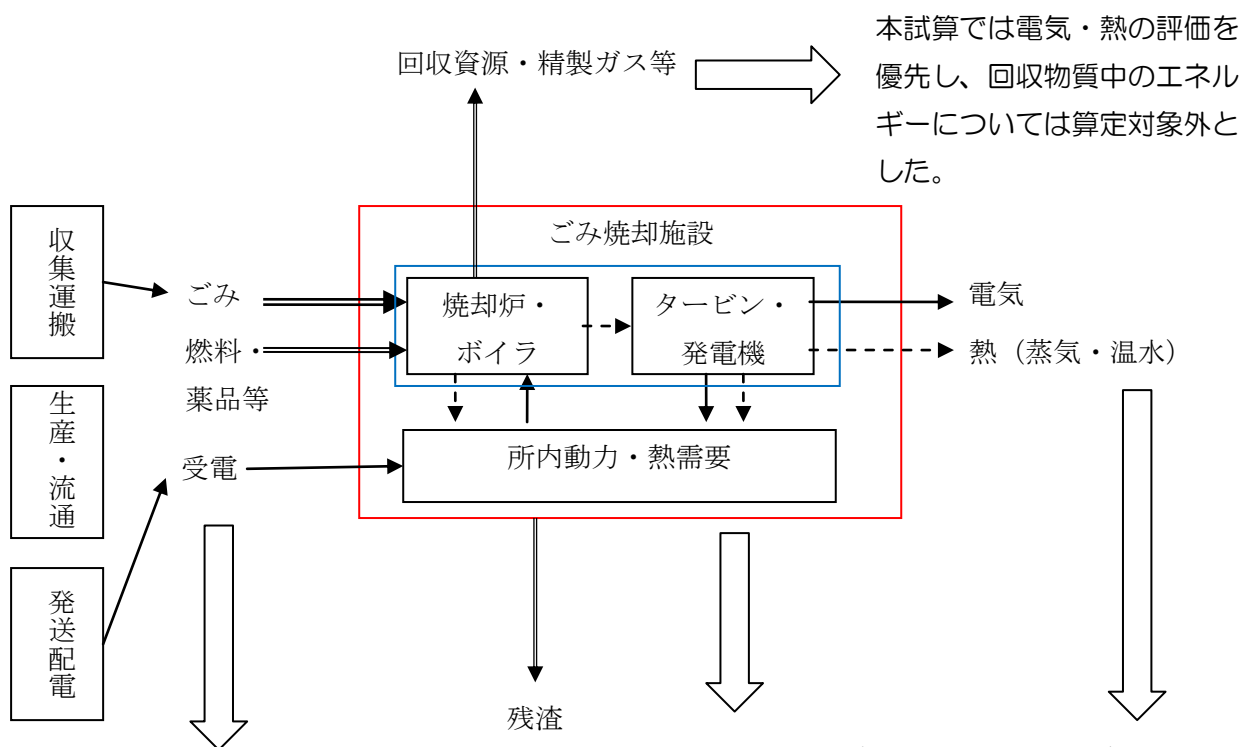


(2) 既存データを用いた評価指標の設定と試算

1) 効率指標の対象範囲・項目

① 評価指標の設定

入出力フローのイメージと対象とする評価範囲・項目について下図に示す。



本試算では電気・熱の評価を優先し、回収物質中のエネルギーについては算定対象外とした。

本試算では、入力側は資源採掘等の上流まで遡及せず、施設に入ってくる部分のエネルギーで評価した。

(1kWh=3.6MJ)

算定対象も、廃棄物・燃料・電気に限定した。

本試算では、出力(電気・熱)について、場内利用も含めた場合のほか、GHG削減効果の観点より、特にごみ焼却施設を境界とした評価(送電端・送出端)(ネットのエネルギー供給効率)を重視した。

既存データでは特に熱の利用先・利用方法は不明であるため、抽出された施設についてヒアリングで把握し、CO₂削減効果の評価等に反映させることとした。

図 I-3-(2)-1 考えられる評価範囲・対象要素と本試算での設定

本試算では、焼却施設単体としてのエネルギー変換効率の評価に重点を置くこととした。

このため、出力はまず電気と熱に着目(限定)し、回収資源・精製ガス等の物質としての回収は、今回の試算では含めないものとした。

入力側についても、焼却施設側で把握可能なデータ(入力量)から評価可能な範囲で算定することとして、収集運搬等の上流側は含めなかった。

以上を踏まえて、表 I-3-(2)-1 のとおり試算対象とする指標を設定した。(指標名称は仮称)

表 I-3-(2)-1 評価範囲・入出力項目に対応した指標（名称は仮称）

指標（仮称）		範囲	入力項目 （分母）	出力項目 （分子）
発電端 （発生端）	ごみ発電効率	焼却～発電のごみ・燃料の変換設備 （ <input type="checkbox"/> 青枠の範囲）	ごみの発熱量	電気（発電量）
	総合発電効率		ごみ及び燃料の発熱量	所内消費含む 1kWh=3.6MJ
	総合効率			電気（発電量）、蒸気、温水 所内消費含む 1kWh=3.6MJ
	エネルギー回収効率			電気（発電量）＋有効熱量×0.46 所内消費含む 1kWh=3.6MJ
送電端 （送出席）	ごみ発電効率	ごみ焼却施設 （ <input type="checkbox"/> 赤枠の範囲）	ごみの発熱量	電気（発電量） －場内消費電力量
	総合発電効率		ごみ及び燃料の発熱量	電気（発電量）－場内消費電力量＋蒸気・温水（場外供給分）
	総合効率			
	エネルギー回収効率			

注）発熱量については低位発熱量で表示することとした。

【参考】受電量の取り扱いに応じた指標の定義・算出式について

受電量の扱いとしては、出力から差し引くか、または、入力に加える、二つの指標化が考えられる。

エネルギー回収の強化という観点からは、ネットの送電量が正であることが求められると考えられるので、本試算では受電量については出力から控除して計算した。発電量から場内消費量を引いた場外への「ネット」の送電量については、発電を行っている場合でも、マイナスとなる。この場合、分母をごみ等の発熱量とした効率指標では、適切な評価できない。このため、ネットの送電量がマイナスとなる施設は除外されることから、評価可能施設数は減少することになる。

なお、入力に加える指標化では、分母は「ごみ・燃料の発熱量＋受電電力量（例えば 1kWh = 8.81MJ で換算）」とし、分子は「場外への送電量」という形式となると考えられる。

2) 試算に用いたデータ

[要点]

- (ア) 一般廃棄物処理事業実態調査のデータ（平成 24 年度）を主に参照した。
- (イ) 同調査における「発電効率」の欄は、施設により仕様値等の場合と計算値の場合があり、外部燃料を入熱量に加えるかどうかも施設により違いがある可能性がある。よって、本試算では、ごみ処理量、ごみ・燃料発熱量及び発電量等から計算した値を統一的に用いた。ただし、仕様値等と計算値には、一定の相違があると考えられる（決定係数 $R^2=0.6$ 程度以下）。
- (ウ) 循環型社会形成推進交付金の定義におけるエネルギー回収率の計算における有効熱量では、プラント熱利用は含まれないが、実態調査データの余熱利用量には含まれていることも考えられる。このため、発生端での試算結果は交付金の有効熱量の考え方と相違している可能性が高い。一方、送出端での評価では、交付金の有効熱量の考え方と基本的には整合すると考えられる。
- (エ) ごみ発熱量は、①実測値、②計算値、③全施設の実測値の算術平均値の優先順位で適用した。なお、実測値と計算値の相関は決定係数 $R^2=0.51$ であった。
- (オ) 施設の電力収支について、発電電力量＋受電量（買電＋他施設より）＝自施設消費量＋送電量（売電＋他施設へ供給）は、基本的にはバランスするはずであるが、データ上はアンバランスの施設も一定存在する。比較的处理能力の大きな施設について確認したところ、記載ミスも多い。（正值が判明したデータはそれぞれ修正した。）一方で、一部にはコジェネ発電量を計上していないⁱなどの回答すべき数値の解釈による違いもあった。また、発電能力欄における「うち外部供給量（実績値）」は、施設により回答すべき数値の解釈が相違していることが多いことが判明した。本試算では、「うち外部供給量（実績値）」は用いず、「売却電力量」と「他施設へ供給した電力量の和」を外部送電量として用いた。

本調査では、以下の 2 つの資料における用語の定義等を確認した上で、表 I-3-(2)-1 に示す名称・定義を用いた。

- ・「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル」（環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、平成 26 年 3 月）

平成 26 年度から循環型社会形成推進交付金において、高効率エネルギー回収等の強化にあたり重点化を図る事業が創設されたことを踏まえ必要な情報を市町村等に対して情報提供することを目的に策定されたもの。ここでは、「1-2 用語の定義」を参照した。

- ・「日本の廃棄物処理 平成 24 年度版」（平成 26 年 3 月、環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課）

本試算で用いている「一般廃棄物処理事業実態調査（平成 24 年度）」の結果を取りまとめた文書。ここでは、「日本の廃棄物処理に関する基本的な用語」を参照した。

ⁱ このケースでは、燃料使用量にコジェネ（ガス発電機）分も含まれていたため発電量にガス発電機分を加えた。

ア) 発電効率

「マニュアル」では、ごみ発電施設では、発電効率は発電量をごみと外部燃料の熱量の和で除した値であるとしている。

一方、本試算で用いた実態調査に基づく「日本の廃棄物処理」では、発電効率は標準ごみ質における仕様値、公称値等を計上しているとされている。なお、ごみ焼却施設における発電効率は、高効率ごみ発電施設整備マニュアルに発電効率＝発電出力／投入エネルギー（ごみ＋外部燃料）と定義されているが、仕様値等が無い場合は以下に示す式で算出しているとされている。

$$\text{発電効率(\%)} = \frac{3600[\text{kJ/kWh}] \times \text{総発電量(kWh/年)}}{1000[\text{kg/t}] \times \text{ごみ焼却量[t/年]} \times \text{ごみ発熱量[kJ/kg]}} \times 100$$

従って、実態調査データにおける「発電効率」には、分母に外部燃料を含む施設と、含まない施設の両方があると考えられる。

このため、本調査では、「発電効率」について、分母に外部燃料を含む場合を「総合発電効率」、含まない（ごみの発熱量だけ）の場合を「ごみ発電効率」と仮称して、区別して扱った。

なお、この点の状況を確認するために、実態調査データにおいて示された「発電効率」と、上式で計算された「ごみ発電効率」を比較したところ、1：1の関係にあるもの、つまり上掲の「算出式」に基づくデータと、1：1の関係にないもの、つまり「仕様値等」も、それぞれ一定数があると推測された（図 I-3-(2)-2）。さらに、実態調査データにおいて示された「発電効率」と、ごみ発熱量と外部燃料使用量に基づき計算した「総合発電効率」を比較したところ、やはり同様のばらつきが見られた。一方で、1：1の線上に分布している施設も引き続き一定数みられる（図 I-3-(2)-3）。

従って、全体的な傾向としては、①発電効率に与える外部燃料の影響は小さい場合が多く、②発電効率の仕様値等とごみ発電効率の計算値の乖離は、ごみ発熱量の数値の誤差や実際のごみ質の基準発熱量からの乖離等に基づく仕様値等と実態値では乖離があることを示していると考えられる。

本試算では以降、ごみ処理量、ごみ・燃料発熱量及び発電量等から計算した値を効率指標として用いることとし、仕様値等の欄は用いなかった。

イ) エネルギー回収効率

エネルギー回収効率とは、「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル」（環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、平成 26 年 3 月）では、発電効率と熱利用率の和であり、熱利用率は供給先で有効に利用された有効熱量に電気／熱の等価係数（0.46）を乗じた熱量を入熱で除した割合とされている。

