

環境対策、環境負荷の発生抑制、社会システムの変革

1.4.1 清掃工場の廃熱利用

日本にはごみを焼却処理する清掃工場が約 1,100 ヲ所にあり、約 370 工場が廃熱を発電に利用しています。しかし平均の発電効率は、欧米諸国に比べてかなり低い水準です。また 1980 年代までに建設された清掃工場の多くは、24 時間連続稼働でも発電設備を導入していません。本稿ではごみ発電の拡大と発電効率の向上で、新たに得られる発電量と収益を推測します。

清掃工場は、立地する地域の一般廃棄物を集中的に焼却処理する施設ですから、収集車両も含めて見かけた方も多いでしょう。一般廃棄物は家庭と小売店やオフィス、それに飲食店などサービス業が排出する廃棄物です。清掃工場の多くは、ごみの焼却で発生する廃熱を蒸気や温水に変換し、工場内で利用するだけでなく、近隣の福祉施設やスポーツ施設に供給しています。発電して余剰の電力を外販している工場も少なくありません。しかし発電が目的の施設ではないので、発電効率は必ずしも高くありません。本稿では清掃工場のごみ発電の拡大と、発電効率の向上で新たに得られる電力について概説します。

1. 清掃工場の種類と規模、および廃熱の利用形態

日本では 1 年に約 4,000 万トン～4,500 万トンの一般廃棄物が発生しています。2017 年度は、一般廃棄物が災害廃棄物を除いて 4,289 万トン発生しました。環境省の資料によると、このうちの 80% にあたる 3,410 万トンが全国 1,103 ヲ所の清掃工場で焼却されていま

す。したがって清掃工場の焼却処理量は、平均すると 1 日あたり約 85 トンになります。清掃工場の処理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、1 日の平均処理能力は約 240 トンです。一方、人口が中規模の市町村には 1 日 16 時間稼働の準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 70 トンです。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 時間に満たない清掃工場が多く、平均処理能力は 1 日約 20 トンです。表 1 は 2017 年度のデータですが、全清掃工場の 63% にあたる全連続式の清掃工場が、全処理能力の 91% を占めています。一方、バッチ式の清掃工場は全清掃工場の 22% もありますが、処理能力は全処理能力の 2.7% に過ぎません。小規模工場は効率が低いだけでなく、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ます。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のと、人口の少ない島も多いからです。

清掃工場が発生する燃焼排ガスのエネルギーは、754 工場が表 2 に示す複数の用途に利用しています。発電しているのは 371 工場ですが、電気事業

表 1. 日本のごみ焼却施設（清掃工場） 2017 年度

焼却方式	施設数	処理能力（トン／日）		
		平均	全体	比率（%）
全連続式	686 (63%)	239	163,760	90.8
準連続式	170 (15%)	69	11,822	6.5
バッチ式	247 (22%)	20	4,889	2.7
計	1,103 (100%)	110	180,471	100.0

表 2. エネルギー利用形態別の清掃工場数

全清掃工場		1103	
エネルギー利用なし		349 (32%)	
エネルギー利用あり		754 (68%)	(用途)
工場内 利用	温水	(650)	給湯・暖房
	蒸気	(245)	給湯・冷暖房
	電力	(371)	動力・照明
工場外 利用	温水	(212)	給湯・暖房
	蒸気	(96)	給湯・冷暖房
	電力	(323)	動力・照明

注：同一工場の重複利用を含む。参考：環境省資料

者に売電しているのは 323 工場です。したがって、48 工場は自家消費専用発電と推察されます。他方、349 工場は燃焼排ガスのエネルギーを利用していません。なお、ごみ発電に適している 24 時間稼働の清掃工場は 686 工場もあるのに、発電しているのは 371 工場で 54%に過ぎません。24 時間稼働の工場でも、1970 年代から 1980 年代に建設された工場は、ごみ発電に積極的ではありませんでした。清掃工場自体が不足していたので、発電設備に投資するより清掃工場の拡充の方が重要だったのでしょう。発電している 371 工場の発電効率は、20%以上が 37 工場、15~20%が 100 工場、10~15%が 132 工場、5~10%が 65 工場、5%未満が 29 工場、平均は 13%です。新しい清掃工場ほど発電効率が高くなっているため、少しずつですが平均の発電効率も高くなっています。

