

一般廃棄物全連続式焼却施設における電力・熱回収利用の現状

松 藤 敏 彦*
Toshihiko MATSUTO

1. はじめに

21世紀環境立国戦略(平成19年6月1日閣議決定)においては一般廃棄物を対象とした対策として、温室効果ガス削減に資する施設整備を推進、マテリアルリサイクル施設、とともに、エネルギー回収推進施設(熱回収、高効率原燃料回収、ごみ燃料化)が挙げられている。

しかしこれまで、ごみ焼却施設におけるエネルギー回収の実態に関する「量的」データはなかった。例えば、平成23年版環境白書においては、「稼働中または建設中のごみ焼却施設のうち、発電を行っている又は行う予定の施設は304に上り(中略)その総発電量は約69億kWhであり、約190万世帯の消費電力に匹敵する。発電した電力を場外でも利用している施設数は181施設となっている」と記載されている。これは「数」であって、どれだけを施設外部へ取り出せたかという「量」は、不明である。

環境省の一般廃棄物処理実態調査において、焼却施設のエネルギー回収に関する調査項目は表1のように

表1 一般廃棄物処理実態調査におけるエネルギーの調査項目
～平成18年度 平成19～20年度 平成21年度～

余熱利用の状況	
場内温水・蒸気 発電(場内利用) 場外温水・蒸気 発電(場外利用)	
総余熱利用量(MJ)	総余熱利用量(公称と実績に分けて)(MJ)
	うち外部供給熱量(MJ)
発電能力(kW)	
発電効率(%)	発電効率(実績)(%)
総発電量(MWh)	総発電量(実績)(MWh)
	うち外部供給量(MWh)

*北海道大学大学院環境創生工学部門教授

なっていた。平成18年まで余熱利用方法は、蒸気・温水、電力について、場内/場外利用の有無を尋ねるだけで、どれだけ外へ取り出せるかは、平成19年になって外部への供給量として項目に追加された。電力はさらに2年遅れ、平成21年から外部への取り出し量が追加された。しかし、電力は買電など外部からの供給があるため、外部へ供給を発電量と較べるだけでは十分とはいえない。

エネルギーのみならず日本の廃棄物処理の中心を担っている焼却施設に対して、コスト、用役使用量などの数量的データの把握は十分ではない。そのため、市町村が新規施設建設を行う際の技術選択、あるいは現状の運転を評価する際の基本情報が不足している。資源循環、低炭素化を目指すためにも、確かな定量的データの整備が必要である。そこで筆者らは、全国の一般廃棄物焼却施設を対象としてアンケートを実施し、物質収支、エネルギー収支、コストを分析した。報告書は研究室のホームページに掲載しているが、本稿ではエネルギーに関する部分を報告する。調査対象は一般廃棄物全連続式焼却施設すべてとし、2010年7月に635施設に送付して回収率は62.8%(399施設)であった。

2. 対象施設の概要

(1) 燃焼装置の内訳

アンケート回答施設のうち16%はガス化溶融施設であり、焼却、ガス化溶融を区別して施設規模の分布を描くと図1となる。灰溶融とガス化溶融はほとんど1998年以降に建設されていたため、それらと比較するため、焼却は1998年の前と後を区別した。ガス化溶融は規模がやや小さく、65%が200t/日以下である。1998年以降の焼却施設は1998年以前より規模がや大きくなっている。

図1の焼却施設の中には、灰溶融を備えたものが含まれている。図2(a)は灰溶融ありの焼却施設について、施設規模別に溶融方式の違いを示した。施設規模が大きいほど電気式が多いが、これは発電を行う割合が高く、電力を有効利用できるためである。図2(b)はガス化溶融の方式の割合である。

(2) 発電の利用方法

以下では、発電を行っている219施設を分析した結果を述べる。断らない限り、焼却施設は1998年以降に建設されたものである。図3に、発電の利用方法の内訳を示す。所内利用のみの割合は少なく、大部分が売

