

し尿の純酸素活性汚泥処理について

北本地区衛生組合
昭和電工K.K.

高木良一
斎藤京一
入江通

§1. はじめに

純酸素活性汚泥法が下水処理の新しい処理方法として研究されはじめてからすでに久しい。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾

これらの研究は酸素法は処理能力として、多くの優れた点をもっているが、経済性の面で疑問が残るとしてゐるものが多い。しかし近年になって工学的問題の解決、すなわち中規模酸素発生装置の開発、酸素の効率的使用の成功、⁷⁾ さらには、都市下水の實用処理プラントへの道が開かれた。しかも酸素ばう気による活性汚泥法は炭素の空気ばう気と比べて(イ) 所費面積が大幅に削減できる、(ロ) 建設費、運転費が安価、(ハ) 余剰汚泥の生成量が少なく、且つ脱水性が良く、(ニ) 運転の安定性にすぐれ、悪臭・騒音の放散などの二次公害がな、などの多くの利点をもっていることが報告されている。⁸⁾⁹⁾

ところでこれらの利点はし尿処理の分野でも酸化法の二次処理および消化法の脱離液処理などに充分発揮されるものと考えられるが、し尿の処理は下水処理などとはその対象物に若干の相違があり、都市下水または産業废水処理の實驗結果をそのまま適用するのは当然得たものとは言い難く、また今日までにこの分野での酸素ばう気活性汚泥法の實驗結果は報告されていなし。

本實驗は酸素ばう気活性汚泥法がし尿処理にどのように対応するのかわかぬ見を得ることと目的に埼玉県北本処理場の前処理後の分離液処理を対象にし尿換算最低5kg/日の処理容量を持つパイロットプラントを用いて行なわれた。本稿執筆時に於いてまだ實驗は継続しているが大体の概略は知り得たのでここに報告する。

§2. パイロットプラントの概略と實驗方法

2-1 實驗用し尿 汲取生し尿はまずし尿投入槽に投入され、破砕機で破砕され、次のドラムスクリーン、スクリーンプレスで固液分離される。この分離し尿液は約1日空気により、ばう気される。パイロット試験に用いたし尿はこの前処理し尿である。汲取生し尿、前処理し尿、希釈水の性状をまとめて示す。なお流入希釈し尿水のCOD_{Cr}/BOD₅比は大体2.1であった。

表1 各種液の水質

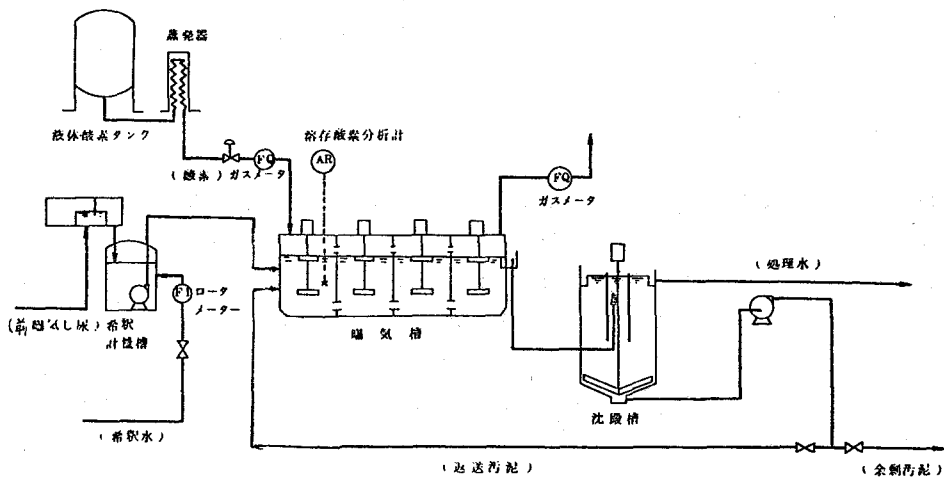
	汲取生し尿	前処理し尿	希釈水
BOD ₅ [mg/l]	11758	7819	0.68
COD _{MN} ["]	6667	8576	0.9
COD _{Cr} ["]	27680	16968	9
SS ["]	11867	8512	—
VSS ["]	8267	6811	—
塩素イオン ["]	—	2490	—