2. ごみ発電の方法

図 1 はストーカー式と呼ばれる焼却炉を使用している清掃工場の工程です。ストーカーというのは、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・後燃焼ゾーンに送ります。この方式が、全連続式清掃工場の 8 割から 9 割を占めています。ごみ焼却発電の最初の工程は、ボイラーによる飽和蒸気の発生と燃焼ガスの冷却です。焼却炉は 850℃から 900℃でごみを焼却しますが、燃焼ガスには煤塵や有害物質が含まれています。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しますが、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りません。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、主に発電に使用する蒸気を製造することにあります。

発電の第 2 工程は蒸気過熱器で、ボイラーで発生した飽和蒸気を加熱し、温度を上げて湿度を下げます。目的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す。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す。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します。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ます。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ます。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有効です。復水器には空冷式と水冷式がありますが、空冷式は蒸気を自動車のラジエーターのようなフィン(ひれ)のついた伝熱管に通し、外側から空気で冷やす方式です。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す。水冷式は多管式の熱交換器を使って、工業用水や海水で冷却する方式です。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ますが、海水か

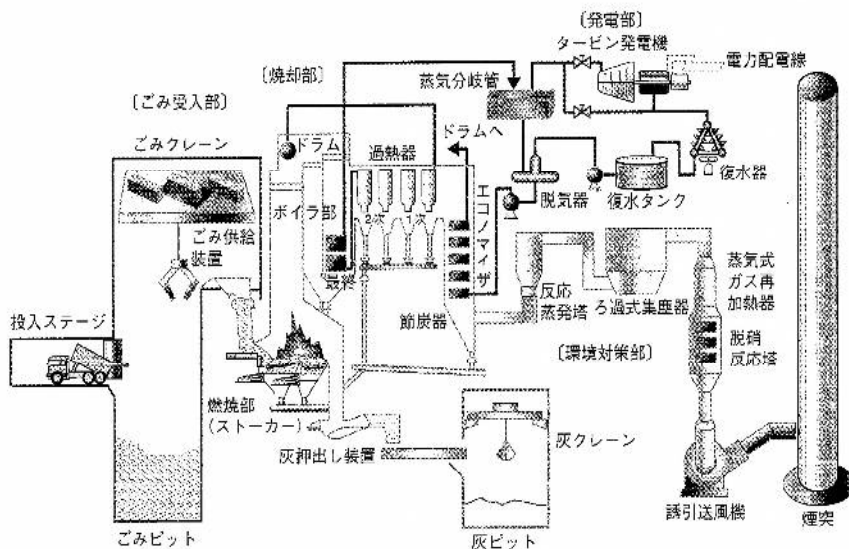


図 1. 一般的な連続式の清掃工場 (ストーカー式)
出典: “NEDO 技術開発機構 HP 掲載資料 (2004 年)”

工業用水が必要になります。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再び冷やす冷水塔が必要になります。冷水塔はオフィスビルの冷房に使われる冷水塔と同じ原理ですが、容量が大きいのので大型装置になり設備費が高くなります。また設置スペースが大きいのので、市街地に建設されることの多い日本の清掃工場ではほとんど採用されていません。

3. 海外のごみ発電効率と発電効率向上方法

日本の清掃工場は、ごみ発電の発電効率が単純平均で 13% ですが、37 工場は 20% を超えています。欧州では表 3 に示すように、30% を超える清掃工場があります。アメリカの清掃工場は、25% を超える発電効率が一般的です。欧米の清掃工場は、蒸気発電タービン入り口圧力が 4MP から 6 MP、入り口温度は 400°C から 500°C が多いです。一方、日本の清掃工場はタービン入り口圧力が 2MP、入り口温度は 300°C 以下が圧倒的に多いで

す。日本も 1965 年に大阪市
の旧西淀清掃工場でタービン入り口温度を 350°C、圧力を 2.35MP にして 23% の発電効率を達成しています。しかし過熱管が腐食したので、その後は設計条件を緩くした経緯があります。したがって次のような発電効率向上策で、24 時間連続稼働の清掃工場は 25% の発電効率を達成できるでしょう。

