

中水道システムに関する研究(その1)

丹羽 千明
田 沢 竜三
平 山 照康
内 田 只房

§ 1. はじめに

都市における人口の集中、産業活動の都市部への集中といったことから、都市周辺における水資源が逼迫し、同時に下水道施設の能力、特に下水道管の受け入れ容量の不足が顕在化してきている。

国土庁水資源局の「長期的需給計画」によれば、関東臨海、近畿臨海、北九州等では今後とも水不足の傾向にあるといわれている。こうした背景を受けて、一度使用した水を処理し再利用しようという、いわゆる中水道施設が最近特に脚光をあびるようになった。

こうした中水道システム(中水道のための廃水処理施設)に要求される事項は次のとおりである。

(a)一般に中水道システムは、都心の極めてスペースコストの高い所に設置されるので、できるだけコンパクト化する必要がある。

(b)ビルの規模により、中水の用途により処理対象廃水も処理目標水質も変わってくるため、ケースバイケースの適切なシステム構成ができることが望まれる。

(c)管理に当り、高度な知識を必要としない。

(d)原水の水量、水質が変動しても安定した処理水質が得られる。

(e)余剰汚泥の処理処分費までを含めて維持管理費が安い(一般には余剰汚泥の発生量が少ない程有利となる)。

(f)処理水の透明感が高く、臭気がない。

上記の諸要件を同時に満足させることを目標とし、同時に対象とする廃水処理法へのアプローチの手法として基本的に次のように考え、検討する。

(i)全工程を生物処理法とし、薬品等を使わず省資源化する。かつ、汚濁物絶対量を減少させる。

(ii)各工程において、その段階での汚濁物濃度に合った処理法をとる。

(iii)高度に処理していくと処理水のpHが低下し、微生物浄化活性が低下するので、それに対処できるようにすると同時に硝化反応の完結を図る。

(iv)高度処理段では、生物処理と生物吸着、濾過とを同時に行なえるようにする。

以上のような考え方にに基づき約2年間にわたり研究開発を進めてきたので、昭和55年3月から運転している中規模テストプラントの実験結果を含め、ここに中間報告をするものである。

§ 2. 処理システムの概要

報告の内容を簡明にするために、本システムの基本フローシート、および各処理工程の原理・特徴を本章に一括して述べる。

2.1 基本フローシート

中水道システムのフローシートを図-1に示した。本システムの主要装置は、高負荷活性汚泥工程、接触酸化工程、および生物濾過工程の3つの工程からなり、対象となる廃水の水量・水質や処理水の用途に応じてその組合せを変えることにより、最も適したシステムを構成することができる。

2.2 各処理工程の原理および特徴

2.2.1 高負荷活性汚泥工程(第1工程)

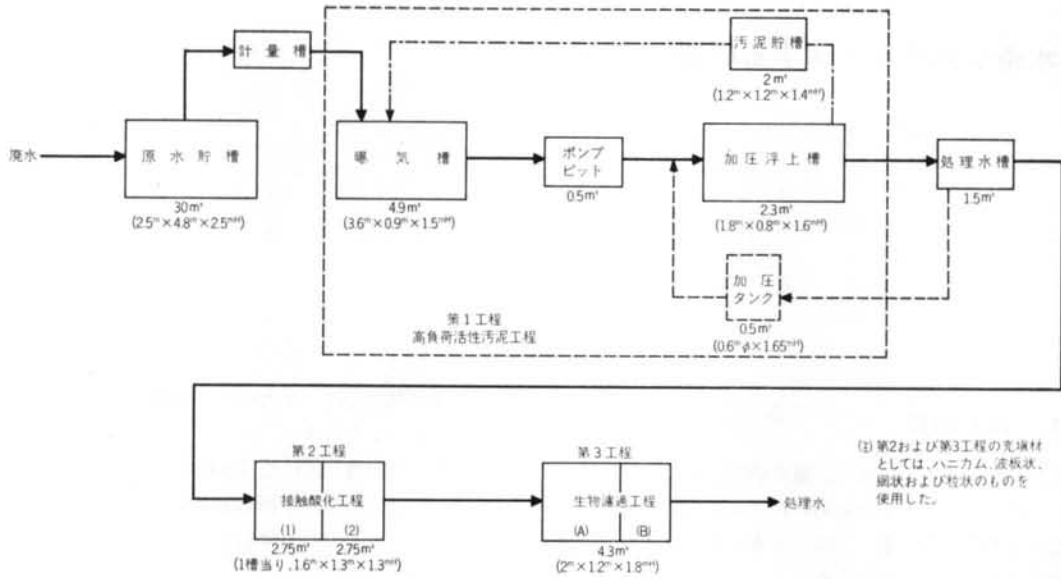
1) 原理

BOD分、SS分の粗取りをするための活性汚泥工程で、BOD容積負荷を高くとることにより曝気槽の縮小化を図っている。また、汚泥の分離濃縮に沈澱法の代わりに加圧浮上法を用いている。浮上分離汚泥は汚泥貯槽を経由し、再曝気してから曝気槽へ返送される。

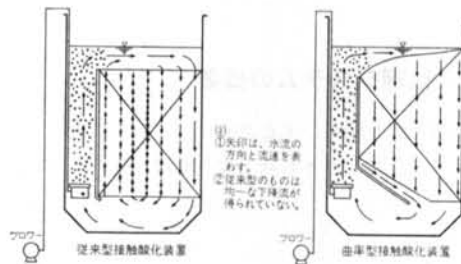
2) 特徴

本工程では、活性汚泥の分離濃縮法として加圧浮上法を採用しているため、以下のような特徴がある。

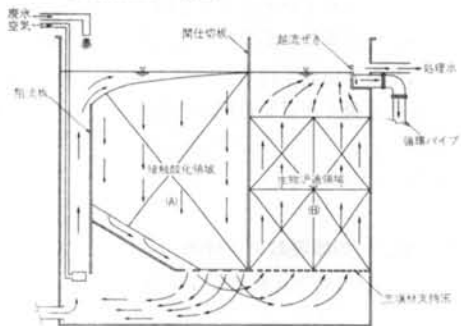
(a)曝気槽でのBOD負荷を大きくとることができるので、曝気槽容量が小さくてすむ。



