

清水：

自分も50年活性汚泥法に関わってきた。1974年の石油ショックの時、汚泥処理のエネルギー効率化の事業として、下水道事業団と共同で、電力消費は多いが汚泥処理には良い強制濃縮というシステム開発に関わったことがある。はじめに各講師の方々に、活性汚泥法のエネルギー効率化で次の時代にやるべき新事業をお伺いしたい。

石田：

処理場の現状は次の段階に行くレベルになっていないのではないかと。空気量が少なくて済むメンブレンを入れたりして省エネ機器の導入は進んでいるが、肝心のブロワがそのまま、空気量が絞れない事例もある。台数制御とDO計だけでは省エネ運転は難しい。省エネ機器等を使いこなしていないのが実態で、アンモニア制御等を導入して省エネ機器がきちんと機能するようにする必要がある。

事業体は対前年度比が一番気になるところで、電力単価が上がったから仕方ないというような考え方になっているのではないかと。

坂本：

ブロワーはこれまで効率向上している。様々な試験もやりつつ、現在ではコストもあまりかからないCFD解析で改善してきている。回転体の効率化は収束しており、電動機もIE3のルールが適応され、機械の効率向上は限界に来ていると考えられる。

関連する空気濾過器、チェッキ弁、送気管、散気装置などのロスはどう減らすかが課題である。

多段と単段のお話をしたが、単段ブロワは羽根車としてはいいが、サージング防止装置、サイレンサーが必要になったり、高速モーターを使うと冷却する必要が出てきたり、400Vを使うとその変圧器が必要になったり、設備トータルとして考えて行かなければならない。

各地の処理場にお伺いすると、送風機4台の内2台しか常時運転していないなどある。回転体は仕様点運転のときに最大の効率となるよう設計されているため、その運転が望ましいが、設計時点では将来人口など考慮して仕様を決められるので、計画通りに人口が増えず絞り運転せざるを得なくなるような状況になっている。

鈴木：

エネルギー効率を見ている限り曝気装置についてはなかなか難しいが、攪拌だけやろうという場合に、竜巻の逆のようなものを起こす単純な装置ができれば省エネになるのではないかと。まわりから集めて一本で上がっていく、その逆の現象で装置を間欠運転すれば使用電力量が減るのでないだろうか。

標準法でも旋回流の中で好気と無酸素の状態をつくりだせれば窒素除去を含め、省エネに寄与するのではないかとと思われる。

以前名古屋市で散気装置を見せてもらったとき、散気装置の下がアカミミズでいっぱい、そこからちょっと下がった所が真っ黒で、散気装置の上は好気状態で水がまわってきているところで無酸素に近い状態になっていて、ある程度チツソ除去ができるような感じであった。こういう現象をうまく利用して省エネを図ることも今後検討していく必要があるのではないかと。また、処理場の立地条件にもよるが、経年的に流入水量が減少するような処理場は、散気装置を上へ上げ、低圧バッキ方式にするなど、トータルで安かったらいいのではないかと。というように考えていく必要があるのではないかと。

清水：

かつて納入した微細気泡装置で水槽の下部にヘドロがたまって、ミミズが発生していて大きなクレームをいただいたが水質は良かったことがあった。

鈴木：

現象を見つけて、そのようにつくって行くと大分従来の概念と違うものができるかもしれない。

清水：

現状は技術的には進んでいるようである。ここで会場からの質問をお受けしたい

質疑：

坂本講師の資料10ページの抵抗曲線と圧力のところで、90%回転のときに圧力が90%ちょっとで風量が75%くらいになっている。できるだけ下げて運転したい場合、回転数が90%とか85%とかの時に空気量当たりの動力がどれくらいになるのでしょうか

坂本：

風量が減少すると電動機出力も減少するが、送風機としての効率も落ちるので効率が落ちただけ空気量当たりの電力消費量が増えることになる。

清水：

ブロワの寿命はどうか。機械曝気だと10年持たないようであるが。

坂本：

基本的に軸受けしか問題にならない。インペラとケーシングとシャフトという堅固なもので、使用流体は普通空気です。悪いものでないため軸受の交換と点検整備を確実に実施すれば、効率は別にして半永久的に持つ。