2-2 パイロット試験装置概略

本パイロット試験装置の概略図を次頁の図1に示す。

前処理し尿、希釈水はそれぞれ三角セキ、ロータリーで流量を計量し、希釈調整槽へ流し込み希釈混合されて、ばう気槽へ送られる。ばう気槽は気密構造で4段に分れ、各段に表面ばう気用のブレードタービンと攪拌用の補助羽根が設けられている。ばう気槽の容量は各段とも5.5m³(2m²×2m×1.4m)で、次段槽は7.7m³(2m²×2.5m)である。酸素、希釈し尿水、及び送風は第1段に入り、並流に流しながら各段で処理される。各段は完全混合とみなせるが段と段の間には液・ガス共に逆流は起こさず。酸素は第1段のガス相の圧力を一定(50mmH₂O)に保つように自動的に液体酸素タンクより蒸発器を経て供給される。供給酸素量はガスメータで計量する。各段の気相の酸素濃度は酸素濃度計で常時測定する。各段の液相の溶存酸素濃度も常時測定されており、溶存酸素濃度のコントロ-

図1 酸素活性汚泥法パイロットプラント



ルは表面ば、気の回転数を調節することにより行なわれる。表面ば、気機の回転数は70~180 rpm の範囲で調節可能である。排ガス量は酸素濃度が40%~50%になるように手動で調節し、カスケーターで計量後大気に放出される。第4段からの排出混合液は槽内のせきとオーバーして最終分離槽の中央部に供給される。液は次第分離する。

最終沈殿槽は、沈泥溜槽を有し、中央底から沈降沈泥を抜き出し、清澄水は周辺にとりつけた溢流口から流出する。沈降沈泥は逆送沈泥として曝気槽第一段に逆送されるがその量は可変速ポンプで調節する。余剰沈泥は最終沈殿槽における沈降沈泥の界面の高さをみながら抜き出す。その量は計量タンクでその割合、全量で計量する。

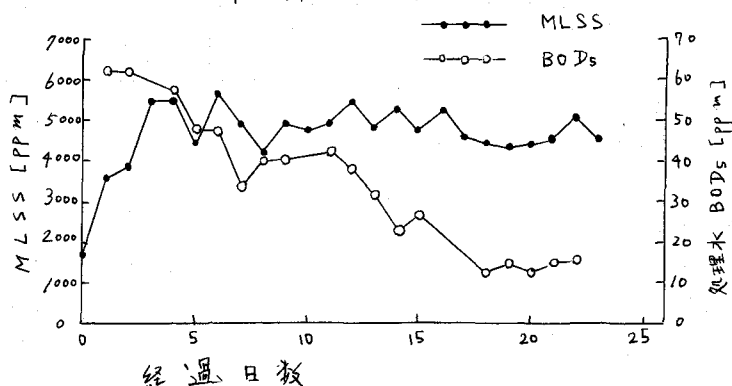
2-3 分析項目及び分析方法 流入水、処理水ともに2時間毎にサンプリングし、各々24時間分を混合して1日分のサンプルと調合した。曝気槽混合液および返送汚泥については適宜サンプリングを行なった。BOD₅, COD_{CR}, COD_{MN}, SS, VSS, PHについては流入水、処理水ともに混合サンプルにより毎日測定した。SOL-BOD₅, SOL-COD_{MN}については週一回流入水、処理水ともに混合サンプルにより測定した。MLSS, MLVSS, RSS, RVSSについては毎日9:00 A.M.における曝気槽混合液および返送汚泥につき測定した。SVIおよび初期沈降速度については、曝気槽第4段の出口混合液を毎日一回測定した平均値である。透視度は毎日2時間毎に測定したものの平均値である。なお試験法はすべて JIS-K-0102 および「下水試験方法」によった。また各段における気相の酸素濃度および混合液中の溶存酸素濃度は指示記録計の2時間毎の平均値をとった。

