年	2000年	2010年	1950年	1970年	1990年	2000年	2010年
	昭和25年	昭和45年	平成2年	平成12年	平成22年	昭和25年	昭和45年	平成2年	平成12年	平成22年
総数	10,500	3,331	3,246	3,230	1,728	84,115	104,665	123,611	126,926	128,057
市 総数	254	588	656	672	787	31,366	75,429	95,644	99,865	116,157
100万人以上	4	8	11	12	12	9,474	20,856	25,296	26,852	28,827
50~100万	2	7	10	11	17	1,717	4,562	6,383	6,810	11,641
30~50万	4	21	44	43	43	1,367	7,890	16,849	16,728	16,691
20~30万	14	42	38	41	39	3,343	10,078	9,260	10,131	9,775
10~20万	40	73	106	122	157	5,426	10,416	14,565	16,487	21,845
5~10万	86	176	219	217	266	6,020	12,012	15,244	15,108	18,567
3~5万	99	216	163	152	178	3,905	8,416	6,487	6,004	7,006
3万未満	5	45	63	74	75	114	1,197	1,561	1,746	1,804
町村 総数	10,246	2,743	2,590	2,558	941	29,237	27,968	27,061	27,061	11,901
3万以上	35	52	103	117	72	1,353	2,009	3,887	4,406	2,749
2~3万	123	216	223	199	105	2,836	5,081	5,339	4,811	2,537
1~2万	748	894	738	686	283	9,930	12,337	10,254	9,609	4,151
5千~1万	2,653	1,120	897	833	244	17,920	8,300	6,528	6,025	1,792
5千未満	6,882	461	629	723	237	20,710	1,509	1,960	2,209	672

総務省統計局「国政調査報告」による。各年10月1日現在。東京都特別区部は1市として計算。

10

- 日本の市町村数は、1,728(平成22年)箇所〔平成の大合併で概ね半減〕
- その内、55%の941箇所が町村で、多くが3万人未満の自治体
- 日本の人口は、平成24年度をピークに減少に転じ、今は1億2700万人程度
- 人口減少は、ここ数年20万人/年程度で、今後拡大するとの予測
- 高齢化が加速するとの予測
- 処理人口基準の下水道普及率は、平成25年度末で、概ね77%

- ※ 日本の処理場の総数は、2,140(平成24年)箇所
- ※ その内、処理水量が1万m³/日以下の小規模処理場が66%(1,414)を占める
- ※ さらに、小規模処理場の中で、86%の1,214箇所が、5千m³/日未満
- ※ この5千m³/日未満の処理場の占有は、日本全体の57%近い
- ※ 5千m³/日未満の処理場の内、70%はオキシデーションディッチ法の施設
- ※ それ以外では、回分式法、標準法、長時間エアレーション法等の浮遊法が多い
- ※ 嫌気好気ろ床法、好気性ろ床法、土壌被覆型隙間接触法の固着生物法もある

◎ 小規模処理場を代表する処理施設は、オキシデーションディッチ法の施設

11

3. OD法など小規模施設の設計

<オキシデーションディッチ法>

設計諸元値等 (赤字: JS)

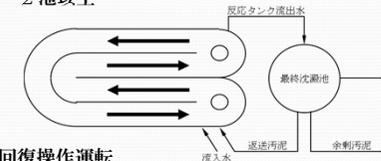
- HRT 24 ~ 36 [時間]
- MLSS濃度 3,000 ~ 4,000 [mg/L]
- BOD-SS負荷 0.03 ~ 0.05 [kg・BOD/kg・SS・日]
- 汚泥返送比 100 ~ 200 [%]
- 必要酸素量 1.4 ~ 2.2 [kg・O₂/kg・BOD]
- 水深 1.0 ~ 5.0 [m]
- 水路幅 2.0 ~ 6.0 [m]
- 池数 2池以上

増設対応(原則)