電あるいは無料で外部へ供給しており、有効に利用されているように見える。また図4は1998年以降に竣工した焼却施設(灰溶融の有無は区別していない)のうち発電ありの施設について、施設規模別に発電量、買電量、売電量を比較した。規模が大きいほど発電量大、買電量小、売電量大となっている。

しかし図3は外への取り出しがある施設が多いことを示すが、量は不明である。また、図4は発電量に対して買電量、売電量の割合が重要であり、これもエネルギー回収施設としてプラスかどうかを検討する必要がある。ガス化溶融施設についても図4と同様の傾向がみられるが、電力の収支を、焼却と比較する必要がある。

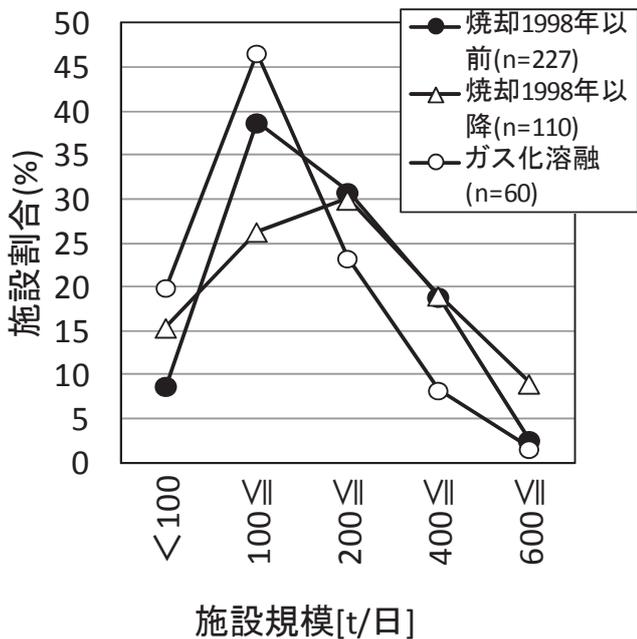


図1 焼却装置形式別の施設規模分布

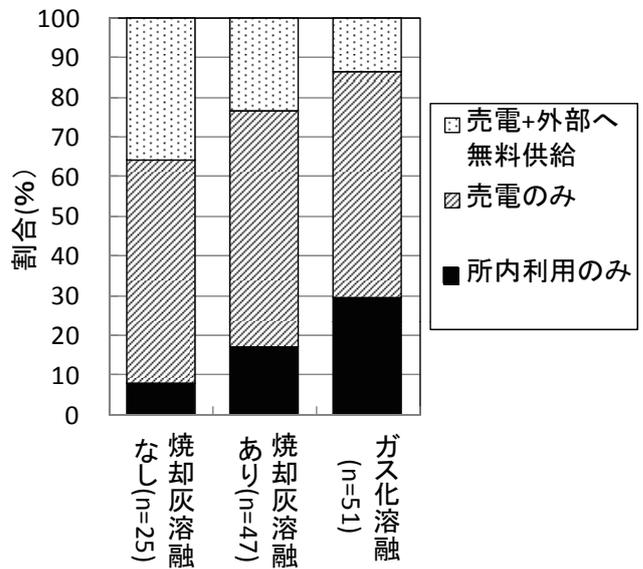
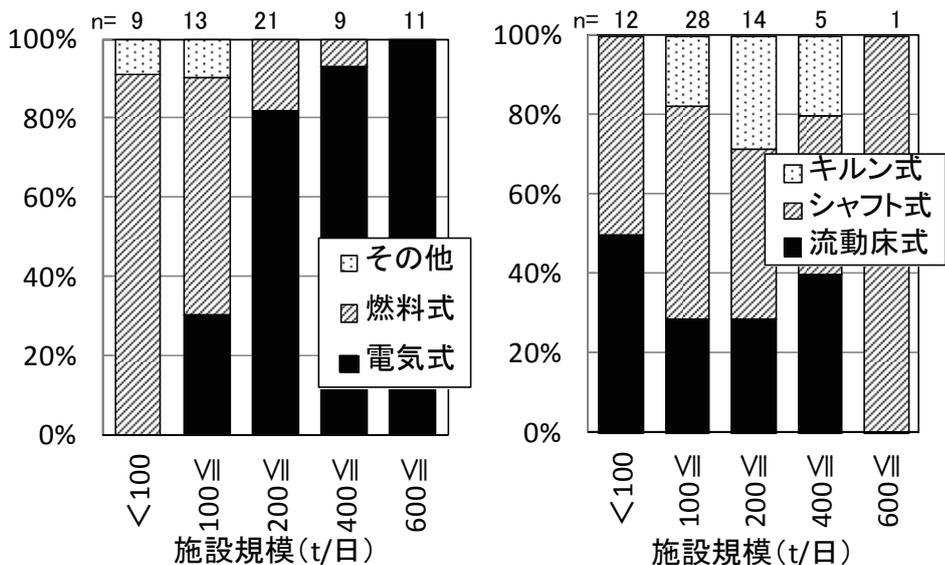


