UDC 628.356.2

軸流ポンプによるフロート式機械曝気装置 富士エアレータの開発

Development of Floating Type Mechanical Aerater "Fuji Aerater" by Axial-flow Pump

川　田　良　吉*
Ryokichi Kawada

I. まえがき

大気汚染，ごみおよび振動・騒音など各種公害と同様に水質汚濁による公害の社会的経済的背景は周知のとおりである．水質汚濁防止に関して，当社では上下水道における計測，制御および各種機器において実績があるが，その一環として下水および産業廃水処理過程の曝気処理に用いられる富士エアレータを開発した．本稿では富士エアレータとそれの廃水処理への適用の問題について明らかにする。

エアレータの方式には後述するように散気式および機械式表面曝気方式などがあり前者が多用されているが，ちかごろ後者の変形である軸流ポンプによるフロート式機械曝気装置がこの分野の注目をあびている．その理由は，酸素供給力の改善がなされ，効率の良い軸流ポンプによって循環水量を多くして水槽の表面のみならず全体を充分かくはん循環できるようになり，水位の変動に応じられ，負荷に応じて設置台数の増減がしやすく，散気式のように目づまりがなく，配管ブロウ室などの設備費を低減できるなど数々の利点があるからである．富士エアレータはこの方式によるものであり活性汚泥法による廃水処理への利用のほか，養魚・養鰻池への利用が望まれている。

II. 富士エアレータ

1. 構造と性能

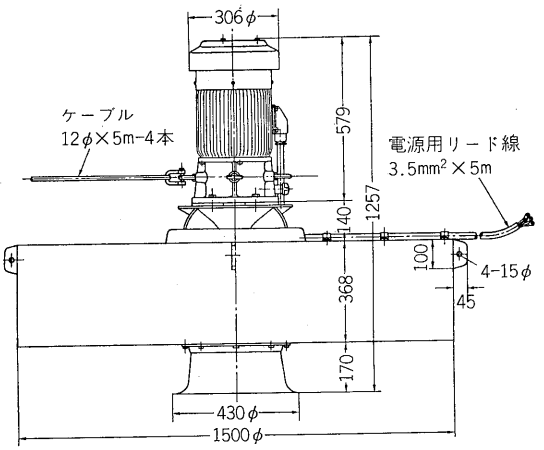
富士エアレータの主要部は，フロート，電動機および軸流ポンプからなり，ドーナッツ形のフロートの中心に電動機およびこれに直結された軸流ポンプを一体に構成してある。

電動機は全閉外扇屋外形電動機であり，散水による水滴はもちろん，雨天にも使用できる構造となっている．ポンプ部は羽根車，ディフューザおよび吹込管からなりポンプ羽根車と電動機との連結はカップリングによらず共通軸によって直結されている．フロートは鋼板製で，内部に硬質発泡ウレタンホームを充てんし，装置全体はフロートによって水面に浮かべて運転使用する．このため電動機には係留用アイボルトがあり，ケーブルで係留する（構造について特許，実用新案申請中)。

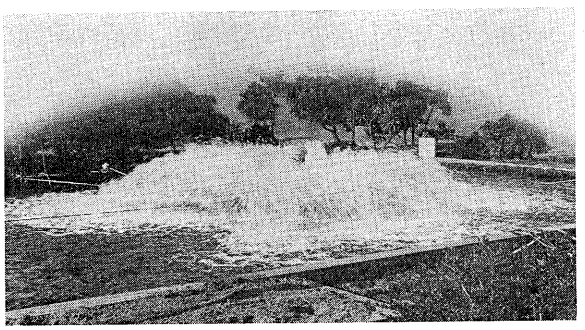
富士エアレータの外形寸法図および運転状況を第1図および第2図に示す．また標準仕様を第1表に示す。

2. 性能試験結果

エアレータの性能は究極的には水中への酸素の溶解量の多少とおよびこれを電動機の軸動力で除した値とで評



第1図　外形寸法図VKX55A
Fig. 1. Outline dimensions of VKX 55 A



第2図　富士エアレータの運転状況
Fig. 2. Running view of Fuji Aerater

* 三重工場設計部

第1表　富士エアレータの標準仕様

Table 1. Standard specifications of Fuji Aerater

形式		VKX55A
特性	酸素化容量	9 kg•O_2/h
	酸素化効率	2 kg•O_2/kW•h
	循環水量	870 m³/h(14.5 m³/min)
	散水直径	6m
	軸動力	4.5kW
電動機	形式	MLA1135Z−62B0A
	出力	5.5kW
	極数	6極
	電圧	200V
	周波数	50Hz
	電流	23.5A
	回転速度	945rpm
	規格	JEC-37
	定格	連続
	絶縁	耐湿絶縁E種