§ 3 實驗結果

3-1 馴養期間について 図2に馴養期間の処理水の水量の関係図を示した。零日目に隣接する空気式活性汚泥法の実用設備の返送スエス種ス泥として酸素法パイロットに投入した。そしてBOD 800ppmの希釈し尿水と曝気槽へ流入させ滞留時間8時間(流入水当り)で運転せつづけた。曝気槽内MLSSはほぼ2.3日で酸素法としては正常な濃度になったが処理水のBOD値が定常になるまで2週間か3週間を要した。この間、毎日顕微鏡観察を行なった。はいめに投入された空気式種ス泥には多量の糸状菌がみられた。また原生動物も遊泳性纖毛虫類(*Aspidisca* 等)が多く有柄性の纖毛虫類は比較的少なかった。とこ3か酸素法で馴養せつづ

けるうち、13日1週間程度で原生動物は有柄性繊毛虫類(*Vorticella*, *Epiplatys* etc)等も増えはじり、馴養経過後2週間では糸状菌類は顕微鏡下ではほぼ消失した。このことは酸素法では空気法とは異なる環境が異なるため、かなり異なった微生物反応があることを示唆しているものと思われる。

図2 馴養日数



3-2 実験成績 実験成績を総括的に表2に示す。ただし空気法と比較してあるのはパイロット試験ではなく、隣接する空気法実用プラントの10日間の分析結果である。

実験Iは希釈率18倍に希釈し、滞留時間を10時間にしたときの実験成績である。実験期間は47年12月の10日間である。流入水のBODsは最高575 mg/l, 最低308 mg/l, 平均461 mg/lであった。混合液のMLSSは4800 mg/lで揮発成分が50.3%であった。汚泥負荷及び容量負荷はそれぞれ0.27 kg-BOD/kg-MLVSS・日, 1.1 kg-BOD/M³・日である。処理水のBODは最高14 mg/l, 最低6 mg/l, 平均10 mg/lであった。SSは10 mg/l以内で平均7 mg/lであった。混合液のSVIは89 ml/g, 抜出し汚泥の固型物濃度は1.1%を示した。

実験IIは希釈倍率13倍、滞留時間7.4時間で実験した結果である。実験期間は48年2月の連続約20日間である。流入水のBODは最高826 mg/l, 最低384 mg/l, 平均601 mg/lである。汚泥負荷、容量負荷はそれぞれ0.85 kg-BOD/kg-MLVSS・日, 2.0 kg-BOD/M³・日である。処理水のBODは最高30 mg/l, 最低16 mg/l, 平均22 mg/lである。SSは30 mg/l以内で平均19 mg/lであった。BOD除去率は99~98%で平均98.3%であった。SVIは71 ml/g, 返送汚泥濃度は1.6%であった。

実験IIIは希釈倍率10倍とし、滞留時間は実験IIと同じ7.5時間である。実験期間は48年3月の連続約30日間である。流入水のBODは最高1322 mg/l, 最低495 mg/l, 平均821 mg/lである。汚泥負荷及び容量負荷はそれぞれ0.98 kg-BOD/kg-MLVSS・日, 2.5 kg-BOD/M³・日である。処理水のBODは最高33 mg/l, 最低18 mg/l, 平均25 mg/lであった。BOD除去率は95~98%で平均97%であった。SVIは63 ml/g, 返送汚泥濃度は1.7%であった。

実験IVは希釈倍率を実験IIIと同じ10倍で、滞留時間は6.0時間である。実験期間は48年5,6月の連続約30日間である。流入水のBODは最高1104 mg/l, 最低619 mg/l, 平均871 mg/lである。汚泥負荷及び容量負荷はそれぞれ0.86 kg-BOD/kg-MLVSS・日, 3.4 kg-BOD/M³・日である。処理水のBODは最高39 mg/l, 最低20 mg/l, 平均29 mg/lであった。BOD除去率は95~98%で平均96.7%であった。SVIは59 ml/g, 返送汚泥濃度は1.5%であった。

