

## (その2) 新たに焼却発電を導入する清掃工場の収益増加

SCE・Net 松村 眞

筆者は本稿の概要を、2014年3月に岐阜大学で開催された化学工学会第79年会化学産業技術フォーラムで発表した。ここに掲載するのはその詳細だが、工業通信社が発行する「化学装置」の2014年3月号と4月号に掲載されたので、許可を得て転載する。

### 4. ごみ焼却発電に必要な設備と、期待できる発電効率の水準

ごみ焼却発電に必要な基幹設備は、本稿(その1)の図1に示す工程のボイラー、過熱器、タービン、発電機、蒸気復水器である。復水器は空冷式より水冷式が好ましいが、工業用水を使う場合は温度が高くなった冷却水を再冷却する冷水塔も必要になる。発電設備のない清掃工場が新たにごみ焼却発電を開始する場合は、これらの設備の新設が必要である。その際にボイラーと過熱器を除く設備の新設は、焼却炉の運転中でも可能である。しかしボイラーは焼却炉の炉壁か上部に設置するので、工事中は焼却炉を運転できない。このため、工事期間中に発生する廃棄物を一時的に他の清掃工場で焼却するなどの対策が必要になる。すでにごみ焼却発電を採用している清掃工場が発電効率を向上させる場合は、発生蒸気の高圧化のためにボイラーと過熱器の交換が必要になる。発生蒸気量が増大し圧力が高くなるから、発電タービンも発電機も交換になる。復水器は多くの場合に空冷式から水冷式への交換が望ましく、海水を冷却に使うなら熱交換器、工業用水を使うなら冷水塔の新設が必要になる。

日本の清掃工場におけるごみ焼却発電は、単純平均では11.7%の発電効率だが、本稿(その1)の表3に示すように15工場は発電効率が20%を超えている。欧州では表5のように、発電効率が30%を超える清掃工場もある。アメリカの清掃工場も概して発電効率が高く、25%を超える工場が少なくない。欧米の清掃工場は、タービン入り口の蒸気圧力が4MPから6MP、入り口温度は400℃から500℃が多い。日本も1965年の時点でさえ、大阪市の旧西淀清掃工場は蒸気発電タービン入口温度を350℃、圧力を2.35MPとして23%の発電

表5. 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℃~420℃

注2) タービン入り口蒸気圧力: 4.2 MP

効率を達成している。したがって、現時点なら日本も本稿（その1）の表4に示す焼却設備の改善で、25%の発電効率を達成できるであろう。これまで発電効率が低かったのは、主に発電タービン入口の蒸気圧力と温度が低く、出口の蒸気圧力と温度が高かったからである。その背景には地方自治体が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ことと、電気事業者が余剰電力を積極的に買おうとしなかったことがある。一方、アメリカの清掃工場は民営なので、なるべく多く発電して売電する強いインセンティブがある。公共衛生施設としての役割を果たすと同時に、エネルギー施設としての効率を重視して建設され、運営されているのである。一方、ドイツは独立採算の第3セクター（料金は全額排出者負担）が運営しており、売電収入が清掃工場の大きな財源になっている。

日本も再生可能エネルギー電力の固定価格買い取り制度が始まり、ごみ焼却発電の経済性は大幅に改善されたと考えてよい。残る要因は発電関連設備の新設や増設に必要なスペース、個々の工場の費用対効果、設備資金、そして発電量増大の動機（インセンティブ）である。清掃工場は市街地に設置することが多いので、発電設備の新設や増設に必要なスペースが乏しい場合があるかもしれない。しかし多くの場合は、設備の配置など工夫次第で、タービンと発電機のスペースは確保できるであろう。最近では清掃工場の稼働率が低下しているので、複数の焼却炉を保有する工場は、一部の炉を廃炉にする方法でも建屋内にスペースを確保できるのではないかと考えている。屋外には冷水塔が必要になるが、敷地面積に対する設備の面積は概して低いので、大きな障害にはならないと考えている。費用対効果は既存工場の状況によって異なるので、清掃工場ごとに工事費を積算して評価する必要がある。以上の概況から、本稿では発電効率25%を市場性評価の前提条件とした。