図3 発電利用方法



(a) 焼却・灰溶融あり(1998年以降) (b) ガス化溶融(1998年以降)

図2 施設規模と燃焼装置の形式

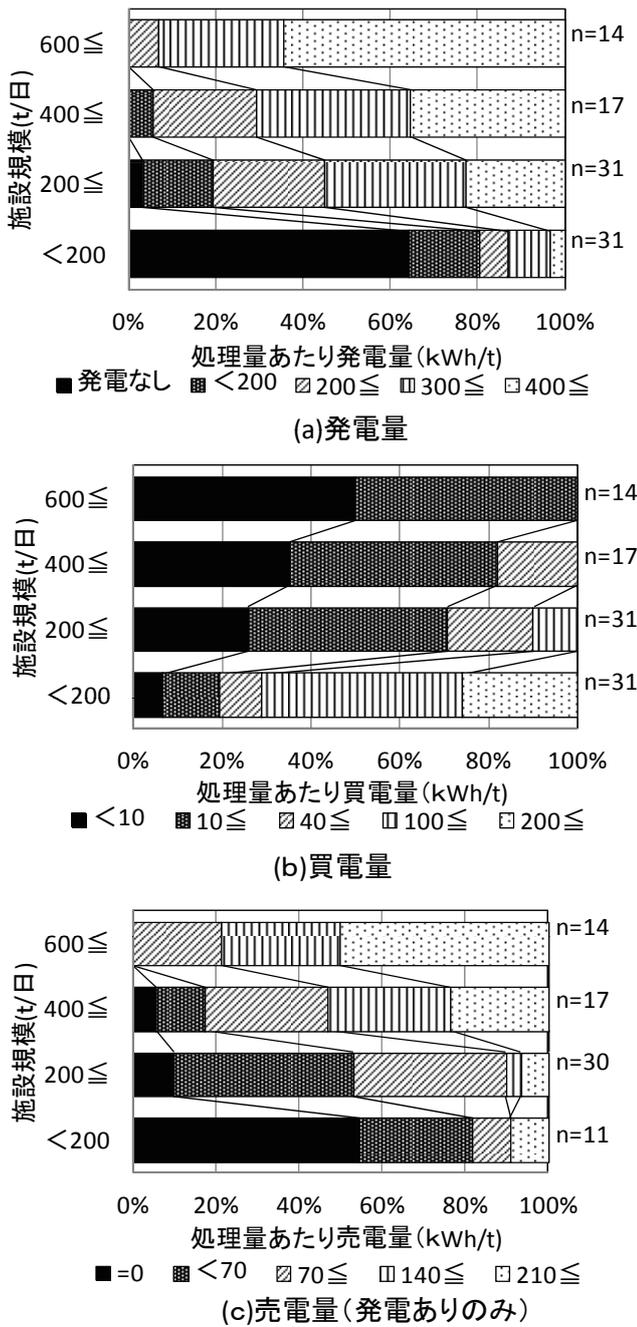


図4 施設規模と電力収支の関係(焼却1998年以降)

