

ごみ焼却発電の拡大と発電効率の向上（その2）

（ごみ焼却発電の拡大方法）

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7月号」に掲載されたので、出版社の許可を得て転載する。

6. ごみ焼却発電の拡大方法

ごみ焼却発電を拡大する具体的な方策を表3に提案するが、技術的な対策だけでなく、政策や仕組みなど多面的な対策が有効と考えている。

表3. ごみ焼却発電の拡大方法

分野	課題	内容
ごみ成分改善	水分の低下	清掃工場で焼却しているごみ（一般廃棄物）には、水分が35%～40%含まれている。厨芥など水分の多い生ごみは、ディスポザーで処理して下水処理場に送り、清掃工場で焼却するごみの水分を減らす。
	産業廃棄物の混合焼却	清掃工場は、オフィスやレストランなどサービス施設のごみも焼却しているが、一部の工場廃棄物（木くず、紙くずなど）も混合焼却する。
焼却設備改善	蒸気の高温度化と高圧化	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4MPa、400℃までは十分に耐えられ450℃も可能。試験的には500℃まで可。
	復水器の低温化と低圧化	既存の清掃工場は空冷復水器の採用が多いが、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。
	排ガスからの熱回収増大	燃焼排ガスの下流に空気予熱器とボイラー給水予熱器を設置し、熱回収率を高める。煤塵対策と低温腐食対策が必要。
	白煙対策の抑制	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、排ガスを水蒸気で再加熱している。視覚的な対策に過ぎないので止める。
	ガスタービン併用	ガスタービン発電を併設し、腐食性の低いガスタービン排熱で蒸気を過熱して蒸気の高温度化を図る。スーパーごみ発電ともいわれる。
優遇施策	焼却発電の義務化	24時間連続稼働の清掃工場には、一定の発電効率以上のごみ焼却発電を義務化する。ドイツを含めて数ヶ国がエネルギー回収の最低基準を設定。

	電力の購入義務化	電力会社によるごみ発電の購入義務と、購入価格の基準設定。ヨーロッパでは数ヶ国が購入を義務化。また数ヶ国が購入価格の最低基準を設定。日本も再生可能エネルギーの利用促進のため、2012年7月から電力会社がkW時あたり17円の固定価格で買い取るようになった。ただし、プラスチックは非再生可能資源なので、その比率に応じて減額される。
運営体制	ESCO事業の導入	設備工事事業者が、既存清掃工場の発電設備導入や発電効率向上の工事費を負担し、得られる売電増収益で工事費を回収する。工事費はリース会社が提供することが多い。オフィスビルや製造工場に事例が多い。
	PFI（民営）の導入	清掃工場の運営が民間に移管されれば収益インセンティブが強化され、廃棄物発電の拡大が促進される。アメリカは民営。ドイツは独立採算制。

注1. ESCO : Energy Service Company の略。

注2. PFI : Private Finance Initiative の略

表3に示した対策のうち、電力会社によるごみ焼却発電の購入はすでに法整備が進んでいる。発電タービン入口蒸気の高圧化は、20%以上の発電効率に必要な4MPa、400℃まではすでに実用化されており、他の設備改善も既存技術の範囲で実施可能である。したがって設備改善を阻害する要因は技術ではなく、発電関連設備の新設や増設に必要なスペース、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も考えられる。しかし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ため、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。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残存耐用年数によって異なるので、清掃工場ごとに工事費を積算し評価する必要がある。設備資金の調達については、財政支出に代わる方法として最近多くなっているESCO事業の導入が可能であろう。この場合、設備の新設や改造工事の請負事業者が金融機関と協力して設備資金を調達し、清掃工場の売電増収益から数年にわたって回収する。この方法だと設備工事の請負事業者が既存の設備の状況を診断し、必要な費用と売電増収益を見積もる。民間の事業者が自己責任で設備費を売電増収益から回収するので、清掃工場を保有する自治体には設備資金需要も投資リスクも発生しない。ESCO方式を清掃工場のごみ発電に適用した事例はないが、現実的な方法として積極的に具体化を検討する価値があると考えている。

