

下水処理場水処理設備の 省エネルギー化に関する一考察

一般社団法人 日本下水道施設業協会

技術部長 松尾英介



1. はじめに

下水処理場の省エネルギー化に貢献する方法はいくつかあるが、その中でエネルギー消費の大きい水処理設備の改善は効果的である。そこで水処理設備の省エネ技術について考察した。ただし、省エネ効果のみに着目すると既設機器の設置条件や運転管理性等々の総合的な観点から問題が生ずる場合があり、機種選定や設備設計に注意が必要である。そこで、検討する上で考慮すべき項目についても言及した。

2. 省エネルギー化の手法について

(1) エアレーション装置

① 酸素移動効率について

水処理設備における電力消費を大きく占めている送風機の省エネを考える上で、エアレーション装置の酸素移動効率を上げることは効果が大きい。古くから下水処理場で使われてきた標準型のエアレーション装置は、セラミック製または合成樹脂製で、たとえばセラミック製では、気孔径は200~400 μm (散気板)である。この気孔径を小さくすることで単位空気量あたりの気泡表面積を大きくし、空気から水への酸素移動効率を上げる事により供給空気量を低減することができる。

二十数年前には、片側設置の旋回流式エアレーション装置に対して、全面エアレーション式の散気システムが導入された。その際にセラミック製の円形エアレーション装置も採用され、これは気孔径150 μm などの数値が公表されている(表-1、

表-2等)¹⁾。

さらに今から十数年前には、メンブレンを用いた微細気泡式のエアレーション装置(ウレタン樹脂製)が導入された。

これらにより酸素移動効率は、条件によって様々だが、たとえば表-2によれば、微細気泡・旋回流式の標準式エアレーション装置は14%程度であったものが、全面エアレーション式の散気システムが導入されて20%程度に向上し、さらにメンブレンで28%程度²⁾と改善されて今日の省エネ化に至っている。

メンブレンのエアレーション装置では、散気停止時の汚水逆流による閉塞によって散気能力が経年低下することを防ぐため、スリット型等の散気孔が採用されている。また、これは気泡が離れる瞬間を観測しがたく、それまでのような「気孔径」の計測(セラミック製では顕微鏡等で観測可能)ができないため、泡の大きさである「気泡径」で表現することが一般的に用いられる。円形のエアレーション装置の気泡径は2mm程度との数値があり、一方メンブレンでは1mm程度とも言われている。

なお、この微細気泡式のエアレーション装置については、メンブレン式のことを「超微細気泡」と称して、現在会員各社により様々な方式(材質、形状等)が開発されており、当協会のホームページ³⁾にも掲載されている。

② 圧力損失について

エアレーション装置における省エネ効果は、酸

表-1 エアレーション装置の仕様例（下水道計画設計指針と解説¹⁾ 表4.6.6より）

形式	旋回式				全面エアレーション		
	散気板		散気筒		散気板		
材質	セラミック	合成樹脂	セラミック	合成樹脂	セラミック(く形)	セラミック(円形)	合成樹脂
標準通気量 (ℓ/min)	80~100/枚	80~120/枚	120~150/本	100~150/本	20~40/枚	30~40/枚	40~80/枚
気孔径 (μm)	200~400	100~400	200~450	100~400	200~260	150	150

表-2 エアレーション装置の効率の例（下水道計画設計指針と解説¹⁾ 表4.6.7より）

エアレーション装置		清水に対する酸素移動効率 E_a (%)	清水に対する酸素移動動力効率 E_p (kg/MJ)
微細気泡	旋回流式	標準式	14~16
		深槽式	15~17
	全面エアレーション	20~32	0.83~1.28
粗大気泡	二列配置	10~13	0.39~0.44
	一列配置	8~10	0.33~0.42
気泡噴射式		15~26	0.44~0.64
水中かくはん式		20~30	0.4~0.64

素移動効率と圧力損失の両方を踏まえ、送風機駆動エネルギーとして算出し、評価されなければならない。圧力損失は主に散気水深、配管抵抗、エアレーション装置自体によるものの合計である。

酸素移動効率を上げるため気孔径（または気泡径）を小さくすること、あるいはメンブレンの場合、散気孔を押し開く圧力が必要になることなどは、吐出圧があがり省エネ効果は減ずることとなる。さらに、既設の改築や増設時に、既存設備として旧型のエアレーション装置を設置したままで、一部を気泡径の小さな散気装置に変更すると、新設側の吐出圧が高くなり散気量制御が難しくなる。このような場合は新しいエアレーション装置の設置位置を高め（たとえば500mm程度）にして空気量バランスをとること等が行われている。この場合も、酸素移動効率は水深補正により下がる事になり省エネ効果は減じられる。

