

10. 加圧空気を利用した活性汚泥処理

栗田工業株式会社総合研究所 関 川 泰 弘

〃 田 中 郁 雄

〃 松 井 秀 弘

1. 緒 言

活性汚泥法は下水，し尿，産業廃水の処理法として広く使用されており特に最近は処理装置の能力向上のため各種の方式が実用に供されている。これらの方式は運転方法の改良によるものが多くプロセスを大幅に変化させたものはほとんどないようである。

われわれは活性汚泥処理装置の能力向上を目的とし加圧空気を利用する方法について基礎的な検討を行なったのでその結果について報告し諸賢の御批判を仰ぎたい。

加圧空気を活性汚泥法に利用する方法としては次の三法が最も基本的な方法と考えられる。

- 1) 加圧浮上法を従来の沈澱池に代って使用する方法。
- 2) 曝気槽を加圧下に保って曝気し酸素供給能力を向上させる方法。
- 3) バイオソープションにおける混合曝気，沈澱池の部分に加圧曝気加圧浮上を利用する方法。

このうち 1)の方法は下水汚泥の濃縮法としてすでにわが国でも二三の実績を有する。加圧浮上法による汚泥の分離が従来の沈澱池よりすぐれているのは分離速度が大でかつ汚泥の濃縮率が高いことである。汚泥濃縮率が高いと低い汚泥返送率で曝気槽内の M L S S を高くとれるため曝気槽の能率向上も期待されると考えられる。

2)の加圧曝気法は実装置において直ちに応用することは困難であるが酸素

供給を大とすることができるので特に高濃度の廃水では有利な方法となりうることもあろう。

3)は 1)および 2)の組合わせて高濃度廃水の部分処理，たとえば下水道放流におけるBOD 300ppm までの処理法としての利用が考えられる。

以上述べた三つの方法はいずれも高濃度の廃水処理法として意義を持つものとする。

2. 装置および分析法

実験は 5 ℓ 容量のポリカーボネート製加圧タンク，5 ℓ および 3 ℓ 容量の透明塩化ビニル製分離槽，曝気槽を利用した。図-1に加圧タンクの概略を示す。安全弁 圧力計

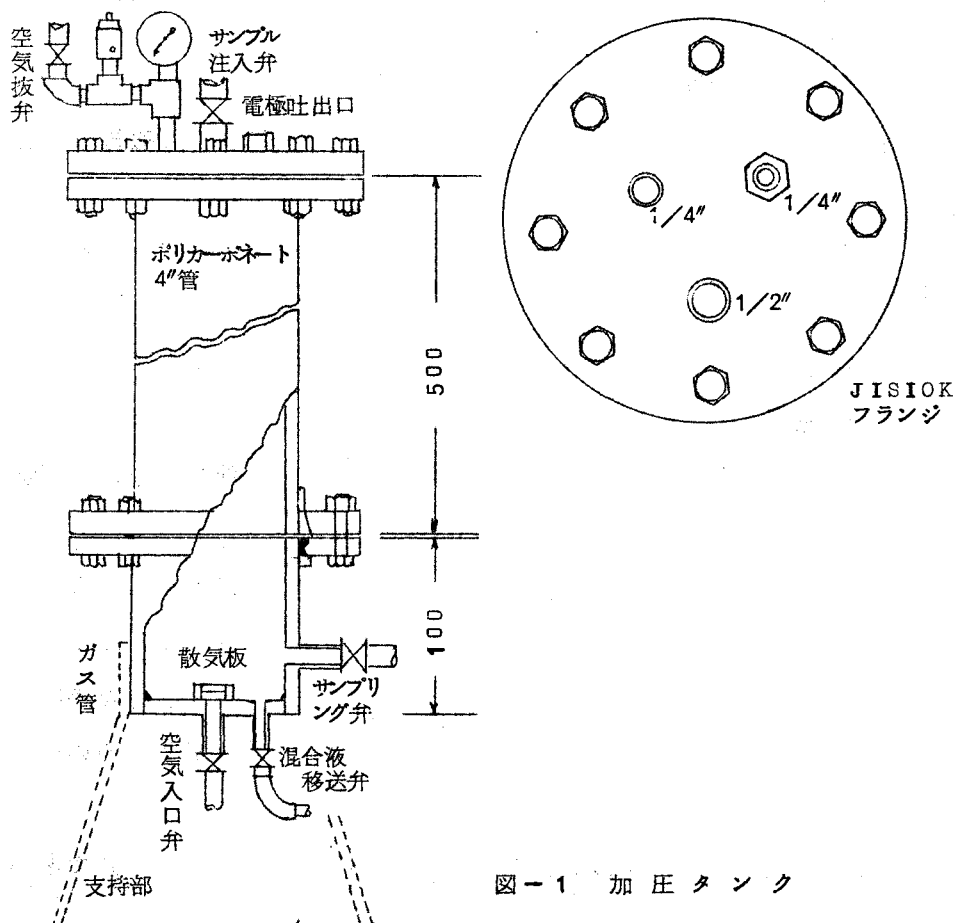


図-1 加圧タンク

本実験では曝気液中の溶存酸素を測定する必要があったので隔膜式溶存酸素計¹⁾²⁾の電極を加圧下での使用に耐えるように改良使用した。図-2は耐圧用溶存酸素計の電極部分で図に示すごとく銀極に小孔をあけこれからエンパイヤチューブを水面上に延長しこれに電解液を満たしてポリエチレン膜内外の圧力を釣合す構造とした。図-3は本電極を使用して大気圧， $1\text{Kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ， $2\text{Kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ， $3\text{Kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ，大気圧と圧力を変化させた場合の電流値を示したもので加圧にともなって溶存酸素が比例的に増加するし本電極が十分加圧下での使用に耐えることを示している。