ある。

3. 焼却施設のエネルギーに関する分析

(1) 施設内の電力収支

施設の電力は、以下の4つに区分できる

- ① 発生：発電量
- ② 入力：買電量+外部からの無料供給量
- ③ 出力：売電量+外部への無料供給量
- ④ 消費：使用量

以上のうち計測可能なのは①②③であるが、エネルギーの収支をとるためには④の使用量が必要であり、「①

+②-③」によって求めることができる。

②③は、費用を伴う買電、売電以外に、無料供給がある。③の出力としては、無料で供給するよりも売電して収益を得ることが望ましい。そこで、売電量が③のうちどれだけの割合なのかを、発電を行い、かつ売電ありの171施設について集計したところ、表2となった。数値は、売電量を1としたときの外部への無料供給電力量を示している。無料供給がゼロの施設が63%であり、0.1以下が4分の3となっている。無料供給電力量が大きい施設もあるが、おおよそ外部取り出しの大部分は売電であるといつてよい。一方、②のうち外部からの無料供給がある施設はゼロであり、すべての入力は買電であった。

表2 売電量に対する外部無料供給電力量の比(発電ありかつ売電ありの171施設)

電力割合	施設数	割合[%]
ゼロ	107	62.6
~0.05	12	7.0
~0.1	12	7.0
~0.15	5	2.9
~0.2	3	1.8
~0.3	9	5.3
~0.5	5	2.9
~1.0	6	3.5
~2.0	4	2.3
~5.0	5	2.9
5.0以上	3	1.8

③の出力が大きくても、②の入力が同様に大きければ、それは見かけのエネルギー生産にすぎなくなる。②③は施設によって大きく量が異なるため発電量に対する比とし、①発電量に対する②入力、③出力の割合を、図5の縦軸、横軸にとってプロットした。右へ行くほど電力の取り出し割合が多く、エネルギー生産施設としては有効であるが、上へ行くほど正味の取り出し量は小さくなる。全体に、プロットは左下に集中している。外部供給/発電量が0.2より小さい施設はガス化溶融、灰溶融ありの焼却であり、これらの施設は外部からの供給量も多くなっている。中には、発電量と同等かそれ以上の電力を、外部から供給しているところもある。ただし、燃烧装置形式が同じでも施設間でのばらつきは大きく、横軸<0.2の施設を除けば、外部への供給量>外部からの供給量である。すなわち、一部の施設以外は、エネルギー生産施設となっている

