

都市ごみエネルギーの有効利用

Effective Energy Recovery of Municipal Solid Waste

平 山 直 道*

Naomichi Hirayama

1. はじめに

都市ごみの中から物質やエネルギーを回収することは、限りある資源の節約という意味でも、またごみの量的増大に歯どめをかける意味でも重要である。しかし物質回収の方は、最近の円高の動向から故紙等の値くずれのため、見通しが立たない状況に落ち込んでいる。一方、熱エネルギーや電力としての有効利用も原油の値下りの影響なしとしないが、最近国の補助施策等により、ある程度の前進を見た。しかし福祉施設への熱供給が主流で、ごみのもつエネルギーの総量から見れば、現状における利用率は極めて低い。

エネルギーの有効利用については、焼却炉の計画時にその周辺のローカルエネルギー計画があってはじめて、実現することが可能となるので、自治体内の他部門あるいは民間施設が一体として事前に計画されることが必要となる。もしこのことが可能ならば、将来の利益はめざましいものがある。

このような見地から厚生省としても昭和58年5月に「ごみ焼却炉における熱利用の手引」なる解説書を全国都市清掃会議から発行¹⁾し、また昭和58年度以降3年にわたって、焼却炉の中でも熱利用をすすめるにむくい中小施設についての熱利用技術の調査を行っている。その両者において、著者はまとめ役を引きうけたので、今回の寄稿依頼となったものと考え、これらを中心に本文の内容を構成してみたい。

2. 日本の焼却炉における熱利用の可能性

わが国においては既に総人口の96%が住む地域において計画的ごみ収集がなされており、普通ごみ、粗大ごみ、持込ごみを含めて焼却に適したごみの総量は、4,000万トン/年以上である。このごみの平均発熱量を1,400 kcal/kgとすると、9,000 kcal/kgの石油に換算

して630万kl/年以上となり、この数字は年間輸入石油3億klの約2%に相当する。

またこのごみのもつエネルギーを効率15%で発電（現状のボイラの蒸気条件ではこれ以上の発電効率をうることは困難である。）したとすれば年間に100億kWhとなり、これも全国発電量の約2%に相当する。また、通常のごみ焼却炉でできるだけ発電をすれば、その約 $\frac{1}{3}$ は場内で使用し、 $\frac{2}{3}$ は場外に送電することになるので、場内使用分は20円/kWh、場外送電は5円/kWhとすれば、合計で約1,000億円/年の経費が回収できることになる。この金額は全国でごみ処理に使われている総予算の約 $\frac{1}{3}$ に達する。

以上の推論はごみ総量に対して行ったが、小形のバッチ炉では熱利用は不可能である。現存する焼却炉の処理能力の総計は約15万ト/日で、そのうち全連続燃焼式は約10万ト/日で、約 $\frac{2}{3}$ を占めている。また人口5万人以上の市の総人口は約8,000万人で、総人口1億2千万人に対して約 $\frac{2}{3}$ である。したがって熱利用の可能性の最大値は、ごみのもつ総熱量の $\frac{2}{3}$ として、 4×10^{13} kcal/年 石油換算で440kl/年となる。効率75%のボイラを用いると 3×10^{13} kcal/年、300日稼働とすると 10^{11} kcal/日の熱量が利用可能である。この熱量は冬季暖房負荷2,000kcal/m²日×100m²の家庭の4百万戸を暖房することができる。また、この熱量を用いて発電をすれば66億kWh/年となる。前述と同様の売電計算をすれば、666億円の回収となる。

さらに現実に近いように、上述の蒸気の $\frac{1}{3}$ は発電により場内電力をまかない、 $\frac{2}{3}$ は熱量として利用する場合を考える。電力による回収は440億円/年、熱量は単価で5円/Gcalとして1,000億円/年に達し、両者の合計は1,440億となる。

