

ごみ処理施設の科学的合理性について考える

I ごみ焼却施設

松 藤 敏 彦*
Toshihiko MATSUTO

1. はじめに

1990年代に、焼却施設からのダイオキシン排出、廃棄物の不法投棄と不適正処分の増加、埋立地からの汚水漏出などが社会問題化し、それまでの大量生産・大量消費を見直して循環型社会を形成することが目標となった。各種リサイクル法によって資源循環のために多様な資源の回収・再資源化が行われるようになり、さらに低炭素化のため廃棄物エネルギーの回収、廃棄物系バイオマスの有効利用促進も図られるようになった。技術の高度化、資源化オプションの増加により、ごみ処理は格段に進歩した。

それでは、工学技術としての効率性はどうか。筆者は1990年代に廃棄物処理システムのLCA研究を行い、さまざまな技術オプションを含む処理全体のマテリアルフロー、エネルギー収支などを評価してきた。施設のデータあるいはプロセスのデータを収集・分析し、定量的に眺めていくと、システムとして合理的かどうかを考えることができる。本稿ではまず一般廃棄物焼却施設について考察し、次いで最終処分場、処理施設の選定プロセスを対象として、3回に分けて述べてみたい。

2. 低い施設稼働率

わが国の廃棄物は一般廃棄物と産業廃棄物に分けられ、一般廃棄物処理を行う自治体に対して1978年に補助金制度¹⁾が創設された。2005年からは循環型社会推進交付金となり、その交付対象は「一般廃棄物処理計画対象地域を構成する市町村（およびその委託を受けた地方公共団体）」²⁾とされている。事業者も対象とす

るものに二酸化炭素排出抑制対策事業等補助金があるが、廃棄物処理は交通、建築など多くの対象のうちのひとつにすぎないので、現在の補助金制度は自治体を優遇したものとなっている。自治体のごみ処理施設を建設する際には補助金を前提として計画を立て、補助金を受けるための条件が逆に施設設計の制約ともなっている。

自治体の施設を見学すると、一部の炉が休止中ということが多い。図1は、筆者らが2010年に実施した全連続式焼却施設に対する調査³⁾によるもので、1炉が停止している日数である。2炉構成の場合、3～10か月(90～300日)はどちらかの炉が休止しており、平均は半年程度である。3炉構成の場合、半年(180日)以上1炉停止の施設は、全体の4分の3である。このように停止が多いのは、以下の理由によっている。

施設整備に関する『交付要領の取扱い(2003年)』⁴⁾には「年間停止を85日とし、原則2炉あるいは3炉とする」とあり、『発注仕様書作成の手引き』⁵⁾は「定期修理時、定期点検時においては1炉のみ停止し、他炉は原則として常時運転するものとする」としている。85日の内訳は、整備補修30日+補修点検15日×2回、起動停止6日×3、全停止7日(起動停止含む)である。つまり、2炉の場合には一方の停止が計6回あり、その日数は1炉停止78×2=156日、全停止7日となる。『計画・設計要領』⁶⁾には年間の運転計画例を図示しているが、1年中停止期間が設定されている。

それでは稼働率はどうか。年間停止日数(1炉あるいはすべて)が85日のため、年間実稼働日数は365-85=280日であり、年間日平均処理量が200t/日の場合、施設規模は $200 \div (280/365) \div 0.96 = 271.6 \text{ t/日}$ 、実稼働率は $280/365 = 0.77$ となる(0.96は調整稼働率)。前述の調査³⁾より年間フルに運転した場合の処

