食品工場廃水の生物処理技術

Treatment of Wastewater from Food Factory by Activated Sludge Process

有機物を含む廃水の処理には活性汚泥法がよく知られているが，高濃度の有機物を含む廃水は希釈しなければ処理できない。食品工場の廃水には高濃度のものが多くこれらを直接処理するためには酸素を廃水に十分に供給する必要がある。この論文では，深層ばっ気及び気液の接触効率を高めた二つの異なった方式の実績例について紹介する。

日本甜菜製糖株式会社芽室製糖所で稼動中の日立高速ばっ気装置は，酸素移動速度の高い条件で培養した高活性汚泥により，甜菜糖廃水BOD(生物化学的酸素要求量)濃度2,700mg/lを容積負荷12kg・BOD/m^3・dの高負荷処理を行なった。

サッポロビール株式会社名古屋工場で稼動中の深層ばっ気装置は，スタティックエアレータにより酸素利用効率を高め，醸造廃水BOD濃度1,000mg/lを直接処理することに成功した。

加藤邦明*　*Katô Kuniaki*
坂詰　良**　*Sakazume Ryô*
真崎保徳***　*Masaki Yasunori*
川瀬俊二****　*Kawase Shunji*

1 緒　　言

食品工場から排出される廃水の中にはBOD(Biochemical Oxygen Demand)濃度の高いものが多い。これらの処理には微生物の働きを利用した活性汚泥法が多く使用されている。しかし，一般に知られている活性汚泥法は，処理速度が遅いこと，高濃度BOD廃水の直接処理が困難で希釈する必要があること，大容量のプールが必要であることなど欠点がある。すなわち，高濃度BOD廃水を直接処理すれば酸素が不足し，酸素を十分与えるため送入空気量を多くするが，酸素利用効率が低いと効果がない。したがって，希釈してBOD濃度を下げて，ゆっくり処理する方法が採られてきた。酸素をいかに効率よく溶解させるかが処理速度を高める要素になるが，ばっ気槽を深層式にすること，散気装置を工夫して気泡を小さくすることなどが考えられる。前者は酸素分圧が水中の飽和溶存酸素濃度に比例すること，後者は気泡が小さくなれば同じ空気量であっても気液接触面積が大きくなること，これらにより酸素利用効率を高めようとするものである。

以下に，食品廃水処理で酸素移動速度(OTR：Oxygen Transfer Rateと呼ぶ)に着目したスケールアップ法と総括酸素移動容量係数に着目したものを紹介する。

2 甜菜糖廃水処理

この章では日本甜菜製糖株式会社芽室製糖所で稼動中の日立高速ばっ気装置(ハイスマシー)について述べる。

2.1 製糖所廃水処理計画の概要

日本甜菜製糖株式会社芽室製糖所では帯広製糖所の統合合理化により，原料処理能力は5,600t/dとなった。廃水処理については，標準形ばっ気装置2系列があるが，統合に当たり排水系統の見直しが行なわれ，イオン交換樹脂再生廃水及び沪過機洗浄廃水など，高濃度BOD廃水を別途に高負荷形で処理することが効率が良く，経済的であるとの判断から，日立高速ばっ気装置が採用された。これにより，低濃度BODの一般廃水は既存の標準形ばっ気装置で処理し，最終の総排水量は63,000m^3/dであり，そのBOD濃度は90mg/l以下を保持することができるようにした。この廃水処理系統図と高速ばっ気装置による処理条件を**図1**に示す。

2.2 日立高速ばっ気装置(ハイスマシー)

2.2.1 基本技術

日立製作所では培養プラントを過去数多く納入し，その研究過程で，多孔板式ガス攪拌培養装置の開発に成功した。これは数段の多孔板の働きにより酸素利用効率が高く，しかも混合が良いこと，構造が簡単であることなどが特長である。この技術を高濃度BOD廃水処理に応用したものが日立高速ばっ気装置である。培養槽中ではOTRは50～300m molO$_2$/lh と非常に高いが，高速ばっ気装置ではOTRの比較的高い条件下(15～30m molO$_2$/lh)で高活性菌(BOD除去速度，増殖速度及び呼吸活性度のいずれもが高い菌)が培養できることが分かった。更に，この高活性菌はフロック形成の優れた菌の存在及び多種菌の存在など，有機廃水の処理に好適な性質をもっている。

2.2.2 OTRとBOD除去速度

BOD除去速度は一般に次式で示される[1]。

$$-\ln(Lc/Lo)=K_2\cdot Sa\cdot t \quad\cdots\cdots(1)$$

ここに　Lc，Lo，Sa：残存BOD，初期BOD及び平均活性汚泥の濃度(mg/l)

K_2：BOD除去速度定数(1/mg/lh)

t ：時間(h)

異なったOTRの条件下で培養した活性汚泥についてのBOD除去率の測定結果を**図2**に示す。同図からOTR値を高めることによりBOD除去速度を高められることが分かる。すなわち，OTR値とBOD除去速度係数K_2は密接な関係があり，OTRは高速ばっ気槽のスケールアップの要因の一つに組み込める可能性を示している。