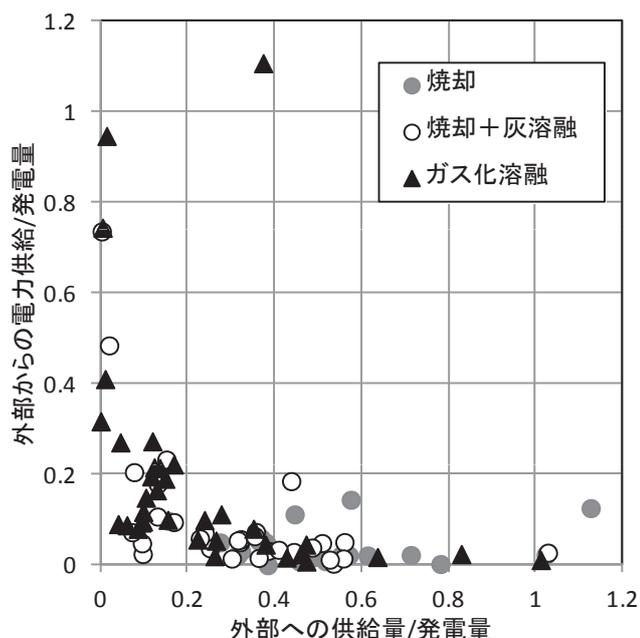


図5 発電量に対する外部への供給量(横軸)と外部からの供給量(縦軸)の関係

ことがわかる。

この横軸の分布を、施設種類ごとに描くと図6となる。焼却は75%の施設が0.2~0.6の範囲であり、灰溶融ありの焼却も63%がその範囲にある。一方、ガス化溶融は80%の施設が0.4以下であり、0.1以下も30%あり、外部へのエネルギー取り出しが小さいことがわかる。図には参考のため1998年以前の焼却施設も示している。分布の幅が広いが、0.6~0.8が20%あり、新しい焼却施設と較べて外部への取り出しが小さいとは言えない。

(2) 処理量あたりの発電量, 使用量, 外部取り出し量

ごみ処理量あたりの発電量, 電気使用量, および外部取り出し電力量を図7に示す。図中, 算術平均を「×」, 中央値を「-」で示した。中央値とは, 数値を大きさの順に並べて小さい方から50%に相当する値である。また長方形の下側の辺は25%値, 上側の辺は75%値であり, この差(四分位偏差)がばらつきを表す。長方形の上側の辺から伸びる線の先端は, 75%値+1.5×四分位偏差, 下側の辺から伸びる線の先端は第25%値-1.5×四分位偏差であり, これらの範囲に入らない数値を外れ値とした。図6のような分布図から平均的な数値を読みとることは難しいが, 図7は焼却装置間の比較が容易になる。

図7(a)より, ガス化溶融は発電量がやや小さいが, 焼却装置間で大きな差はない。一方, 図7(b)より電気

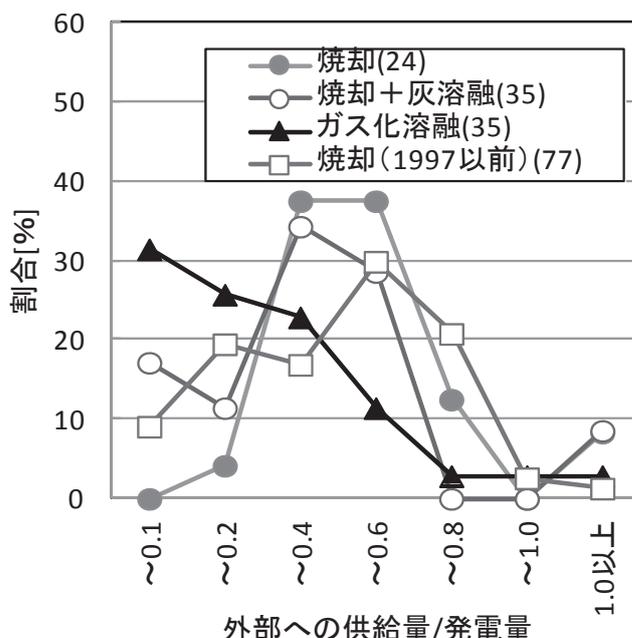


図6 発電量に対する外部供給量の比(発電あり, 売電ありの施設)

使用量を見ると, 灰溶融ありの焼却は電気式, 燃料式ともに, またガス化溶融は, 灰溶融のない焼却施設よりも電気使用量が多い。ガス化溶融は, 流動床式, キルン式, シャフト式の間大きな差はなかった。ごみ処理量あたりの電気使用量の単純平均を求めると, 灰溶融なしの焼却は150kWh/t前後であり, 灰溶融を備えた焼却は電気式と燃料式それぞれ299kWh/t, 316kWh/t, ガス化溶融は326kWh/tとなった。図7(a)(b)に1998年以前の焼却施設を参考に載せたが, 発電量, 電気使用量ともに1998年以降の施設よりも小さいことがわかる。

図7(c)は, ごみあたりの外部への電力供給量であり, エネルギー生産施設としての効率を表す。図7(a)(b)の結果から予想されるように, 灰溶融なしの焼却>灰溶融ありの焼却>ガス化溶融の順となっている。中央値は, それぞれ151kWh/t, 119kWh/t, 91kWh/tとなっている。(ただし, 外部からの買電等もあるので, それを差し引いた正味の電力供給量をエネルギー生産の評価とするのがよい。)

