



活性汚泥法による難分解性物質の分解処理

橋本 奨* 尾崎 保夫**

化学工場で生産された種々の合成有機化合物の内、多くのものは微生物分解を受けにくい難分解性物質であるため、これらによる環境汚染が深刻な社会問題となっている。著者らは、これまで難分解性物質の一つであるポリビニールアルコール (PVA) の活性汚泥処理について研究を進めて来たが、ここでは、これら難分解性物質の処理に対する考え方と得られた実験結果の一部を簡単に紹介する。

1. 理 論

活性汚泥微生物の増殖と基質除去の関係は、経験的・実験的に次式で示される。

$$\frac{1}{S} \frac{dS}{dt} = Y \frac{1}{S} \frac{dl_r}{dt} - b \dots \dots (1)$$

ここで、S ; 活性汚泥微生物濃度 (ppm),
 l_r ; 基質除去濃度 (ppm), Y ; 収率係数, b ;
 活性汚泥微生物の自己分解係数 (1/日)

一方、活性汚泥による基質除去は、Michaelis-Menten 式をより一般化した次式に従う¹⁾。

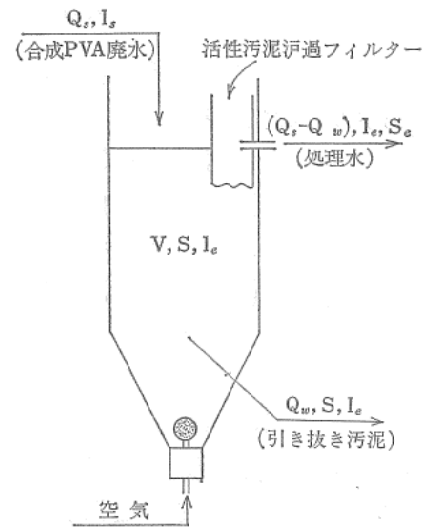
$$\frac{1}{S} \frac{dl_r}{dt} = \frac{k \cdot l_e^n / S^m}{K_m + l_e^n / S^m} \dots \dots (2)$$

ここで、k ; 最大基質除去速度 (mg/mg/日),
 l_e ; 処理水基質濃度 (ppm), K_m, m, n ; 恒数

第1図には、室内実験で用いた活性汚泥処理装置の模式図を示した。活性汚泥混合液を曝気槽に装着した濾過フィルターで濾過し、SSの含まない極めて澄明な処理水を得た。第1図に基づき、活性汚泥微生物の物質収支をとると次式が得られる。

$$V \left(\frac{dS}{dt} \right)_n = V \left(\frac{dS}{dt} \right) - Q_w S - (Q_s - Q_w) S_e \dots \dots (3)$$

ここで、 $\left(\frac{dS}{dt} \right)_n$; 曝気槽内の活性汚泥微生物の Net の変化速度 (mg/l/日), $\left(\frac{dS}{dt} \right)$; 活



S ; 活性汚泥微生物濃度 (mg/l), V ; 曝気槽の容積 (l)
 l_s ; 流入廃水の基質濃度 (mg/l), l_e ; 処理水の基質濃度 (mg/l)
 S_e ; 処理水中の浮遊物質濃度 (mg/l), Q_s ; 廃水の流入量 (l/日)
 Q_w ; 活性汚泥混合液の引き抜き量 (l/日)

第1図. 活性汚泥処理装置の模式図

性汚泥微生物の増殖速度 (mg/l/日)

本実験では、活性汚泥混合液を直接曝気槽より引き抜いているので、曝気槽内の活性汚泥の平均細胞滞留時間 (t_s) は、次式で示される。

$$t_s = \frac{V S}{Q_w S + (Q_s - Q_w) S_e} \dots \dots (4)$$

(3)式, (4)式より活性汚泥の比増殖速度を μ (1/日) とすると次式が導かれる。

$$\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right) = \mu = \frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n + \frac{1}{t_s} \dots \dots (5)$$

ところで、活性汚泥法では、下廃水中に含まれる種々な有機物をそれぞれ特異的に酸化分解する微生物群が、長期間の間に自然馴養され、下廃水の基質組成に応じて安定化するの、この微生物群を含むフロック汚泥が、活性汚泥といわれるものである。そこで、難分解性物質処理という観点から、(5)式を用いて、 t_s 制御と活性汚泥中に含まれる各微生物の増殖速度の関連について以下に考察する。ここで、難分解性物

