

[巻頭論説]

# ごみ焼却の科学的合理性

北海道大学大学院工学研究院環境創生工学部門・特任教授 松藤敏彦

ごみの問題は、ごみの発生、分別、収集から始まって、中間処理、資源化を経て埋立処分に至る「システム」としてとらえる必要があると考えている。1990年代には廃棄物処理システムのLCA研究を行い、ごみ処理の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た。各プロセスのデータを分析し、定量的に評価しているうちに、廃棄物処理における非合理性にも気づくことになった。本稿では一般廃棄物焼却施設の科学的合理性について思うところを書いてみたい。



## 1. 補助金制度にかかわる問題点

### 1-1 低い施設稼働率

1970年制定の廃棄物処理法により、廃棄物は一般廃棄物と産業廃棄物に分けられ、それぞれの処理責任が区別された。一般廃棄物処理の責任を負うのは自治体であるとし、1978年には補助金制度が設けられ<sup>1)</sup>、自治体に対して手厚い経済的支援が与えられることになった。産廃施設も対象となる二酸化炭素排出抑制対策事業等補助金もあるが、循環型社会推進交付金の交付対象は「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）」<sup>2)</sup>となっている。世界的には排出源によらず処理は有害かどうかで分けるところが多いので、一廃/産廃の区別と処理責任の対応づけと、市町村を優遇した補助金制度は日本の特徴的な制度といえる。

補助金を受けるための条件は、逆に施設設計の制約ともなる。施設見学に行くとすべての炉が動いていることは少ないが、これは以下の理由による。施設整備に関する『交付要領の取扱い（2003）』<sup>3)</sup>には「年間停止は85日を上限とし、原則2炉あるいは3炉とする」（表1）、『発注仕様書作成の手引き』<sup>4)</sup>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」。つまり、85日は炉ごとの停止であり、2炉の場合には一方の停止が計6回、一炉停止は78×2=156日、全停止7日となる。

表1 ごみ焼却施設の整備規模

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

(平成十五年十二月十五日)

(1) 施設規模 (計画1人1日平均排出量×計画収集人口+計画直接搬入量)÷実稼働率÷調整稼働率 実稼働率=(365日-年間停止日数)÷365日 年間停止日数の上限=85日 85日=整備補修30日+補修点検15日×2回+全停止7日+(起動3日×3回)+(停止3日×3回) 調整稼働率=96%(故障の修理、やむをえない一時休止等による能力低下を考慮)
(2) 炉数は、原則として2炉又は3炉とし、補修点検時の対応、経済性等を考慮して決定
(3) ごみピット容量は、安定的なごみ処理のために余裕分を見込むことができること

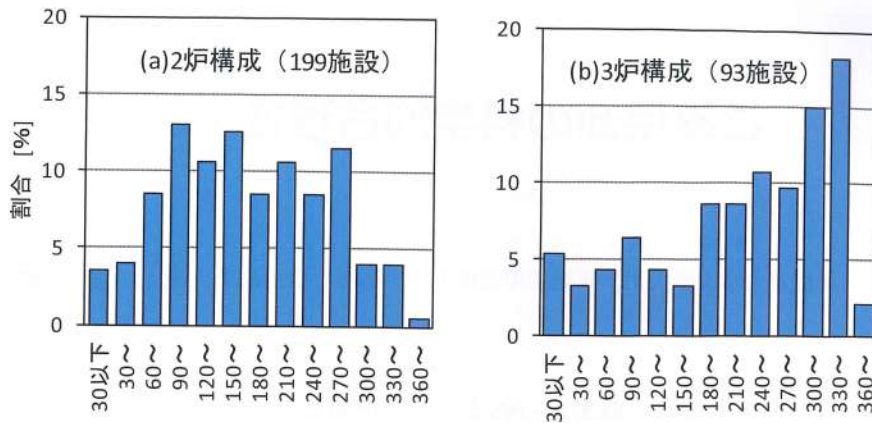


図1 全連続焼却施設の一炉停止日数

『計画・設計要領』<sup>5)</sup>に示されている年間の運転計画例では、一年を通して停止期間が設定されている。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<sup>6)</sup>によると、1炉停止日数は図1となり、炉停止日数の幅は大変広いが、半年以上が2炉構成では約半数、3炉構成では4分の3である。

上記の炉停止85日のため、施設規模は、計画年間日平均処理量が200t/日の場合、 $200 \div (280/365) \div 0.96 = 271.6$  t/日となる。実稼働率は $280/365 = 0.77$ となるが(ただし表1では、調整稼働率も考慮するとなっている)、実際にはどうだろうか。筆者らの調査<sup>6)</sup>より稼働率=年間処理量 $\div$ (日処理能力 $\times$ 365)を計算すると図2のように、平均は50~60%となり77%より2割程度低くなっている。年間85日の炉

