

京都大学 正員 平田 正勝, 武田 信生
学生員 ○酒井 伸一

1. はじめに

下水処理プロセスより発生する汚泥の性状に様々な変動要因があり、その変動幅もかなり大きいことはあまり知られていない。筆者らはその季節変動特性に関する報告と汚泥の燃料性状に関する報告も前年度、本学会において行ない、汚泥性状がかなり明確な季節変動を有すること、汚泥の燃料性状においてもかなりの差があることを示した。他の性状変動要因（例えば、汚泥生成プロセスの相異、長期トレンド等）についてもデータの蓄積とばかりであり、いづれ明確にしていく予定であるが、今回は汚泥の性状変化、特にその燃料性状が汚泥の熱操作プロセスに与える影響について考察を加えたので報告する。

2. 下水汚泥の燃料性状変化

下水汚泥脱水ケーキの燃料性状と決定する変数として特に重要であるのはその可燃分の有する高位発熱量 (H_{hr})、可燃分率 (γ)、含水率 (W) である。そして脱水ケーキの湿潤ベースの低位発熱量 H_{wL} はこれらの変数とケーキ中水素分率 H により次式で示される。

$$H_{wL} = H_{hr} \times \gamma \times (1 - W) - 600 \times (9H + W)$$

この H_{wL} は流入下水性状（特に雨水排除方式の相異）、汚泥処理プロセス（消化操作の有無など）、脱水薬注剤、脱水機の種類など様々な因子により変化すると予想される。そこで筆者らが過去4年間に得た脱水ケーキ試料（計14処理場、68サンプル）の含水率、可燃分率、発熱量、元素組成等の分析を実施した。その結果を、特に脱水前処理の相異により無機薬注ケーキ（大半が石灰、塩化第二鉄薬注）、有機薬注ケーキ、熱処理ケーキに分けて図1に示した。なお、高位発熱量 ($H.C.V$) は固形分ベースの発熱量 H_{hr} ($=H_{hr} \times \gamma$) として示している。これより1) 各変数ともかなり大きな変動幅を有していること、2) 固形分ベースの発熱量、可燃分率では有機薬注ケーキが無機薬注ケーキより高い値を示し、薬注剤の影響が顕著である、3) しかし、ケーキ含水率では有機薬注ケーキの方が高く、燃料価値を下げているため脱水機の改善が望まれる、4) 熱処理は脱水効率の側面からは非常に有効である、などの点が指摘できる。これらの結果、湿潤ベースの低位発熱量は無機薬注ケーキ平均で47 kcal/kg-ws、有機薬注ケーキ160 kcal/kg-ws、熱処理ケーキ900 kcal/kg-ws となっており、熱操作プロセスにおいてエネルギー消費などに変化を与えることが予想される。

3. 乾燥-流動焼却プロセスのモデル化

検討対象としたプロセスのフローを図2に示す。熱操作プロセスの省エネルギー化をほめる意味から乾燥機（蒸気間接受熱型）を付加したプロセスで、焼却プロセスは流動焼却を対象として空気比1.30、炉の自然バランス800℃とした。各単位プロセス、すなわち、乾燥機、スクラバー、焼却炉、廃熱ボイラ、白煙防止装置について物質収支、熱収支をとり全体をモデル化した。本モデルには焼却炉の熱バランスとシステム全体のス

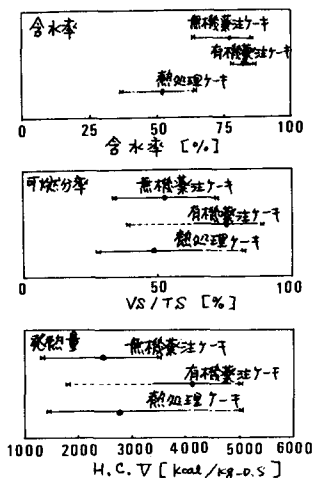


図1. 下水汚泥脱水ケーキの燃料性状変化

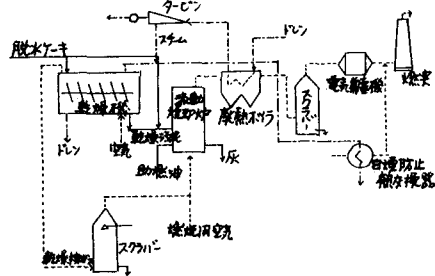


図2. 乾燥-流動焼却プロセスフロー

チームバランス（廃熱ボイラにおける発生スチームと乾燥に必要なスチーム、白煙防止必要スチームのバランス）の双方をエネルギー消費、生産量に反映させている。また、脱水ケーキの一部を乾燥機にかけ、炉への投入含水率を変化できるようにしており、これによりシステムの最適化がはかれ、システムの柔軟性も有する点に本モデルの特徴がある。モデルの詳細は別稿に譲ることとして、本システムに対する汚泥性状変化の影響を考察する。

