

早稲田大学理工学部

学生員 ○富沢儀生

早稲田大学理工学部

学生員 田中久善

早稲田大学理工学部

正会員 遠藤郁夫

1. 緒言

反応動力学モデルとして完全混合型反応槽を用いて、嫌気性中温消化実験を行い、Monod Model式を適用して反応動力学的解析を行った。本研究は15日消化および20日消化の各反応槽のSelf-Control Actionについて、反応動力学的説明を行なうとともに、実験的に検討を加えたものである。

2. 実験方法

合成基質を用いて完全混合型反応槽による半連続投入実験を行った。消化温度は37℃、消化日数は15日消化および20日消化とした。種移植は中温汚泥消化実験で十分馴致したものを使用した。基質の引き抜き投入は1日1回とし、撪拌料は反応槽内混合液が十分均一になる程度に1日2回撪拌機を回した。合成基質はTrypton, Dextrose, Beef ExtractおよびYeast Extractを、2:1:0.48:0.12の割合に混合し、これに数種の栄養塩類を加えたものを使用した。

3. 反応槽のSelf-Control Action

完全混合型反応槽における微生物濃度及び基質の物質収支式は、嫌気性消化が平衡に進行して、動的平衡状態が維持され、安定した定常状態が確立している場合、 $dX^0/d\theta=0$ 、あるいは $dX^S/d\theta=0$ とおくことによって、反応槽内微生物濃度 X^0 、及び基質濃度 X^S はそれぞれ(1)式および(2)式で表すことができる。すなわち、

$$X^0 = \frac{Y^0(X^S_0 - X^S_1)}{1 + K^d \theta^r} \quad (1) \quad X^S_1 = \frac{K^S(1 + K^d \theta^r)}{\theta^r K^m - (1 + K^d \theta^r)} \quad (2)$$

X^0 ; 反応槽内微生物濃度 X^S_0 ; 投入基質濃度 X^S_1 ; 反応槽内基質濃度 K^d ; 微生物比死滅速度
 K^m ; 微生物最大比増殖速度 K ; 微生物比増殖速度 Y^0 ; 菌体収率 θ^r ; 滞留時間 K^S ; Michaelis-Menten Constant (飽和定数)

(2)式には投入基質濃度 X^S_0 が含まれていないことから、反応槽内基質濃度 X^S_1 は滞留時間 θ^r のみによって決まる。すなわち、反応槽内基質濃度は滞留時間を一定にすれば、投入基質濃度の影響を受けないことになる。反応槽内基質濃度を一定にするためには、投入基質濃度の増加に伴い反応槽内の基質の分解能力が増加することになる。このような現象を反応槽のSelf-Control Actionとしている。Self-Control Actionの機構は投入基質濃度に応じて微生物濃度が増加するためと考えられる。

4. 実験結果と考察

4.1 モデル定数と最小消化日数 反応動力学モデル定数は、中温嫌気性消化における滞留時間に関する研究に示したように(1)、(2)式にLineweaver-Burk Plot法を適用して求めた。その結果を表-1に示す。

反応槽のSelf-Control Actionの解明は、嫌気性汚泥消化槽の安定性を知るうえで極めて重要な要素である。中温嫌気性消化における、アルカリ発酵期の希釈率 D と基質濃度 X^S_1 、微生物濃度 X^0 、および微生物増殖速度 $X^0/(D+K^d)$ との関係を図-1に示した。また反応槽内の微生物増殖速度は(3)式で表すことができる。

$$(D+K^d)X^0 = DY^0(X^S_0 - X^S_1) = DY^0\left\{X^S_0 - \frac{K^S(D+K^d)}{K^m - (D+K^d)}\right\} \quad (3)$$

この場合、微生物増殖速度が最大となる希釈率の値 D_{max} は、(3)式を微分することによって求めることができる。すなわち、

$$\frac{d\{(D+K^d)X^0\}}{dD} = Y^0\left\{X^S_0 - \frac{K^S(D+K^d)}{K^m - (D+K^d)}\right\} - DY^0 \frac{\{K^m - (D+K^d)\}K^S + K^S(D+K^d)}{\{K^m - (D+K^d)\}^2} = 0 \quad (4)$$

となる。これから D について解くと次のようになる。

$$\begin{aligned} D_{max} &= \frac{-(X^S_0 + K^S)(K^d - K^m) \pm \sqrt{(X^S_0 + K^S)^2(K^d - K^m)^2 - (X^S_0 + K^S)(K^d - K^m)\{K^d - X^S_0 K^m\}}}{X^S_0 + K^S} \\ &= -(K^d - K^m) \pm \left\{ \frac{(K^d - K^m)(X^S_0 + K^S)(K^d - K^m) - \{K^S + (X^S_0 + K^S)K^d - X^S_0 K^m\}}{X^S_0 + K^S} \right\}^{1/2} \\ &= K^m - K^d \pm \left\{ \frac{K^S K^m (K^m - K^d)}{X^S_0 + K^S} \right\}^{1/2} \quad (5) \end{aligned}$$