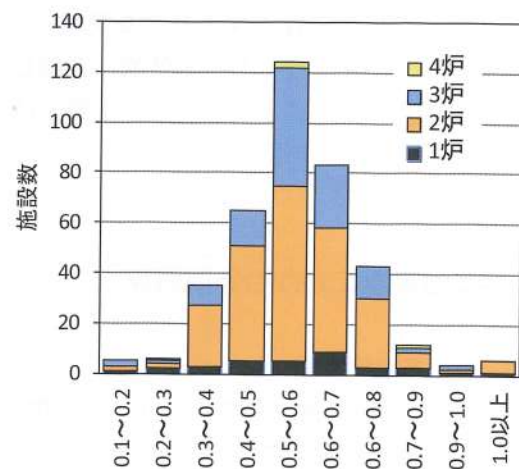
停止計画については、災害発生時の他自治体からの受入れ、あるいは他施設の緊急停止事態発生などに対する余力と見ることできるが、ごみ発生量の減量や施設の信頼性も向上していることから、日常的に大きな余力を残していることは合理的とは言えず、炉停止日数の考え方を含めた議論が必要と考える。

公設民営化(DBO)などで例がみられるようになったが、プラントメーカーの工夫や裁量により、炉の停止期間も含めて、合理的に施設規模を決める方法の採用の検討が必要である。

### 1-2 設備等に対する広い要求

施設の設備等については、細部にわたる設置例が示されている。環境省は『発注仕様書作成の手引き』のまえがきで「市町村ではその技術力の確保・維持が難しいため技術的な支援として、性能発注に基づく本手引きを策定したもので、施設の発注仕様書作成に当たっては、この標準発注仕様書をご活用頂きたい」としている。発注仕様書を作成するのは自治体であり、補助金を得るために手引きの内容に従って作成することになるだろう。手引きの内容は、機器類の細部にわたる詳細なものだが、例えば全体計画の中には、「各機器は、原則としてすべて建屋内に収納し、配置に当たっては、合理的かつ簡素化した中で機能が発揮できるよう配慮すること」とあるので建屋を設けるのが一般的である。近隣への騒音対策や雨天時のメンテナンス性には有効であるが、換気やそのためのエネルギーが必要となり、建設費に占める建屋の割合も5割程度に達しているため、合理的・経済的な建屋とする必要がある。

見学に対して手引きは、「見学先はプラットホーム、ごみピット、焼却炉室、中央制御室、タービン発電

図2 全連続焼却施設の稼働率  
(=年間処理量 $\div$ (日処理能力 $\times$ 365))

機室、溶融炉室等とすること」と場所の指定がある。さらに、「説明用プラントフローシート、説明用パンフレット、説明用映写ソフト、場内案内説明装置」が記載されている。どこに行ってもビデオとパンフレットがあるのは、このためだろう。ビデオは地球環境から自治体のごみ処理に始まり、焼却施設の各部分を紹介するもので、大体が同じつくりとなっている。パンフレットは施設概要説明用、施設説明用、小学生用の例示がある。また、運転員用としては「更衣室、休憩室、洗濯・乾燥室、脱衣室・浴室、会議室」とある。「目的に応じて選択する、必要に応じて計画する」などとあるが、手引きに書かれていることで基本的に全部そろえる傾向にある。焼却施設の役割は、環境への負荷を最小化しながら、費用対効果の高いごみ処理を行うことにある。前項の施設設計も含め、地域の実情に合わせて要・不要を判断し、ごみピット、制御室等の必要最低限の建屋や居室を配し、合理的・経済的な施設設計をすべきである。

### 1-3 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<sup>7)</sup>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』<sup>8)</sup>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対し交付率1/2の要件が示された。焼却施設に対するエネルギー回収率は、

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

$$\text{熱利用率} = \text{有効熱量の電力換算値} \div \text{投入エネルギー}$$

の合計として計算される。投入エネルギーは、ごみと燃料の合計である。「発電効率」・「熱利用率」の合計が一定値以上であれば補助率が1/2となる。熱利用率の場合、熱利用先は施設内外であり、施設内の給湯・冷暖房に地域冷暖房、病院・工場、破碎施設などへの熱供給を含む。確かに熱の利用ではあるが内>>外であったとしたら、エネルギー供給施設とは言えない。

電力は初めから「どう利用するか」を含まず、発電のみで考えられている。やはり施設内利用>>施設外利用であったならば、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。電気の場合は買電もあるので図3のような収支を考え、電力効率は発電端効率ではなく、「発電出力ー所内利用ー購入電力」を分子とする送電端効率とした方がエネルギー供給施設の指標として適切である。図4に処理量あたりの発電量と外部供給電力量を、施設の種類別に示す<sup>9)</sup>。(a)の1998年以前の施設を除くと灰溶融の有無、ガス化溶融で発電量の差はない。一方(b)は「外部への取り出し電力=売電量+外部へ無料供給」であり、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。これはこの逆の順に電気使用量が大きいことを示している。発電効率は高いがほとんど所内で電気を利用しているかもしれない施設に補助率1/2とするのは、合理的とは言えない。高エネルギー生産施設かどうかは図4(b)のように評価すべきであろう。なお、長方形の下端、上端はそれぞれ25%値、75%値であり、50%の値はこの範囲にあるが、施設によるばらつきが大きいことがわかる。