5.4. 考察

4-1 汚泥の沈降性 酸素法と活性汚泥法においては汚泥の沈降性が低いと一般に言われている。実験IにおいてはSVIが89 ml/gと酸素法としては多少高く、返送汚泥濃度も1%と比較的に低い結果が出たが、これは負荷が低かったことによるものと考えられる。余剰汚泥発生量もきわめて少ない。これに比べて、実験II, III, IVではSVIが71, 63, 59 ml/gと改善され、返送汚泥濃度も1.6, 1.7, 1.5%と上昇している。このため返送汚泥比が35~40%と通常の値であるにもかかわらず、ばう気槽内MLSSは4600~5500 mg/lと高い値を維持することが可能であった。

表 2 実験データ

項 目	実験 No	空気法	酸素法			
		実用施設	I	II	III	IV
希釈倍率 [倍]		19	18	13	9.5	19.0
滞留時間 (流入水当り) [時間]		20	19.0	24	25	6.0
" (流入水 + 送還) [時間]		15	6.1	5.5	5.9	4.5
前処理水量 [m ³ /日]		140	2.6	5.0	6.5	2.9
希釈水量 ["]		2600	45.4	60	55	72
流入水量 ["]		2740	48.0	65	62	80
送還汚泥 [%]		30	65	35	40	35
MLSS [mg/l]		1800	4800	4800	5500	4600
VSS / TSS [%]		—	90	90	90	90
流入水温度 [°C]		—	16	16	16	20
活性酸素 [mg/l]		5>	14	12	13	14
容量負荷 [kg-BOD / m ³ ・日]		0.5	1.0	2.0	2.5	3.4
汚泥負荷 [kg-BOD / kg-MLVSS・日]		0.32	0.27	0.45	0.48	0.86
最終沈殿水面積負荷 [m ³ / m ² ・日]		22	17	24	22	29
流入水水質 BOD ₅ [mg/l]		430	461	601	821	871
COD _{MN} ["]		—	210	327	461	451
COD _{Cr} ["]		—	890	1310	1806	1682
SS ["]		—	461	682	821	656
処理水水質 BOD ₅ ["]		25	10	22	25	29
COD _{MN} ["]		—	38	57	80	91
COD _{Cr} ["]		—	74	128	169	182
SS ["]		—	7	19	14	16
BOD 除去率 [%]		94.2	97.8	96.3	97.0	96.7
送還汚泥濃度 [%]		0.7	1.1	1.6	1.7	1.5
SV ₃₀ [%]		18	42	34	35	27
SVI [ml/g]		100	89	71	63	59
送還度 [cm]		16	30	15	20	17
余剰汚泥 [kg-SS / kg-除去BOD]		—	0.20	0.55	0.76	0.57
酸素消費量 [kg-O ₂ / kg-除去BOD]		—	0.93	0.80	0.77	0.74

4-2 BOD 除去について 実験Ⅰは負荷が低く抑えた実験であるが、これでも通常の空気法の 2 倍の負荷をえている。処理水は極めて良好な結果を得た。実験Ⅱは負荷がいっそう増えた実験であるが、Ⅰに比べて除去率は低下した。実験Ⅲは同じ滞留時間で BOD 濃度を大きくした実験である。処理水の水質はⅡに比べて悪化した。除去率はかえって良くなっている。実験ⅣはⅢに比べて BOD 濃度はほぼ同じで滞留時間は短くした実験である。処理水の水質もⅢに比べて当然良くなっている。ⅣがⅡよりも除去率の点で良好化していることは、はいかに希釈して処理するよりも、希釈水と処理前後に適量にありあてた方が希釈水の節約になることを示している。図 3 に BOD 容量負荷と BOD 除去率の関係を示す。図 4 は容量負荷が 0.4、5 kg-BOD / m³・日