改善策 1 : タービン入り口蒸気の高温度と高圧化

耐腐食性の高い過熱器伝熱管を採用する。最近の伝熱管は 4MP、400°C までは十分に耐えられる。450°C も可能で試験的には 500°C まで可。

表 3. 欧州のごみ焼却発電例

発電効率	清掃工場
25%	アムステルダム旧炉 700 トン/日 × 4
33%	アムステルダム新炉 800 トン/日 × 2
21% (3 炉計)	ブルツブルグ (独) 192 トン/日 × 2 300 トン/日 × 1

注 1) タービン入り口蒸気温度 : 410°C ~ 420°C

注 2) タービン入り口蒸気圧力 : 4.2 MP

改善策 2 : 復水器の低温化と低圧化

既存の清掃工場は空冷復水器が多いですが、水冷式を採用して蒸気の凝縮温度を下げる。圧力と温度の落差を大きくする。

改善策 3：排ガスからの熱回収

ボイラーの下流に燃焼用空気とボイラー給水の予熱器を設置し、熱回収率を高める。煤塵対策と低温腐食対策が必要。

改善策 4：白煙対策の廃止

多くの清掃工場が煙突から出る水蒸気を見えなくするために排ガスを再加熱していますが、情緒的・視覚的な対策に過ぎないので廃止する。

4. 発電設備のある工場が、発電効率を 25%に向上させた場合の増加発電量

環境省が作成した資料「日本の廃棄物処理（平成 29 年度版）」によると、ごみ発電を実施している清掃工場は 376 工場で、発電能力は 2,089(MW)、発電効率は 13%、発電量は 9,207 (GW 時/年) となっています。したがって前説に述べた種々の発電効率向上策で発電効率を 25%に向上できれば、発電能力は 1,928 (MW) と 100 万 kW の原発 2 基分に近い増加が期待できます。

発電量については 8,498 (GWh/年) の増加が期待できるので、kWh あたり 16 円で売電すれば年に約 1360 億円の増収を期待できます。なお、ごみ発電は再生可能エネルギーによる発電なので、kW 時あたり 17 円の固定価格が設定されています。しかし非再生エネルギーのプラスチックが約 1 割混入しているので、ここではその影響を考慮して kW 時あたり 16 円としました。

5. 発電設備のない既設の清掃工場に、発電効率 25%のごみ発電を導入した場合に得られる電力量

環境省は全国の清掃工場について稼働状況を調

査していますが、2016 年度の調査結果から発電している清掃工場の年間ごみ焼却量を集計すると 2,487 万トンでした。一方、24 時間連続稼でも発電設備がない清掃工場は。年間のごみ焼却量が 638 万トンでした。したがって、これらの未発電清掃工場に効率 25%の発電設備を導入すれば、新たに 992 (MW) の出力を得られるでしょう。発電量についても同様の計算から、約 650 億円の収入を期待できます。

6. ごみ発電の拡大と発電効率向上の課題

前 2 節で述べたように、発電設備のある全連続清掃工場の発電効率を 25%に向上させ、発電設備のない全連続清掃工場に発電効率 25%の発電設備を導入すれば、約 290 万 kW の新たな電源が得られでしょう。そのためには発電設備の導入または改善工事が必要ですが、新たに得られる電力の収益で充当することができるでしょう。なお、日本の清掃工場は立地する地元への配慮から、発電だけでなく近隣施設への熱供給を重視してきた事例が少なくありません。しかし工場外部への温水や蒸気の供給は、需要の変動が大きいので発電より利用効率が低く収益にも貢献していません。このため廃熱は可能な限り電力に変換するのが望ましいでしょう。アメリカの清掃工場は民営ですから、発電を重要な収益源にしています。ドイツの清掃工場は独立採算で、売電収入がごみ処理費用の低減に大きく寄与しています。

(おわり)

参考：資料「ごみ焼却発電の市場性とビジネスシナリオ」、化学装置 2014 年 3・4 月号
：日本の廃棄物処理 (h29 年度版・環境省)