## 5. 本調査に使用した資料と市場性推算の前提条件

本調査で使用した資料を表6に示す。環境省の資料はHPに公開されており、一般廃棄物処理実態調査結果は、粗大ごみ処理施設やし尿処理施設を含めて、毎年、更新されている。ごみ処理台帳は、（財）廃棄物研究財団廃棄物・3R研究財団が販売している。

表6. 本稿で使用した調査資料

資料名および発信元	使用情報
①環境省 HP 公開資料： 一般廃棄物処理実態調査結果 （平成25年度公表） 施設整備状況、焼却施設（平成23年度版）	清掃工場名、立地都道府県、対象廃棄物、処理方式、処理能力、発熱量（発電設備保有工場）、保有炉数、使用開始年次、余熱利用状況、発電効率、総発電量（実績）。

②平成 21 年度ごみ処理施設台帳 : (財) 廃棄物研究財団廃棄物・3R 研究財団	発電設備を保有していない清掃工場のごみ 発熱量(実測)、ごみ焼却量、ボイラー蒸気 圧力、ボイラー蒸気温度、年間購入電力量。
---	---

## 5.1 全般的な前提条件

- ① 清掃工場は全連続式(24時間稼働)を対象とし、16時間稼働の準連続式と8時間稼働のバッチ式は除外する。焼却発電は全連続式でないと設備効率が低いのと、本稿(その1)の表1に示すように全連続式の清掃工場が総処理能力の87.8%を占めているからである。
- ② 発電ポテンシャルを推測する前提として、発電効率25%を達成できるものとする。欧米諸国の清掃工場は、25%を超える発電効率が一般的だからである。
- ③ 電力の外販期待収入は、kWhあたり16円とする。ごみ焼却発電はバイオマス発電に該当するので、一般電気事業者は再生可能エネルギーとして固定価格で買取る義務があり、その単価は税抜き17円(平成24年価格:20年間)である。しかし一般廃棄物にはプラスチックが約10%混入しており、そのエネルギー寄与分に相当する約20%には固定価格が適用されず、電気事業者との契約単価が適用される。電気事業者との契約単価は、電気事業者によって、また昼間(8時~22時)と夜間(22時~8時)でも異なることが多いが、平均すると概ね12円/kWh程度である。そこで80%分を17円/kWh、20%分を12円/kWhとし、平均して売電単価を16円/kWhとした。
- ④ ごみ焼却発電で得られる電力のうち、発電に要する電力は外販対象から除外されるが、その比率はかなり小さいと推察されるので、外販可能電力量から除外しない。
- ⑤ 外販可能電力量はごみ発電量の全量とする。全量ではなく、所内需要を除く余剰電力だけが外販対象になる可能性があるが、電力会社からの購入単価(概ねkWhあたり17円から20円)の方が、売電単価(16円/kWh)より高い傾向にある。このため全量外販とする方が、収益性を厳しく評価することになるからである。

## 5.2 ごみ焼却発電を採用していない清掃工場に適用する前提条件

- ① ごみの発熱量は地域により異なるだけでなく季節変動もあり、実績値は概ね5,000(kJ/kg)~13,000(kJ/kg)の範囲にある。そこで本稿ではごみ発熱量を8,800(kJ/kg:低位)とする。なお、環境省の資料には、焼却発電を導入していない清掃工場のごみ発熱量が記載されていない。一方、ごみ処理施設台帳(廃棄物研究財団廃棄物・3R研究財団)には記載されているので、表8の候補工場事例には発熱量も記載した。ただし、潜在発電能力と発電量、および外販期待収入は8,800kJ/kgで計算して