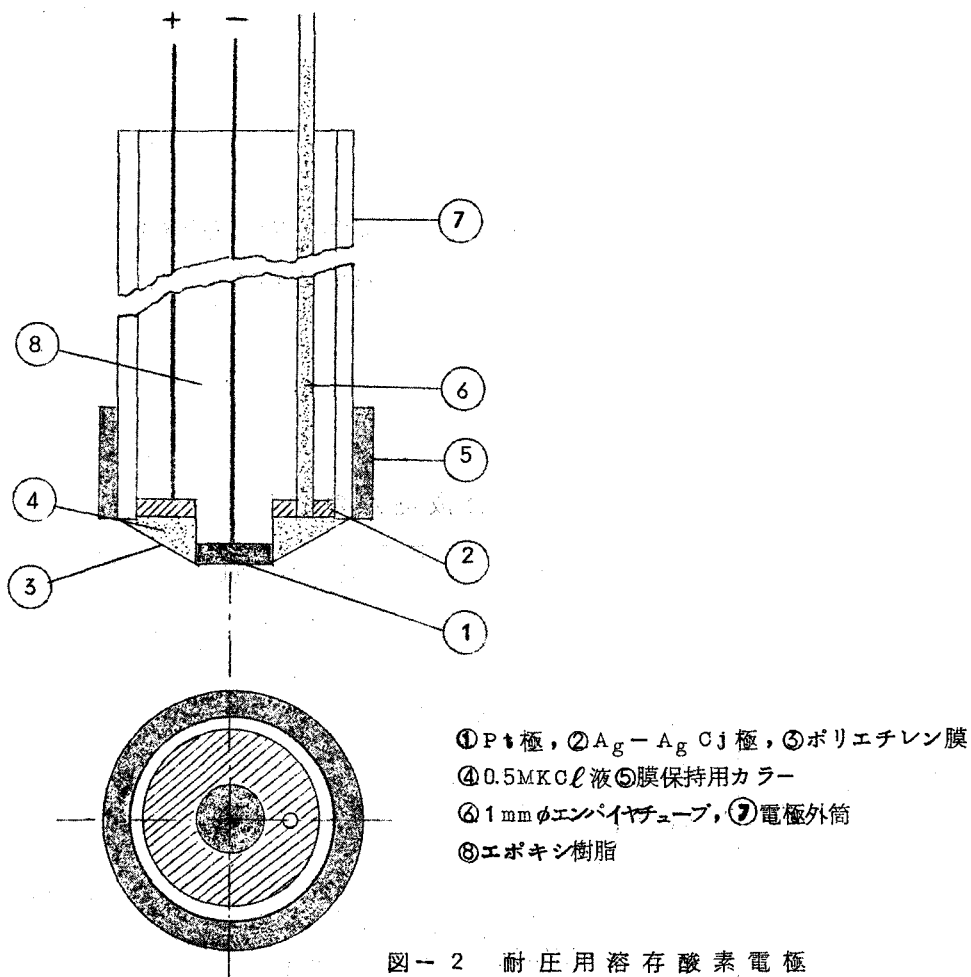


図-2 耐圧用溶存酸素電極

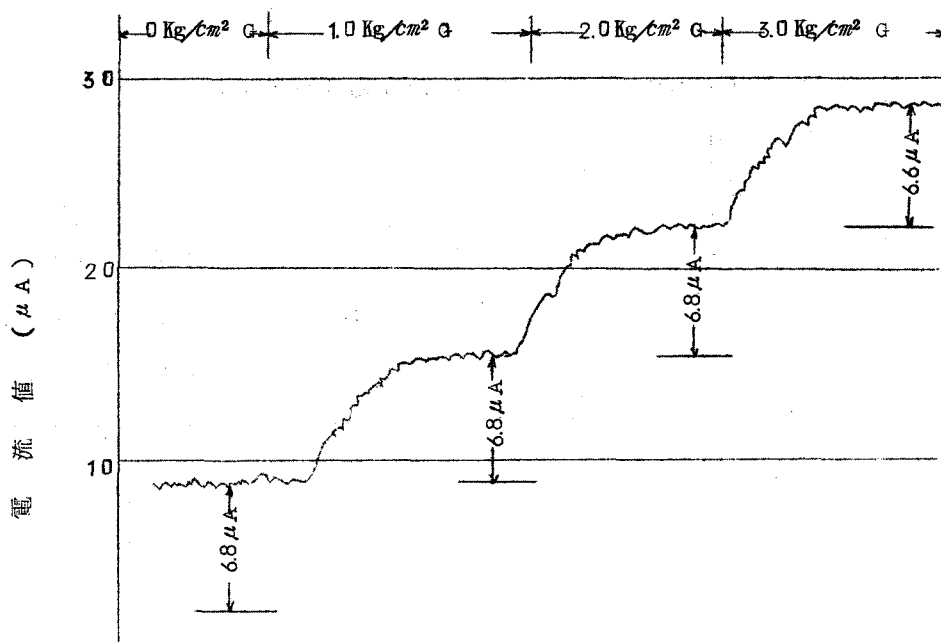


図-3 圧力変化と電流値の関係

液温 26.2°C

表-1 合成廃水の成分

成 分	含 有 量
ペプトン	7.5 g
ブドウ糖	5.0
$\text{NaHPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	0.63
KCl	0.5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.38
水道水	5.0ℓ
BOD	約2000 ppm
$\text{COD}_{\text{KMnO}_4}$ 高温法	1140 "

実験に使用した廃水は表-1に示す組成の合成下水でBOD 2,000 ppm
COD 1,200~1,300 ppm のものである。実験によってはCOD値を変化
させたものもあるがこの場合は表-1の組成にもとずいて濃度を変えた。

CODはJIS K0102 にもとづく過マンガン酸カリリウム高温法, ML
SSは遠心分離法, 濁度は光電比色計により測定した。

3. 加圧浮上法による活性汚泥の分離

3-1. 加圧浮上実験装置

装置の主要部分をなす加圧タンクは図-1に示したがこの他に付属装置と
して曝気槽および浮上分離槽を使用した。実験装置のフローシートを図-4に
示す。まず曝気槽において合成下水と活性汚泥を一定時間曝気したのち混合
液を加圧タンクに入れ一定時間加圧状態で空気を吹込み空気を溶解したのち

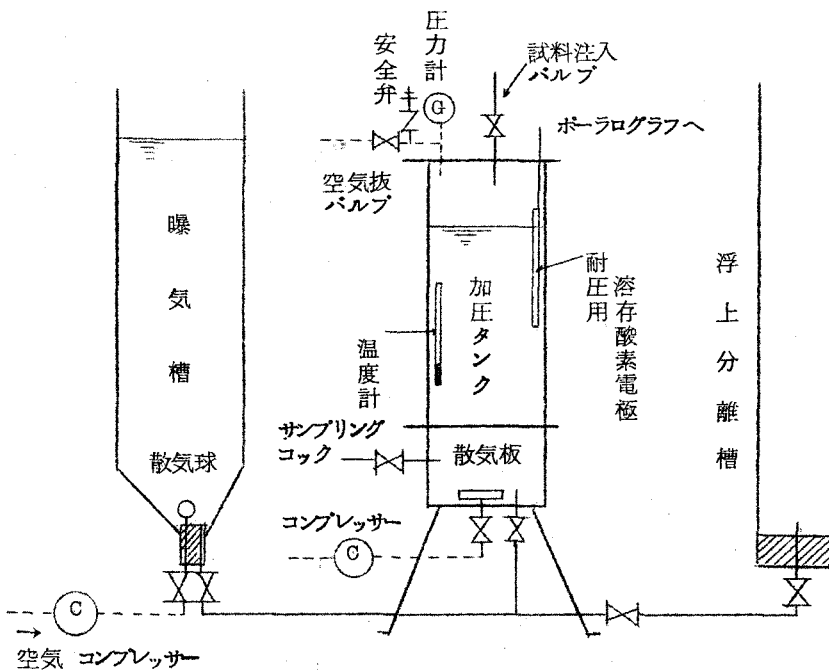


図-4 加圧浮上による汚泥分離実験装置
フローシート

分離槽に加圧された混合液を送り汚泥を浮上分離したのち下部の水相をぬき出し分析に供した。また、分離槽内の汚泥浮上速度ならびに汚泥体積を測定しあらかじめ曝気槽内のMLSSを測定しこれから汚泥の濃縮率を計算した。浮上分離に際しては混合液の部分加圧、あるいは処理水のみを加圧する場合は必要なもののみを加圧タンク内で加圧し空気を溶解させた。

3-2. 加圧時間と空気溶解速度

加圧タンク内において空気を飽和させるに要する時間を測定するため耐圧用溶存酸素電極を用いて加圧タンク内の溶存酸素量を測定した。空気吹込量は加圧タンク出口に取付けた流量計により測定した。加圧タンク内には4ℓの液を入れるのを標準としこれに対し1ℓ/minの割合で空気を送入した。水中の溶存酸素は酸素分圧によって規制されるため溶存酸素量より空気の溶解量を推定しても差支えないと考える。まず、大気圧下で曝気を続け酸素を飽