中央の線は50%値(中央値、メジアン)である。

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ような設備設計であり、送電端効率による評価が必要である。



図3 焼却施設の電力収支

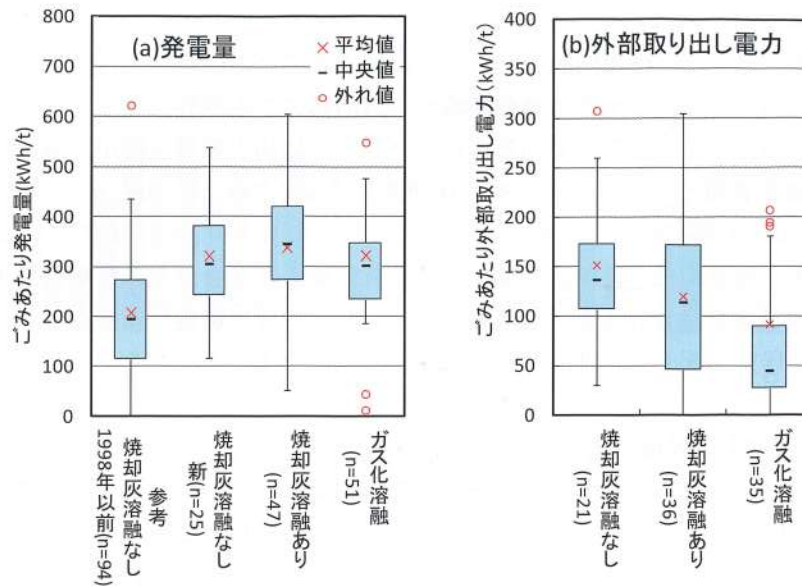


図4 焼却施設の処理量あたり発電量と外部取り出し量

## 2. 過度の低リスク化

### 2-1 低い排出目標値設定

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5は筆者らの調査<sup>6)</sup>による、HClとNOxの分布である。法定基準はそれぞれ430 ppm、250 ppm (700 mg/m<sup>3</sup>N) であるのに対し、HClは8割、NOxは4割が法定基準の1/2以下の基準値である。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。

法で定める排出基準では大気汚染防止が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、地域の状況を考慮することなく定められている。

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130~150 ppm、石炭ボイラー200~250 ppm (ただし規模による)、ディーゼル機関950~1200 ppm などとなっている。ばい煙発生施設は全国に20万以上<sup>9)</sup>あるので、ごみ焼却施設だ

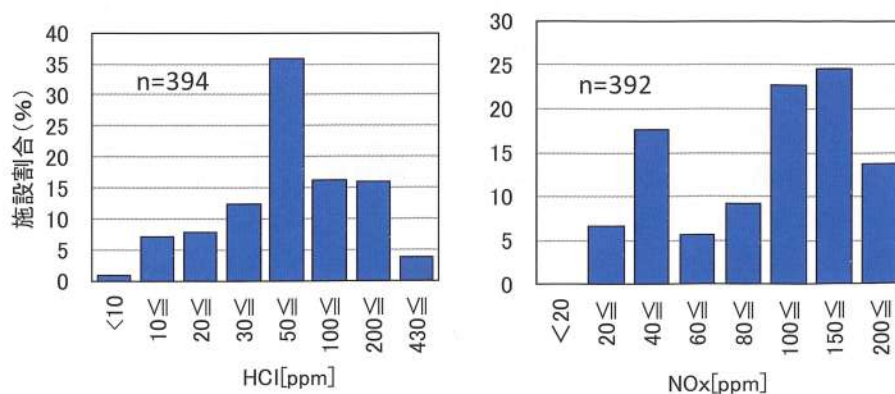


図5 排ガス自主基準値の分布

けが排出量を減らすことによる効果はたいへんに小さい。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」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。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厳しい自主基準値を設けている傾向が見られる（図6）。