(3) 発電量に対する売電量の割合

図8は, 発電量に対する売電量の比を示した。大きいほどエネルギー生産施設として良いと言えるが, 焼却灰溶融なし>焼却灰溶融あり電気式>焼却灰溶融あり燃料式>ガス化溶融の順となっている。図6に示したようにガス化溶融施設の発電量は焼却灰溶融なし

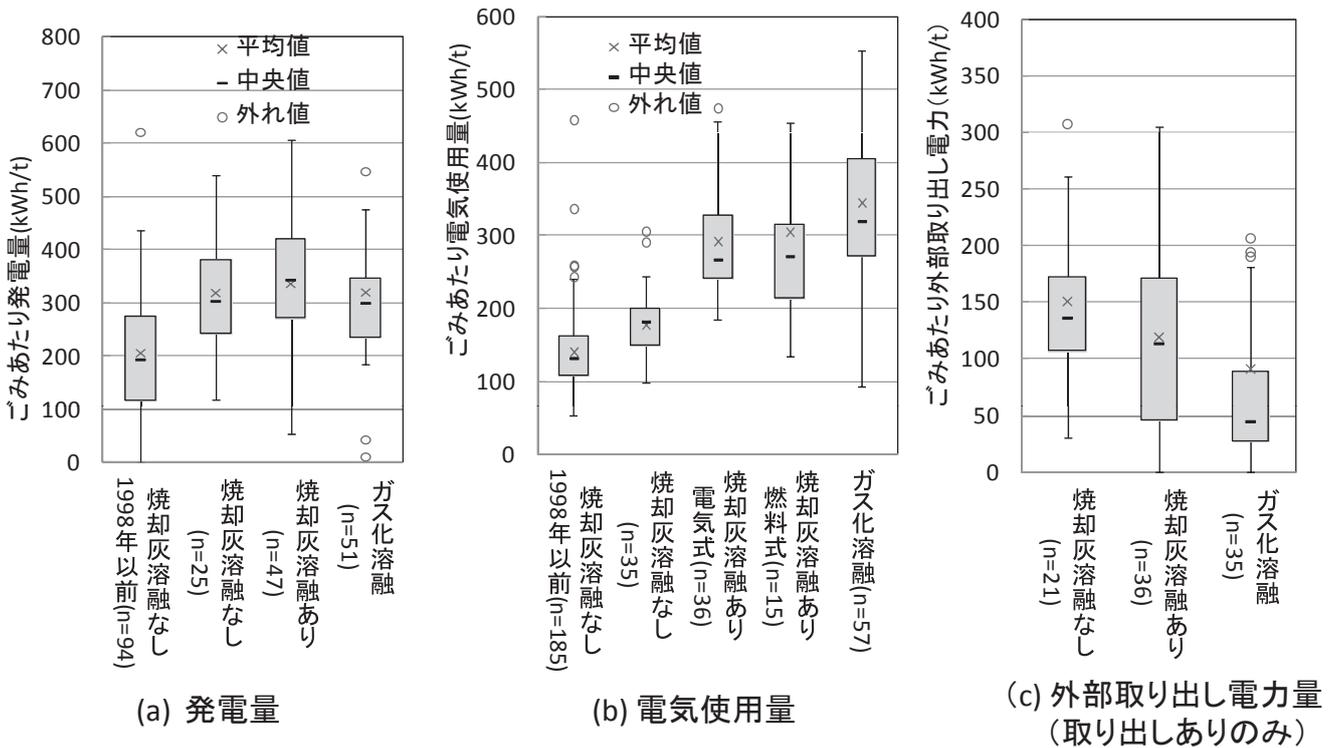


図7 燃焼装置形式別の処理量あたり発電量・電気使用量・取り出し電力量(kWh/ t) (発電ありのみ)

