

東北大学工学部 正 ○花木 啓祐
同 正 松本 順一郎

1. はじめに

下水汚泥やし尿の処理法として用いられている嫌気性消化法はエネルギー回収の手段としても優れたプロセスである。このプロセスの長所を更に生かすためには滞留日数の短縮が必要であるが、プロセスが変動に弱いということがその際の障害となっている。負荷変動に対する嫌気性消化プロセスの適応能力の解明を目的として、パルス状のショックロードに対する過渡応答を調べる実験を行なったので、ここにその結果を報告する。

2. 実験方法

図-1に示すようなケモスタット型の連続培養槽(液量2.5ℓ)を用い35°Cで培養した。表-1に示すように、有機炭素源としてグルコースを含む基質を用いた。滞留日数6.6日の系(以下Aと呼ぶ)及び16.2日の系(以下Bと呼ぶ)の2系列を並行して運転した。定常状態に達したことを十分に確認した後、パルス状のショックロードを与え各指標の応答——すなわちインパルス応答——を調べる実験を以下の手順で実施した。

①グルコースのショックロード——表-1に示す基質成分のうちグルコースを200,000 mg/ℓ、すなわち通常の20倍にしたものを用意し、平常の負荷量の0.5日分、1日分あるいは2日分に相当する量を注射器でA、B兩系列に瞬時的に注入した。その後、ガス生成量、ガス組成、pH、溶解性(3000rpm, 15分遠心分離の上ずみ)糖(アレスロン法)、揮発性脂肪酸各成分の推移を調べた。なお、分析のためのサンプル採取量は1回につき7~8 mlにとどめた。

②酢酸のショックロード——グルコースは酸生成相及びメタン生成相を経てメタンに転換される。ここでは、この系のメタン生成相の動特性を調べるために酢酸のショックロードを与えた。菌体への転換を無視すれば、グルコース1モルから酢酸2モルを経て2モルのメタンが、また水素経由で1モルのメタンが生成する。従って1gのグルコース負荷は酢酸負荷0.67gに相当する。そこで、平常時の酢酸負荷量をグルコース負荷量から算出し、その1日分に相当するように酢酸133,000 mg/ℓと表-1の無機塩を含む溶液を注入した。注入後の分析項目は①と同じである(ただし糖の分析は省略した)。

なお、上記の実験においては、ショックロードの入力に関係なく連続的な基質注入は平常通り行なった。また、ショックロード実験の実施間隔は10日以上おき、完全に元の定常状態に復帰せしめるようにした。

3. 実験結果と考察

①定常期の成績——表-2にA、B兩系列における定常期の成績を示す。いずれの場合もグルコース分解率は高く、また残存有機酸も極めて少なくなっており、良好な消化が行なわれていたことがわかる。

②グルコースのショックロード——平常時の1日分の負荷をパルス的に入れた場合の溶解性糖及び全揮発性脂肪酸について、各々の平常値に対する増加分を図-2のa)、b)に示す。また、酸生成速度(全揮発性脂肪酸濃度とその変化速度、滞留日数ならびにメタン生成速度から算出する)及びメタン生成速度について、平常値に対する増加百分率を求め

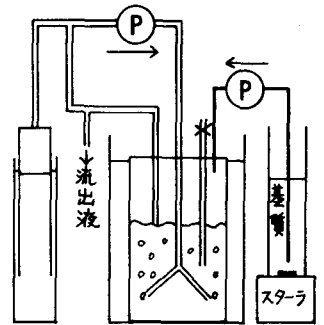


図-1. 実験装置

表-1. 基質組成

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Glucose | 10,000 mg/ℓ |
| NH ₄ Cl | 3,000 mg/ℓ |
| K ₂ HPO ₄ | 200 mg/ℓ |
| MgCl ₂ ·6H ₂ O | 500 mg/ℓ |
| FeSO ₄ ·7H ₂ O | 100 mg/ℓ |
| CoCl ₂ ·6H ₂ O | 10 mg/ℓ |
| NaHCO ₃ | 8,400 mg/ℓ |
| Tap water | |

表-2. 定常期の成績

| 項目 | 系 列 | |
|--------------------|------|-------|
| | A | B |
| 滞留日数 | 6.64 | 16.24 |
| 溶解性糖 (mg/ℓ) | 188 | 78 |
| 全有機酸 (mg/ℓ as HAc) | 33 | 30 |
| メタン生成速度 (ml/ℓ·d) | 418 | 212 |
| メタンへの転換率 (%) | 74.4 | 92.2 |