ここで有効熱量としては、施設内においては給湯、冷暖房等への熱供給は該当するが、燃焼用空気予熱、排ガス再加熱、白煙防止用空気加熱、脱気器加熱等のプラント熱利用は含めないとされている。

一方、「日本の廃棄物」では、余熱利用については場内温水及び場外温水が含まれるが、用語の説明においては、その用途についての言及はない。

本試算では、余熱利用量のうち場内温水・蒸気についても、一旦、エネルギー回収率（及び総合効率）の分子（供給エネルギー）に含めて計算を行うこととした。（発生端における評価指標が対象。送出端を対象とする場合は、そもそも場内利用は含まれない。）

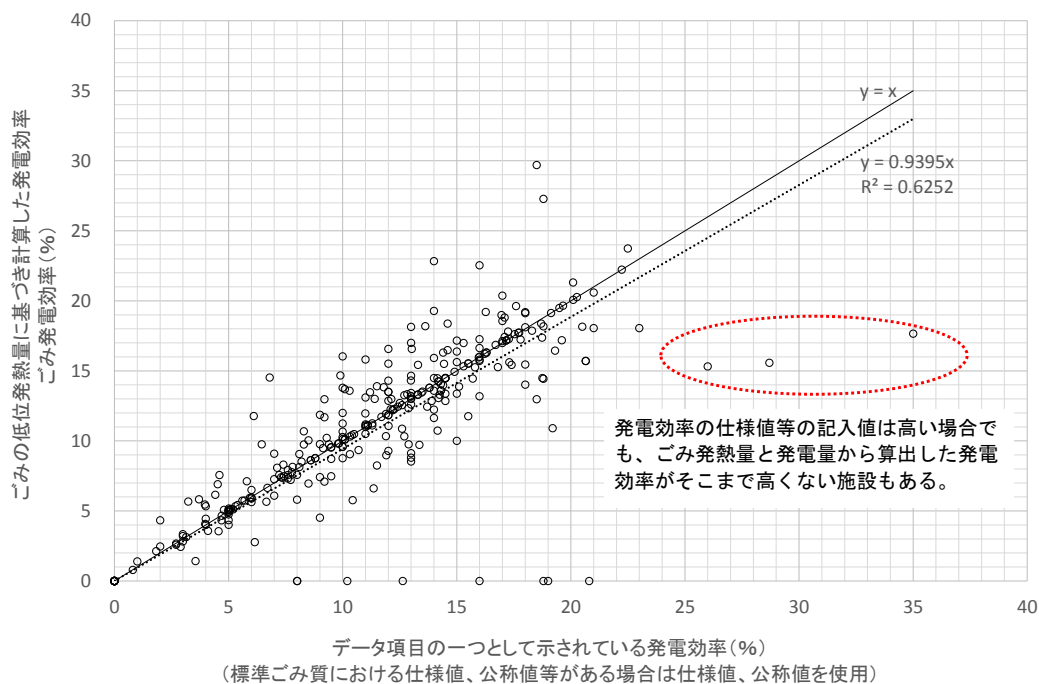


図 I-3-(2)-2 発電効率の記載値とごみの低位発熱量に基づき計算した値（外部燃料なし）の相関

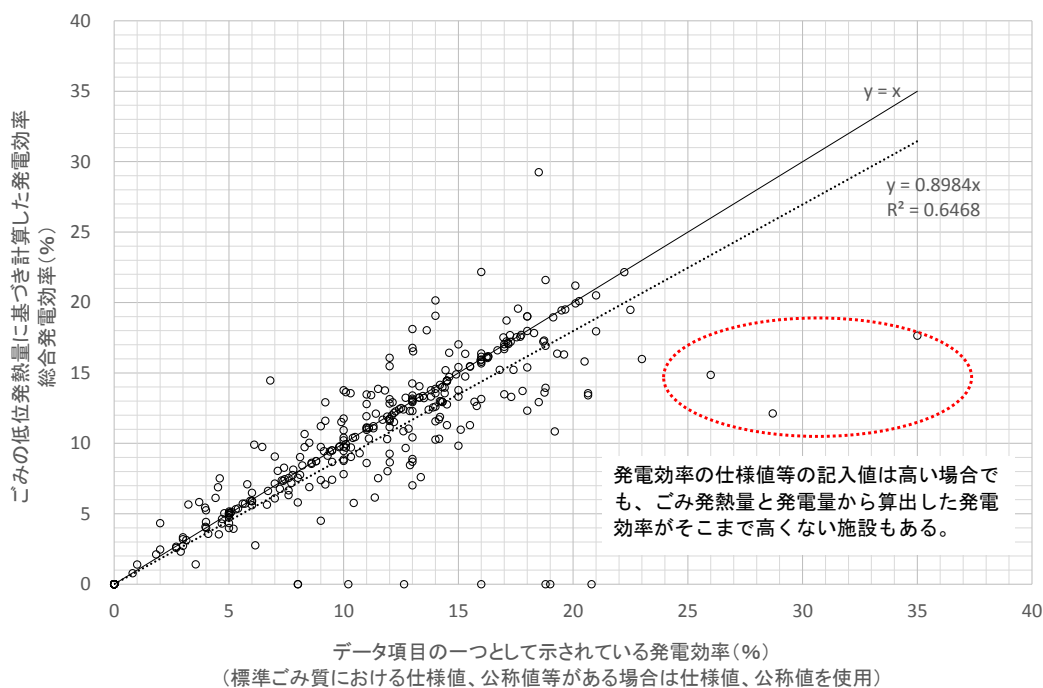


図 I-3-(2)-3 発電効率の記載値とごみの低位発熱量に基づき計算した値（外部燃料あり）の相関

ウ) ごみ発熱量

ごみ発熱量については、一般廃棄物処理事業実態調査について、①「当該施設の実測値」がある場合はその値を、ない場合は②「当該施設の計算値」を用い、いずれもない施設については、③「全施設の実測値（0の施設を除く。）の算術平均値（単純平均値）」を用いた。

なお、実測値と平均値が両方ある施設のデータについては、以下のような関係がみられた。

- ・ 全体的に計算値よりも実測値のほうが大きい値が多い傾向がみられる。
- ・ 実測値が15000(kJ/kg)よりも大きいものは計算値と大きくずれているものが多い。

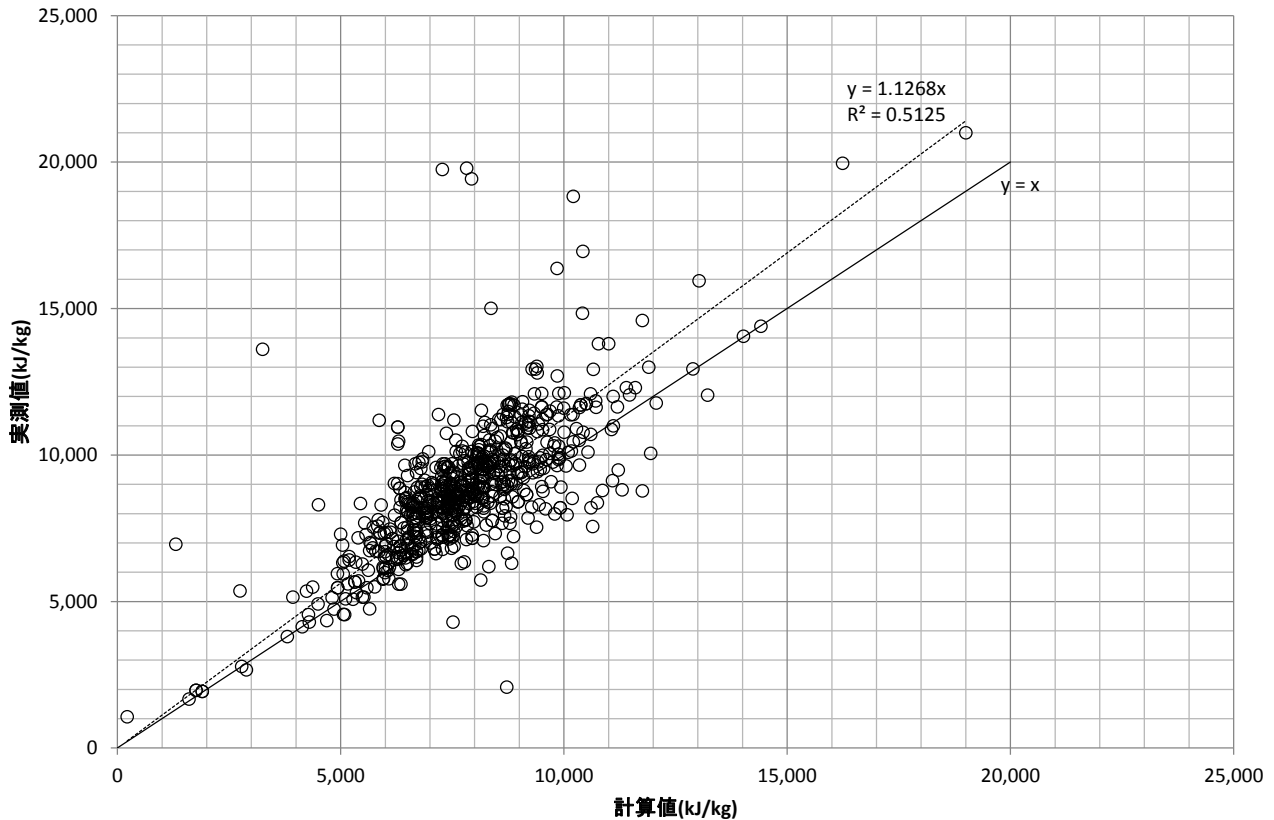


図 I-3-(2)-4 ごみ発熱量の相関（いずれかもしくは両方が0並びに明らかな異常値を除く）

エ) 電力量

電力量の収支は、基本的には下図のようになると考えられる。ただし、外部への送電量のうち、売電するはずが無償で引き取られた電力量があったといった事情があれば、乖離しうる。また、計量の端数処理等の関係で、必ずしも厳密に一致するとは限らない。

【電力の「入」】

発電量	受電量
-----	-----

【電力の「出」】

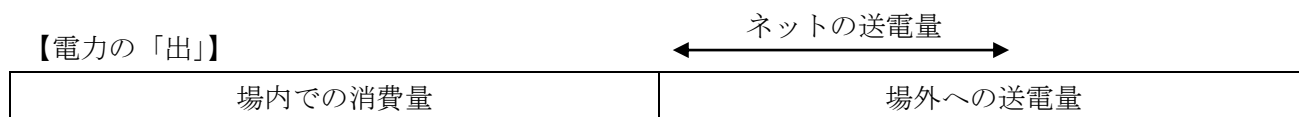


図 I-3-(2)-5 電力量の収支（ネットの送電量がプラスの場合）

これらの数値として用いるデータについて確認したところ、以下のようであった。

(a) 実態調査の発電能力欄における「うち外部供給量（実績値）」が、「処理施設での燃料使用量等」の大区分の中の調査項目である「売却電力量」と「他施設へ供給した電力量」の和に合致しない施設が、処理能力の大きな施設においても多数ある。合致しない施設のうち、少なくとも処理規模が大きい施設については、「うち外部供給量（実績値）」として「他施設へ供給した電力量」のみを計上しており、「売却電力量」を計上していないことによることが分かった。なお、「日本の廃棄物処理」においては、「うち外部供給量（実績値）」の定義は示されていない。

従って、本試算では外部送電量については、発電能力欄における「うち外部供給量（実績値）」はデータとして用いないこととし、「処理施設での燃料使用量等」の大区分の中の調査項目である「売却電力量」と「他施設へ供給した電力量」の和を用いることとした。

(b) これに比べて、発電能力欄における「総発電量（実績値）」が、「処理施設での燃料使用量等」の大区分の中の調査項目であると「発電電力量」に合致しない施設は、特に処理能力の大きな施設においてはごく一部にとどまる。