*北海道大学大学院

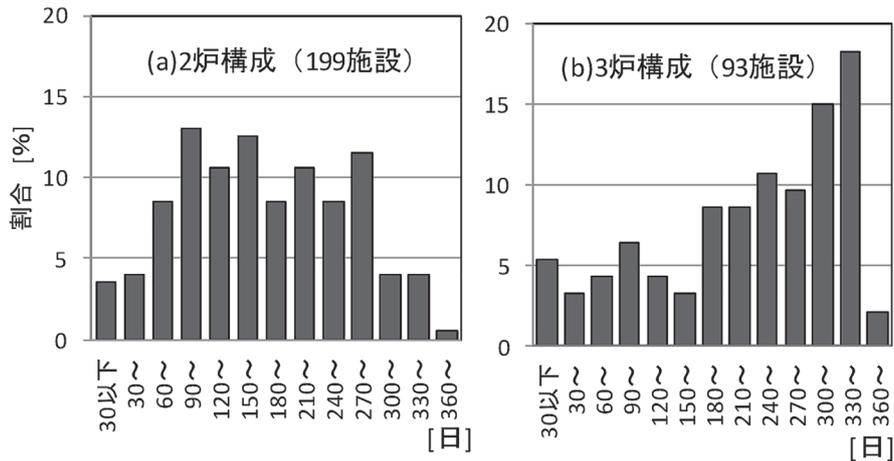


図1 全連続焼却施設の一炉停止日数(2010年北大調査)

理量に対する処理量実績値を稼働率と考え、稼働率 = 年間処理量 ÷ (日処理能力 × 365) を計算すると図2のように平均は0.5~0.6にすぎず、77%より大幅に低くなっている。この調査はやや古いので、一般廃棄物処

理実態調査より平成29年度のデータを用いると、図3のようになる。右は100 t/日以上を規模別に示しており、0.5~0.7の施設が多いが、それでも大きな余裕を残している。平均は図中に示しており、図2の平均0.57と大きくは変わらない。災害発生時の他自治体からの受入れ、あるいは他施設の緊急停止事態発生などに対する余力と見ることもできるが、日常的に保有能力を十分使わずにいることは合理的とは言えない。

循環型社会形成推進交付の特徴のひとつとして「地方の自主・裁量性の極めて高い制度」が挙げられているが⁶⁾、現実には制約が大きい。技術は進歩しており、整備補修の日数はもっと短くできるのではないかと、自治体、プラントメーカーの工夫や裁量が発揮できるしくみが必要である。

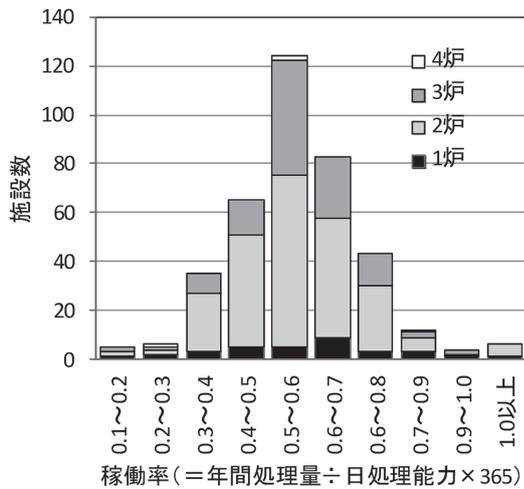


図2 全連続焼却施設の稼働率(2010年北大調査)

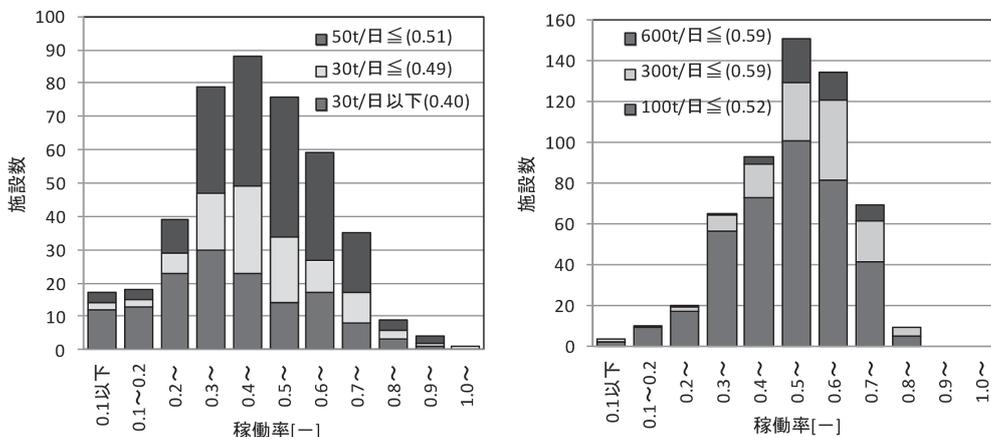


図3 全連続焼却施設の稼働率(施設規模別)(環境省一般廃棄物実態調査, 平成29年度のデータより作成)

