

II-421

嫌気性生物膜における揮発性脂肪酸除去速度の解析

群馬大学工学部 (正)〇榊原 豊・(正)湯沢 恩・(正)黒田正和

1. まえがき 近年、下廃水処理の省エネルギー化及び操作・管理の平易化を目的として、嫌気性(メタン発酵)生物膜法の処理性能が種々の廃水に対して検討されている。本研究は、嫌気性生物膜のプロピオン酸、酪酸及び混合酸除去速度について実験的検討を行い、先に報告した生物膜モデル¹⁾に従って各酸除去特性に及ぼす生物付着量の影響について理論的検討を行った。

2. 実験装置および方法 実験装置は前報²⁾と同じく完全混合型の嫌気性充填床(3槽)で、液容積は2.71 基材比表面積は $1.85 \sim 0.792 \text{ cm}^{-1}$ 、処理温度は 37°C とした。供試廃水はプロピオン酸、酪酸及び混合酸(酢酸:プロピオン酸:酪酸=0.56:0.32:0.12(g-C/g-C))を炭素源とする合成下水を用い、各基質で馴致した処理槽に略3年間連続供給した。実験は、生物付着量が大きく異なる場合について、供給廃水の流入負荷を種々変化させて行い、定常状態における流出酸濃度、酸除去速度およびメタン発生速度を測定した。次に、酢酸を主成分とした合成廃水(全有機炭素の1~3%は通常基質)を供給し、供試生物膜の酢酸除去速度を測定した。酢酸供給実験の終了後は、直ちに通常基質を連続供給した。各処理槽の操作条件は先のメタン菌固着膜槽²⁾と同様で、流入酸濃度は略 $100 \sim 1500 \text{ mg-C/l}$ 、HRTは $0.12 \sim 2.0$ 日、流入負荷は $0.03 \sim 11 \text{ mg-C/cm}^2\text{d}$ の間で種々変化させた。槽内のpHは $6.8 \sim 7.8$ に制御し、全操作における平均pHは略7.3であった。またプロピオン酸及び酪酸処理における平均メタン回収率は $92 \sim 94\%$ であった。

3. 実験結果および解析 Figs.1(A),(B)は、プロピオン酸で馴致した生物膜槽における、プロピオン酸除去速度と流出プロピオン酸濃度との関係及び酢酸廃水を供給した実験における酢酸除去速度と流出酢酸濃度との関係を示したものである。図からわかるよう各酸除去速度 $N_{Si \text{ flux}}$ は次式のようなMonod型の速度式で表わされ、Table 1に示した飽和定数および最大除去速度が得られた。これら速度パラメーターより得られる除去速度の近似値は、図中に実線で示した。

$$N_{Si \text{ flux}} = \frac{(N_{Si})_{\max} \cdot C_{Si}^*}{K_{Si}^* + C_{Si}^*} \quad (1), \quad N_{Si \text{ flux}} = \frac{(N_{Si})_{\max} \cdot B_{Si}}{\lambda K_{Si} + B_{Si}} \quad (2)$$

ここに、 C_{Si}^* :流出酸濃度、 $(N_{Si})_{\max}$:最大酸除去速度、 K_{Si}^* :飽和定数、 $B_{Si}=C_{Si}^*/K_{Si}^*$ 、 $\lambda K_{Si}=K_{Si}^*/K_{Si}$ 、 K_{Si} :微生物の基質分解飽和定数。

酪酸馴致生物膜槽および混合酸馴致生物膜槽に対しても基質除去速度はMonod型速度式で表わされ、得られた速度パラメーターはTable 1に併せ示した。なお、略3年間の連続実験の終了後、生物膜を剥離・分散させ、固着微生物の飽和定数 K_{Si} を測定した(Table 1)。表より、各生物膜の最大除去速度及び飽和定数は生物付着量の増加につれ増加し、また剥離分散状態の飽和定数は、プロピオン酸が略 12 mg-C/l 、酪酸が略 4 mg-C/l であった。酢酸除去速度の飽和定数は、生物付着量が小さい条件では各生物膜槽とも略 $16 \sim 19 \text{ mg-C/l}$ であった。