図一 1 中水道システムの基本フローシート



図一 2 接触酸化槽の構造



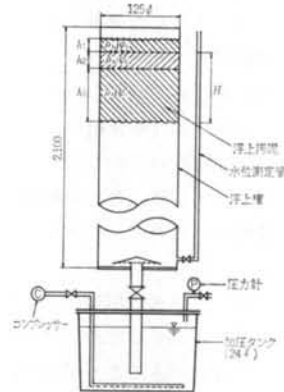
図一 3 生物濾過槽断面図

- (b)沈澱法に比べ汚泥分離槽が小さくてすむ。
- (c)汚泥の性状にあまり大きく左右されることなく分離濃縮が可能である。
- (d)汚泥濃度を1.5~3.5%と沈澱法に比べ著しく高くできるため、汚泥濃縮槽が不要である。

2.2.2 接触酸化工程 (第2工程)

1) 原理

微生物を付着させる充填材の形状、充填方法、槽の構造などに、図一2に示すように従来法で見受けられた欠



図一 4 加圧浮上実験装置

点を補うための工夫がこらしてあるので、槽内の廃水循環流の均一化ができ、高い効率で廃水を処理できる。

2) 特徴

- (a)流入廃水の負荷変動に強い。
- (b)槽内部に浸漬された充填材のどの部分においても一定の流速で循環接触が可能である。
- (c)充填材の比表面積を大きくとることができる。
- (d)充填材での汚泥付着能力が極めてすぐれているため汚泥日令を長くとることができ、さらに細菌、原生動物、後生動物が共存する生態系をつくり出すことができるため、余剰汚泥の発生量が極めて少ない。
- (e)従来法における充填材の目詰まり、悪臭の発生が防止でき、維持管理も極めて容易である。

2.2.3 生物濾過工程 (第3工程)

1) 原理

生物処理と濾過処理とを同時に行なうことにより、前工程までの処理水をさらに高度処理する。装置は、**図-3**に示すように接触酸化を主体とする領域(A)と生物濾過を主体とする領域(B)から構成され、(A)内だけの小循環と、(B)から(A)への大循環とを任意の比率で調整できるようになっている。

2) 特徴

(a)生物処理と生物吸着・濾過処理とを同時に行なうことにより、BOD、COD、SS を極めて低濃度まで除去できる。

(b)局所的な環境の違いにより幅広い生物相による浄化ができるため、処理が安定している。

(c)CaCO₃の溶解によるpH自動調整機能を付与しているため、窒素分の硝化に伴うpHの低下を防止でき、残留アンモニアをごく少量まで除去できる。

§ 3. 各処理工程別の基礎的研究

各工程別に設計上ポイントとなる部分を、実際の生活廃水、人工下水を用いて基礎的に検討し、装置設計上のノウハウを取得した。一連の検討から得られた基礎データを基に、**§ 4.**に記す35 m³/日ペースのテストプラントを設計したが、ここにその基礎的研究の一部を記す。

3.1 高負荷活性汚泥工程

本小実験では、従来検討があまりなされていない加圧浮上法による活性汚泥の分離および濃縮について検討した。特に活性汚泥のSVI、汚泥スラリー粘度が、必要気固比、汚泥浮上速度、浮上汚泥濃度、空気ホールド量など、装置設計上重要な因子とどのような因果関係にあるかにつき理論的に検討し、より最適な加圧浮上槽を設計するため、回分式による基礎的研究を行なった。

3.1.1 実験方法

実験には、基質としてグルコース、グルタミン酸ソーダを主体とする人工下水を用いて培養した活性汚泥を用いた。また、加圧浮上実験装置を**図-4**に示した。

3.1.2 実験結果と考察

1) SVIが浮上汚泥濃度、必要気固比、汚泥粘度に与える影響

実験結果を**図-5**、**図-6**に示した。**図-5**、**図-6**の結果より以下のことが明らかになった。

(a)同一汚泥においては、一定以上の気固比があれば気固比は最終汚泥濃度にそれほど影響は与えない。

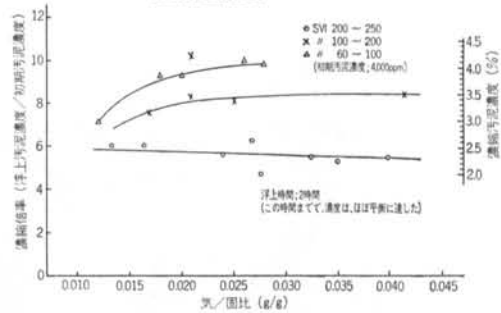


図-5 気固比と濃縮汚泥濃度および濃縮倍率

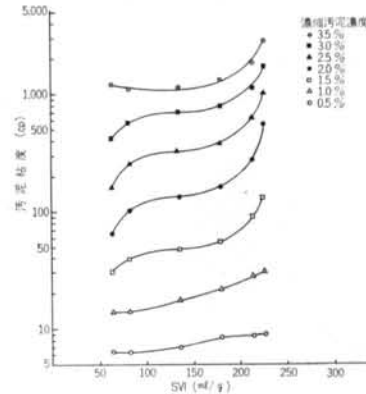


図-6 SVI別の濃縮汚泥濃度と汚泥粘度

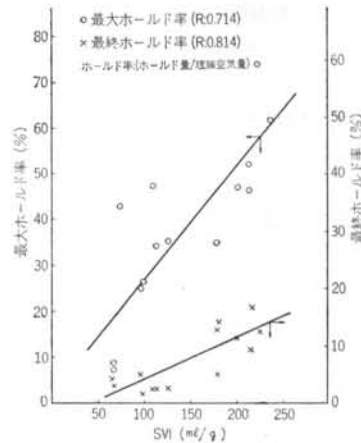


図-7 各SVIにおける最大および最終ホールド率

(b)SVIが小さいほど、浮上速度、最終汚泥濃度が大きい (SVIが小さいほど汚泥スラリー粘度が小さいことに起因していると考えられる)。

(c)SVI 60~250の領域における汚泥の浮上分離においては、SVIの違いによる最終汚泥濃度にはかなりの差(2.2~4.3%)が出るが、気固比として0.015~0.03 g/gあれば満足いく浮上分離濃縮が行ない得る。