若しこのようなことが可能なら、ごみ処理に全国で費されている予算の20%を回収できる計算になる。

これらの計算の中で、電力の方は比較的安定した見積りが可能であるが、熱量はかなり大きく、100t/日程

* 東京都立大学工学部長・教授

〒158 東京都世田谷区深沢 2-1

度の小さい清掃工場の場合でも、温水プールや老人ホームに使う程度では熱利用としては能力のごく一部を用いているにすぎない。すなわち、熱利用を推進するためには計画時から熱利用を予定して立地条件を選び、熱負荷を必要とする施設を誘致する努力が必要である。その具体的な留意事項を以下に解説する。

3. 熱利用の各種モデル

熱利用の方法には発電や熱供給のほかに、汚泥などの混焼も考えられ、また発電にもその規模によって考え方に差があるので、以下に各種のモデルについて解説する。もちろん実際の場合には、これら各種モデルが併用されることが多い。

3.1 発電モデル

燃焼ガスの冷却のためにボイラをおき、発生する蒸気によりタービンをまわし発電する方式であるが、図-1に示すように、発電設備の規模によって色々の方式に分れる。横軸をごみ質とすると、発電可能電力と場内使用電力はごみ質に対して右上りになる。常時買電と併用して運転する場合は、場内の負荷が少々変動しても決して外部へ送電しないために、場内使用電力より少なく発電するため、発電設備の規模はAモデルとなる。

また、単独運転が可能は場合、あるいは外部への逆送も自由な場合、発電設備はBモデルとなる。

外部への売電を予定する場合、高品位のごみの場合でも全量発電することを考えるとDモデルとなる。しかしこの場合、中品位低品位では常にタービンは部分負荷運転となるため、むしろ中品位時に設計点を合わせ

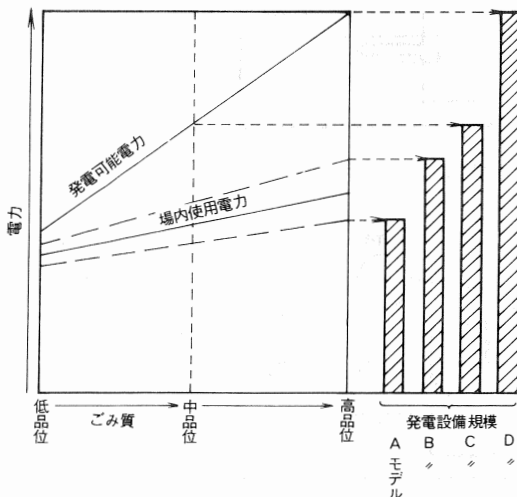


図-1 発電規模による諸モデル

タービンの負荷率を上げて運転することも一つの方法である。これがCモデルである。

いわゆる石油ショック以前は少量の発電は出力網の管理の厄介さから好まれず、決して外部に送電しないAモデルが好まれた。しかし現在では、ローカルな熱経済を受入れた電力管理がむしろ常識となり、今後は単独運転可能なB方式のみならず、回路網への逆送売電を可能とするC、Dモデルも増加する勢にある。

3.2 熱供給モデル

ボイラによって生じた蒸気を直接、またはこれと熱交換した温水を用いて、施設外に熱を供給するモデルである。熱負荷としては温室、温水プール、社会福祉センター等が普通であるが、通常焼却炉の熱エネルギーに比べて小さすぎる例が多い。地域冷暖房、造水用熱源等のほか、民間の熱需要もあらかじめ誘致する等の事前の全体計画が望ましい。

3.3 蒸気駆動モデル

前述の発電は行わないが、発生した蒸気を誘引送風機や破砕機等、場内の比較的大きい機械の駆動に使用する方式である。蒸気が発生しないうちは電動機で駆動し、蒸気が発生した後蒸気タービンに切換えることになる。

そのほかに、電動機のかわりに誘導発電機を設計、運転初期の駆動に用い、蒸気発生後はタービンに切換えるだけでなく、蒸気の余剰を用いて一部発電も可能な方式もある。これを誘導発電方式という。ただ、この発電方式は単独運転はできないし、また、併列運転を開始して場外電力サイクルに同期化するとき過大な電流が流れることがあるので、大容量の設備の一部として使用する等の配慮が必要である。