* 日本甜菜製糖株式会社芽室製糖所技術第一課　** サッポロビール株式会社名古屋工場機械課　*** 日立製作所笠戸工場
**** 日立プラント建設株式会社

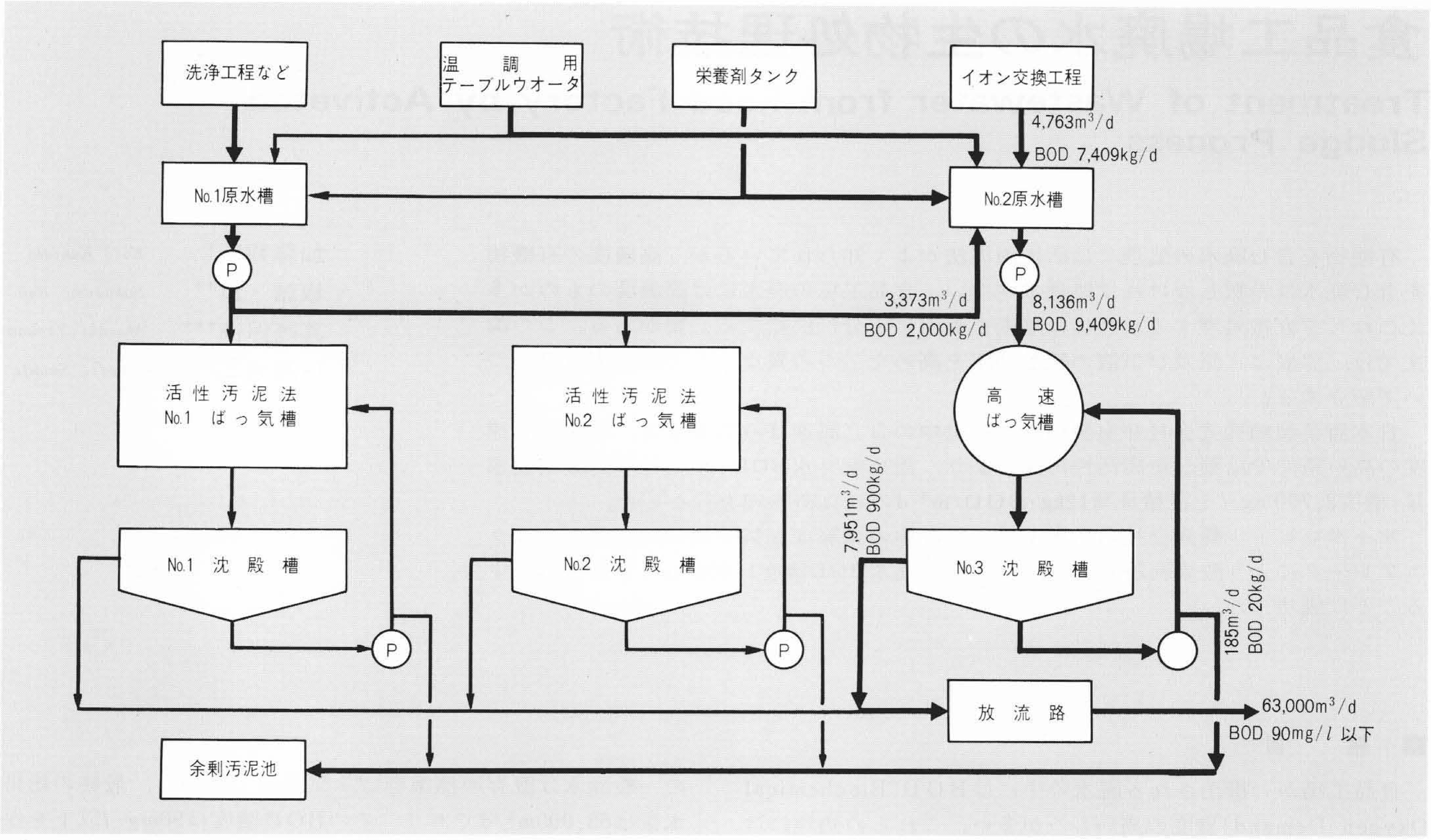


図1 日本甜菜製糖株式会社芽室製糖所廃水処理系統図 高速ばっ気装置のBOD除去率を90%としてバランスを記入しているが，運転結果は95%以上にも達している。

2.2.3 高速ばっ気活性汚泥の構成微生物

高いOTRの条件下で培養した高速ばっ気活性汚泥と標準活性汚泥との比較を**表1**に示し，その顕微鏡写真を**図3**に示す。これから分かるように，高速ばっ気活性汚泥は多くの優れた特長をもち，高濃度BOD廃水を直接，高負荷処理することができる。また，高速ばっ気活性汚泥をホモジナイザで分解し，多種の菌株のうちの10株を分離して，純粋培養を行なって調べたところ，**表2**に示すような性状をしており，A-12-7株を除き細菌であるが，A-12-5株は**図4**に示すように単独で大きなフロックを形成し，同定実験の結果アルカリゲネス属に属するものであった。ほかの菌株もフロック形成能の優れたものが多く，これらの存在が高通気条件下でも，沈降性の良い原因となっている。