4. 汚泥性状とエネルギー収支の関係

上で述べた乾燥-流動焼却プロセスの熱収支モデルを用いて汚泥性状変化の影響を調べた。表1に汚泥性状、助燃重油性状の設定値を示した。図1に示した無機薬注ケーキ、有機薬注ケーキの各平均性状に加えて、今回調査した中で高カロリーケーキとみなせるA処理場の混合生-高分子薬注ケーキと低カロリーケーキとみなせるB処理場の消化・生混合-石灰薬注ケーキを取り上げた。なお図1に示した熱処理ケーキの中には極めて高カロリーのケーキも含まれるが、熱処理プロセスも含めたエネルギー収支を考える方が妥当であり、今回の検討からは除外した。計算結果の一例を図3に示す。横軸は部分乾燥率 dp とし、縦軸上方に助燃重油消費量、下方に余剰蒸気量をとっている。部分乾燥率 dp は乾燥プロセスへの投入汚泥の割合を表わし、 $dp=0.0$ の場合は無乾燥、 $dp=1.0$ の場合は全量乾燥を意味する。図3によればいずれのケースも $dp=0.5 \sim 0.6$ で重油消費量は最小となり、余剰蒸気量も零となる。これはこの値以下の部分乾燥では焼却炉へ持ちこまれる水分量が増すため、炉の熱

表1. 乾燥-流動焼却プロセス 性状設定値

	無機薬注 ケーキ 平均性状	有機薬注 ケーキ 平均性状	高カロリー ケーキ A処理場 (B処理場)	低カロリー ケーキ B処理場	助燃 重油	
含水率 (%)	77.2	82.7	78.1	80.8	0.3	
可燃分 (%)	52.9	75.4	84.2	49.9	100	
低位発熱量 (kcal/kg)	2460	4100	4270	1940	10390	
元素組成 (% by weight)	C	47.8	50.8	50.1	38.7	86.2
	H	7.77	7.56	7.54	7.41	12.0
	N	5.73	6.11	4.32	4.37	0.5
	S	1.50	2.00	2.00	1.50	0.5
	O	37.2	33.5	36.0	48.0	0.7

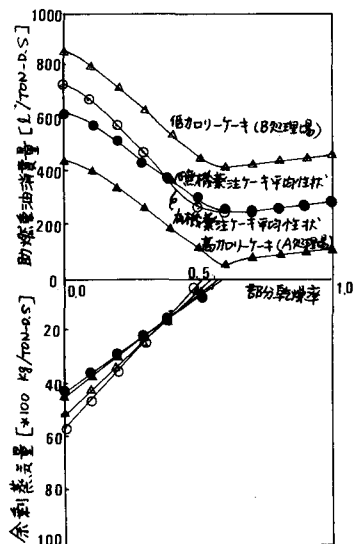


図3. 汚泥性状変化とエネルギー収支の関係

となり、スチームバランスは余剰蒸気発生となる。一方、 $0.5 \sim 0.6$ 以上の部分乾燥では乾燥必要蒸気量が増加し、炉の熱バランスは満たされるもの、スチームバランスはより多量の蒸気と乾燥プロセスに回するため、乾燥機の熱損失、廃熱ボイラの熱損失から、かえって助燃エネルギーが増加する。この最適部分乾燥率は部分乾燥汚泥含水率（今回は40%設定）や汚泥性状に依存するものと考えられ、全ての場合に $0.5 \sim 0.6$ となるわけではない。そしてこのケースでは高カロリーケーキと低カロリーケーキの間に最適点において助燃重油消費量約350 l/TON-dsの差があることがわかる。この差は想像以上に大きく、今後汚泥処理プロセスを考える上で汚泥性状の差には十分留意する必要がある。また、今回無機薬注ケーキ、有機薬注ケーキという単純な分類を行ったが、この両者には図3からは大きな差はみられない。湿ベース低位発熱量では有機薬注ケーキの方が平均100 kcal/kg-ds程度高いが、両者の燃料消費にほとんど差がないのは消費量を図形分ベースでみているためであり、脱水ケーキベースでみると約15 l/TON-ds、有機薬注ケーキの方が少なくなるがその差はあまり大きくない。しかし、両者の図形分ベース発熱量が1500 kcal/kg-ds程度、差のあること（有機薬注ケーキの方が高い）を考えると、将来有機薬注脱水プロセスの改善により両者のエネルギー消費に大きな差がでてくる可能性があるといえよう。

5. おわりに 以上、下水汚泥の性状変動に関してその性状の差が熱操作プロセスの一つである乾燥-流動焼却プロセスのエネルギー収支に与える影響について考察してきた。これより、下水汚泥にはかなりの燃料性状幅が存在し、これが処理プロセスに与える影響も大きく、乾燥-流動焼却プロセスのエネルギー消費量においては性状により重油量が最大350 l/TON-dsの差が生ずることがわかった。

参考文献 1) 平岡、武田、西：第37回年議II-1 2) 平岡、武田、酒井：第37回年議 II-2