注：1)　酸素化容量，酸素化効率の値は，20℃の清水における亜硫酸ソーダ脱酸法による試験成績値である。

2)　循環水量，散水直径，軸動力の値は，20℃の清水における値である。

3)　水深は 0.8m 以上で適用され，深さに応じ吸込管を取り付けることにより機能を満足する。

価される．そしてそれぞれを酸素移動量（または酸素化容量）および酸素移動効率（または酸素化効率）と呼ぶ．試験では種々の羽根車とディフューザの組合せによって実際に水槽にて運転し性能が測定された．測定結果を第2表に示す。

測定結果を吟味すると，羽根車Cの場合もAの場合もディフューザの吐出口開度が約50mm近辺で，ポンプの軸動力が大きくなるにもかかわらず酸素化容量がそれを上まわって大きいために，酸素化効率は最大になる．これは吐出口を絞ることにより循環水量が減少するが，それ以上に吐出水の動圧が増加して水の飛散距離，滞空時間および水面へ落下衝突力が増すため，酸素移動が増加するものと考えられる．この事情を第3図のポンプ性能曲線図で見ると，ポンプ効率 η_P が最大の付近で酸素化効率も最大となるという重要な結果が得られる．なおこの図で η_{Pmax} は63〜69%であるが，これは揚程より吸込口および吐出口の曲り損失を差し引いて計算した値であり，水力学的にはこの損失はポンプの仕事であるので損失を差し引かない揚程で η_P を計算すべきで，いわばこの正味の η_{Pmax} はAおよびCのポンプでいずれも81%となりきわめて性能の良いポンプである。

エアレータには後述するようにブロワによる散気式があり，目づまりなど種々の欠点があるにもかかわらず活性汚泥法に広く普及している理由の一つに，酸素化効率が従来の機械式エアレータより良い点があげられる．

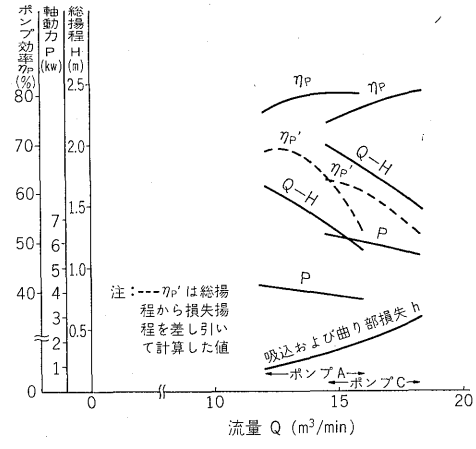
第2表　酸素化性能測定結果

Table 2. Tested results oxygen transfer

ポンプの種類	吐出口開度 (mm)	酸素化容量 (kg•O_2/h)	酸素化効率 (kg•O_2/kW•h)	電動機軸動力 (kW)	散水径 (m)
A	125	4.73	1.37	3.45	4.5
A	78	5.91	1.49	3.96	5.0
A	47	6.49	1.52	4.28	6.0
C	125	10.93	1.97	5.55	6.0
C	78	12.65	2.09	6.05	6.5
C	47	13.30	2.15	6.20	6.8

注1　酸素化性能の値は水温 20℃ の時の値でDOメータおよび JIS K 0101 のウインクラ法によった。

2　水槽容積は約 112m³ で酸素化性能は水槽の各2点の値の平均値。



第3図　ポンプ特性曲線図

Fig. 3. Characteristis of pump A and pump C

富士エアレータの酸素化効率は，前述のように 2.0 kg O_2/kWh を上まわる性能で，散気式に匹敵するものである．この結果はポンプ効率を高めることという当然なことのほかに，吐出口の開度による流量の減少と動圧の増加との関係の最適設計の良否に負うところが多い．なお廃水中で実運転の場合は清水中でのテストより軸動力が増加すると考えられるので，清水中の軸動力は電動機定格出力のほぼ80%の値になるようにすべきであり，前記の標準仕様はテスト結果に基づきそのように修正されている。

