

エネルギーの流れからみた下水道システムの評価

九州大学工学部 学生員○塘本勝久

同 上 正 員 森山克美

同 上 正 員 楠田哲也

1. はじめに

下水処理において、一般に、高度な処理水を得るには、より多くのエネルギーを必要とするが、この際のエネルギー消費は化石燃料の消費であり、広い意味で環境に影響を及ぼしている。したがって、エネルギー消費をなるべく抑え、なおかつ処理水質を低下させず、回収可能なエネルギーを有効に活用するシステムを構築する必要がある。本研究は、エネルギーからみた日本における下水処理の現状を把握し、省資源・省エネルギーを目的として、下水処理を総合的に解析する手法を検討する。また、地球上の様々な地域特性に応じた下水処理のあり方について考える。図-1に対象とする処理システムの流れを示す。本論文では参考文献1)のデータを使用し、原単位は流入下水1 m³当りを表す。

2. 評価手法の検討

(1)消費エネルギー：水処理系における消費エネルギーのほとんどは電力によるものである。一方、污泥処理では污泥焼却と消化タンク加温用の燃料によるエネルギー消費が多い。今回は、水処理プロセスに後述の7方式を対象として消費電力原単位を求めた。污泥処理プロセスには4方式を対象として消費電力・消費燃料原単位を求めた。ここで、濃縮は沈降濃縮、脱水は添加薬品に高分子凝集剤を使用しているベルトプレスまたは遠心脱水のデータを用いた。また最終処分については、污泥ケーキと焼却灰のそれぞれについて、焼却、輸送、埋立ての消費エネルギーの比較方法を検討した。ここで、污泥ケーキの含水率を80%、焼却灰の含水率を24%とした。

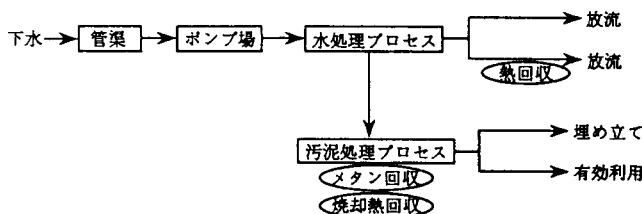


図-1 下水処理システム

スに後述の7方式を対象として消費電力原単位を求めた。污泥処理プロセスには4方式を対象として消費電力・消費燃料原単位を求めた。ここで、濃縮は沈降濃縮、脱水は添加薬品に高分子凝集剤を使用しているベルトプレスまたは遠心脱水のデータを用いた。また最終処分については、污泥ケーキと焼却灰のそれぞれについて、焼却、輸送、埋立ての消費エネルギーの比較方法を検討した。ここで、污泥ケーキの含水率を80%、焼却灰の含水率を24%とした。

(2)回収エネルギー：消化ガスによるエネルギー回収については、日本における35処理場のデータより消化ガスのもつエネルギー原単位を求めた。これらの値とこれまでに研究されている処理場における流入下水、処理水、污泥のもつ内部エネルギーから求められる消化ガスのもつエネルギー原単位とを比較検討した。また、下水熱の回収については、処理水の熱エネルギー²⁾より検討した。

3. 評価の結果

(1)消費エネルギー：水処理系の消費電力原単位を図-2に示す。污泥処理系の消費エネルギーは図-3のようになり、焼却燃料が消費の主要部分になっていると言える。また、污泥最終生成物の質量原単位を図-4に示す。濃縮-消化-脱水-焼却はデータが少なかったため値を求めることができなかったが、濃縮-脱水-焼却の値がこの処理方式の値とほぼ同じになると考えられる。以下に、エネルギー節減を目的とした処理方式の組合せを、大規模、小規模の処理場に分けて検討した。

○大規模処理場の場合：水処理プロセスは消費電力、用地面積等を考慮して、標準活性污泥法が適当である。污泥処理プロセスでは、後述の回収エネルギーで述べているが、嫌気性消化と消化ガスによるエネルギー回収は有効となるので行う。脱水後の污泥は有効利用することが望ましいが、実状に即し、埋め立てについて検討する。污泥ケーキと焼却灰による埋め立ての比較を図-5に示す。焼却で消費するエネルギーに比べて埋め立てに要するエネルギーが大きいほど、焼却して埋め立ての方がエネルギー削減になる。したがって、「標準活性污泥法-沈降濃縮-嫌気性消化（消化ガスによるエネルギー回収）-ベルトプレスまたは遠心脱水-焼却-埋め立て」が、現在実用化されているプロセスの組合せとしては最適である。

○小規模処理場の場合：水処理プロセスの選択肢は多い。污泥処理プロセスでは、建設に関わるエネルギ

ーと規模を考慮して嫌気性消化と消化ガスエネルギーの回収が有効であるかどうかを検討する必要がある。処理処分については、埋め立てのエネルギーが少なく済む場合、焼却せず、汚泥ケーキの埋め立てが妥当であろう。