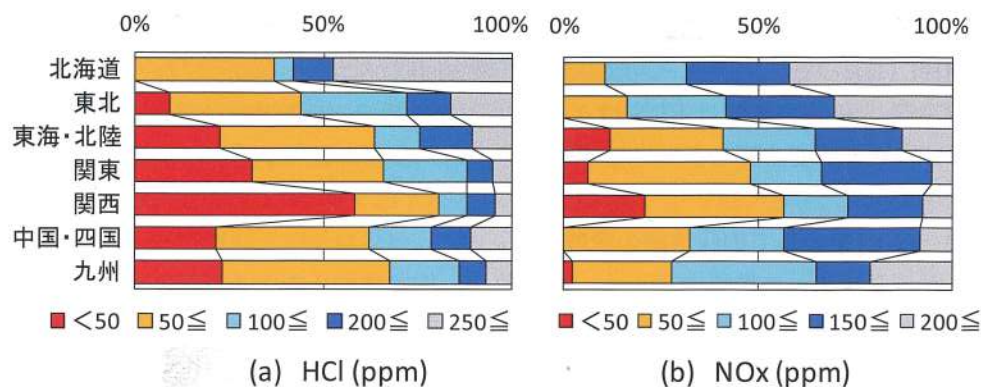


図6 地域別の自主基準値分布

なお、埋立地についても放流水に対して低い自主基準設定が行われている。より高度な処理を必要とするのは焼却と同じだが、もっと深刻な事態である廃止困難となる恐れがある。計画された埋立容積が一杯となっても浸出水の発生が続くので、浸出水の処理は継続しなければならない。埋立地から出る浸出水そのものが排水基準以下となれば、水処理を止めることができ、埋立地管理を終了できる。これを廃止という。河川へ放流する場合、BODとSSの基準を満たせばよいが、CODとT-Nの基準値を設定しているところが約8割もある<sup>10)</sup>。CODは海域放流、T-Nは富栄養化の恐れがある場合に設定されるが、CODは生物難分解性有機物を含むためなかなか減少せず、窒素は微生物の死骸が流出するため時間とともに逆に上昇する傾向があり、廃止を困難にする。

## 2-2 ダイオキシンによるRDF化技術への影響

1990年代後半、ダイオキシンは「猛毒ダイオキシン」「史上最強の毒物」との形容詞や、「ダイオキシンの健康影響、どのように身を守るか」など、センセーショナルに取り扱われた。ごみ焼却施設が突然に危険とみなされるようになり、不適正処理、埋立地からの浸出水漏出などの問題も背景として、循環型社会形成が目標とされるにいたった。その影響をまともに受けた技術が、RDF（ごみ固形燃料）である。RDFは事業系のプラスチック、紙やパークに対して1980年代前半から、家庭系ごみについても1980年代から施設の運転が行われた。破碎、選別、成形によって灰分の少ない均質な燃料となり、輸送、貯蔵できるため時間的・場所的自由度が増加する。1993年には国庫補助対象となり、JISも制定された。ところがダイオキシン問題によりRDF利用の考え方が変わってしまった。

ダイオキシンに対して、1997年にダイオキシンガイドライン<sup>11)</sup>が定められ焼却施設における対策、焼却灰・飛灰対策などが図られたが、同時に一定規模以上の安定した燃焼が必要とされ、小規模自治体の集約化（ごみ処理の広域化）が挙げられた。これによってRDFを病院、学校などで利用することが不可能となった。そして各都道府県に対する広域化検討の通知<sup>12)</sup>に対し、実際の対象となったのはRDFによる広域発電である。すなわち小規模利用が困難となったRDFを小規模自治体で製造し、集約して高効率の発電を行うとのRDF発電事業が、三重、福岡、石川、茨城、広島で、いずれも県主導で行われた。ところが、2003年に三重県でRDF貯蔵タンクが爆発して死者を出し、事故や異常の多発、RDF製造が自治体の利益となっていないことが明らかとなり、それ以降RDFは、将来の見通せない技術となってしまった。

もしダイオキシンの問題がなければ、RDFは当初考えられたような小規模利用が進んでいたであろう。筆者は1990年代にRDFをテーマとした博士論文<sup>13)</sup>を指導したので、RDFの挫折は大変に残念に思っている。ごみ焼却施設におけるダイオキシンの生成は、未燃炭素が骨格となって排ガスが冷却される過程で、飛灰上で金属が触媒となって合成される。小規模利用の際にこの条件が生じるのかの検討もなく禁止としたのが正しいのか、検証が求められる。

また日本では固形化したものをRDFと呼ぶが、本来は粉碎、選別などにより得られるさまざまな形状の可燃分を含んでいる。欧州では埋立指令(1999)によって有機物埋立が制限され、破碎、選別、生物処理を組み合わせたMBTによってエネルギー回収のため可燃物回収が行われるようになり、SRF(solid recovered fuel)と呼ばれている。一方日本ではRDFはダメで、一方、紙、プラスチックを主とするものはRPFと名付けて利用されている。制度で縛りをかけて柔軟さを失い、本来の目的を失っているように見える。

### 2-3 ダイオキシン対策としての灰溶融の意味

ダイオキシンガイドラインは燃焼の適正化、施設改造、施設休廃止などの緊急対策と、2002年12月を期限とする恒久対策を示した。灰処理については「焼却灰、飛灰を対象とした溶融固化処理等によりダイオキシン類の削減が可能」とされ、「ごみ焼却施設の新設に当たっては、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」との通知<sup>11)</sup>が出されて補助金の必要条件となると、灰溶融施設、およびガス化溶融施設の建設が急速に進んだ。

