

積雪寒冷地におけるメタン発酵槽で発酵温度が熱収支に与える影響

Effect of fermenter temperature on heat budget of fermenter in cold and snowy region

中山博敬・中村和正・大深正徳・秀島好昭

Hiroyuki Nakayama, Kazumasa Nakamura, Masanori Ofuka, Yoshiaki Hideshima

1.はじめに (独)北海道開発土木研究所では、積雪寒冷地でのバイオガスプラント運転の実証試験を実施している。研究テーマの一つである積雪寒冷地でのバイオガスプラントの熱収支を調査する目的は、熱収支を改善できる維持管理方法を提案すること、ならびに積雪寒冷地で新たにバイオガスプラントの建設を計画する場合に、設計上の有用なデータを提供することである。

本報では、北海道湧別町で計測したメタンガス発酵槽での熱収支と、発酵温度を変えた場合の発酵槽での熱収支変化の定量的推定について報告する。

2.調査方法 調査は北海道紋別郡湧別町の湧別資源循環試験施設で実施した。発酵槽の加温熱量の算出は、発酵槽へ出入りする温水の流入前後の温度差に温水流量を乗じて求めた。温度および流量データは、パーソナルコンピュータで約2秒ごとに収集し、1分間平均値をcsv形式で収録した。

3.結果および考察

1)発酵槽加温熱量のモデル化

発酵槽からの放熱量は、一般的に次の(1)式で表わすことができる¹⁾。

$$Q = UA(T_f - T_a) \quad \dots \dots (1)$$

ここで、Q:放熱量、U:熱伝達係数、A:熱伝達に関わる面積、 T_f :発酵温度と外気温の差
この式は次のように変形できる。

$$Q_h = K(T_f - T_a) \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 Q_h :毎時の放熱量(MJ)、 K :比例定数、 T_h :毎時の発酵温度と外気温の差()

放熱量の代わりに発酵槽の加温熱量を用いることとし、2002年の5月、8月、11月、2003年1月の毎時のデータにより比例定数を求めると、図-1のように $K = 0.81$ が得られる。

(2)式を用いれば、この発酵槽を年間平均気温 T_a の条件下で用いるときの、発酵温度 t と年間加温熱量 Q_y の関係が(3)式のように書ける。

$$Q_y = 0.81 \times (t - T_a) \times 24 \times 365 \quad \dots \dots (3)$$

2)発酵温度を変化させた場合のメタンガス発生量

発酵温度の変化に伴う CH_4 発生量の変化は、次の Chen-Hashimoto の式で推定できる²⁾。

$$r_v = \frac{B_0 S_0}{\mu_m - 1 + K} \left(1 - \frac{K}{\mu_m - 1 + K} \right) \quad \dots \dots (4)$$

ここで、 r_v : 定常状態における発酵槽の単位有効容量当たりのメタン発生量($L CH_4 / L \cdot vol \cdot d$)
 B_0 : 終局メタン歩留り($L CH_4 / g VS added$ 、滞留時間)、 S_0 : 投入原料のVS濃度(gVS / L)
 d : 滞留時間、 μ_m : 菌の最大単位増殖率($1 / d$)、 K : 消長挙動パラメータ

なお、 K は S_0 に依存するが、湧別プラントの投入原料の S_0 は 5.59% (55.9gVS / L とみなす)であるから $K=1$ とみなせる。また μ_m は発酵温度 t を用いて次式で表せる³⁾。

$$\mu_m = 0.013t - 0.129 \quad \dots \dots (5)$$

表-1 の値を(4)式と(5)式に代入すると B_0 が計算できる。

$$B_0 = 0.225 \frac{L CH_4}{L \cdot vol \cdot d} \quad \dots \dots (6) \quad (vol \text{ は発酵槽容量を意味する})$$

表-1 の値と(6)式の B_0 を(4)式に代入し、 r_v に発酵槽容量(=200m³)を乗ずると、 t とメタン発酵量 G (m³)の関係は次式ようになる。

$$G = 200 \times \frac{0.225 \times 55.9}{\frac{200}{6.3}} \left[1 - \frac{1}{\frac{200}{6.3} \cdot (0.013 \times t - 0.129)} \right] \dots \dots \dots (7)$$

