ごみ焼却発電の実現性に関する一考察

Feasibility Study on Refuse-Fueled Power Generation

平岡正勝^{*}・武田信生^{*}
太田達雄^{**}・橋詰正三^{**}

Abstract

This paper conducts a study to determine the feasibility of energy recovery from municipal refuse treatment plants. Economics of power generation is mainly discussed. Two different refuse processing alternatives were considered ; incineration by conventional stoker furnace and pyrolysis by two-bed fluidized reactor. Two different types of turbine generators, i.e. back pressure turbine and condensing turbine, and one advanced cycle of gas turbine with heat recovery were combined with the refuse processing alternatives. How the financial returns liquidate the capital investment is discussed depending on the plant scales of 200, 600, and 1,200 tons per day.

1. 緒 言

石油危機に端を発する一次エネルギーの供給に対する不安と価格の高騰は、石油にかわる代替エネルギー源に対する関心を深めるとともに、いわゆる、ソフトエネルギーパス論やローカルエネルギー論など、多くの議論をまき起こしている。廃棄物は、一つの有力な地域分散型エネルギー源として注目され、たとえば、科学技術庁資源調査会による報告書¹⁾においても、これの有効な利用が望まれるむね報告されている。

従来、焼却廃ガスとして大気中に放散されていたごみ焼却熱も、これを有効に利用することによって、ごみ処理に要するエネルギーを補てんし、さらには、地域で必要とするエネルギーの一部として利用することが可能である。

一次エネルギーが安価であり、かつ、豊富に入手する

ことが可能であった時代には、焼却廃熱による発電システムなどは大型炉のみで試みられ、かつ、主として所内用として利用されるに限られていたが、ここに至って、積極的な売電や、中小規模におけるエネルギー回収の可能性について検討が加えられるようになってきた²⁾。

本報告は、エネルギー高価格時代・資源有限時代に入って、ごみ焼却工場における発電システムが、エネルギーの節約・その産出にどれだけ貢献し得るか、また、そのシステムの経済性——投資に対する効果・投資が行われ得る条件など——を明らかにするとともに、そのシステムを構成するプロセスの違い——熱分解・焼却、復水型・背圧型タービンによる発電・あるいは複合サイクルなど——がどのような形で省エネルギー性や経済性に反映されるかを探ったものである。この中では、ごみ処理の規模を大・中・小都市向けに分類し、

^{*} 京都大学工学部

Masakatsu HIRAOKA, Nobuo TAKEDA, Faculty of Engineering, Kyoto University

^{**} 関西電力(株)総合地域対策室 Tatsuo OHTA, Syozo HASHIZUME, Kansai Electric Power Co. Ltd,
0388-9459/81/0500-0374 \$ 2.00/0 © 1981 Env.Cons. Eng. Assn.

そのそれぞれについて上記の検討を行った。

大・中・小都市向けのごみ処理・発電システムに関する定量的研究を系統的かつ詳細に行った例は今までになかったが、本報の成果は、電気事業者をはじめとするエネルギー関係者はもとより、ごみ処理にたずさわっている自治体関係者・機械メーカー・研究者など広範な人々にとって有効で示唆に富むものであると考えている。

2. 研究方法

本研究では、都市の規模（ごみ処理の規模）および処理プロセスの違い（とくに熱回収方式の違い）と省エネルギー性・経済性の関係を調べることを目的としたため、以下に述べるような前提条件のもとでシステムの概念設計を行い、この設計から得られた情報を経済収支モデルに適用し考察を加えた。とくに、発電・熱利用の経済性の検討に重点をおくために、発電や熱利用を行わないシステムをベースケースとし、比較の基準とした。

