

京都大学 ○ 学生員 松内 孝夫
 京都大学 正 員 平岡 正勝
 京都大学 正 員 酒井 伸一

1. はじめに : 汚泥処理システムは多数の単位プロセスより構成され、各単位プロセスは生物反応、物理的作用および熱化学反応など種々のメカニズムを有しており、何らかの相互影響をもつ。このような汚泥処理システムを全体として最適なシステムとするためには数学的なトータルシステムモデルを用いた設計手法が不可欠である。モデル化に際しては昨今の社会情勢により汚泥処理のあり方が単なる“処理”から低コスト化、省エネルギー、省資源や運転管理性などを考慮する方向へ移行していることに注目すべきであろう。そこで本報告では汚泥処理システムのエネルギー評価を行うためのエネルギー収支モデルを作成した。なおここでは本モデルの適用例として乾燥プロセスにおける最適含水率について検討した結果を述べ、嫌気性消化プロセスのエネルギー収支についての検討は今回の土木学会学術講演会で別途報告される。

2. 処理システムの概要とモデル化 : 今回モデル化を行った検討対象系を図-1に示す。つまり、汚泥処理システムを大きく嫌気性消化とそのガス利用により構成されるバイオエネルギー生産系と乾燥・焼却・熱回収などの熱化学変換・熱回収系にわけ、これらを構成する単位プロセスモデルを構築した。モデルは物質収支、熱収支およびプロセス性能を表す定常モデルとした。

3. 単位プロセスモデル : ① 嫌気性消化プロセス—嫌気性菌の菌体増殖と基質分解は Monodモデルにより表現し、消化槽内は完全混合の定常状態にあり、嫌気性菌の自己分解速度を零と仮定した。また消化槽の加温必要熱量は投入汚泥を消化温度まで高めるのに必要な熱量と消化槽からの放熱量の和とし、メタンガスは全量ガスエンジン発電を行い電力回収する。②

脱水プロセス—脱水プロセス流入汚泥濃度と脱水ケーキ含水率 W_0 の間には経験的なモデルが提案されているが、パラメーターの設定に十分なデータがないことから、今回は W_0 を決定変数として取り扱っている。

③ 乾燥プロセスでは後段で回収されるスチームを利用し、排ガスは除湿スクラバーで水分を除去した後、燃焼用空気として用いられる。乾燥汚泥含水率 W_d は入熱、出熱のバランスを決定し必要蒸気量をも左右するのでシステムの重要な決定変数のひとつである。④ 焼却プロセス—流動炉を対象として燃焼量論式にもとづき物質収支・熱収支モデルを作成した。炉出口排ガス温度が自燃条件の温度に達しない場合には空気比一定として助燃料を投入し、一定温度以上になる場合には常温の温度制御用空気を投入するモデルとなっている。また燃焼用空気はSAH (steam air heater) により予熱して炉に投入される。⑤ 熱回収プロセス—炉燃焼排ガスはまずサイクロンで除塵された後、廃熱ボイラにより蒸気の形でエネルギー回収され、システム内の他のプロセスで利用される。ここでは系内で回収蒸気量と利用蒸気量とが等しい場合には蒸気の比エンタルピーを一定とし、余剰エネルギーが発生する場合には蒸気条件を未知パラメーターとし、背圧タービン、復水タービンの利用を考慮した。また、白煙が発生するのを防ぐためにSAHにより予熱された空気と排ガスとを混合させることを考えている。

4. エネルギー収支計算フローについて : 今回は汚泥処理システム、なかでも嫌気性消化—熱化学変換系のエネルギーフローに関する詳細な数学モデル化を目的としており本システムのエネルギー収支シミュレーションは経験的に定められた種々の決定変数の組合せにより行った。シミュレーションは各種の決定変数を決定した上で図-2で示されるフローにより行なわれる。ま

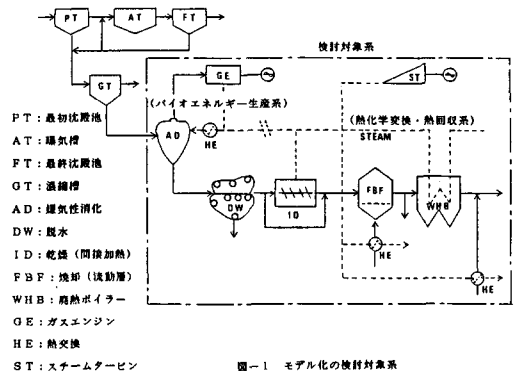


図-1 モデル化の検討対象系

た、主な設定パラメーターの一覧を表-1に示す。計算フローは各単位プロセスのエネルギー収支を求め、トータルシステムのエネルギー収支を自然バランス、スチームバランス等から収束させる流れとなっている。なお、嫌気性消化において系内余剰エネルギー発生の場合は熱化学変換系とのエネルギー結合は考えないものとしている。