(c) ネットの場外送電量の計算として「発電電力量－当該施設で使用した電力量」と「外部送電量（売却電力量＋他施設へ供給した電力量）－受電量（購入電力量＋関連する施設から供給された電力量）」が一致しない施設は、「うち外部供給量（実績値）」ほどではないが、「総発電量（実績値）」の場合よりは多くある。

処理能力の大きな施設であって、比較的大きい乖離（プラスの場合もあればマイナスの場合もある。）が見られる施設としては、大都市の焼却施設も含まれる。これらについては、順次確認している。その中には、単純に記載ミスのもので、コジェネの発電量を計上しなかったといった項目定義の解釈によるものがあつた。

(オ) 余熱利用量

「日本の廃棄物処理」では、以下のように余熱利用量及び外部熱供給量には、発電利用分は含まれない。

・余熱利用量

総余熱利用量は余熱利用（場内温水、場外温水、場内蒸気、場外蒸気、発電（場内利用）、発電（場外利用）、その他）の量の総和を計上している。

余熱利用量及び外部熱供給量は標準ごみ質における仕様値、公称値等（年間値）を表示しており、平成 24 年度における余熱利用量及び外部熱供給量が把握(データログ又は計算値)出来ている場合は実績値を記入してある。なお、発電利用分は含まない。

注) 下線は引用時

(カ) ごみ以外（燃料等）の発熱量について

地球温暖化対策推進法に基づく算定報告公表制度における単位発熱量等を用いた。

(3) 試算結果に基づく調査対象事例の抽出

[要点]

- (ア) 焼却ごみ量に加えて燃料投入量も入力エネルギーとして計上した場合の発電効率を試算したところ、焼却ごみ量に対する発電効率と変わらない施設が多いが、中には1%以上発電効率が低下する施設もあった。
- (イ) 場内利用も含めた場合には、熱（蒸気・温水）と電気を単純合算した総合効率指標では、非常に高い効率で評価される施設が多い。
- (ウ) しかし、外部へのエネルギー供給量で評価した総合効率をみれば、全体的には、場内利用分も含む総合効率が20%程度までは同様に向上する傾向があるものの、場内利用分も含めた総合効率が20%以上になっても、それ以上は外部への供給効率は頭打ちとなる傾向にある。（場内利用分も含む総合効率が高いからといって、外部への供給効率が低いとはいえない。）
- (エ) 焼却施設外部へのエネルギー供給という観点では、熱と電気を単純合算した総合効率をみても発電効率と大きく変わらない施設が多い一方で、一部には20%を上回る高い総合効率値が算定される施設が複数あった。これらは、①全量熱供給型（特殊または古い）、②電力自家消費・外部熱供給中心型（地域熱供給への余熱供給を含む3施設）、③外部送電・熱供給両立型（当初抽出されたが、データを施設側に問い合わせたところ誤記であった。）、④高効率発電型（熱利用は補助的）に分けられる。
- 発電のみならず熱もあわせて利用する観点から、②をヒアリング対象として想定した。②は、電気と熱のトレードオフの状況、及び、今後の更新等での方向性や課題等に重点を置くこととした。

1) 送電端（送出端）の試算結果と事例の抽出

① エネルギー変換効率指標と処理規模との関係

処理能力と各種効率指標の試算値との関係を図 I-3-(3)-1 に示す。

送電端でみると、発電効率が15%を超える施設は1～2施設しかない。一方、熱量を単純に電力量と合算した総合効率で見れば、15%を超えている施設の数が増加し、さらに非常に高い総合効率となっている施設も一部にある。

そこで、総合効率の上位施設を10件程度抽出する視点より、15%以上の施設を抽出した（表 I-3-(3)-1）ところ、最終的に（当初抽出された施設についてデータの確認・修正も行った結果として）8施設が該当した。これらを以下のような4つのグループに分けて、整理することとした。ただし、以下のうちタイプ④は基本的には高効率発電主体の施設であるため、本節では調査対象事例として取り上げないこととした。

また、エネルギー回収効率で評価した場合については、同じく10件程度を抽出することを目安に、12%以上の施設を参考として表 I-3-(3)-2 に抽出した。

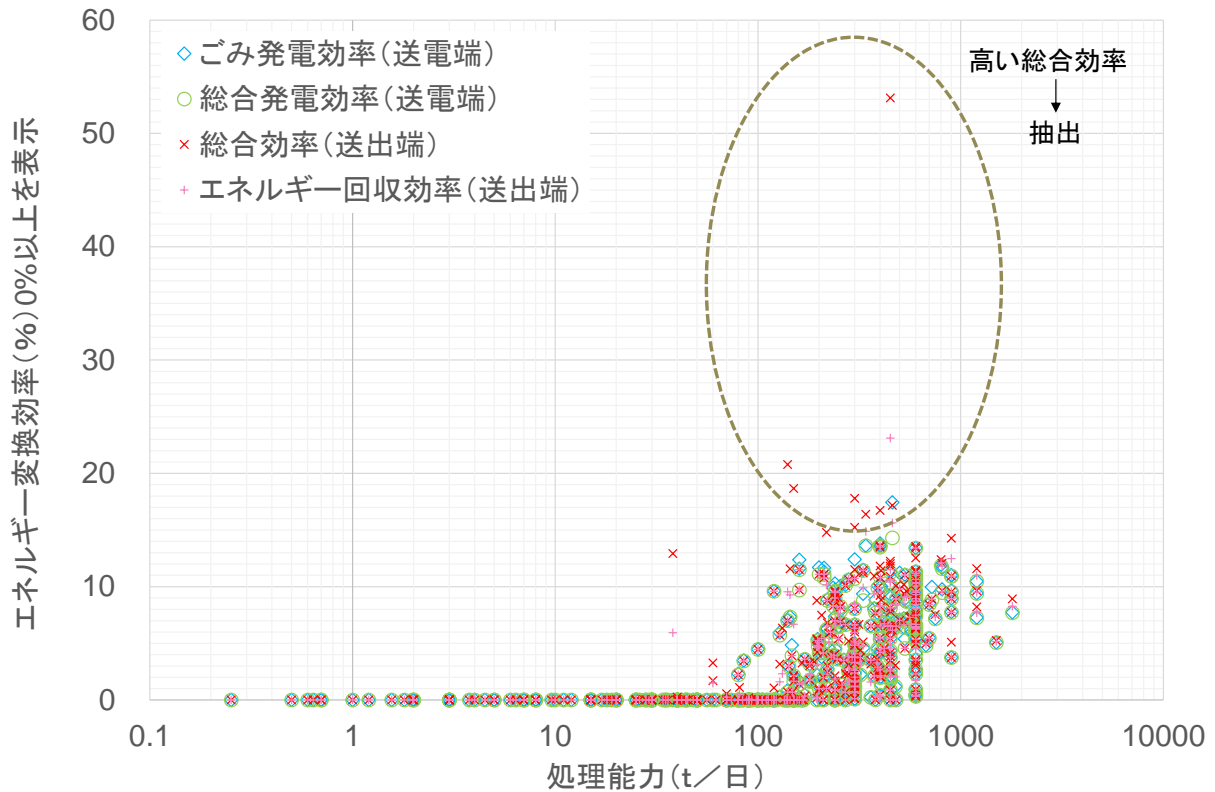


図 I-3-(3)-1 エネルギー変換効率指標と処理規模との関係

ア) 発電を行っておらず（発電端の発電効率が0%）熱利用のみ

3施設→使用開始は1985～1991年と比較的古い。

※うち一つは、いわゆるスーパーごみ発電方式である。

※その他のうち一つは、電力収支に関するデータが欠損している可能性がある。

イ) 発電は行っているがネットでは送電できておらず（送電端発電効率が約0%またはマイナス）、専ら熱利用率が高い

J 清掃工場（1994）、K 清掃工場（1983）、I 清掃工場（1986）

→発電効率が小さく、熱利用とトレードオフになっている可能性もありうると考えられた。

ウ) 外部にもネットで一定送電できており、かつ、熱利用により総合効率が大きく高まっている

→効果的な熱利用ができている可能性がある。しかし、実際にデータを確認したところ、誤記であることが判明し、現時点ではこれに該当する施設は抽出されていない。

エ) 外部にもネットで送電できており、かつ、熱利用により総合効率が一定（<数%）高まっている

2施設

→使用開始は1997～2011年と比較的新しい施設が多い。

表 I-3-(3)-1 総合効率（送出端）が 15%以上の施設

#	処理能力 (t/日)	施設の種類	使用開始年度	発電端（発生端）%				送電端（送出端）%			
				ごみ発電効率	総合発電効率	総合効率	エネルギー回収効率	ごみ発電効率	総合発電効率	総合効率	エネルギー回収効率
1	450	焼却	1988	0.0	0.0	59.3	27.3	-2.5	-2.5	53.1	23.1
2	140	焼却	1985	0.0	0.0	29.2	13.4	0.0	0.0	20.8	9.6
3	150	焼却	1991	0.0	0.0	53.0	24.4	-3.5	-3.5	18.7	6.7
4	300	焼却	1983	8.8	8.7	26.1	16.7	0.5	0.5	17.8	8.4
5	460	焼却	1997	23.7	19.5	19.5	19.5	17.5	14.3	17.2	15.6
6	400	焼却	1994	5.1	5.1	24.0	13.8	-2.2	-2.2	16.7	6.5
7	340	焼却	2011	18.1	18.1	20.9	19.4	13.6	13.6	16.4	14.9
8	300	焼却	1986	3.6	3.5	53.9	26.7	-1.3	-1.2	15.2	6.3

表 I-3-(3)-2 エネルギー回収効率（送出端）が 12%以上の施設

#	処理能力 (t/日)	施設の種類	使用開始年度	発電端（発生端）%				送電端（送出端）%			
				ごみ発電効率	総合発電効率	総合効率	エネルギー回収効率	ごみ発電効率	総合発電効率	総合効率	エネルギー回収効率
1	450	焼却	1988	0.0	0.0	59.3	27.3	-2.5	-2.5	53.1	23.1
2	460	焼却	1997	23.7	19.5	19.5	19.5	17.5	14.3	17.2	15.6
3	340	焼却	2011	18.1	18.1	20.9	19.4	13.6	13.6	16.4	14.9
4	400	焼却	2013	29.7	29.3	57.7	42.3	13.8	13.6	13.6	13.6
5	400	焼却	2010	20.3	20.1	49.0	33.4	13.6	13.5	13.5	13.5
6	600	焼却	1994	19.5	19.4	19.4	19.4	13.4	13.4	13.4	13.4
7	900	焼却	2001	19.7	19.5	56.5	36.5	11.0	10.9	14.3	12.5
8	800	焼却	1995	17.8	17.7	18.8	18.2	11.9	11.9	12.4	12.1

② 効率指標間の関係

ごみ発電効率と総合発電効率を比較した（図 I-3-(3)-2）。発電端の場合と同様、燃料使用量を入力エネルギーに考慮した場合の影響は無視できる施設が多いが、一部に1%以上乖離している施設もみられる。

