

黒田正和
榊原 豊 共著

“畜産廃棄物の嫌気性消化に対する速度論的研究” への討議

(土木学会論文報告集, 第342号・1984年2月掲載)

▶討議者 (Discussion)

野池 達也 (東北大学)・中村 栄一 (建設省土木研究所)

By Tatsuya NOIKE and Eiichi NAKAMURA

従来、嫌気性消化に関する研究論文としては、消化槽内における有機物の嫌氣的分解およびメタン生成反応、環境因子等に関する定性的な内容のものが多く、消化槽の設計、操作、制御の基礎となる速度論的なアプローチを行った論文は少なかった。本論文は嫌気性消化の酸生成およびメタン生成の各相について、それぞれ反応速度に関するシミュレーションおよび実験的検討を行ったもので有用な知見を供するものであるが、論文の記述およびデータの解析等に2, 3の質問事項があるので、ここに討議を行いたい。

(i) 式(1), (2), (3), (4)で用いられている転化率(収率) Y および Y' はすべて [mole-生成物/mole-反応物] の次元を有するべきであり、従来慣用的に用いられている収率の次元 [g-生成物/g-反応物] との混同を避けた方がよいと思われる。

また、これらの式を物質収支の点からみると、たとえば式(1)については、

$$\text{Si} \rightarrow \frac{\text{Ace}}{Y_{\text{Ace/Si}}} + \frac{\text{Pro}}{Y_{\text{Pro/Si}}} + \frac{\text{Bu}}{Y_{\text{Bu/Si}}} + \frac{\text{H}_2}{Y_{\text{H}_2/\text{Si}}} + \frac{\text{CO}_2}{Y_{\text{CO}_2/\text{Si}}} + \frac{\text{Xs}}{Y_{\text{Xs/Si}}} \dots \dots \dots (1)$$

と表現されるべきではないか。

(ii) 消化槽内での酢酸、プロピオン酸および酪酸消費速度は、式(10)~(12)の左辺=0として、それぞれ、 $R_{\text{Ace}}(C_{\text{Ace}})$, $R_{\text{Pro}}(C_{\text{Pro}})$ および $R_{\text{Bu}}(C_{\text{Bu}})$ について解いて得られるが、たとえば、Appendix (2-6) 式は、

$$\{[R_{\text{Ace}}(C_{\text{Ace}}) + R_{\text{Bu}}(C_{\text{Bu}})] \bar{\theta}_{\text{digester}} - [C_{\text{Ace}} + C_{\text{Bu}}] - C_{\text{Ace}} - C_{\text{Bu}} + \bar{\theta} \cdot \sum (Y_{\text{Ace/Si}} + Y_{\text{Bu/Si}}) R_{\text{S}}(C_{\text{Si}})\}$$

▶回答者 (Closure)

黒田 正和・榊原 豊 (群馬大学)

By Mosao KURODA and Yutaka SAKAKIBARA

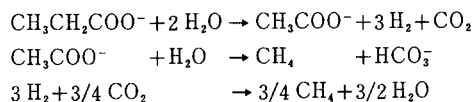
設計、操作ならびに制御の基礎となる工学的反応速度を正しく求め、また装置のあるいは操作的条件(使用する

$+ \bar{\theta} [Y_{\text{Ace/Bu}} R_{\text{Bu}}(C_{\text{Bu}}) + Y_{\text{Ace/Pro}} R_{\text{Pro}}(C_{\text{Pro}})]$
と計算される。

(iii) 揮発性脂肪酸を単一基質として回分実験により分解速度を求めているが、このとき式(2)を用いてのメタン生成速度から酸分解速度を推定する方法については以下の理由により考慮すべき点が残されている。

Fig. 6で初期プロピオン酸濃度が8.5 g/lのとき、メタン生成速度が最大となるのは5~6日の時点で、このときのプロピオン酸濃度は0.5~4 g/lとなっている。

これはプロピオン酸が、



のように分解されてメタンを生成するためであり、プロピオン酸分解速度とメタン生成速度は異なる。

(iv) 著者らは、廃棄物中の可分解有機物を易分解成分と難分解成分とに分けられると仮定している。この根拠となっている Fig. 12 はすべて Table 5 の方法で計算した計算値で構成されている。しかしながら、Fig. 12 の Lineweaver-Burk プロットは Table 2 の Run 1~7 の実測値で表わされなければ無意味であると思われるが、Table 2 に関する実験は種々の初期生汚泥濃度における有機物の分解速度を求めめるために行われたものである。

(v) 式(18)~(20)は、滞留時間20日、消化温度37°Cの条件下で馴致したもので、滞留時間、消化温度が異なれば反応速度も異なる。それゆえ、結言(4)は一般性を有するものとはいえない。

(1984. 8. 17・受付)

