

# 都市ごみの焼却・埋立処理の概観

-技術の現状と物質循環における位置づけ-

奈良市ごみ処理施設移転建設計画策定委員会 委員

大阪工業大学 工学部

環境工学科 教授 渡辺信久

## はじめに

廃棄物の焼却・埋立処理は、衛生的に減容・安定化し、生活環境を保つためのものである。ダイオキシン類対策のおかげで、燃焼の技術・有害物質制御の技術は、完成の域に達しているといえる。ここでは、理解を助けるために、あえて批判的な説明を行うが、焼却・埋立を否定するものではないことを、最初に述べておきたい。

近年の環境省の方針「『その他プラスチック』のサーマルリサイクル<sup>\*1</sup>」から、ごみ発電がとても大きなエネルギー源になるかのような印象に受け取られる傾向があるが、エネルギーの需給状況における相対的な位置を明らかにする(観点1)。

ごみの焼却に由来する健康リスクを心配する声は根強い。排ガス処理や灰処理を真正面から見ると、その心配は無用であると考えるが、現場的観点から注意すべき点を述べる(観点2)。

残渣の処分・再利用は、「最終処分場のひっ迫とスラグ化」で、新しい次元に突入したと考えられる。スラグ化は、本来、焼却残渣の有効利用が目的<sup>\*2</sup>であるが、そのように進むかどうか、今後の問題である(観点3)。

焼却・埋立の終着点は、山間埋立であるが、そもそも、海から塩化ナトリウムを採取して、工業・食品に利用し、その塩を含む残渣を山に蓄えることは、極論すると砂漠化の推進ともいえる。それだけではなく、塩分問題は、上記3つの課題にすべて関連する。発電の効率化を阻み、健康リスクの増大に寄与し、リサイクルを阻害する。塩分問題を最重要課題と掲げる議論は、未だ見られないが、「すべての問題は塩から」との考察をここで示す(観点4)。

表 焼却埋立の各残渣と観点1～4との関連

	観点1 エネルギー回収	観点2 有害物質・リスク	観点3 残渣の処分・資源化	観点4 塩分問題
熱				
排ガス				
飛灰				
主灰				
排水				

\*1 平成17年5月26日 環境省告示第43号において、「まず発生抑制を、つぎに容器包装リサイクル法等により広がりつつある再生利用を推進し、それでもなお残った廃プラスチック類については、最近の熱回収技術や排ガス処理技術の進展、最終処分場のひっ迫状況等を踏まえ、直接埋め立ては行わず、一定以上の熱回収率を確保しつつ熱回収を行うことが適当である」とされた。

\*2 2006年7月に2種類のスラグJISが定められた。JIS A 5031:2006 「一般廃棄物，下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」；JIS A 5032:2006 「一般廃棄物，下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ」

## 観点1 エネルギー回収

廃棄物焼却で発生するガスは熱を持っており、排ガスを処理するためには、冷やしてやらなければならない。そのため、「調温塔」でガスに水を噴射して温度を下げてから、ボイラーで熱を回収している。理想を言えば、調温塔を使わずに高温のガス(400oC)をボイラー水管に吹き付ければいいのだが、都市ごみ焼却排ガスは塩類を多く含んでいるので、ボイラー水管の減肉を招く。ボイラー水蒸気を 210oC 程度にしておけば、それを避けられる。しかし、温度が低い方が発電効率は悪くなる。

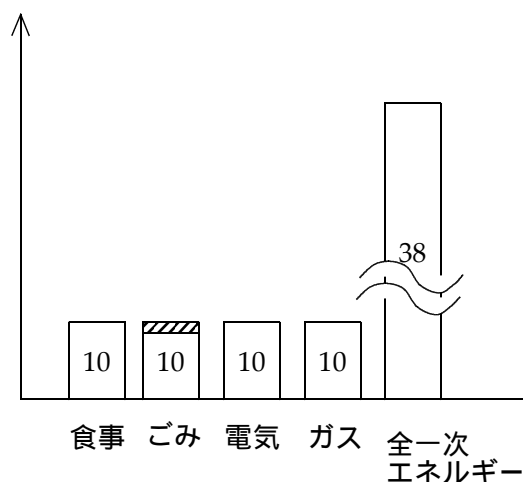
廃棄物の持つエネルギー、発電の効率(vs 石炭火力、廃棄物発電のスペックと実績)

