

[研究報告]

ガスタービンを組み込んだコンバインド ごみ焼却発電に関する検討

Studies on the advanced WTE system combined with Gas turbine

河邊安男*、藤吉秀昭*

Yasuo KAWABE and Hideaki FUJIYOSHI

1. はじめに

我国におけるごみ焼却発電施設数は、平成5年度末で129施設あり漸増の傾向にある(図1)。それら施設の総発電能力は約42万kWである¹⁾(図2)。

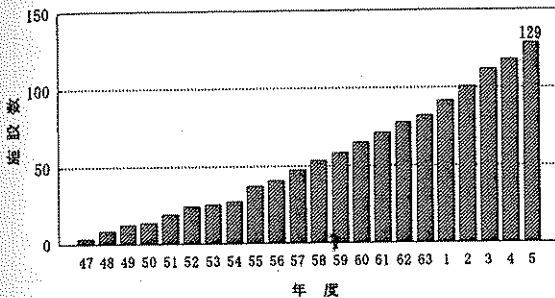


図1 発電施設を有する施設の推移

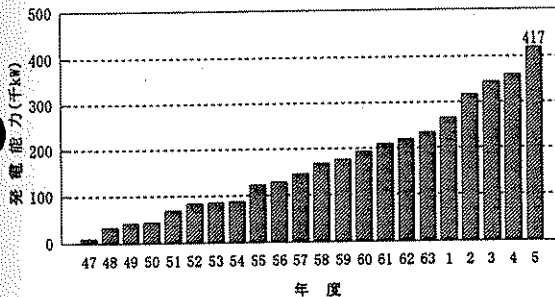


図2 焼却施設の発電能力の推移

* (助)日本環境衛生センター東日本支局環境工学部
Department of Environmental Engineering,
East Branch, Japan Environmental Sanitation
Center

これら従来のごみ焼却発電施設の蒸気条件は、排ガスによる過熱器の高温腐食を防止するため蒸気温度は一部を除いて250℃以下に抑えられている。そのため火力発電等と比べると発電効率が非常に低いのが実態である²⁾。

しかし、近年、省資源・省エネルギー対策及び地球環境保全等の観点からごみの持つエネルギーを積極的に有効利用するために、蒸気条件を改善して(蒸気の圧力、温度を上げる)ごみ発電の高効率化を図る研究が各方面で行われている。

現在試みられている発電の高効率化には、ごみ焼却炉単独で行う方法とガスタービン等の熱機関と組み合わせる方法がある。前者は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が蒸気条件を100kg/cm²G(9.81MPa・G)×500℃とし、発電効率を現状の2倍にし、発生電力は10倍にするべく開発に取り組んでいる³⁾。後者は、ガスタービン等を併設し、その排ガス熱を利用して、焼却炉で作られた蒸気の温度を上げて高効率発電を行ういわゆるコンバインドシステムである。発電効率を指標として、どちらのシステムがより効果的かという研究が最近多く発表されているが、次に示すような問題点がある。

- ①ごみ発電を電気供給事業として位置付けると、安定供給と事業収益性が大きな評価要素となる。事業収益性は発電効率のみではなく発電規模も大きくしないとあまり効果が出ない。逆に言うと規模を大きくすればするほどわずかの発電効率の向上が全体の収益性に大きく寄与してくる。
- ②ごみ発電をあくまで清掃事業の副次的事業として考えると、売電収入のわずかな増額化のために建設費、人件費、維持管理費等が大幅に増額

化することになるケースもありうる。特にごみ処理施設規模が200T/日から300T/日程度では経済性を確保するのは大変難しい。

- ③ これらのことを考えると、ごみ発電の効率化は現状の市町村によるごみ分散処理システムを改めて、広域的な大規模ごみ発電を計画する中で検討されなければ、あまり意味がないことを示している。
- ④ しかしながら、ごみ処理の広域化はごみ処理事業のもつ歴史的経緯を考えるとそう簡単ではない。技術的な課題というより処理計画上のソフト面の課題である。

上記のような問題を踏まえて、本報では下記に示すような特徴を持つ「コンバインドシステム」の発電効率とシステム設計上及び運転管理上の問題点を検討したので、その結果について報告する。