種汚泥、生汚泥など)の異なる実験結果を適切に比較評価するための解析的手法と解析例を示したものです

が、さらに検討を加え、一般的に適用できるモデルにしたいと考えています。ご質問について以下のように回答致します。

(1) 質問 (i) について

論文中の式 (1), (3), (4), (5) の反応において、反応機構が不明で、反応物と生成物との量論関係は決められないため、各式は量論式ではなく、反応式である。一般の反応式と同様に、各式の Si, Ace, Pro などは反応物あるいは生成する物質を表わしており、変化量ではない。反応物の変化により生成される物質の割合をわかりやすくする見地より、反応物単位量当たりの各生成物量を転化率として係数的に示した。たとえば式 (1) において、酢酸 (Ace) が x [g] 生成されたとすれば、酢酸へ転化した有機物 Si の量は $x/Y_{Ace/Si}$ [g] となる。

収率は式 (1) 中の Ace を例にとると $Y^* = (\text{実験で得られた Ace の量}) / (\text{Ace の理論的生成量})$ であるから、理論的生成量を算出するには量論関係が明らかでなければならない。

(2) 質問 (ii) について

偶数炭素数の酸は同種の菌体により分解されると仮定したので、簡単のため Appendix の式 (2-3), (2-4) 中の転化率 $Y_{XA/Acid}$ は、酢酸がメタンへ分解された場合の酸の菌体への転化率、あるいは酪酸がメタンまで分解された場合の酸の菌体への転化率としている。したがって、式 (2-6) は一般的に書けば次式となる。

$$\begin{aligned} & \{ [R_{Ace}(C_{Ace}) + R_{Bu}(C_{Bu}) \cdot \bar{\theta}]_{\text{digester}} - [C_{Ace,r} + C_{Bu,r} \\ & - C_{Ace} - C_{Bu} + \bar{\theta} \cdot \sum (Y_{Ace/Si} + Y_{Bu/Si}) \cdot R_S(C_{Si}) \\ & + \bar{\theta} \cdot Y_{Ace/Pro} \cdot R_{Pro}(C_{Pro})]_{\text{digester}} \dots \dots \dots (2-6) \end{aligned}$$

論文中の式 (2-6)、式 (16) はプロピオン酸から酢酸への転化率が小さかった実験結果を考慮した式である。式 (16)、(17) からわかるように、増殖による菌体の増加率は $Y_{XA/Acid}$ を使用することなく容易に求められるが、 $Y_{XA/Acid}$ の検討も必要と考えている。

(3) 質問 (iii) について

Fig. 6 に示したご指摘の例では、発酵後期に少量ではあるが酢酸が検知された。しかし、他の低負荷条件では、発酵中に酢酸は測定されず、また、メタン生成速度より式 (2) を用いて算出したプロピオン酸分解速度 $R_{Pro}(C_{Pro})$ は、液相のプロピオン酸濃度変化の実測より求めた値とかなりよく一致したため、プロピオン酸から酢酸への転化率はきわめて小さく、近似的に 0 とした。な

お、ご指摘のようにプロピオン酸の分解により、一般的には酢酸が生成すると考えられ、論文中に記したように、さらに検討が必要と考えている。

(4) 質問 (iv) について

BOD や TOC は有機物の総体を表わすものであり、その中には種々の有機物が含まれている。したがって、BOD や TOC で表わされる有機物の微生物による分解は階層的に行われ、初期反応速度の測定のみにより、有機物分解速度 $\sum R_S(C_{Si})$ を求めることはできないと考えられる。 $\sum R_S(C_{Si})$ が有機物 $\sum C_{Si}$ の変化と関係させ実測されることは望ましいことであるが、不特定多数成分を含む廃棄物では困難であり、著者らは解析的手法により求めることを提案し、実験結果との比較検討を行い、妥当性を示した。すなわち、 $\sum C_{Si}$ の変化と生成酸濃度との関係を実験的に検討する (Fig. 3 および Fig. 4) とともに、揮発性酸分解速度の解析結果をもとに式 (8) あるいは式 (10)~(12) により、 $\sum C_{Si}$ の変化と生成揮発性酸量との関係を理論的に求め、実験結果 (Fig. 11 は一例である) と比較し、式 (10)~(12) より、 $\sum R_S(C_{Si})$ が求められることを示した。Table 2 の各 Run について、式 (10)~(12) により理論的に求めた $\sum R_S(C_{Si})$ は、生成される揮発性酸およびメタンの量について実測値との比較を行い、一致を確かめて、 $\sum R_S(C_{Si})$ と $\sum C_{Si}$ とを Lineweaver Burk plot した (Fig. 12)。Fig. 12 に示したように $E^*/\sum R_S(C_{Si})$ と $1/\sum C_{Si}$ との関係が曲線的であることは、有機物の分解が階層的に行われることを示唆していると考えられる。簡単のため易分解性物質 (S_1) と難分解性物質 (S_2) に分けられるとし、これらの混合割合による $E^*/\sum R_S(C_{Si})$ と $1/\sum C_{Si}$ の変化を Fig. 12-1 に示した。Fig. 12-1 の結果は著者らの推論は妥当であり、また本論文の結果は複雑な組成をもつ有機物の分解について、本解析法が有用であることを示している。なお、組成の分離、定量法について、今後検討することが必要である。

(5) 質問 (v) について

ご指摘のように式 (18)~(20) 中の各係数は 37°C における値であり、温度が変われば、速度は異なってくる。速度定数の温度変化は検討しており、別に発表を予定している。

(1984. 1. 29・受付)