3.4 混合処理モデル

ごみのもつ熱量を利用し、他の廃棄物を混合して適正に処理する方式である。現在実行されている方式としては、ごみと下水汚泥の混焼、ごみとし尿汚泥の混焼等である。

3.5 その他

その他の熱利用モデルとして、下記のものがある。

- ① ごみの燃料化
- ② 排ガス熱の直接利用（気流乾燥）
- ③ 異種施設の併用（焼却施設とし尿処理施設を併設して、両施設の熱的特長を補い合わせる。）

4. 熱利用施設設計上の留意事項

次に各種モデルに設計上の留意事項をのべる。

4.1 ごみ量、ごみ質の変動とオーバーホール時期

ごみ量もごみ質も季節により変動する。したがって供給可能な熱量も変化する。また収集地区の人口の変化、あるいは経済条件の変化等で経年的変化もある。これらは可能な限り正確に推定する必要がある。また、通常年1回、約30日程度のオーバーホールその他点検のための休炉も考慮に入れなくてはならない。

したがって、熱負荷の特性上一日も給熱をおろそかにできない場合は補助ボイラーが必要となる。

4.2 発電電力の利用先

工場内の電力を発電で賄っても余分に発電可能な場合、これを利用できる施設が同一敷地内にあれば、余剰電力利用の価値が高い。電力会社への売電の単価は通常の買電単価の1/2以下が多いからである。

4.3 逆送電の可否

余剰電力を電力会社に売る場合、勿論電力会社と

の交渉で価格が決定され、電力網に逆送することになる。ここで留意事項として上げているのは、前節でのべたAモデルに相当する場合である。使用電力は急激な変動（例えばごみクレーン等による）をふくんでいるので、逆送が許されない場合は急激な変動に相当する部分は常に買電によるようにして併列運転をするが電力会社との交渉により逆送が許されれば、送電の分は価格0でも、買電がなくなるので、経済性は著しく改善される。従って事前に電力会社とこれらの詳細にわたって打合わせることは極めて重要である。

4.4 給熱条件とタービン形式の組み合わせ

余熱利用設備に供給する蒸気や高温水の温度が高い場合（たとえば170℃以上）は高圧の蒸気を用いざるをえないので、図-2-1あるいは図-2-4のような蒸気フローとなる。この場合図-2-1はタービン排圧が高く大気圧以上である（背圧タービンと呼ばれることがある）