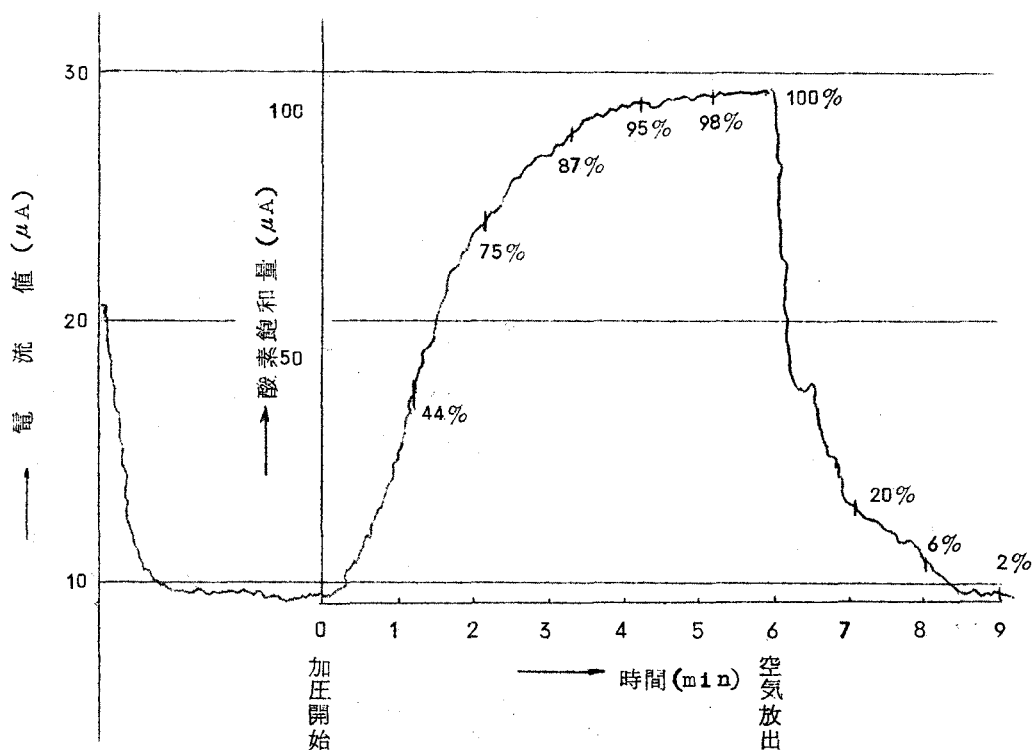


図-5 加圧時間と酸素飽和量

和したのち、一気に $3\text{Kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ まで加圧し加圧時間と電流値変化を測定した。結果は図-5に示すごとく約六分で飽和に達した。しかし、實際上五分で98%飽和に達しているため以後の実験は加圧タンク内における加圧時間を加圧開始後五分と規定した。加圧タンクの圧力を大気圧にすると図-5に示すごとく三分程度で大気圧の飽和酸素量に戻ってしまう。

3-3. 曝気時間と浮上速度の関係

本実験はすべてバッチ法で行なったため曝気開始後の時間により汚泥の性状が異なり浮上性にも差の生ずることが予想される。このため活性汚泥と基質を混合後直ちに曝気を開始し一定時間経過毎に浮上分離を行ない曝気槽内

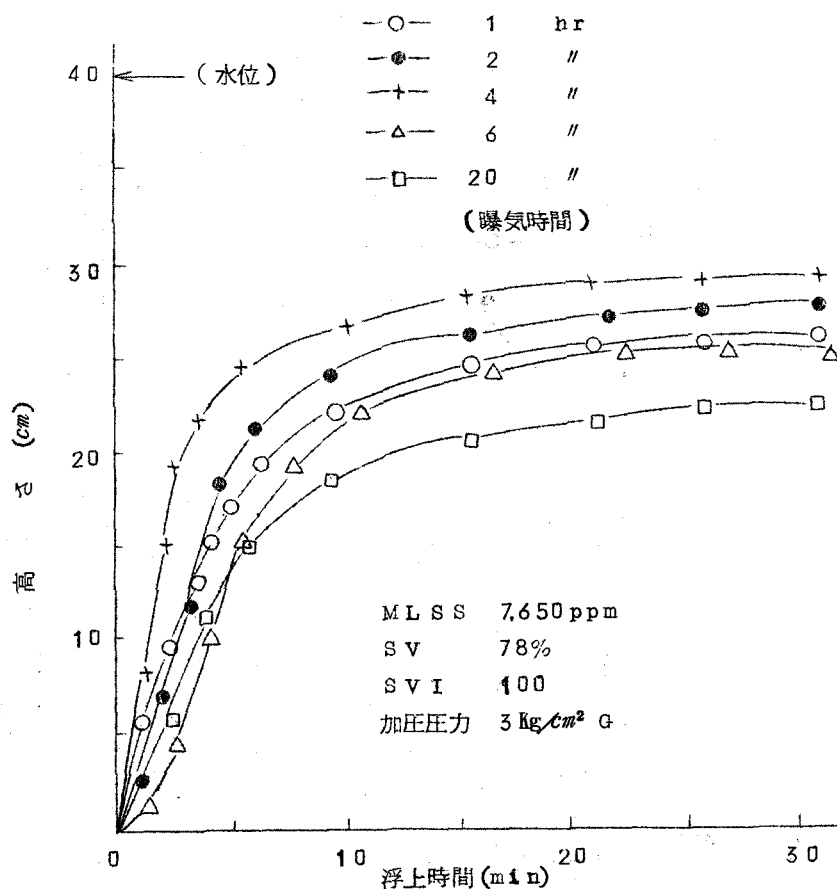


図-6 曝気時間と浮上速度の関係

の溶存酸素(D.O.),MLSS 汚泥の浮上性,浮上開始後30分の汚泥体積(SV_f) および処理水のCODを測定した。各曝気時間における浮上速度を図-6にCOD,MLSS,D.O, SV_f 等を図-7に示す。図-6に示されごとく曝気時間が経過するにしたがって浮上速度は増し4時間において最大となり以後減少している。図-7においてCODがほぼ一定値になる点が4時間と見られるがこの点で浮上速度および浮上汚泥の濃縮度が最大値になるのは興味あることと考える。溶存酸素計により測定したD.O.の値は曝気開始一時間までD.O.はほとんど存在しないがCOD減少と共に増大しCODが一定値に達し,あとは飽和値に達し以後変化は認められない。