の範囲では、負荷によ
ては除去率はほとんど
変化しないことを示し
ている。

4-3 汚泥の生成
Eckenfelder⁹⁾によって提
出されている式を適用し
て、定常状態における余
剰SSとBOD除去と一
定の関係があるとして図
示すると図4のようにな
る。ただしこのパイロット
プラントの余剰汚泥計量
法によると、余剰汚泥生
成量は日によって変動が
大きいので、一週間を平
均としてデータを算出し
た。汚泥の生物学的増殖
は下記の式で表わされる。

$$Y = aX - bY \quad \dots \textcircled{1}$$

ここに

Y: 揮発性汚泥生成量
[kg-VSS/日]

X: 除去BOD量 [kg/日]

M: 槽内MLVSS量 [kg]

a: 除去BODの汚泥転換率
[kg/kg]

b: 汚泥の自己酸化速度係数
[1/日]

①式をMで除すると

$$Y/M = a X/M - b \quad \dots \textcircled{2}$$

図4よりばらつきはあるが

$$a = 1.02, \quad b = 0.21$$

を得る。これは酸素法都市下水の実験式⁷⁾

$$a = 1.05, \quad b = 0.27$$

と大差ない値である。なお、これはa, bの値は
Eckenfelder¹⁰⁾の空気法都市下水のa, bの値に比
べて大きい値である。すなわち、これは、酸素
法の発生量は空気法に比べて汚泥負荷の低い値
(0.3以下)ではなく、汚泥負荷が高く(0.4~0.5)