このようなエアレーション装置を選定し省エネ効果を評価するには、既設機器の設置条件を十分考慮し、圧力損失のバランス等の運転操作性を確保した上で行うことが必要である。

(2) 送風機

送風機は、小規模の下水処理場では、容積型（ルーツ型）、中大規模の処理場においては、多段ターボ型（写真-1）、単段ターボ型（写真-2）

等が用いられる。送風機の省エネ化は進んでおり、十数年前に比べ相当効果が得られている。主な改良項目について以下に記述する。

① CFD解析による送風機のケーシングや羽根形状の改良

送風機本体はこの15年の間にCFD解析（数値流体解析）による流路設計（羽根車、ケーシング等）が比較的容易に行われるようになり、コンピュータ上で個々の改良効果を検証することが可能になった。その結果、単段や多段を問わず送風機の様々な部分で改良が行われ効率が改善された。同時に羽根車の材質改良による軽量化も行われ、この数年の間の改良製品では15年以上前の製品に比べ数%程度効率が良くなっている。

② 軸受の改良

多段ターボの従来機のうち、特に大型機は軸受として機械式の滑り軸受を採用していて潤滑油装置が必要である。しかし、最近では羽根車の材質改良による軽量化等の影響もあり、ころがり軸受が相当の大型機まで採用されて効率が向上している。その場合は潤滑油装置（冷却装置）も不要になっている。