いる。

- ② 潜在発電能力 (kW) 能力基準は、処理能力 (トン/日) を基準に推計する。
- ③ 潜在発電量 (MWh/年) 能力基準は、処理能力 (トン/日) に対して稼働率を 70% として推計する。処理能力を基準にするのは、時期的な変動がなく普遍性が高いからである。なお、バッチ式を含む全清掃工場の平均的な稼働率は、現時点で約 50% である (年 365 日 24 時間稼働を 100% とする)。
- ④ 環境省の資料には、ごみ焼却量が記載されていないが、ごみ処理施設台帳 (廃棄物研究財団廃棄物・3R 究財団) には記載がある。候補工場を正確に評価する際には、記載焼却量を基準とした稼働率を推計し、この稼働率を前提とした外販期待収入も推計するのが望ましい。能力基準だと実態と乖離している場合があるので、差異を明確に示し、過大・過小の評価を避けるためである。

### 5.3 ごみ焼却発電を既に採用している清掃工場 (発電設備既設) に適用する前提条件

- ① ごみ発熱量は、環境省 HP 公開資料 (一般廃棄物処理実態調査結果 (平成 23 年度版)) に記載されている工場ごとの実績値を使用する。ただし、記載されていない工場は 8,800 (kJ/kg) とする。
- ② 総発電能力 (kW) 能力基準は、処理能力 (トン/日) を基準に推計する。
- ③ 総発電可能量 (MWh/年) 能力基準は、処理能力 (トン/日) に対して稼働率を 70% として推計する (稼働率は年 365 日 24 時間稼働を 100% とする)。
- ④ 増加発電効率 (%) は、発電効率の実績値と 25% の差とする。
- ⑤ 増加発電能力 (kW) 能力基準は、総発電能力 (kW) 能力基準に、増加発電効率を乗じたものとする。
- ⑥ 増加発電量 (MWh/年) 能力基準は、増加発電能力 (kW) 能力基準から稼働率を 70% として推計する。
- ⑦ 増加発電量 (MWh/年) 実績基準は、総発電量 (MWh/年) 実績値を発電効率実績値で除して 1% あたりの総発電量を求め、増加発電効率を乗じて求める。

## 6. 発電設備のない清掃工場に焼却発電を導入する場合の発電量と経済効果

### 6.1 炉数区分ごとの潜在総発電能力、潜在総発電量、外販期待収入

連続式で発電設備のない清掃工場は、環境省のリストでは 363 工場である。ただし、実際は発電設備を保有していても発電効率や発電量の実績欄が空白の場合は、発電設備のない清掃工場として処理した。焼却炉の数で区分すると表 7 に示すように、4 炉保有工場が 2 か所、

3 炉保有工場が 45 か所、2 炉保有工場が 261 か所、1 炉保有工場が 55 か所である。清掃工場を保有する焼却炉の炉数で区分したのは、焼却炉の炉数が多いほど発電設備を導入するのが容易だからである。発電設備を新設または改造する場合は、ボイラーを焼却炉の内部に設置するので、工事中は焼却炉を運転できない。このため、工事期間中に発生する廃棄物を別に焼却する必要があるが、1 炉しかないと他の清掃工場に処理を委託しなければならない。一方、炉数が多ければ内部処理が可能な場合が多い。清掃工場の稼働率は、保守点検修理のために 70%程度とすることが多いので、一時的な工事期間中なら稼働率を上げて対処できるからである。表 7 に示すように、炉数が多い清掃工場ほど 1 工場あたりの潜在発電能力が大きい。したがって発電設備を導入するなら、炉数の多い工場を優先するのが回収可能な電力量の点からも望ましい。

表 7. 潜在総発電能力 (kW) . 潜在総発電量 (MWh/年) . 外販期待収入 (千円/年)