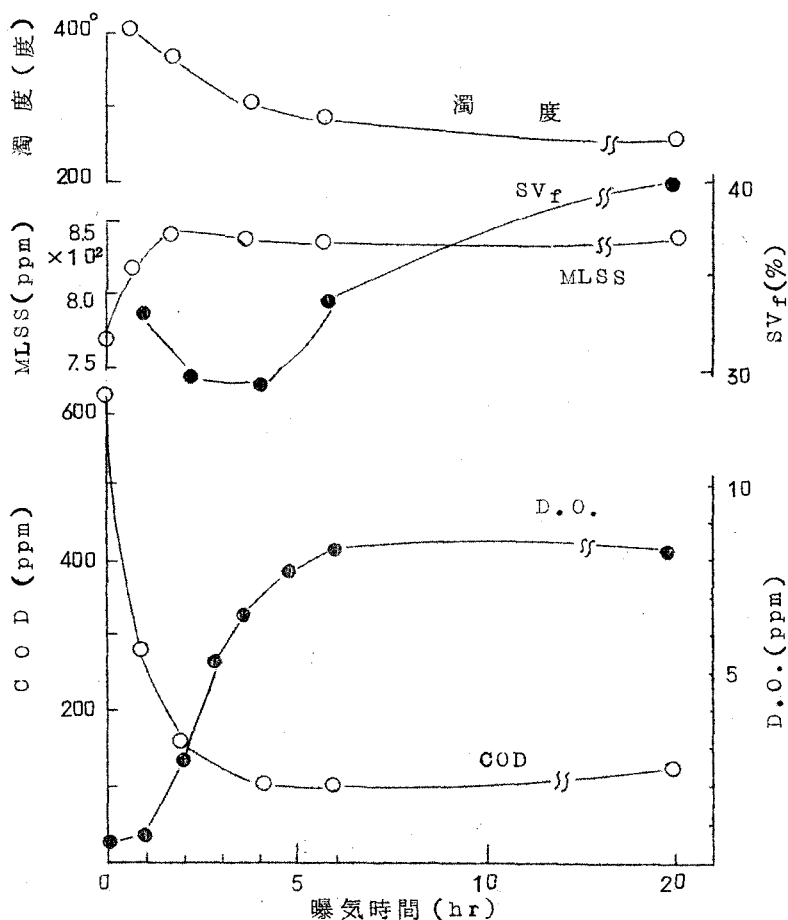


図-7 曝気時間と水質変化

MLSSは曝気開始後2時間でピークに達し以後徐々に減少している。浮上分離後の汚泥量は SV_f は曝気時間2～4時間で最小となるがこの時はMLSSが最も多い時期に相当し汚泥の濃縮率は最も高くなり、沈降分離の場合と比較すると約2.6倍の濃縮率となる。

以上の結果より曝気時間によって汚泥の浮上速度および濃縮率が変化するので以後の浮上実験はすべて曝気時間4時間において行なうことにした。実際には実験条件をそろえるため曝気4時間後の汚泥を加圧浮上によって分離しこの汚泥と合成廃水とを混合、曝気開始後4時間のものすなわち2サイク

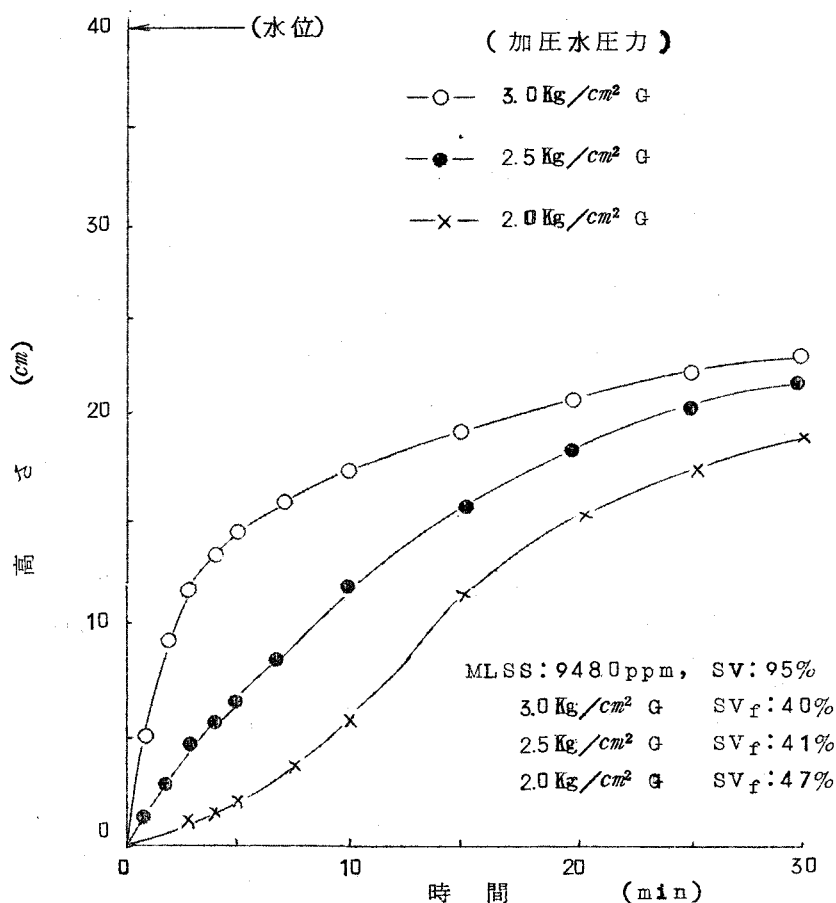


図-8 圧力変化と浮上速度の関係

ル目について浮上性等の測定を行なった。

3-4. 加圧圧力と浮上速度

加圧タンクにおける加圧圧力と浮上速度の関係を検討した。一定濃度の活性汚泥を全量加圧タンクに入れ加圧圧力を変え浮上分離させた結果を図-8に示す。図より明らかなごとく圧力の高いほど浮上速度、汚泥濃縮率が高くなっている。これは圧力の高いほど溶解する空気量が多いことから当然のことと云える。この実験におけるMLSSは9500 ppm 沈降分離によるSVは95%である。このような汚泥でも全量加圧によればSV_Fを40%にすることができる。なお、以後の実験は本実験における結果から安全を見て加圧タンク圧力は3Kg/cm²Gとした。

3-5. 汚泥濃度と浮上速度の関係

全量加圧における加圧圧力を3Kg/cm²Gとし、汚泥濃度を3,000から12,500 ppm まで変化させ浮上速度を測定した。これら実験はいずれも前述したごとく曝気開始後4時間における値なのでMLSSによる処理水質の変化を見るためCOD、濁度を同時に測定した。結果を図-9、図-10に示す。図-9に示されるところ汚泥濃度10,000 ppm 以上では浮上が困難となる。一方処理水CODはMLSS 7,000 ppm において最少値を示した。MLSS 2,000 ppm の場合4時間の曝気ではCODの除去が不完全であり、一方MLSS 5,000 ppm 以上では汚泥が浮上分離に際し破碎されて処理水中に混入しこのためCODが上昇するものと考ええる。MLSSと処理水濁度の関係はこれを証明しているとみられる。