溶融のメリットとしてスラグのリサイクルは、埋立地が不要となる可能性も示唆された。しかし現実には安定的な利用先確保が難しく、多くは自ら利用に近いものであったと思われる。1990年代後半に全量溶融を計画した東京都は、埋立地の地盤改良への使用量が大幅に減少する見込みとなり、7施設のうち5施設の運転停止を決定した<sup>14)</sup>。環境省も2003年<sup>15)</sup>に焼却施設建設の補助金条件としていた溶融施設設置の義務化を解除し、2010年<sup>16)</sup>には溶融施設を廃止しても補助金を返還しなくてよいとした。廃棄物スラグの利用における競合品としては鉄鋼スラグ(製鋼スラグ、高炉スラグ)というライバルがあり、ごみ溶融スラグの生産量は鉄鋼スラグの50分の1にすぎず、利用者確保に不利であるとともに、溶融におけるエネルギー消費量、コストの高さの問題も広く知られるようになった。

そもそも、灰溶融はダイオキシン対策の一つとして考えられた。ところが、稼働中の埋立地を対象に、埋立地内の量、ごみや覆土などとともに入る量、浸出水やガスとして環境へ出る量などを推定したところ<sup>17)</sup>、埋立物中のダイオキシン類を1とすると、浸出水への流出割合は10万分の1にすぎなかった。ガスに伴う流出割合はさらにひと桁小さく、浸出水中のダイオキシン類は従来の生物処理により除去率は95%であった。つまり埋立地からダイオキシン類は流出せず、むしろ安定した保管設備といえる。処分場からのダイオキシンの流出を減らすために溶融処理は必要ではなかった。この研究は2000年に報告されているが、ほとんど知られていない。

図は省略するが(6)参照)、排ガスに対する低い自主基準値設定は1990年以前竣工の施設でも見られ、HClについては100 ppm以下の施設が4割あった。しかし1990年代には6割、2000年以降は9割と増え、自主基準値の低下が著しい。ダイオキシン問題によって「健康リスク」の低減が推進されたためであり、これもダイオキシンが与えた影響のひとつといえる。

## 3. 焼却処理データの科学的利用

### 3-1 ごみ組成分析の正確さ

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<sup>18)</sup>(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<sup>19)</sup>(課長通知、環整95号)ことによる。ごみ質(年4回以上)、焼却残渣の熱

灼減量（月1回以上）、燃焼室温度（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。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、しゃ水工、浸出水排水などの基準<sup>20)</sup>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。しかしピット内に存在する数百トンのごみからわずか200kgを取り出すときに、サンプリング誤差が生じてしまう。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、誤差を増大させる要因となる。例として、札幌市におけるピットごみ組成分析結果を図7に示す<sup>21)</sup>。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。

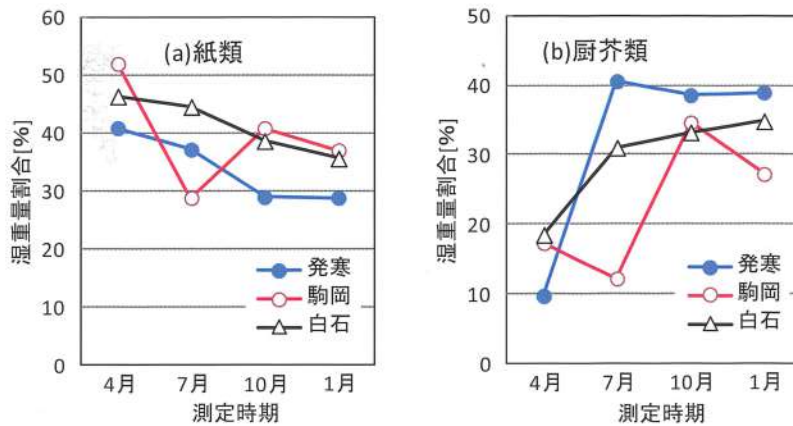


図7 ピットごみの組成分析結果（札幌市平成30年度）

仙台市では、組成分析を毎月行っている<sup>22)</sup>。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8(a)のように、湿