廃棄物発電で得られる電力の、電力需給における相対的な量を計算した。

食のエネルギーとの比較

生活のエネルギー(電気、ガス)との比較

日本の一次エネルギー消費量との比較



一人一日あたりの量 MJ

## エネルギー回収の効率と比較の計算

## 観点2 有害物質・リスク

排ガス問題はほぼ解決している。しかし、塩分問題にすり替わっただけ。

排ガス中の有害物質は、酸性ガス、重金属類、ダイオキシン類であるが、石灰や活性炭を利用するバグフィルターで、排ガスとしての放出は、問題なくなった。しかし、湿式排ガス処理を使用せずに HCl 50ppm 以下などを達成しようとする、大量のアルカリ薬剤が必要になる。-->塩分問題

「未知の物質」は多い。それらの安全側の処理を考えても、排ガスの湿式処理の意義は大きい。

要注意は、「灰の積み出し」と「煙突からの見える水蒸気」である。

焼却灰を搬出する場所での灰の乾燥・飛散に注意しなければならない。あらゆる粉塵は、毒性を持つ。

煙突からの水蒸気には、注意しなければならない。水滴が凝縮し、密度の高い粒子になれば、煙突近傍に落下する可能性がある。拡散の理論は適用できない。

湿式のガス処理後に、冷却・除湿ののち、再加熱空気吹き込んで、煙突から勢いよく拡散させる方が、近隣にとっては安全である。

未知のリスクと未然の防止

有害物質もリスクも、わかっている物質についてのみ論じられるものである。しかし、ダイオキシン類についていうと、排ガス中のダイオキシン類は、「[総有機ハロゲン](#)」の0.1%程度である。焼却の運転管理に「総有機ハロゲン」制御を盛り込むとよいと考える。

## 観点3 残渣の処分・資源化

灰溶融の状況

溶融(ガラス化)は、放射性廃棄物の処理方法として研究された。「花崗岩」に閉じこめるような感覚。

主灰溶融は、飛灰溶融に比較して、安定した製品を作ることができると考えられるが、飛灰溶融は、塩分・アルカリ分が溶融物(スラグ)にとけ込み、「水に溶けるガラス」を作る可能性がある。

[2種類のスラグ JIS](#) が制定された(2006年7月制定)

JIS A 5031:2006 「一般廃棄物，下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」：有害物質と塩分等に配慮

JIS A 5032:2006 一般廃棄物，下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ：有害物質の溶出に配慮

現在の自治体の姿勢：「埋め立て容量節約のために溶融する」

## 観点4 塩分問題

廃棄物の焼却埋め立てを陸上で行っている限り続く問題である。

エネルギー回収の障害になっている(ボイラーの高温運転は、事実上、不可能)。

有害物生成の原因になっている(ダイオキシン類など)。

排ガスの有害物を取り除くために、塩を増加させている(乾式処理で加速している)。

リサイクルを阻んでいる(塩分がなければ、リサイクル資源として売れる。セメント会社で、灰を水洗し、資源として活用しているところもある)。

物質循環の観点から、埋め立てで隔離する方向が正しいとは考えられない。

# 観点1 エネルギー回収とはどの程度のものか

## 廃棄物の持つエネルギー

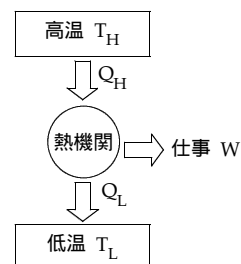
低位発熱量 (LHV) で 2000 ~ 2400kcal/kg x 1.1kg/人/日 = 約 2500 kcal/人/日 (10MJ)  
高位発熱量 (HHV) では、約 3000 kcal/kg

## 発電の効率(vs 石炭火力、廃棄物発電のスペックと実績)

### 熱機関の効率(カルノーサイクル)

$$= \frac{T_H - T_L}{T_H}$$

T <sub>H</sub>	200°C (473K)	300°C	400°C
T <sub>L</sub>	100°C	100°C	100°C
	0.21	0.35	0.45



すなわち、300°C を最大に利用しても、35 % の効率である。

### 石炭火力発電の効率(参考: [電源開発の実績](#))

年間発電量 48 599 GWh = 1.75x10<sup>17</sup> J

年間使用石炭量 1706 万 t = 4.44 x 10<sup>17</sup> J ([石炭の HHV = 26MJ/kg として計算](#))

