研究論文

低炭素社会における廃棄物発電の評価に関する研究 —維持管理データ分析による電力・エネルギー収支—

守岡 修一*・藤原 健史**・田中 勝***

要 旨

わが国の廃棄物発電はエネルギー政策、施設整備計画によって推進されてきたが、ダイオキシン類削減施策により排ガス処理プロセスの高度化、灰溶融の導入により廃棄物発電システムは大きく変わり、灰溶融炉付設システムやガス化溶融システムなど高度な中間処理施設となった。一方、ダイオキシン類対策により施設の全連続化・広域化は進んだが、発電規模として望ましいとされる300 t／日以上以上の施設は増えず、300 t／日未満の施設での発電が多くなっている。2007年度までに稼動している廃棄物発電の発電量、購入電力量、消費電力量、化石燃料使用量の維持管理データを調査した結果によると、焼却能力が小さくなるほど消費電力量が増加し、溶融に化石燃料を消費しており、発電はしているもののエネルギー消費型の施設となっている。今後、さらに大きな広域化によって300 t／日以上以上の施設を増やすか、複数の地域で灰溶融を含めた灰処理のみ集合化することが必要になると考えられる。

キーワード：廃棄物発電、ごみ焼却、電力・エネルギー収支、維持管理データ

はじめに

廃棄物発電は国の石油代替新エネルギーとして、また廃棄物処理計画でも重点整備として推進されてきた。一方で、焼却処理は様々な環境側面と対峙し、その建設された時代に即応した環境対策を第一として技術開発されてきた経緯もあり、現在では高度な技術として確立されているといっても良い。特に環境問題を取りまく種々の課題の解決を図り、サーマルリサイクルを推進する高いレベルの技術が求められてきた。広域化を目指したRDF発電、高効率化を志向したスーパーごみ発電など普及が進められたが、現実はその評価も含め大きくは進んでいない。一方で、発電推進のなかで小規模施設ではIDF駆動タービンなども実用化されているが、やはり数多く存在する一般廃棄物発電を評価する必要がある。

廃棄物発電については高効率計画プロセスや施設の紹介データなどは報告されているが¹⁻³⁾、実績データを総合的に分析した報文は見当たらない。ここでは、現在稼動している施設の維持管理データを分析し、廃棄物発電のシステム毎、焼却能力毎に発電量、購入電力量、消費電力量、化石燃料投入量から電力収支、エネルギー収支を求め、今後の方向性を論じる。

この報文では、環境省「日本の廃棄物処理」⁴⁾および(財)廃棄物研究財団「ごみ焼却施設台帳〔全連続燃焼方式編〕(平成15年度版)」⁵⁾から調査し、建設中のものも含めて運転開始時期が1974年3月から2007年12月までの廃棄物発電施設293ヶ所を対象とし、その運転実績は2003年12月までに運転開始している施設260ヶ所の2003年度の維持管理データをもとにした。

* KEE 環境サービス(株) Shuichi MORIOKA

** 岡山大学大学院環境学研究科 Takeshi FUJIWARA

*** 鳥取環境大学環境マネジメント学科 Masaru TANAKA

2009年4月3日受付

2009年5月26日受理

1. 廃棄物発電に関わる推進経緯と現状

1.1 廃棄物発電に関するエネルギー・環境政策と整備計画

1991(平成3)年「第7次廃棄物処理施設整備計画」で、ごみ発電への整備投資が重点目標とされ、通産省による高効率廃棄物発電技術開発が始められたこと、1992(平成4)年電力会社による分散型新エネルギーの余剰電力購入メニューによって廃棄物発電の余剰電力を原則全量購入する優遇措置が示され、ことにより廃棄物発電志向が強くなった。

1994(平成6)年10月の公共投資基本計画で、廃棄物循環型のごみゼロ社会を目指し、単に燃やして埋める処理から、極力リサイクルを推進するとともに、焼却処理の際に発生する熱エネルギーを活用する循環型の廃棄物処理に転換するとの政策が閣議決定された。同年12月には石油代替エネルギーの供給目標を達成し、エネルギー安定供給の確保と地球環境問題から二酸化炭素の排出削減等を図るための指針として、「新エネルギー大綱」が定められ、リサイクル型エネルギーとして、廃棄物発電設備の規模を当時現状の約47万kWから2000年末には200万kWに、2010年には400万kWに拡大する目標が掲げられた。