3. エネルギー回収効率の評価方法

焼却施設のボイラーによる熱回収はガス冷却が主要な目的であったので、以前は燃焼ガス冷却設備と呼ばれていた。しかし21世紀環境立国戦略⁸⁾において低炭素化が持続可能な社会のひとつの柱とされ、廃棄物からのエネルギー回収の徹底が掲げられて以来、未利用エネルギーの熱回収技術として位置づけられている。平成26年に策定された『エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル』⁹⁾では、メタン発酵施設（メタンガス化施設）とともに高効率エネルギー回収施設に交付率1/2とする要件が示された。焼却施設に対するエネルギー回収率は、

$$\text{発電効率} = \text{発電出力} \div \text{投入エネルギー}$$

熱利用率 = 有効熱量の電力換算値 ÷ 投入エネルギーの合計として計算され（投入エネルギーは、ごみと燃料の合計）、これが一定値以上であれば交付率が1/2となる。熱利用の「有効」とは施設内外での利用であり、施設内の給湯・冷暖房、地域冷暖房、病院・工場、破碎施設などへの熱供給を含む。もし利用の内訳が施設内>>施設外であったとしたら、エネルギー回収施設ではあっても供給施設とは言えない。

電力は発電量のみで、「どう利用するか」の視点がない。やはり施設内利用>>施設外利用であったならば、大部分を自己消費していることになる。電気の場合は買電もあるので図4のような収支を考え、図の電力効率は発電端効率ではなく、「発電出力－所内利用－購入電力」を分子とする送電端効率とすべきである。図5は処理量あたりの発電量、施設内使用電力、外部取り出し量を、焼却、焼却(灰溶融あり)、ガス化溶融別に示した³⁾。バーは大きさの順に並べたときの25%値、50%値(メジアン、中央値)、75%値である。発電量の差はないが、施設内使用の違いのため、外部への取り出し電力(=売電量+外部へ無料供給)は、焼却(灰溶融なし)>焼却(灰溶融あり)>ガス化溶融の順となった。ただしこれは中央値での比較であり、バーの長さが示すように、施設によるばらつきが大きいことを断わっておこう。

近年、発電効率が20%を超える施設が増加しているが、目指すべきは施設外部へのエネルギー供給が最大となる(送電端効率の高い)設備設計である。発電効率は高いがほとんど所内利用しているかもしれない施設

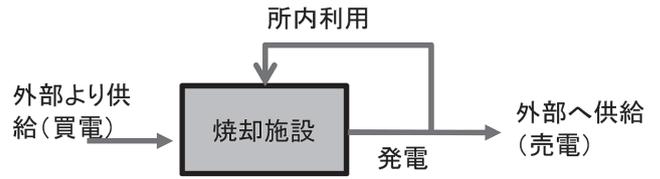


図4 焼却施設の電力収支

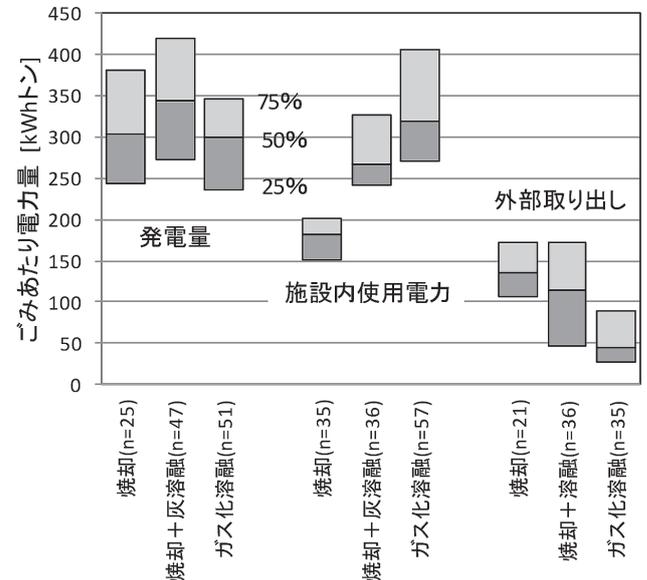


図5 焼却施設の処理量あたり電力量(2010年北大調査)