III.　富士エアレータの廃水処理への適用

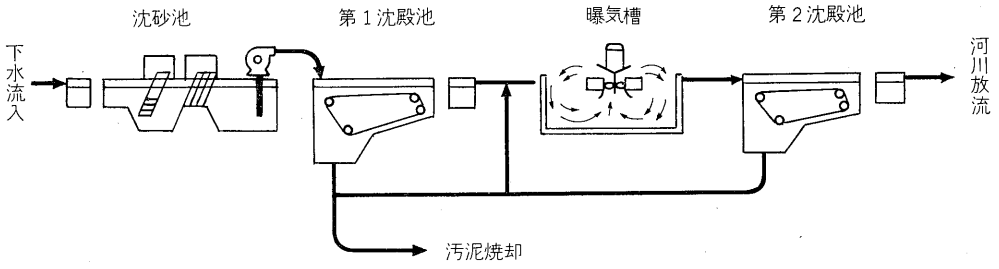
エアレータの機能は端的にいえば水中に酸素を溶解補給することであるが，ここでは主としてエアレータの廃水処理とのかかわりあいについて，できるだけ定量的に扱ってみる。

1.　産業廃水処理のプロセスと曝気装置の種類

廃水処理における生物化学的処理方法は酸素をあまり必要としない嫌気性処理と，その反対の好気性処理に大別され，後者には活性汚泥法と散水ろ床法とがある。

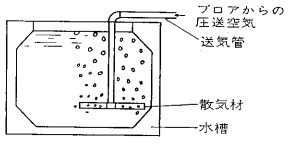
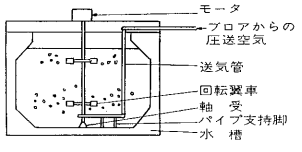
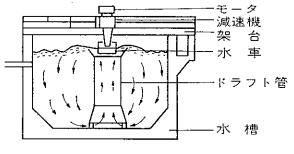
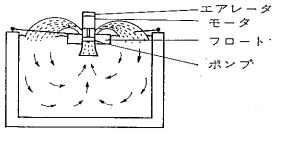
活性汚泥法による曝気処理は廃水処理の中で重要なプロセスの一つで，好気性微生物の増殖により廃水中の有機物質を分解安定化後沈殿捕集する．廃水処理の一つとして都市の下水処理の一般的な例では，下水流入→沈砂池→第1沈殿池→曝気槽→第2沈殿池→消毒→河川放流となる．この曝気槽にはその心臓部ともいうべき曝気装置が設置されるのである．小規模下水処理では全体がコンパクトにまとめられる。

曝気の方法には水車状のものを水面で回転させ水しぶきを上げる固定式機械曝気装置，高圧ブロワにより水深3～4 m 程度の多数の細孔から気泡を生成浮上させる散気式曝気装置などがある．散気式曝気装置は下水処理

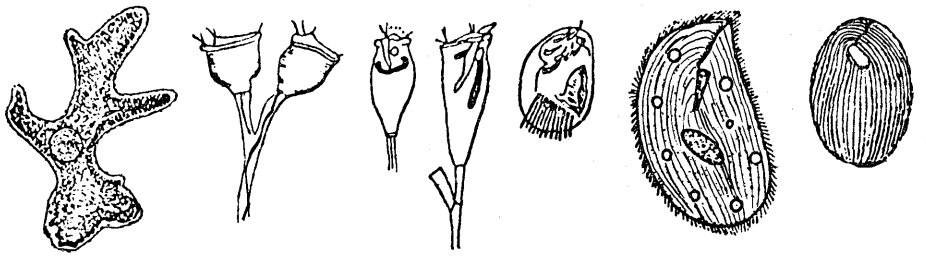


第4図
下水処理プロセスのフローチャートの一例

Fig. 4.
Flowchart of sewage treatment process

種　類	原　理	具　体　例	比　較・得　失
散気式曝気装置	液中に設けた散気器に圧力空気を供給し，空気を液中に気泡として送入することにより曝気する．基本的には，多孔質の散気材（サラン・ナイロン等で包んだ管）から小さな気泡を発生する装置と大きなオリフイスまたは水理的せん断箱を用いて比較的粗大な気泡を生成する装置の2種類がある。		• コンプレッサまたはブロア，送気配管，散気器等を要し設備費が高い • コンプレッサまたはブロア室を要し，据付面積が大きい • ブロア，モータ等の騒音が大きく二次公害の恐れがある • 散気器の孔，エアフィルタが運転中つまり，その清掃が困難で費用がかかる • 液面変化によって性能が変化する • 曝気効果は比較的良く，攪拌性能がある
タービン式曝気装置	散気式曝気装置の一種で，圧縮空気を比較的大きな径の孔をもつ散気器から圧送し，散気器から出る大きな気泡を回転翼車のせん断作用とポンプ作用とによって槽内に拡散させる。		• 散気器のつまりは少ない • 水槽形状は自由で制限はない • そのほか散気式曝気装置と同じ （酸素化効率 0.97～1.76kg O_2/kW・h）
機械式曝気装置	液面位置に設けた翼車を回転することにより，槽内液を液面上に散布し曝気する。 槽内液の循環を良くするために翼車の下方にドラフト管を設けたものと翼車のみでドラフト管のないものとがある。		• 散気器，エアフィルタがなく，運転信頼性は高い • 構造が複雑で設備費が高い • 電力消費が大きく維持費が高い （酸素化効率が低い 0.7～1.2kg O_2/kW・h） • 散気式と共に最も普遍的に使用され歴史も長い
軸流ポンプ フロート式 機械曝気装置	ポンプと電動機をフロートによって液面に浮べ槽内液をポンプによって空中および水面に散布曝気する。		• ブロア，配管，散気器等を必要とせず設備費が安い．また運転後の管理，補修も容易である • 曝気槽内に設置できるので余分の据付面積を必要としない．また，据付けも容易である • 水面変化があっても性能が変らない • BOD負荷に応じて設置（または運転）台数を容易に変更できる • 曝気と攪拌の両作用が効果的に行なわれる