1998(平成10)年策定された「長期エネルギー需給見通し」のなかでも新エネルギーとしての廃棄物発電は2010年に500万kWの目標とし、2005(平成17)年には、廃棄物発電+バイオマス発電の目標は450万kWとなっている。そして2008(平成20)年「第10次廃棄物処理施設整備計画」でも、2012(平成24)年には一般廃棄物での発電を250万kWとする目標が掲げられ、推進すべきものとして位置づけられている。

1.2 廃棄物処理に関わる規制と法整備

一方では、廃棄物処理施設は種々の環境側面と対峙しており、特に焼却処理においては環境負荷低減が求められてきた。その中でも大気規制の変遷に従ってその規制を遵守すべく技術開発が行われてきた経緯がある⁶⁾。その規制物質に応じた装置を付加して排ガス処理プロセスを構成してきたこともあるが、住民合意形成上種々の上乗せ規制もありその処理プロセスは長大化してきた。特にダイオキシン類に関しては、1997(平成9)年大気汚染防止法上の指定物質としての排出規制により、新設4 t/h以上の全連続炉では排ガス排出基準値0.1ng-TEQ/N m³と定められ、廃棄物処理法に

においても規制措置として運転維持管理基準、構造基準が定められ、より高度な排ガス処理が要求されてきた。

1991(平成3)年厚生省通達「ごみ処理に係るダイオキシン類の削減対策について」において、新設の全連続焼却施設は焼却能力300 t/日程度以上の規模とすることが望ましく、最低でも一施設100 t/日程度以上とすべきであるとの焼却施設の全連続化・広域化方針とともに、焼却灰・飛灰の溶融固化施設等を原則として設置することが通知された。

同年「廃棄物処理法」の大幅改正により焼却飛灰が特別管理一般廃棄物に指定され、直接埋立処分の禁止、厚生大臣が定める4つの処理法の一つとして溶融固化が規定された。1996(平成8)年「第8次廃棄物処理施設整備計画」でも、新設の焼却施設はダイオキシン類の発生防止のため、原則として焼却方式を全連続方式とし、バグフィルター等の排ガス対策の高度化や焼却灰のリサイクル、減量化を図るための溶融固化施設の設置等質的レベルアップを図ることが示された。

これら一連の施策により、焼却処理が大きく様変わりしてきた。その結果、焼却+溶融方式に加えガス化溶融方式が採用されるようになった。廃棄物焼却施設はこれらの要因によってより高度な中間処理施設となった結果、維持管理、特に動力負荷の増大を招いている状況にある。

2. 廃棄物発電の推移と近年の状況

2.1 廃棄物発電計画値と実績値の推移

廃棄物処理施設は建設期間3~4年を要し運転開始までに計画段階から5年以上必要である。廃棄物発電施設の稼働は運転開始年度1995年頃から本格化している(図1)。これは1991年、廃棄物処理整備計画で発電等熱利用を重点整備としたこと、ダイオキシン類削減対策で全連続化・広域化方針が示されたこと、および高効率廃棄物発電技術開発が開始されたことによる。その後、2002年に廃棄物発電の施設、計画発電出力とも急激に増加している。これは1997年「ダイオキシン類新ガイドライン」報告から1999年「ダイオキシン類対策特別措置法」の成立による一連のダイオキシン類対策として施設整備投資が図られたこと、1998年「長期エネルギー需給見通し」が策定されたことによる。廃棄物発電は「長期エネルギー需給見通し」の目標値には届かないものの現行対策維持ケースの値には到達し、2006(平成18)年現在、稼働実績で総計画発

(財廃棄物研究財団：ごみ焼却施設台帳（平成15年度版）より作成）

図1 廃棄物発電の計画発電出力の推移
(RDF発電、スーパーごみ発電含む)