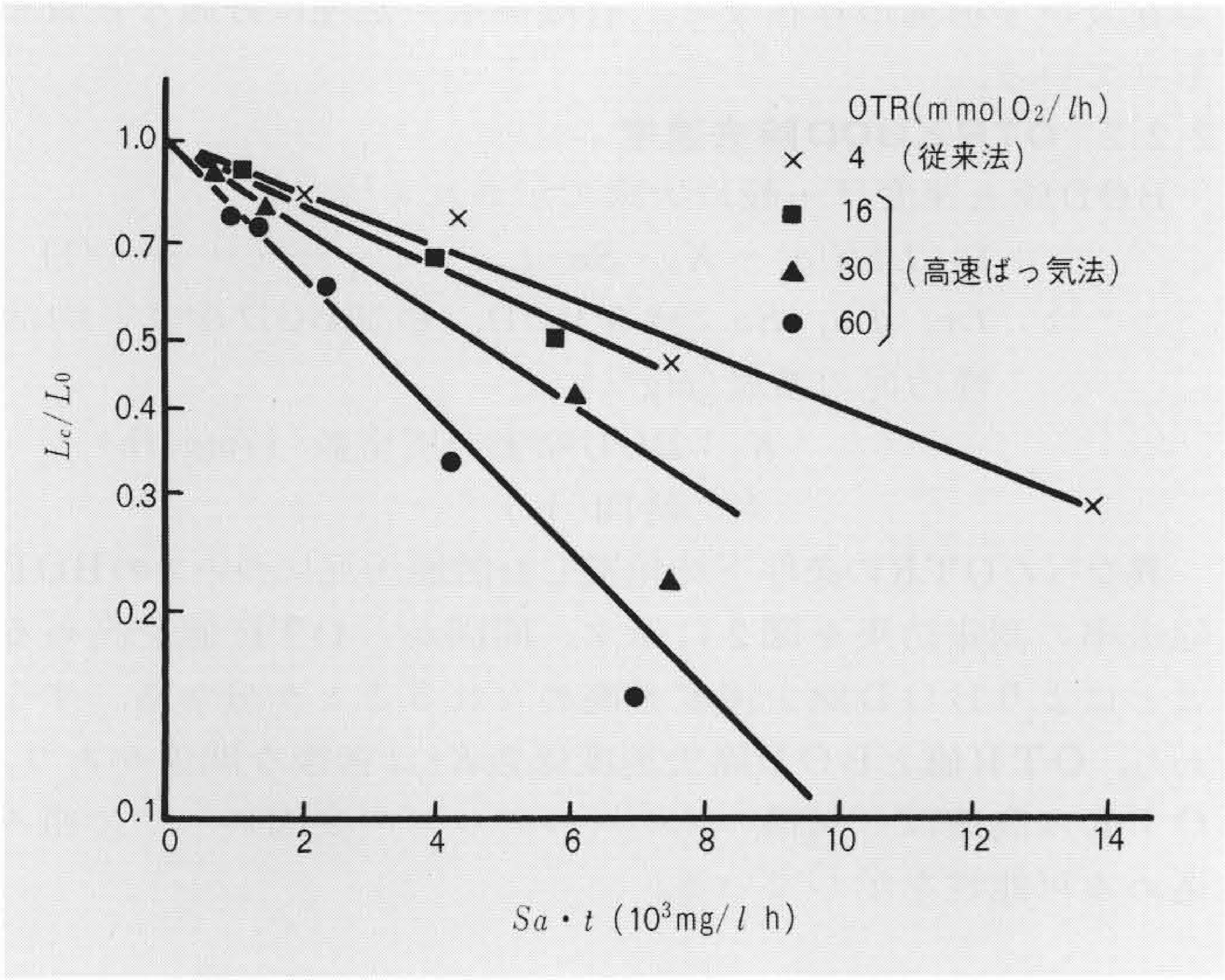


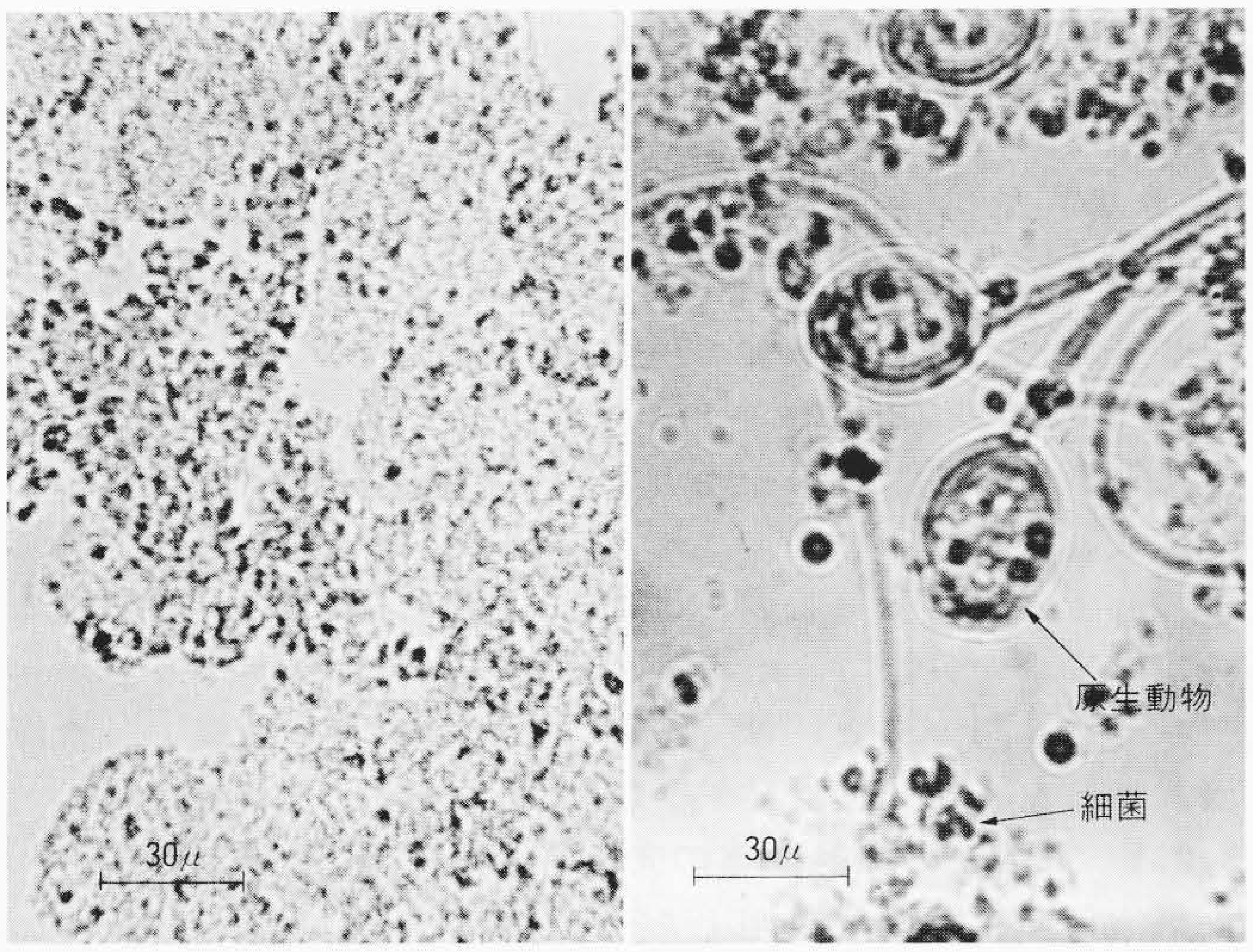
図2 汚泥のBOD除去速度 直線の勾配がBOD除去速度係数K_2となる。*Lc*は残存BOD(mg/l)，*Lo*は初期BOD(mg/l)，*Sa*は平均活性汚泥(mg/l)，*t*は時間(h)である。

2.3 装置の概要

実装置のフローを**図5**に示す。原廃水は高速ばっ気槽の底部に導かれ，槽内を矢印に示すような流動を繰り返し，処理される。同様に底部に吹き込まれた空気は多孔板によって微細な気泡となり，その気泡は上昇する間に合体して大きくなるものも多いが，再度多孔板によって微細化され，OTRを高めることとなる。処理水は高速ばっ気槽の上部から流出し流量が多いので，気泡を同伴する恐れがあるため脱気槽へ送られ脱気された後，分離槽で汚泥を沈降させ放流路へ排出される。**図6**にその完成写真を示す。

表1 高速ばっ気汚泥と標準汚泥の比較 どのデータも高速ばっ気汚泥が高い値を示しており，高活性を示す理由である。

項目	高速ばっ気汚泥	標準法汚泥
微生物形態	ほとんど細菌類	細菌類＋原生動物
増殖速度	80mg/lh (OTR 30) 75mg/lh (OTR 16)	29mg/lh (OTR 4)
酸素利用速度	80～100mg/gh (OTR 30)	20～40mg/gh (OTR 4)
BOD除去速度係数	1.49×10⁻⁴ l/mg/lh (OTR 30)	0.91×10⁻⁴ l/mg/lh (OTR 4)