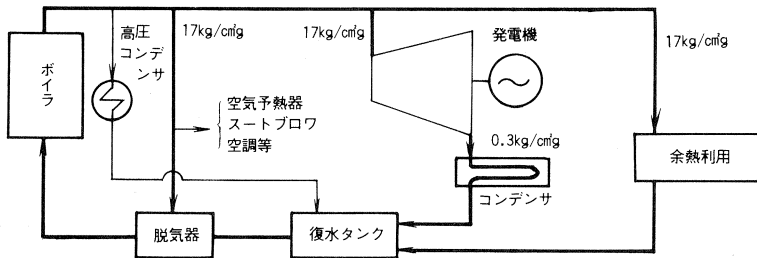


図-2-1 背圧タービン+生蒸気による熱供給

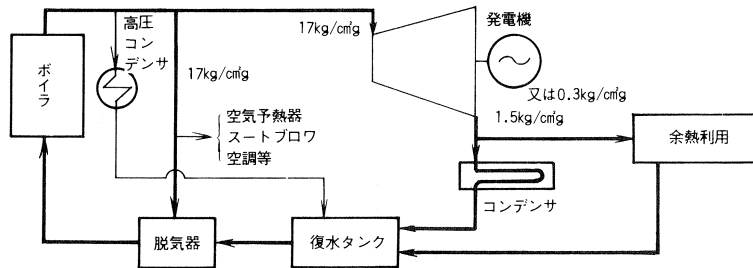


図-2-2 背圧タービン+タービン排気による熱供給

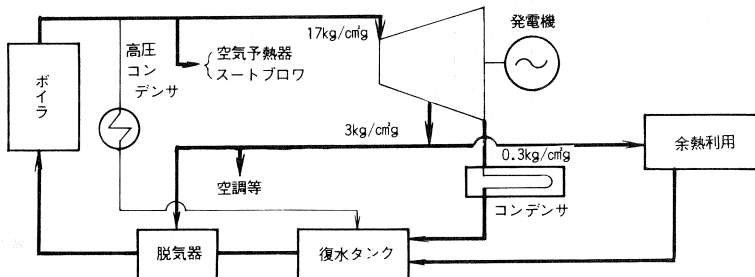


図-2-3 背圧タービン+抽気式

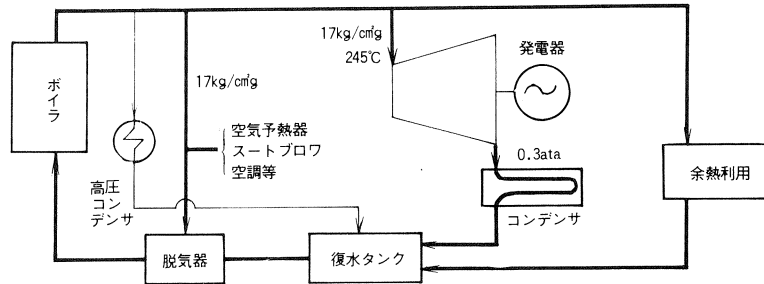


図-2-4 復水タービン+生蒸気による熱供給

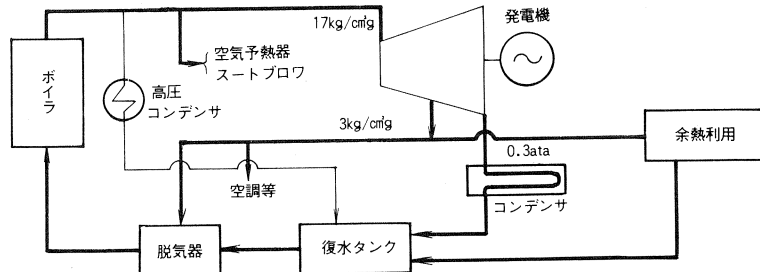


図-2-5 復水タービン+抽気式

ので、発電量は少なく、場内電力用のことが多い。また図-2-4はタービン排圧は大気圧以下で（復水タービン）、発電量は大きく、場外に送電する施設である。

蒸気や高温水に必要な温度が120℃～150℃程度の場合には必ずしも前述の高圧蒸気による必要はないので、発電量の維持を考えて、図-2-3, 5のようにタービンの途中段から蒸気を取り出して用いることがある。これを抽気タービンという。なお図-2-3は背圧タービン、図-2-5は復水タービンで、その選択は図-2-1, 4の場合と同様、設計発電量の多少による。

熱利用設備が60～80℃程度の温水しか必要でない場合、電力量を落さないためにタービンの排気を熱源としてもよい。これが図-2-2である。

現実の清掃工場では発電を少な目にしてしている例が多く、蒸気量に余裕があるので、熱利用の温度条件に無関係に図-2-1方式を採用している例が多いが、発電を増加させるためには本節で説明したような方式を考慮するなど木目の細い対応が必要である。

5. 焼却炉の規模と発電能力

焼却炉はその規模によって場内の使用電力、所要熱量の割合が異なる。すなわち小型炉ほどごみ1t当りの使用電力量、場内使用蒸気量は大きいので、余剰の電力が少なくなりがちである。また、小規模の炉は中小都市に多いわけで、生活様式、物流方式のため大都市よりごみ質が異なるのが普通である。（例外も多い）。また、年間を通じてのごみ質の変化も考慮に入れる必要がある。これらを考慮に入れて、全国の状況を考慮して表1のように焼却炉規模とごみ質を仮定する。