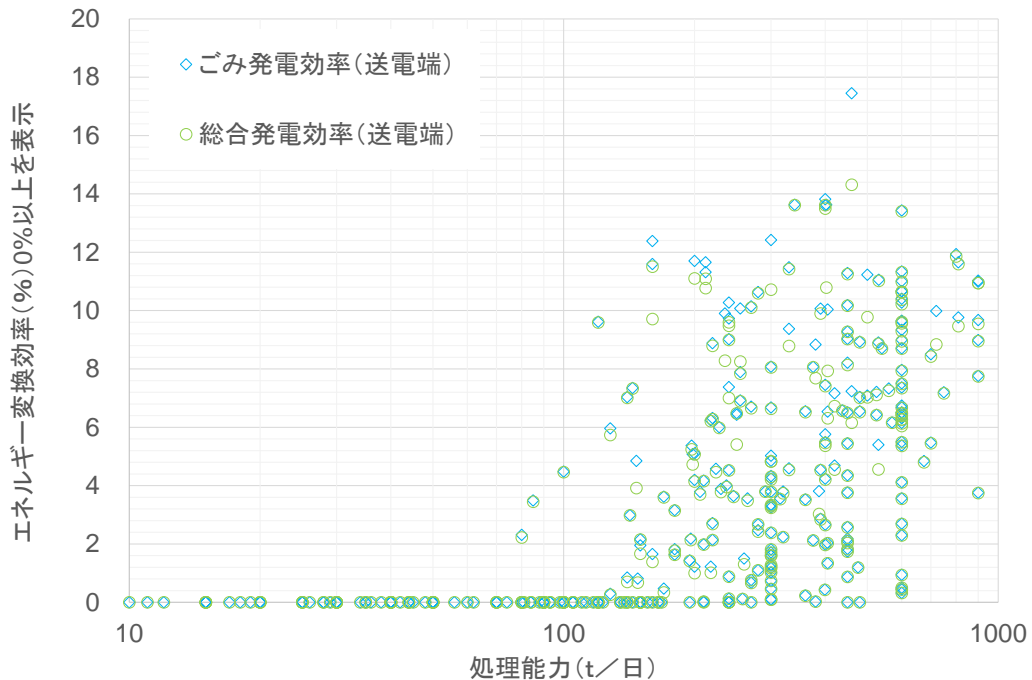


図 I-3-(3)-2 発電効率と処理規模の関係

また、ごみ発電効率とその他のエネルギー変換効率指標との関係を図 I-3-(3)-3 に示すが、発電効率が低い一方で総合効率が低い施設については、上述の抽出済の施設などである。

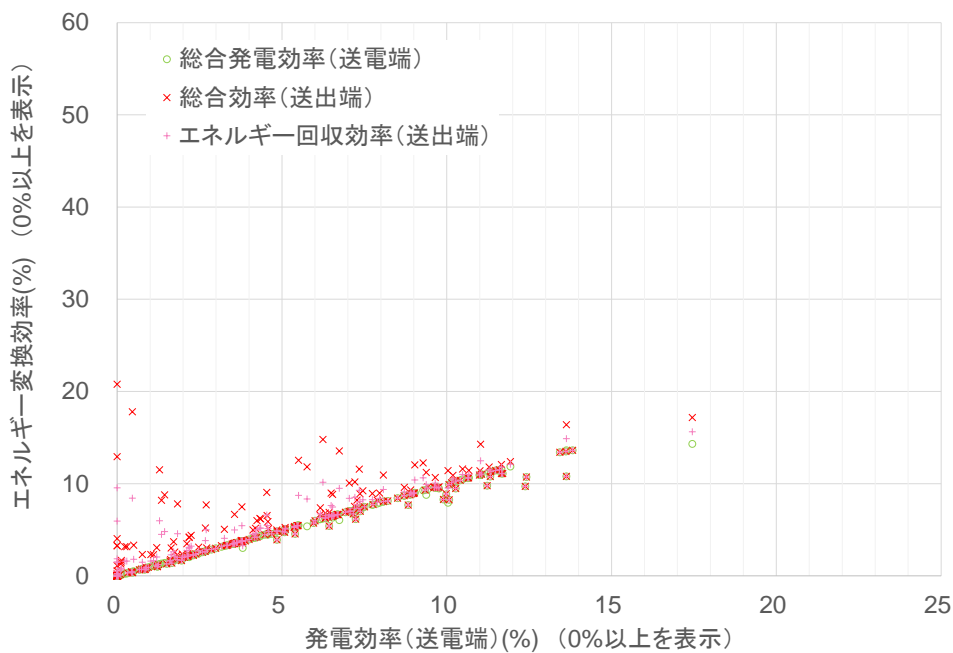


図 I-3-(3)-3 送電端(送出端)相互の関係
(データ欠損状況も踏まえ年間処理量 1000t 以上を表示)

2) 発電端（発生端）の試算結果と事例の抽出

① エネルギー変換効率指標と処理規模との関係

処理能力とエネルギー変換効率指標との関係を図示した（図 I-3-(3)-4）。

- ・ 発生端では、熱を考慮した総合効率が、発電効率を大きく上回る施設も少なくない。
- ・ 総合効率（発生端）についても、処理能力が大きくなるほど効率の高い施設が増える。

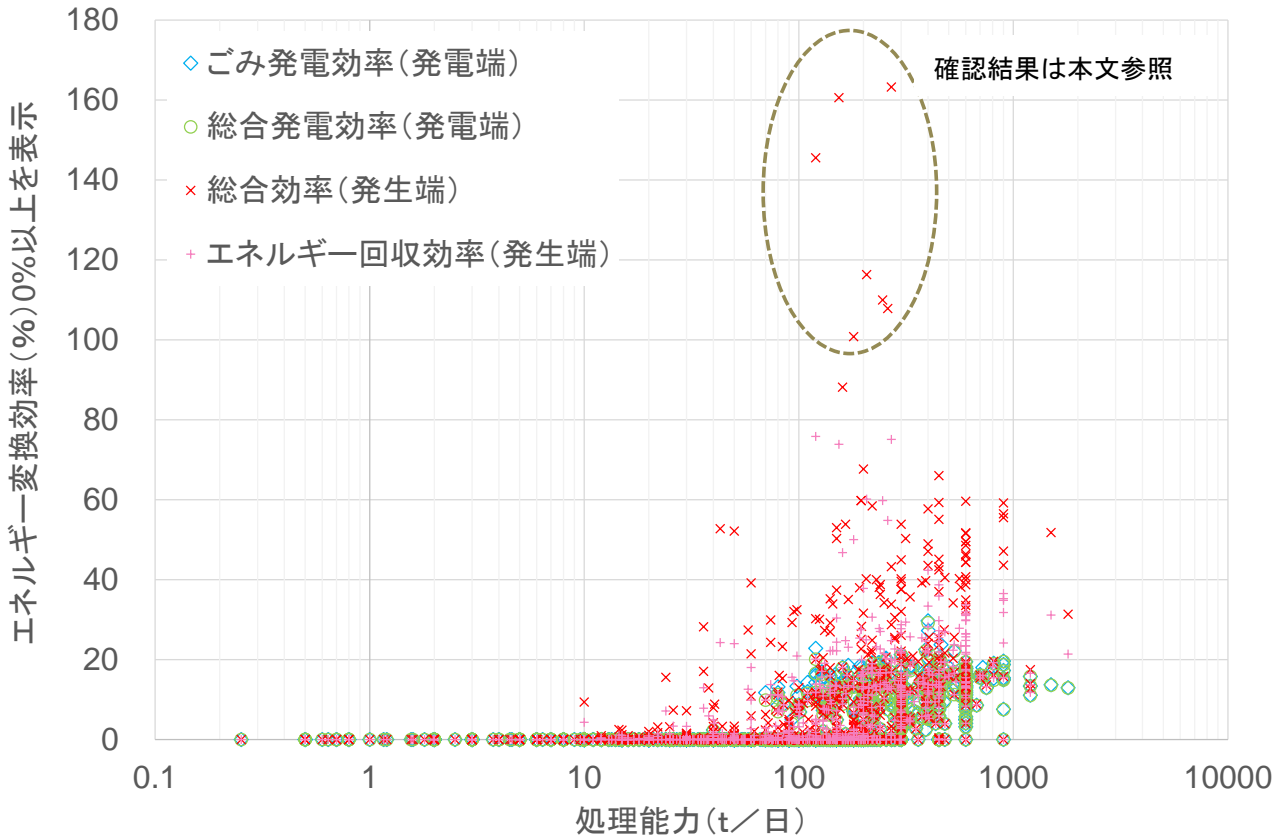


図 I-3-(3)-4 エネルギー変換効率指標と処理規模の関係

総合効率が 100%を超える施設について数値を確認したところ、以下のとおりであった。抽出されたうち、1 施設をのぞいては、燃料の発熱量は、ごみの発熱量に比べて無視しうる。

「日本の廃棄物処理」によれば、余熱利用量には、発電利用分は含まれないことになっている。この点に注目し、総発電量のタービン発電機入り口側熱量換算値が余熱利用量と匹敵する値となっている施設については、両者を合算すると 200%を超過するような数値ともなる。よって、これらの 100%超施設のうち、発電実施施設については余熱利用量として発電利用分も含めて記載したものと考えられる。当然このような記入を行った施設は 100%未満の中にもあると考えられる。

本部分について、施設側への確認は行っておらず、残る発電非実施の 2 施設について総合効率が 160%程度となっている理由は不明である。（ごみ発熱量は明らかな異常値ではなかった。）

処理能力と発電効率の関係を図 I-3-(3)-5 に示す。

- ・発電端でみた場合の発電効率は 15% を上回る施設も多く、20% 以上を上回る施設もある。
- ・燃料投入量が発電効率に与える影響はほとんどの施設で無視しうるが、1% 以上相違する施設もある。

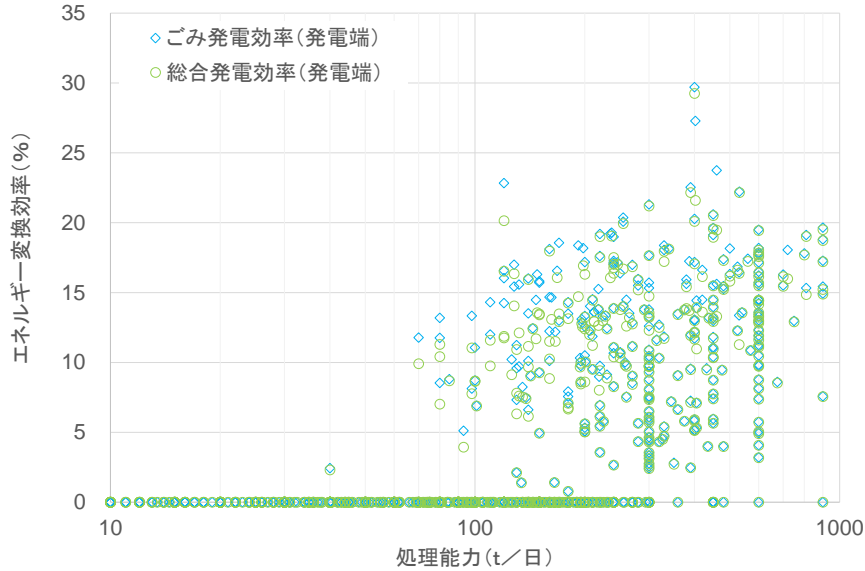


図 I-3-(3)-5 発電効率と処理規模の関係

② 効率指標間の関係

ごみ発電効率とその他のエネルギー変換効率指標との関係をみた (図 I-3-(3)-6)

- ・予想されるとおり発電していなくても場内利用している施設も多い。中には場内利用で 5 割を超える施設もあるものの、1 割未満の施設も多い。
- ・発電効率と燃料分を考慮した総合発電効率の関係は前述のとおり、ほとんどの施設でほぼ一致している。一方、総合効率は発電効率とは関係なく幅広く分布している。