(a) 高速ばっ気法　　(b) 標準法

図3　活性汚泥顕微鏡写真　高速ばっ気汚泥には原生動物が見られない。

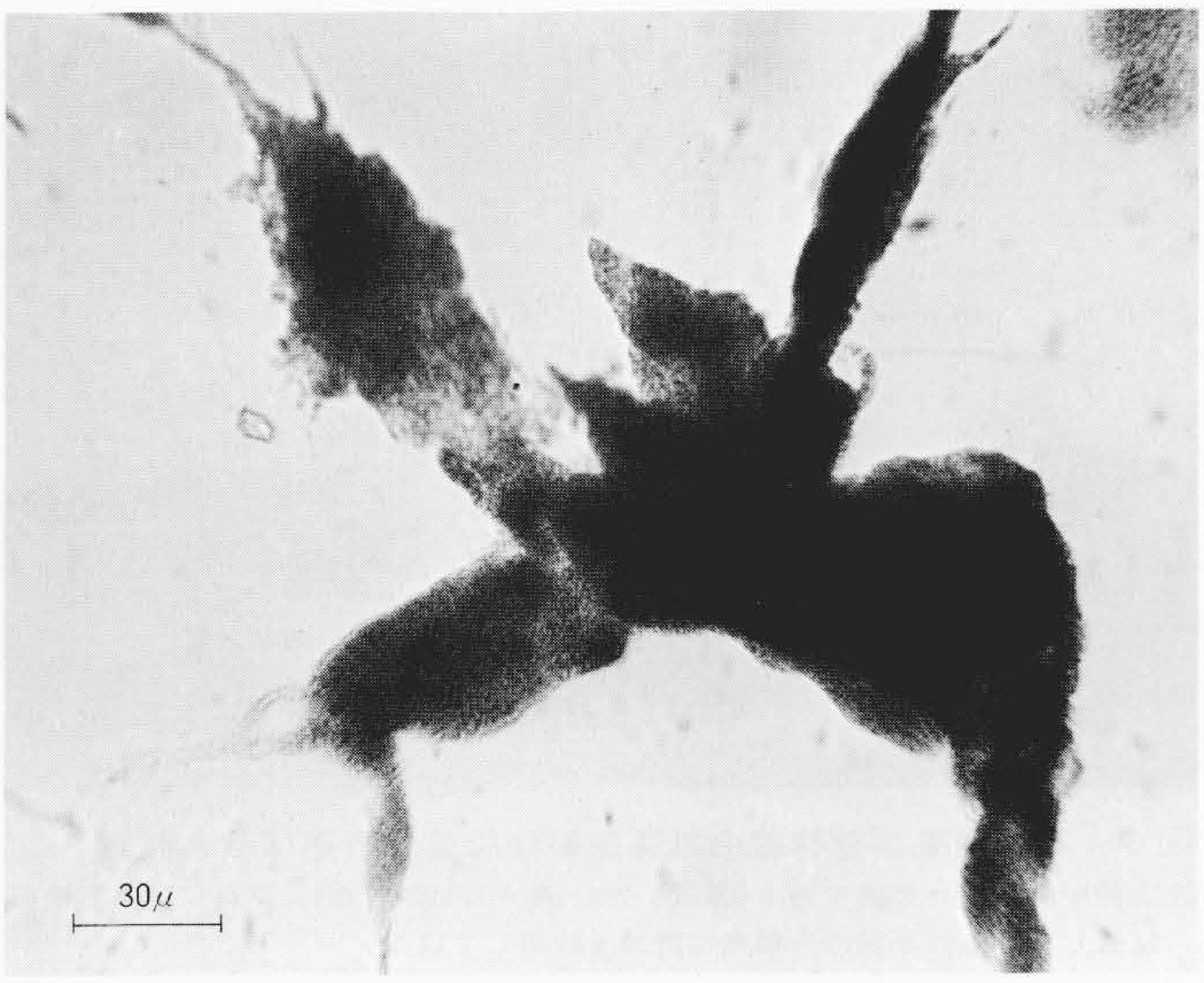


図4　フロック形成菌(A-12-5株)　単独で大きなフロックを形成するため，沈降分離が容易である。A-12-5株はアルカリゲネス属である。

高速ばっ気槽の容積はBOD容積負荷を幾らにするかで決まる。今回の計画では現地の実廃水で小形のテスト装置により十分に処理可能であることを確認した上で，送入空気に必要な消費動力を最少にすること，安定した水質の処理水を得ることのためにBOD容積負荷を6.2kg・BOD/m^3・dとし，有効容積505m^{3}高速ばっ気槽を3基とした。

またブロワは，OTR値が最大30m molO_2/lhを得られるように，90N・m^3/minを4台(1台予備)設置した。

2.4　運転結果

高速ばっ気装置による甜菜糖廃水処理の運転初年度は，順調に推移した。この運転での各種データのうち，平常時の標準負荷運転データと，約20日間にわたって試みられた高負荷運転データの各平均値を**表3**に示す。なお，これらの実運転に先立ち行なわれたOTR値の測定結果は，高負荷運転時に吹き込まれた空気量と同じ1基当たり60N・m^3/minのとき，22.6m molO_2/lhであった。

表2　高速ばっ気汚泥からの分離菌株の性状　A-12-7株以外は，すべて細菌である。A-12-5株は強いフロック形成能をもつ。

分離菌株呼称	製あん廃水でのフロック形成能		斜面培養結果	
	菌の形態	フロック形成能*	色　調	発育程度
A-12-1	短かん菌	＋＋	白	適度
A-12-2	短かん菌	＋＋	白	〃
A-12-3	長かん菌	＋	黄	〃
A-12-4	短かん菌	－	うす茶	〃
A-12-5	かん菌	＋＋＋	うす茶	〃
A-12-6	短かん菌	＋	黄	適度
A-12-7	――	――	白かび	――
A-12-8	かん菌	＋	うす茶	貧弱
A-12-9	球　菌	＋＋	うす黄	適度
A-12-10	かん菌	＋	白	貧弱