① 中都市における焼却炉の規模として400T

／日から500T/日の連続炉を前提とし、一般廃棄処理施設の範囲内で且つ自家発電機として認められる範囲内で極力未利用エネルギーの有効利用化を目指すものとする。

② 従来遊休装置となりがちであった非常用発電機を常用化し、場内消費電力として利用する。

③ 非常用発電機としてガスタービンを使い、そのクリーンな高温排ガスを利用して、ごみ焼却炉からの蒸気をさらに過熱することにより発電効率及び発電量を上げる。

④ 非常用発電機を常用化することにより、焼却炉定期検査時や非常停止時のバックアッ

プを外部電力会社に頼らなくて済むようにし、結果的に契約電力料（基本料金）の低減化を図る。

2. 施設の概要

本報で検討したコンバインドシステムの概要は下表のとおりである。

項目	仕様・条件等								
施設規模	450t/日 (150t/24h×3炉)								
炉形式	全連続燃焼式ストーカー炉								
ごみ質	<table border="1"> <thead> <tr> <th>低質</th> <th>基準</th> <th>高質</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.65 (1300)</td> <td>9.43 (2200)</td> <td>11.94 (2800)</td> <td>(MJ/kg) (kcal/kg)</td> </tr> </tbody> </table>	低質	基準	高質		5.65 (1300)	9.43 (2200)	11.94 (2800)	(MJ/kg) (kcal/kg)
低質	基準	高質							
5.65 (1300)	9.43 (2200)	11.94 (2800)	(MJ/kg) (kcal/kg)						
蒸気条件	ボイラ出口圧力、温度 2.65MPa・G (27kg/cm ² ・G)、300°C 独立過熱器出口温度 380°C								
焼却残渣の熱ショック減量	2%以下								
排ガス基準値									
ばいじん	0.02g/m ³ 以下								
硫黄酸化物	20ppm以下								
塩化水素	20ppm以下								
窒素酸化物	60ppm以下								
蒸気タービン									
形式	抽気復水タービン								
出力	12,400kW								
ガスタービン出力	4,000kW								

3. 検討結果

3.1 コンバインドシステム導入にあたっての設計上の工夫

ごみ焼却発電システムにガスタービンを組み込んだ本システムの基本フローは次のとおりである。

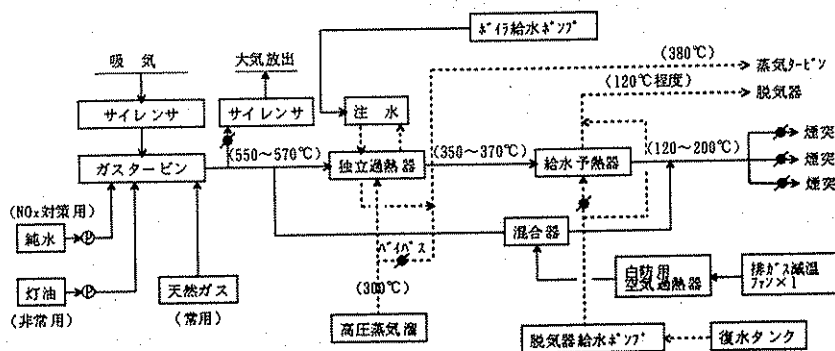


図3 システムフローシート

1) 特徴

①ガスタービンの排ガス熱で焼却炉からの過熱蒸気を380℃まで昇温し、発電量の増加と発電効率の向上を図っている。

②蒸気タービン入口蒸気温度の安定化制御は、ガスタービンの出力制御によるものでなく、独立過熱器にボイラ給水を噴射する中間注水方式としている。

③ガスタービン排ガス熱をより有効に利用するために給水予熱器を設置し、脱気器給水温度を120℃程度まで上げる計画としている。

④電力会社の余剰電力購入単価(売電単価)が昼間11円/kWh(8時~22時)、夜間4.5円/kWh(22時~8時)であるので、経済性の観点からガスタービンの運転は昼間のみとする。

⑤ガスタービン排気温度は、570℃程度あり大気へ排出する前に減温する必要がある。そこで、休炉時等においてもガスタービン単独で100%ロード運転できるようにするため、排ガス減温ファンを設置している。なお、このファンは、その出口に白煙防止用空気加熱器を設置することにより白煙防止用ファンと兼用できる。

