

活性汚泥法における溶解性基質の除去機構について

京都大学工学部 正員 若井重久, 北尾高嶺

学生員 ○尾原隆史

1. 緒言 活性汚泥法などの汚水の生物処理法が, 他の生化学工程といらじろしく異なる点の一つとして, 多くの場合対象となる汚水中に含まれている基質は種々雑多な有機物から構成されており, そのために生物処理における基質の除去機構は非常に複雑なものとなる。すなわち, こうした汚水の浄化過程においては, 微生物反応の進行に伴って, 汚水中のBOD物質は時間とともに単に量的変化のみでなく, BOD物質を構成する有機物の組成変化に基づく質的变化を示す。このため, 質的变化の影響は, 取り扱う廃水によって組成がそれぞれ異なるため, 一般的数式的表示はほとんど不可能と思われる。本研究では, 上記の点に着目しながら, 理論的に矛盾なく, しかもある程度簡略化して溶解性BODの除去機構を表現する目的で, 実験に基づいて考察と検討も行なった。

2. 基礎的考察 単一の基質からなる汚水の基質濃度と基質除去速度との間には次式の関係が成立することが認められている。

$$\frac{1}{S} \frac{dc}{dt} = -\frac{\mu_{max} c}{k_m + c} \quad (1)$$

ここで, c : 基質濃度, S : 汚泥濃度, t : 曝気時間, k_m, μ_{max} : const

多種多様な基質からなる汚水のBOD除去反応は, 多数の単一基質除去反応の複合反応とみられるが, この点について(1)式のような関係が適用できなければ都合が悪い。こうして取り扱いが可能であると仮定すると, BOD物質は時間とともに質的に変化していくので, k_m, μ_{max} はどのようなパラメータは時間の関数となる。ある汚水について考えるならば, その初期濃度が異なると, 基質の残存率が同一であれば同一の組成を有すると思われるので, k_m, μ_{max} は残存率 α の関数となる。すなわち,

$$k_m = f(\alpha), \quad \mu_{max} = g(\alpha) \quad (2)$$

という形で表わし得る。この関係を(1)式に代入すれば,

$$\frac{1}{S} \frac{dc}{dt} = -\frac{g(\alpha)c}{f(\alpha)+c} = -\frac{g(c_0)c}{f(c_0)+c} \quad (c_0: \text{BODの初濃度}) \quad (3)$$

という形でBODの除去機構を表わすことができる。ここで, α が1から任意の値まで変化する間における k_m, μ_{max} の overall の値を $\bar{k}_{m,a}, \bar{\mu}_{max,a}$ と表わし, 式(3)で S の増加は汚泥の初濃度 S_0 に対して小さいと仮定し, $S \doteq S_0$ として(3)式を積分すれば, $c = dc_0$ とする曝気時間は,

$$t = \frac{1}{\bar{\mu}_{max,a}} \left(\frac{\bar{k}_{m,a}}{S_0} \ln \frac{1}{\alpha} + \frac{c_0}{S_0} (1-\alpha) \right) \quad (4)$$

で表わされる。 $c_0/S_0 = \text{const}$ の条件の下で α のみを変化させる場合とは,

$$t = \left(\frac{\bar{k}_{m,a}}{\bar{\mu}_{max,a}} \ln \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{c_0}{S_0} \right) \frac{1}{c_0} + \left\{ \frac{1}{\bar{\mu}_{max,a}} \cdot \frac{c_0}{S_0} (1-\alpha) \right\} = A \left(\frac{1}{c_0} \right) + B \quad (5)$$

$S_0 = \text{const}$ で c_0 のみを変化させる場合とは,

$$t = \left(\frac{\bar{k}_{m,a}}{\bar{\mu}_{max,a}} \ln \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{S_0} \right) + \left\{ \frac{(1-\alpha)}{\bar{\mu}_{max,a} S_0} \right\} c_0 = A' + B c_0 \quad (6)$$

の関係を得る。すなわち、 k_m および μ_{max} が C_0 , S_0 との関係で d の α の関数となるという仮定が正しいならば、 $c = d C_0$ となる α の必要曝気時間は、 $C_0/S_0 = const$ の条件の下では $(\frac{1}{C_0})$ に比例して、 $S_0 = const$ の条件の下では C_0 に比例して、それぞれ一次の関係を有することとなる。

3. 実験方法 試料廃水としては、糖蜜廃液、都市下水（汚濁物質を除いたろ液）、人工下水、スキムミルク液、ウイスキー蒸留廃液（ろ液）の5種を用いた。これらに対して、じゅうぶん馴致した汚泥を用い、バッチ法の処理実験によりBOD₅の経時的な変化を測定した。実験条件としては、 $C_0/S_0 = const$ の条件の下でおのおのを変化させる場合と、 C_0 のみを変化させる場合とについて、各1系列の実験に際して4〜6通りの濃度を用いた。

4. 実験結果および考察 残存BOD₅が C_0 から dC_0 にまで変化するので必要曝気時間(t)と $\frac{1}{C_0}$ あるいは C_0 との関係の一例を示すと図-1(a), (b)のようになる。 C_0 がある値をこえると t はかえって増大するという矛盾した結果を示すが、これは高濃度基質の阻害作用によるものと思われる。そのゆえ、この範囲を除外すれば、 t と $\frac{1}{C_0}$ あるいは C_0 との関係は一次の関数で近似することは可能で、(5), (6)式の妥当性、しかも(7)式の妥当性は一応確かめ得るものと思われる。

いま d が $d + \frac{\Delta d}{2}$ から $d - \frac{\Delta d}{2}$ にまで減少するので必要曝気時間を Δt とすれば、 Δd が微小であればこの間にわたる k_m , μ_{max} の値は一定とみなし得るから、 Δt と C_0 との関係は、

$$\Delta t = \left(\frac{k_m}{\mu_{max}} \ln \frac{C_0(d + \frac{\Delta d}{2})}{C_0(d - \frac{\Delta d}{2})} \cdot \frac{1}{S_0} \right) + \left(\frac{C_0(d + \frac{\Delta d}{2}) - C_0(d - \frac{\Delta d}{2})}{\mu_{max} S_0} \right)$$

$$= \left(\frac{k_m}{\mu_{max}} \ln \frac{d + \frac{\Delta d}{2}}{d - \frac{\Delta d}{2}} \cdot \frac{C_0}{S_0} \right) \frac{1}{C_0} + \frac{C_0 \cdot \Delta d}{\mu_{max} S_0} \quad (7)$$

となる。こゝより図-1(a)の場合について d と μ_{max} の関係を求めると、図-2のようになる。 μ_{max} は d の減少とともに減少し、この場合はやや下へ凸な曲線と仮定したが、直線に近いであろう場合や上へ凸になる場合も認められる。そのゆえ d と μ_{max} の関係は、

$$\mu_{max} = m d^n + b = m \left(\frac{C_0}{S_0} \right)^n + b \quad (8)$$

(n は m , n および b は定数)、で一般的に表すが可能である。一方、 C_m の値はほとんどの場合数10ppm程度であり、これを定数とみなしても、BOD除去速度 μ 及び誤差は小さいと思われる。さらに若干の誤差を許容すれば $n=1$ として単純化が可能であり、結局BOD除去の反応は、 $\frac{1}{S} \frac{dc}{dt} = -(m d + b) \left(\frac{C}{k_m + C} \right) = - \frac{\{ (m C_0 / S_0) C + b \} C}{k_m + C} \quad (9)$

で表わすことができる。