第5図　汚水処理用曝気装置の種類とその得失
Fig. 5.　Comparision of every aerater



第6図
活性汚泥法における微生物群
Fig. 6.
Microarganisms in activated sludge process

などに広く使われているが，最近機械曝気装置の一つで，液体力学的にも効率の良いとされている軸流ポンプを利用したフロート式エアレータが多用される傾向にある．これは酸素化効率の改善がなされ，多量の循環水量により曝気槽全体のかくはん循環が可能になり，BOD負荷に応じて水深および設置（または運転）台数を容易に変更できること，配管，ブロワ室を必要としないために設備費が安いなどの利点で注目をあびている．第5図にこれらの比較をのせる。

2. 活性汚泥法と微生物

活性汚泥法で水の浄化の役割をはたすものは細菌類，菌類，微小藻類など顕微鏡的大きさの微生物である．廃水中の有機物質を微生物工学一般では基質というがこれらの有機物を含む汚水を数時間曝気すると好気性微生物が増殖し，またこの微生物に有機物が吸着(凝集という)して，初めは濁っていたものが次第に1mmから数mmの大きさの柔らかい塊り（フロックという）となる．このフロックを含む水を沈殿池で放置すればすきとおった上澄液が得られ，下部にはフロックが沈降して泥状となる．この汚泥の1部を次の新しい汚水に混合して曝気すれば，塊状汚泥となっている微生物群は再び汚水中の有機物を吸着消費して汚泥は増加する。

これを繰返して行なうシステムが活性汚泥法であり，汚泥を活性汚泥，沈殿池より曝気槽へ戻る汚泥を返送汚泥という。

この場合，微生物は水中の有機物を取込んで生存，増殖するため水中の有機物は減少してゆく．この過程で取込まれた有機物の約半分は分解され，このときでるエネルギを使ってあとの半分の有機物が微生物体内に合成される．最終的には，外部へ水・炭酸ガスのような安定した物質を放出する．活性汚泥法では通常原水中の有機物の75～95%を除去する。

微生物の種類は活性汚泥の状態によって変り，浄化力の高い活性汚泥に現われる微生物群と，そうでない状態の活性汚泥に生棲する微生物群とでは異なり，よい状態の活性汚泥に現われるものを活性汚泥性生物，その反対の場合のものを非活性汚泥性生物，その中間のものを中間活性汚泥性生物といっている．これらを第6図に示す。

3. 酸素化容量と廃水のBODとの関係

活性汚泥法では廃水中の有機物を好気性微生物で分解処理するために廃水中にたえず充分な酸素を補給せねばならない．清水中での実測では4.5kW のエアレータで1時間に約 9kg の酸素が溶け込む性能を有する．この値を軸動力で除して 2.0 kgO_2/kWh を酸素移動効率（または酸素化効率）と呼ぶ．この値は清水中の溶存酸素（以下略してDO. Desolved Oxygen）が常に零の場合であってDOが濃くなれば必然的に低下する．清水の飽和DOは大気圧下 20℃ のとき約 9.02ppm（1ppm は重量比で百万分の1の濃度を表す）であるがこの時はエアレータを運転しても酸素化効率は0となる．さて実際の廃水処理中では定常的に低い値ではあるがDOが存在しまた清水と廃水との物理的差などの理由で酸素化効率は約1.0 kgO_2/kWh として廃水処理の負荷計算を行なうのが一般的である。