清掃工場の区分 (現在発電なし)	平均処理能力 (t/日)	潜在総 発電能力 (kW)	平均潜在 総発電能 力/工場 (kW)	潜在総発電量 (MWh/年)	外販期待収入 (千円/年)	
					全体	工場平均
4 炉清掃工場 (2)	420.0	21,391	10,696	131,167	2,098,675	1,049,338
3 炉清掃工場 (45)	322.6	369,663	8,215	2,266,771	36,268,344	805,963
2 炉清掃工場 (261)	143.4	953,015	3,652	5,843,887	93,502,197	358,246
1 炉清掃工場 (55)	81.8	114,542	2,083	702,369	11,237,902	204,326
合計 (363 工場)	157.8	1,458,641	4,018	8,944,194	143,107,118	394,235

## 6.2 焼却発電導入の候補工場事例

環境省の資料によると、焼却能力 300 トン/日以上の子掃工場は 4 炉保有工場が 2 工場、3 炉保有工場が 15 工場、2 炉保有工場が 13 工場の計 29 工場である。そこで 4 炉工場と 3 炉工場の一部について、潜在発電能力と外販期待収入を表 8 に整理した。すでに立替を機に発電設備を既に導入したか、または導入しようとしている工場と、集約化のために廃炉しようとしている工場は除外してある。整理した結果、発電設備のない清掃工場に焼却発電を導入すると、下記の経済効果が得られることが分かった。なお、個々の工場の焼却能力や発電設備の有無は、統計調査時点と現状との時間差のために差異が生じている場合がある。このため、全般的な状況判断には問題ないが、個々のデータにはこの差異が含まれていることを付記しておく。

①稼働率が 70%でごみ発熱量が 8,800 (kJ/kg) なら、処理能力トン/日あたり年間 250

万円の収入が得られる。

- ②焼却量から逆算すると各工場の実稼働率は設計時よりかなり低い。このため、今後も焼却量が現状通りなら、潜在発電能力、潜在発電量、外販期待収入は、前提とした稼働率70%と各工場の実稼働率の差異に比例した修正評価が必要である。
- ③ごみの発熱量は各工場によって異なるので、潜在発電能力、潜在発電量、外販期待収入は、稼働率による修正に加えて、各工場のごみ発熱量に比例した修正評価が必要である。
- ④各工場の期待収入は、300 トン/日の処理量で年間約 7.5 億円である。したがって、ごみ焼却発電の設備資金を約 7 年で回収するとすれば、約 50 億円の設備投資が可能である。

表 8. 焼却発電導入の候補工場事例

候補工場 No.	処理能力	炉数	使用開始年度	ごみ発熱量 kJ/kg	焼却量 トン/年	稼働率	潜在発電能力 kW	潜在発電量 MWh/年	外販期待収入 千円/年	現電力購入量 MWh/年
①	480	4	1982	7350	96,000	55	12,223	74,953	1,199,242	15,564
②	360	4	1974	7007	38,000	29	9,167	56,214	899,432	7,380
③	900	3	1968	11236	164,000	50	22,919	140,536	2,248,580	19,268
④	600	3	1975	11485	65,000	30	15,279	93,691	1,499,053	6,324
⑤	450	3	1976	7085	75,520	46	11,459	70,268	1,124,290	6,065
⑥	450	3	1986	9380	62,000	38	11,459	70,268	1,124,290	9,344
⑦	450	3	1973	6045	80,890	49	11,459	70,268	1,124,290	8,153
⑧	450	3	1973	7977	99,168	60	11,459	70,268	1,124,290	9,849
⑨	450	3	1980		30,240	18	11,459	70,268	1,124,290	7,913
⑩	300	3	1983				7,640	46,845	749,526	
⑪	300	3	1984	9043	39,173	36	7,640	46,845	749,526	4,630

注 1：処理能力の単位はトン/日。

注 2：稼働率は 365 日 24 時間稼働を 100%とした場合の実稼働率。

注 3：潜在発熱能力、潜在発電量、外販期待収入は、全工場に共通の前提条件としてごみ発熱量を 8,800 (kJ/kg)、稼働率を 70%としている。このため、各工場について正確に評価するには、この 2 項目について実態を反映させた修正が必要である。

(その 3) に続く