エネルギー効率 = 1.75/4.44 = 39.4 %

### 廃棄物発電の実績(豊中市 伊丹市 クリーンランドの場合 H17 年度実績)

年間焼却量 195 785 t (低位発熱量 11.4MJ/kg) ==> 2.23x10<sup>15</sup> J

年間発電量 41 533 755 kwh = 1.5x10<sup>14</sup> J

エネルギー効率 = 1.50/22.3 = 6.7%

(ボイラー温度は 206°C 設定)

都市ごみエネルギー回収「10 % 以上」が補助要件であるが、発電である必要はない。「10 % 以上」は、設計上は可能であるが、実施上、ボイラー水管が廃棄物燃焼ガスの塩分によって傷められるので、継続運転は困難( = = 廃棄物焼却炉に調温塔がある理由は、ボイラーがなくてもガス温度を下げることもできるということの意味です)。

### 温水供給の効率

排ガスから熱交換器で温水を得る方法であれば、排ガス使用温度が低くても、50 % 程度のエネルギー回収が可能である(熱機関ではないので、理論に反しない)。

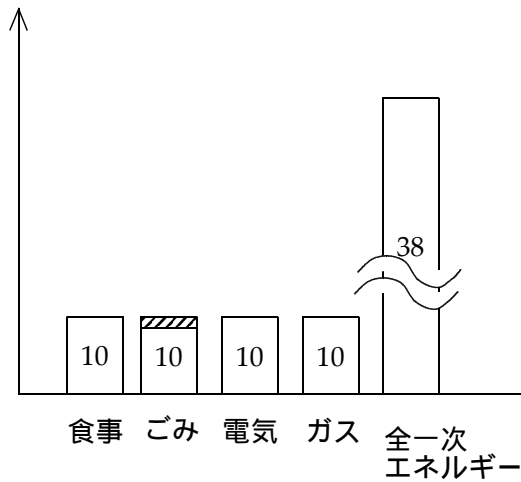
## 食のエネルギー、生活のエネルギー(電気、ガス)との比較

一日の所要カロリー: 2500kcal/day = 10.5 MJ/day ごみの一日の熱量と同等  
 家庭での消費電力: 100kwh/30日/人 = 12 MJ/day = ごみの一日の熱量と同等  
 家庭での都市ガス: 10m<sup>3</sup>/30日/人 = 12 MJ/day = ごみの一日の熱量と同等  
 \* 都市ガスの発熱量を 41MJ/m<sup>3</sup>とした。

### 日本の一次エネルギー消費量との比較

一次エネルギー年間消費量 1.8 x 10<sup>19</sup> J/year ==> 一人一日 388 MJ/人/日

おおざっぱだが、日本では、食べる分の 38 倍の一次エネルギー消費している。



一人一日あたりの量 MJ

---参考---

一日のごみの中に含まれる容器包装材の LCA エネルギーは、一日の食事と同じ



TABLE 2: CONSUMPTION OF RAW MATERIALS IN FOOD PACKAGING AND ENERGY USED IN RAW MATERIAL PROCESSING (1994)

	Consumption (g/person/day)	Production Energy (kcal/person/day)
Steel	31.1	239.5
Aluminum	7.3	367.9
Glass	47.4	184.9
Paper	112.9	970.9
Wood	32.0	22.4
Plastic	54.6	764.4
Total	285.3	2550.0

(Author's calculations)