2.1. 概念設計の前提条件

(1) 都市規模

都市の規模として以下の大・中・小都市をモデルとして想定した。

大都市；人口300万人程度の政令都市

中都市；人口約50万～100万人程度の広域都市群

小都市；人口約10万人程度の地方都市

(2) 処理規模と対象ごみ質

大・中・小都市のそれぞれについて、1工場当たりの処理規模を表1のように、処理対象とするごみの質を表2に示したように想定した。

(3) 検討対象としたシステム

主プロセス（ごみ処理プロセス）として、ストーカ炉による焼却、および、二塔流動熱分解・ガス燃焼プロセスをとりあげ、廃熱利用プロセスとして、ボイラ・背圧タービンによる発電、ボイラ・復水タービンによる発電、および、複合サイクル発電を想定し、これらの組み合わせを検討ケースとした。これらの検討ケースの概略のフローシートを図-1に示した。

焼却―背圧タービンの方式は、ストーカ炉とボイラ・背圧タービンの組み合わせである。この方式ではタービンの背圧を大気圧以上とするため、復水タービン方式に比較して発電量は減少する。しかし、低圧コンデンサ（復水器）が不要となるなどの点から

表1 処理規模

	処 理 規 模 (T/日)
大 都 市	1,200 (300 T/日 × 4 基)
中 都 市	600 (200 T/日 × 3 基)
小 都 市	200 (100 T/日 × 2 基)

表2 対象ごみの質

	大 都 市	中 都 市	小 都 市
可 燃 分 (%)	46.0	45.5	42.0
灰 分 (%)	15.0	14.5	11.3
水 分 (%)	39.0	40.0	46.7
低位発熱量 (kcal/kg)	1,850	1,850	1,300
同 上 最 大 / 最 小	2,200 / 1,500	2,200 / 1,500	1,500 / 1,050

建設費は低廉となる。また、蒸気利用を行うユーザがあれば、蒸気を売却し、熱供給発電の形で全体の熱利用率を高めることができる。本研究では、タービン背圧を2.0 ataに設定した。

焼却―復水タービンの方式は、ストーカ炉とボイラ・復水タービンの組み合わせである。この方式では、所内で使用する蒸気以外をすべて発電に使用することにした。タービン出口の圧力は0.25 ataに設定した。

熱分解―背圧タービンおよび熱分解―復水タービンの方式では、主プロセスとして二塔流動層熱分解方式を採用しており、熱分解生成ガスは一旦洗浄しクリーンガスとしてガス燃焼させる。このようにすることによって、ガス燃焼ボイラにおける蒸気条件をストーカ炉の廃熱ボイラに比較して高温・高圧に設定することができ、タービン発電機における発電効率を向上させることができる。背圧タービンと復水タービンの違いは前記と同様である。

熱分解―複合サイクルの方式では、二塔流動層熱分解炉において生成したガスを、前記と同様に一旦洗浄してクリーンガスとし、第1段階として、クリーンガスによるガスタービン発電を行い、さらに第2段階として、タービン排気を廃熱ボイラに導き、ここで発生した蒸気を用いて再び復水タービン発電機による発電を行い、総合的な発電効率を高めようとするものである。この検討ケースについては、規模が小さく、かつ、ごみの低位発熱量が低い（したがって熱分解ガスの発熱量が低い）小都市モデル（200 T/日）に適用するのは疑問点が多いので、こ

図-1 検討対象ケースの概略フローシート

れを除外した。

熱分解ガス・ガス燃焼におけるボイラ蒸気条件は高温・高圧であると述べたが、その設定の仕方は規

模によっても制約を受ける。ここで、本研究で検討したケースについてのボイラ蒸気条件を表3に示す。

(4) 排出基準

検討したシステムは、以下に示す排出基準が満足されるように設計した。

① 排ガス：ばいじん；0.03 g/Nm³ 以下，SO_x；20 ppm 以下，HCl；20 ppm 以下，NO_x；120 ppm 以下

② 廃水：下水道放流基準が満たされるまでの処理をプラント内で実施する。

(5) 検討範囲

焼却（熱分解）・熱回収工場を対象範囲とし、収集・運搬、灰処分は除外した。

(6) 運転条件

24 Hr/日，330 日/年の運転条件とした。

2.2. 経済性評価の考え方

システムの経済性を評価する場合、その評価の目的に応じて種々の方法が考えられる。本報では、主として「投資回収年数」の概念を評価基準とした。この方法は、将来における不確実性や資金繰りを重視して、