そのほかに、ごみ質に対応する元素分析値を仮定し、ボイラの蒸気条件、タービン効率を適宜仮定する¹⁾と、表2のように発電能力がえられる。さらに逆送可能な余剰電力を計算すれば表3のとおりである。表2, 3でわかるように、規模の小さい焼却炉では規模の割には場内の蒸気消費量も所内電力使用量も減少せず、余剰電力も少なくなる。200t/d以下では場外に送電でき

表1 焼却炉規模とごみ質（年間変動を含む）の仮定

	低品位	中品位	高品位
(1) 100 t/d (50 t/d × 2 炉)	900kcal/kg	1,200kcal/kg	1,500kcal/kg
(2) 180 t/d (90 t/d × 2 炉)	900	1,350	1,800
(3) 300 t/d (150 t/d × 2 炉)	1,000	1,500	2,000
(4) 600 t/d (200 t/d × 3 炉)	1,200	1,750	2,300

(注) 低品位 6. 7. 8月・中品位 3. 4. 5. 9. 10. 11月・高品位 12. 1. 2月

表2 発電量

	100 t/d			180 t/d			300 t/d			600 t/d		
低位発熱量 kcal/kg	900	1,200	1,500	900	1,350	1,800	1,000	1,500	2,000	1,200	1,750	2,300
全蒸発量 t/h	5.12	7.24	9.02	9.34	14.72	18.84	16.44	25.24	31.54	40.80	57.99	75.66
所内使用量 t/h	2.96	3.36	3.72	4.62	5.66	5.40	6.73	8.41	6.56	13.63	19.20	13.28
タービン用蒸気量 t/h	2.16	3.88	5.30	4.72	9.06	13.44	9.71	16.83	24.98	27.17	38.79	62.38
発電量(空冷) kW	237	486	707	470	1,180	1,790	1,010	2,100	3,400	3,700	5,300	9,300
“(水冷) kW	260	520	750	500	1,250	1,900	1,150	2,250	3,500	—	—	—

(注) 各設備におけるタービン容量は高品位ごみで設定した。

表3 余剰電力(空冷コンデンサーを用いた場合)

	100 t/d			180 t/d			300 t/d			600 t/d		
低位発熱量 kcal/kg	900	1,200	1,500	900	1,350	1,800	1,000	1,500	2,000	1,200	1,750	2,300
発電量 kW	237	486	707	470	1,180	1,790	1,010	2,100	3,400	3,700	5,300	9,300
“(年間平均) kW	479			1,150			2,153			5,900		
所内使用量 kW	420	470	520	630	730	830	790	890	1,040	1,500	1,700	2,000
“(年間平均) kW	470			730			903			1,725		
余剰電力 kW	-183	16	187	-160	450	960	220	1,210	2,360	2,200	3,600	7,300
“(年間平均) kW	9			425			1,250			4,175		

(注) 年間平均値は各ごみ質の発生頻度による。

る余剰電力は極めて少ないと考えてよい。

なお、諸条件の設定によって変わるが、200 t/d以上の規模であれば、ボイラ設備を含めないで考えれば、現状のように1/4を想定して、発電設備の投資回収に、Dモデルで約5年、Bモデルで約3年かかる。

電力のみでなく、熱の利用を併用すれば経済条件はさらに改善される。

6. 熱排給発電の例

設計時に熱利用について十分考慮された最も有効な

ケーススタディについてのべる。処理能力は300 t/d稼働日数300日/年とし、700kWの場合発電(年間に5,040,000 kWh)を行う。蒸気フロー例を図-3に示す。ごみ発熱量1,000kcal/kg時でも蒸気量は十分である。