図2 焼却能力と計画発電出力

(計画発電出力500kW以下、スーパーごみ発電、RDF発電、ガスエンジン採用施設を除く)

電能力は約160万 kW となっている。

ボイラ・タービンの計画は1990年代前半温度250～300℃、圧力2～3 MPa、1995年後半から高温高压志向となり、温度400℃、圧力4 MPa、排気圧力－70～－87kPaの抽気復水タービンが多くなっている。

焼却能力70～1800 t／日の施設で発電されており、計画発電出力は1,000～10,000kWの範囲の施設が多く、最大は50,000kWである（図2）。約半数の施設は2,000kW以下であり、これは分散型電源の導入に際し1986（昭和61）年8月「系統連系技術要件ガイドライン」（資源エネルギー庁公益事業部長通達）があり、

高圧配電線では原則として2,000kW未満との規定があったことにより、特別高圧電線路がない場合2,000kW以上では発電施設として制限を受けてきたことにもよる。このため、300 t／日以上施設でも2,000kW未満で設計されている場合がある。焼却能力と発電計画出力をみると1990年度以前、1990年代、2000年代と焼却能力に対して計画発電出力が上がってきており、2006年度現在一施設当たりの計画発電出力の平均は約5,400kWである。

実績発電量は年間総発電量（kWh／年）と年間総焼却量（t／年）から原単位を求め、ごみの発熱量を

図3 発電施設の運転開始年度と実績発電量

年度毎施設の2003年度の運転データ（RDE 発電、スーパーごみ発電は除く）。
 発電効率はごみ発熱量 $2,100\text{kcal/kg}$ ($8,790\text{kJ/kg}$) = $2,442\text{kWh/トン}$ として計算。
 実線は運転開始年度毎の実績発電効率の平均値を結んだ線。

（出展：環境省「日本の廃棄物処理」、廃棄物研究財団「ごみ焼却施設台帳（平成15年度版）」）

図4 施設数、焼却能力、発電出力の推移

（RDF 発電、スーパーごみ発電含む：計画発電出力は RDF 発電、スーパーごみ発電を含まず）

$2,100\text{ kcal/kg}$ ($8,790\text{kJ/kg}$) = $2,442\text{kWh/トン}$ として各施設の発電効率を求めた（図3）。ごみトン当たりの実績発電量（ kWh/トン ）は年度施設毎にばらつきはあるが、年々増加傾向である。発電効率20%を超える施設もあるが、2003年度稼働している施設の実績発電効率の平均は10%強である。

2.2 近年の状況

わが国の廃棄物焼却施設は1989（平成元）年当時約1,900施設、全連続式焼却能力約12万 t/日 であったが、全連続化・広域化方針に従って閉鎖・統合されて

漸減し2006（平成18）年現在では約1,300施設となっている（図4）。これは発電に適さない焼却能力の小さい施設が減少したためであり、ダイオキシン類対策としては効果があったが、発電の面から望ましいとされる300 t/日 以上の施設数は大きく変わっていない。1998（平成10）年に比べて総焼却能力は約19万 t/日 と大きく変わらないが、その一方で総計画発電出力は約78万 kW から約160万 kW と倍増している。発電施設数とその焼却能力は177ヶ所、7.5万 t/日 から296ヶ所、11.2万 t/日 へと増加している。

計画発電出力は1998年以前では概ね350kW／ごみトン以下であったが、1998年以降では平均して約500kW／ごみトン程度に増えており、高効率発電を目指して計画されてきていることがわかる。

焼却能力別では、焼却能力が大きくなるほど計画発電出力も大きく、また実績発電量(実績発電効率)も大きい(図5)。300t／日以上以上の施設では発電出力約450kW／ごみトン以上で計画されているが、実際に施設が多いのは100～300t／日の施設で、その発電出力は約300kW／ごみトン程度に設定されている。なお、計画発電出力と実績発電量に差があるのは計画ごみ質と実際のごみ質との相違があるためと考えられる。