ちなみに人間1人1日のし尿は約1kg/人・日でその有機質濃度は10,000ppm 程度であり，BOD（生物化学的酸素要求量 Biochemical Oxygen Demand）換言すればエアレータで補給する必要のある酸素量は0.01kg O_2/人・日であるということになる．し尿以外の廃棄有機物があるため団地など一定地域の下水処理では0.05kg O_2/人・日程度になる．このことは，たとえば人口1万人の下水処理には20kWのエアレータを必要とすることになる．1億人で20万という数字になる．日本の全家畜のし尿は同程度にあるといわれ，そのほか一般産業廃水処理のほとんどがそのプロセスの中に活性汚泥法を必要とする。

4. 曝気槽容量

先にも述べたように活性汚泥法は，水中における微生物，食物(有機物)および酸素の生物学的変化である。有機物と酸素の定量的な関係はBODと酸素化容量とで結びつけられた．一方微生物と食物の関係も望ましい処理過程では何らかの結びつきがあるはずである．微生物の量は曝気槽の中で活性汚泥の固形分の量 MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid) として表され，その濃度を MLSS mg/l で表す．そして食物/微生物量の比は汚泥負荷（BOD kg/MLSS kg/日）で結びつけられる。

第3表 活性汚泥法の種類と諸元
Table 3. Dimensions of activated sludge process

1)

	BOD容積負荷 (kg/m³/日)	汚泥負荷 (kgBOD/kgMSS/日)	MLSS (mg/l)	BOD除去率 (%)
従来法	0.5	0.2～0.5	1,000～2,500	95
ステップ・エアレーション	0.8	〃	1,500～4,000	90～95
接触安定法	1.1	0.5	2,000	85～90
高速エアレーション	1.6	2～5	300～800	60～75
ラピッド・ブロック	2.4	0.5～1.0	2,500～5,000	90～95

2)

	BOD容積負荷 (kg/m³/日)	汚泥負荷 (kgBOD/kgMLSS/日)	MLSS (mg/l)	曝気時間
全酸化高級処理	0.15～0.5	0.08以下	3,000～7,000	24～72
低負荷高級処理	0.15～1.2	0.08～0.3	2,000～5,000	5～10
高負荷高級処理	0.3 ～3.6	0.3 ～0.8	1,000～5,000	1～3
中級処理	3.6 以上	0.8 以上	4,000以上	0.5 以上

活性汚泥法にはいろいろな変形があるが，その方式と有機物濃度および活性汚泥濃度の間には望ましい関係があり，パイロットプラントまたは経験的に求められるものである．活性汚泥法の諸変形での負荷のとり方の代表例を第3表に示す．水槽容積は，MLSS mg/l および汚泥負荷BOD/kgMLSSkg/日を選択すれば，1日当たりの総流入BOD量より算出することができる．たとえばNLSS濃度2,000 mg/l(=2,000 ppm)汚泥負荷0.4kgBOD/kgMLSS/日とすればBOD500ppmの廃水が3,000㎥/日流入する曝気槽容積VはBODの1日総量が1,500kgBOD/日となるから，

$$V=\frac{1,500\times10^6}{2,000\times0.4}=1,875,000l=1,875\,\text{m}^3$$

すなわち，曝気槽容積は1,875㎥となる。

汚泥負荷とMLSS濃度より水槽容量を決定する方法は比較的新しいものであるが，容積負荷を用いる方法も併用されている．すなわち，1日当たりの曝気槽に投入する総BOD量kgを曝気槽容積で除したもので，前記の例では0.8kgBOD/㎥/日となる．ちなみに5.5kWの富士エアレータを適用すると，実動酸素化容量を4.5kg O_2/h としてBOD総量より14台のエアレータを必要とする．槽の水深を3.5mとすると，1台当たりのエアレータの受持つ面積は6.2m×6.2mとなり，散水直径6mと比較して適切な値となる。

IV. あとがき

5.5kWの富士エアレータの開発にあたり，ポンプ性能と酸素化性能の実測を通じて損失揚程を差し引いた揚程より算出したポンプ効率がほぼ最大になるような吐出口の絞り方のとき，酸素化効率が最大になることを明らかにした．また従来明らかにされている活性汚泥法の種々の理論と実績に対し，最近注目をあびている軸流ポンプによる曝気装置特有の問題を結びつけてこれを明らかにした．今後この方式が廃水処理その他に広く利用されることが望まれる．最後にこの開発について栗田工業株式会社殿より提供された数々のご援助に深く謝意を表する。

参考文献

(1) W.W. Eckenfelder: Industrial Water Pollution Control, 62 (1966)
(2) 日本下水道協会：下水処理場の設計，71（昭46）
(3) 日本産業機械工業会：産業公害防止装置要覧，31（昭47）

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。