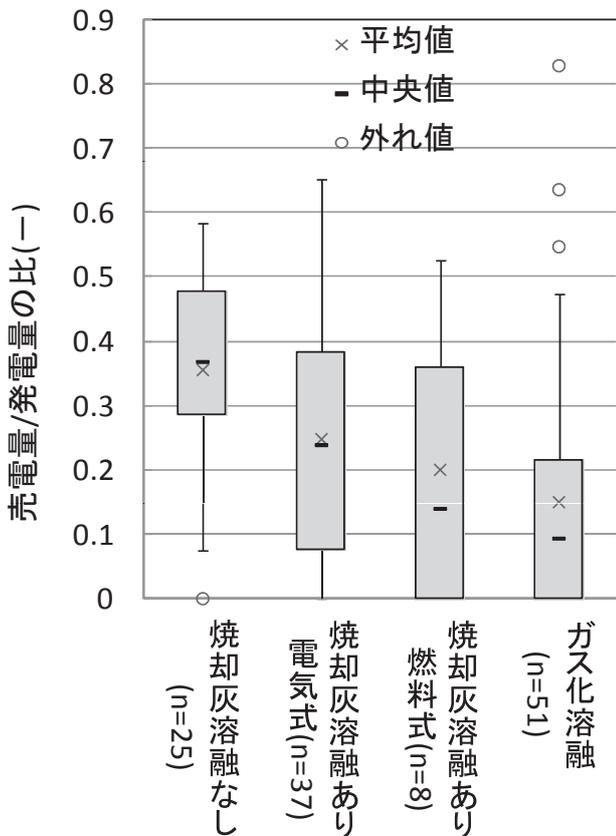


図8 発電量に対する売電量の比

(1998年以降)とほぼ同じであるが、施設内の使用量が大きく(図7(b)), 売電率は焼却灰溶融なしの0.3~0.4程度であるのに対し、ガス化溶融は0.2以下となっている。

(4) 熱利用量

アンケートでは施設の概要として、「所外熱利用を行っているか」を尋ねたところ、約半数の施設がありと回答した(アンケート回答全施設について)。しかし実際の供給量を記入してもらったところ、図9左のように蒸気の所外利用は10~20%にすぎなかった。(利用形態は温水よりも蒸気が多い)

アンケートでは蒸気量をt単位で回答してもらったが、ごみ処理量が異なる施設間で比較できない。そのため、蒸気の発熱量を2.68MJ/kg(100℃ 1気圧飽和乾蒸気)、ごみの発熱量を8639KJ/kgと仮定し、ごみのもつ熱量あたりどれだけを蒸気の熱として外部に取り出したかを計算した。その結果、図10のようになり、全施設の約80%はほとんど外部への取り出しがない。また、取り出している施設でもごみの持つ熱量の2%~6%と極めて少ないことがわかった。

