

ごみ焼却発電の拡大と発電効率の向上（その1）

（ごみ焼却発電の状況）

環境企画 主宰 松村 眞

本稿は2013年3月に開催された化学工学会第78年会（大阪大学豊中キャンパス）化学産業技術フォーラムで発表した内容に、関連情報を追記して文章化したものである。「化学装置2013年6月号」に掲載されたので、出版社の許可を得て転載する。

1. 清掃工場の種類と規模

日本では一般廃棄物が1年間に約4,300万トン発生する。環境省の資料によると、平成22年度にはこの79%にあたる3,380万トンが全国1,221ヶ所の清掃工場（ごみ焼却工場）で焼却された。したがって、清掃工場の1日平均焼却量は約76トンになる。しかし清掃工場の規模は地域によって大きな隔りがあり、大都市には24時間連続稼働の全連続式と呼ばれる清掃工場が多く、平均処理能力は1日約250トンである。一方、人口が中規模の市町村には、1日16時間稼働

表1. 日本のごみ焼却施設（清掃工場）

焼却方式	施設数	処理能力（トン/日）		
		平均	全体	比率（%）
全連続式	648（53%）	250	161,832	87.3
准連続式	228（19%）	72	16,501	8.9
バッチ式	345（28%）	20	7,040	3.8
計	1,221 （100%）	152	185,372	100.0

出典：日本の廃棄物処理、平成22年度版（環境省）

の准連続式といわれる清掃工場が多く、平均処理能力は1日約72トンである。さらに人口規模の小さな市町村には、バッチ式と呼ばれる1日の運転が8時間に達しない小規模工場が多く、平均処理能力は1日約20トンである。表1に平成22年度のデータを示すが、全清掃工場の53%にあたる全連続式の清掃工場が、総処理能力の約87.3%を占めている。一方、全工場の約28%を占めるバッチ式工場は、総処理能力の3.8%を占めるに過ぎない。小規模工場は効率が低だけでなく、ダイオキシンなどの環境対策が困難なことから、近年は集約化と廃炉が進んでいる。小規模工場が多いのは、清掃工場が市町村単位で整備され、行政区域内処理を原則としてきたからである。ごみ焼却発電は全連続式648工場のうち、規模が大きい306工場で採用されている。

2. ごみ焼却発電の方法

図1はストーカー式焼却炉を使用している一般的な清掃工場の処理工程である。ストーカーというの、炉底に設置する短冊状の火格子のことで、機械駆動で前後に動き、ごみを乾燥ゾーン・燃焼ゾーン・後燃焼ゾーンに送る。この方式が全連続式清掃工場の8割から9割を占めている。ごみ焼却発電の最初の工程は、ボイラーによる蒸気の発生と燃焼ガスの冷却である。焼却炉は850℃から900℃でごみを焼却するが、燃焼ガスには煤塵や塩素ガスなどの有害物質が含まれている。このため集塵機で煤塵を除去し、さらに塩素ガスなどの有害物質を除去するのだが、そのためには燃焼ガスの温度を200℃程度まで下げなければならない。廃熱利用ボイラーの役割は、燃焼ガスを冷却すると同時に廃熱を回収し、発電に使用する蒸気を製造することにある。発電する場合の第2工程は蒸気過熱器で、ボイラーで発生した飽和蒸気をさらに加熱し、温度を上げることで相対湿度を下げる。湿度の低い乾いた蒸気にするのは、下流のタービンで温度が下がっても水滴が生じないようにするためである。水滴が発生すると、タービンの回転羽根(ブレード)に損傷を与えるからである。乾燥した蒸気は第3工程の蒸気タービンに送られ、直結する発電機を駆動させて発電する。タービンで膨張した蒸気は圧力と温度が下がり、第4工程の復水器に送られる。復水器では蒸気を冷却して凝縮させ、温水に戻してボイラー給水として循環させる。