ここで $D=K^m X^s_1/(K^s+X^s_1)-K^d=K-K^d$ である。 $K=K^m$ のとき $K^m-K^d>D$ にならねばならないから、(5)式は

$$D_{max}=K^m-K^d-\left\{\frac{K^s K^m (K^m-K^d)}{X^s_o+K^s}\right\}^{1/2} \tag{6}$$

となる。(6)式に表-1に示したモデル定数を代入すると、

$$D_{max}=0.0991-0.00986-\left\{\frac{699 \times 0.0991 \times (0.0991-0.00986)}{1300+699}\right\}^{1/2}=0.0687 \text{ (day}^{-1}\text{)}$$

となる。古沢らの研究によれば最小消化日数 θ^r_{min} を次のように定義している。 $\theta^r_{min}=1/D_{max}=14.6 \equiv 15$ 日消化。すなわち、中温嫌気性消化におけるアルカリ発酵期の最小消化日数は15日消化と考えることができた。また、このことは、図-2の消化日数とメタン含有率の関係からも認められた。

4.2 15日消化および20日消化における Self-Control Action 図-1および図-2の関係から認められるようにアルカリ発酵期の最小消化日数としての15日消化とアルカリ発酵期の十分安定していると考えられる20日消化について Self-Control Actionの実験的研究を行った。

(2)式に表-1のアルカリ発酵期における反応動力学モデル定数を代入し、それぞれ15日消化および20日消化の反応槽内基質濃度を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} X^s_1 &= \frac{699 \times (1+0.00986 \theta^r)}{0.0991 \theta^r - (1+0.00986 \theta^r)} \\ &= \frac{699+6.89 \theta^r}{0.0892 \theta^r - 1} \end{aligned}$$

$\theta^r=15$ のとき $(X^s_1)_{15日消化}=2370\text{mg/l}$
 $\theta^r=20$ のとき $(X^s_1)_{20日消化}=1070\text{mg/l}$

$(X^s_1)_{15日消化}$ および $(X^s_1)_{20日消化}$ は前述のように投入基質濃度に無関係であるから、図-3に示してあるように水平な直線となる。また、投入基質濃度10000、15000、20000および30000 CODmg/lの場合の反応槽内基質濃度をプロットしたのが図-3である。この図で示されているように、Self-Control Actionの成立する投入基質濃度は13000~24000 CODmg/lの範囲であることが認められた。すなわち、この範囲が反応槽の Self-Control Actionの範囲であると考えることができる。

5. 総括および結論

合成基質による嫌気性消化実験を行い、反応槽の Self-Control Actionについて検討を加えることができた。すなわち、消化日数15~20日消化では、投入基質濃度13000~24000 CODmg/lの範囲で十分 Self-Control Actionの機能することが認められた。このことは、一次汚泥消化槽あるいは、高率汚泥消化槽等の運転管理に重要な示唆を与えるものと考えられる。

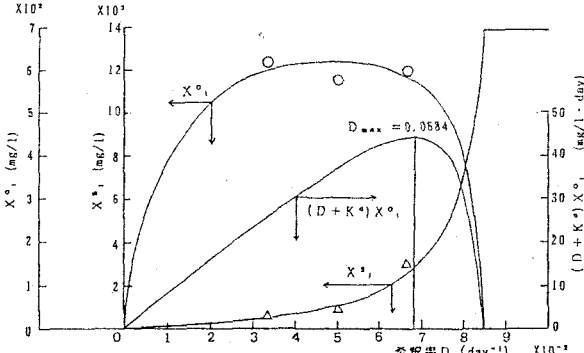


図-1 アルカリ発酵期における希釈率と基質濃度、微生物濃度および微生物増殖速度の関係 (15~30日消化: COD Basis)

表-1 反応動力学モデル定数

反応動力学 モデル定数	Y_o mgVSS/mgCOD	K^s day^{-1}	K^m day^{-1}	K^d mg/l
酸性発酵期	0.0880	0.0410	0.17	1680
アルカリ発酵期	0.0582	0.00986	0.0991	699

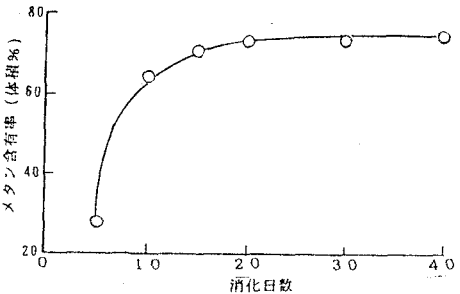


図-2 消化日数とメタン含有率との関係

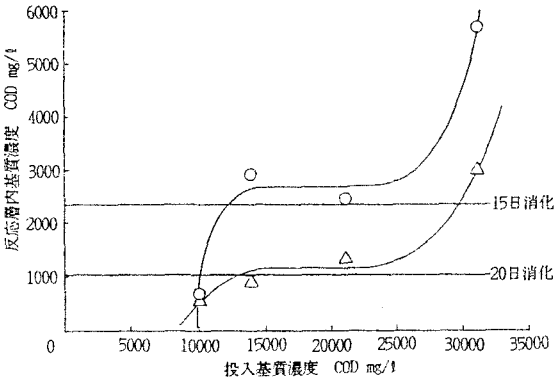


図-3 投入基質濃度と反応槽内基質濃度 (COD_c.)