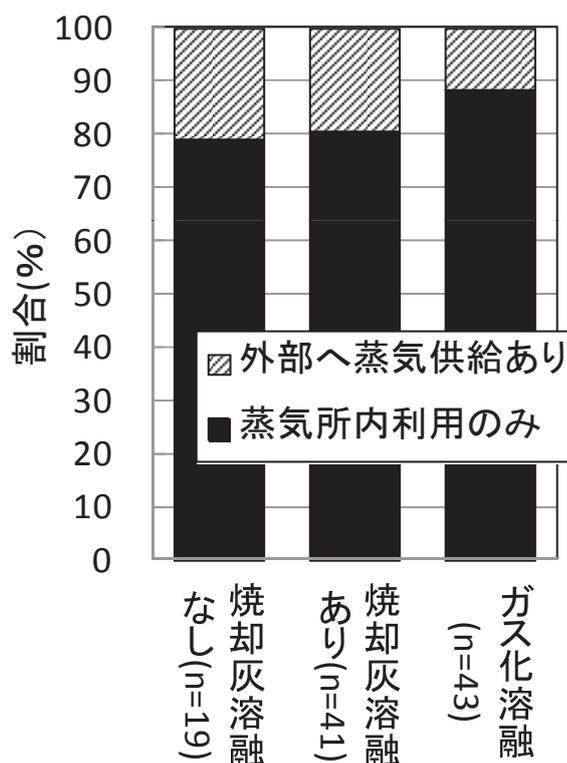


図9 蒸気の利用方法

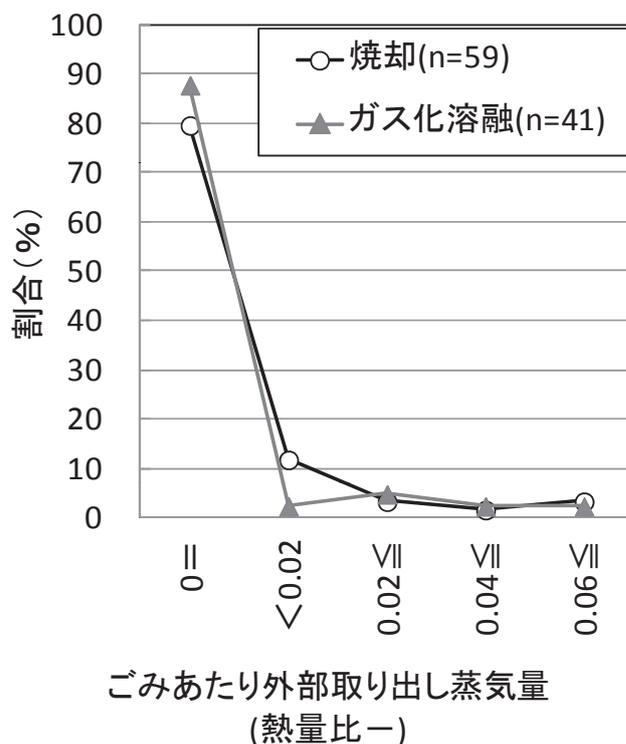


図10 ごみあたりの外部取り出し蒸気量 (熱量基準)

4. おわりに

ごみからのエネルギー回収性能は、発電効率で評価されることが多い。しかし発電量の大部分を所内消費し、外部へ供給できる電力が少なければ、エネルギー回収施設としては好ましくない。ごみ処理施設からのエネルギー回収を目的とするならば、施設におけるエネルギー収支を基本的データとして把握しなければならない。

筆者らのアンケートは、きわめて単純である。電力については2(1)に示した発生、入力、出力を質問するだけであり、これらから消費量を推定した。入力、出力は、経済収支を考えると買電、売電と無料を区別する必要があるが、エネルギー収支の点からは単に入力、出力でよく、まずそれらを探ね、その内訳として有償の有無を区別すればよい。熱については入力がないので、発生した熱の内部、外部利用の内訳、あるいは全利用量とそのうちの外部供給量を尋ねればよい。こうした項目を一般廃棄物処理実態調査に組み入れれば、ごみ焼却のエネルギー回収に関する有用なデータが得られるであろう。

筆者ら独自の調査であったため、アンケート回答施設は全連続式のうち62%にとどまっている。しかしご

み焼却施設が、本当にエネルギー回収施設と言えるとの肯定的な結果とはならなかった。特に、一部の施設は外からのエネルギー供給が多く、エネルギー生産とはなっていない。こうしたデータをもとに、問題点、改善点を明らかにし、持続可能な社会、循環型社会にふさわしい技術が確立されていくことを望みたい。

なお、本研究は平成23~24年度循環型社会形成推進化学研究費補助金のもとで「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」(K22006)として実施したもので、本稿ではその一部と新たに行ったデータ分析結果を表題に合わせて再整理した。環境省科研の報告書は下記研究室ホームページにPDFとして全文を公開しているので、ご覧ください。

<http://wastegr2-er.eng.hokudai.ac.jp/home/report.html>