この実績発電量を施設毎の焼却能力別、システム別(図6)でみると、ガス化溶融システムが100～300t／日の施設で多く、最終処分場に悩む中小自治体が採用してきたものであると考えられる。ごみの性状等それぞれの施設毎に条件が異なると考えられるが、各システムで実績発電量の差は見られない。これらの施設では、実績発電効率の平均は15.3%、焼却施設の稼働率は約68%である。

2006年度の全連続式焼却能力は16.2万t／日であり、発電施設付設の焼却炉の焼却能力が11.2万t／日で計画発電出力約160万kWである。目標の250万kWまで引き上げるためには、稼働率は同じとしてすべて

図5 焼却能力別発電データ(1998年度以降の施設)

維持管理データが揃っている82施設対象(1998～2003年度に運転開始している施設)

* RDF 発電、スーパーごみ発電除く * 発電効率はごみ発熱量2,100kcal/kg (8,790kJ/kg) として計算

図6 焼却能力と実績発電量(1998年度以降の施設)

維持管理データが揃っている82施設対象(1998～2003年度に運転開始している施設) * RDF 発電除く

の全連続式焼却施設で発電すると仮定すると、今後の計画発電出力を約560kW／ごみトンに設定しなければならず、焼却能力の大きい施設への移行が望まれる。

3. 発電プロセスデータ

3.1 消費電力量、電力収支

排ガス処理装置を焼却炉に付加すると通風損失が増すことから、消費電力は選定する排ガスプロセスによって大きく変わる。ダイオキシン類対策以前の廃棄物発電システムではごみトン当りの実績消費電力量は100kWh／ごみトン程度であった⁷⁾。1990年以前の施設でもダイオキシン類対策で建設時と異なる排ガス処理プロセスに更新している場合があり、その場合の実績消費電力量は100～200kWh／ごみトン程度となっている。

それ以降の焼却施設ではプロセスとして灰溶融炉付設、キルン炉、流動床炉、シャフト炉などのガス化溶融システムが導入され、様変わりしてきた結果、実績消費電力量は高くなってきた。流動床炉はストーカ炉と比較して砂を流動させることによる機構構造からやや消費電力量は多いが、これらの炉に新たに電気式、燃料式灰溶融炉が付設されると消費電力量はさらに多くなる。しかし、ガス化溶融システムは単一プロセスで灰を溶融するシステムであるが、その形式を問わず消費電力量が多くなっている（図7）。灰溶融炉付設やガス化溶融という方式の違いにかかわらず、溶融における投入熱量を安定させるためのごみ破碎・2段

ピットによる攪拌や、スラグ化率向上のための飛灰リサイクル、スラグ品質向上のための鉄分・アルミニウム分等の選別分離、スラグ破碎等が、消費電力量を押し上げる要因となっている。

排ガス処理プロセスによって消費電力量が変わるため、実績消費電力量と焼却能力の相関にはばらつきがあるが、焼却能力が小さくなるほど消費電力量は増える傾向にある。焼却施設では全炉停止状態から起動するときにエネルギーが必要であり、電力を購入することがある。その消費電力量は、施設運営計画における全炉停止回数によって変わる。当然ながら定常運転時においても消費電力量が多いプロセスでは電力は購入することになる。

ここでは焼却施設における電力収支を計算する。データの取り扱い方として、各実績電力原単位データの中で、INPUTである発電量と購入電力量をプラス（+）、OUTPUTである消費電力量と送電電力量をマイナス（-）とし、送電電力量＝発電量＋購入電力量－消費電力量として収支を求めた。購入電力量－送電電力量で実質の売買電力量を求め、－は売電、＋は買電とした。システム別の電力収支から（図8）、発電して売電が成立しているのは、ストーカ炉、流動床炉の単体方式とストーカ＋電気式灰溶融であり、流動床＋電気式灰溶融、ストーカ＋燃料式灰溶融、ガス化溶融システムでは発電しても電力を購入していることになる。ストーカ＋燃料式灰溶融の実績消費電力量については2施設のみの実績であり、今後のデータ蓄積が