2) SVI、空気ホールド量および最終汚泥濃度について

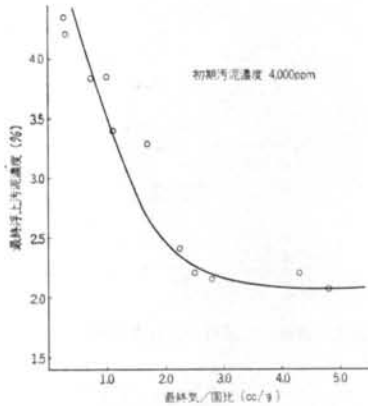


図-8 最終気固比と最終浮上汚泥濃度

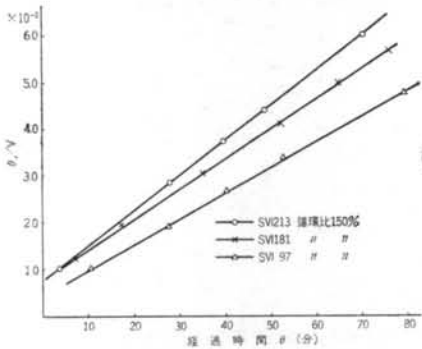


図-9 SVI 別の脱水濃縮抵抗の経時変化

浮上槽中の空気ホールド量は式(1)に基づいて求められる。

$$V_A = A \{ h_1 \rho_1 + h_2 \rho_2 + h_3 \rho_3 + h_1 \varphi_1 (1 - \rho_1) + h_2 \varphi_2 (1 - \rho_2) + h_3 \varphi_3 (1 - \rho_1) H \} \quad \dots(1)$$

式(1)より、浮上汚泥中の空気ホールド量を求め、SVIと空気ホールド率、汚泥濃度との相関を図-7、図-8に示した。同図より、SVI が大きいほど汚泥の濃縮率を高めることがむずかしいことが分かる。これは、SVI が大きいと汚泥のスラリー粘度が大きくなるためと考えられる。

3) 浮上分離濃縮における圧密脱水速度について

以上の結果を以下に示すような仮定のもとに、加圧浮上法における圧密脱水に関する基本式を導いた。

(a) 浮上濃縮は、多数の毛細管を通しての脱水濃縮である。

(b) 毛細管内での圧力損失は、Poiseuille の式に従う。

(c) 脱水濃縮された分だけ毛細管の内容積が減少し、一様に細くなるが、その長さは変わらない。

(d) ホールドされた空気の浮力により、恒圧的に一様に脱水される。

脱水速度は次の式(2)で表わされる。

名称	単位	数値
槽容量	l	687
充填材容量	l	464
充填率	%	67.5
散気水深	cm	60
空気量	l/分	120
循環流速	cm/秒	5.0
SV	時 ⁻¹	335

表-1 装置の仕様および実験条件

名称	投入量(g)
ペプトン	280
肉エキス	187
尿素	47
Na ₂ HPO ₄	47
NaCl	14
CaCl ₂	7
KCl	7
MgSO ₄	5

(廃水量: 687 l 当り)

表-2 人工下水の組成

$$(dV/d\theta) = \pi \cdot r^2 \cdot A \cdot N (g r^2 \cdot \Delta p / 8 L \mu) \quad \dots(2)$$

初期の脱水速度は次の式(3)で表わされる。

$$(dV/d\theta)_0 = \pi \cdot r_0^2 \cdot A \cdot N (g r_0^2 \cdot \Delta p / 8 L \mu) \quad \dots(3)$$

dV の脱水により毛細管半径が dr 減少するとして、次の式(4)が成立する。

$$-2\pi \cdot L \cdot A \cdot N \int_{r_0}^r r dr = \int_0^V dV \quad \dots(4)$$

式(2)~(4)から次の圧密脱水に関する基本式が導かれる。

$$(\theta/V) = k_0 \theta + (d\theta/dV)_0 \quad \dots(5)$$

ここに、 $(k_0 = 1/\pi L \cdot A \cdot N \cdot r_0^2)$

実験データを基に式(5)の関係をプロットし、図-9に示した。 θ/V は、平均脱水速度の逆数で脱水濃縮に対する抵抗を表わすものであり、これが経過時間 θ と1次の関係にあることを示しているが、実験結果と理論式は非常によく一致している。そして、SVI が小さいほどこの式の傾きが小さくなり、濃縮速度が大きくなることを示している。

3.2 接触酸化工程

ここで用いた接触酸化法は、前回報告の片側旋回流式接触酸化法である。本法における廃水循環の均一化、酸素吸収および気泡のホールドアップ等に関する理論的考察は前回報告済みなので、ここでは小規模実験装置による回分および連続廃水処理実験について述べる。

3.2.1 実験装置および実験方法

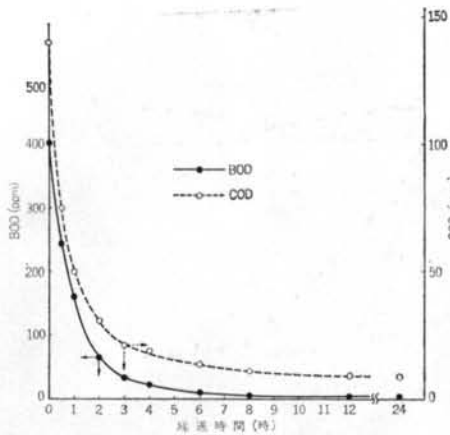


図-10 BOD, COD の経時変化 (人工下水)