- 1池当たりの処理能力に対し処理水量が7割を越える時点で増設に着手

運転操作システム

- 脱窒反応によるアルカリ度の回復操作運転
- 無酸素ゾーンのMLDO指標の回転数制御または間欠運転操作システム

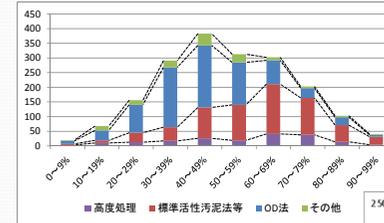


12

エアレーション装置の種類

型式	概要
● 機械攪拌式	・ 縦軸型 駆動部の回転力を反応タンクの水面上において浸漬されているインペラへ伝えエアレーションを行う表面エアレーション方式
	・ 横軸型 横軸回転軸に羽を取り付けたロータにより、水表面を攪拌しエアレーションを行う表面エアレーション方式
	・ スクリュー型 スクリーウの回転による負圧を利用して空気を自給し、微細気泡として水中内に拡散する水中エアレーション方式
● 軸流ポンプ型	軸流インペラの攪拌と散気管からの空気吸い込みを組み合わせたもので、気液の混合体を軸流ポンプにより下流側の底部から吹き出す方式
● プロペラ型	攪拌と混合は水中のプロペラで行い、酸素の供給は散気板により行う方式

4. OD法など小規模施設の運転 (1)



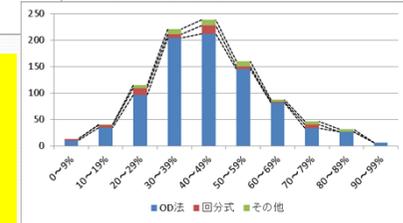
- 高度処理法、標準法等の処理施設の稼働率は総じて高い
- OD法等の処理施設は稼働率は総じて低い

稼働率の定義(下水道統計H24より)

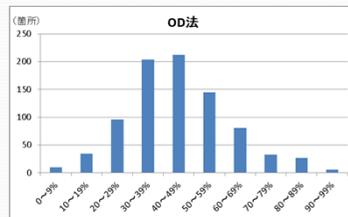
稼働率 =

$$\frac{\text{処理水量(日平均汚水量)} \times \text{m}^3/\text{年}}{\text{施設能力(日最大汚水量)} \times \text{m}^3/\text{日} \times 365 \text{ [日/年]}} \times 100 [\%]$$

注) 100%を超える処理場は対象外

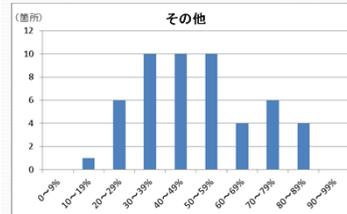
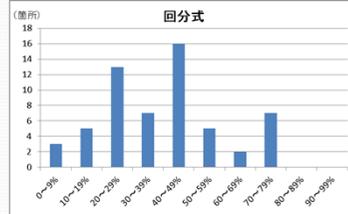