*大阪大工学部環境工学科教授, 医博, 工博.
 ** 同上 助手

質とは、比基質除去速度 $\frac{1}{S} \left(\frac{dl_r}{dt} \right)$ が、易分解性物質のそれに比べ著しく低いものをいい、各難分解性物質分解微生物が、それぞれ難分解性物質を分解・資化して増殖するものとする、これら微生物の Y , b は、易分解性物質分解微生物のそれらと大差のないことが判っているので²⁾³⁾,

(1)式より $\frac{1}{S} \frac{dl_r}{dt}$ が小さい程、微生物の比増殖速度 (μ) は、小さくなることが示唆される。さらに活性汚泥中の各微生物の μ は、各々单独の場合と同一であると仮定すると、難分解性物質を含む実際廃水の処理で、難分解性物質を分解処理できた場合には、その廃水中に含れる最も分解されにくい基質を分解する微生物つまり、難分解性物質を分解する微生物の比増殖速度 $[\mu]_{min}$ が、他の微生物の比増殖速度 μ に比べて、最も小さくなるはずである。

従来の標準活性汚泥法では、易分解性物質(例えば BOD) 除去を主目的に運転されているので、 $\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n = 0$ の定常状態として、この場合、 t_s , μ , $[\mu]_{min}$ の関係は、次式で表わされる。

$$1/t_s = \mu > [\mu]_{min} \dots \dots \dots (6)$$

即ち、活性汚泥中に難分解性物質分解微生物が、存在したとしても、(6)式のような条件で活性汚泥法の運転管理を行うと、最終的には、増殖速度が $1/t_s = \mu$ 以下の微生物は、すべて曝気槽から抜き取られるので、結果として難分解性物質は処理できなくなる。 t_s を大きくする、つまり $1/t_s = \mu$ を著しく小さく活性汚泥法を運転すれば、(6)式は次式のように書きかえられる。

$$1/t_s = \mu \leq [\mu]_{min} \dots \dots \dots (7)$$

(7)式にあうように、活性汚泥プラントを運転管理すれば、活性汚泥中には易分解性物質の分解は勿論、難分解性物質の分解にも関与するすべての微生物が育生され、難分解性物質を含むすべての有機物が分解されることになる。すなわち、活性汚泥法による難分解性物質の処理では、 $1/t_s \leq [\mu]_{min}$ となるように、 t_s を極めて大きくとらなければならない。

定常状態では、 $1/t_s = \mu$ となるので、(1)式を変形すると次式が得られる。

$$t_s = \frac{S}{Y \left(\frac{dl_r}{dt} \right) - bS} \dots \dots \dots (8)$$

(8)式より、 t_s を大きくするには、 $\left(\frac{dl_r}{dt} \right)$ を小さくするか、或るいは S を大きくしなければならないが、前者の $\left(\frac{dl_r}{dt} \right)$ を小さくする場合は、曝気槽を大きくして容積負荷を下げなければならない難点があるので、難分解性物質の処理には、 S を大きくした高濃度活性汚泥法が最も適していることが示唆される。

これを実験的に証明するため PVA を唯一の炭素源とする合成 PVA 廃水と PVA 含有織物加工工場廃水の活性汚泥処理実験を行った。

2. 実験結果

PVA 含有廃水を可成り以前から従来の標準活性汚泥法で処理している織物加工工場の活性汚泥を、さらに合成 PVA 廃水で約 1 ヶ月馴養することにより、活性汚泥の比 PVA 除去速度を高めた後、この PVA 馴養汚泥を用いて、PVA 処理の至適環境条件を調べたところ、至適 pH は、7.9 から 8.4、DO は、2 ~ 3 ppm 以上、至適温度は、30°C 或いはこれよりやや高いところにあり、10°C 以下では、比 PVA 除去速度は、著しく低下した。

次に、先の至適環境条件で、各種 PVA 未馴養汚泥や河川水等を種汚泥として、PVA 馴養実験を行ったところ、種汚泥の種類によりやや異なるが、いずれも 10 日から 20 日の誘導期間の後に、PVA の顕著な分解が認められた。しかし、種汚泥が一度 PVA 除去能を獲得すると、種汚泥の違いによる PVA 除去能の差異は、あまり認められず、いずれも 1 ヶ月前後で PVA によく馴養された活性汚泥となった。

第 1 表は、PVA の活性汚泥処理における至適 t_s を求めるため、20 日から 142 日までの各操作 t_s で定常状態に達するか或いは処理不能となるまで長時間連続処理を行い、得られた結果を一括表示したものである。操作 $t_s = 40$ 日以下では、 $1/t_s$ が PVA 馴養汚泥の $[\mu]_{min}$ より大きく、PVA 馴養汚泥濃度が徐々に低下し、最終的には、活性汚泥が団子状に固まるか或いは発泡等により正常な活性汚泥処理ができ