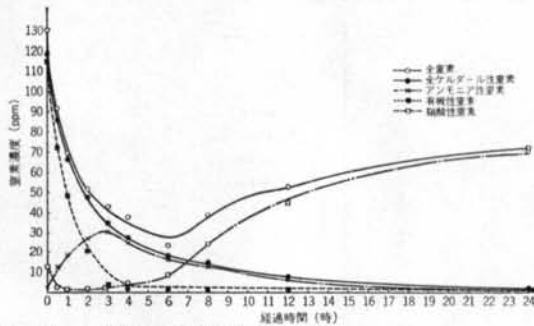


図-11 窒素濃度の経時変化 (人工下水)

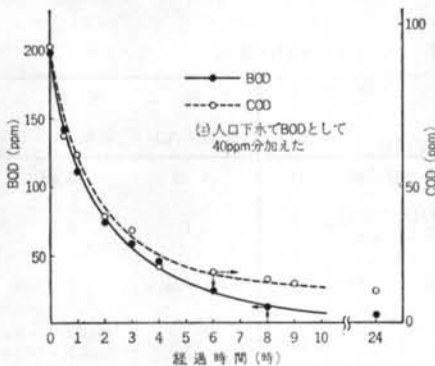


図-12 BOD, COD の経時変化 (生活廃水)

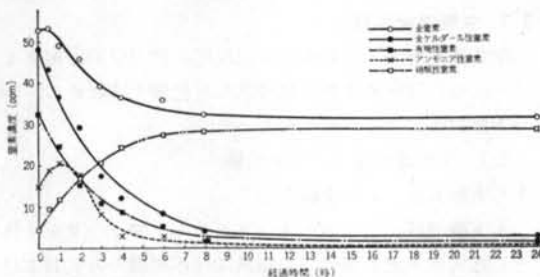


図-13 窒素濃度の経時変化 (生活廃水)

実験装置の概略図を図-2に、また装置の仕様および実験条件を表-1に示す。処理対象廃水としては、人工下水(表-2参照)および生活廃水を用いた。

3.2.2 人工下水および生活廃水を用いた回分実験結果

図-10, 図-12に BOD, COD に関して人工下水および生活廃水に対する回分実験結果を示す。図-10より BOD, COD は時間の経過とともに指数関数的に除去され、24時間後には BOD 3.5 ppm, COD 9.1 ppm となった。図-11および図-13に各種形態別窒素の経時変化を示す。図-11より、有機性窒素は実験開始から4時間経過後でほとんど除去され、反応の最終生成物である硝酸性窒素は4時間経過後から上昇し、最終的に70 ppmまで達し、SRTの非常に大きい本処理装置が BOD 除去のみならず硝化にも優れていることを示唆している。全ケルダール性窒素(TK-N)は、BODの除去と同様時間の経過とともに指数関数的に減少している。また、全窒素濃度(T-N)の経時変化をみると、実験開始とともに減少し、8時間を経て再び上昇している。8時間経過後T-Nが上昇したのは、液中の栄養源が減少するため微生物細胞が自己分解し、窒素分の放出が起きたためと考えられる。また、生活廃水を対象とする実験結果(図-12, 13)についても、人工下水の場合と同様の除去パターンを示している。

3.2.3 回分実験に対する考察

生物膜表面積当りの除去反応速度が一定で、生物膜表面の液境膜での基質拡散律速になる場合は、一般に液中基質濃度の1次反応になることが知られている³⁾。本工程においても、液の循環流速は5~8 cm/secと小さく、液境膜の存在を無視できない。基質除去速度を1次反応に従うものとするとき(6), (7)が得られる。

$$dC/dt = -kC \quad \dots\dots(6)$$

積分して、

$$C = C_0 e^{-kt} \quad \dots\dots(7)$$

図-14に、人工下水および生活廃水の両実験における実験開始から6時間までの経過時間と BOD 残存率との関係を示す。図-14より、両場合ともほぼ直線となり、本実験の初期では BOD 除去反応は1次反応となることが分かる。

これは、液中基質濃度の高い領域では液境膜の拡散律速になることを示している。また、反応速度定数 k は人工下水の場合 $0.76[\text{時}^{-1}]$ 、生活廃水の場合 $0.37[\text{時}^{-1}]$ となり、人工下水のほうが除去されやすいことが分かった。また、図-15に TK-N 残存率と経過時間(0~6時間)との関係を片対数上にプロットしたところ、両場合ともほぼ直線となり、実験の初期では TK-N の除去に関しても1次反応となることが分かった。また、本図より反応速度定数は人工下水で $0.39[\text{時}^{-1}]$ 、生活廃水で $0.34[\text{時}^{-1}]$ となり、両場合ともほとんど変化はなく TK-

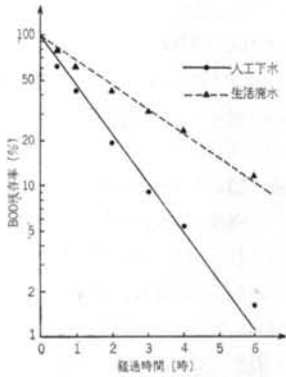


図-14 経過時間と BOD 残存率との関係

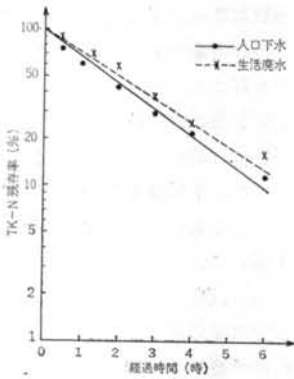


図-15 経過時間と TK-N 残存率との関係

項目	単位	数値
処理水量	ml/日	1.0
BOD・充填材負荷	kg/ml・日	0.43
滞留時間	時	17

表-3 連続実験条件

項目	単位	原水	処理水
BOD	ppm	200~220	3~5
COD	ppm	75~85	6~10
透視度	—	10~12	130~150

表-4 実験結果

N除去速度については対象廃水による差は認められなかった。

3.2.4 研究所廃水による連続実験

回分実験における結果を基礎として、本接触酸化処理装置の性能を確認するために連続運転を試みた。実験条件を表-3に示す。処理対象廃水としては、当社研究廃水に人工下水を混合してBODを約200ppmに調整したものをを用いた。実験結果を表-4に示す。表-4から、本実験で得られた処理水質は極めて良好であり、連続運転でも本装置の性能が十分確認できた。