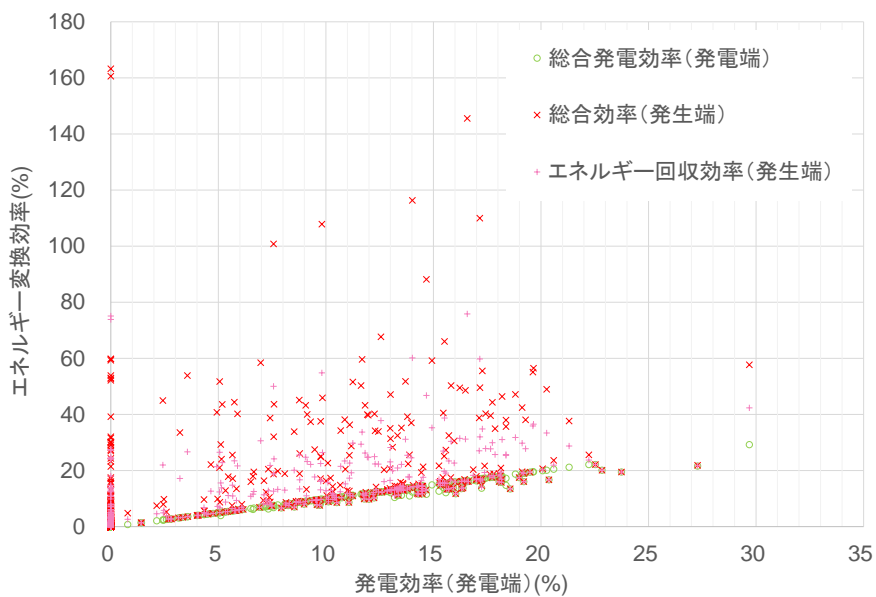


図 I-3-(3)-6 発電端 (発生端) での指標相互の関係

3) 送電端（送出端）と発電端（発生端）の関係

発電端（発生端）効率と送電端（送出端）効率を比較した（図 I-3-(3)-7、図 I-3-(3)-8）。

- ・総合効率については、発生端が 20%までは送出端の効率も発生端の効率の増加につれて増加する施設も多い様子がみられるが、発生端が 20%以上では送出端の効率は全体的には頭打ちになっている。
- ・発電効率について、発電端と送電端とでは、いずれも正値をとる施設を対象にした場合には、ある程度の相関がみられた。（ $R^2=0.45$ 、 $n=200$ ）ただし、発電端では発電効率が 15%程度でも送電端では 1%として計算されている施設などもある。

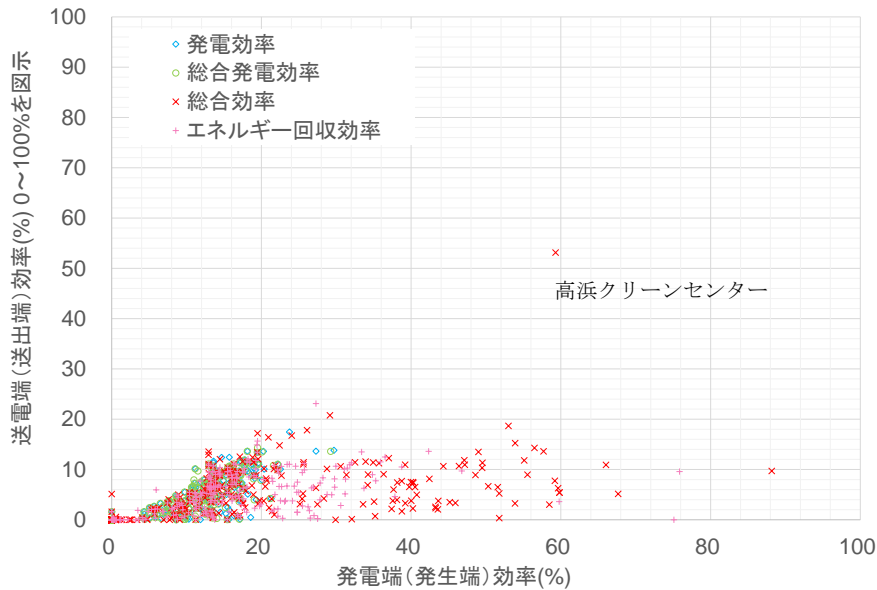


図 I-3-(3)-7 発電端（発生端）効率と送電端（送出端）効率の相関（0～100%）

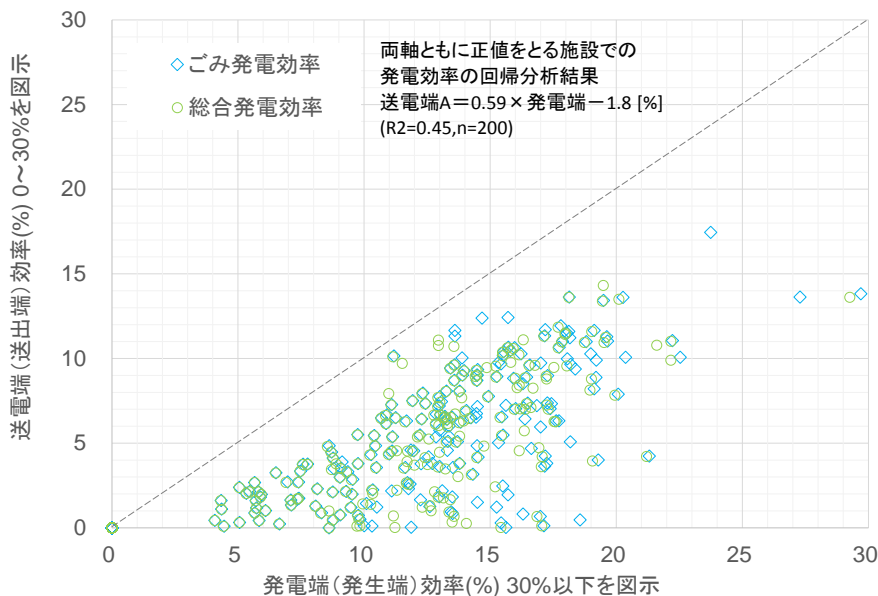


図 I-3-(3)-8 発電端発電効率と送電端発電効率の相関

注) 送電端効率が発電端効率と同等またはそれ以上の施設については個別に連絡して確認し、数値を修正または表示を削除した結果。なお、電力量の計上において他施設との重複があるため、焼却施設単体では電力量収支が完結していない施設が一定数あり、それらは対象外となっている。

(4) 効率的な廃棄物エネルギー利用事例のとりまとめ

1) 本項での調査・整理事項

以下の項目について調査、整理した。

① 焼却施設の概要

「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル」(環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、平成26年3月)の参考資料3「国内の先進事例の紹介」に準じて施設の概要とフローシートを整理・引用した。

② 地域熱供給の概要

抽出された3施設については、地域熱供給に焼却余熱を供給していたことから、当該地域熱供給に関する概要・特徴や保有されている熱源設備や熱のフローシートなどを引用した。

③ 現状の廃棄物エネルギー利用状況・運転状況

前項で評価したエネルギーの変換効率を再掲した上で、現状の運転状況での廃棄物の有するエネルギーに対して焼却、蒸気回収したところから発電、熱供給に至るまでのエントロピー、エクセルギーの変化により廃棄物エネルギーの変換過程の効率を評価した。また、直接熱供給を行わずに発電を優先させた仮想ケースについての評価も行った。ここで、発電の場合は、得られた電気は所内利用または外部に送電されるが、外部送電においての用途は特定できない。そこで、ここでは地域熱供給への余熱供給と比較するために、ごみ発電により得られた電気によって需要家に熱(温熱・冷熱)を供給すると仮定した場合について、現状の効率の機器を想定して試算した。

計算に用いた基礎データとしては、一般廃棄物処理実態調査はもとより、公表されている工場の運転管理に係る年報等に加え、清掃工場の管理者のご協力でご提供いただいた情報(設計時の蒸気収支の線図等)も活用して、効率の推計を実施した。また、抽出されたうち複数の地域熱供給会社にもインタビューを実施し、基礎的情報の提供を受けるとともに、廃棄物エネルギー利用に係る全般的な状況等についてのご知見やご意見をうかがった。具体的な機器の効率に係る数値的な情報はほとんど入手できず、そのための本調査の試算では地域熱供給の熱源設備の効率等は想定値に過ぎない。しかし、地域熱供給会社へのインタビューを通じて、本調査を遂行する上で有効な基礎的な知見や課題等を整理する上での有用な情報をいただいた。

【参考】エクセルギーについて

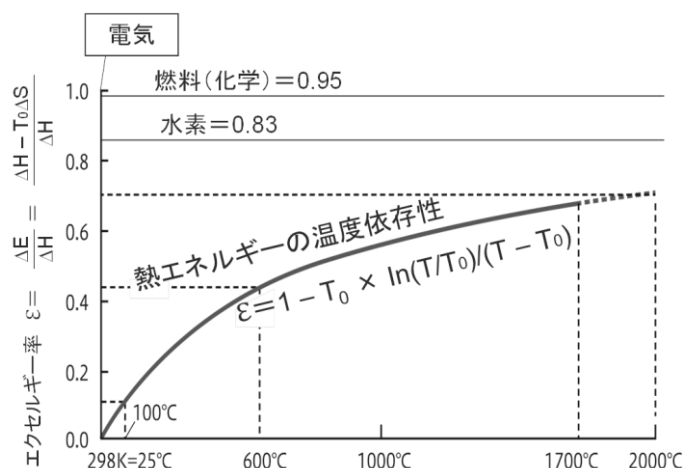
通常、熱としての利用量は「熱量」で把握されているが、熱はその全てを仕事(電力)に変換することはできず、かつ、変換可能な割合は温度により異なる。従って、「熱量」を単純に「電力量」のジュール熱換算値と合算する指標では、発電よりも熱利用が効率的という単純な結論が想定される。電力量を火力発電効率で逆算し一次エネルギー換算して評価する方法も省エネ評価等に用いられているが、温度により異なる熱エネルギーの質の評価が反映されないことに加え、火力発電並みの発電効率が難しい廃棄物発電の評価では、やはり発電された電気のエネルギーとしての価値が相対的に低く評価されることになるのではないかと考えられる。そこで、単純な熱量基準だけではなく、エネルギーとしての質の違いを考慮した「エクセルギー」(有効エネルギー)

も効率性の指標として取り上げて、評価結果を考察する。

エクセルギーは「エネルギーの量」に、「環境条件で取り出しうる仕事の割合」を乗じた量を示す状態量（単位：ジュール）であり、その値はいわば電力と等しい質でのエネルギーの量といえる。

●各種エネルギーのエクセルギー率について

エクセルギー率（全エネルギーに対するエクセルギーの割合）は、電気では 100%、化学エネルギーは例えば気体燃料は 95%（実務上の公式）に対し、熱エネルギーは下図のように温度により相違する。



（資料）中垣(2013)を参考に作成（熱エネルギーは相変化などは含まない場合）

E：エクセルギー、H：エンタルピー、S：エントロピー、T₀：環境温度

本試算では、蒸気及び温水のエクセルギーは、環境条件を 25℃、大気圧として、下式により計算した。廃棄物の有する化学エクセルギーについては、Rant の公式により固体燃料とみなして計算した。

$$\text{計算式： } E = (H - H_0) - T_0(S - S_0)$$

環境条件：T₀ = 25 °C、P₀ = 0.1013 MPa

④ 二酸化炭素排出量削減効果

廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」に準じ、ごみ処理発電や熱供給による CO₂ 排出削減量について評価した。また、廃棄物焼却エネルギーを地域熱供給に供給しなかった場合についての評価も行った。

⑤ 廃棄物エネルギー利用方式の決定に至る経緯

廃棄物エネルギー利用方式の決定に至る経緯は、インタビューやホームページで得られた知見を踏まえ、公表されている既存資料を収集し、既存資料に示された情報を整理した。

⑥ 今後について

今後については、将来的に熱利用も含めてエネルギー利用効率を高める上での課題等を把握す

るという観点を持ちつつ、公表されている既存資料の情報を整理した。

2) I 清掃工場

① 焼却施設の概要

表 I-3-(4)-1 I 清掃工場 (1・2号炉)