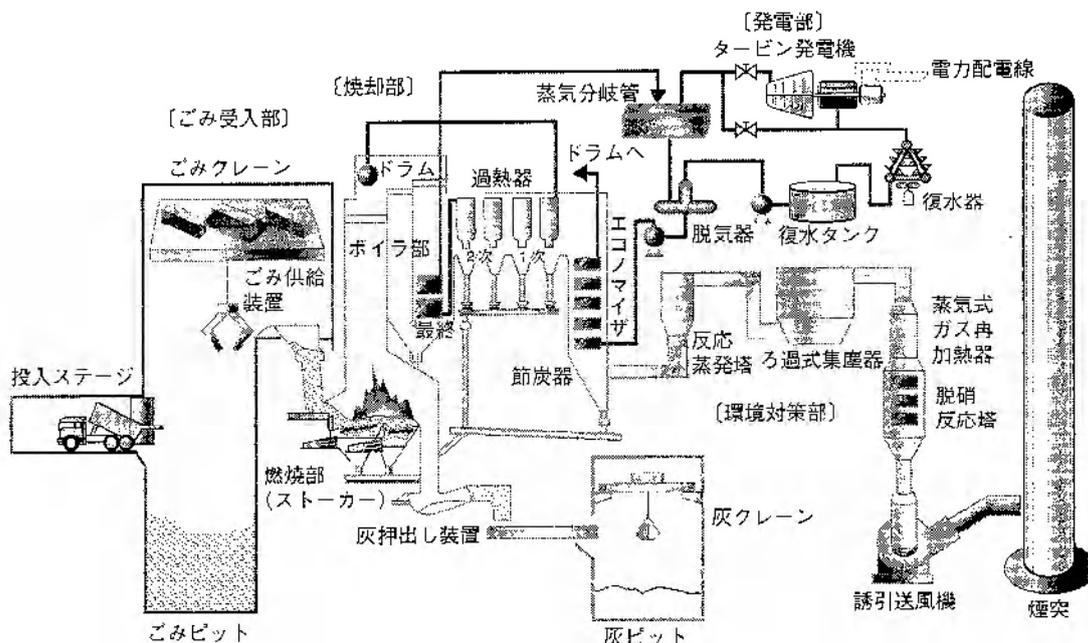


図1. 一般的な連続式の清掃工場(ストーカー式)

出典: “NEDO技術開発機構HP掲載資料(2004年)”

発電量を多くするには、タービンに入る蒸気の圧力と温度をなるべく高くする一方、復水器でなるべく低い温度にまで冷却し、圧力落差を大きくするのが望ましい。復水器には空冷式と水冷式があるが、空冷式は蒸気を自動車のラジエーターのようなフィンのついた伝熱管に通し、外側から空気で冷やす方式である。伝熱管にフィンをつけるのは伝熱面積をなるべく大きくするためである。水冷式は蒸気を多管式熱交換器に通し、工業用水や海水で冷却する方式である。水冷式の方が空冷式より低温まで冷却できるので発電出力を大きくできるが、海水か工業用水が必要になる。工業用水を使う場合は、循環利用するために温度が高くなった冷却水を冷やす冷水塔が必要になる。冷水塔はビルの冷房に使われる冷水塔と同じ原理だが、容量が大きいので大型装置になり設備費が高くなる。また設置スペースが大きいので、市街地に建設されることの多い清掃工場には負担になる。

3. 日本のごみ焼却発電

日本のごみ焼却発電の1号基は、1965年に稼動を開始した大阪市の旧西淀清掃工場である。このときは蒸気発電タービン入口温度を350℃、圧力を2.35MPaとし、23%の発電効率を達成した。復水器には水冷式を採用し、多くの清掃工場が採用している空冷式より低い温度まで冷却して、圧力落差を大きくしたのも高い発電効率に寄与した。しかし蒸気過熱器で伝熱管の腐食損傷が多発したので、以降の建設から蒸気温度を300℃以下に抑えるようになった。清掃工場はごみの焼却処理のための衛生施設として建設したのであり、発電は副次的な機能に過ぎなかった。このため、発電効率の向上よりも継続的な安定運転を重視したのである。また、ごみ焼却発電は出力が不安定なので、電力会社の購入価格が低かった。それに加えて、公共施設なので余剰電力を売却して収入を得る動機も希薄だった背景もある。