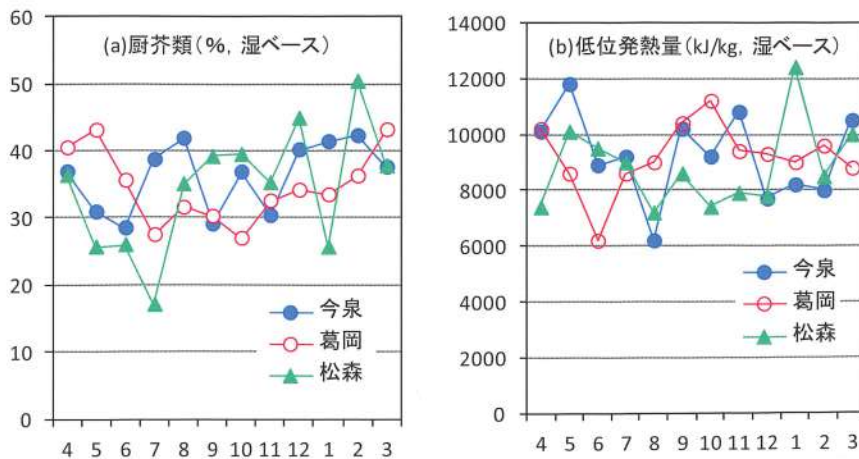


図8 ピットごみの組成分析結果（仙台市平成27年度）

ベースの紙類割合は施設間で10%程度の差があり、季節変化のパターンも一定しない。

### 3-2 施設運転データの科学的利用

低位発熱量はボンブ熱量計を用いて測定される。しかし環整95号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、図8(b)のようにばらつきは大きい。一方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り、サンプリングの手間をかけず運転データから低位発熱量を推定することができる。排ガス成分よりC、H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9に示す<sup>24)</sup>。熱収支による廃棄物の燃焼に伴い発生する熱量[S<sub>Ri</sub>(kJ/h)]は、33,000~41,000 MJ/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廃棄物の燃焼に伴い発生する熱量[R<sub>Ri</sub>(kJ/h)]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。

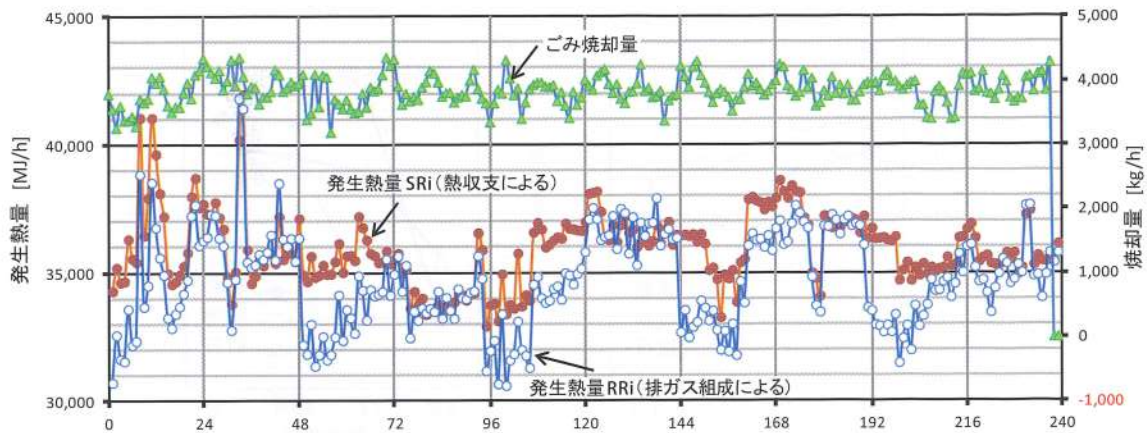


図9 発生熱量の時間変化

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、熱収支による低位発熱量SH<sub>u</sub>と排ガス測定による低位発熱量RH<sub>u</sub>を推定した。図10に示すように両者には、よい相関がみられる。RH<sub>u</sub><SH<sub>u</sub>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ているため、もっと有効に利用することが求められる。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、元素組成のうち少なくとも炭素量と灰分がわかる。発熱量と合わせれば水素、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。例えば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

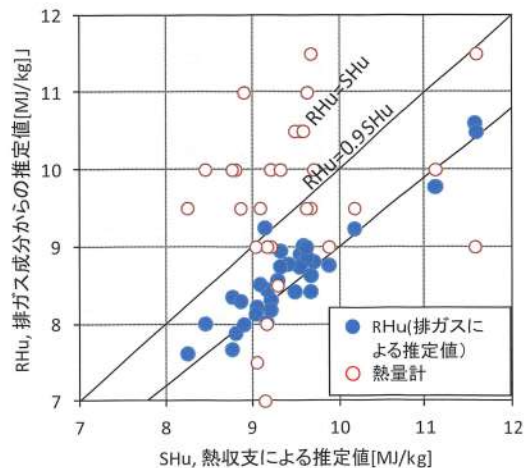


図10 低位発熱量の比較



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、焼却技術の発展に役立てるべきである。

なお、組成分析の重要性についても述べておこう。焼却施設での実施が義務付けられたため組成分析は焼却のためと考えられがちだが、製品や素材が分別区分ごとにどれだけ含まれているかは処理、資源化の最も基礎的データである。組成分析の重要性は、ごみのマテリアルフローを明らかにする唯一の方法であることにある。環整 95 号法の最大の問題はサンプリング誤差にあるので、筆者は縮分操作による水分流出、異物付着をさけるために「一定の地域で排出されたごみをすべて回収し、袋ごとあけて組成に分ける方法」と「プラスチック類、紙類などの細組成別の、元素組成、発熱量、三成分データベース」の組み合わせを提案している<sup>23)</sup>。組成分析は相対値なので調査間で量を比較できないが、対象地域の人口を調べれば一人あたりの重量が得られることが最大の長所である。また紙類やプラスチックにはさまざまな製品があり、発熱量なども異なる。そこで共通のデータベースとして用意しておけば、紙類やプラスチックの細組成データによって、ごみの特性値を推定することができる。