表3 ボイラ蒸気条件

方式	規	模	温 度 (°C)	圧 力 (ata)
焼	背	1,200 T/日	315	19
		600 T/日	315	19
	圧	200 T/日	315	19
却	復	1,200 T/日	315	19
		600 T/日	315	19
	水	200 T/日	315	19
熱	背	1,200 T/日	475	81
		600 T/日	420	41
	圧	200 T/日	315	19
分	復	1,200 T/日	475	81
		600 T/日	420	41
	水	200 T/日	315	19
解	複	1,200 T/日	345	21
	合	600 T/日	345	21

なるべく安全な案を採用しようとする場合に用いられる方法であり、一言でいえば、「初期投資額が毎期の報酬によって回収されつくされるまでの期間」が短いものを有利な案とするものである。本研究の場合、熱回収を行うために付加された設備に対する投資額が初期投資額に該当し、後述する実質運転費用のうち、熱回収を行うことによって得られた節減額が報酬（投資回収原資）に対応する。

わが国では、計算利率で調整した投資回収期間は、しばしば、シュープルの方法³⁾として紹介されている。この方法は、毎期の報酬 R が一定の場合を前提にして、資本回収係数の式を用いて期間 N 年を未知数として求めるものである。すなわち、

$$R \left\{ \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right\} = C_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 i ；年利率

C_0 ；初期投資額

R ；毎年の報酬

N ；投資回収年数

である。この式を N について解けば、

$$N = \frac{\log [R / (1 - iC_0)]}{\log [1 + i]} = -\log \left\{ 1 - \frac{iC_0}{R} \right\} / \log(1 + i) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。

熱回収設備の付加による投資額がどの程度の期間で回収されるかという「投資回収年数」とともに、熱回収によって、運転費用がどの程度節減されるかということも興味がある問題であり、かつ、投資意欲の契機となるものであろう。したがって、本研究では、熱回収を行うことによって得られた資金償還後の実質運転費用の節減額を単位処理ごみ量当たりで計算したものを「メリット」とよび、これも経済性評価の1つの指標とした。

以上に述べた経済性評価のために、初期投資額（＝所要投資回収額 C_0 ）と報酬（＝投資回収原資 R ）を求める必要があるが、ここでは、熱回収に関する経済性を論じる立場から、これらの値として熱回収に限定したものをとる必要がある。このために、ごみ焼却のみで、熱利用を考慮しないシステム、具体的には、ストーカ炉でごみ焼却を行い、水噴射方式によって廃ガスを冷却する方式をベースケースとして設定し、各検討ケースとベースケースの差を用いることにした。すなわち、

初期投資額 C_0 = 各ケースの所要投資回収額

－ベースケースの所要投資回収額 ……(3)

報酬 R = ベースケースの実質運転費用

－各ケースの実質運転費用 ……(4)

ここで、(3)、(4)式右辺は主プロセス（焼却または熱分解・ガス燃焼）を含んだ額および費用である。ところで、運転に要する費用は以下のように定義した。

運転費用 = 人件費 + 用役費 + 補修費 + 保険費

実質運転費用 = 運転費用 + 金利 - 収入

2.2.1. 経済収支モデル

上記のような経済性評価を行うために、事業主体は自治体であると想定し、経済収支モデルをたてた。

システムの建設に要する費用は、補助金、起債、自己資金で賄われる。建設費は機械費、土木建築費に大別される。運転費用には人件費、用役費などが含まれるが、費用全体としては、運転費のほかに資金償還費、資金利息、減価償却費、保険費などが含まれる。収入は売却収入（電気および蒸気）である。収入から費用を差し引いた額が損益となる。これらの関係を示した経済収支モデルが図-2である。経済収支計算では、次項に述べる前提条件のもとに、モデルにしたがって各個別の費用、収入、投資回収年数などを求めた。