鈴木：

耐用年数は制度上短いですが、壊れていないものを新しくするのは装置劣化が少なく難しいのが現状ではないか。

その背景として以前は標準法の場合、酸素溶解効率が低い状況でBOD除去当たり 40Nm^3 くらいで計画され、窒素除去を考慮する場合は酸素溶解効率を高くして $70\sim 80\text{m}^3$ で計画されているが、処理の高度化、

人口見通しの変化などによる計画見直しの時に送風機は調子がいいのでコスト削減からそのままにして散気装置だけ換え、送風機は従来と同様のインレット弁制御、台数制御と放風で対処しようということになってしまふ。

清水：

OD法のエアレーション装置は以前結構壊れたが

鈴木：

比較的壊れなかったのが縦軸型。横型ローターは金属疲労などによるもので、以前は電動機から、じか引きなし減速機でローターをまわしていたが、減速機なし電動機が壊れてしまった。

そこでトルクを急げないようインバータ電動機を入れるようにした。またシャフトがステンレスの溶接構造のため溶接部での金属疲労が原因で折れたがフランジ接合にしてねじれの分散を図るようにした。これで折れる頻度が大幅に減った。

清水：

かつて従事した団地のエアレーション装置は鋼製でベアリング交換はあったものの長らく問題なく運転されていたので材質の問題もあるのでは。

鈴木：

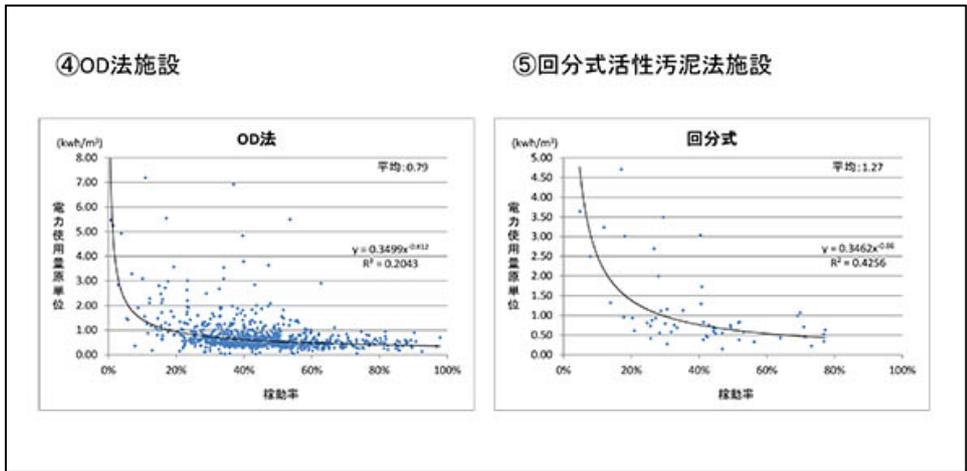
我が国では古い方の日光市の施設も長期間適切な管理のもと問題なく動いている。池幅は6mであるがローター幅は2mくらいに絞ってあった。昔の方は、装置の特徴を生かす工夫と長く利用する対策がしっかりやれていた。

質疑：

鈴木講師の22ページのグラフでOD法の稼働率40~50%くらいを見るとばらつきが非常に大きい。この原因は

鈴木：

例えば池が二つあって、水量が少ないときに一つに集約しないで、各池で負荷を少なくして運転するなどの



ことがある。急激な人口減少、大幅な節水の実施や工場移転などで急に水量が変わる場合もある。

質疑：

多くの処理場に関わっている下水道事業団では事務所単位でアフターケアを行うことも大事でないか

鈴木：

従来から、流入水量や施設の状態を見ながら集約化を勧めたり、間欠運転を徹底して行うなど、指導・助言をしてきた。ただ、この頃の状態で見ていると、それなりの管理で十分で、省エネや放流水の高度化などに対しては、無理をしないように運転されている様である。以前は事業体の中に技術的知識のある経験者が結構いたが、引退され、若い人に知識が普及していない、あるいは変化を好まないことも影響しているのではないか。