#### 4. 施設選定手順の問題

最終処分場や焼却施設など、新たな廃棄物処理施設を建設する際には事業者の選定が行われる。最近では「施設整備・運営事業」と呼ばれることが多く、筆者がかかわった件数は多くはないが、そのプロセスには以下のような問題があると考えている。

##### 4-1 審査項目と配点

ネット上で公開されている例を収集したところ、評価基準と配点は表 2 のようであった。多少の違いはあるが、この中で「技術」に関するものは 1-2 と 2-2 だけとなっている。

2-2 の内容は、システムの信頼性 5 点（過去のトラブルを踏まえた技術改善等の実績、システムの安定性、耐久性の確保、トラブル発生時の迅速な復旧、ごみ量変動に対する設備の適性）、非常時の安全性 3 点、機器配置 3 点（更新時の機器搬入・搬出の容易さ、メンテナンス空間）なので、実質的には最後の 3 点を除いて 8 点である。1-2 は保険の活用も含まれている。これに 1-1 の CO<sub>2</sub> 排出には省エネルギー、省資源が含まれていることを考慮しても、処理技術そのものの配点は 10 点程度である。3-2 はごみ搬入の誘導、展開検査、緊急時の連絡体制などであり、焼却技術とは関係がなく、そのほかに目立つのは 1-3 地域貢献、1-4 見学、2-3 外観である。さらに、総合評価は表 2 の合計と価格点に 6:4 で重みづけするので、技術そのものによる評価は小さい。焼却施設は、高度技術の結晶であり、技術内容も多岐にわたるため、技術評価の比重を大きくすることが必要である。

表 2 施設整備・運営事業の審査項目

評価項目			配点	
1 事業全体	1-1	全体計画	実施体制、経済性、CO <sub>2</sub> 排出削減	13
	1-2	リスク管理	事故の防止と発生時対策	3
	1-3	地域貢献	地元発注、地元採用	13
	1-4	見学学習	整備と運用	5
2 設計建設	2-1	工事中の対応	工程管理、安全・環境対策	10
	2-2	プラント設備	信頼性（非常時含む）、機器配置	11
	2-3	土木建築	配置、建築意匠・仕上げ、外観デザイン	13
3 運営	3-1	全般	運営期間終了後計画	3
	3-2	運転管理	体制、受付・計量、運転計画、緊急時対応	20
	3-3	維持管理	計画	3
	3-4	測定	公害防止の対応	3
	3-5	その他		3

4-2 方式の事前決定

ごみの熱処理を、原理と目的によって分類すると表3のようになる。処理において重要なのは、このうち目的であろう。単なる焼却か、燃料回収かスラグ化か、この目的によって分別の必要性や回収物の利用方法などシステムが異なるので、大まかなマテリアルフローによって決定できる。そして、いくつかのオプションの自由度を与えて事業者を選定すべきである。

例えば、表2の前段階として、処理方式の比較評価が行われることもある。方式とは、ごみ焼却、ガス化溶融、焼却+灰溶融、メタン発酵などであり、ごみ焼却はストーカ式と流動床式などにさらに細分される。この例を表4に示すが、ほとんどが技術的な内容となっている。処理方式の選定が行われなるときには、ストーカ炉、ガス化溶融炉などの方式が最初に決まってい、それから表2の審査を行う。この2段階の考え方には、次のような問題がある。

第一に、表4の評価でストーカ炉/流動床炉、炭化炉、メタン発酵などを同列に比較してよいかということである。ストーカ炉と流動床はどちらも「ごみ焼却」だが、炭化、メタン発酵は「燃料製造」であり、回収物の利用法を含む。メタン発酵は生ごみの分別が違うかもしれない。これは、技術だけでなく「ごみ処理システム」が異なるということである。直接埋立⇔(焼却+埋立)、焼却⇔RDF化⇔炭化⇔メタン発酵は分別方法、アウトプットの処理(利用)方法などが異なるシステムの例である。第二に、例えばストーカ炉をとっても施設間に大きなばらつきがあるということである。図1, 2, 4のほか、用役使用量、維持管理費、さらには表4の内容にも各社独自の工夫と特徴がある。ストーカ炉がすべて同じであるかのように考え、表2の非技術的要素で競争するのは、疑問である。

こうしたことが行われるのは、焼却が主に「形式」によって分類されているためと思われる。『設計要領』におけるごみ焼却施設の種類の、表5のようにまとめられており、ガス化溶融とガス化改質は最終的な目的がスラグ化かガス回収かの違いであって、ガス化をおこなう点は同じである(目的が異なる)。またガス化溶融のうちキルン式、流動床式はそれぞれ熱分解、部分燃焼と酸素濃度が異なる雰囲気で行うのに対し、シャフト式は低温での熱分解から部分燃焼を経て最下部で溶融に至る連続的な技術である(目的は同じだが原理が異なる)。一体か分離かはただ「形」の違いであり、焼却+灰溶融とガス化溶融は、どちらもスラグ化との目的は同じである。