に補助率1/2というのはおかしい。施設内での電力消費を極力少なくし、施設外への供給量を最大にする努力が必要である。

一般廃棄物処理実態調査における調査項目としては2008年度以前は発電能力、発電効率(仕様値)、総発電量(実績)であったが、2009年度から外部供給量(実績)の項が加わった。しかしほとんどの施設がゼロとなっており、図4のような数値を求めることができなかつた。これは外部供給が隣接施設などへの供給と理解され、売電を含めていないためと思われる。調査方法の修正が必要である。

4. 低すぎる排出目標値の設定

多くのごみ焼却施設では「環境に配慮するため」、大気汚染防止法よりも低い排ガス目標値(自主基準)を設定している。図6は筆者らの調査³⁾による、HClとNOx自主基準値の分布である。法定基準はそれぞれ430ppm、250ppm(700mg/m³N)なので、かなり低めの設定であり、HClは8割、NOxは4割が法定基準の1/2以下である。しかし排出基準値を下げるのが、本当に環境に優しいのだろうか。

HClは430ppm(700mg/m³N)

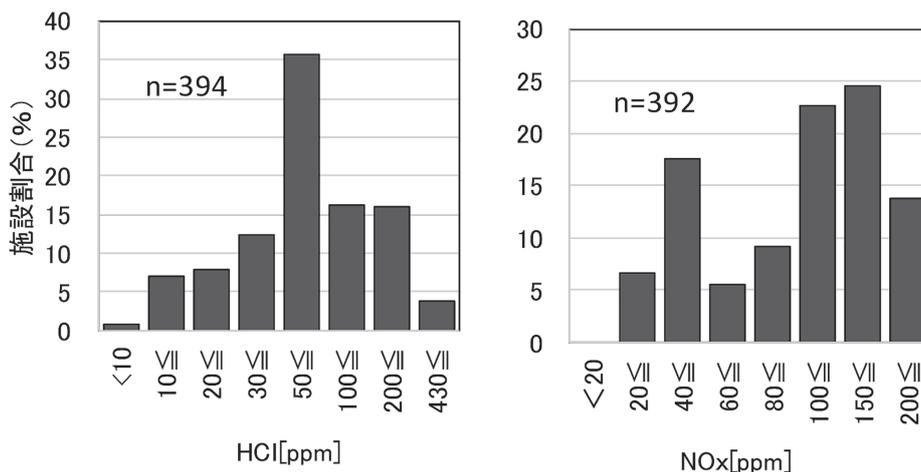


図6 排ガス自主基準値の分布 (2010年北大調査)

法で定める排出基準では大気汚染防止に不十分と判断される地域では、都道府県が条例によってより厳しい基準を定めることがある。これは「上乘せ基準」と呼ばれ、地域の環境を守るための措置である。しかしごみ焼却施設の自主基準は、地域の状況とは無関係に定められている。

大気汚染防止法は、まずヒトへの健康影響がないように環境基準を設定し、その基準を守るために工場や事業場などの固定発生源に対して排出基準を定めている。いわゆる煙を発生する施設は「ばい煙発生施設」であり、ごみ焼却施設はこの中のひとつとして規制を受ける。排出基準は発生源ごとに定められ、例えばNOxの排出基準は重油ボイラー130~150ppm、石炭ボイラー200~250ppm(ただし規模による)、ディーゼル機関950~1200ppmなどとなっている。ばい煙発生施設は全国に20万以上¹⁰⁾あるので、ごみ焼却施設だけが排出量を減らすことの意味は小さい。さらに他の施設と較べると、高い煙突から排出されて希釈・拡散があるため、地上への影響はさらに小さくなる。「環境

に優しい」かどうかよりも、「住民に対して環境配慮の姿勢を見せ」、「住民の理解を得る」ことが低い自主基準設定の動機となっていると思われる。自主基準を低くすることは健康リスクの低減にはならず、より高度な処理設備導入と多くの薬剤消費による費用が、最終的には住民負担となることの理解が必要である。なお、地域別に見ると関西でやや低い傾向が見られるものの、全国的に低く設定されている(図7)。