質疑：

最近外国の技術援助などに従事している。日本の優良技術を持っていけば、日本企業が有利になる形の事業が進められることがあるが、送風機などについて効率の限界にあるというが、いつ技術革新が進んだのか、また外国に比べて誇れる主張ができるのか

坂本：

50年前では60～70%くらいの熱効率のブロワが殆どであった。その後徐々に改善されてきた。20～30年前事業団の設計基準ができた頃、効率の向上も競い合うようになってきた。設計基準は当時7社平均よりちょっと上くらいで設定され、その機械が現在動いている。その後20～30年経ち、今そのブロアの更新も行われていて、これは使えなくなったというより、省エネが進むなどのことによる。標準効率のブロワを更新するときは2～4%以上、もっと古いものだと10%の効率向上が見込める。効率向上は10年くらい前に出てきた流れ解析の技術向上によるもので、これは日本だけでなく世界の主流になっている。CFD解析も欧州のメーカーに外注したりしている。

質疑：

ブロワ技術が行きついたと言うことは、あとシステムとか散気装置などで日本の技術の特徴付けて行く必要があるだろう、ということですね。

清水：

多段ブロアができたのは何時頃か

坂本：

多段ブロワは1920年頃、単段は1968年で、これは欧州から来たもの。

鈴木：

元々は、狭い空間を利用する送風機を多用する潜水艦などの造船の技術から来ていると聞いている。

鈴木：

インバータモーターで高速回転する羽根車の軸浮上式の単段ブロワは高調波対策が必要になるが、対策の完壁化はなかなか難しいのが現状である。日本ではこの対策がないと周辺の工場などに悪影響を及ぼすので、事業団標準仕様ではある程度この対策ができると認められる製造会社のものを載せている。頭脳の部分と羽根車の距離が10m程度を超えない製造会社のものが多いのが数年前の実態である。外国では、日本のようにラックに載せて動力線と制御ケーブルと一緒にきれいに配線をしていないのでこの問題が起こりにくい。外国でうまくいっているという日本でもうまく動くとは限らないので注意が必要である。

高調波問題で顕著な例であるが、中部空港開港の頃、常滑の処理場が、ある日突然、ドアはかかってに開く、電話はどンドン鳴る、トイレの水が突然流れるという事態になり、試運転をはじめたのに気がついて中部空港に問い合わせたところ2～3日でおさまった。この事例は、外部から処理場に電氣的なノイズが入ってきたものであるが、電動機出力が大きくなると、その逆もありうることも予想される。高調波は地域の大きな問題になり得るので処理場では、この点で問題を起こさないものでないと使えない。

最近では高調波対策が施こされたケーブルも使われていて、以前よりはリスクが軽減されているが、この頃、改築・更新がなされる処理場は20～30年近く前に建設されたものが多く、まだまだリスクが高いと思われるので気を付ける必要がある。

清水：

以前海外に行ったとき機械曝気ばかりであった。効率はどうか

鈴木：

詳細は不明だが、最近の超微細気泡のものに比べ若干劣るかもしれないが、それなりに高いと思われる。池数が少なければ水中に可動部がなく目視で稼働確認できることの利点があるのでそうなっているのだろうか

質疑：

ブロワが良くできていて長持ちしているので、散気装置の更新の際、取り付け位置を上にするにより性能特性曲線が変わって、より低速回転でも運転が可能になり、こういうことはどうだろうか

坂本：

例えば散気装置を2 m上げればその分必要圧力が下がるので動力は少なくなる。

石田：

散気装置を上を持って行った場合、散気効率が落ちるので必ずしも省エネにはならないことがある。

質疑：

集落排水施設では維持管理は地元の管理会社が主に行っている。省エネを行う場合維持管理担当者になんらかのインセンティブを与える必要があるのではないか。

鈴木：

いくつかの例ではこういう難しいことをやって維持管理会社にメリットがあるのかと言われたことがある。電力消費が減って自治体が楽になるといっても、事業者からこういう運転をするように言われたらやるがそれ以上のことはしたくない。前年度に比べ電力消費が減った場合その半分を維持管理会社に戻すようなことをすれば少しずつ変わって行くだろう。