4. OD法など小規模施設の運転 (2)



- 稼働率は、59%未満の処理場が多い

HRT: 設計の1.7~5.0倍?
高度処理が可能な条件に有



5. 下水処理施設における電気エネルギー消費の状況

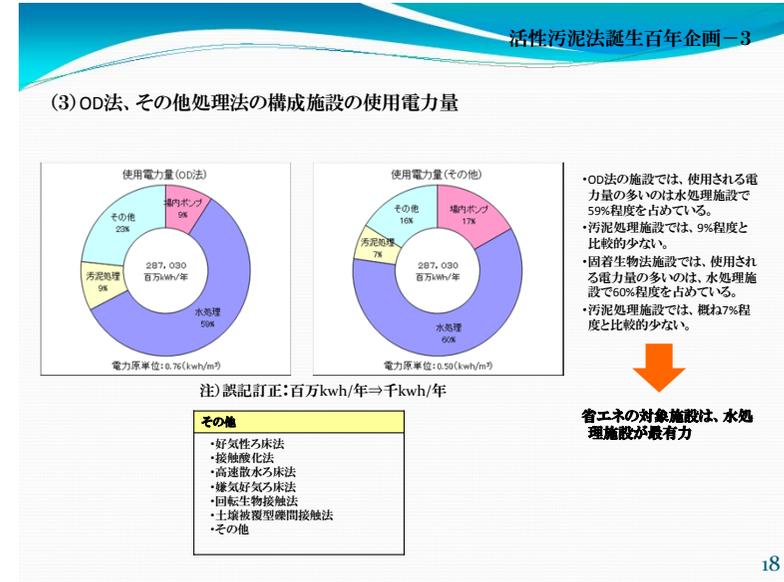
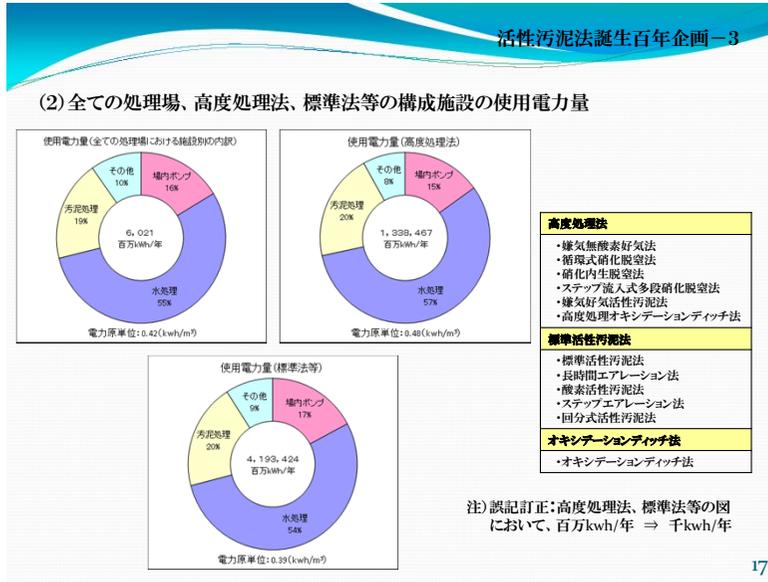
(1) 下水処理施設の処理法・施設別の使用電力量等(平成23年度下水道統計)

	処理場数	年間処理量 m ³ /年	使用電力量 千kWh/年	場内ポンプ 千kWh/年	水処理 千kWh/年	汚泥処理 千kWh/年	その他 千kWh/年	電力原単位 kWh/m ³
活性汚泥法	665	10,873,436,745	4,193,424	721,690	2,254,282	836,646	380,816	0.39
高度処理法	160	2,765,044,647	1,338,467	201,538	757,362	271,293	108,274	0.48
OD法	1016	379,046,173	287,030	26,109	167,410	26,587	66,824	0.76
その他	310	401,435,576	202,225	33,993	122,175	13,446	32,611	0.50
合計	2151	14,418,963,140	6,021,145	983,320	3,301,229	1,147,972	588,624	0.42

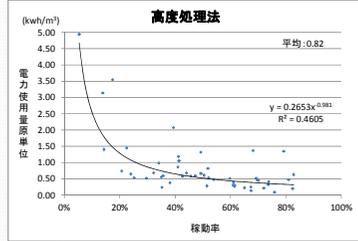


- ・処理場数の概ね50%弱はOD法である
- ・OD法の使用電力量は、約5%程度と少ない
- ・使用電力量の70%程度は活性汚泥法施設で占められている
- ・次に多いのは高度処理施設である