1.処理方式	ストーカー方式	6.排ガス処理	
2.施設規模	200(t/日) 100(t/日)x2 炉	1)HCl-SO _x 除去	
3.竣工年月	1986年3月	①処理方式	半乾式
4.公害防止条件(乾ガス基準、O ₂ =12%換算値)		②使用薬品	
1)HCl	最大 80(ppm)	③設計温度	
2)SO _x	最大 50(ppm)	2)NO _x 除去	
3)NO _x	最大 80(ppm)	①処理方式	燃焼制御、無触媒脱硝
4)ダイオキシン類	1(ng-TEQ/m ³ N)	②使用薬品	
5.発電システム		③設計温度	最小 750(°C)、最大 950(°C)
1)ボイラ設備		7.排ガス循環	
①蒸気条件	・蒸気圧力:1.9(MPa) ・蒸気温度:280(°C)	8.白煙防止条件	蒸気式加熱空気吹込方式
②最大蒸発量	11.25(t/h)	9.排水処理	
③出口排ガス温度	300(°C)	1)プラント排水	施設内再利用
④ボイラ給水温度	143(°C)	2)生活排水	下水道
2)蒸気タービン		10.発電効率	
①形式	背圧	11.余熱利用	
②定格出力	850(kW)	1)場内給湯	1800(MJ/h)
③抽気段数		2)場内冷暖房	
④復水機	空冷	3)温水センター	
⑤設計排気圧	0.029(MPa)	4)地域熱供給	

出典：「廃棄物焼却施設台帳」（公益財団法人 廃棄物・3R研究財団資料）等より作成

表 I-3-(4)-2 I 清掃工場 (3号炉)

1.処理方式	ストーカー方式	6.排ガス処理		
2.施設規模	100(t/日) 100(t/日)x1 炉	1)HCl-SO _x 除去		
3.竣工年月	1999年3月	①処理方式	半乾式	
4.公害防止条件(乾ガス基準、O ₂ =12%換算値)		②使用薬品	消石灰	
		③設計温度	入口最大 280(°C)、出口最大 200(°C)	
	1)HCl	最大 25(ppm)	2)NO _x 除去	
	2)SO _x	最大 20(ppm)	①処理方式	燃焼制御、無触媒脱硝
	3)NO _x	最大 65(ppm)	②使用薬品	
4)ダイオキシン類	0.5(ng-TEQ/m ³ N)	③設計温度	最小 800(°C)、最大 950(°C)	
5.発電システム		7.排ガス循環		
1)ボイラ設備		8.白煙防止条件	蒸気式加熱空気吹込方式	
①蒸気条件	・蒸気圧力:1.81(MPa) ・蒸気温度:290(°C)	9.排水処理		
②最大蒸発量	15.5(t/h)	1)プラント排水	施設内再利用	
③出口排ガス温度	280(°C)	2)生活排水		
④ボイラ給水温度	143(°C)	10.発電効率		
2)蒸気タービン		11.余熱利用		
①形式		1)場内給湯	1800(MJ/h)	
②定格出力		2)場内冷暖房		
③抽気段数		3)温水センター		
④復水機	空冷	4)地域熱供給		
⑤設計排気圧				

出典：「廃棄物焼却施設台帳」（公益財団法人 廃棄物・3R研究財団資料）等より作成

② 地域熱供給の概要

表 I-3-(4)-3 I 地域の地域熱供給の販売熱量

	販売熱量 (GJ)		
	住宅用	業務用・その他	計
温水		33,502	33,502
冷水		100,233	100,233

出典：一般社団法人日本熱供給事業協会「熱供給事業便覧」

表 I-3-(4)-4 I 地域の地域熱供給の熱発生機器

プラント面積(m ²)		4,023			
加熱能力(MJ/h)		77,685			
冷却能力(MJ/h)		105,067			
ボイラー(MJ/h)		54,156			
冷凍機(MJ/h)		93,673			
冷温水器		加熱			
		冷却			
ヒートポンプ(MJ/h)		加熱		14,881	
		冷却		11,394	
蓄熱槽	水	槽容量(m ³)	冷蓄熱容量(MJ)	5,000	105,488
			温蓄熱容量(MJ)		15,070
	氷	槽容量(m ³)	蓄熱容量(MJ)		
コージェネレーションシステム		発電能力(kw)			
		排熱利用量 (MJ/h)			
熱交換器(MJ/h)		8,648			

出典：一般社団法人日本熱供給事業協会「熱供給事業便覧」

③ 現状の廃棄物エネルギー利用状況

ア) 現状の運転状況での廃棄物エネルギー利用過程

調査対象施設選定の際に用いたエネルギー変換効率の試算結果を表 I-3-(4)-5 に再掲する。

表 I-3-(4)-5 I 清掃工場のエネルギー変換効率 (再掲)

変換効率の指標	①ごみ	②総合	③総合効率	④エネルギー
平成 24 年度	発電効率	発電効率		回収効率
発生端	3.6	3.5	53.9	26.7
送出端	(負値)	(負値)	15.2	6.3

本施設は、ボイラ発生蒸気を、発電のほかに、地域熱供給にも供給していることが特徴である。そこで、発電と地域熱供給部分に注目して、エネルギー変換過程におけるエンタルピー及びエクセルギーの推移を試算した結果を図 I-(3)-4-1 及び図 I-(3)-4-2 に示す。なお、焼却施設の蒸気を温熱製造と冷熱製造とで、どのような割合で投入されているかは把握できなかったため、地域熱供給に提供された蒸気全量が、温熱製造に用いられた場合、または、冷熱製造に用いられた場合の、それぞれのケースで試算した結果を、図中に併記した。

エンタルピーで評価すると、ごみの発熱量の7割程度がボイラでの給水から蒸気への熱量増加に用いられており、発生した蒸気を電気に変換すると変換効率は小さいが、地域冷暖房へ供給すれば温熱または冷熱として高い割合で需要家に供給（ただし、熱導管でのロス等は考慮できてい

ない。以下、全ての焼却施設について同様。) できている試算結果となった。

一方、エクセルギーで評価すると、ボイラで蒸気に変換した時点で逆に7割程度のエネルギーが損失している結果となった。また、発生した蒸気を電気に変換する際の損失率も大きい、エンタルピーの場合よりは、損失の程度は少ない。他方、地域熱供給では、冷熱や温熱は環境温度との相違が小さいことから、需要家に供給している量は小さい結果となった。

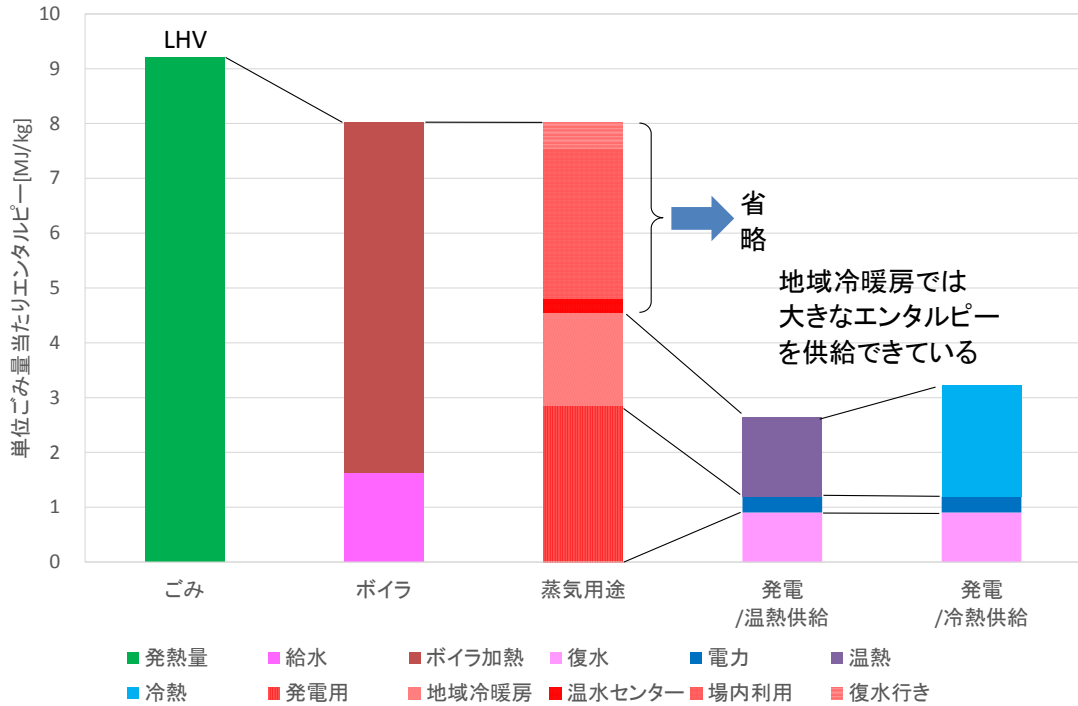


図 I-3-(4)-1 I 清掃工場の単位ごみ量当たりエンタルピーの推移

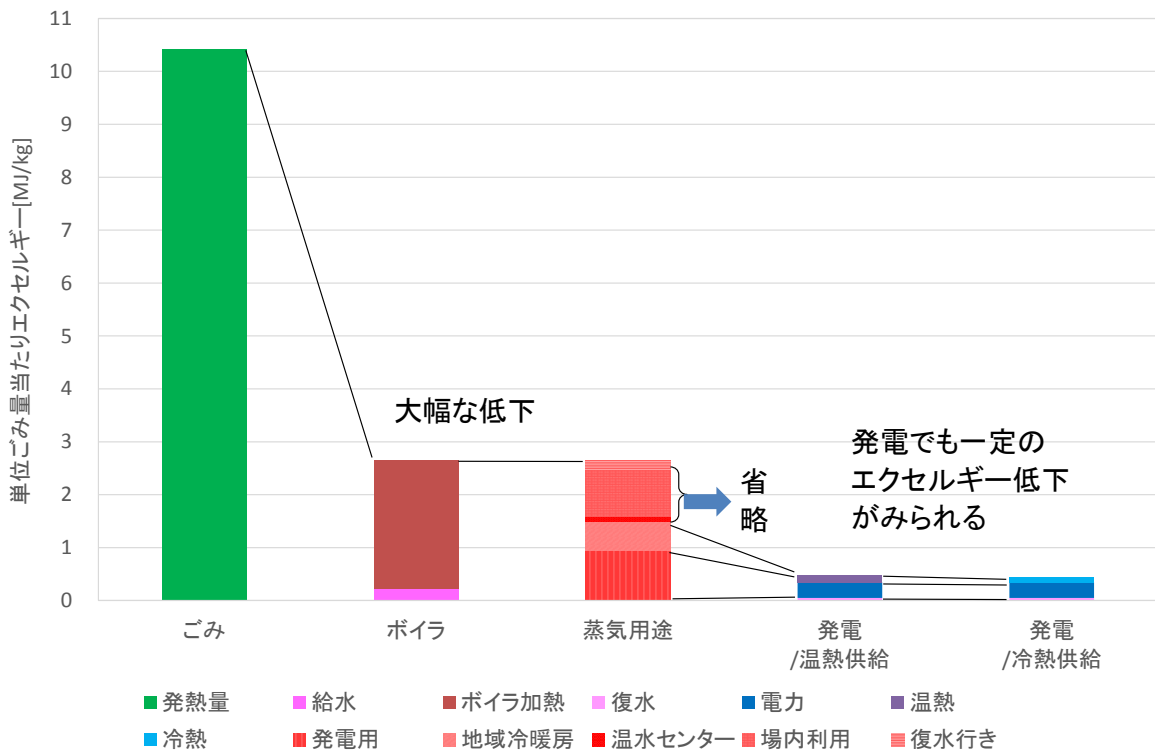


図 I-3-(4)-2 I 清掃工場の単位ごみ量当たりエクセルギーの推移

イ) 直接に熱供給を行わずに発電を優先させた仮想的ケースの試行的評価

本施設では、タービンに投入されている蒸気と同じ蒸気を地域熱供給に用いている。そこで、現在は地域熱供給向けに用いている蒸気を、仮に地域熱供給ではなくて、現状施設と同等の効率で発電を行い、その電気によって温熱や冷熱を高効率なヒートポンプ（COP=4を想定）やターボ冷凍機（COP=6を想定）で製造した場合にどうなるかを試算した。従って、建設当時よりは発電による電気利用によるエネルギー利用効率を過大評価している可能性がある。