5. 焼却処理データの科学的利用

一般廃棄物焼却施設では、年4回ごみの組成分析が行われている。これは1997年に一般廃棄物処理に対する指導が強化¹¹⁾(部長通知)され、施設の維持管理に関して「放流水の水質、ばい煙等の検査結果の報告を年に一度徴収する」とされたことによる。焼却施設に対しては、ごみ質(年4回以上)、焼却残渣の熱灼減量(月1回以上)、燃烧室温度(常時)、排ガス濃度(いおう酸化物、ばいじん、塩化水素、窒素酸化物)(2月1回以上)、および放流水質の測定が指定された(課長通

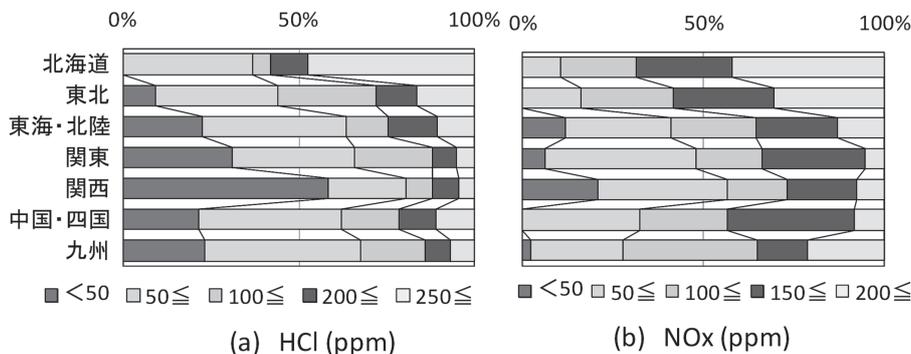


図7 地域別の自主基準値分布 (2010年北大調査)

知¹²⁾、環整95号)。ごみ質分析方法は別紙として示されたため環整95号法と呼ばれ、組成分析の公定法とみなされるようになった。なお同課長通知において最終処分場に対して放流水と周縁地下水の測定が義務付けられたが、シャ土工、浸出水排水などの基準¹³⁾が定められて埋立地の近代化が始まったのも同じ年のことである。

環整95号法は分析試料をごみピットあるいは収集運搬車から採取するとしているが、前者が一般的であり、クレーンでごみを200kg程度取り出し、十分に混合して4つに分け、対角部分を取り出す四分法を繰り返して5~10kgとし、手で紙類、プラスチック類、生ごみ(厨芥)などに分ける。しかしピット内の数百tからわずか200kg取り出すときに、サンプリング誤差が生じる。また混合によって異物の付着や生ごみの水分が他の物

質に移行することも、誤差を増大させる。

図8は札幌市におけるピットごみ組成分析結果¹⁴⁾のうち、紙類と厨芥類の湿重量割合である。3施設で年4回実施しているが施設間で10%程度の差があり、季節変動の傾向も一定ではない。図9は仙台市の結果であり¹⁵⁾、毎月測定を行っている。方法はやや異なっており、パッカー車により搬入されたごみ約300kgを(ピットから)クレーンでステージに採取し、指定袋に入った家庭ごみを取り出す。次に内容物を袋から出してスコップで攪拌するが、厨芥が入った袋はそのまま別にし、それぞれ縮分する。これは厨芥中の水分が流出することを防ぐため、最終的に5~10kgとする。組成分類は湿ベースで行い、種類別に乾燥して水分を求め、合計してごみ水分を求める。さらに乾燥試料を粉碎し、元素分析、発熱量測定を行う。図9(a)には湿