5. 本モデルの適用例-乾燥-焼却システムのエネルギー収支 : 乾燥-焼却プロセスの間では焼却プロセスの自然バランスと系全体のスチームバランスとの関係から、乾燥汚泥含水率に最適点が存在すると予想される。そこで乾燥汚泥含水率 W_4 のエネルギー収支に対する影響を調べた(図-2)。図-2では横軸に乾燥汚泥含水率 W_4 をとり縦軸左はエネルギー収支量として上方へはエネルギー消費量、下方へはエネルギー生産量を示している。また縦軸右は発生電力量を示している。そして実線が重油消費量(oil GROSS)、点線が正味の重油換算量(oil NET)、一点鎖線が発生電力量をしめしている。図中、DCは乾燥-焼却システム、ADDC嫌気性消化をを加えたシステムをあらわしている。

図-2のDCの例をみれば $W_4 = 70\%$ で重油消費量は極小となっており、 $W_4 = 70\%$ 以上の領域では電力発生がみられる。これは $W_4 > 70\%$ の領域ではエネルギー収支が焼却炉の自然バランスから決定され、助燃料の投入により余剰エネルギーが発生し、一方 $W_4 \leq 70\%$ の領域ではエネルギー収支がスチームバランスから決定されるためである。

ADDCの場合もDCとはば同様の傾向を示しているが、重油消費曲線とエネルギー収支曲線とが完全に分離している。これは W_4 に依存しない消化ガスのガスエンジン発電による電力量を評価しているためである。

6. おわりに : 汚泥処理システムのエネルギー収支モデルを作成でき、モデルの応用例として乾燥プロセスの最適含水率について考察を行なった結果モデルの有効性を確認でき、さらに消化プロセスに対するエネルギー収支の検討を加えることができるものと思われる。

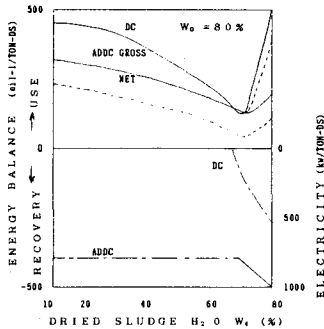


図-3 乾燥汚泥含水率とエネルギー収支の関係

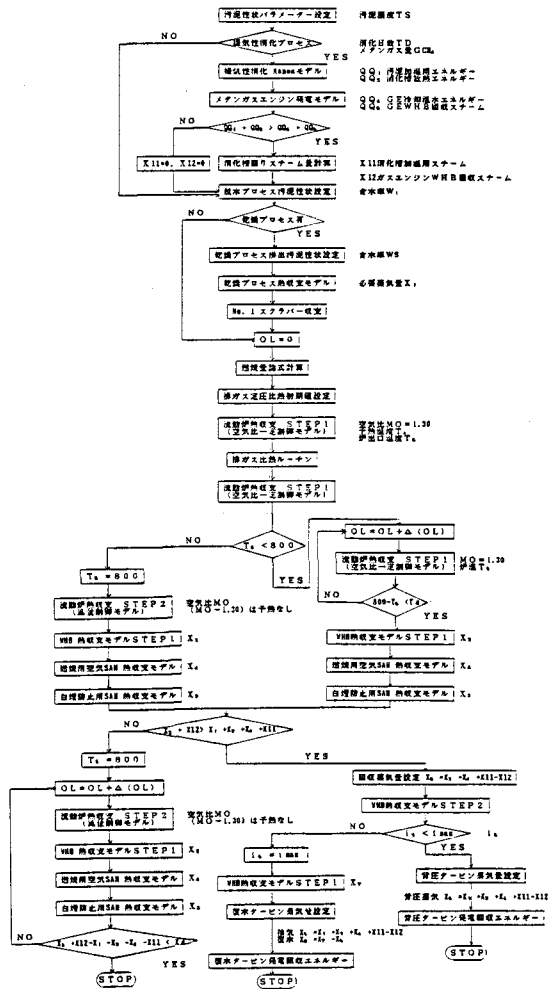


図-2 計算フロー

表-1 設定パラメーター一覧

記号	内 容	数 値
(1) L_1	水分分解熱	586 kcal/kg
(1) L_2	水分分解熱	181 kcal/kg
(1) L_3	水分分解熱	683 kcal/kg
(1) L_4	水分分解熱	2200 kcal/kg
(1) L_5	水分分解熱	0.7 kcal/kg
(1) L_6	水分分解熱	0.7 kcal/kg
(1) L_7	水分分解熱	1.0 kcal/kg
(1) L_8	水分分解熱	1.8 kcal/kg
(1) L_9	水分分解熱	0.2 kcal/kg
(1) L_{10}	水分分解熱	0.2 kcal/kg
(2) T_1	乾燥プロセス温度	200 °C
(2) T_2	乾燥プロセス温度	150 °C
(2) T_3	乾燥プロセス温度	0.4 °C
(3) T_4	乾燥プロセス温度	85 °C
(3) T_5	乾燥プロセス温度	50 °C
(3) T_6	乾燥プロセス温度	80 °C
(4) T_7	乾燥プロセス温度	20 °C
(4) T_8	乾燥プロセス温度	0.30 kcal/kg
(5) T_9	乾燥プロセス温度	300 °C
(5) T_{10}	乾燥プロセス温度	20 °C
(5) T_{11}	乾燥プロセス温度	575 kcal/kg