図-2 c), d)に示す。ショックロードとして注入された糖は4時間程度で完全に除去された。これに対し、分解中間体として生成し、しばしばプロセスの阻害の原因となる揮発性脂肪酸の蓄積量が平常値に復帰するには長い時間を要した。ここで、嫌気性消化の重要な2つの反応段階の活性を示す酸生成速度ならびにメタン生成速度の応答について検討を加える。酸生成速度は鋭い応答を示し、平常値に対し600~700%も反応速度が増大したのち、比較的早い時期に平常値に復帰している。これに対しメタン生成速度は、酸生成速度のピークに対応して400%程度の増加がみられるもののすぐには平常値に復帰せず、引き続いて低水準の増加状態が24時間目あたりまで長く続く現象がみられた。また、酸生成速度、メタン生成速度共に、平常値を基準にしてこのような無次元化を行なうことにより、A, B2つの曲線が比較的良く一致したことは注目される。このことは、平常の反応活性を基準にすることによって滞留時間の異なる系の応答特性が統一的に整理できることを示唆している。0.5日分あるいは2日分のショックロードを与えた場合も同様の結果を示し、ピークの高さは酸生成速度の場合600~800%、メタン生成速度の場合320~420%となっており、前述の1日分のショックロードの場合と同程度の値である。一方、ショックロード量の増大につれてピーク幅が広がっており、これらの反応速度の応答に上限があることが示された。

③ 酢酸のショックロード-----平常時の1日分の負荷に相当する酢酸をパルス入力した場合のメタン生成速度の応答を、平常値に対する増加百分率として図-3に示す。Aの場合9時間目を中心として比較的なだらかなピークがみられているが、その部分を除けば、A, B共平常値に比べわずかに35~50%程度増加したにすぎない。酸生成速度の応答の上限である600~800%に比べ、これははるかに小さい値であり、酢酸からのメタン生成反応は負荷の増大に対する適応力が極めて小さいことがわかる。この結果から、前述のグルコースのショックロード入力時のメタン生成速度の応答のうち低水準で長く続く部分が酢酸からのメタン生成反応の応答に相当すると考えられる。そして、比較的高水準の初期のピークはグルコースからの酸生成反応に伴って生成した水素を経由するメタン生成反応の応答に相当すると考えられる。

4. まとめ

負荷の増大に対する嫌気性消化プロセスの遷渡応答を調べた結果、酸生成反応の適応力は大きく、平常時よりも600~800%反応速度が増加したのに対し、酢酸からのメタン生成反応の適応力ははるかに小さいことがわかった。

最後に、東北大学学生(当時)矢野重政氏の御協力に謝意を表す。

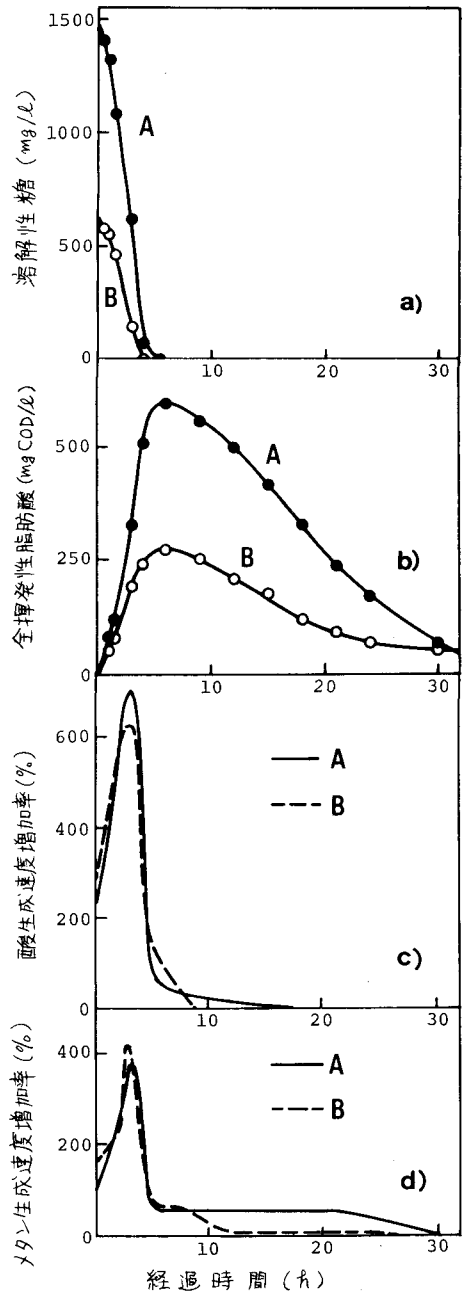


図-2. グルコースのショックロードの応答

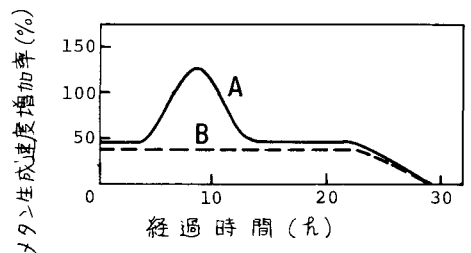


図-3. 酢酸のショックロードの応答