

長岡技術科学大学 正。原田 齊樹  
正 桃井 清至  
東京都 正 鈴木 雄

1.はじめに： ルーガー型反応器は上昇流部下端から原廃水と空気を供給し、生物ペレットを充満層により、気流動化をしめ、液体より昇流・下降流による循環過程でペレットに基質と酸素を効率的に導入能動させ、有機性廃水の好適な処理を効率よく達成できるノベル・リニアターである。本反応器の浄化機構は、気-液-固系三相間の基質と酸素の物質移動現象によく複雑な美解されてい。本研究は、ルーガー型充満塔及応器をフェノール廃水連続処理系に適用し、その除去機構を動力学的観察から検討したところである。

2. 実験条件および方法： 反応器は図-1に示すようだ。上昇流部内径80mm、下降流部内径40mm、塔高約1mのアクリル製カラムで、生物ペレットの流出を防ぐ目的で流出部に逆ロード状の次段器を取り付けた。半一炭素源としてフェノール、窒素源としてNH<sub>4</sub>Clを用いた基質組成を表-1に示す。フェノールは0.45M濃度後、4-アミノアンチピリン法で分析した。槽内生物濃度はDOD量法ヒカルターナー分解基素法を併用した。ペレット平均径は実体顕微鏡全真から測定し、モルサント全生物湿润体積と生物乾燥重量からペレットの乾燥密度(dry weight/wet volume)を算出した。K<sub>La</sub>はペレットを取り除いた培養液にHg(II)を分散増殖性生物を活性化させた後、DDX-ターナーにより測定した。また、ペレットを分散増殖する場合の動力学的の $10^3 \times -k$ を測定する目的で、ペレットをケーリング・ガレンターナー完全に分散化させた生物を無機培養液(表-1参照)で、3000rpm、2回遠心洗浄後、種々の回分実験を行ひ、左。呼吸速度は木<sup>3</sup>/ロット<sup>2</sup>をマイクロ・レスピロメーター(YSI. model 53)を用いて測定した。実験は25°C恒温室内で行なった。

3. 実験結果と考察： ルーガー型反応器は、都市下水余剰汚泥を施種し、流入フェノール濃度200mg/l、水理学的滞留時間60minで連続培養すると、径が数mmにあつて系統性ペレットが優れた形形成された。反応器内の基質と、統計除去速度は、ペレット内の基質とDOの分散拡散の影響を受けて11.3比をもつて、ペレットを強制的に分散化させ、分散拡散を取り除いた状態で以下回分実験を行ひ、左。

(1)回分実験1：比基質除去速度によれば基質濃度の影響を検討した結果を図-2に示す。

高濃度阻害型の基質依存性を示してあり、図中示したモデル式を適用して、非線形最小2乗法より、 $\nu_{max}$ 、 $K_s$ 、 $K_i$ 、 $10^3 \times -k$ を評価した。左、回帰曲線を図中に示した。

(2)回分実験2：基質除去、生物増殖、酸素消費の相互の量論的関係を評価す

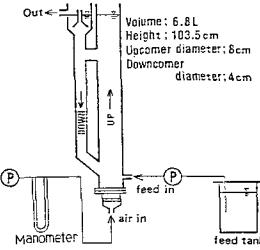


図-1 装置図

表-1 基質組成

Phenol	200 (mg/l)
NH <sub>4</sub> Cl	120
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	85
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	623.6
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7.2
CaCl <sub>2</sub>	3.6
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.48
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.096
ZnCl <sub>2</sub>	0.24
FeCl <sub>2</sub>	0.144
CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.114