2.2.2. 経済収支の前提条件

① 建設費と建設資金

建設費は機械費、土木建築費に大別し、基本的には専門メーカーによる概念設計をベースに積算した。

建設資金の調達には、補助金、起債、自己資金によって行うものとした。現行制度では、ごみ処理プロセスおよび所内消費分の熱回収プロセスについては国の補助が認められ、売電や売蒸気など所外へ売却する分に対する補助は認められない。したがって、本研究では、ごみ処理プロセスおよび熱回収プロセスのうち所内消費に相当する分を「主プロセス」、その他の売却にかかる熱回収プロセスを、あらためて、「熱回収プロセス」とよぶことにした。

このようにしておいて、主プロセスに対する補助率として、50%、25%の2通りを設定した。現行制度では、公害防止地域の指定地区では50%、その他で25%の補助が認められているからである。

熱回収プロセスに対する補助率は、その建設費に対し、0～50%の間変化させた。

起債については、建設費のうち、補助金で充足されない分の95%について認められるものとした。起

$0.3 \times 2.88 \times 10^{-4}$ を掛けて求めた。

③ 収 入

売却品単価を下記のように設定し、売却量を掛けて求めた。

。電力；現行単価に対する倍数を売電単価指数として変化させた。

。蒸気；0，300，600円/トンと変化させた。

3. 結 果

3.1. 建設費・効率など

図-3は処理規模に対する単位処理能力当たりの建設費を示したものである。各システムとも、規模メリットが明確に表われており、とくに200 T/日から600 T/日への規模較差が大きいことが分かる。熱分解方式の方がストーカ方式にくらべ建設費が高くなっているのは、ごみの前処理操作・熱分解ガス洗浄操作・洗浄水処理操作などが含まれシステムが複雑になることなどによる。当然のことながら、ストーカ炉で水噴射による廃ガス冷却方式の建設費が最も安価となっているが、熱回収システムを付加して建設費が増大する分と熱回収することによる回収益のバランスがどのようになるかを次項で検討することになる。

図-4は、各システムにおける発電端電力および送電端電力を単位処理ごみ当たりでみたものである。発電端電力と送電端電力の差が所内消費電力である。この図から分かるように、発電端電力に注目すれば、ストーカ炉焼却方式にくらべ熱分解・ガス燃焼方式の方が大きな出力が得られる。これは、後者の場合、熱分解ガスを一旦洗浄し、クリーンガスとして燃焼するため、

図-3 処理規模と建設費の関係

図-4 各システムにおける発電端・送電端電力

ボイラの蒸気条件を高温・高圧に設定することができるためである。ところが、所内消費電力は、熱分解・ガス燃焼方式の方が大きい。これは、ごみの前処理操作などに大きな電力消費が伴うからである。したがって、送電端電力に注目してみると、背圧タービン方式では、1,200 T/日、600 T/日で熱分解・ガス燃焼方式がストーカ炉焼却方式に勝っているものの、小規模（かつ、ごみの発熱量を低く設定している）200 T/日では焼却方式に劣り、むしろ所内消費電力の分も賄えなくなっている。復水タービン方式では、1,200 T/日の規模では、熱分解・ガス燃焼方式が、わずかに焼却炉方式に勝っているものの、600 T/日、200 T/日の規模では、むしろ劣っている。複合サイクル発電の場合は、他にくらべデータの精度に問題はあるものの、送電端出力を焼却炉・復水タービン方式にくらべ飛躍的に向上させるものではないようである。

総じて、熱分解・ガス燃焼方式では、発電端電力は大きい。ところが、所内消費電力も大きいために、送電端電力はさほど大きくはならず、規模が小さくなると、むしろ焼却炉方式に劣ることになることが分かった。