なお、本施設では、実際にはタービン発電機の容量が、蒸気発生量に比して小さいため、現状設備で発電と地域熱供給は必ずしも競合関係とはならないことに留意する必要がある。また、このように比較的容量が小さいタービンであるために、実際により多くの蒸気で発電する前提で施設を整備した場合の発電効率は、当時であってもより高い値となっている可能性がある点で、本試算は発電について過小評価となっている要素もある。

試算結果を図 I-(3)-4-4 及び図 I-(3)-5 に示す。試算結果によれば、温熱・冷熱を供給する場合には、現状の発電効率であれば、高圧蒸気による方が効率面で有利とはいえるが、それほどの極端な差はないことが分かった。

すなわち、現状の最新の焼却施設の発電能力の場合には、ボイラ発生蒸気をそのまま外部熱供給に使用する方式では、エネルギー有効利用の面で不利になりうると考えられる。

④ 二酸化炭素排出量削減効果

ア) 「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」に準じた評価

「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」（環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、平成 22 年 3 月）に準じた方法により、エネルギー利用に伴う二酸化炭素排出量、及び、発電と外部への熱供給に伴う二酸化炭素排出削減量を算定した。

本施設では、発電よりも場外熱供給に伴う二酸化炭素排出削減量の方が大きく評価される結果となった。（両方を併用している現状の評価であって、発電と場外熱供給のいずれが二酸化炭素排出削減の面で有利であるかを評価した結果ではない。）

表 I-3-(4)-6 現状の二酸化炭素排出量（マイナスは削減量）

H24	単位	活動量	排出係数	単位	CO ₂ 排出量 (tCO ₂)
ごみ焼却量	t	43,219			
電気使用量	kWh	6,071,666	0.000551	tCO ₂ /kWh	3,345
都市ガス使用量	Nm ³	2	0.002230	tCO ₂ /Nm ³	0
灯油使用量	L	42,801	0.002490	tCO ₂ /L	107
発電量	kWh	4,491,154	-0.000551	tCO ₂ /kWh	-2,475
場外熱供給量	MJ	75,172,104	-0.000055	tCO ₂ /MJ	-4,134

注 1) 活動量は環境省一般廃棄物実態調査から引用

注 2) 有償熱供給量は 52,786,539MJ と推定される。

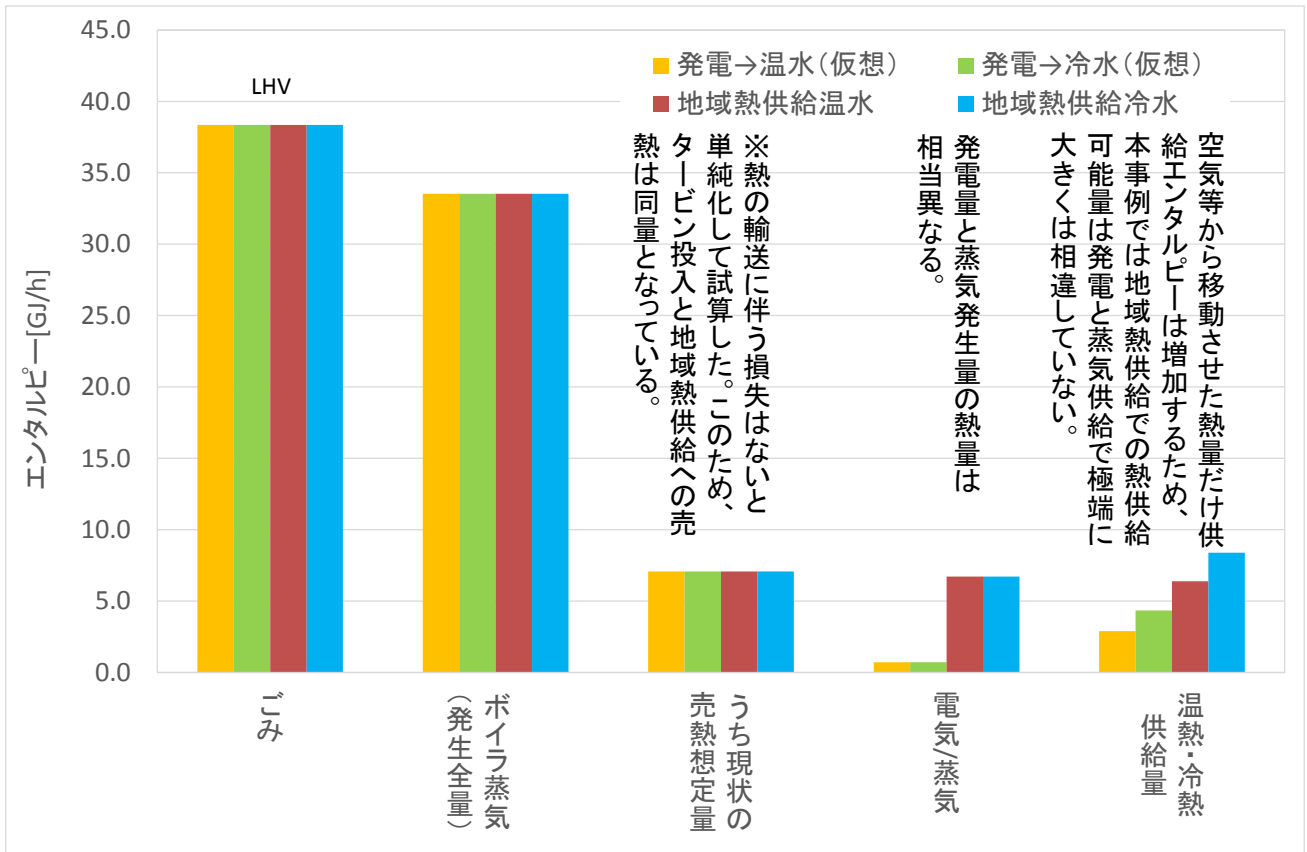


図 I-3-(4)-3 I 清掃工場での発電及び地域熱供給と仮想ケース (エンタルピー)

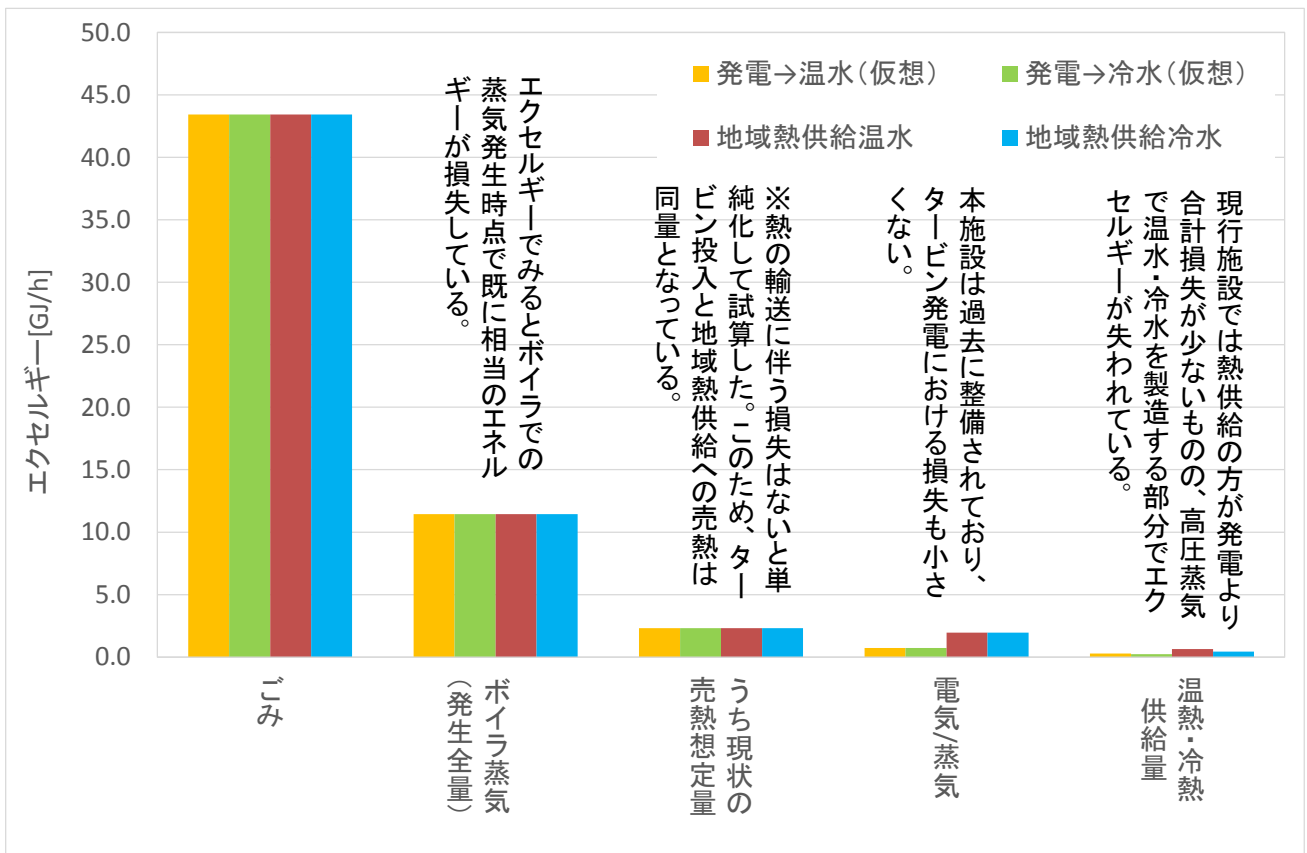


図 I-3-(4)-4 I 清掃工場での発電及び地域熱供給と仮想ケース (エクセルギー)

イ) 廃棄物焼却エネルギーを地域熱供給に供給しなかった場合を想定した評価

仮に廃棄物焼却エネルギー（蒸気）を地域熱供給に供給しなかった場合は、その蒸気で生産していたはずの温熱または冷熱を、代替する熱源で供給する必要がある。焼却施設は定期点検時等には蒸気を送出できないため、地域熱供給側ではその場合でも必要な熱供給ができるだけの設備を現実に有している。

同地域の地域熱供給においては、情報システム系を中心とした業務系の需要家が集積しており、冷熱供給が主であるために、本試算では冷熱供給を前提として評価した。冷熱供給の場合、同地域の現状設備では都市ガスボイラにより同量の蒸気を発生させ、これを吸収式冷凍機に投入することになると考えられる。一方、エネルギー変換効率のみから考えれば、高効率ターボ冷凍機を新たに導入することで、二酸化炭素排出量を抑制できる可能性もある。

そこで、同地域の地域熱供給の現状の設備を想定した場合と、経済面や設置スペース面での実現性は考慮せずに高効率ターボ冷凍機が導入できると単純に想定して焼却施設排熱と同量の冷熱供給を行う場合で、追加的に排出される二酸化炭素排出量を試算した。また、その場合は、（現実と相違しタービン容量の制約を無視して）発電量が増加できる場合を想定し、それによる CO₂ 排出削減量の増加量も試算した。

その結果、以下のことがわかった。

- ・ 代替する熱供給の方法により、CO₂ 排出量の増加量は異なるが、本施設の発電効率を想定した場合には、蒸気を地域熱供給に供給したほうが有利である。（過去の判断は有効であった。）
- ・ 現在の「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」に準じた二酸化炭素排出量（削減量）評価方法で使用している地球温暖化対策推進法の「熱」の排出係数を用いると、都市ガスボイラ代替の場合と、おおむね同等の評価となる。熱の排出係数を用いることは、本ケースの場合には、地域熱供給へ余熱提供することによる CO₂ 排出削減効果のほぼ上限値に相当する評価になる。