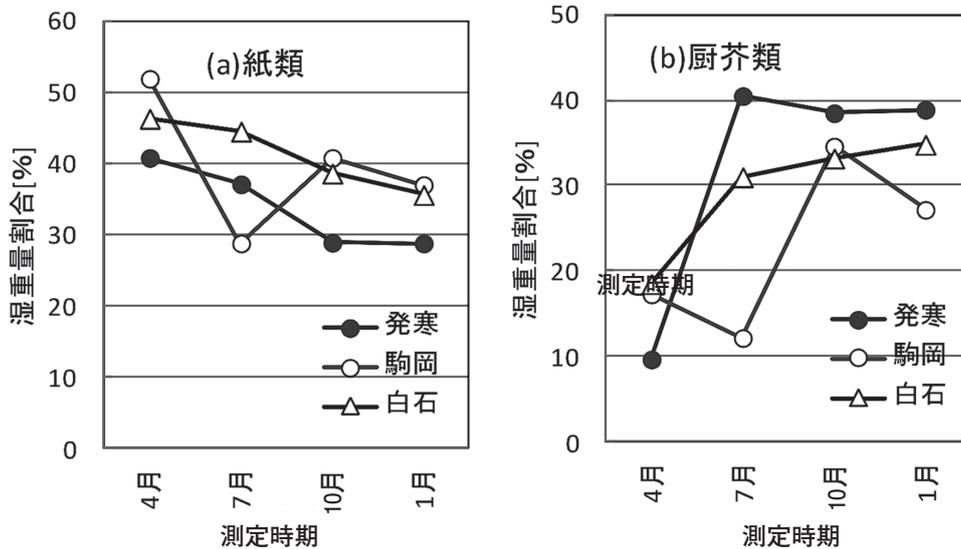


図8 ピットごみの組成分析結果(札幌市平成30年度)

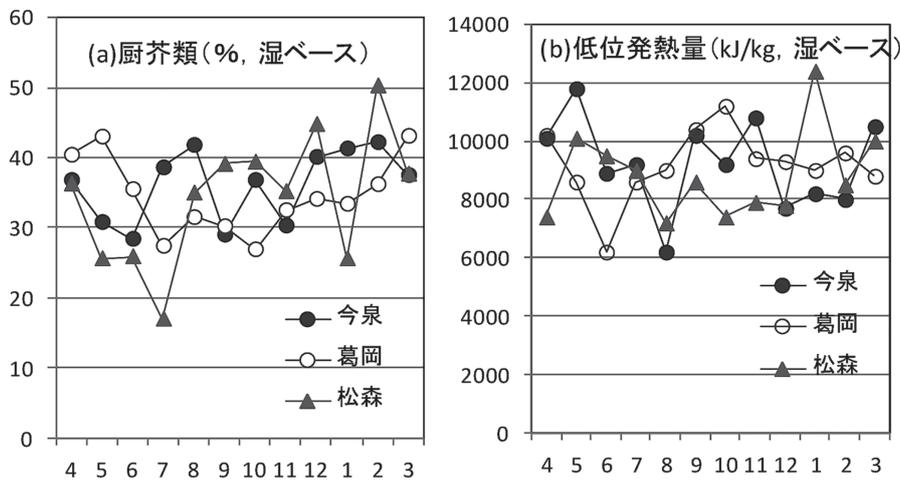


図9 ピットごみの組成分析結果(仙台市平成27年度)

ベースの厨芥割合を示すが、やはり施設間で10%程度の差があり、季節変化のパターンも一定しない。図8、図9ともに環整95号法の精度さが低いことを示している。それでも多数回測定するとサンプル数を多くすることになり、平均して経年変化を描くとそれらしく見えるようになっている。

ごみの組成分析は、例えば可燃ごみ中に資源物が多いことにより市民に分別徹底を呼び掛けるなど、問題点を明らかにして改善を図るための重要なデータを与える。しかし、焼却施設においては、運転開始後に組成情報を何に使うのが不明である。それでも発熱量の把握は重要であるとの意見があるかもしれない。しかしボンブ熱量計を用いて測定される低位発熱量には、大きな誤差がある。環整95号法にしたがうとまずピットからのサンプリング誤差があり、ボンブ熱量計の試料はわずか1gなので二段階目のサンプリング誤差が生じるからである。図9(b)のように、ばらつきは大きい。