⑥ガスタービン減温装置出口排ガスは、煙突仕様が過大にならないように3本の煙突へ均等に分配できるようにしている。

⑦ガスタービンの形式は、完全停電時にごみ焼却施設を立ち上げることが可能なように常用定格の発電機とし、灯油でも運転できるようにしている。

⑧本発電システムは、運転員への負担が増加しないように極力シンプルなものとし、かつ高度に自動化を図っている。

3.2 発電量と発電効率

本コンバインドシステムの発電量と発電端効率を焼却炉単独のシステムと比較した結果は表1及び図4に示すとおりである。ただし、発電端効率(E)とは以下の定義による。

$$E(\%) = \{(\text{蒸気タービン出力(kW)} + \text{ガスタービン出力(kW)} \times 860(\text{kcal/kW}) / (\text{ごみ入熱(kcal/h)}) \times 100$$

コンバインドシステムの発電量は約13~16MW(基準ごみから高質ごみ)、発電端効率は約20~21

表1 発電量と発電端効率の比較

項目	発電量(MW)		発電端効率(%)		蒸気温度(℃)
	高質ごみ	基準ごみ	高質ごみ	基準ごみ	
コソノ イトノシタ	15.7	12.7	20.7	20.4	380
S/T出力	11.7	8.7	15.5	14.0	
G/T出力	4.0	4.0	30.4	30.4	
単独システム	9.5	7.1	15.2	14.4	300

S/T: 蒸気タービン発電機

G/T: ガスタービン発電機

表2 他施設の発電効率

施設名	蒸気圧力		蒸気温度(℃)	S/T出力(MW)	発電効率(%)
	(MPa·G)	(kg/cm ² ·G)			
横浜市鶴見工場	2.55	26	280	22	12.6
東京都目黒工場	2.92	29.8	300	11	13.5
東京都大田第二工場	2.94	30	300	15	14.7
埼玉東部第二工場	4.21	43	380	24	20.6

%であり、本システムは単独システムより発電量は約65~80%増加し、発電端効率は約40%向上することが分かる。つまり、非常用発電機を常用化しその排気を利用することにより高効率な発電が可能となる。

他施設の発電効率は表2に示すとおりである。埼玉東部第二工場を除く施設の発電端効率は約13~15%であるが、埼玉東部第二工場の高温・高圧ボイラ(380℃、4.22MPa.G(43kg/cm²·G))の発電端効率は20.6%であり、本システムと同程度の値である。

蒸気タービンのみの発電量は約7~10MW(基準ごみから高質ごみ)、発電端効率{蒸気タービン出力×860/ごみ入熱}は約14~15%であり、ガスタービン排気ガスで蒸気温度を80℃上げることにより発電量は単独システムより約20%(約2MW)増加するが、発電端効率はほぼ同じである。

3.3 経済性の検討

図3に示すシステムフローの経済性について検討を行った。

コンバインドシステムは、①発電量の増加に伴

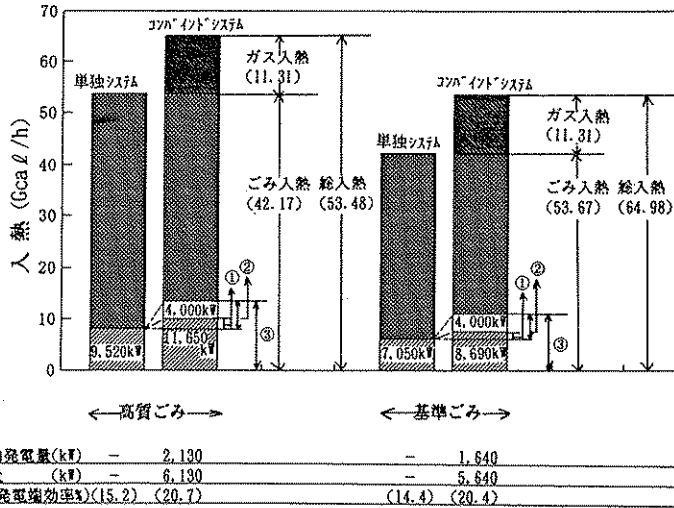


図4 発電量と発電端効率

う売電量の増加②自家発補給電力による契約電力料の低減という経済効果(収入)を期待できる。一方、天然ガス料金や運転維持管理費等のランニングコストの増加という経済的デメリットをもたらす。経済性の評価は、本システム構成に当たっての機械・電気計装設備等の増加設備費をどこまで含めるかによって大きく左右されるが、ここでは以下のような前提条件を基に検討した。