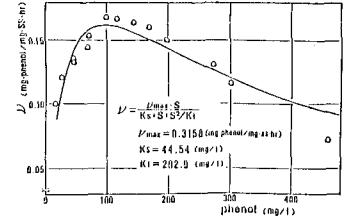


図-2. 比基質除去速度

表-2. モデル式

$$\begin{aligned} & \frac{dC}{dt} + \frac{2}{V} \frac{dF}{dt} = -k_1 C - k_2, \quad \eta = \frac{3}{\rho} \frac{dF}{dt} \Big|_{t=1} \quad (1) \\ & \dot{\rho} = \frac{F_1}{1 + \frac{F_1}{K_1} + \frac{F_2}{K_2}} \quad (2), \quad k_1 = \frac{Y_{O_2} \rho F_1 K_1^2}{K_1 + D_1} \quad (3) \\ & R_S = \frac{(F_1 + F_2) + \bar{S}}{K_1 + \bar{S}} \quad (4), \quad \bar{S} = C_p / C_b, \quad \bar{C} = C_p / C_b, \quad \bar{F} = F / V \\ & \therefore \bar{F}_1 = K_1 / S_b, \quad \bar{F}_2 = S_b / K_2, \quad K_1 = K_a / C_b \\ & \bar{S} = S_p / S_b, \quad \bar{C} = C_p / C_b, \quad \bar{F} = F / V \\ & \text{境界条件 (1)} \quad \bar{F} = 1 \quad \bar{S} = 1 \quad (5) \\ & \text{(II) (A)} \quad \bar{F} = \bar{F} \Big|_{\bar{S}=1-K_2} ; \quad \frac{dC}{d\bar{F}} = 0 \quad (6) \\ & \text{(B)} \quad \bar{F} = \bar{F} \Big|_{\bar{S}=0} ; \quad \frac{dC}{d\bar{F}} = 0 \quad (7) \\ & \text{(C)} \quad \bar{F} = 0 ; \quad \frac{dC}{d\bar{F}} = 0 \quad (8) \\ & \alpha = (Y_{O_2} \cdot S_b \cdot S_b) / (D_{O_2} \cdot C_b) \quad (9) \\ & \frac{dC}{d\bar{F}} = \frac{1}{\bar{F}} (S_b - S_b) - (\eta X_1 + X_2) \frac{Y_{O_2} \rho S_b}{K_1 + \bar{S} + S_b / K_2} \frac{C_p}{K_2 + C_b} \quad (10) \\ & \frac{dC}{d\bar{F}} = \frac{1}{\bar{F}} (C_p - C_b) + K_a (C_p / C_b) - (X_1 + X_2) \frac{Y_{O_2} \rho S_b}{K_1 + \bar{S} + S_b / K_2} \frac{C_p}{K_2 + C_b} \quad (11) \end{aligned}$$

## &lt;用語記述&gt;

R: ルーガー半径 [L], S: 基質 ( $\text{mg/l}$ ) 濃度 [ $\text{mg l}^{-1}$ ], C: DO濃度 [ $\text{mg l}^{-1}$ ],  $F$ : 生物活性器 [l/h],  $X_1$ :  $\text{mg l}^{-1}$  生物濃度 [ $\text{mg l}^{-1}$ ],  $X_2$ : 分散拡散物質浓度 [ $\text{mg l}^{-1}$ ],  $T$ : 生理学的滞留時間 [h],  $\eta$ : 基質除去率 [-],  $\nu_{max}$ : 単位表面積生産度 [ $\text{mg l}^{-1} \text{h}^{-1}$ ],  $K_s$ : 基質飽和度 [ $\text{mg l}^{-1}$ ],  $K_i$ : 饱和度抑制係数 [ $\text{mg l}^{-1}$ ],  $D_1$ : 基質拡散係数 [ $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ ],  $D_2$ : 基質拡散係数 [ $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ ],  $Q_{O_2}$ : 空呼吸量 [ $\text{l h}^{-1}$ ]<未了> P: 入口, A: 出口, i: 流入, o: 流出, \*: 駆動

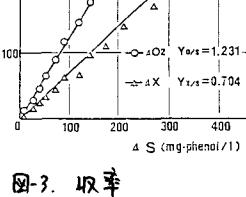


図-3. 収率

為、初期 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 濃度 480 mg/l、初期半導體濃度 500 mg/l で回分培養を行なった。図-3 は基質除去量 S、生物増殖量  $X$ 、酸素消費量  $\text{DO}_2$  の経時変化を示す。それより線形關係が得られ、吸率  $Y_{S/S} = 1.23$  ( $80\text{mg Phe}$ )、 $Y_{X/S} = 0.704$  ( $80\text{mg Phe}$ ) が求められた。

(3) 回分実験3：分散化生 物の比呼吸速度  $Q_{O_2}$  は  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  に対して高濃度阻害型、 $\text{DO}_2$  に対してモル型、生存因子と併用し、酸素飽和度  $K_{O_2}$  を求めた為に、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  濃度 215~425 mg/l の範囲で、 $t_{1/2}$  及び  $\text{DO}_2$  を用いて  $\text{DO}_2$  消費速度を測定した。スピロメーターチューブ内  $\text{DO}$  が初期  $\text{DO}$  ( $C_0$ ) の  $1/2$  に達する時間と半減期  $t_{1/2}$  とすると、 $\text{DO}$  変化に比べて  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  濃度変化は無視できるとして次式が成立する。

$$C_0 = 2 \cdot X \cdot Q_{O_2 \max} \{ S / (K_{O_2} + S^2/K_{O_2}) \} t_{1/2} - 2 \cdot K_{O_2} \cdot \ln 2$$