(2) 回収エネルギー：消化ガス発生量原単位は $0.0348\text{Nm}^3/\text{m}^3$ 流量 となり、消化ガスのもつエネルギーを $5000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ とすると、そのエネルギー原単位は $0.202\text{kWh}/\text{m}^3$ となる。一方、合田らの内部エネルギー収支解析³⁾によると、流入下水のもつ内部エネルギー $2.29\text{kWh}/\text{m}^3$ の約7.8%、すなわち $0.18\text{kWh}/\text{m}^3$ が消化ガスに変換されることになり、前述の値 $0.202\text{kWh}/\text{m}^3$ にほぼ一致する。ここで、消化率は50%とした。したがって、消化ガスのもつエネルギーの80%が回収可能とすると、消化ガスによる利用可能なエネルギー原単位は $0.162\text{kWh}/\text{m}^3$ となった。これは下水処理場の従来の消費電力原単位 $0.3\text{kWh}/\text{m}^3$ の54%を補うことになる。小規模な処理場を除いては、建設のためのエネルギーを考慮したとしても、この消化ガスによるエネルギー回収はエネルギー節減のためには有効なものとなる。また消化率50%を仮定すると、汚泥ケーキには $0.18\text{kWh}/\text{m}^3$ のエネルギーが含まれていることになり、焼却炉における熱回収が実現されれば、このエネルギーが焼却での回収の対象となってくるであろう。下水熱の回収については、冬場（気温： 6°C 、下水水温： 15°C ）で約 $9,000\text{kcal}/\text{m}^3$ の熱量（エクセルギーで $141\text{kcal}/\text{m}^3$ または $0.164\text{kWh}/\text{m}^3$ ）に回収の可能性があると考えられる。

(3) 建設エネルギー：“投入エネルギー集中度”を用いた研究⁴⁾より公共事業： $35.67\text{kcal}/\text{円}$ 、産業機械： $20.53\text{kcal}/\text{円}$ が報告されている。下水処理場の建設費がわかれば、単位処理水量当りの建設のための消費エネルギーが算出される。

4. おわりに

今回は、主に省エネルギーを目的とした現行の下水処理システムの評価について一方法を検討した。今後は、高度処理による消費エネルギーの増加の検討や、現行のプロセス以外、例えば下水の凝集沈殿処理など、多様な処理プロセスの評価を行っていくつもりである。これらを通して、世界の様々な国々の社会、経済状態（GNP、人件費、土地の価値等）に応じて実施可能な下水処理システムが提案できるものとする。

<参考文献>

- 1) 日本下水道協会：下水道統計，平成元年度版
- 2) 山下孝光 他：都市における下水廃熱の利用可能性に関する研究，環境システム研究，Vol. 19, P76-82
- 3) 建設省都市局下水道部 他：下水処理場における省エネルギーとエネルギー生産に関する調査，1985
- 4) 科学技術庁資源調査所：ライフサイクルエネルギーに関する調査研究，1979

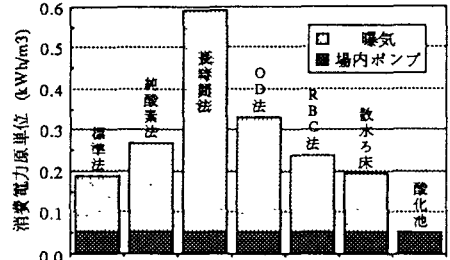


図-2 処理方式別水処理系消費電力原単位

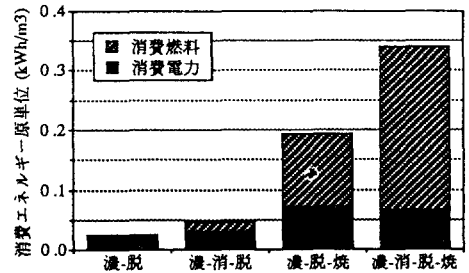


図-3 処理方式別汚泥処理系消費エネルギー原単位

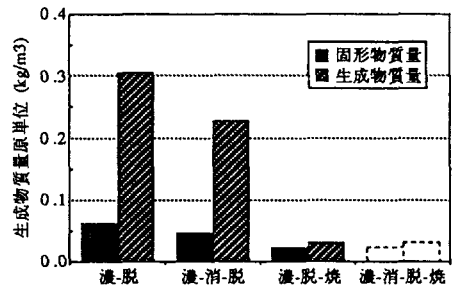


図-4 処理方式別汚泥最終生成物質量
(濃・消・脱・焼は、データ不足のため推定値とした)

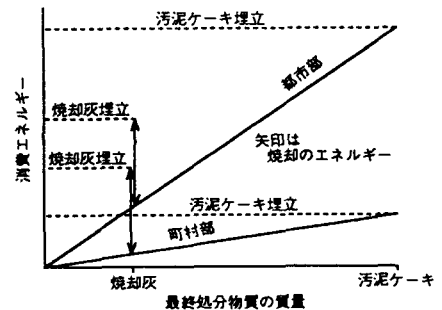


図-5 汚泥の処理処分に関わるエネルギー
(汚泥ケーキの埋め立てと焼却灰の埋め立て)