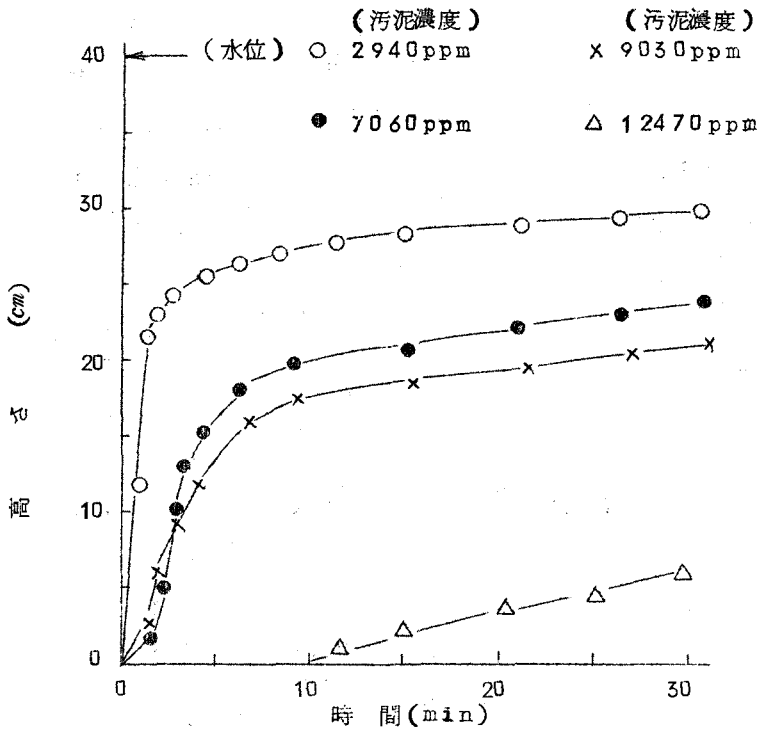


図-9 汚泥濃度と浮上速度の関係
SVI: 約100, 加圧水圧力: 3.0 kg/cm^2 G

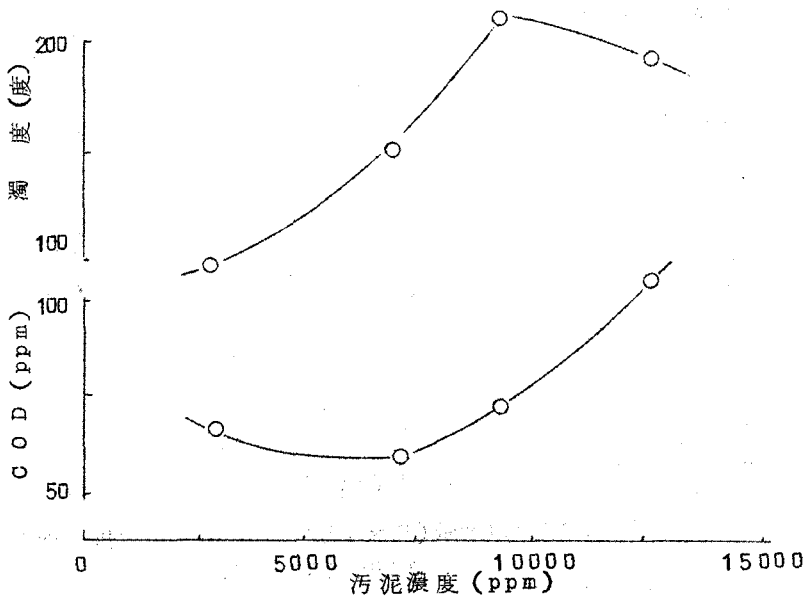


図-10 汚泥濃度とCOD, 濁度の関係

3-6. 部分加圧による活性汚泥の浮上分離

一般に加圧浮上においては被処理液（この場合は混合液）を全量加圧タンクで加圧することは少なく、原水あるいは処理水の一部を加圧して空気を溶解させこれを被処理液と混合し浮上分離することが多い。このため混合液の一部あるいは処理水を加圧しこれにより活性汚泥を浮上させる方法についての検討を行なった。

3-6-1 混合液の部分加圧

所定の曝気時間を経た混合液の一部を圧力タンクへ、他は直接浮上分離槽

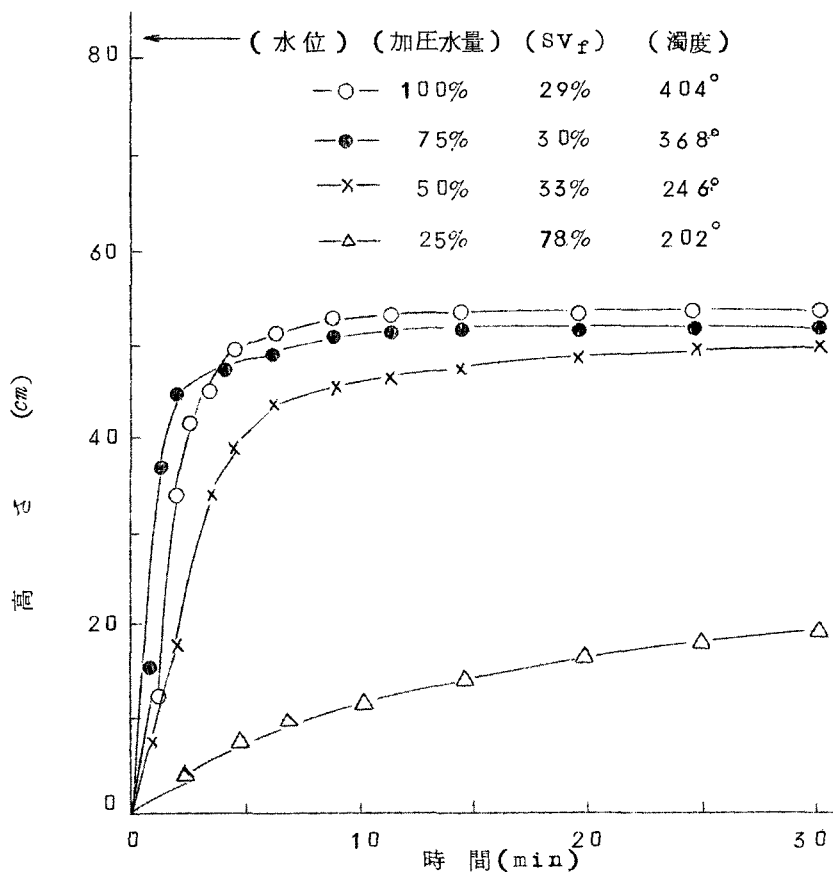


図-11 加圧水量（原水）と浮上速度， SV_f ，濁度の関係
 $MLSS: 7830 \text{ ppm}$ ， $SV: 77\%$
 加圧水圧力： $3.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$

へ移し加圧タンク内で空気を溶解した混合液によって浮上分離を行なった。結果を図-11に示す。この際たとえば加圧水量100%とは全量加圧のことである。加圧水量25%では浮上分離が不十分であったが、加圧水量50%以上においては浮上速度、濃縮率とも大きな差は認められなかった。浮上分離時におけるフロックの状態は加圧水量の少ないほど良好で分離した液の濁度も加圧水量の少ない方が小さかった。

3-6-2 処理水の部分加圧

処理水を加圧タンクにおいて空気を飽和させこれを浮上槽において混合液中に吹込み浮上分離を行なった。この場合加圧水量のパーセントは3-6-1におけると同様である。結果を図-12に示す。MLSSは全量加圧時に

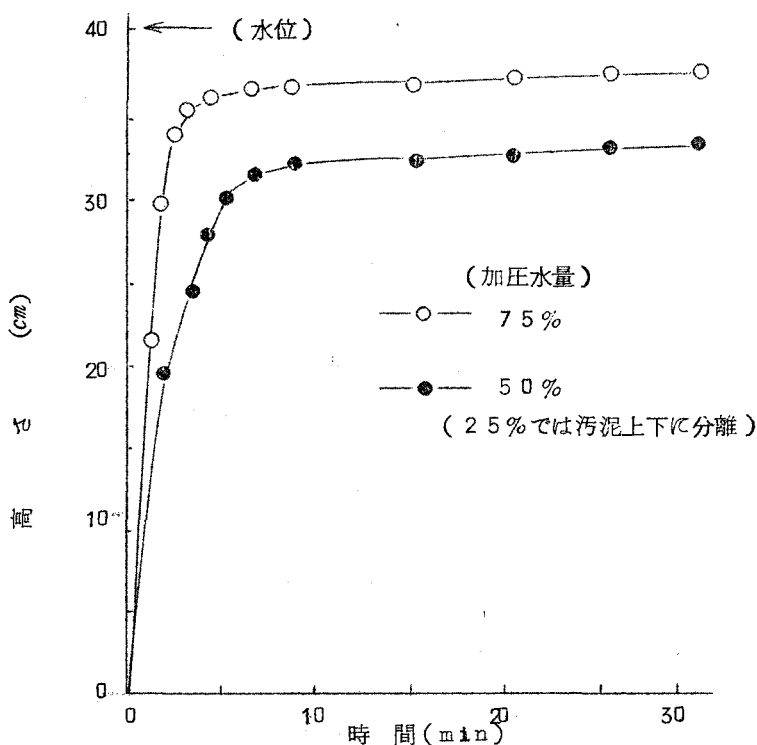


図-12 加圧水量(処理水)と浮上速度の関係

MLSS: 9000 ppm, SV: 68%

加圧水圧力: $3.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$

おける浮上可能な最大値約 9.000 ppm とした。この結果加圧圧力 $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ において加圧水量 50% 以上で浮上分離は容易に行なわれた。