発電量増大の動機（インセンティブ）については、民営化が一つの有力な方法と思われる。すでにアメリカは民営だが、アジア諸国でも民営が増えているし、中国にも大規模な民営清掃工場がある。一方、日本ではこれまで地方自治体が清掃工場を建設し運営していたので、民間に設備管理技術と運営のノウハウが十分に蓄積されていない。このため民営化の第 1 段階は自治体が設備を保有し、運営だけを民間に委託する官設民営が好ましいであろう。しかし最終的には産業廃棄物の焼却工場と同様に、設備も民間が建設して保有し、運営する方式が好ましいと考えている。なお、アメリカは日本のような行政区域ごとの自区内処理ではない。ワシントンでは清掃事業者が近隣 50 の市町村と処理量と処理価格について契約し、ごみを大規模な清掃工場に集めて焼却している。興味深いのはアメリカで採用されている「Put or Pay」という契約である。この方式では地方自治体が委託処理するごみの量を保証し、不足する場合は処理事業者の収益低下を補償する。ごみ処理事業者は、自治体が提示するごみの排出量を前提に設備を建設し運営する。このため、処理量が計画より少なければ設備の稼働率が低下し、売電収入も減って損失が発生する。したがって、その損失を委託側の自治体が補償するのは当然という考えである。アメリカの合理主義と契約社会の興味深い一例ではないだろうか。なお、地域の環境保全は住民を代表する地方自治体の責務である。このため、全体的な計画の立案と必要なら用地の確保、ごみ処理請負事業者の選定と契約、継続的な運営の健全性確認は地方自治体の仕事である。

7. ごみ焼却発電の潜在供給能力

日本の清掃工場は、長い間ごみの安定的な衛生処理を重視し、ごみ発電は従属的な機能に過ぎなかった。歴史的に見ても 1960 年代から 1970 年代は、急激な経済成長にともなうてごみの量が激増し、清掃工場の整備が追いつかない状況が続いた。そのような社会環境では発電設備に資金を投入するよりも、新たな清掃工場の建設に資金を投入する必要があったであろう。しかし 1980 年代に入るとごみの増加傾向が止まり、清掃工場の整備も成熟段階に入った。このため清掃工場の需要は、新設よりも旧式工場の立替が中心になり、その際に発電設備を付加する傾向が見られるようになった。そこで、今後、どの程度の発電量の増加が期待できるのか、表 4 のシナリオを想定して表 5 の結果を得た。

現在、日本では全連続式 648 清掃工場のうち 306 工場しか発電していない。しかし、残る 342 工場に発電効率 25% の発電設備を導入すれば、表 5 に示すように石油に換算して年間で約 40 万キロリットル分の電力が得られるだろう。すでに発電設備を保有している工場も、発電効率を 25% まで高めれば石油に換算して年間約 70 万キロリットル分の電力を新たに回収することができる。このように、全連続式清掃工場のすべてが発電効率 25% で発電すると、全出力は約 460 万 kW になる。その結果、年間 125.1 億 kW 時の発電量増加を期

待でき、現在の 72.1 億 kW 時と合わせて 197.2 億 kW 時の電力が得られるであろう。この量を原油に換算すると、177 万キロリットル分の創エネルギー効果になる。

さらに准連続式清掃工場とバッチ式清掃工場を連続化して発電すれば、加えて約 28.6 億 kW 時 (原油換算 27 万キロリットル分) の発電量が得られる。しかし表 4 に記したように、清掃工場の統廃合が必要で、しかも規模が小さいと発電設備の投資効率が低いことから多くは期待できない。シナリオ第 1 と第 2 だけでも、第 3・第 4 シナリオを含めた全発電ポテンシャルの 90% に達するので、当面は全連続式工場を対象に発電設備の導入、あるいは発電効率の向上を目指すのが現実的であろう。

この省エネルギー効果は、2012 年度の焼却処理実績である年間 3,380 万トンをベースとし、ごみの発熱量と現在の発電効率から推算したものである。ごみの発熱量は、地域と季節で変動するが、本稿では低位発熱量を 9,660kJ/kg (2,300kcal/kg) とした。発電効率は 25% としたが、欧米で広く実用化されている水準である。したがって技術革新がなくても十分に実現できる控えめの推計である。表 3 に記したごみ成分の改善が採用されれば、発電量はもっと大きくなるであろう。

表 4. 一般廃棄物焼却発電の拡大シナリオ想定

シナリオ	内容	出力増加	費用効果	阻害要因
第 1	現在、発電していない全連続清掃工場 (24 時間稼働) に、発電効率 25% の設備を導入する。 1221 工場中の約 342 工場	大	大	小
第 2	既に発電している全連続清掃工場の発電関連設備を改造し、発電効率を 25% に高める。 1221 工場中の約 306 工場	大	大	小
第 3	すべての准連続清掃工場 (1 日 16 時間稼働) を統廃合して連続化し、効率 25% の発電設備を導入する。 1221 工場中の 228 工場	中	中	中
第 4	すべての機械バッチ・固定バッチ清掃工場 (1 日 8 時間以下の稼働) を統廃合して連続化し、効率 25% の発電設備を導入する。 1221 工場中の 345 工場	小	小	大