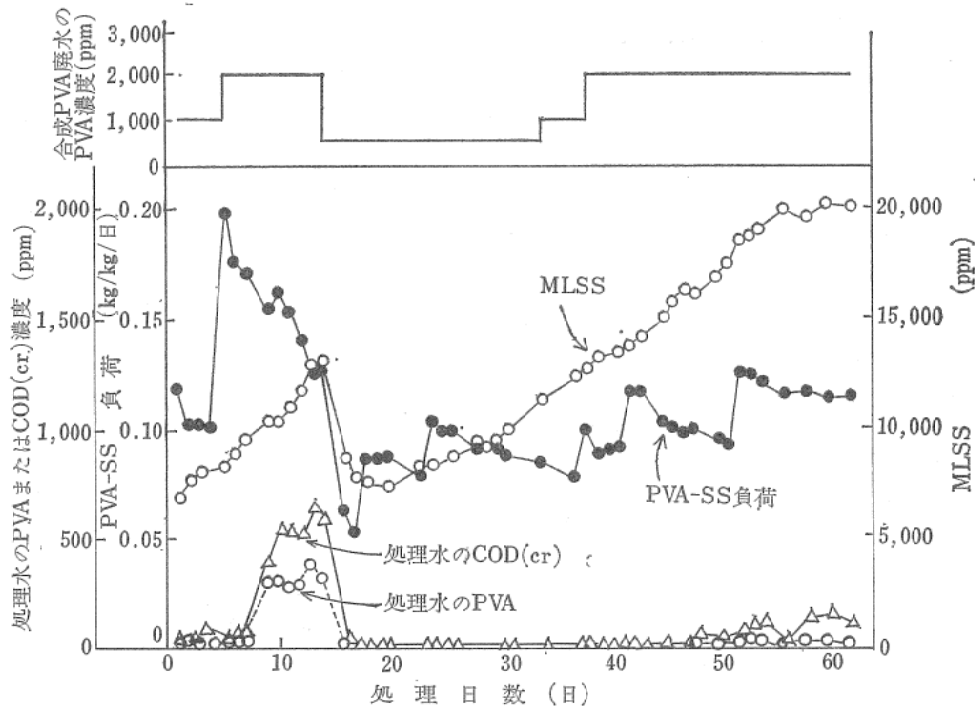
第1表. 各種操作 t_s における PVA の連続処理成績

PVA の連続処理成績		実験開始時				定常状態もしくは運転不能状態時					
		MLSS (ppm)	PVA-SS 負荷 (kg/kg/日)	処理水の PVA 濃度 (ppm)	PVA 除去率 (%)	定常状態もしくは運転不能状態にいたる日数 (日)	MLSS (ppm)	PVA-SS 負荷 (kg/kg/日)	PVA-SS 除去量 (kg/kg/日)	処理水の PVA 濃度 (ppm)	PVA 除去率 (%)
実験No.	操作 t_s										
実験-1	20*	11,180	0.0717	15.9	98.4	40	5,150	0.152	0.137	106	89.4
	30*	13,080	0.0622	1.9	99.8	100	5,740	0.137	0.102	256	74.4
	40*	10,770	0.0750	7.4	99.3	86	5,600	0.160	0.142	38.5	96.3
	50	20,800	0.0401	1.37	99.9	38	13,330	0.0611	0.0610	1.7	99.8
	75	19,840	0.0421	3.0	99.7	130	10,810	0.0778	0.0771	9.9	99.1
	100 ¹⁾	11,030	0.0783	19.7	98.2	66	12,000	0.0660	0.0655	7.7	99.2
実験-2	50 ²⁾	2,890	0.0684	1.15	99.4	62	2,060	0.101	0.1004	0.95	99.5
	142 ³⁾	2,870	0.0707	0.93	99.5	90	3,490	0.0578	0.0575	1.1	99.4

実験-1では、PVA 濃度 1,000 ppm の合成 PVA 廃水を用い、実験-2 では PVA 濃度 200 ppm の合成 PVA 廃水を用いた。

*活性汚泥が団子状に固まるか或いは発泡等の要因で運転不能状態になる。

- 1) 操作 $t_s=75$ 日 で定常状態に達した活性汚泥を用い、ただちに操作 $t_s=100$ 日 で PVA の処理を続行した。
- 2) 操作 $t_s=142$ 日 で定常状態に達した活性汚泥を用い、引き続き操作 $t_s=50$ 日 で PVA の処理を続行した。
- 3) 操作 t_s 約 130日 で2ヵ月余り PVA の連続処理を行っていた活性汚泥を用い、操作 $t_s=142$ 日 で PVA の処理を続行した。