参加者発言：

今包括委託をしている市町村ではそのようなことをしている例が増えている。

質疑：

集落排水でも包括委託のような形をとっているところも少しあるが。

鈴木：

実質はあまり進んでいないのではないか。

質疑：

以前下水道施設業協会で電力消費を調べた際、返送汚泥ポンプで7%くらいの高い電力消費をしていた。返送汚泥ポンプ設計上大きな能力となるが実運転では少なく、結局抵抗をかけて相当落としていた。対策として小さな返送ポンプの設置があったが、よく考えると返送ポンプは間欠運転が可能で、現実に下水処理場で返送汚泥ポンプの間欠運転は行われているのか。

鈴木：

実施されているところは多いのでは。あと汚泥ポンプは夾雑物のことがあるので効率のことよりも詰まらず運転する主旨でポンプ形式等を選定する。除塵機でより細かいものを除去してもらえば効率のいい汚泥ポンプの使用が考えられる。最近は遠心型でなく容積型のポンプも入るようになってきているので昔よりは良くなっていると思われる。

清水：

新活性汚泥法等というような新しい処理法はどうだろうか

石田：

食品排水などでうまくいっても、公共下水の場合は管渠の中でいろいろな菌が繁殖しており、また流入してくるものの性質が違うので難しいことが多い。公共下水道ではこのような状況変化に対応すべく余裕をもった設計となっている。

質疑：

石田講師資料24ページのアンモニア省エネ運転で電力節減が図れた実例が示されているが、自治体から省エネ運転の企画などこういうような今後の仕事になる依頼は来ているか。

石田：

ある県の下水道公社と共同研究を行っている。いろいろな省エネ機器を入れたりしているが過去15年くら

い電力消費は変わっていない。今かなり細かいところまで入り込んで調べている。他の所も似たような感じではないかと思われるので、今後広げて行きたい。設計会社や維持管理会社にそういうところの相談相手になってもらおうと、世の中はもっと良くなる。

清水：

本日は大変ありがとうございました。

参考資料

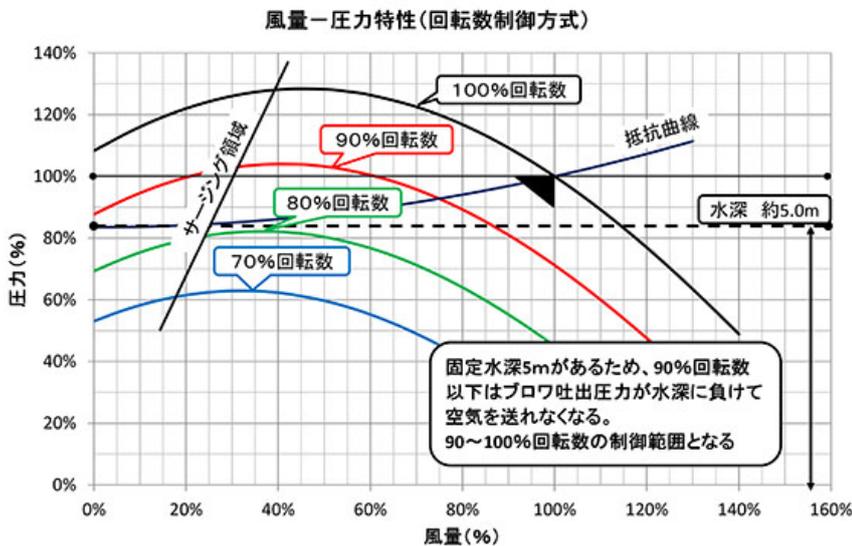
参考－１ 高調波

高調波とは、「交流の中に含まれている、基本波の整数倍の周波数をもつ正弦波」と定義されている電流のひずみで、電路や接続機器に悪影響を及ぼす性質があります。特に、基本波の3倍の周波数を第3高調波、5倍の周波数を第5高調波と言い、この二つを重点的に確認し、抑制することが高調波対策として有効である。