表3 原理と目的による熱処理技術の分類

		目的		
		無機化	燃料化	スラグ化
原理	燃 焼	焼却 (ストーカ、 流動床など)		焼却+灰溶融 ガス化溶融 (シャフト)
	部分燃焼		ガス化	ガス化溶融 (流動床)
	熱 分 解		ガス化、炭化	ガス化溶融 (キルン式)

表4 処理方式選定の評価基準(例)

評価項目		配点
長期的な安心安全、 安定稼働	受注実績、 トラブルの有無	12
	安全対策、危険作業、 非衛生化業の有無	5
	ごみ量・ごみ質変化への 適応性	8
	多様なごみへの対応 (前処理の必要性)	5
	災害対応の実績	35
環境保全配慮	公害防止基準値の遵守	10
	排水クロードの実現性	8
	地球温暖化防止性能 (CO <sub>2</sub> 排出量)	10
	エネルギー回収率、回収量	7
住民に開かれ、 地域貢献	建物の視覚上の大きさ	5
	施設全体配置	5
ライフサイクルコスト	建設費・運営維持管理費	20

表5 ごみ焼却施設の種類の

焼却施設	焼 却	ストーカー式
		流動床式
		回転炉式
	ガス化溶融施設	一体方式
		分離方式
	ガス化改質施設	一体方式
分離方式		

### 4-3 定量評価の重要性

最後に、誰が評価するかである。事業者選定委員会は5~7名で構成することが多く、中心となるのは学識経験者と行政である。しかし廃棄物の焼却に精通している専門家は少なく、さらに近年、廃棄物焼却設備の仕様は高度で複雑となっているため、評価が難しくなっている。そこで焼却という高度な技術に対しては、表6のような見方をすべきである。エネルギー的にプラスか、薬品等の投入が過大ではないか、施設のライフサイクルにわたるコストは適正か、これらは筆者が常に用いる評価の観点である。ダイオキシン類や窒素酸化物の発生量（排ガス処理前）や、焼却残渣等の環境安全性なども重要である。これらは数値化できるので、廃棄物の焼却に精通した専門家でなくても適切に評価することができる。定量的評価によって、意思決定プロセスは透明性を増すことになるだろう。

表6 望ましい評価基準

エネルギー収支	正味の効率 (発電, 買電, 所内消費, 売電)
用役使用量	薬剤, 活性炭, 補助燃料
ライフサイクルコスト	建設, 維持管理, 補修費, 人件費

## 5. おわりに

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<sup>25)</sup>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ので、焼却に関する部分は少ない。巻頭論説の依頼を受けて改めて考えた結果、本稿のような内容となった。日本の焼却技術が世界に誇れるものであろうことは疑いない。しか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」を問うならば、あまりに心許ない。現場での問題を認識し、改善策を提案しなければならない。現時点で過去からの制度上の制約はあるかもしれないが、プラントメーカーは焼却施設設計、建設のプロとして安全・安心で、コスト削減に資する科学的合理性のある廃棄物焼却施設のあり方を社会に働きかけをしてほしい。そして、関係者の協力のもとで、技術・経済の両方において合理的な焼却技術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) 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）（設計要領2017改訂版、p.218）031215002
- 4) 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
- 5) 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）、p.218-220
- 6) 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）
- 7) 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）
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 一般廃棄物最終処分場の放流水自主基準と浸出水滞水に関するアンケート調査、北海道大学2019年度卒業論文
- 11) ごみ処理に係るダイオキシン類の削減対策について、平成9年1月28日、衛環21号（ガイドラインはこの中で別紙として書かれている）
- 12) ごみ処理の広域化計画について、平成9年5月28日、衛環173号
- 13) 都市ごみ固形燃料化システム成立のための総合的調査・解析、平成7年3月
- 14) 東京二十三区都市清掃一部事務組合、今後の灰溶融処理の休止について（平成25年度第一回区民との意見交換会）、平成25年7月
- 15) 環境省所管の補助金等で取得した財産処分承認基準の整備について、環企発第080515006号、平成20年5月15日
- 16) 環境省所管の補助金等に係る財産処分承認基準の運用（焼却施設に附帯されている灰溶融固化設備の財産処分）について、環廃対発第100319001号、平成22年3月19日

- 17) 野馬幸生ら, 一般廃棄物最終処分場におけるダイオキシン類の収支, 廃棄物学会誌, 2000年, 11巻6号, 297~306ページ
- 18) 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
- 19) 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
- 20) 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)
- 21) 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>
- 22) 仙台市環境局, 平成27年度検査年報第44号
- 23) 松藤敏彦, 石井翔太: 家庭系ごみ中可燃性成分の特性値データベース作成とその利用法に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文誌, 廃棄物資源循環学会論文集, 22(6), 382-395, 2011
- 24) 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
- 25) 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