注：*フロック形成能　＋＋＋は強，＋＋は中，＋は弱，－はなし

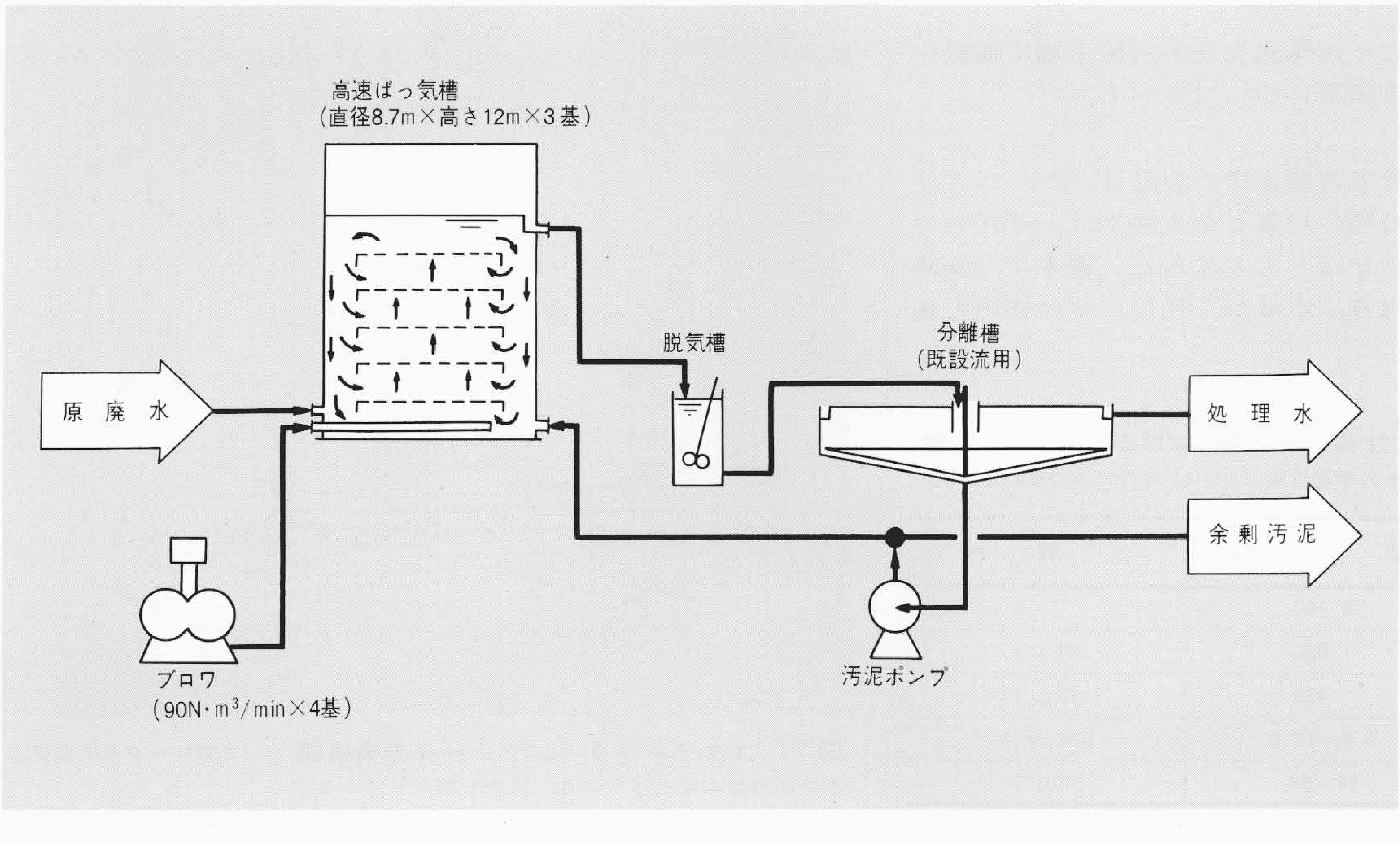


図5　日本甜菜製糖株式会社芽室製糖所高速ばっ気装置フロー　多孔板の孔部は気液が同時に通過するため，微細な気泡ができる。

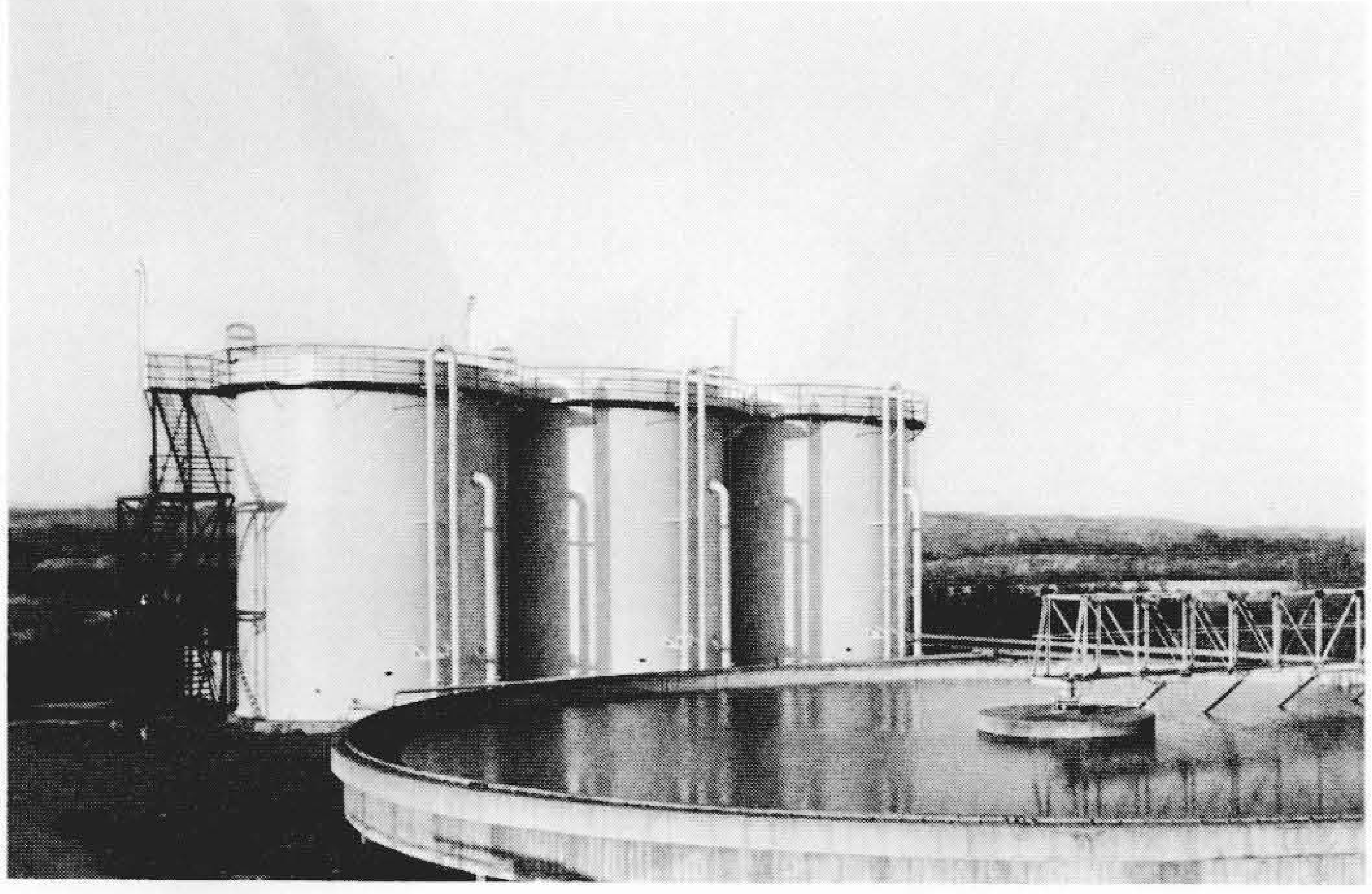


図6 日本甜菜製糖株式会社芽室製糖所日立高速ばっき装置
左上側が高速ばっ気槽である(直径8.7m×高さ12m×3基)。ブロワ室は右手前に位置している。手前の分離槽は既設を流用している。

表3 高速ばっ気装置運転結果 このデータは平均値であるが,運転期間を通して大きな差異はない。

項目		単位	標準負荷平均	高負荷平均
原廃水	流入量	m³/d	8,122	6,725
	BOD濃度	mg/l	1,156	2,697
	SS濃度	mg/l	57	50
	pH	—	5.0	4.9
	水温	°C	21	20
高速ばっ気槽	BOD容積負荷	kg・BOD/m³・d	6.26	12.09
	MLSS	mg/l	5,993	6,026
	DO	mg/l	5.1	4.9
	空気量	m³/min	90	180
処理水	BOD濃度	mg/l	55	129
	SS濃度	mg/l	37	32
	pH	—	7.6	7.5
	BOD除去率	%	95.2	95.2

3 醸造廃水処理

この章では,サッポロビール株式会社名古屋工場で稼動中の深層ばっ気活性汚泥処理装置について述べる。

3.1 工場・廃水処理概要

サッポロビール株式会社名古屋工場の製品は,ビール・清涼飲料水が主体であり,処理の対象となる廃水は,それらの醸造,洗瓶工程からのものがほとんどである。**表4**に計画時の条件を示すが,原水の水質,水量から見て,その処理方式は生物処理が最適と判断される。しかし,同工場は市街地にあるため敷地面積が限定され,廃水処理設備に利用できる面積が狭く,従来の標準形ばっ気方式では与えられた敷地内に収めることが不可能であった。このため,所要面積の少ない生物処理方式の検討を行なうとともに,設備としても可能な限り立体化を考え,所要面積の縮小を図った。

表4 サッポロビール株式会社名古屋工場における計画水質,水量
夏季での計画条件である。工場廃水の季節変動は大きく,冬季は$\frac{1}{3}$の稼動もある。

	原水	処理水
原水流入量(m³/d)	4,100	—
BOD (mg/l)	1,024	100以下
SS (mg/l)	450	100以下
pH	6.8~10.8	5.8~8.6
水温(°C)	24~54	40以下

3.2 処理方式の決定

生物処理で処理効果を向上させるためには,既に述べたように酸素利用効率を向上させることが必要である。そのため,この計画では,散気装置には通常の散気ノズルよりも気泡との接触効果が良好で,酸素利用効率の高いスタティック・エアレータを用い,更にばっ気槽では標準形よりも深くした深層式とした。その検討結果を次に示す。

3.2.1 気泡との接触効率の向上[2)]