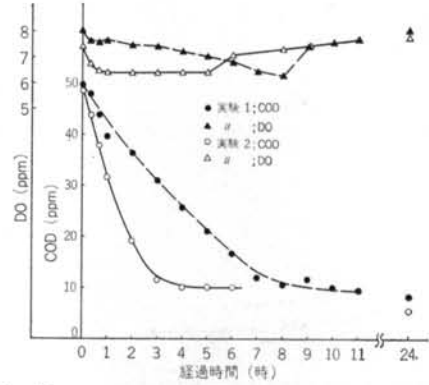


図-16 回分実験経時変化



図-17 反応速度とCOD濃度

実験番号		実験 1	実験 2
設定項目	単位	領域(A)	領域(AとB)
	水容積	m ³	4.32
BOD 充填材容積負荷	kg/ml・日	0.1	0.1
水温	℃	24.1~24.9	23.2~26.8
SV	1/時間	24	領域(A) 24 領域(B) 10

表-5 生物濾過槽での回分実験条件

3.3 生物濾過工程

生物濾過槽内での有機物除去反応の動力学的な解析をし、同時に連続通水での処理状況を把握するために、回分実験および連続実験を行なった。

3.3.1 生物濾過槽での回分実験

1) 実験装置および実験方法

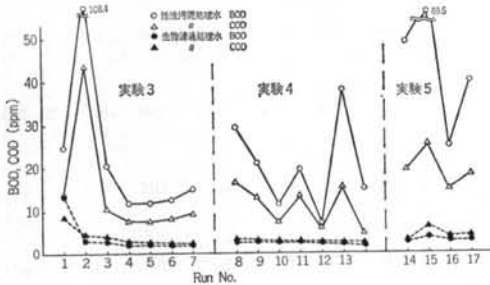
本実験では、グルコース、グルタミン酸ソーダを主体とした人工下水を用いて、領域(A) (小循環のみ) および領域(A, B) (小循環と大循環)を用いた回分実験を行なった。また、実験条件を表-5に示す。

2) 回分実験の結果および考察

実験1および2の結果を図-16に示す。図-16に示す

実験番号		実験 3	実験 4	実験 5
設定項目	単位			
水容積	l	60		
滞留時間	時間	24	12	6
BOD 充填材容積負荷	kg/m ³ ・日	0.013~0.025	0.016~0.072	0.12~0.33
水温	℃	15.6~19.0	6.2~17.4	7.0~12.2
SV	時 ⁻¹	領域(A): 23		領域(B): 10

表一六 生物濾過槽での連続実験条件



図一八 連続実験経日変化

分析項目	実験 3		実験 4		実験 5	
	活性汚泥処理水	生物濾過槽処理水	活性汚泥処理水	生物濾過槽処理水	活性汚泥処理水	生物濾過槽処理水
pH	7.18	7.12	7.02 7.1	7.29 7.18	7.21 7.1	6.95 6.99
TK-N (ppm)	29.6	2.8	32.7 32.0	0.4 1.7	37.7 23.7	3.2 2.1
NO ₃ -N (ppm)	0.5以下	34.1	0.7 1.6	29.2 29.2	0.5 1.1	34.7 19.9
SS (ppm)	35.0	1以下	23.1 42.3	1以下 1以下	44.9 32.8	1以下 1以下

表一七 生物濾過槽での連続実験処理結果

ように、実験1および2ともに、時間の経過とともに指数関数的にCODの除去が行なわれる。図一六から、各時間での基質除去速度を各点での接線の傾きから求め、COD濃度と除去速度との関係を両対数グラフにプロットし、図一七に示す。図一七から、実験1および2ともに、ある濃度までは0次反応に従い、次に1次反応領域が存在し、さらに高次反応領域へと進む。

接触酸化工程においては液境膜内の拡散律速になりやすく、前述の3.2.3でもそれが認められたが、流速の違い生物濾過槽においてはさらにその傾向が強いものと予想される。一般に基質濃度の高い領域では、溶存酸素拡散律速となり、基質濃度の低い領域では基質拡散律速になるものと考えられる。本実験においては、実験1およ

び2とも初期の一定濃度までは基質濃度について0次反応で進行している。これは、液中の溶存酸素濃度が大きく変化していないところから、溶存酸素拡散律速によって反応が進行しているとも解釈できるし、またグルコースおよびグルタミン酸ソーダの汚泥への吸着が0次反応に従うという知見を裏付けているとも考えられる。ついで、両実験とも一定基質濃度からは1次反応を示し、上記液境膜内基質拡散律速が存在するものと考えられる。さらに、最後の高次反応領域の存在は、生物難分解性基質の生成および残留を意味するものと解釈される。

3.3.2 生物濾過槽での連続実験

1) 実験装置および実験方法

対象廃水として、グルコース、グルタミン酸ソーダを主体とした原水を活性汚泥処理した処理水を用いて、連続実験を行なった。実験装置としては、回分実験と同じ構造のミニプラントを用いた。また、実験条件を表一六に示す。

