

北海道大学工学部 (正) 井上雄三 (学) ○三好敬久 (正) 神山桂一

1. はじめに 嫌気性方式による下・廃水処理が好気性方式の代替処理法として使われるようになるには、除去速度が十分大きく、かつ、物質移動抵抗が十分小さな反応槽の開発が最も重要である。前者は生物膜タイプの相分離メタン生成槽によって達成できると思われる。後者は槽内の流れの状態と大きく関係しているが、その影響の程度はよく分っていない。そこで本報では、いくつかの形状の充填材を用いて物質移動係数に与える形状の効果を実験的に考察し、メタン生成槽の効率化に影響を及ぼす因子についても言及した。

2. 実験条件および方法 実験装置の概略を図-1に、充填材の特性値を表-1に示す。反応槽は内径10cm、長さ30cmの円筒を用い、内部に直径10cm、長さ26cmの円柱形に成形した充填材を入れた。総液量は約5ℓ、(反応部2.4ℓ、調整槽2.1ℓ、その他0.5ℓ)である。馴養時の循環流量は、10ℓ/min、20ℓ/min、回分実験は馴養時流量以下で行われた。表-2に示した合成廃水(栄養塩その他は文献¹⁾を参照)を用い、主として3段階の負荷で馴養を行い、それぞれの区間で酢酸による回分除去実験を行った。槽内温度は35℃、PHは7~7.5一定である。

3. 物質移動係数の算定 回分基質除去実験で得られた基質除去がMonod型の基質除去速度式

$$-dC/dt = R_m C / (K_m + C) \quad \dots\dots (1)$$

C: 液本体濃度, t: 反応時間

K_m: 飽和定数, R_m: 最大基質除去速度

を積分して得られる次式

$$(C_0 - C) + K_m \ln(C_0/C) = R_m \cdot t \quad \dots\dots (2)$$

C₀: 初期基質濃度

に従うとして、探索法(シンプルクス法)

により、パラメータ K_m, R_mを推定することによって、回分除去曲線が得られる。図-2はその一例である。プロットは実験値、曲線は探索により求めた

Monod型モデルである。他の回分実験の結果もこの図と同様Monod型モデルに非常によく合致することが明らかになった。井上ら²⁾は、以上の事実に基づき、Monod型モデルの汎用性から拡散層(濃度境界層)を考慮した生物膜内拡散モデルとMonod型モデルとの対応関係をとり、飽和定数は生物化学的条件である最大基質除去フラックス(N_m)と物

理条件である物質移動係数(K_L)によって決まることを明らかにし、次の関係式を導き出した。

$$K_m = N_m / K_L \quad \dots\dots (3)$$

$$\text{但し, } N_m = V \cdot R_m / A \quad \dots\dots (4)$$

V: 槽内液容量

A: 生物膜表面積(充填材表面積)

図-3は循環流量10ℓ/min(空塔流速0.21m/s)で得られたR_mとK_mの関係を示したものである。これらの2つのパラメータの間には、明らかに直線関係が

表-1 充填材の特性値

充填材	形状	比表面積(m ² /m ³)
1	ハニカム状	308
2	積層型ハニカム状	280
3	波板状	320
4	モール状	330

表-2 基質組成

Component	(%)
CH ₃ COOH	59.5
C ₂ H ₅ COOH	16.7
C ₃ H ₇ COOH	23.8

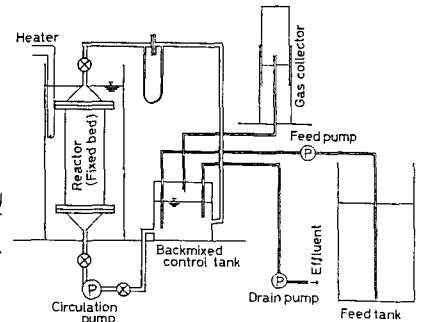


図-1 実験装置の概略

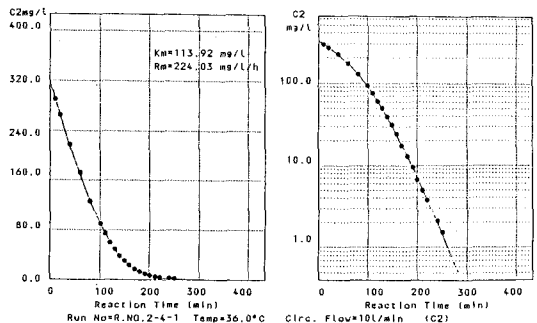


図-2 酢酸の回分除去曲線 (Monod型モデル)

存在していることから、(3)式の妥当性を実験的にも確認できる。

以上のように、 R_m 、 K_m が求まると(3)式よりそれぞれの充填材についての K_L を計算することができ、次に示す除去率と関係づけることによってメタン生成槽にとって除去効率の高い充填材形状の特徴を明らかにすることができる。