気泡との接触効率を向上させる方式として,スタティック・エアレータを用いる検討を行なった。

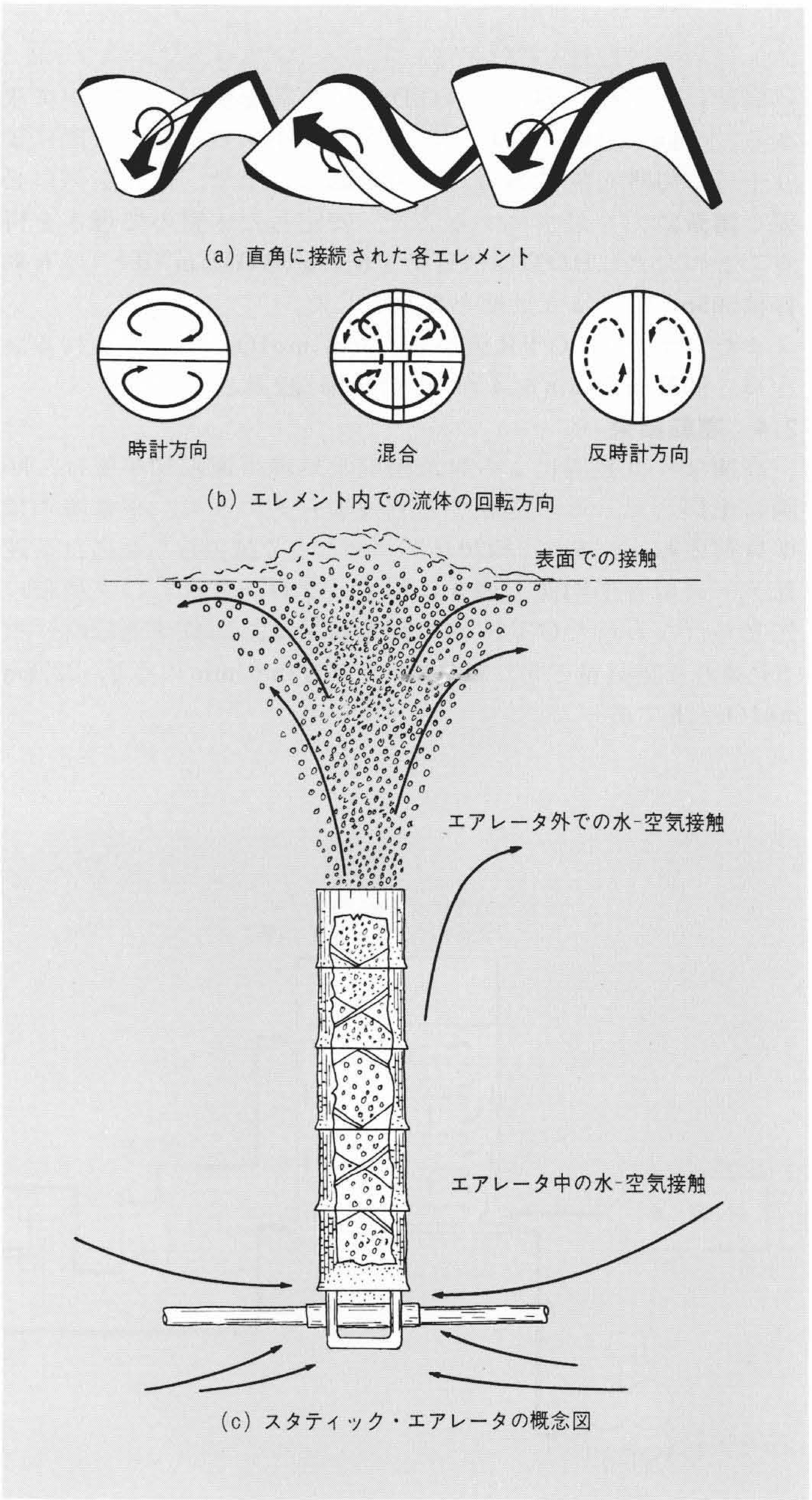


図7 スタティック・エアレータの構造図 エアレータ中で空気と水の接触効率を上げるよう,工夫を凝らしている。

ここでは比較的多く市販されているケニックス社製のものを取り上げたが，その構造は**図7**に示すとおりで，次のような特長をもっている。

(1)　エアレータ内の水のせん断力によって空気を微小な気泡として均一に分散させる。

(2)　エアレータ内の混合によって，水と空気との接触を可能な限り高める。

3.2.2　水深の酸素利用効率への影響

酸素利用効率に与える影響の最も大きい因子はばっ気槽の水深である。総括酸素移動容量係数KLaと空気量(Gs)，及び散気深度(H)の関係について次の式が報告されている。

$$KLa\cdot V=0.085\cdot Gs^{1.38}H^{0.72} \quad (2)$$

[3)]

ここに　V：タンク容量(㎥)

すなわち，散気深度の0.72乗に比例して総括酸素移動容量係数が増加してゆく。今回の設備についてスタティック・エアレータの酸素利用効率を気泡径，水深などの関係から検討した結果，0.3～0.5㎜の気泡径を仮定し，その範囲では水深7～10mで酸素利用効率が高いと判断され，更に建設面から見て土木構造の難易さとの兼ね合いから，今回は水深7mとした。

このため，標準形ばっ気方式に比較して敷地面積は約$\frac{1}{2}$にすることができた。

3.2.3　ばっ気設備の概要

以上の検討結果から，今回の処理装置には深層ばっ気槽とスタティック・エアレータを採用することとし，設備の概要としては下記とした。

(1)　水深は7mとし，散気深度を6.5mとする。

(2)　散気設備は，スタティック・エアレータとし，ユニット当たりの通気量は，水質の変動などを考慮して，実績値のうちでの最大値に近いものを取り，60N・m³/hユニットとする。

なお，ばっ気槽の設計諸元は**表5**に示すとおりである。

3.3　設備の概要

3.3.1　設備の仕様

上記に基づき建設された設備の仕様は**表6**に示すとおりで，その工事完成時の全景を**図8**に示す。なお所要敷地を縮小するため，原水調整槽，ばっ気槽の上部に濃縮槽，スクリーン室及びメンテナンスフロアを設け，メンテナンスフロアの上部に沈殿槽を設けて装置の立体化を図った。

表5　サッポロビール株式会社名古屋工場ばっ気槽の代表的設計諸元　通常の活性汚泥法と比較して，空気量の少ないことが特長である。

設計諸元	数値
槽容量	2,970m³(水深7m)
投入BOD量	4,198.4kg・BOD/d
MLSS	4,000mg/l
BOD容積負荷	1.41kg・BOD/m³・d
空気量	116.6N・m³/min

表6　サッポロビール株式会社名古屋工場の装置仕様　脱臭装置も付属した廃水処理装置である。

(a) 各槽容量と滞留時間

No.	名称	容量	滞留時間
1	原水槽	100m³	35分
2	原水調整槽	2,500m³	13時間
3	中和槽	60m³	20分
4	ばっ気槽	2,970m³	17.4時間
5	再ばっ気槽	90m³	30分
6	沈殿槽	1,420m³	8.3時間
7	濃縮槽	212m³	19時間

(b) 主要機器一覧表

No.	名称	仕様	台数
1	ブロワ	80N・m³/min×7,600mmAq×180kW	3台(予備1台)
2	原水ポンプ	4m³/min×17m・H×21kW	3台(　同上　)
3	調整槽ポンプ	1.7m³/min×15m・H×13kW	3台(　同上　)
4	ばっ気液移送ポンプ	2.5m³/min×15m・H×15kW	3台(　同上　)
5	スクリーン	幅2.23m×奥行1.3m×高さ2.75m	2台
6	散気設備	ケニックス・エアレータ	124台
7	消泡ポンプ	1m³/min×20m・H×7.5kW	1台
8	沈殿槽掻寄せ機	リンクベルト式 0.75kW	3台
9	汚泥移送ポンプ	0.376m³/min×30m・H×7.5kW	2台
10	濃縮槽掻寄せ機	中心駆動式　0.4kW	1台
11	脱臭設備	オゾン処理装置 (39g/h)	1式