ここで、熱回収利用の効率をみるために、発電効率、熱効率、エクセルギ効率を求めた。これらは、次に示す諸式による。

$$\text{燃料エクセルギ } X = H_l + \lambda \cdot W \text{ (kcal/kg)} \quad \cdots(5)$$

$$\begin{aligned} \text{電気エクセルギ } Y &= 860 \text{ (kcal/kWh)} \cdot \\ &P/G \text{ (kcal/kg)} \quad \cdots \cdots \cdots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{蒸気有効エクセルギ } Z &= \frac{S}{G} \left\{ (i_1 - i_2) - T_0 \right. \\ &\quad \left. (S_1 - S_2) \right\} \text{ (kcal/kg)} \quad \cdots \cdots \cdots (7) \end{aligned}$$

$$\text{発電効率} = Y/H_l \times 100 (\%) \quad \cdots \cdots \cdots (8)$$

$$\text{熱効率} = \left\{ \frac{S}{G} (i_1 - i_2) + Y \right\} / H_l \times 100 (\%) \quad (9)$$

$$\text{エクセルギ効率} = (Y + Z) / X \times 100 (\%) \quad \cdots \cdots (10)$$

ここに、

H_l ; ごみの低位発熱量 (kcal/kg)

λ ; 水の蒸発潜熱 (kcal/kg)

W ; ごみの含水率 (kg/kg)

P ; 発電出力 (KW)

G ; ごみ量 (kg/H)

S ; 送汽量 (kg/H)

i ; エンタルピ (kcal/kg)

$S i$; エントロピ (kcal/kg・°K)

T_0 ; 大気温度 = 293 (°K)

添字 1 ; 送気蒸気

2 ; 回収ドレン

である。

ここでは、とくに処理規模による差に注目するために、200 T/日の規模のケースについても他の規模のケースと同様に、ごみの低位発熱量を 1,850 kcal/kg であるとした。前記の計算式にしたがい諸効率を求めた結果

表 4 総合効率 (単位%)

			発 電 端		送 電 端		
			発電効率	熱 効 率	発電効率	熱 効 率	エクセルギ効 率
1,200 T/日	ストーカ 焼 却	背 圧	6.4	50.2	3.6	47.4	12.7
		復 水	11.7	11.7	8.7	8.7	7.6
	熱分解・ ガス燃焼	背 圧	12.3	53.2	6.5	47.4	15.0
		復 水 複 合	16.1 18.2	16.1 18.2	9.8 11.3	9.8 11.3	8.6 9.9
600 T/日	ストーカ 焼 却	背 圧	6.2	50.1	3.3	47.2	12.4
		復 水	11.4	11.4	8.2	8.2	7.2
	熱分解・ ガス燃焼	背 圧	10.7	53.0	4.6	47.0	13.4
		復 水 複 合	14.8 18.2	14.8 18.2	8.3 10.8	8.3 10.8	7.3 9.5
200 T/日	ストーカ 焼 却	背 圧	5.6	48.0	1.8	44.2	10.9
		復 水	10.9	10.9	6.7	6.7	5.9
	熱分解・ ガス燃焼	背 圧	7.4	51.5	0.4	44.6	10.2
		復 水	12.1	12.1	5.4	5.4	4.1

注) 200 T/日の場合も他の規模と同様 $H_l = 1,850 \text{ kcal/kg}$ としている。

図-5 処理規模と発電効率

が表4である。これらの数値のうちとくに発電効率を発電端、送電端について示したのが図-5である。背圧タービンにくらべ復水タービンによる発電効率が高いことが分かるであろう。ストーカ炉焼却の場合、規模による発電端の発電効率の差はあまり大きくはない。送電端の発電効率の規模による差は、規模が小さくなくても所内消費電力がそれに応じて小さくはならないからである。熱分解・ガス燃焼の場合には、発電端、送電端ともに規模による発電効率の差が大きくでいて

るが、これは、先述したとおり、規模が小さくなるにしたがい、ボイラの蒸気条件を低温・低圧に設定しているためである。逆にいえば、ボイラ蒸気条件を高くとれる大規模施設でなければ、熱分解・ガス燃焼の利点は生かされないということになる。

表4において、エクセルギ効率は、蒸気有効エクセルギを含んだものである。この数値は蒸気が利用されてはじめて意味を持つ効率であることに注意する必要がある。当然のことながら、背圧タービンの場合