Highnoon(Prof Takatsuki), Pictureecology

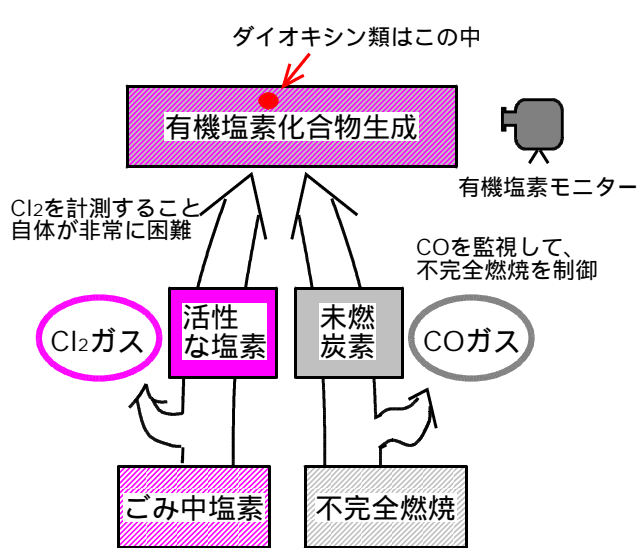
# 原子スペクトル分析を用いた有機ハロゲンモニタリング

焼却で発生するダイオキシン類を制御するためには、そのモニタリングが必要です。しかし、数十万円の費用と約1ヶ月の時間を要するので、年1回の測定が義務づけられているのみです。しかし、ダイオキシン類の生成の様子は、焼却炉の状況で大きく変動し、年に1回の計測で規制することは、十分とはいえません。もっと、安く、早いモニタリングが必要なのです。

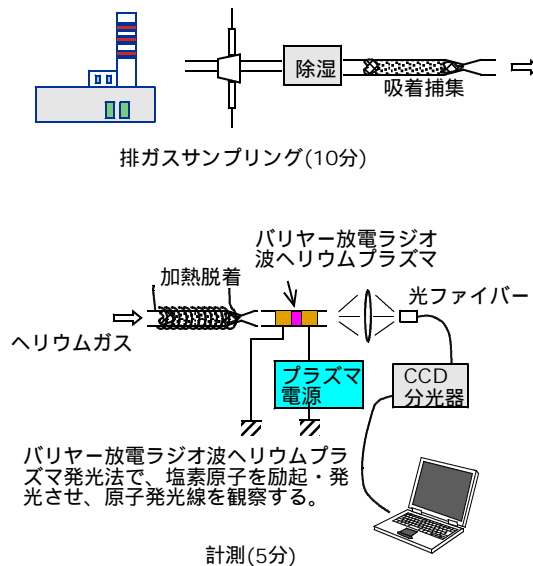
ダイオキシン類の生成メカニズムに関する研究から、「活性のある塩素が未燃炭素分と反応して、その一部がダイオキシン類である」と一般に考えられています。そのため、生成した有機塩素化合物を包括的に調べて、連続的に制御すれば、事態はずっと改善されます。

有機塩素の包括的な指標として、TOX(Total Organic Halogen)が知られています。排ガスを吸着剤に捕集し、これを加熱脱着させて、そのガスの中のハロゲンを計測するものです。

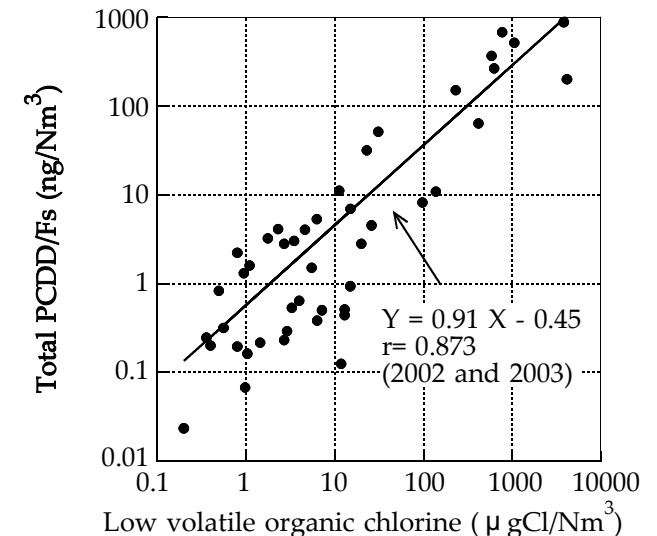
ここでは、世界で初めてバリアー放電ラジオ波ヘリウムプラズマ発光法による塩素の計測装置を開発し、脱着ガス中の塩素原子を定量することに成功しました。そして、ダイオキシン類との相関を確認することができました。



ダイオキシン類の生成メカニズム



TOXの測定方法



TOX(LVOCI)とダイオキシン類の相関

この方法を用いれば、塩素以外にも、フッ素、臭素、ヨウ素の定量も可能です。人類は、20世紀中頃までは塩素を、20世紀後半にはフッ素・臭素・ヨウ素をとともおおらかに使ってきたのですが、その後始末のことまで、十分に考えてきませんでした。ダイオキシン類問題は、塩素からの逆襲にすぎません。ハロゲンとのつきあい方を考え直す時が来ています。