筆者らは先に、メタン菌固着膜における酢酸除去速度の飽和定数から無次元化膜特性値 M_{Si} (Eq.3)を解析し、得られた膜特性値及び操作的因子 P_{Si} (Eq.4)を用いることによって種々の生物付着量における処理特性が精度よく評価されることを示した²⁾。本報では、揮発酸分解過程における個々の反応ステップに対して同様な解析を行った。Fig.2は、Eq.(2)における飽和定数の変化量 $\lambda K_{Si}=K_{Si}^*/K_{Si}$ と膜特性値 M_{Si} との理論的關係(図中の実線)²⁾およびTable 1より求めた実測値を示したものである。ここで、プロピオン酸及び酪酸分解速度の飽和定数 K_{Si} は剥離・分散状態の値を用い、また酢酸分解の飽和定数は 16 mg-C/l ²⁾とした。膜特性値 M_{Si} 及び操作的因子 P_{Si} と生物付着量 X_{Si} の関係を求めると、両者はEqs.(3),(4)で近似され、各酸分解過程に対してTable 2に示した比例係数 β_{Si} 及び γ_{Si} が得られた。

$$M_{Si} = L \cdot (\hat{\gamma}_{Si} \rho \alpha_{Si})^{1/2} = \beta_{Si} \cdot X_{Si} \quad (3)$$

$$P_{Si} = L / (a \cdot \bar{\theta} \cdot D_{Si}) = \gamma_{Si} \cdot X_{Si} / (a \bar{\theta}) \quad (4)$$

ここに、 L :生物膜厚、 $\hat{\gamma}_{Si}$:最大比酸分解速度、 α_{Si} :微生物比率、 a :基材比表面積、 D_{Si} :膜内の基質有効拡散係数、 $\bar{\theta}$:HRT、 X_{Si} :生物付着量

Fig.3は、酪酸分解の飽和定数 $K_B=4(\text{mg-C/l})$ として、酪酸馴致生物膜槽における処理特性の実測値とEqs.(3),(4)より得られる計算値¹⁾とを比較したものである。図中のEtは全有機炭素の除去率、 ω_{B*} 、 ω_{A*} は酪

酸および酢酸の流出濃度を流入酪酸濃度 C_{Bf} で除した無次元流出濃度、 $B_{Bf}=C_{Bf}/K_B$ である。図に示したように、実測値と計算値はよく一致した。生物付着量が小さい場合プロピオン酸処理槽で実測値と計算値は異なる傾向がみられたが、他の付着条件及び処理槽では両者はほぼ一致した。

4. まとめ 酪酸馴致生物膜、プロピオン酸馴致生物膜および混合酸馴致生物膜の揮発酸除去速度を測定し、これら速度と生物付着量との関係を生物モデルに従って解析した。また、処理特性を支配する無次元変数を生物付着量の関数として表わした。

[引用文献] 1) 榊原・黒田: 衛生工学研究論文集, Vol.21, pp.133-143(1985)、2) 榊原・湯沢・黒田: 土木学会論文集, Vol.375/II-6, pp.311-318(1986)、

Table 1 Observed kinetic parameter of biofilm

Biofilm [Acclimation substrate]	Acetate removal			Propionate removal			Butyrate removal		
	$\dagger$) $\dagger\dagger$) (M_s) $_{max}$, ($\hat{Y}_s$) *	$\ddagger$) K_s *	∇) K_d *	$\dagger$) $\dagger\dagger$) (M_s) $_{max}$, ($\hat{Y}_s$) *	$\ddagger$) K_s *	∇) K_d *	$\dagger$) $\dagger\dagger$) (M_s) $_{max}$, ($\hat{Y}_s$) *	$\ddagger$) K_s *	∇) K_d *
[propionate]									
$X_p=1.11$ mg-C/cm 2	0.50 (0.45)	16	1.18 (1.06)	12	—	—	—	—	—
$X_p=2.89$ mg-C/cm 2	2.76 (0.96)	40	3.30 (1.14)	19	—	—	—	—	—
$X_p=6.37$ mg-C/cm 2	5.50 (0.86)	80	6.13 (0.96)	88	—	—	—	—	—
[butyrate]									$\nabla\nabla$)
$X_b=1.42$ mg-C/cm 2	1.21 (0.85)	19	—	—	1.61 (1.27)	4.0	—	—	8.3
$X_b=2.71$ mg-C/cm 2	2.40 (0.89)	40	—	—	4.95 (1.63)	36	—	—	8.3
$X_b=4.50$ mg-C/cm 2	3.12 (0.69)	56	—	—	6.05 (1.34)	53	—	—	20
[acid mixture]									
$X_m=0.43$ mg-C/cm 2	0.59 (1.37)	17	0.36 (0.84)	15	0.19 (0.44)	6.7	—	—	—
$X_m=1.39$ mg-C/cm 2	2.78 (2.00)	40	1.22 (0.88)	21	0.71 (0.51)	10	—	—	—
$X_m=2.94$ mg-C/cm 2	5.12 (1.74)	82	2.11 (0.72)	47	0.85 (0.29)	20	—	—	—