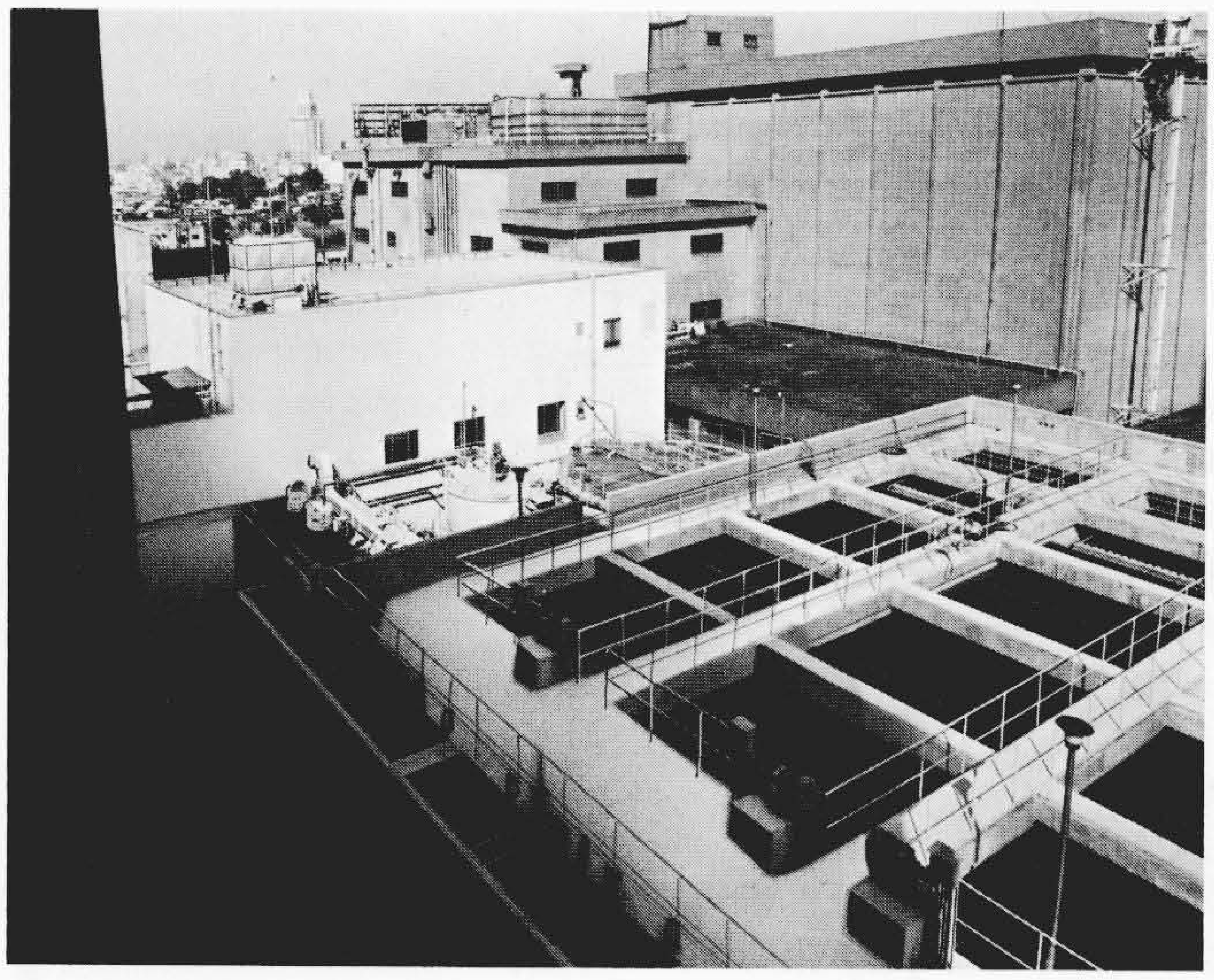


図8　サッポロビール株式会社名古屋工場の装置全景　手前は沈殿槽，その奥が操作盤室で，また沈殿槽の下部が深層ばっ気槽である。

3.3.2　運転結果

(1)　処理結果

運転結果の一例を**表7**に示す。処理水水質は，計画値に対して極めて良好な結果を得ている。

(2)　処理BOD当たりの通気量の結果

処理BOD当たりの通気量について実績値を**図9**に示している。運転が設計値どおりの廃水量及び水質でないので実績値は少ない値を示しているが，今後の長期間の推移を見守る予定である。

(3)　設備の総合評価

酸素利用効率を向上させるため，ばっ気槽を深層ばっ気(7m)とし，散気装置としては，スタティック・エアレータを用いることにより，予想以上の効果を挙げることができた。これをまとめると次のとおりである。

(a)　深層ばっ気槽を用いたことにより，ばっ気槽面積を47%小さくすることができた。

(b)　深層ばっ気法とスタティック・エアレータを用いた結果，

(i)　処理水質は，所期の性能を満足できた。

表7　運転結果　水量は計画値より低く，BODは計画値より高いためBOD容積負荷は計画値に近い運転での事例である。

(a) 水　質

	単　位	原　水	処理水
原水量	m^2/d	2,969	2,969
BOD濃度	mg/l	1,383	10.5
SS濃度	mg/l	414	21.8
pH	—	7.1	7.5
水　温	℃	33.2	35.1

(b) 運転数値

	単　位	数　値
投入BOD量	kg･BOD/d	4,106
MLSS	mg/l	4,160
BOD容積負荷	kg･BOD/m^3･d	1.36
空気量	N･m^3/min	71.9