3-6-3 処理水の 25% 加圧における浮上分離

通常加圧浮上法において加圧水量としては 25~30% が多く使用されるようなので、処理水を $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ G に加圧し空気を溶解させた場合浮上し得る M L S S の濃度の限界をしらべた。すなわち M L S S を 3,000~8,000 ppm まで変化させ $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ G に加圧した処理水を 25% 浮上分離槽へ吹込み浮上速度を測定した。結果は図-13 に示す。M L S S が 7,000 ppm 以下では浮上分離が可能であった。しかしながら、M L S S 7,500 ppm

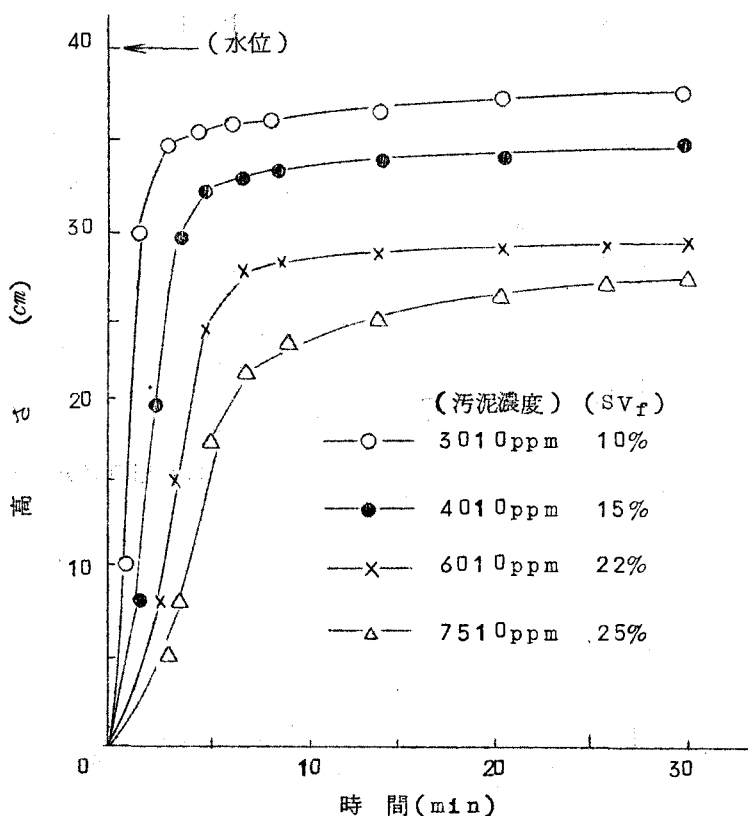


図-13 加圧水量(処理水) 25%における汚泥濃度と浮上速度の関係

SVI: 約 100, 加圧水圧力: $3.0\text{Kg}/\text{cm}_2$ G

の場合浮上分離後の汚泥は再び沈降する傾向があった。このことから処理水の25%加圧において浮上しうるMLSS濃度としては6,000 ppm 以下のことが安全であると考ええる。

4. 加圧曝気による活性汚泥処理

高濃度廃水の活性汚泥処理においては曝気槽における酸素供給が処理速度を律速することがある。このようなとき適当な方法で酸素供給量を増加させれば高濃度廃水を高速度で処理できる。このような観点から加圧下における曝気について検討を行なった。

4-1 加圧曝気が酸素供給におよぼす影響

大気圧下で同体積の空気を圧力の異なるタンクに吹込んだ場合の酸素供給量におよぼす影響について検討した。

図-1に示す加圧タンク内の水量を4ℓとし空気放出管に空気流量計を取付け所定の圧力において空気流量 $b \text{ ℓ/min}$ に設定した。通常酸素供給量は硫酸銅を触媒として添加した亜硫酸ソーダ溶液の酸化速度により測定される³⁾。しかしながら、本実験では加圧下における亜硫酸ソーダの濃度を測定する適当な方法がなかったので一定量の亜硫酸ソーダが完全に酸化されるに要する時間を溶存酸素計によって測定する方法を採用した。すなわち加圧タンク内に耐圧用溶存酸素電極をセットしておき水道水を4ℓ入れた状態で圧力、空気量を所定の値に調節し一旦曝気を止め、一定量の亜硫酸ソーダ溶液(亜硫酸ソーダ溶液は0.75N)をピペットで加圧タンク内に注入、直ちに曝気を開始し溶存酸素計が溶存酸素の増加を指示するまでの時間を測定した。亜硫酸ソーダの酸化が進行している間は溶存酸素計の指示は零であり亜硫酸ソーダが完全に酸化されると急速に溶存酸素が増大する。酸化時間は三回の平均値をとった。

図-14は半対数方眼紙に横軸へ加圧圧力、たて軸へ酸素供給速度をプロットしたものである。

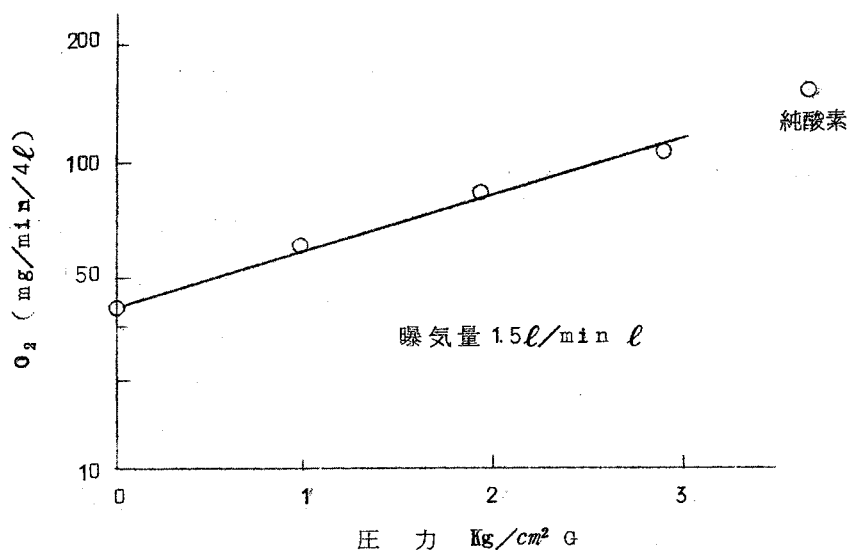


図-14 圧力と酸素溶解速度

酸素供給速度は気泡の表面積および飽和酸素量と溶存酸素量の差に比例するが本実験の場合大気圧において同体積の曝気条件としたため、加圧下では気体の圧縮により気泡表面積が減少しており一方飽和酸素量と溶存酸素量の差は加圧により大となっている。しかしながら、全体としては酸素供給速度は加圧することによって大となっている。図-14には純酸素を使用したときの結果も示してあるが、この点は $4\text{Kg}/\text{cm}^2\text{ G}$ の点によく一致している。

4-2. 加圧曝気がCOD除去におよぼす影響

高COD濃度でかつMLSSも非常に高い場合について大気圧下と $3\text{Kg}/\text{cm}^2\text{ G}$ 以下のCOD除去速度を比較した結果を図-15に示す。なお、COD、濁度は $3,000\text{ rpm}$ で5分遠沈した液についての値である。加圧タンク内の液量は 3 ℓ , 空気量は加圧タンク出口において $6\text{ ℓ}/\text{min}$ とした。図に示されるとく加圧曝気の方がCODの除去は早くなっている。曝気過程における溶存酸素量は加圧曝気の場合が多くなっている。