参考－２ 多段ブロアで風量を減らしたときの風量当たりの電力消費変化

坂本講師にお願いして作成していただいた。一部 21 世紀水倶楽部で追加

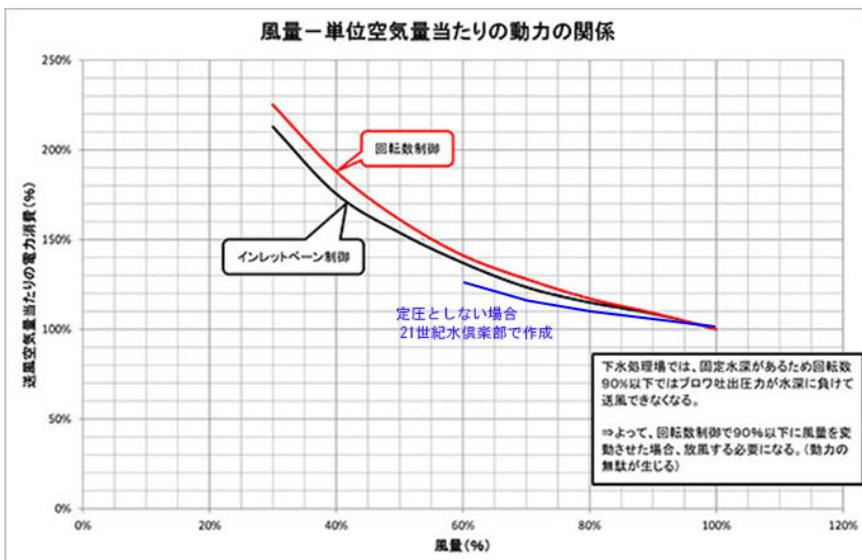
1. 風量と圧力特性図



2. 電力消費グラフ

上のグラフから回転数を減らすと圧力が下がるが、多段ブロアでは圧力変動が好ましくないため、負荷をかけて一定圧力を保持するように運転している。このため回転数を減らしても省エネにならない。

仮に圧力低下を容認した場合の風量当たりの電力は圧力低下分だけ下がる。



3. 計算表

150m³/min × 2/68kPaで試算

【インレットベーン制御の時】

風量(%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
風量(m ³ /min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
圧力(kPa)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
部分負荷(%)				47%	57%	65%	73%	81%	87%	92%	100%
ブロウ効率(%)				34%	41%	47%	53%	58%	63%	66.2%	72%
軸動力(kW)				155.1	170.6	187.0	199.8	210.0	223.5	237.8	243.1
送風空気量当たりの電力消費(kW/m ³ /min)				3.45	2.84	2.49	2.22	2.00	1.86	1.76	1.62
送風空気量当たりの電力消費(%)				213%	175%	154%	137%	123%	115%	109%	100%

【回転数制御の時】 インレットベーンなどの負荷をかけ定圧を保持する

風量比(%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
風量(m ³ /min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
圧力(kPa)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
部分負荷(%)				-	-	-	-	-	-	-	-
ブロウ効率(%)				32%	38%	45%	51%	56%	62%	66%	72%
軸動力(kW)				164.1	182.6	195.9	205.9	217.8	227.6	238.6	243.1
送風空気量当たりの電力消費(kW/m ³ /min)				3.65	3.04	2.61	2.29	2.07	1.90	1.77	1.62
送風空気量当たりの電力消費(%)				225%	188%	161%	141%	128%	117%	109%	100%

回転数制御で定圧としない場合 この表は21世紀水倶楽部が作成
 ブロウは定圧制御が一般的であるが、回転数を落としたときに負荷をかけないで圧力が下がった状態で運転した場合

回転数(%)	85%	92%	100%
風量比	60%	80%	100%
風量(m ³ /min)	90	120	150
ブロウ効率	51%	62%	72%
圧力(kPa)	63	66	70
軸動力(kW)	185	214	243.1
送風空気量当たりの電力消費(kW/m ³ /min)	2.05	1.77	1.62
送風空気量当たりの電力消費(%)	126%	110%	100%

軸動力算出式 $L=Q \times P / (6 \times 10^4 \times \eta)$ Q:風量(m³/min) P:圧力(Pa) η :全圧効率(小数点)

参考-3 水深と酸素移動効率

メンブレンパネル散気装置

槽幅8m未満の場合

散気水深が5mで24%、4mで21%、3mで15%

下水道新技術推進機構 技術マニュアルより 2004年3月