図7 焼却能力と消費電力量

図8 電力量収支

購入電力量、消費電力量を+、発電量、送電量を-として表示：数nは施設数を表す。

1990～2003年度に運転開始された発電施設192ヶ所のうち4項目のデータが揃っている施設148ヶ所の2003年度のデータ。

図9 焼却能力と化石燃料使用量

必要である。ストーカ炉単体の場合、約135kWh／ごみトンを売電しているが、その他電力購入しているシステムでは約70～90kWh／ごみトンを買電していることになる⁸⁾。

3.2 燃料使用量、エネルギー収支

化石燃料使用量は溶融炉の導入が図られた1995年頃から増えてきており、プラント起動停止時の補助燃料という一般的な使用に加えて、ダイオキシン類対策で燃焼温度が規定されたことにより使用する場合もある。その量はストーカ、流動床単体、これらに電気式灰溶融を付設しても約20kWh／ごみトン以下である。しかし、燃料式灰溶融を付設すると燃料使用量が多くなるのは当然であるが、ガス化溶融システムによっては熱分解加熱や装置構造等から化石燃料を使うものも

あり、ガス化溶融システム全体として化石燃料使用量は多くなっている。特に焼却能力が小さくなるほど多くの化石燃料を使用している傾向が強く、その量はごみ発熱量の10～25%程度である(図9)。スーパーごみ発電では500～600kWh／ごみトン使われているが、その分、実績発電量は約750kWh／ごみトンと高く(図6)、投入した化石燃料のエネルギーの多くは発電に利用されている。一方、ガス化溶融システムでは、化石燃料は見かけ上ごみの発熱量を上げて安定な溶融を図るものであり、溶融炉体の冷却構造にもよるが、投入した化石燃料のエネルギーの発電への利用はシステム全体の発電効率と同じ約10～15%程度であり、発電から見た場合のエネルギー投入効果は小さい。そこで、各燃料の化石燃料使用量を、事業用発電効率を

図10 廃棄物発電施設のエネルギー収支

①エネルギー収支：+は電力量換算エネルギーを購入，-は電力量換算エネルギーを売却②1990～2003年度に運転開始の発電施設192ヶ所のうち4項目のデータが揃っている施設148ヶ所の2003年度のデータ③化石燃料熱量への電力量換算値：灯油発熱量：36,418kJ/ℓ，都市ガス発熱量：41,609kJ/m³N，コークス発熱量：25,953kJ/kgの事業用発電効率40%として計算④ガス化シヤフトはコークス使用明記ない施設が多く，データとしては不備であるが参考として記載。

40%として電力量換算し，売電と買電のデータとを合算して，その電力量換算エネルギー収支を求めた(図10)。計算結果より，燃料式灰溶融付設とガス化溶融システムでは，化石燃料電力量換算値と買電で約190～280kWh/ごみトンの電力換算エネルギーを購入していることになる。

3.3 プロセスデータの考察

近年の溶融を伴う廃棄物発電施設は，発電とダイオキシン類対策，灰溶融等の各技術を組み合わせた高度なシステムで実用化されているが，焼却能力が小さいため，実績発電量が小さく，消費電力量，化石燃料使用量が多くなり，結果的にエネルギー消費型のシステムとなっていて，エネルギー製造型のシステムとは言えない。焼却能力が小さい施設では特にエネルギー投入が必要であり，発電してはいるが結果的に電力を購入している。ガス化溶融システムでも焼却能力を大きくすることによって，消費電力量，化石燃料投入量を下げることができると考えられるので，焼却能力を大きくすることが必要であろう。

おわりに

廃棄物発電は廃棄物処理の目的を達成しながら，国の新エネルギー政策から石油代替エネルギーとして位置づけられ，推進されてきた。また，地球環境保全の

視点からも廃棄物の適正処理，エネルギー回収の位置づけは変わっていない⁹⁾。そして，それに応える技術で施設は建設されてきたが，廃棄物焼却処理に対する風当たりは強く，種々の規制の中でシステムが考案された結果，プロセスが複雑となりつつある。