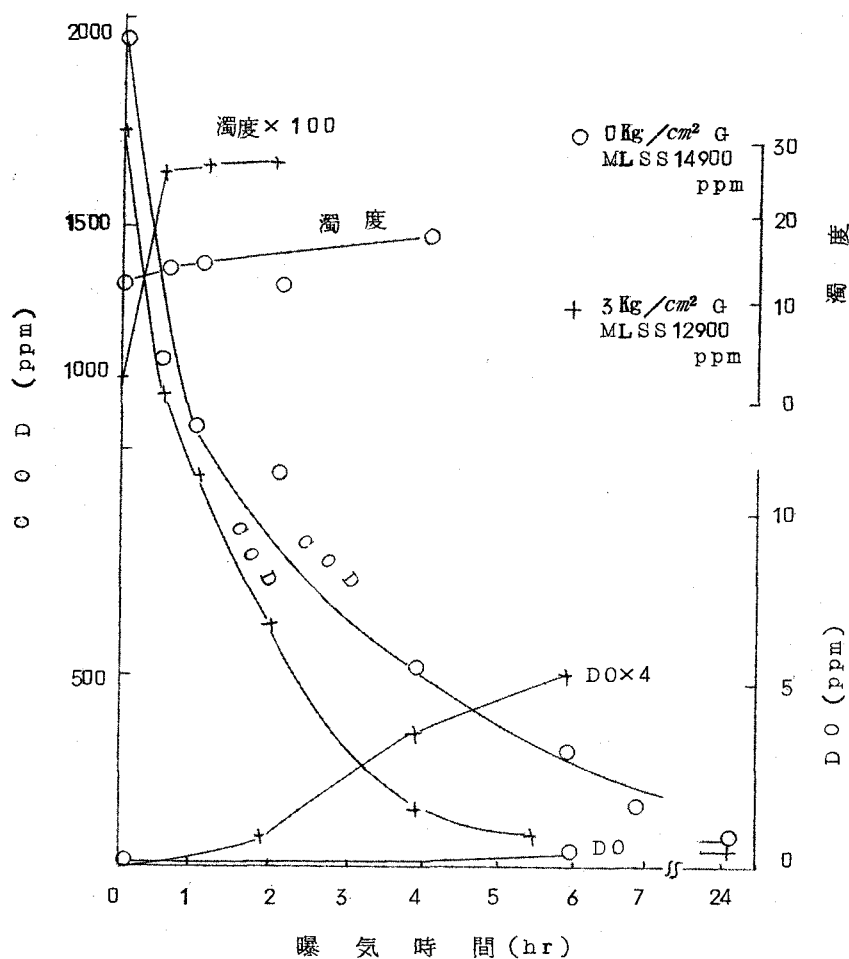


図-15 常圧および加圧曝気 (高濃度廃水)

図-16はCOD, MLSSとも割合低い条件としたときの結果でCODの最終的値が加圧曝気の場合大気圧のものよりかなり低くなっている。

以上の実験は短期間における加圧曝気の影響を示すに過ぎないので半連続実験により加圧曝気がCOD除去におよぼす影響を検討した。

MLSS約6,000~7,000 ppm 初期COD200 ppm において6時間曝気時間毎に基質を添加し各曝気時間におけるCODの変化を測定した。曝気槽の操作を次に示す。まずMLSS6,000~7,000 ppm COD約200 ppm で全液量を3ℓとし, 6ℓ/min で曝気を行ない各曝気時間毎

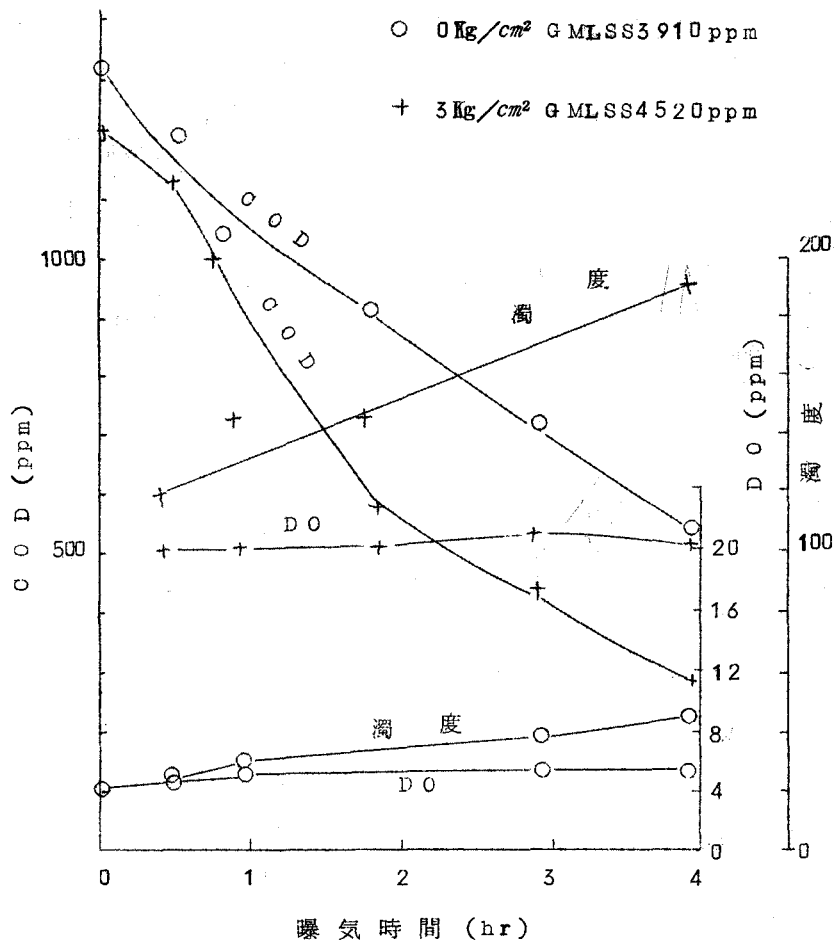


図-16 常圧および加圧曝気（中濃度廃水）

にCODを測定した。6時間の曝気後（これ以後1サイクルと呼ぶ）サンプリングのため液量は約500 ml 減少しているがこれに1サイクル目と同量の基質を少量の水にとかして加え、さらにサンプリングで採取した活性汚泥をもとにもどし直ちに2サイクル目の曝気に入る。2サイクル終了後汚泥を沈降させて上澄液を捨て下部1.5 lを曝気槽内に残す。この1.5 lをサンプリングで減少した汚泥と所定量の基質を加えて全量を3 lとし3サイクル目の運転に入るが汚泥を新しく加えたためこのサイクルのサンプリングは行わず4, 5サイクルを1, 2サイクルと同様に操作しCOD測定を行なった。