2) 連続実験結果および考察

BODとCODに関して、水質分析結果を図一八に示す。図一八に示すように、原水である活性汚泥処理水の水質変動および滞留時間の違いにもかかわらず極めて良好な処理が行なわれることが分かった。pH、TK-N、NO₃-N、SSについての実験結果の代表例を表一七に示す。表一七に示すように、生物濾過槽で硝化が進行し、大部分のTK-NをNO₃-Nにすることができた。また、硝化にともなうpHの著しい低下も起こらなかった。これにより、領域(B)中に充填しているCaCO₃を主成分とする粒状充填材がpH調整機能を果たし、pHを常に中性領域に維持できることが確認できた。一方、生物濾過槽処理水中にはSSはほとんどなく、透視度的にも100cm以上の処理水を得ることができた。上記の一連の連続実験から、生物濾過槽に付与することを考えた所期の機能が効果を発揮していることが確認できた。

§ 4. テストプラントを用いた連続処理実験結果と考察

前述のように、本廃水処理システムは対象となる廃水の水量・水質や処理水の用途に応じてその組合わせを変えることにより、最も適した処理システムを構成することを意図している。したがって、廃水量、廃水濃度、各工程の組合わせ方、および各工程におけるBOD負荷、滞留時間等の設計因子と処理水質、余剰汚泥発生量等とがどのような相関関係にあるかを見出し、最も有利な処

曝気槽			加圧浮上槽				汚泥貯槽			原水, 処理の水質および汚泥濃度						
BOD 容積負荷 kg/m ³ ・日	MLSS ppm	滞留 時間 時間	加圧力 kg/cm ² G	循環比 %	滞留 時間 時間	水面積 負荷 m ² /m ³ ・時	滞留時間(時間)	保持 汚泥 汚量 m ³	BOD(ppm)		COD(ppm)		SS(ppm)		濃縮 汚泥濃度 ppm	
									原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水		
0.7	2,986	7.5	3.9	100 ~200	2.0	1.2	1.04	8.3	0.42 ~0.58	228	43.6	101	32.7	208	41.0	30,734
0.8	3,324	7.5	3.9	100 ~200	2.0	1.2				237	26.7	88.2	35.3	170	32.1	27,580
1.9	3,700	3.0	3.9	150 ~200	1.5	0.9	1.0	9.3	0.35 ~0.6	232	43.3	83.5	41.1	171	54.0	28,988
2.0	2,936	3.0	3.9	150 ~200	1.5	0.9				245	15.7	92.3	17.6	155	13.8	29,520
1.7	3,312	3.0	3.9	150 ~200	1.5	0.9				214	25.6	73.5	19.6	158	16.2	29,996
3.0	4,466	1.9	3.9	150 ~250	1.0	2.1	0.8	7.2	0.5 ~0.88	236	96.9	86.5	56.2	185	79.1	27,404
3.1	5,870	1.9	3.9	150 ~250	1.0	2.1				244	117	83.5	69.0	201	116	29,650

表-8 高負荷活性汚泥法による運転データの一例

理システムを構成するための設計方法・条件を得ることを目的として、現段階で考えられる以下の3つのフローについて連続実験を行なった。

- (a)高負荷活性汚泥工程のみによる処理
- (b)[接触酸化工程+生物濾過工程]による処理
- (c)[高負荷活性汚泥工程+接触酸化工程+生物濾過工程(フルフロー)]による処理

なお、テストプラントの各槽の仕様は図-1に示した。

4.1 高負荷活性汚泥工程のみによる処理

4.1.1 実験条件

1) 処理フロー

本工程の処理フローについては、図-1の基本フローシートの第1工程に示したとおりである。

2) 運転条件

運転条件の概要を表-8に示した。

4.1.2 実験結果および考察

代表的な処理結果についてまとめ、表-8に示す。本工程は、流入原水中の有機汚濁物質等を処理して次段の接触酸化工程へ導くに当り、汚濁物質の粗取りをすることが主目的である。本実験から得られた結果を要約すると、以下のとおりである。

(a)BOD 負荷を大きくとり曝気槽の縮小化を図ったが表-8に認められるようにBOD容積負荷2kg/m³・日、

滞留時間3時間程度で、BODの粗取りの観点からすればその目的を達した。

(b)処理水中の溶解性BOD分は、全BOD分の20~30%しか存在せず、多くがSSに起因するものである。したがって、3次処理としてSS捕捉性のよい充填材を用いた接触酸化工程を後置することにより、溶解性のBOD負荷を小さくとって処理することができる。

(c)通常の沈澱法の代わりに加圧浮上法を用いているため、汚泥の沈降性が悪化しても安定した固液分離ができるばかりでなく、汚泥濃度を2.7~3.1%まで濃縮できた。また、それに伴って曝気槽のMLSSも必要に応じ容易に調整できるので、処理の安定化および高効率化が可能である。

(d)浮上分離汚泥を、高濃度下で汚泥貯槽にて曝気処理することにより、汚泥中に吸着捕捉されているBOD分を分解し、同時に汚泥の活性を高めることができる。さらには、余剰汚泥の発生量を削減することができる。

(e)汚泥貯槽での再曝気による安定化および自己消化効果と、処理水中のSSとしてある程度次段にリークする効果のため、高BOD負荷にもかかわらず余剰汚泥の発生率は小さく、除去BODの10~20%であった。

4.2 [接触酸化工程+生物濾過工程]による処理

4.2.1 実験条件

Run No	BOD 充填材容積負荷 (kg/m ³ ・日)	滞留時間(時間)			合計
		接触酸化槽		生物 濾過槽	
		No.1	No.2		
I	1~3 (BOD; 0.3 150 ppm)*	12	12	16	40
II	4~6 (BOD; 0.46 150 ppm)	8	8	11	27
III	7~11 (BOD; 0.66 150 ppm)	5.5	5.5	7	18
IV	12~16 (BOD; 0.46 220 ppm)	12	12	16	40

*: 原廃水の平均 BOD 濃度

表-9 運転条件の概要(接触酸化工程+生物濾過工程)