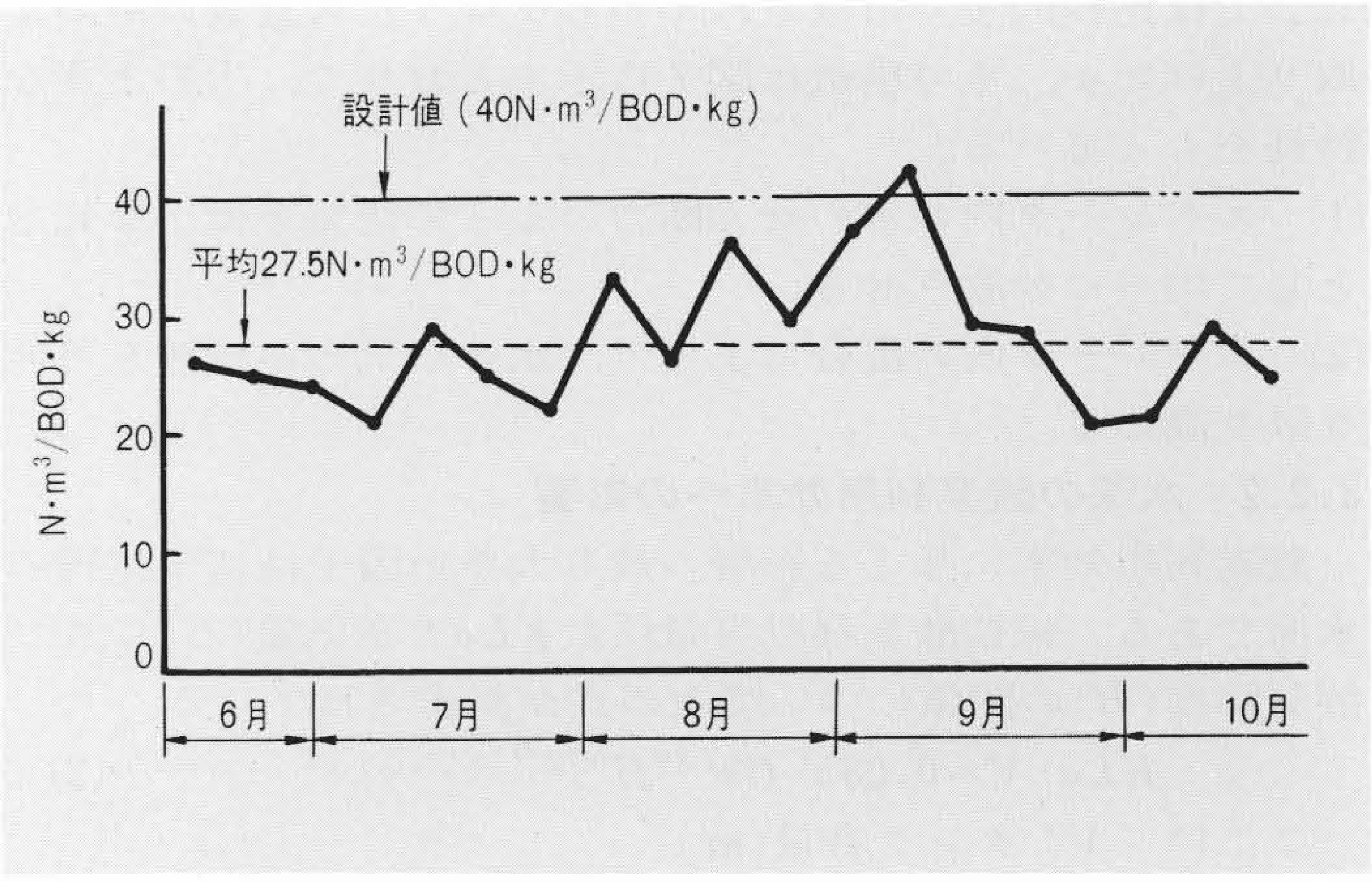


図9　BOD当たりの通気量(実績値)　操業開始後5箇月間のデータであり，今後の推移を見守ることが必要である。

(ii)　ばっ気槽で，ほぼ設計諸元どおりの数値が得られた。

(iii)　BOD当たりの通気量については，設計値以下の数値が得られた。しかし，これらの数値はまだ運転時間も短いため，今後の推移を見守ることが必要である。

(c)　この方式は他種廃水にも適用が可能である。

4　結　言

食品工場の高濃度BOD廃水は，工夫を凝らした活性汚泥法によって，希釈することなく直接処理が可能であることが判明し，(1)　日立高速ばっ気装置(ハイスマシー)では，OTR値が20m molO_2/lh程度で培養した高活性汚泥菌により，甜菜糖工場でのイオン交換樹脂再生廃水(BOD濃度2,700mg/l)のような高濃度BOD廃水を直接，高負荷(BOD容積負荷12kg･BOD/m^3･d)で処理でき，(2) スタティック・エアレータを用いた深層ばっ気装置では，醸造廃水(BOD濃度1,000mg/l)を直接，高BOD除去率で処理できるが，今後長期の運転結果を注意深く観察する予定である。

参考文献

1)　W.W. Eckenfelder：Biological Waste Treatment, Paramon Press (1916)
2)　ローレンス・T・カーン：化学工場, 20, 3, 77-82(1976)
3)　藤井，ほか3名：下水道協会誌，11，118，24～34(1974)

論文抄録

スレシホールド検知に関する一考察

日立製作所　洲崎保司・橘　篤志

電子通信学会論文誌　60—C，736（昭52-11）

光パルスの往復時間を測定して，距離を求める方式のレーザレーダシステムは，人工衛星や月など天体を標的とするような遠距離の精密測距に威力を発揮しているが，そこで扱う受信光は微弱で検知器からの出力は光電子ゆらぎを伴う。以前著者らは，このような微弱な受信パルスのスレシホールド検知について受信器の分解時間を幅とするレンジセル（距離細胞）を仮定したモデルを用い，各セルの波高値のゆらぎとそれが受信率，測距精度に及ぼす影響などを論じた。この中で受信パルス波形内に仮定した i 番目のセルの波高がスレシホールドレベルを超す確率をp_iとするとき，任意の j 番目のセルの波高が最初にスレシホールドを超す確率P_jは次式のように与えられることを示した。

$$P_j=p_j\prod_{i=-\infty}^{j-1}(1-p_i)$$

NASAのR.S.Iyerは著者らのこの考え方を発展させ，P_jを用いて受信パルスの到達検知時刻に対応するセルの位置j_mと誤差j_{rms}を定義し次のような表現を与えた。

j_m　確率P_jが最大値をとるセルの位置

$$j_{rms}^2=\sum_{j=-\infty}^{+\infty}(j-j_m)^2P_j$$

また隣合った二つのセルの波高値が，それぞれ最初にスレシホールドを超す確率の差ΔP_jは，

$$\Delta P_j=P_{j+1}-P_j=\prod_{i=1}^{j-1}(1-p_i)\Big[(P_{j+1}-p_i)-p_{j+1}p_j\Big]$$

で与えられることより，波形の立下り部($p_{j+1}<p_j$)及び平たん部($p_{j+1}=p_j$)では j の増加とともに$\Delta P_j<0$ となることから波形内部にj_mは存在せず，立上り部($p_{j+1}>p_j$)にだけそれのあることを明らかにした。著者らはこの議論を更に検討した結果，横軸にp_j，縦軸にp_{j+1}をとった図上にこれらの関係が明示できることを見いだすとともに，次の2点を明らかにした。すなわち，(1) 波形の立上り部であっても$p_{j+1}<p_j/(1-p_j)$なる領域があって，その範囲では$P_{j+1}<P_j$となりやはり波形内部にj_mは存在しないこと。(2) p_jが0.5以上の確率領域では$p_{j+1}\gtreqless p_j$のいかんにかかわらず$P_{j+1}\leqq P_j$で，この場合も波形内部にj_mは存在し得ないこと。次に一例として，底辺の幅が τ で受信器の分解時間がt_Bのとき，$m=\tau/t_B$ケのセルより成り i 番目のセルの平均光電子数$\bar{n}_i$が受信波形内に含まれる光電子の平均総数を$\bar{N}$として，$\bar{n}_i=\bar{N}\cdot i/\sum_{i=1}^{m}\cdot i$ で表わされる直線的立上りをするパルス波形の検知について調べてみた。光電子ゆらぎにポアソン分布を仮定し，スレシホールドレベルを$0.5\bar{n}_m$におく条件下で，mをパラメータに受信光の強さ($\bar{N}$の大きさ)に対するj_mの位置変化をシミュレートした結果，j_mの位置，すなわちパルスの検知時刻は微弱光の場合，一般に受信波の平均強度曲線とスレシホールドとの交点とはならずに，一定の傾向でずれることが分かった。これらの結果は，微弱光を扱う光パルス測距システムの精度の限界検討，測定値の補正及び誤差の評価に役立つものである。