図-6 売・買電単価指数がリンクした場合の投資回収年数

にこの数値は大きくなる。

3.2. 経済性の評価

3.2.1. 投資回収から見たごみ発電システムの位置づけ

図-6は、売・買電単価指数を横軸に、投資回収年数をたて軸に表わしたものである。同図は、主プロセスの補助率を25%とし、売電・売蒸気にかかる熱回収プロセスの補助率を0%としたものである。投資回収年数の限度を仮に6年程度と考えると、主プロセスに対する補助率が25%の場合、大型市モデル(1,200 T/日)で最も有利であるのは、焼却一背圧タービンのケースである。焼却一復水タービンのケースは、売・買電単価が上昇すれば背圧タービン方式で蒸気が売却できないケースと同程度の有利さとなる。

中都市モデル(600 T/日)では、熱分解方式にかかる発電システムは、ベースケースにくらべて過大な投資を必要とし、現行の売・買電単価では成り立ち難いケースが多い。売・買電単価が上昇すれば、熱分解方式にかかるケースも投資回収年数が6年未満となるが、焼却方式にかかるケースの方が有利であることには変わらない。焼却一復水タービンと焼却一背圧タービンの比較では、売・買電単価が2倍になってもなお前者の方が有利とはならない。これは、この規模では売電量がさほど大きくないために、熱回収プロセスの設備コストの大きさをとりもどすまでには至らないことを示している。この傾向は次の小都市モデルで一層鮮明に現われている。

小都市モデル(200 T/日)をみれば、ごみ発電方式の適用は、実現性および方式の選定において問題が多く、充分検討してかからねばならないことが分かる。とくに、過大な投資を伴う熱分解方式にかかる発電システムは規模のわりに投資額が大きく、投資回収が非常に困難である(投資回収に25年以上を要するケースが多い)。焼却方式においても、現行売・買電単価では、投資回収に10年以上を必要とする。焼却一背圧タービン方式では、売電量は少なく、売電単価の影響をあまり受けないが、買電単価の上昇によって買電費が節減される効果大きい。とくに、蒸気の売却が可能であれば投資回収が可能な範囲にはいってくる。焼却一復水タービン方式では売・買電単価が上昇すれば有利となるが、少量の売電量に期待して復水タービンを採用する効果は薄いとわざるを得ない。したがって、小都市向ごみ発電システムを考える場合には、所内消費電力を賄うと同時に、タービン背気蒸気を有効

に利用する方式を優先して考えることが望ましい。また、小都市におけるごみ発電を促進させるためには、主プロセスに対する補助率を高くすることも1つの方策である。

3.2.2. 中小都市におけるごみ発電

前項の結果から、ごみ発電の経済性については、中小の都市モデルにおいて多くの問題点があることが分かったので、ここであらためて中小都市におけるごみ発電についてさらに詳しい検討を行う。

一般に、大都市の場合には、公害防止地域の指定がなされており、ごみ焼却施設に対する補助率は50%と有利になっている。これに対し、中小の都市では、指定地域外であることが多く、この場合の補助率は25%となる。また、ごみ発電のうち、売電にかかる部分の熱回収設備には、現段階では補助金につかない。とくに、小都市では、設備規模が小さく補助率が低いことと相まって、ごみ発電の経済性という点では不利な立場にある。売電にかかる部分に対する補助については、昨今のエネルギー事情を反映して再検討の動きも見られるが、ここでは、まず、熱回収プロセスに対する補助率の影響を考察する。

図-7(a)に示したように、中都市モデル(600 T/日)では、熱回収プロセスに対する補助率が零の場合でも、熱分解一複合サイクルおよび熱分解一背圧タービンのケースを除き1,000円/トン以上のメリットがある。ここで、メリットは前述したように、発電なしのストロカ炉焼却に対して償還を含む実質の運転費がごみ1トン当たりいくら安価にすむかという表示であり、いわば、利益の絶対値表示で、これを得るためにどれだけの投資が必要であったかは無関係の数値である。