図3 BOD除去率

。実験I, x 実験II, Δ 実験III, □ 実験IV

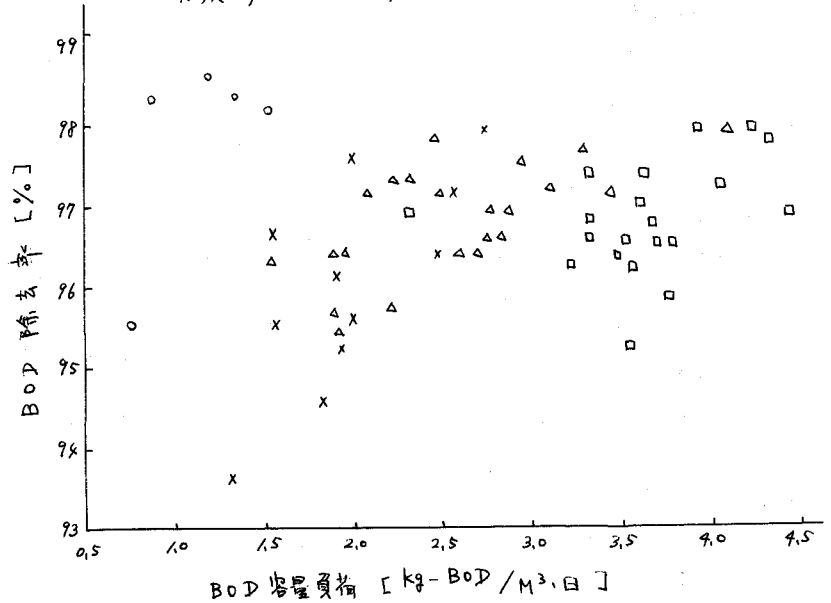


図4 汚泥生成量

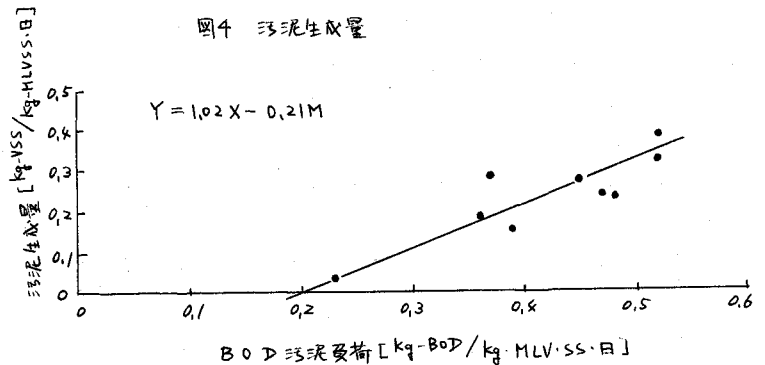
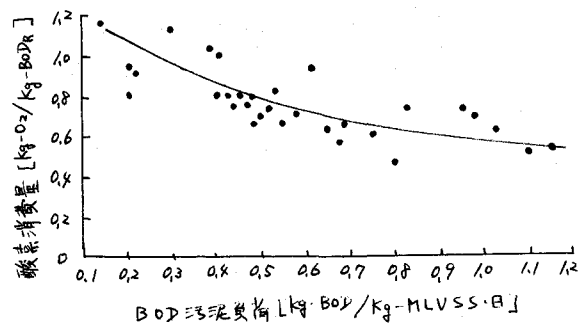


図5 BOD除去当り酸素消費量



なるにつれて同程度になってくることを示している。

4-4 酸素消費量について

一般に活性汚泥処理における必要酸素量は下記式で表わされる。⁹⁾

$$O = \alpha X + \beta M \quad \text{--- ③}$$

ここに

O : 必要酸素量 [kg/日]

α : 除去された BOD のうち増殖のエネルギー一供給のために利用される割合 [kg/kg]

β : 汚泥の呼吸係数 [kg/kg・日]

③式を X , 或いは M で除すると各々

次式が得る。

$$O/X = \alpha + \beta \frac{M}{X} \quad \text{--- ④}, \quad \frac{O}{M} = \alpha \frac{X}{M} + \beta \quad \text{--- ⑤}$$

図5に BOD 汚泥負荷と除去 BOD 当りの酸素消費量との関係を示す。又図6に BOD 汚泥負荷と単位汚泥当りの酸素消費量との関係を示す。図6より $\alpha = 0.50$, $\beta = 0.11$ が得る。すなわち新しい細胞合成のためには除去 BOD 1kg 当り 0.50 kg の酸素を要求し、また酸素エアーレーションで 1kg の MLVSS の内生呼吸を維持するには 1日当り 0.11 kg の酸素が必要であることを示している。この値は都市下水で行なった酸素活性汚泥実験⁷⁾の $\alpha = 0.53$, $\beta = 0.16$ と類似した値にある。

5. 結論

ここで結論をまとめると

- (1) 酸素活性汚泥法はし尿処理に十分適用できる。しかも希釈倍率も10倍、滞留時間も8時間と短縮できる。
- (2) 汚泥の沈降性がよく、又逆送汚泥濃度も高いので通常の逆送汚泥槽で十分高い MLSS 濃度を維持できる。
- (3) 汚泥の生成量は汚泥負荷の低い範囲 (0.3以下) で空気法よりも少なく、高い汚泥負荷 (0.4, 0.5程度) で同程度になる。
- (4) BOD 除去率は容積負荷 5.0 kg-BOD/m³・日 以下の範囲で容積負荷によらずほぼ一定にある。
- (5) 酸素消費量は通常の汚泥負荷 (0.4 ~ 0.6 kg-BOD/kg-MLVSS・日) でほぼ 0.8 kg-O₂/kg 除去 BOD である。
- (6) 酸素供給で馴致した汚泥と空気法で馴致した汚泥とは微生物学的反応に若干の相違があることが予想されるが、明らかに今後の研究に期待したい。

[参考文献]

- 1) 2) 3) 4) 5) 6) 9) は 7) の参考文献の各々 1) 2) 3) 4) 5) 6) 12) に相当する。
- 7) "Investigation of the Use of High Purity Oxygen Aeration in the Conventional Activated Sludge Process" HW&A, Report, No. 17050 (May, 1970)
- 8) "High Purity Oxygen in Biological Treatment of Municipal Wastewater" WPCF Vol. 44 No. 1 (1972)
- 10) Eckentlicher, J. W. W.; Water Quality Engineering for Practicing Engineers, 156 (1970) Barnes & Noble, Inc.

図6 汚泥当り酸素消費量