↓
省エネを検討するのは標準法と高度処理がベスト

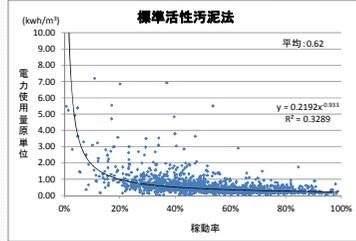


②高度処理施設



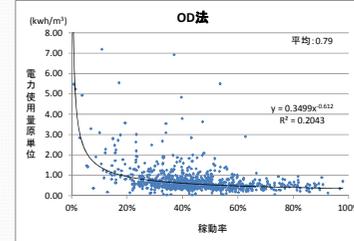
- 高度処理法**
- 嫌気無酸素好気法
 - 循環式硝化脱窒法
 - 硝化内生脱窒法
 - ステップ流入式多段硝化脱窒法
 - 嫌気好気活性汚泥法
 - 高度処理オキシデーションディッチ法

③標準活性汚泥施設

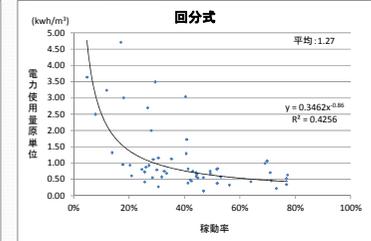


- 標準活性汚泥法**
- 標準活性汚泥法
 - オキシデーションディッチ法
 - 長時間エアレーション法
 - 酸素活性汚泥法
 - ステップエアレーション法
 - 回分式活性汚泥法

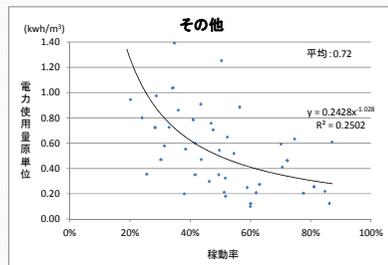
④OD法施設



⑤回分式活性汚泥法施設



⑥その他処理施設



- その他**
- 好気性ろ床法
 - 接触酸化法
 - 高速散水ろ床法
 - 嫌気好気ろ床法
 - 回転生物接触法
 - 土壌被覆型礫間接触法
 - その他

・水処理施設における電力使用量原単位を処理法等で大別し平均で見ると、次の様になる。

- ①回分式活性汚泥法施設 (1.27)
- ②高度処理施設 (0.82)
- ③OD法施設 (0.79)
- ④その他施設 (0.72)
- ⑤標準活性汚泥法施設 (0.62)

・どの処理施設とも、稼働率が高い方が電力使用量原単位が小さくなる傾向が見受けられる。



・標準活性汚泥法の省エネの優位性が再確認できる。

・どの処理場でも使用する池単位の処理能力と処理量が近い運転を行うことで、省エネの効果が高めることができる。

6. 省エネ方策の効果と問題点等

(1) 省エネ方策

ハードの方策
(改築・更新等)

- 機械効率の良い機器の採用
- 電動機効率の高いモーターの採用
- 省エネ的な運転を目指した曝気・攪拌システムの採用
(流入水の質・量・季節変動に追従し易い)
(DO計のみならず、簡易センサーによる制御システムの採用)

ソフトの方策
(維持管理等)

- 定期的な負荷 (流入水量、流入水質、季節等) 変動の把握
- 施設能力に極力近づけた池数での運転
(稼働率の向上化)
- 既設制御システムの最大限の活用
(現状の運転の把握と見直し)
- 可能な限り間欠運転の実施
(曝気攪拌装置、返送汚泥ポンプ等の運転時間が長い機器)

(2) ハードの方策の例
① 住友重機械エンパイロメント(株)とJSの共同研究技術(JS標準機器)

昇降装置付縦軸型曝気装置

特長

- 初期低負荷運転が容易です。
- 無酸素攪拌時の動力が低減でき、省エネ効果が期待できます。
- 高速/低速回転(インペラ水中位置)だけで容易に窒素除去ができます。
- 水中に駆動部がなく、水中部メンテナンスが不要です。
- 構造がシンプルです。
- 従来型スミレーターからの改築・更新工事も容易です。