環整95号法はごみの一部をとりだして特性を調べるが、焼却施設は実際のごみをすべて燃やす巨大な燃焼装置である。膨大な運転データを利用すれば、低位発熱量を推定することができる。排ガス成分より炭素、水素の燃焼量と水分蒸発量を計算し、発生熱量を推定する方法、および熱収支から計算する方法によって10日間の発生熱量を推定した結果を図10に示す¹⁶⁾。1時間平均値を示しており、熱収支によるSRiは33,000~41,000MJ/hと、大きく変動していることがわかる。排ガス成分から推定したRRiの周期的な低下は、約48時間ごとのスートブロー蒸気吹込みによる、計算上の低下である。

発生熱量は連続的に計算できるが、ごみの投入は1時間に3~4回間欠的に行われている。そこで、ピットごみ組成分析のサンプリング前後2時間(計4時間)の平均焼却量と、前後30分(計1時間)の運転データから、低位発熱量を推定した¹⁶⁾。図11に示すように熱収支によるSHuと排ガス測定によるRHuにはよい相関がみられる。RHu<SHuは前述したように、スートブローの影響である。これに対し、環整95号法による分析値(熱量計)は全く相関がみられず、サンプリング誤差により正しく測定されていないことが実証された。

焼却施設は数多くのデータを得ながら、十分に利用されているとは言えない。例えば上記の方法を使えば、低位発熱量だけでなく、ごみの水分量がわかる。また焼却残渣発生量と排ガス組成から、灰分と、元素組成のうち少なくとも炭素量がわかる。発生熱量と合わせれ

