

II-492

嫌気性消化プロセスの前処理とする下水汚泥の熱処理に関する研究

— 汚泥固形物の可溶化反応を中心として —

京都大学工学部 正会員 平岡正勝、正会員 武田信生、学生員 王 偉

1. はじめに

熱変性メタン発酵プロセスは従来の嫌気性消化プロセスの効率を改善するために提案されたものであり、その有効性はすでにいくつかの研究によって実証された。本論文はこの熱変性メタン発酵プロセスを組み込むことにより、汚泥嫌気性消化システムの効率を向上し、回収エネルギーの利用システムを含めた最適システムの設計を目的とした研究の第1段階として、熱変性プロセスにおける汚泥固形物の可溶化反応を中心に、汚泥を構成する蛋白質、炭水化物、脂質の変化過程を追跡するとともに可溶化反応機構の解明と反応モデルの定式化を目的として行ったものである。

2. 可溶化反応に関する実験

本研究では嫌気性消化プロセスにおいて生物分解性の低い余剰汚泥を対象として実験を行った。熱処理実験の装置はFig.1に示してあるが、熱処理の昇温時間を短縮するために、内容積16 mlのカプセル状リアクターを用いた。熱処理温度は60℃～200℃の範囲で20℃おきに行い、Holding Timesは0、15、30、45、60、90 minとした。実験に用いた汚泥は天津市にある某下水処理場から採取した浮上濃縮余剰汚泥であり、TS濃度は30～40g/lであった。後続の嫌気性消化プロセスモデルの定式化と統一するために、本実験では、有機性固形物濃度をCOD濃度で測定したが、蛋白質、炭水化物、脂質の各成分については分析上の困難でCOD換算をしなかった。

本研究では、熱処理過程における汚泥固形物の可溶化反応モデルの同定は主にCOD指標について行われたが、この反応のメカニズムを明らかにするために、汚泥固形物の有機構成成分の蛋白質、炭水化物と脂質についてもデータを集めて解析した。まず、固形性COD物質の可溶化については、Fig.2には各熱処理温度における固形性COD物質濃度（黒丸）が熱処理時間に伴う変化を示した。この図から、熱処理温度の上昇あるいは熱処理時間の経過とともに、可溶化反応が促進されることがわかる。また、蛋白質および炭水化物も

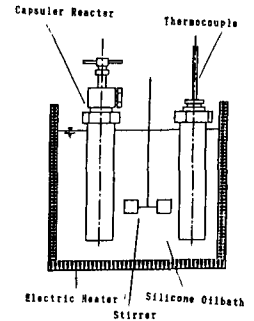


Fig.1 熱処理実験装置

Fig.3、4に示しているように、固形性COD物質と同じような傾向を示している。熱処理プロセスにおける脂質濃度の変化はほとんど見られなかったため、今回の実験結果より脂質の可溶化に対する考察はできなかった。

3. 可溶化反応モデル

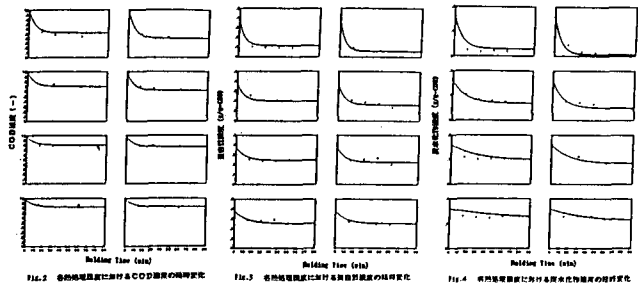
本研究で考えている汚泥固形物の可溶化反応は1次反応型であると仮定し、その速度式は以下のように表した。

[可溶化反応モデル]



[反応速度式]

$$\frac{d([VSS] - [VSS]_e)}{dt} = -k_h([VSS] - [VSS]_e) \quad (2)$$



ただし、 k_h と $[VSS]_e$ はそれぞれ可溶化反応速度係数と分解できない揮発性固形物濃度で、いずれも熱処理温度の関数である。これを積分して整理すると、次のような1次式になる。

$$[VSS]_t = [VSS]_e + ([VSS]_0 - [VSS]_e) \exp(-k_h t) \quad (3)$$

また、蛋白質、炭水化物、脂質の各成分についても同じ考え方でモデル化し評価した。

Fig. 2, 3, 4に示したデータに対してRosenbrock法でFittingすると、各成分が各々の熱処理温度における可溶化反応速度係数と分解できない固形物濃度が求められる。可溶化反応速度係数と温度との関係はArrheniusの式で表せるとして、COD、蛋白質、炭水化物の可溶化反応速度係数の温度依存関係はそれぞれ式(4)、(5)、(6)のようになる。

$$\ln k_h = 6.01 - 335.18/T \quad (4)$$

$$\ln k_h^p = 7.75 - 1031.66/T \quad (5)$$

$$\ln k_h^c = 10.22 - 2322.6/T \quad (6)$$

前に述べたように、本研究では熱処理プロセスにおける污泥固形物の可溶化反応を取り上げた。一般に污泥固形物の可溶化反応を評価する指標としてSSの溶出率が良く使われる。その定義は

$$R_t(\%) = \frac{[VSS]_0 - [VSS]_t}{[VSS]_0} \times 100 \quad (7)$$

である。Fig. 2 をみると、すべての熱処理温度にわたって污泥の可溶化反応は熱処理時間の経過とともに促進されるが、熱処理時間30分でほぼ平衡に達し、最終的にある定数に漸近することがわかる。この定数はその温度で熱的分解できない污泥固形物濃度である。ここで、この溶出率を熱処理による污泥固形物の可溶化率(R_e)と定義する。

$$R_e(\%) = \frac{([VSS]_0 - [VSS]_e)}{[VSS]_0} \times 100 \quad (8)$$

一方、COD、蛋白質、炭水化物の可溶化率と熱処理温度との関係はn次の多項式で近似したところ、2次の多項式が最も適合した。

$$R_e(\%) = 30.53 - 0.3936t + 2.712 \times 10^{-3}t^2 \quad (10)$$

$$R_e^p(\%) = 47.53 - 0.4261t + 3.07 \times 10^{-3}t^2 \quad (11)$$

$$R_e^c(\%) = 10.55 + 0.1330t + 1.47 \times 10^{-3}t^2 \quad (12)$$

Fig. 2, 3, 4 に示した曲線はこのようなモデル式を用いてシミュレーションしたものである。これらの図から、この可溶化反応モデルは比較的精度の高いものであることがわかる。

最後に、本研究の結論として次のようなことがわかった。

1. 余剰污泥に熱を加えると、そして熱処理温度が高いほど污泥固形物の可溶化反応が促進される。この可溶化反応は可溶化率(R_e)で評価することができる。可溶化率は固形性COD物質、蛋白質、炭水化物に対しては熱処理温度の2次式で近似できる。
2. 污泥固形物の可溶化反応速度は熱処理温度の上昇とともに増大する。その関係はArrheniusの式で近似することができる。
3. 污泥の構成成分である蛋白質、炭水化物、脂質の熱処理プロセスにおける挙動を追跡する結果から、污泥の半分以上を示す蛋白質の可溶化は污泥のトータル可溶化率に大きく影響するが、脂質に対する熱処理の効果はほとんど見られなかった。
4. 可溶化反応モデルを用いてシミュレーションした結果から、污泥固形物の可溶化率は熱処理温度の上昇とともに増大するが、すべての熱処理温度においてはHolding Timeを30 min以上にしても、可溶化率の増加は望めない。