(2) ハードの方策の例
② 前澤工業(株)とJS共同研究

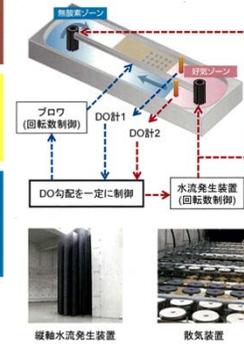
OD法における二点DO制御システム：新技術I類登録

背景
OD法は小規模向けの下水処理法として国内1,000カ所以上に建設されている。今後、更新改築にあたって省エネ化が課題。

技術概要
・水路内のDO勾配が一定となるよう、曝気風量と循環流速を独立に自動制御
・好気ゾーンと無酸素ゾーンを安定的に形成

導入効果
・安定した処理水質の確保(BOD、N)
・消費電力を約30%削減(対縦軸OD)
・流入条件によっては、一時的なピーク流量超過や水質など高負荷運転による対応が可能

導入に当たっては流入条件等のFS調査により、個別検討が必要



(3) 省エネ効果

対象とする当該処理施設の状況によって異なるため、一概には云えない。間欠運転、DO制御に係る省エネ運転の検討報告は多く、文献を参照する。

① 間欠運転を実施する場合の省エネ効果把握方法の例(富山県の報告書等から)

OD法における消費電力量の削減把握式

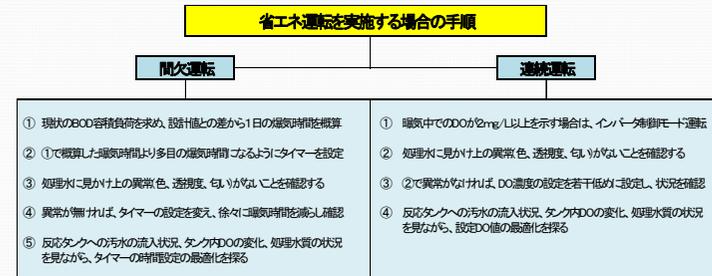
$$X = P \times \alpha \times (1 - A/B)$$

ここで

- X：1日当たりの削減電力量[kwh/日]
- P：曝気装置の定格出力[kw]
- α：効率=0.8(消費電力を定格出力の0.8倍と仮定)
- A：BOD容積負荷(現状)
- B：BOD容積負荷(設計値)

⇒ 省エネ運転時の曝気装置の合計運転時間の設計値に対する比率は、省エネ運転時のBOD容積負荷の設計値に対する比率と値と概ね同じ値である場合が多い。
⇒ このため、曝気時間をその比率まで短くしても良質な水質が得られることが経験的に知られている。

② 省エネ運転を実施する場合の手順例(富山県、長野県の報告書等から)



(4) 問題点

・改築・更新時にも、当該処理場の実態を十分把握した上で最適な設置と制御システムを選定する必要がある。
・当該処理場の実態は、経年的に変化すると予想されることから、頻度を高め、流入量、流入水位、流入変動を把握することが必要である。

7. 今後の課題等

- 全国の処理場の内、OD法など小規模処理場が、概ね60%を占めている
- しかし、使用電力量の多くは、高度処理法、標準法の施設で消費されている
- OD法等の施設での使用電力量の割合は、概ね8%で少ない
- 大・中規模処理場で高度処理が進行すれば、その割合はさらに低下する



省エネルギー追及の寄与度の点からは、

- 処理の安定性と運転管理の容易性を追求した小規模施設の寄与は小さい
- 絶対使用量が大きい標準法や高度処理法の施設を対象に追及すべし



あえて、小規模施設で追及するのであれば

- 施設能力に余裕(稼働率小さい)が大きい場合は、間欠運転の徹底化
- 1つの池における処理量の最大化し、機械の運転効率の向上を図る
- 流入水量が年々減少する際の省エネ対応策を常に追求する

- 一時的に使用しない施設の位置付け、管理をどうするか？
- 人材の確保が難しくなる状況で、技術継承、健全な経営をどう確保するか？

ご清聴、有難うございました。