4. 結果と考察 回分実験より得られた K_L は、充填材によっても、また流速によっても異なる値を示した。

ここで、 $K_L = D/\delta \dots (5)$ (D :拡散係数、 δ :拡散層厚さ)であり、温度が一定ならば K_L は δ のみの関数になる。一方、 δ はレイノルズ数 Re の関数であるから

$$K_L = \alpha \cdot Re^n \dots (6) \quad (\alpha, n: \text{定数})$$

とする。但し、レイノルズ数に用いる代表長さ α としては $4 \cdot V_f/A$ (V_f :充填材の占める容積)を用いた。この値はハニカム状充填材においてはセル径に相当する。求められた K_L とレイノルズ数の関係を両対数プロットを行うと図-4のように直線関係が得られ、(6)式が成立することが分かる。表-3はグラフより求められた α と n の値である。 n の値 $0.28 \sim 0.29$ は、円管における理論式から得られる値 $1/3$ と近い値になっていることから、ほぼ妥当な値といえる。一方、 α は充填材形状の特徴を表わす特性値と考えることができる。表に示したように充填材によって異なっている。

次に充填材の形状の影響を除去率で評価する。(1)、(3)、(6)式より、連続流における除去率 r は次式で与えられる。

$$r = \frac{1}{2} \left\{ \beta \cdot V / \alpha \cdot Re^n A \tau + \beta + 1 - \sqrt{(\beta \cdot V / \alpha \cdot Re^n A \tau + \beta - 1)^2 - 4 \cdot \beta \cdot V / \alpha \cdot Re^n A \tau} \right\} \dots (7)$$

但し、 $\beta = Nm/La$ (La :面積負荷)、 $Re = U \cdot d/\nu$ (U :流速、 ν :動粘性係数)、 τ =滞留時間。図5、6、7はそれぞれ β 、流速(U)、 α をパラメータとし、代表径 α と除去率の関係をシミュレートしたものである。これらの図より以下のことが明らかになる。① β は通常3以上になるので除去率に与える影響は大きくない。②流速も同様に大きくない。③ α は除去率に大きな影響を与える。④代表径も同様に影響が大きい。 α に影響する因子としては、ハニカム状充填材を積層にただけで大きく変化(1.7倍)していることから、入口効果(境界層が未発達)や波板状充填材のように局所的な乱れ効果が考えられる。

5. 結論 メタン生成層の効率を飛躍的に高めるための充填材の条件には

- (1)代表径が小さいこと、即ち充填材単位体積当りの表面積が大きいこと
- (2)充填材形状の物質移動に関する特性値 α が大きい充填材を選ぶことが挙げられる。しかしながら、これらの条件は閉塞・圧力損失、有効表面積に対しては負の効果を与える。この点については今後の課題としたい。

なお、充填材を提供していただいたメーカーに心から謝意を表します。また、本研究の一部は、厚生省科学研究費の助成によって行われた。

<参考文献> 1)井上、神山;オ38回土木学会年講(II-399), 1983

2)井上、神山;オ39回 " " (II-461), 1984

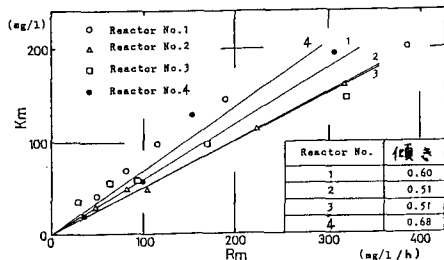


図-3 パラメータ R_m と K_m の関係

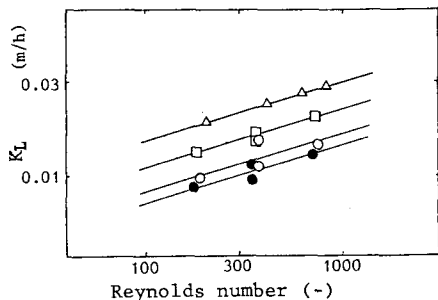


図-4 レイノルズ数と物質移動係数(K_L)の関係

表-3 n と α の値

充填材の種類	n	α
ハニカム状	0.28	0.00217
積層型ハニカム		0.00390
波板状		0.00298
モール状		0.00197

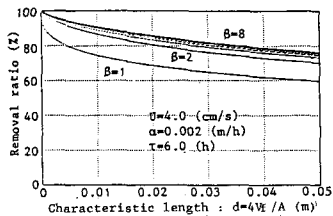


図-5 除去率のシミュレーション(n =0.28, $\Delta \beta=1$)

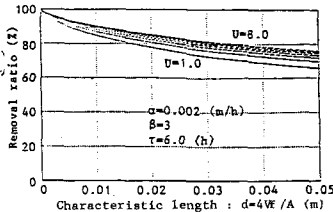


図-6 除去率のシミュレーション(n =0.28, $\Delta U=1.0$)

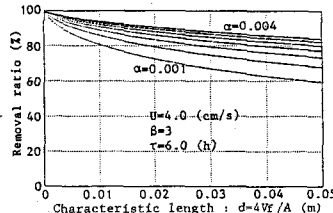


図-7 除去率のシミュレーション(n =0.28, $\Delta \alpha=0.0005$)