表 5. 発電出力の増加と省エネルギー効果

省エネルギー効果は原油換算（万 k1/年） 出力単位：千 kW

シナリオ	内容	廃棄物処理能力 廃棄物処理量/年	発電 効率 (%)	定格出力 運転出力	総発電量 (億 kWh/年)	増加発電量 (億 kWh/年) 増加省エネ効果
現状	全連続 648 工場中、306 工場で発電	127,524 t/日 2,324 万 t/年	11.6	1,700 823	72.10	72.10 67.95
第 1	未発電 342 全連続工場 に 25%効率 発電導入	34,308 t/日 628 万 t/年	25	957 479	41.80	+41.8 +39.40
第 2	既発電 306 工場の発電 効率を 25% に向上	127,524 t/日 2,324 万 t/年	25	3,664 1,774	155.39	+83.28 +70.51
第 3	全准連続工 場を連続化、 25%効率発 電導入	16,501 t/日 300 万 t/年	25	459 229	20.05	+20.05 +18.89
第 4	全バッチ工 場を連続化、 25%効率発 電導入	7,040 t/日 128 万 t/年	25	223 97	8.56	+8.56 +8.06
累計		185,372 t/日 3,380 万 t/年	25	5,303 2,579	222.5 右欄と誤差	225.9 (+152.7) 204.81 (+136.86)

注 1：省エネルギー効果は原油換算（万 k1/年）で、発熱量を 39MJ/リットルとした。

注 2：各シナリオの廃棄物焼却量は現状の焼却量を処理能力で比例配分。

注 3：発電対象廃棄物量は総発電量から逆算して推計。

注 4：現状の省エネルギー効果は総発電量から逆算して推計。

注 5：運転出力は 24 時間/日で年間 365 日稼動とした場合の出力（千 kW）。

注 6：定格出力は設備としての 1 時間当たり発電能力（千 kW）

注 7：各シナリオの定格出力は、現状の定格出力と発電出力の比率で推計。

8. 今後の課題

日本の清掃工場はごみ焼却発電の拡大と発電効率の向上に余力があり、期待できるエネルギー創出効果は原油換算で年間約 180 万キロリットルに達する。実現への課題の一つは費用対効果で、もう一つはビジネスシナリオである。そこで、全国の子掃工場のデータから、発電のポテンシャルと売電した場合の収益を計算してみた。その結果、現状で発電していない子掃工場が新規に 25% 発電効率の発電設備を導入すると、処理能力 150 トン/日クラスの工場で約 3.5 億円/年、300 トン/日クラスなら約 7 億円/年の収入が得られることがわかった。したがって、資本回収期間を 7 年とすれば、この 7 倍程度までは発電設備の新規導入に投資できることになる。この金額で発電設備の導入が可能か否かは、個々の工場について具体的に積算しないと判断できないが、筆者は多くの工場で採算性を確保できるものと推察している。なお、この数値は稼働率を 7 割としており、売電単価は 15.3 円/kW 時としている。電力会社が購入する固定価格は 17 円/kW 時だが、一般廃棄物には非再生可能エネルギー源であるプラスチックが 1 割ほど混入しているので、その分を低減して計算した。次に同様の推算を、すでに発電設備を導入済みの子掃工場についても実施してみた。その結果、当然のことであるが現在の発電効率が低い子掃工場ほど発電効率の向上による売電収入が大きく、年間 10 億円以上の収入増加を期待できる工場が少なくなかった。この収益性に関する予測は、それなりの前提条件設定や詳細説明が必要なので、機会があれば別に報告することとする。

もう一つの課題はビジネスシナリオで、誰が既設子掃工場への発電設備の導入や、発電効率を向上するプレイヤーなのか考えてみた。発電設備の導入や発電効率の向上で収益を得られるのは、子掃工場を保有している地方自治体である。したがって地方自治体がユーザーになるのだが、地方自治体が設備技術の専門家を確保しているわけではない。したがって、子掃工場のメーカーがビジネスプレイヤーの主役になるのが望ましいと考えている。主な発電関連設備はボイラー、タービン、発電機、復水器、冷水塔だが、メーカーなら自社が建設した子掃工場の設備関連資料を保有しているであろう。このため、どこに何を、どの程度の規模で、設置すればよいか迅速に判断できるはずだ。もちろん、新たに得られる発電量や設備コストも推測できるであろう。設備資金の提供者にはリース会社に期待したい。設備メーカーが ESCO 事業者になって地方自治体に設備改善を提案し、設備診断を経て得られる発電量と設備費を見積もる手順が現実的ではないだろうか。「子掃工場の創エネルギー改造プロジェクト」が新ビジネスになり、具体的に進展することを期待している。

以上。