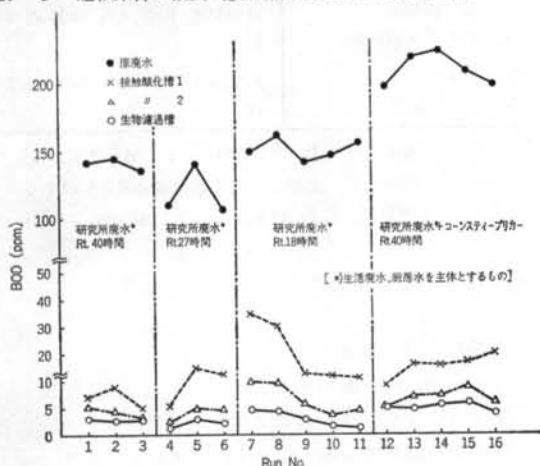


図-19 [接触酸化工程+生物濾過工程]で処理したときのBODの変化

1) 処理フロー

図-1の基本フローシートに示す第2工程、および第3工程での処理実験に相当する。

2) 運転条件

運転条件の概要を表-9に示す。

4.2.2 実験結果および考察

一般の生活廃水処理における2次処理、および3次処理を想定して行なった連続実験結果の代表例を図-19に示した。各工程および両工程における処理結果をまとめると、以下ようになる。

(a)接触酸化槽でのBOD充填材容積負荷0.3~0.66 kg/m³・日、滞留時間11~24時間において、接触酸化槽までの処理でほぼコンスタントにBOD 10 ppm以下まで処理される。トイレ洗浄水として再利用する際の処理目標値は、中水道の実績値および各種団体の提唱値とも一般にBOD 10 ppm以下であり、本工程ではこれを満足する処理水が得られた。

(b)接触酸化槽の処理水をさらに高度に処理するための生物濾過槽においては、Run No. 12~16の条件を除き、上記のどの滞留時間においてもBOD 5 ppm以下、また透視度的にも100 cm以上の処理水を得ることができた。

(c)Run No. 12~16においては、汚濁物として難分解性の有機物を含むコーンステーパーリカーを併添したため、上記滞留時間で分解しきれないBOD分が他条件下に比べより多く残留してきている。

(d)接触酸化槽での余剰汚泥の発生率は、流入BODに対して5~20%ぐらいと常法に比べてかなり少ない。

(e)生物濾過槽での余剰汚泥の発生率は、接触酸化槽への流入BODベースの7%以下である。

4.3 [高負荷活性汚泥工程+接触酸化工程+生物濾過工程]による処理

4.3.1 実験条件

1) 処理フロー

図-1の基本フローシートの全工程を用いる。

2) 運転条件

運転条件の概要を表-10に示した。

4.3.2 実験結果および考察

一般の生活廃水処理における2次処理および3次処理を想定して、フルフローにて連続運転した場合の処理結果の代表例を表-11に示した。各工程および全工程における処理結果をまとめると、以下ようになる。

(a)高負荷活性汚泥工程においては、処理水BODが38~67 ppmと通常の2次処理水と比べてかなり高い値になっているが、そのほとんどがSSに起因するもので、溶解性のBOD分は全BODの20~30%である。

(b)したがって、次段の接触酸化槽における溶解成分に起因するBOD負荷は非常に小さく、SSの捕捉が主な

高負荷活性汚泥工程				接触酸化工程		生物濾過工程	
曝気槽滞留時間(時間)	BOD容積負荷(kg/m ³ ・日)	MLSS(ppm)	循環比(%)	BOD充填材容積負荷(kg/m ³ ・日)	滞留時間(時間)	充填材の種類	滞留時間(時間)
4	1.0	2,200~4,500	150~200	0.2	11.5	網状, 粒状, および波板状充填材	9.0

表-10 運転条件の概要(3工程によるフルフロー)

Run No.	原水					高負荷活性汚泥工程					接触酸化工程					生物濾過工程				
	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	透視度 (cm)	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	透視度 (cm)	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	透視度 (cm)	PH	BOD (ppm)	COD (ppm)	SS (ppm)	透視度 (cm)
1	7.89	172	83.2	88.0	8.6	7.23	38.7	28.3	49.0	9.4	7.59	3.2	10.2	2.2	132	7.40	4.6	9.0	1以下	200
2	7.15	140	75.0	176	4.3	7.13	39.7	24.7	51.0	9.8	7.64	5.2	8.9	10.0	84	7.73	3.4	7.5	3.0	141
3	7.68	123	65.2	138	5.6	7.14	66.8	26.2	40.0	8.8	7.48	7.5	13.4	7.8	83	7.80	4.1	11.5	2.7	163
4	7.53	198	69.3	168	6.0	6.16	49.0	22.4	36.7	15.6	6.70	8.7	14.7	8.5	72	6.16	3.7	9.0	2.9	195

表-11 [高負荷活性汚泥工程+接触酸化工程+生物濾過工程]による実験結果の代表例

処理となる。

(c)通常の活性汚泥工程の場合、余剰汚泥発生率が35～60%はあるが、さきの高負荷活性汚泥工程のみによる処理の場合と同様、接触酸化槽へ汚泥を適度にリークさせ接触酸化槽で汚泥の消化をある程度行なうため、システム全体から発生する余剰汚泥を流入 BOD の 5～20%と極めて少なくすることができる。