(1) 前提条件

- ア. ガスタービン導入による経済効果は表3に示すとおりであり、その経済効果から単独システムの経済効果を引いたものについて検討し評価する。
- イ. 商用電力の不適用月は年間10カ月とし、契約電力方式は「自家発補給電力」とする。
- ウ. ガスタービン設置に伴う増加設備の減価償却は、耐用年数15年、残存価格10%とする定額償却とする。
- エ. ガスタービン設置に伴う増加設備の金利は、15年間の年利平均を3.63%とする。
- オ. 稼働日数は年間330日とし、ガスタービンは昼間のみ運転するものとする。

以上の条件を基に検討した結果、売電単価が11円/kWh、天然ガス料金が40円/m³では年間約4,700万円から約6,800万円のマイナスとなる。

表3 経済収支の項目

項 目	
収 入	①売電収入(ガスタービン導入による売電増加分) ②削減契約電力料(単独システムによる契約電力料-自家発補給電力による契約電力料)
支 出	運転経費 ①減価償却と金利 ②天然ガス料金 ③運転維持管理費 ④運転人件費

しかしながら、売電単価は良質の電気については更になる可能性があり、また天然ガスについては購入量の増大や円高の影響によって下がる可能性を持っている。

そこで、増加設備費及び天然ガス料金を除く運転経費及び夜間の売電単価を固定し、天然ガス料金と昼間の売電単価を変化させたときの経済性について検討を行った。その結果を図5、6に示す。

経済的収支は、高質ごみ(2,800kcal/kg)の場合、ガス料金がガス会社の高負荷料金単価40円/m³のとき売電単価が11円から12.5円/kWhではマイナスとなるが、13円/kWhになると年間約150万円とわずかに利益を生ずる。なお、ガス料金が31円/m³になると売電単価11円/kWhで

収入-支出(百万円/年)

収入-支出(百万円/年)

も
ガ
kW
電
利
11
は2
を
ら
3.5
お
費
と
イ
る
採
え

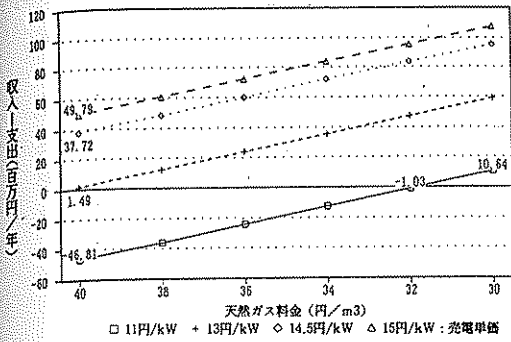


図5 経済性の検討 (高質ごみ)

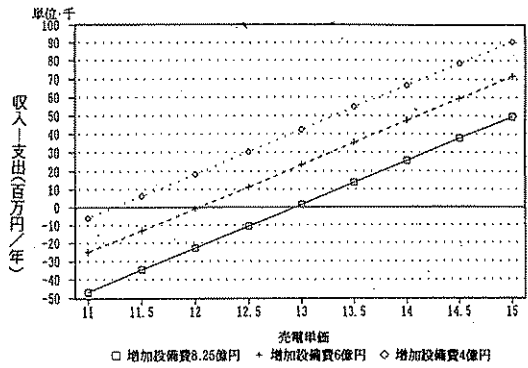


図7 経済性の検討 (高質ごみ)

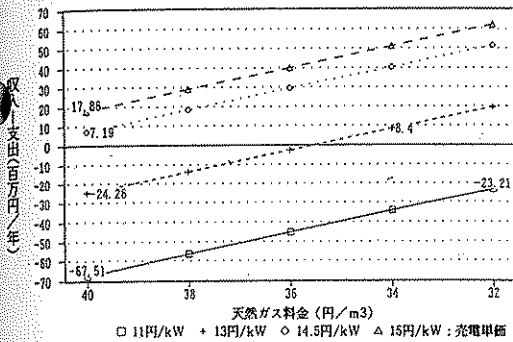


図6 経済性の検討 (基準ごみ)