この調査研究の結果，焼却能力300t/日以下の廃棄物発電では，灰溶融付設システム，ガス化溶融システムを含めて，発電はするものの所内動力に電力を費やし，その維持管理用にもエネルギー消費の増加を招いてエネルギー多消費型のものになりつつある現状が明らかとなった。

今後の廃棄物発電は焼却能力300t/日以上の場合にはガス化溶融を含めて灰溶融を自己完結する方式が良い。また，長期プランを考えた場合，250万kWの廃棄物発電を目指すためには，発電効率をさらに高めて，計画発電出力を500～600kW/ごみトンとする必要があり，さらなる焼却能力の大きなものに集約するか，広域的な灰溶融を含めた灰処理集合設備を設けるなどエネルギー消費を削減する施策も必要になると考えられる。この場合，インフラとして大きな施設には特別高圧線の整備が必要であり，高圧線利用の小さな施設では系統連系技術ガイドラインでの協議で発電出力のアップも必要となる。さらに，所内エネルギー消費を減少させるために，白煙防止を含めて過大な環境

基準は避け、排ガス処理プロセスを簡素化することも考える必要がある。大きな広域化を含めて、環境とコストの考え方は十分な理解と合意形成が必要である。

文 献

- 1) 小川紀一郎；新エネルギーの技術動向 8 廃棄物発電、電気設備学会誌, 27, (8), 645-648, 2007.
- 2) 守岡修一；廃棄物発電の現状と今後, 日本機械学会関西支部226回講習会「新エネルギー, 未知エネルギー活用の現状と将来」, 1997.
- 3) 芝川重博, 内山典人, 山田良一；大型廃棄物発電設備の事例紹介と高効率化の検討, 第74回日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集, 1.11-1.12, 1999.
- 4) 環境省大臣官房廃棄物リサイクル対策部；一般廃棄物処理事業実態調査結果 日本の廃棄物処理 (平成18年度版), 2008.
- 5) 財団法人；ごみ焼却施設台帳「全連続焼却施設編」(平成15年度版), 2005.
- 6) 守岡修一；ごみ焼却を考える 大気規制の変遷と技術開発, 環境技術, 7, (3), 184-190, 1998.
- 7) 清掃工場の運営と管理編集委員会；清掃工場の運営と管理, 工業出版社, 104, 1986.
- 8) 川本克也；循環型社会の視点からみたガス化溶融方式焼却施設の実態と評価, 都市清掃, 61, (285), 2008.
- 9) 財団法人新エネルギー財団 新エネルギー産業会議；廃棄物発電システムの導入促進に関する提言, 2004.

Evaluation of Waste to Energy Facilities in Japan

– Electricity and Energy Balance based on Analysis of Operation and Maintenance Data –

Shuichi MORIOKA *, Takeshi FUJIWARA **, Masaru TANAKA ***

* Kawasaki Environmental Plant Operation Service, Ltd.

** Graduate School of Environmental Science, Okayama University

*** Department of Environmental Management, Tottori University of Environmental Studies

ABSTRACT

The policy of waste to energy (WTE) has been promoted as an important policy for alternative energy and one of the principle infrastructure plans of the Japanese government. However, problems with dioxin have necessitated various changes of WTE technology, and WTE facilities now must have flue gas treatment equipment with long-chain process, ash melting furnace, and gasification and melting furnace. Although WTE facilities with the disposal capacity of 300t/d or greater have been considered to be more effective and desirable, the number of these facilities has not increased, and WTE facilities with capacity of less than 300t/d have been increasing in compliance with the dioxin guidelines for continuous combustion and regional waste disposal.

This study investigates and analyzes the generation, purchase and consumption of electricity / fossil fuels using the operation and maintenance data of all of WTE facilities operated in 2007 in Japan. Our findings show that the smaller the capacity of WTE facility, the greater the consumption of electricity and energy per ton. In the future it may be recommended that WTE facilities of 300t/d or greater be increased and the ash from several WTE facilities be treated jointly.

Key Words : Waste to Energy, Municipal Solid Waste Combustion, Energy Balance in terms of Power and Fuel, Operation and Maintenance Data