投資回収年数の限度を6年程度とすると、熱回収プロセスに対する補助率が0~50%の範囲で適用性があるのは、焼却一背圧タービン方式と焼却一復水タービン方式に限定される。また、これらの方式では、熱回収設備に対する補助率が0%から50%に上げられることによって、投資回収年数を3~4年短縮することになる。

小都市モデル(200 T/日)では、図-7(b)に示したように、熱分解一背圧タービンのケースを除きメリットはあるが、大略、1,000円/トン以下である。焼却一復水タービンのケースで、熱回収プロセスに対する補助率が上がれば1,000円/トンをこえる。一方、投資回収年数から見ると、焼却一復水タービンのケースで補助率が50%程度になるか、焼却一背圧タービンのケース

図-7 熱回収プロセスへの補助率とメリットの関係

で蒸気の売却ができる場合にのみ10年未満で投資を回収できることになる。図にみられるように、蒸気が300円/トンで売却できたとすれば、メリットは約300円/トン・ごみ上昇する。

蒸気単価と買電単価が投資回収年数に及ぼす影響を見たのが図-8である。熱回収プロセスに対する補助率が零であっても、蒸気単価が600円/トン程度（焼却-背圧タービンのケース）になったり、買電単価が現行の1.5倍（焼却-背圧タービン、焼却-復水タービンのケース）にまでなると小都市モデルにおけるごみ発電システムにも経済性がでてくる。

図-9は、買電単価が変化した場合のメリットの変化を示したものである。この図より、将来、エネルギー価格が上昇し、買電単価が高くなるようになれば、エネルギー回収のメリットは大きくなり、たとえば、買電単価が現行の1.5倍になれば、メリットは1,000円/トン以上となる。このように、小都市においても、ごみ発電に対する投資が魅力のあるものになってくるであろう。また、このような場合にも、投資の効率、メリットの大きさからみて、図に現われているように、焼却-背圧タービン方式で蒸気の有効利用を追求することが最も賢明な選択となるであろう。

3.2.3. エネルギー価格の上昇が及ぼすごみ発電システムへの影響

図-8 買電単価および売蒸気単価と投資回収年数の関係

今後のエネルギー価格の上昇に伴い、将来、ごみ発電の位置づけが変化することが考えられる。図-10に示したように、エネルギー価格の上昇を買電単価の上昇で表わし、その影響を見ると、ごみ発電が投資の対象として魅力的になることが分かる。ただ、プロセス上は、

図-9 買電単価とメリットの関係

現状の技術に立って考える限り、熱分解方式は焼却方式にくらべ、ごみ発電ということでは劣っているといわざるを得ない。熱分解方式の一層の改良が望まれるとともに、生成ガスの特性を生かしたエネルギー回収法がはかられることが好ましいといえる。

エネルギー価格の上昇は売電単価にも影響を与えると考えられる。前出の図-6は、売電単価と買電単価が同一割合で変化した場合を示している。焼却-背圧タービン方式、焼却-復水タービン方式のいずれもエネルギー価格の上昇に伴い有利となるが、図-6に見るように、買電単価と売電単価が適当にリンクされれば、両者の方式間で投資効果にほとんど差は出てこない。そして、蒸気の売却が可能であれば、600 T/日の規模でも1,200 T/日の規模に匹敵するような投資効果を果たすことも可能である。

小都市モデルにおいても、エネルギー価格の上昇によって受ける影響は大都市モデル、中都市モデルと同様の傾向である。ただし、図-6、図-10に示されるように、熱分解方式を小都市に適用することは、現段階で推察される条件下では困難である。将来に向けての技術確立などのために特別の補助政策が実施される場合には、熱分解方式も経済性をもつことになる。