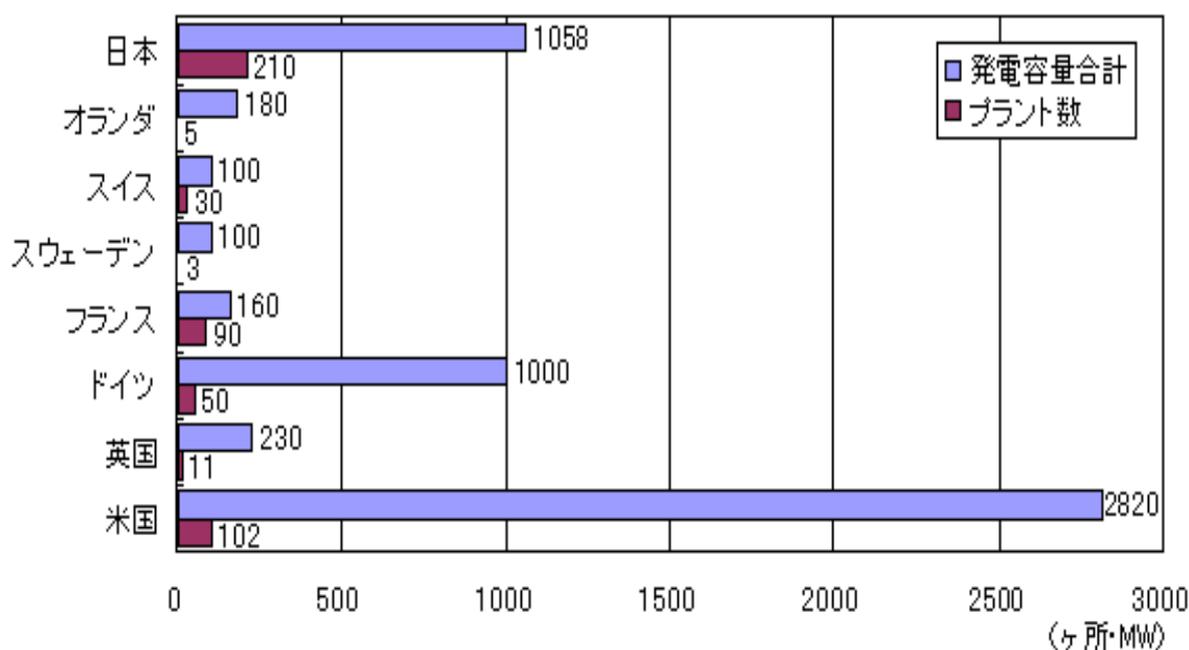
このような状況から、これまでに建設された清掃工場は、規模の大きい全連続式でも発電をしないか、発電しても自家消費電力を賄う程度が多い。発電効率は表2に示すように5%から15%程度が多く、単純平均で約11.6%に過ぎない（平成22年度）。

表2. 発電効率別ごみ焼却発電施設数

発電効率	施設数
20%以上	16
15%～20%	63
10%～15%	112
5%～10%	76
5%以下	31

4. 主要国のごみ焼却発電と発電効率

ごみ焼却発電の状況を海外と比較すると、少し古いデータだが図 2 に示すようにアメリカは 102 工場で 282 万 kW、ドイツは 50 工場で 100 万 kW の出力である。一方、日本は 210 工場で 105.8 万 kW だから、1 工場あたりの発電出力はドイツの 1/4、アメリカの 1/5 程度に過ぎない。1 工場あたりの出力に大きな影響を与えるのは、ごみの焼却量、ごみの発熱量、および発電効率である。そこで発電している 1 工場あたりのごみ焼却能力を比較すると、アメリカが 1 日平均で 1100 トン強、ドイツは 600 トン弱、日本は 400 トン弱である。したがってアメリカの 1 工場あたりの発電出力が日本の 3 倍ぐらいあっても当然だが、実際は 5 倍もある。ドイツはアメリカより処理規模が小さく日本の 1.5 倍程度だが、それでも発電出力は日本の 4 倍もある。



注：日本は2001年度(経産省調べ)、米国は2000年調べ、他国は1990～93年度ベース
：廃棄物は全て一般廃棄物

出典：財団法人エネルギー総合工学研究所作成データを元に、
新エネルギー・産業技術総合開発機構が作成

図 2. 主要国のごみ焼却発電施設数と出力規模

ごみの発熱量による違いも考えられる。日本のごみは食べ物の特性から欧米諸国より水分が多いように思われるし、所得水準の高い国の方がごみの発熱量が高い傾向にある。日

本も経済成長とともに紙やプラスチックの割合が増え、発熱量が高くなってきた歴史がある。その結果、現在の都市部では、ごみ 1 キログラム当たりの低位発熱量が 1,900 キロカロリーから 2,400 キロカロリーに達している。生活水準や生活感覚からも、生活系廃棄物の発熱量に欧米諸国と大幅な違いがあるとは思えない。残る要因は発電効率の違いである。発電効率に影響を与える主な要因は、蒸気の発電タービン入口温度と圧力、そして復水器出口の温度と圧力である。この落差が大きいほど蒸気の体積膨張が大きく発電効率が高くなるからである。アメリカとドイツの清掃工場は、蒸気の発電タービン入口温度を 400℃から 500℃とし、圧力は 5MPa 以上を採用している。また復水器は多くが水冷式なので、発電効率は 25%以上が珍しくない。一方、日本では蒸気の発電タービン入口温度を 300℃以下、圧力を 2MPa 以下に抑制してきた。復水器は臨海立地でもほとんどが空冷式である。なお、図 3 に示すように日本も新設工場では、発電タービン入口の蒸気温度に 400℃を採用し始めている。既設の清掃工場もボイラーや復水器など発電関連設備を導入、あるいは改造すれば、発電効率を改善し出力を増大できるであろう。