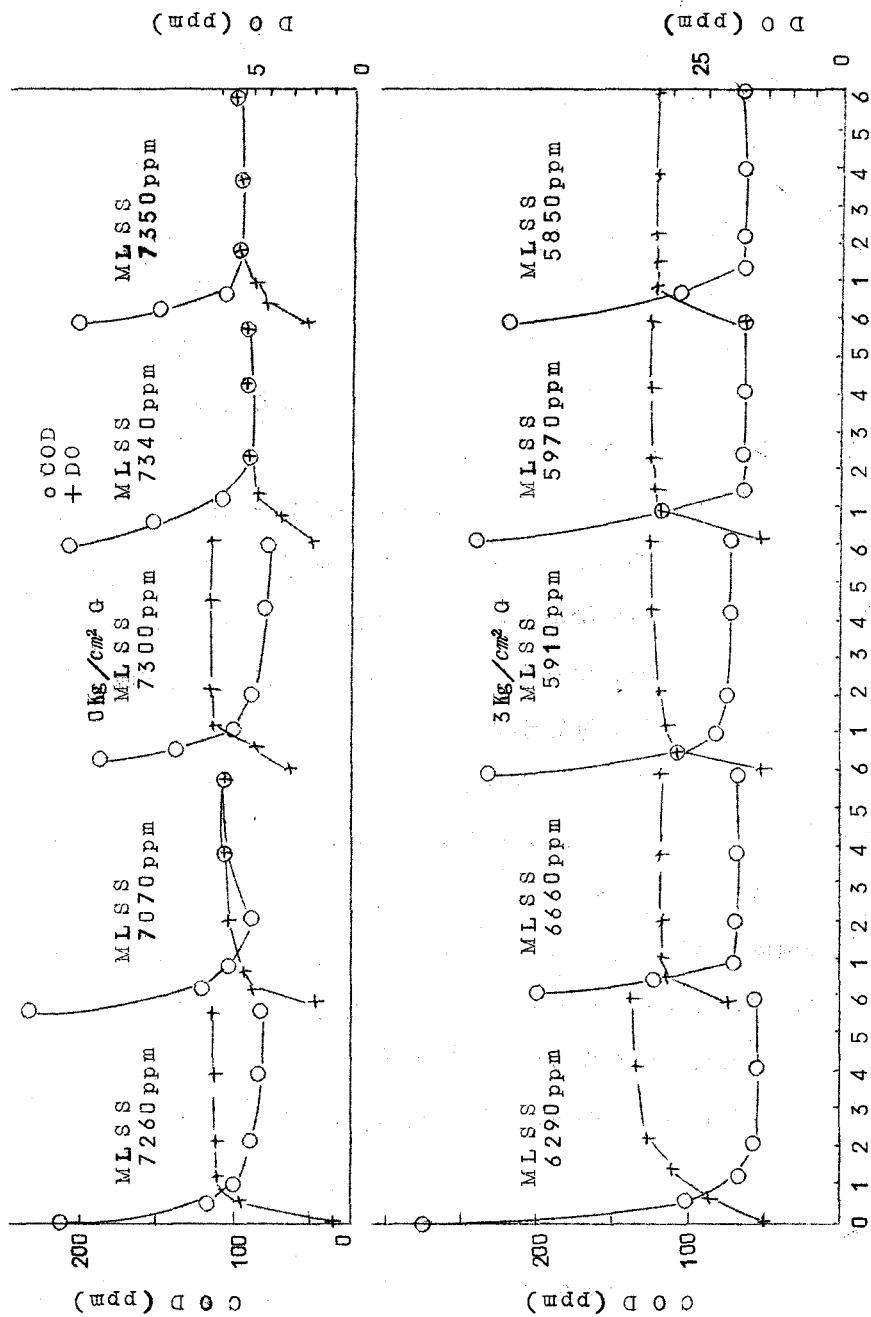


図-17 半連続による常圧および加圧曝気(低濃度廃水)

以下この操作を繰返した。

常圧および $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ G における操作を図-17 に示す。常圧における結果をみるとサイクルを重ねる毎に COD の除去が悪くなりサイクル終了時の COD が次第に高くなる。これに対し $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ G で行なったものでは常圧の場合と比較し COD の残留値はさほど高くなっていない。この実験では生物的に分解されない COD が次第に蓄積されるためサイクル終了時の COD 値が高くなるものと考えられる。しかし加圧下では残留する COD 値が常圧の場合より低く生物学的な酸化がより多く進行していることも考えられる。

5. バイオソープション法への加圧空気の利用

加圧曝気および加圧浮上をバイオソープション法における混合曝気および沈降池に置き換える方法について検討を行なった。加圧浮上法においては沈降法と比較し 2.5 ～ 3 倍の汚泥濃縮が可能のため混合曝気槽における MLSS を高くとれ混合曝気を短縮し得るものと考ええる。しかし、一方再曝気槽において汚泥濃度が高すぎるため曝気が困難となる。

ここでは常圧と $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ G におけるバイオソープションによる COD 除去を比較した。再曝気時間を 2 3 時間とし再曝気を終った汚泥 1.5 ℓ を合成廃水 1.5 ℓ と混合、常圧および $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ G において曝気し混合曝気時間 10 分および 20 分経過後、常圧の場合は 30 分静置、 $3\text{Kg}/\text{cm}^2$ G の場合は浮上後 30 分の処理液について分析を行なった。結果を図-18 に示す。やはり下圧下の方が COD 除去率は高くなっている。しかし、この程度の差では混合曝気槽を加圧にするための利益が少なくさらに汚泥濃度を高くする必要があると思われる。

6. 結 果

加圧空気を活性汚泥法に応用する方法について検討を行ない加圧空気を利用すれば曝気槽の能率を向上し得る見通しを得た。しかしながら、実験はすべて合成廃水を利用したため実用化に際してはかなりの問題があるものと考え

える。以後さらに実験を続け実用化に努めたい。

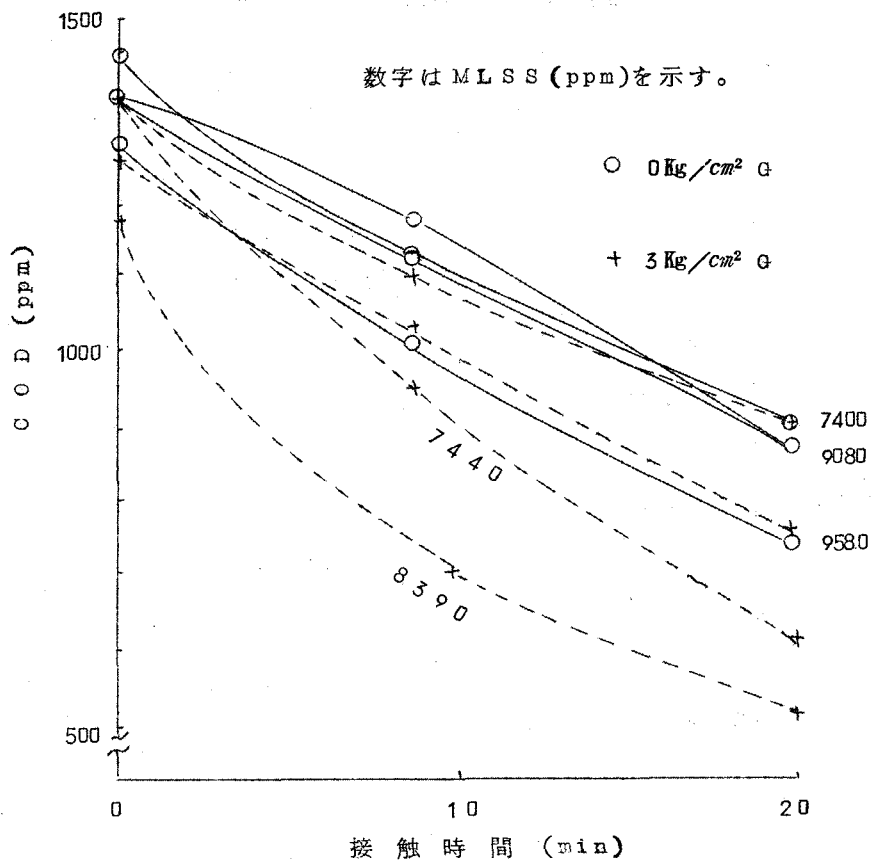


図-18 接触曝気処理

文献 砂原；分析化学，13， 589(1964)

砂原；ibid 12， 411(1963)

Cooper et al；I.E.C 36， 504， (1944)