3) 発酵温度の調整によるエネルギー収支の改善

発酵温度が 37 の場合を基準として、発酵温度を 20 ~ 55 の間で変化させたときの発生メタンガスエネルギー量の変化 (B) と発酵槽加温熱量の変化 (A) 及び発生メタンガスエネルギー量 - 発酵槽加温熱量 (B-A) を図-2 に示す。37 よりも高温で発酵槽を加温すると、メタンガスの発生量は増大するものの、現在の発酵槽規模と断熱特性では加温熱量が大きくなるため、(B-A) は小さくなる。逆に発酵温度を 20 まで低下させると、メタンガスの発生量が小さくなり不利である。(B-A) からみた最適発酵温度は 29 であるが、現在の発酵温度(37) を 29 に調整した場合の熱の利得は 49MJ/day にすぎず、現状の断熱特性であれば、発酵温度の中温域での調整による熱の利得がプラントでの全必要熱量に比べて少ないことがわかった。

4. おわりに

今後、プラント全体の運転に必要な熱収支の調査と、効率的な熱利用に向けた運転方法の検討を進める。

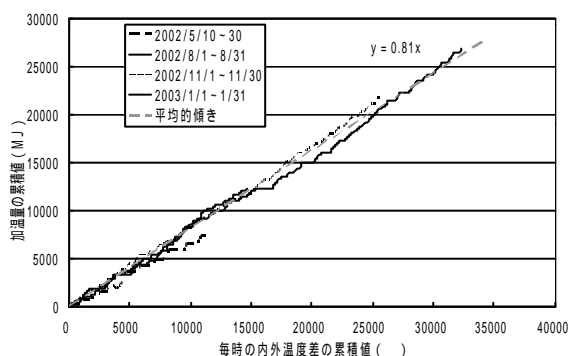


図-1 発酵槽加温熱量の実測値による(2)式中の α の決定
Estimation of coefficient α in the equation (2) using measured heat supplied to fermenter

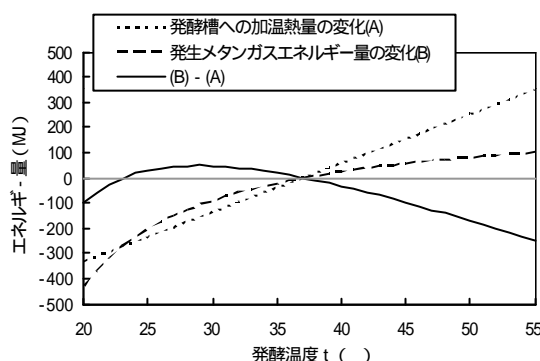


図-2 発酵槽温度を変化させたときの発酵槽熱収支
Improvement of heat budget by the alteration of fermenting temperature

表-1 2002年7月24日~8月30日のガス発生量と諸数値
Actual biogas production and relevant values from July-24 to Aug.-30

項目	値
原料投入量	6.3 m ³ /d
TS	8.36 %
TVS	5.59 %
バイオガス発生量	122.8 m ³ /d
CH ₄ 濃度	58.7 %
CH ₄ 量	72.1 m ³
バイオガスエネルギー換算	2580 MJ/day

(2002/7/24~8/30の値で作成した)

参考文献

- 1) Fischer, J. R., D. M. Sievers & C. D. Fulhage, 1983. Energy consumption from farm animal manure methane generation. Transactions of the ASAE. 26(1): 223-227,232
- 2) Hill, D. T., 1982. Optimum operational design criteria for anaerobic digestion of animal manure. Transactions of the ASAE. 25 (4): 1029-1032
- 3) Hashimoto, A. G., Y. R. Chen & V. H. Varel, 1981. Theoretical aspects of methane production: State-of-the-art. In: Livestock waste: A renewable resource, Proceedings of the 4th International Symposium of Livestock Wastes. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. USA.