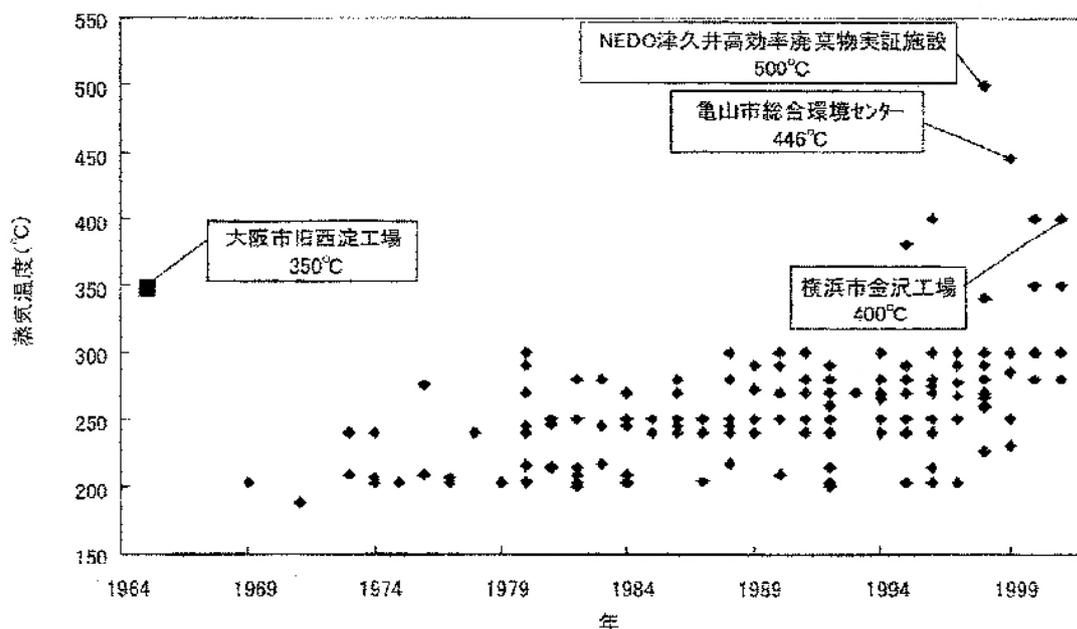


図 3. タービン入口蒸気温度の推移 (日本)

出典：“廃棄物発電導入マニュアル”，NEDO

5. 日本のごみ焼却発電の発電効率が低かった理由

日本のごみ焼却発電が欧米より低効率だった理由は、以下の直接原因と間接要因によるものと推察している。間接要因の背景には、日本では「清掃工場」と呼ぶように、公衆衛

生施設という概念があるものと思われる。一方、アメリカで清掃工場の発電効率が低いのは、清掃事業が公共事業ではなく民間の営利事業で、売電収入を大きな収益源としているからである。ドイツの清掃工場は民営ではないが、独立採算なので発電効率が収入に直結している。また、連続式の清掃工場は一定効率以上で発電する義務が課せられおり、電力会社には購入義務がある。日本も清掃工場の売電収入が収益に寄与するようになれば、発電効率の向上を促すであろう。2012年の7月から再生エネルギーとして、ごみ発電が固定価格での買い取り対象になった。したがって現在は、その方向に移行しているといえよう。

- 直接原因
- ①発電タービンの入口蒸気圧力と温度が低かった。
 - ②発電タービンの出口蒸気圧力と温度が高かった。
 - ③ごみの発熱量が低かった。
 - ④清掃工場のエネルギー効率と、発電設備の発電効率が低かった。
- 間接原因
- ①清掃工場の処理規模が小さく、ごみ焼却発電の投資効果が低かった。
 - ②公共衛生設備として建設したので、売電収入を期待しなかった。
 - ③電力会社は清掃工場の自家発電電力を買おうとしなかった（安かった）。
- アメリカ
- ①ごみ焼却は民営で、発電し売電するのが重要な目的。
 - ②公共衛生施設ではなく、営利事業のエネルギー施設として建設。
 - ③清掃事業者は複数の市町村とごみ処理請負契約を結ぶ。ごみの量が契約量より少ないと、市町村が発電量の低下による減益を保障する「Put or Pay」。
- ドイツ
- ①独立採算の第3セクター（料金は全額排出者負担）

(その2) に続く