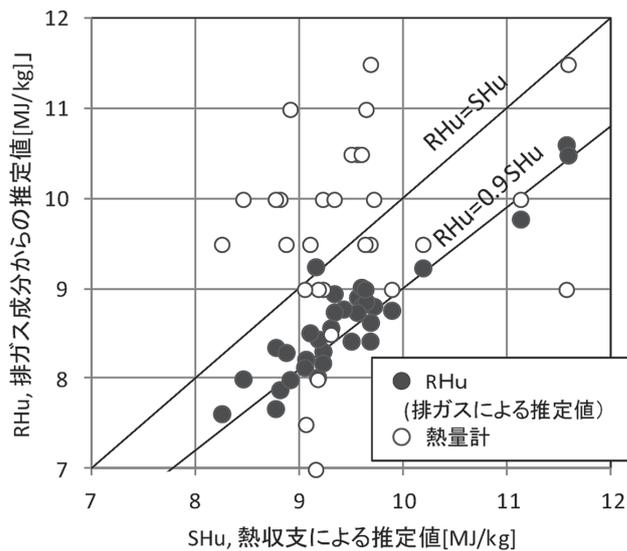


図11 低位発熱量の比較

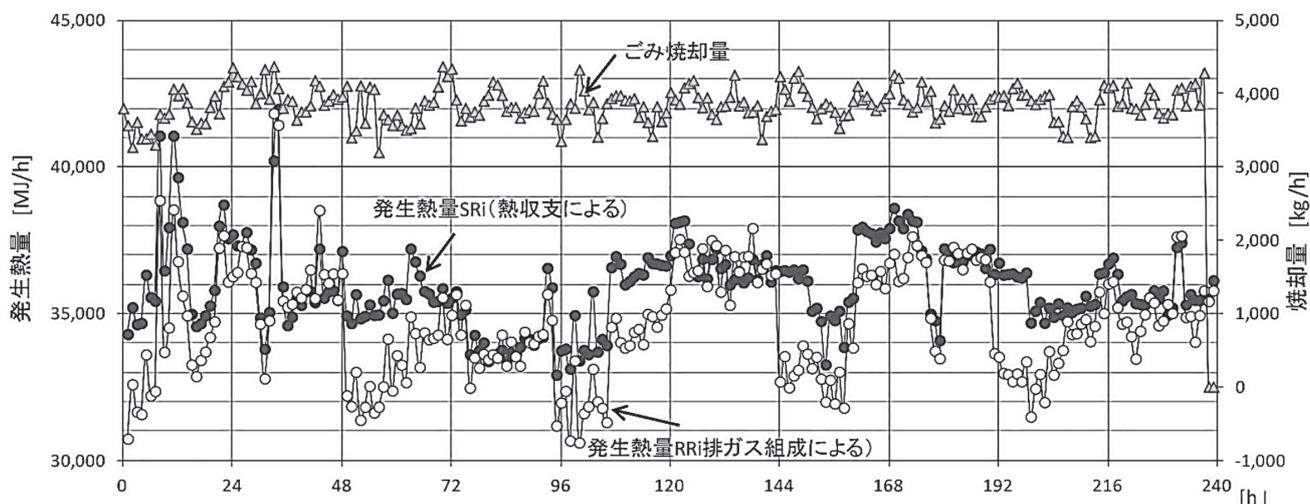


図10 発生熱量の時間変化

ば水素、酸素の割合も推定できるはずである。すなわちごみ処理を行いながらごみの三成分、元素分析などの特性値を、しかもその時間変動も得られるということである。窒素酸化物の発生量との関係を分析し、運転制御を高度化するなども可能かもしれない。

ごみ試料のサンプリング分析には、常にサンプリングの誤差が伴う。焼却施設は、実スケールのもっともすぐれた測定装置であることを利用して、処理ごみの特性把握や運転の高度化に役立てるべきである。

6. おわりに

ごみ処理技術かどうかによらず、「適正に運転されている」とは、大きなトラブルなしに運転を継続できていることを意味しているように思う。しかしごみ処理施設建設の「目的」を、効率的に達成しているかどうかは、運転開始後のデータを分析し、評価しなければならない。本稿で挙げたのは順に、稼働率の低さ、実質的なエネルギー回収の低さ、環境的に過剰な排ガス基準値の設定、そして運転データを有効に利用する可能性である。

昨年末、研究生活の中で蓄積してきた「知ってほしいこと、伝えたいこと」を本¹⁷⁾にまとめた。ごみの分別、リサイクル、プラスチック問題などごみ処理全般を対象としているが、市民対象なので専門的なことは書けなかった。そこで読者の対象を自治体向けとし、社会におけるインフラシステムとして「科学的に合理的か」を問うこととし、都市清掃で連載していただくことになった。本稿で挙げた問題の改善は、決して難しいことではない。技術・経済の両方において合理的なごみ処理となることを願っている。

参 考 文 献

- 1) 廃棄物処理施設整備費の国庫補助について、昭和53年5月31日、環382号
- 2) 循環型社会形成推進交付金交付要綱、平成17年4月11日、環廃対発第050411001号
- 3) 北海道大学廃棄物処分工学研究室：一般廃棄物全連続式焼却施設の物質収支・エネルギー収支・コスト分析(2012年3月)
- 4) 廃棄物処理施設整備費国庫補助金交付要綱の取扱いについて、平成15年12月15日、環廃対発第031215002号(交付金制度導入によって廃止、現在も準用されている)
- 5) 廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き(標準発注仕様書及びその解説)エネルギー回収推進施設編ごみ焼却施設(第2版)、p. 1 - 6
- 6) 全国都市清掃会議、ごみ処理施設整備の計画・設計要領(2017改訂版)、pp. 218 - 220
- 7) 循環型社会形成推進交付金の創設 http://www.jefma.or.jp/sanmi_junkan.html
- 8) 21世紀環境立国戦略の策定に向けた提言(平成19年5月29日)
- 9) エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル、平成26年3月
- 10) 環境省水・大気環境局大気環境課、平成29年度の大気汚染防止法の施行状況について
- 11) 一般廃棄物処理事業に対する指導の強化について(部長通知)、昭和52年11月4日、環整94号
- 12) 一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について(課長通知)、昭和52年11月4日、環整95号
- 13) 一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令(昭和五十二年総理府・厚生省令第一号)(通称共同命令)
- 14) ごみ処理施設などの検査年報(札幌市ホームページ) <https://www.city.sapporo.jp/seiso/toukei/kensanenpou/index.html>
- 15) 仙台市環境局、平成27年度検査年報第44号
- 16) 福間義人、藤川博之、松田吉司、渡瀬雅也、松藤敏彦：連続式レーザー排ガス分析計を用いて測定した排ガス成分からの廃棄物の低位発熱量推定と燃焼制御への応用、廃棄物資源循環学会論文誌、第29巻、pp. 8 - 19, 2018
- 17) 松藤敏彦：科学的に見るSDGs時代のごみ問題、丸善出版、2019年12月