$\dagger$) ; maximum removal rate (mg-C/cm 2 d)
 $\dagger\dagger$) ; maximum specific rate (mg-C/mg-C-d)
 $\ddagger$) ; half-velocity coefficient (mg-C/l)
 ∇) ; observed result in suspension

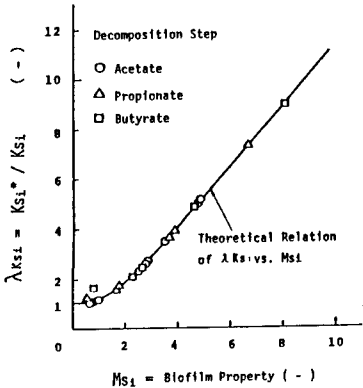


Fig. 2 Relation of the increment of half-velocity coefficient with biofilm property

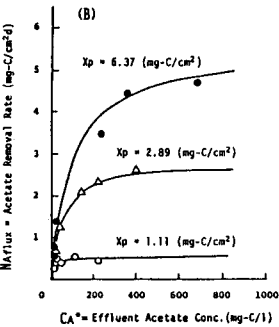
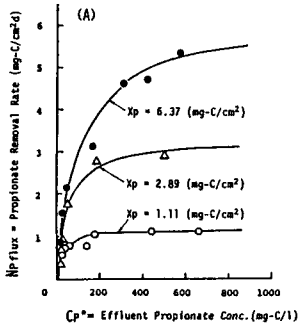


Fig. 1 Variations of propionate removal rate (A) and acetate removal rate (B) with attached biomass (Xp), in propionate acclimated biofilm

Table 2 Proportionality coefficients of biofilm property and operation parameter to attached biomass

Biofilm	$\beta s_1 = M_{s1} / X_{s1}$ (cm 2 /mg-C)	$\gamma s_1 = P_{s1} \cdot a \cdot \bar{\theta} / X_{s1}$ (cm 2 /mg-C) (decomposition step)	
Propionate acclimated	$\beta_p = 1.1$ $\beta_a = 0.82$	$\gamma_p = 1.4 \cdot 10^{-2}$ $\gamma_a = 1.2 \cdot 10^{-2}$	[propionate] [acetate]
Butyrate acclimated	$\beta_b = 2.6$ $\beta_a = 0.83$	$\gamma_b = 1.8 \cdot 10^{-2}$ $\gamma_a = 1.4 \cdot 10^{-2}$	[butyrate] [acetate]
Acid mixture acclimated	$\beta_a = 1.7$ $\beta_p = 1.3$ $\beta_b = 1.7$	$\gamma_a = 2.5 \cdot 10^{-2}$ $\gamma_p = 2.8 \cdot 10^{-2}$ $\gamma_b = 3.6 \cdot 10^{-2}$	[acetate] [propionate] [butyrate]

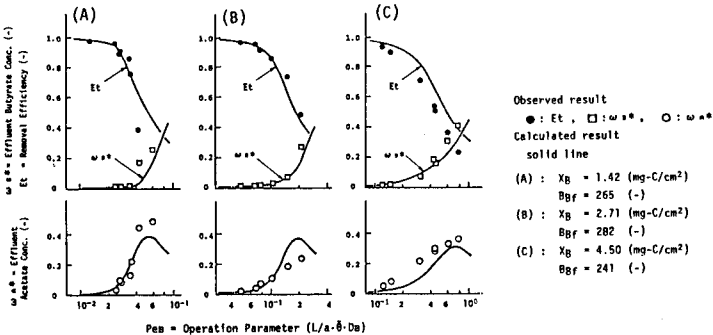


Fig. 3 Comparison of calculated and observed results of treatment characteristics for various attached biomasses in butyrate acclimated biofilm reactor