(d)接触酸化工程での滞留時間10～20時間で、BOD 10 ppm 以下の処理水を得ることができる。

(e)生物濾過工程までの処理で BOD 5 ppm 以下、透視度 100 cm 以上の処理が可能である。

4.4 小実験およびテストプラントによる実験のまとめと留意点

中水道の場合、中水としての再利用の用途、水量バランス、処理対象とする廃水の水質、処理装置の規模からくる条件等から最も適した処理フローは変わってくる。

本章では次章で述べるような用途別、あるいは処理対象とする廃水種類別の最適システムを想定して、大きく3フローに分けて検討した現段階までの代表的結果について述べた。各フローとも、前述のとおり想定していた所期の目的をある程度達し得た。余剰汚泥の処理処分の考え方、経済性、対象廃水の SS 量および SS 起因の BOD 比率などがフロー決定に当り重要な要因となることが確認された。SS 比率の高い廃水に対しては、他の生物膜法同様、処理性能上限界があることも確認されたため、設計に当っては注意する必要がある。

§ 5. 本システムの応用について

5.1 処理対象廃水別システムの組合せ方の事例

中水道において考えられる処理対象廃水と、それに対応する処理フロー例を表-12に示した。本システムの組合せを決定する要因としては、

- (a)対象となる廃水の水量および水質
- (b)再利用用途および目標処理水質

処理対象廃水	処理フロー
・し尿+厨房廃水+雑廃水 ・し尿+雑廃水 ・し尿+手洗い	高負荷活性汚泥工程+接触酸化工程 ¹⁾ +生物濾過工程 ²⁾
・し尿+雑廃水 ・厨房廃水+雑廃水	接触酸化工程 ¹⁾ +生物濾過工程 ²⁾
・雑廃水 ・手洗い+雑廃水	接触酸化工程 ¹⁾ +生物濾過工程 ²⁾

(注) 1)目標処理水質 BOD 10 ppm 以下の場合には本工程までの処理とし、必要に応じて急速濾過塔を付設する。

2)目標処理水質 BOD 5 ppm 以下の場合には、本工程までの処理とする。

表-12 処理対象廃水別のシステムの組合せ例

(c)維持管理の難易度

(d)余剰汚泥発生量の多少

(e)イニシャルコストおよびランニングコスト

(f)装置を設置する場所の面積、形状および高さ等を挙げることができる。表-12に示した例は、小実験および連続実験から得られた結果を基にして、上記各因子のうちで主として廃水の水質、目標処理水質、余剰汚泥発生量の多少および維持管理の難易度の点に着目して決める場合のものである。

5.2 各工程における処理水の用途の事例

一般的な生活廃水を第1～第3工程にて処理する場合の、各工程における水質の概略と処理水の用途について表-13に示した。第2工程までの処理によって得られた処理水は、トイレ洗浄水、散水用水等に再利用できる。また、第3工程までの処理によって得られた処理水は、空調冷却水、洗車用水等としても再利用できる。

なお、本システムは中水道システムとしてだけではなく、特に第1工程での高負荷活性汚泥工程は、BOD 分の高い有機性廃水の処理に最適である。また、他の工程も一般的な有機性廃水の高度処理にも優れた能力を発揮する。

工程の名称	働 き	処 理 状 況	中水としての用途
第1工程 高負荷活性汚泥処理	BOD分・SS分の粗取りをする。	流入水 BOD 200~250 ppm ↓ 処理水 BOD 40~80 ppm	—
第2工程 接 触 酸 化 処 理	充填材への付着汚泥により、2次処理の仕上げから3次処理までを1工程で行う。	流入水 BOD 40~80 ppm ↓ 処理水 BOD 6~10 ppm 処理水 SS 5 ppm 以上	・トイレ洗浄用水 ・散水用水
第3工程 生 物 濾 過 処 理	生物処理と濾過処理を同時に行ない、より高度な3次処理水をうる。	流入水 BOD 6~10 ppm ↓ 処理水 BOD 5 ppm 以下 処理水 SS 3 ppm 以下 処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 1 ppm 以下	・洗車用水 ・空調用冷却用水

表—13 各工程における処理水の用途例

§ 6. おわりに

以上のとおり、基本フローシート、各処理工程の原理および特徴、各工程の最適化に関する基礎的研究、テストプラントを用いた連続処理実験結果、本システムの応用等についてその概要を述べた。

システム全体として、あるいは各工程ともある程度所期の目的を達することができたが、より完全なシステムとしていくためには今後残されている問題も多く、鋭意研究を行なっている。要検討事項として残されているものは、以下のとおりである。

- (a) 生物膜反応の動力学的解析
- (b) 諸因子と余剰汚泥発生量の相関
- (c) 微生物生態系の適切な保持法
- (d) 高負荷活性汚泥工程の下水道除害施設としての利用
1条件でのデータをとるのに最低1~2ヵ月を要する生物処理法にとっては、以上はいずれもその検討に非常に長期間を要するものばかりであるが、なるべく短期間にある程度のレンジを得ることを目的として検討して行

きたいと考えている。

なお、併行して散気—ポンプ循環併用型接触酸化法も検討しているので、次報にて報告したい。

<記号の説明>

- V_A : ホールド量
- A : 槽水面積
- V : 脱水量
- ρ_1, ρ_2, ρ_3 : 各領域での汚泥密度
- $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$: 各領域での空隙率
- R : 相関係数
- θ : 浮上分離時間
- r : 毛細管半径
- L : 毛細管の平均長
- N : 単位断面積当りの毛細管数
- μ : 汚泥中の水の粘度
- C : 基質濃度
- C_0 : 初濃度
- t : 反応時間
- k : 反応速度定数

<参考文献>

- 1) 奥村他: “活性汚泥の加圧浮上分離法” 下水道協会誌 Vol. 16, No. 181 (1979)
- 2) J. Bratby: “DAF in Activated Sludge” Prog. Wat. Tech. Vol. 9 (1977)
- 3) 渡辺, 石黒他: “回転円板法の浄化機構に関する研究(I)” 下水道協会誌 Vol. 15, No. 172 (1978)
- 4) E. J. LaMotta: “External Mass Transfer in a Biological Film Reactor” Biochemistry & Bioengineering Vol. 18 (1976)
- 5) 藤江他: “チューブ接触酸化廃水処理装置の動力効率” 水質汚濁研究 Vol. 3, No. 1 (1980)