小都市向ごみ発電システムは、現状でも蒸気を有効利用することで採算ベースにのせることは可能であるが、売・買電単価が現行の1.5倍程度になれば、蒸気の

図-10 買電単価と投資回収年数の関係

売却ができなくても充分適用可能になる。この場合においても焼却―復水タービン方式よりも焼却―背圧タービン方式の方が有利である。

4. 結 論

本研究では、ごみ処理方式として焼却方式、熱分解方式を取りあげ、熱回収方式として背圧タービン発電、復水タービン発電、および、複合サイクル発電の各方式を組み合わせ、ごみ処理規模を大（1,200 T/日）、中（600 T/日）、小（200 T/日）に設定し、それぞれについて、発電の効率などを明らかにするとともに、買・売電単価、売蒸気単価、補助率などが、熱回収の経済性に及ぼす影響を考察した。この結果により、各自治体において、どのようなごみ処理方式、発電方式の組み合わせが推奨されるか、また、どのような外部条件（売・買電単価、補助率など）の変化によって、ごみ発電が実現可能になるかを検討することができるようになった。ここでは、結果の一部を総括して、投資回収年数からみた場合に、現行の条件下でどのような方式の実現性が高いかを一覧表として表5に示す。

この表は、現在の条件下でまとめたものであるから、今後のエネルギーを取り巻く情勢の変化によって、投資の可能性も変わるものである。

とくに、本研究の中で問題点として明らかになったことについて列記すれば、つぎのとおりである。

- ・一般に熱分解のケースが不利となっているが、熱分解の場合、ごみをあらかじめ破碎しており、この工程による設備費や電力費の増分が大きい。破碎の効果は灰の性状の良さに反映されるが、本研究ではこの点の評価は入っていない。
- ・熱分解ガスの利用方法として、発電を取りあげると他の方式にくらべ不利な結果となる。しかし、生成

- ガスの特徴を生かした利用方法をとれば、熱効率や経済性の向上がはかれるものと考えられる。
- ・小規模なごみ処理システムでは、発電以外の蒸気利用・温水利用など、多角的な利用法を検討し開発していくことも、熱回収の経済性を向上させる上で重要である。
- ・本研究では、出力の大きさにかかわらず売電単価が決まると仮定しているが、これは現実的ではない。本来、廃棄物は、その排出時において質・量が変化し、それにしたがって蒸気発生量が変動し、発生電力が不均一になるので、出力の大きさや電力の質による検討も重要である。
- ・ごみ質の季節的変動については検討していないので、季節的変動が大きいと考えられるときには、熱回収のあり方も含めて再考察の必要がある。
- ・ごみ発電施設は、本来、自家用電気工作物の範囲にあるもので、電力会社の系統に入れるときは、保安および波及事故の防止のために、系統保護設備の充実および操作時の電力会社との連携が重要である。最後に、本研究にあたり、帝人エンジニアリング（株）寺本俊郎氏、沢ノ井弥一郎氏をはじめとし、関係各位から貴重な御助言を戴いたことに対し、深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

1) 科学技術庁資源調査会；「一般廃棄物・下水污泥からのエネルギー回収利用に関する調査報告―焼却発電を中心として―」(1980)
2) 熱利用研究会；「中間報告」(1980)
3) Scheuble Jr.; "How to Figure Equipment Replacement", Harvard Business Review, Sep.-Oct. (1955)

表5 適用可能システムのまとめ

ごみ処理方式	焼 却									熱 分 解								
	200			600			1,200			200			600			1,200		
規 模 (T/日)	6	10	15	6	10	15	6	10	15	6	10	15	6	10	15	6	10	15
背圧タービン方式	×	△ ^{a)}	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○
復水タービン方式	×	△ ^{b)}	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	△ ^{d)}	○	○	○	○
複 合 サ イ ク ル	――			――			――			――			×	×	×	×	○	○

注) ○；可能，△；やや困難，×；非常に困難

条件：売・買電単価指数＝1，売蒸気＝0円/T

主プロセス補助率；1,200 T/日＝50%，600 T/日＝25%，200 T/日＝25%

熱回収プロセス補助率＝0

a) 10～13年，b) 10～13年，c) 補助率50%のとき△7～8年，d) 10～13年