図-4 は、 $C_0$  と  $t_{1/2}$  の関係を図示したものであり、(3)より平均して  $K_{O_2} = 0.053 \text{ mg O}_2/\text{l}$  が得られた。 (4) 回分実験4：分散化生 物とペレット状生 物の比呼吸速度及ぼす基質濃度の影響を図-5 に示す。分散化生 物と比較してペレットの  $Q_{O_2}$  は  $1/3$  程度であり、かつペレット径の大きい方がさらには低い傾向を示している。これは、ペレット内が  $\text{DO}$  の拡散抵抗を受けていることを意味している。そこで表-2 にペレット拡散モデル①~⑩式を求めて、有効因子  $\eta$  を計算すると、ペレット  $Q_{O_2}$  をシミュレーションすることができる。拡散係数として、 $25^\circ\text{C}$  水中、 $90\%$  値 ( $D_f = 0.504 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{min}$ 、 $D_{O_2} = 0.12 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$ ) を用い、他の動力学的パラメータ値は回分実験1~3の結果を使用して求めた計算値を図-5 中に実験で示した。実測値とよく一致しており、ペレット内拡散係数の妥当性を示すものと判断される。

(4) 連続実験：以上の回分実験から求められたパラメータ値を用いて連続実験を実行した。HRT = 60 min で流入  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  濃度、ガス流入速度を変化させて行なった連続実験の条件と結果を表-3 に示す。

表-2 に提示した拡散モデルによるシミュレーション結果を、有効因子  $\eta$  で整理し、実測値と比較したものと図-6 に示す。

流出水 COD の高い RUNS 6, 7, 8 は代謝半産物の影響が大き

く表わされており計算値とは少しあが、他の RUNS は良く一致している。図-7, 8 はそれぞれ、流入  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  濃度のステップ増加、流入ガスを air から  $\text{O}_2$  へ切り換えた時の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  の応答を示したものである。図中の実線はシミュレーション結果である。図-7 ではステップ前後を通じて  $\text{O}_2$  拡散律速であるが、ステップ後はバルク側

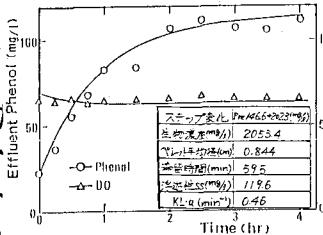


図-7.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :ステップ応答

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  濃度が高いため、ペレット表面により近い位置での  $\text{O}_2$  が消費しきれ、結果的に  $\text{O}_2$  が低下する。図-8 では、 $\text{O}_2$  流入への切り換えたことでバルク側の  $\text{O}_2$  が  $6.8 \text{ mg/l}$  で  $\text{DO}$  拡散律速から、ステップ後  $30 \text{ mg/l}$  上昇し、そのため  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  除去が促進され、その結果  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  拡散律速の状態となる。以上、 $1\text{L}-70$  型反応器におけるペレット  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  除去機構の解明をモデル化を行なった。

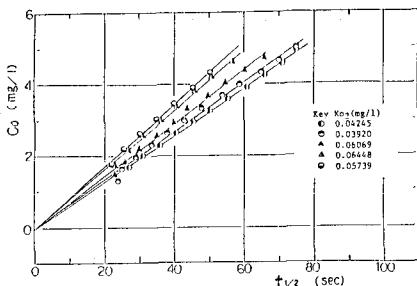


図-4. 酸素飽和度  $K_{O_2}$  の評価

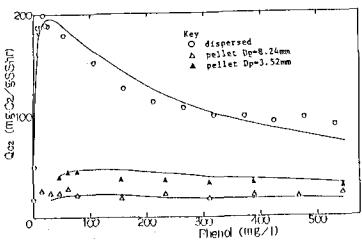


図-5. 比呼吸速度の基質濃度依存性

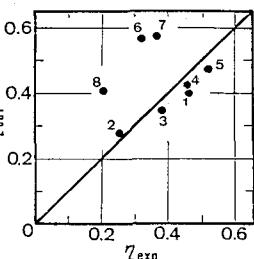


図-6. 有効因子の予測値

Run No.	Gas Flow Rate (l/min)	Inf. Phenol (mg/l)	Eff. Phenol (mg/l)	Eff. COD (mg/l)	Specific Removal Rate (mg/l) <sup>2</sup> mg Phe/gSS-hr
1	air(1.49)	178.54	19.78	87.80	1.01 42.02
2	air(0.76)	178.54	48.32	170.59	0.75 34.46
3	air(1.53)	178.54	25.30	168.08	1.01 40.55
4	air(1.92)	178.54	19.74	115.40	1.26 42.02
5	air(2.05)	178.54	16.56	105.36	1.51 42.36
6	0 <sub>2</sub> (0.49)	312.62	86.44	304.80	50.81
7	0 <sub>2</sub> (0.75)	312.62	63.01	258.39	4.53 56.07
8	air(1.15)	312.62	189.66	718.72	0.84 27.62

図-3. 連続実験実験条件と結果

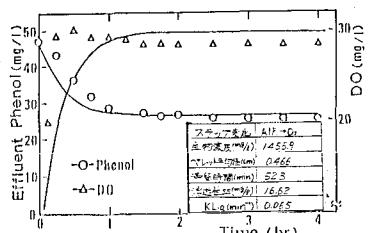


図-8.  $\text{O}_2$  ステップ応答