熱経済評価の対象とするのは発電と図中点線で囲んだ部分で、内訳を列記すれば次のとおりである。

- ① 洗車 50台×0.2t/台×360日/年 = 3,600t/年
- ② 洗濯 100着×15回/月×0.04t/着×12月/年 = 720t/年

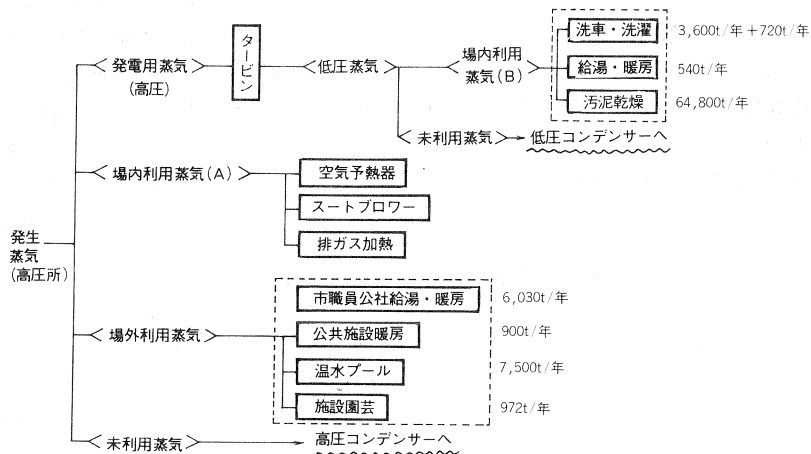


図-3 熱排給発電設備における蒸気フロー

- ③ 浴室・給湯 $0.5 \text{ t/h} \times 1 \text{ h} \times 3 \text{ 回/日}$
 $\times 360 \text{ 日/年} = 540 \text{ t/年}$
- ④ 汚泥・乾燥 $7.5 \text{ t/h} \times 24 \text{ h/日} \times 360 \text{ 日/年}$
 $= 64,800 \text{ t/年}$
- ⑤ 公共施設暖房 $1 \text{ t/h} \times 10 \text{ h/日} \times 90 \text{ 日(冬期)}$
 $= 900 \text{ t/年}$
- ⑥ 温水プール $\left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ t/h} \times 10 \text{ h/日} \times 90 \text{ 日(冬期)} \\ = 4,500 \text{ t/年} \\ 1.67 \text{ t/h} \times 10 \text{ h/日} \times 180 \text{ 日(春・秋)} \\ = 3,006 \text{ t/年} \end{array} \right.$
- ⑦ 施設園芸 $0.45 \text{ t/h} \times 24 \text{ h/日} \times 90 \text{ 日(冬期)}$
 $= 972 \text{ t/年}$
- ⑧ 市職員公社 $\left\{ \begin{array}{l} 1.65 \text{ t/h} \times 24 \text{ h/日} \times 90 \text{ 日(冬期)} \\ = 3,654 \text{ t/年} \\ 0.55 \text{ t/h} \times 24 \text{ h/日} \times 180 \text{ 日(春・秋)} \\ = 2,367 \text{ t/年} \\ \text{合計} \quad 85,668 \text{ t/年} \end{array} \right.$

電力は20円/kWh, 蒸気は4,300円/tとして, 回収金額は, 電力により1億80万円, 蒸気により3億6,830万円, 合計4億6,910万円となる。設定条件にもよるが, ボイラを含めなければ, 補助率0でも投資回収に約4年, 現行のような1/4補助があるとすれば2年で回収可能の計算となる¹⁾。

この例は考えられる最高の例で, 図-3の場外利用の部分に必ずしも全て実施できなくても十分経済性は評価できる。

7. 結 語

ごみは元来エネルギーをもった廃棄物で, 技術的には問題はない。最近国の助成策と相まって発電設備も相当増加し, 全国で46施設¹⁾(昭和57年)に及び, 今後の増設も期待されている。また熱利用も施設の割合からすれば, 大都市ではほぼ100%, 中小都市でも50%に近い。しかし, これらの大部分は福祉施設などで, 熱量の利用率は極めて低い。

熱利用をさかんにするには, 施設設計時に, 他の都市施設と併設するとか, 近隣の工場に供給する等の方策を講じなければならない。

また, 他の自家発電設備との比較において, 電力を場内で有効利用する方策の開発, 発電効率の向上なども今後の大きい課題といえよう。

なお, 評価については下記の「熱利用の手引き」を参照されることを希望する次第である。

参 考 文 献

- 1) 「ごみ焼却炉における熱利用の手引」, 厚生省環境整備課編, 全国都市清掃会議発行