第2図. 高濃度活性汚泥法による合成 PVA 廃水の処理

なくなるので、PVAの活性汚泥処理では、操作 t_r を少なくとも50日以上にしなければならないことが判った。得られた定常値より、(1)式と(2)式の動力学パラメーターを求めたところ、 $Y=0.298$ 、 $b=0.00978$ (1/日)、 $k=0.153$ (kg PVA/kg SS/日)、 $K_m=1.50 \times 10^{-3}$ ($m=n=1$)となった。

第2図には、高濃度活性汚泥法による合成PVA廃水の処理結果を図示した。実験初期には、PVA-SS負荷をあげすぎたため、一時処理水質が悪化し、汚泥が団子状に固まったこともあったが、DOを3~4 ppmに保持し、PVA-SS負荷0.09~0.125 (kg PVA/kg SS/日)の範囲でPVAの高濃度活性汚泥処理を続けたところ、MLSSが、20,000 ppmを越えても比PVA除去速度の低下は認められず、良好な処理水が得られた。

一方、PVA-SS負荷0.05 (kg PVA/kg SS/日)と0.10 (kg PVA/kg SS/日)でPVAの連続処理を行っているPVA馴養汚泥の比酸素利用速度($\frac{1}{S} \frac{dO_2}{dt}$)は、それぞれ3.22 (mg O_2 /gSS/hr)と4.59 (mg O_2 /gSS/hr)⁴⁾で、下水処理汚泥の $\frac{1}{S} \frac{dO_2}{dt}$ に比べると約1/2から1/5であり⁵⁾、グルコース等易分解性物質馴養汚泥のそれより一桁以上も低い⁶⁾。従って、同一酸素供給能を持つ曝気槽での処理を考えた場合、槽内の汚泥濃度を $\frac{1}{S} \frac{dO_2}{dt}$ が低い分だけすなわち、下水処理場汚泥より約2倍から5倍高くしても酸素供給の面では、支障のないことが示唆

される。

これらの結果より、PVA馴養汚泥の $\frac{1}{S} \frac{dO_2}{dt}$ 、 $[\mu]_{\min}$ および $\frac{1}{S} \frac{dO_2}{dt}$ は、易分解性物質馴養

汚泥のそれらより著しく小さいので、PVA等難分解性物質の処理法としては、曝気槽内の汚泥濃度を高くした高濃度活性汚泥法が、最も効果的であることが判る。

そこで、高濃度活性汚泥法のパイロットプラント(浮上分離型と回転ドラム分離型、何れも曝気槽の容積1.5m³、MLSS、10,000~13,000 ppm)を織物加工工場に設置し、実験室で得られた知見をもとにPVA含有糊技廃水の処理試験を行ったところ、PVAはほぼ完全に除去され、良好な処理水が得られた。

参考文献

- 1) 橋本; "SRT", 下水道協会誌, 14 (156), 117~119 (1977).
- 2) Wodzinski, R.S., Johnson, M.J; "Yields of Bacterial Cells from Hydrocarbons", Appl. Microbiol., 16 (12), 1886~1891 (1968)
- 3) 洞沢著; "廃水の生物学的処理", 技報堂 (1976), 137~144.
- 4) 橋本, 藤田, 尾崎, "活性汚泥法によるPVA等難分解性物質の処理の実用化に関する研究", 昭和51年3月, 大阪大学工学部環境工学教室刊, 183~187.
- 5) Eckenfelder, W.W., O'Connor, D.J. 著, 岩井訳; 廃水の生物学的処理, コロナ社 (1965), 42.
- 6) 三上; "活性汚泥処理における基質と微生物フローラの動態", 微生物の生態3, 東京大学出版会 (1975), 125~145.

正解

千手観音は、またの名を千手千眼観世音というように、千の手と千の眼を持つ観音様です。もちろん実際に千本も手を彫刻するのは大変なので、合掌している真中の手を除くと、左右四十手につくられている場合が多いようです。つまり、一手で二十五有世界の人々を救うとされ、四十本の手で千本分の働きを持つとされています。その掌の一つ一つに、慈愛のまなざしで人々を見守る目を描き、観世音の功德を広くこの世に及ぼそうとしているのです。