3.4 技術的な課題

本システムを実際に一般廃棄処理施設に導入する際の運転管理上の問題点を以下に挙げる。計画にあたってはこれらの事項を十分に検討する必要がある。

- (1) 商用電源、蒸気タービン、ガスタービンの3電源並列運転及び3炉運転中1炉停止・ガスタービン運転並びに蒸気タービン出力低下・ガスタービン起動等種々の運転パターンがあるので、これらの運転方法について運転ミスを防ぎ、かつ運転員への負担増にならないようにするための自動化システムの構築が必要である。
- (2) 経済性の観点からガスタービンは、昼間運転・夜間停止の運転方法をとらざるを得ないため、蒸気タービンへのドレンアタック等の問題から圧力、温度はそれぞれ2.94MPa.G (30kg/cm²・G)、380℃程度までしか上げられない。
- (3) 蒸気タービン入口温度の安定化のため中間注水方式としているが、独立過熱器出口蒸気温度制御用の水噴射量が蒸気量の2割以上になるとドレンアタックやサーマルショック等を起こす危険性があるので、それへの対策が必要である。

4. まとめ

以上検討した本システムは、次のようなメリットと課題を有している。

- (1) 本システムは、ごみの持つエネルギーを有効に引き出すことができる未利用エネルギー有効利用技術の一つである。これにより発電量の増加と発電端効率の向上を図りうる。

もプラスになる。

一方、基準ごみ (2,200kcal/kg) の場合では、ガス料金が40 $\text{円}/\text{m}^3$ のとき売電単価が14 $\text{円}/\text{kWh}$ までマイナスである。利益を生ずるのは売電単価が14.5 $\text{円}/\text{kWh}$ に上がったときでありその利益は年間約700万円である。なお、売電単価が11 $\text{円}/\text{kWh}$ で、経済性がプラスになるガス料金は27 $\text{円}/\text{m}^3$ である。

従って、本システムを採用するにあたり経済性を考慮すると、売電単価の引き上げが必要と考えられ、その単価は、現在の最高単価よりも2から3.5 $\text{円}/\text{kWh}$ 高い13から14.5 $\text{円}/\text{kWh}$ である。なお、経済性の評価は、図7に示すように増加設備費に大きく左右され、増加設備費が6億円になると売電単価が12 $\text{円}/\text{kWh}$ で経済的には僅かなマイナスとなる。従って、増加設備の技術開発によるコストダウンと経済設計に努めれば、経済的に採算ラインにのせることが出来るようになると思われる。

- ア. 発電量は焼却炉単独システムより約 6 MW (増加率約 60~80% : ガスタービン出力 4 MW 含む) 増加し、ガスタービンにより蒸気温度を 80℃ 上げるにより蒸気タービンの発電量は 2 MW (増加率約 20%) 増加する。
- イ. 発電端効率、単独システムでは約 14~15% であるが、本システムでは約 20~21% 程度まで上がり (増加率約 40%)、蒸気条件 380℃、4.22MPa.G (43kg/cm²・G) の高温・高圧ボイラと同程度である。
- (2) 非常用発電機を常用化することにより、常時商用電力と蒸気タービン発電機をバックアップできる。このことからプラントの安定性向上につながる。
- (3) 独立過熱器は、クリーンな排ガスを利用して蒸気の温度を上げるため高温腐食を生じない。
- (4) 運転管理パターンが多様になる。そのため

信頼性の高い自動化システムの構築が必要である。

- (5) 経済性の評価は設備費の見込み等に大きく左右されるが、その設備費の情報が不確かであるため出しにくい。増加設備の技術開発と経済設計に努めれば、採算ラインに乗せうと考えられる。

参考文献

- 1) 厚生省生活衛生局水道環境整備化：ごみ発電推進計画 平成 6 年 8 月
- 2) 原一夫：NEDO 高効率廃棄物発電技術開発の概要について、配管技術、34 (12)、(1992)
- 3) 羽田壽夫：都市ごみ発電、高効率化の最近の動向、産業公害、Vol.29、No. 8 (1993)