最近では、軸浮上型送風機が開発されて機械式軸受による方式との差が注目されている。機械式軸受の損失は全断熱効率の1%程度以内と言われ

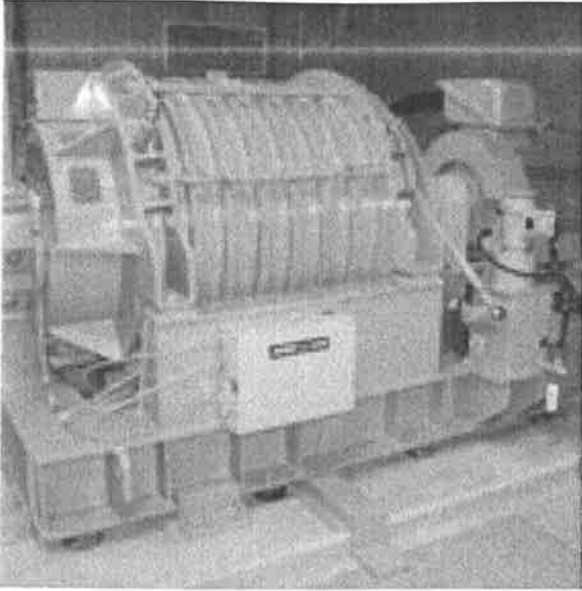


写真-1 鋼板製多段ターボブロワの例

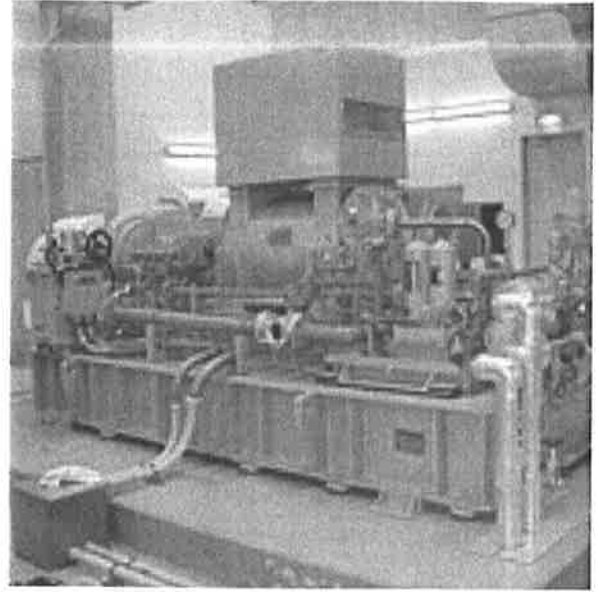


写真-2 高速単段ターボブロワの例

ており、軸受の方式による効率の差もその位と考えられる。なお、滑り軸受方式も耐久性等の利点を評価して使用されている。

③ 駆動方式とシステムについて

駆動方式に関しては、単段ターボ型の増速方法が注目されている。従来は機械式歯車で20,000～30,000rpmの回転数を得たのだが、それをインバーターによって増速させることで、所定の回転数が得られる。歯車方式とインバーター方式では、増速させる方式は異なるが回転数は変わらないので送風機の本体構造（流路）について変わるものではない。効率に影響があるのは上述の軸受の方式、歯車方式とインバーター方式の損失差、および大型のインバーターシステムでは冷却装置等（冷却ファン）が必要になるのでその有無等が考えられる。歯車方式の機械損失は3%程度、一方インバーター方式による損失は5%程度と言われており、総合的に大きな差のつくものではない。また、単段ターボ型は本体部分が軽量で設置スペースも小さいという利点があるが、高速で回転するので特有の騒音があり、防音用に吸い込みサイレンサーを設けるケースが多く、その分多少の損失発生を見込む必要がある。インバーター方式を採用する場合高調波やノイズの対策を行う。

④ 送風機選択に関する留意事項について

送風機は設置環境がよく（送風機室に設置されることが多い）また送風空気除塵等が行われて

いて、一旦設置すると更新まで比較的長寿命である。それだけに運転管理性などにも注意が払われる必要がある。性能曲線（圧力と風量）の特性（平坦か右下がりの傾斜が強いかなどの差がある。単段の場合多段型に比べ平坦になると言われており、その場合は圧力のわずかな差が風量に影響を及ぼす）や起動時の放風の必要性、停止時の逆転対策の必要性などに留意すべきである。

(3) 攪拌機

水処理において、嫌気好気運転あるいは嫌気無酸素好気運転で用いる反応タンクの攪拌機は、嫌気あるいは無酸素運転と好気運転の両用に運転可能な水中攪拌機を用いてきた。しかし当該の水中攪拌機は比較的動力消費量が多い。その動力消費対策として槽上攪拌機と称される方式が開発されている。動力は水中攪拌機では、反応タンクの容量あたり8～10w/m³程度だが、槽上攪拌機では、1～3w/m³程度である。攪拌羽根と液体との相対速度が小さい機器ほど動力を液体に伝える効率は良いと思えるが、そのためには一般的に大きな攪拌羽根で低速回転する事になる。しかし消費動力が少ない場合、所定の底部流速が得られても全槽の運動が定常に達する（全槽完全混合によって生物反応の速度が定常に達する）まで時間がかかる。この攪拌機が終日連続運転で設計されていると起動時だけの問題だが、頻繁に起動停止がある場合、定常に達するまでの攪拌力不足を考慮して

おくことが必要と考える。

(4) ポンプ類

水処理用に使われ、消費電力の大きいポンプとしては返送汚泥ポンプや循環用ポンプがある。これらは、回転数制御等による吐出流量の調整が出来、かつ汚泥用の構造である必要がある一方、全揚程にしめる静圧部分が少なく圧力損失もさほどではないので、省エネのためには低揚程型が必要である。

なお、下水道用ポンプ（主ポンプ、汚泥ポンプ等）では粗大物の流入を考慮する必要がある。一般には、大きい粒径の物質を通過可能にするほどポンプ効率は低くなるが、運転上は詰まりの問題が生じにくい。高い効率（省エネ）のみにとらわれず、適正な通過粒径の設定とそれに対応した効率のポンプを選択することになる。

(5) その他

水処理設備で比較的消費エネルギーの大きい機器は以上であるが、かき寄せ機など単体としての電動機出力は小さいが24時間連続稼働のために比較的電力使用量が大きくなるものもある。動力の削減のためプラスチックチェーンの採用による軽量化などが行われている。ただし、機器選択においては動力低減以外に、砂等の混入を考慮しての耐摩耗性や設置する池の大きさ（長さ）に対応す

る強度、並びに耐久性等の検討が行われている。

なお、上記各種の機器駆動用電動機の効率自体も数年以前のIE1型（標準型）からIE2型（高効率型）を経て現在IE3型（超高効率型）と数%向上されている。

3. おわりに

以上、水処理機器における省エネ化の技術についていくつか記載した。開発努力により大きな効果が得られている機種も多い。ただし、省エネルギー性能はきわめて重要だがそれだけに拘泥することなく、運転性能、維持管理性、保全性などが大きな影響を及ぼす場合があり、総合的に留意した機種選定が必要であることを記した。

最後に、散気装置の項目にも記したが、当協会ホームページの「技術ギャラリー」のページがありここに記述した機器もいくつか記載されているので参考にさせていただきたい。

参考文献

- 1) 下水道計画・設計指針と解説 2009年版 日本下水道協会
- 2) 「メンブレンパネル式散気装置に関する研究」 日本下水道新技術機構等 平成17年3月
- 3) 当協会ホームページ(<http://www.siset.or.jp/>) 「技術ギャラリー」の関連記載等による