表 I-3-(4)-7 地域熱供給に焼却排熱を供給しない場合の CO₂ 排出増加量の試算（I 清掃工場）

ケース	熱源種類	区分	活動量	単位	排出係数	単位	CO ₂ 排出量 (tCO ₂ /年)
ケース 1	ボイラ	都市ガス	1,303,371	Nm ³	0.00223	tCO ₂ /Nm ³	2,907
ケース 2	電動ターボ 冷凍機	電気	3,217,966	kWh	0.000551	tCO ₂ /kWh	1,773
(参考) 現状	供給熱量	熱	52,786,539	MJ	0.000055	tCO ₂ /MJ	2,903

注) 電動ターボ冷凍機の COP は 6.4、ボイラ効率は 0.9 (HHV 比) を仮定して計算した。

表 I-3-(4)-8 地域熱供給に焼却排熱を供給しない場合の CO₂ 削減増加量の試算（I 清掃工場）

ケース	方法	区分	活動量	単位	排出係数	単位	CO ₂ 削減量 (tCO ₂ /年)
発電量増加	現在のタービンの発電効率	電気	1,761,671	kWh	0.000551	tCO ₂ /kWh	971

⑤ 廃棄物エネルギー利用方式の決定に至る経緯

郊外の新市街地開発に参加した住宅・都市整備公団による清掃工場竣工後の調査・提案（学識者を含む委員会を設置）で、地域熱供給を導入し、清掃工場の排熱蒸気の活用が提案された。

⑥ 今後について

現在の清掃工場の建替は、地域熱供給エネルギーセンター及び共同溝から離れた地区に移転する方向で検討されており、地域熱供給での余熱利用は非常に困難になると考えられる。

3) J 清掃工場

① 焼却施設の概要

表 I -3- (4) -9 J 清掃工場概要

1.処理方式	ストーカー方式	6.排ガス処理	
2.施設規模	400(t/日) 200(t/日)x2 炉	1)HCl-SO _x 除去	
3.竣工年月	1994年7月	①処理方式	全乾式、乾式・湿式併用
4.公害防止条件(乾ガス基準、O ₂ =12%換算値)		②使用薬品	消石灰、苛性ソーダ
1)HCl	最大 15(ppm)	③設計温度	
2)SO _x	最大 20(ppm)	2)NO _x 除去	
3)NO _x	最大 49(ppm)	①処理方式	触媒脱硝
4)ダイオキシン類	1(ng-TEQ/m ³ N)	②使用薬品	
5.発電システム		③設計温度	最大 210(°C)
1)ボイラ設備		7.排ガス循環	
①蒸気条件	・蒸気圧力:2.8(MPa) ・蒸気温度:300(°C)	8.白煙防止条件	減湿後再加熱方式
②最大蒸発量	41.94(t/h)	9.排水処理	
③出口排ガス温度	250(°C)	1)プラント排水	下水道
④ボイラ給水温度	140(°C)	2)生活排水	下水道
2)蒸気タービン		10.発電効率	8.51(%)
①形式	抽気背圧	11.余熱利用	
②定格出力	5600(kW)	1)場内給湯	
③抽気段数		2)場内冷暖房	
④復水機		3)温水プール	
⑤設計排気圧	0.13(MPa)	4)地域熱供給	
		5)その他	

出典：「廃棄物焼却施設台帳」（公益財団法人 廃棄物・3R 研究財団資料）

② 地域熱供給の概要

表 I-3-(4)-10 J地域の地域熱供給 販売熱量

	販売熱量 (GJ)		
	住宅用	業務用・その他	計
温水		38,225	38,225
冷水		615,711	615,711

出典：熱供給事業便覧（一般社団法人 日本熱供給事業協会）

表 I-3-(4)-11 J地域の地域熱供給 熱発生機器

プラント面積(m ²)				27,949	
加熱能力(MJ/h)				657,301	
冷却能力(MJ/h)				715,204	
ボイラー(MJ/h)				622,529	
冷凍機(MJ/h)				689,892	
冷温水器		加熱			
		冷却			
ヒートポンプ(MJ/h)		加熱		34,772	
		冷却		25,312	
蓄熱槽	水	槽容量(m ³)	冷蓄熱容量(MJ)	16,350	383,275
			温蓄熱容量(MJ)		17,581
	氷	槽容量(m ³)	蓄熱容量(MJ)	1,569	342,945
コージェネレーションシステム		発電能力(kw)			
		排熱利用量 (MJ/h)			
熱交換器(MJ/h)					

出典：熱供給事業便覧（一般社団法人 日本熱供給事業協会）

③ 現状の廃棄物エネルギー利用状況

ア) 現状の運転状況での廃棄物エネルギー利用過程

本施設は、ボイラで一定の仕事をして電気変わったあとの途中段階の蒸気を抽気して、タービンの以降の低圧段で発電させるのではなくて、地域熱供給へと抽気蒸気を供給していることが特徴である。そこで、発電と地域熱供給部分に注目して、エネルギー変換過程におけるエンタルピー及びエクセルギーの推移を試算した結果を、図 I-3-(4)-5 及び図 I-3-(4)-6 に、それぞれ示す。なお、焼却施設の蒸気を温熱製造と冷熱製造とで、どのような割合で投入されているかは把握できなかったため、図では地域熱供給に提供された蒸気全量が、温熱製造に用いられた場合、または、冷熱製造に用いられた場合の、それぞれのケースで試算した結果を、それぞれ併記した。

エンタルピーで評価すると、ごみの発熱量の大半がボイラでの加熱に用いられており、発生した蒸気を電気に変換すると変換効率は小さいが、地域冷暖房へ供給すれば温熱または冷熱として高い割合で需要家に供給（ただし、熱導管でのロス等は考慮できていない。以下同様。）できてい

る一方、エクセルギーで評価すればと、ボイラで蒸気に変換した時点で相当程度が損失しており、さらに、地域熱供給では需要家に供給しているエクセルギー量は小さい結果となっているなどの大まかな傾向は、ボイラ発生蒸気を用いている施設の場合と同様である。ここで、地域熱供給に供給している抽気蒸気量についてみると、エンタルピーよりもエクセルギーの方がタービン投入蒸気量に対する抽気蒸気量の割合が小さくなっており、一部を電気に変換して質が低下した排熱を外部供給している様子が表現できていると考えられる。

表 I-3-(4)-12 J 清掃工場のエネルギー変換効率（再掲）

変換効率指標 平成 24 年度	① ごみ 発電効率	②総合 発電効率	③総合効率	④エネルギー 回収効率
発生端	5.1	5.1	24.0	13.8
送出端	(負値)	(負値)	16.7	6.5

イ) 直接に熱供給を行わずに発電を優先させた仮想的ケースの試行的評価

本施設では、タービンから途中で抽気した蒸気を地域熱供給に用いている。そこで、仮に地域熱供給ではなくて、抽気はせずに、そのまま現状施設（タービン）と同等の効率で発電を行い、その電気によって温熱や冷熱を高効率なヒートポンプやターボ冷凍機で製造した場合にどうなるかを試算した。従って、建設当時よりは発電によるエネルギー利用効率を過大評価している可能性がある。ここで、抽気しないことによるタービンでの追加的な発電量は、抽気しない場合の発電量（熱落差（抽気前蒸気のエンタルピー - 同量のタービン排気のエンタルピー）×タービン機械効率）から現状の発電量を差し引いて計算した。タービン機械効率は、現状の抽気背圧タービンでの蒸気量収支と発電量とから逆算で推定した値を用いた。もしも、地域熱供給以外の抽気蒸気量も多い場合は、本計算は誤差が大きい可能性がある。

試算結果を図 I-3-(4)-7 及び図 I-3-(4)-8 に示す。試算結果によれば、抽気せずに全量を発電して得た電気により温水・冷水製造を行うよりも、抽気蒸気から温水・冷水を製造する方が、相当有利になる評価結果となった。これは、温度・圧力（エクセルギー）がボイラ発生時点よりも低下した蒸気を熱供給に用いることの合理性が反映されている可能性に加えて、当該施設におけるタービンが背圧タービンであるために蒸気を電気に変換する効率が復水タービンほどには高くないことも要因となっている可能性も考えられる。

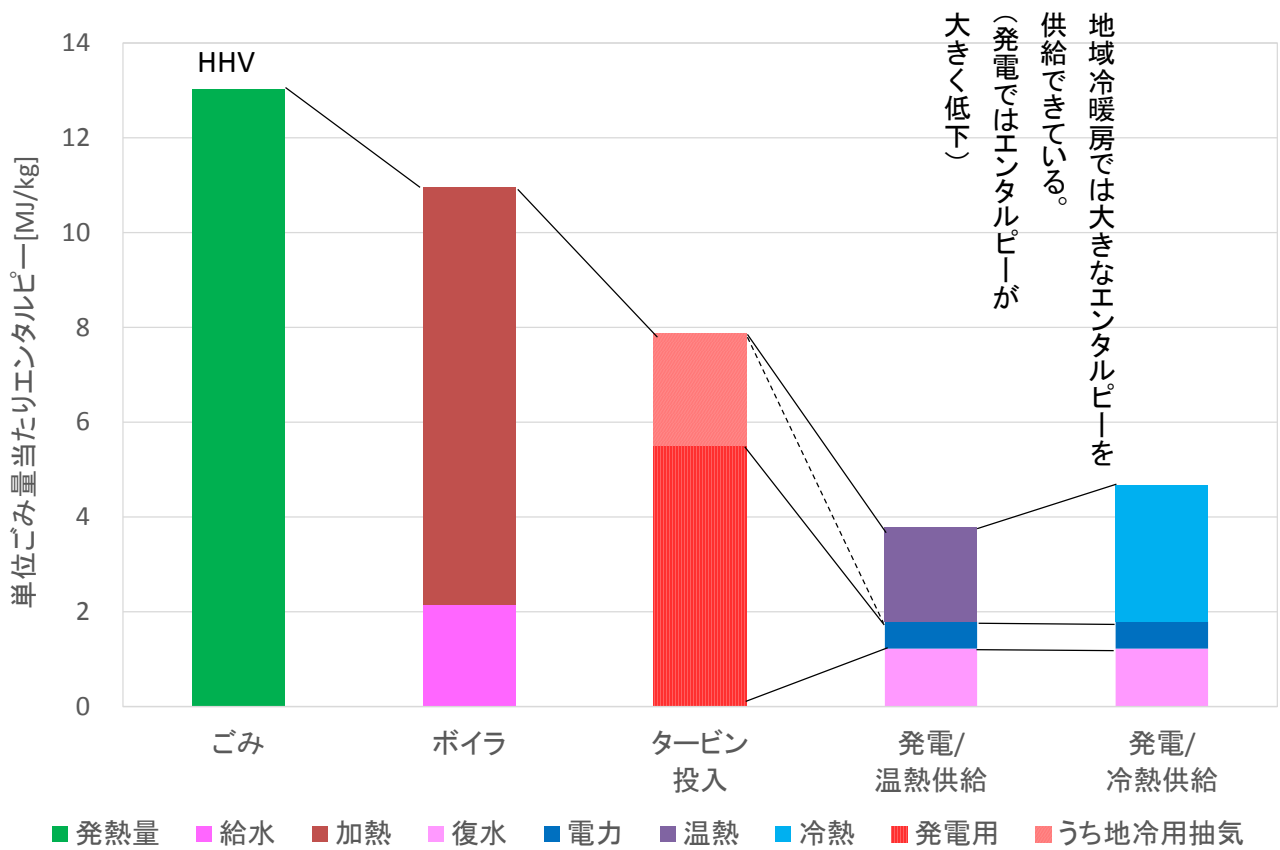


図 I -3-(4) -5 J 清掃工場の単位ごみ量当たりエンタルピーの推移

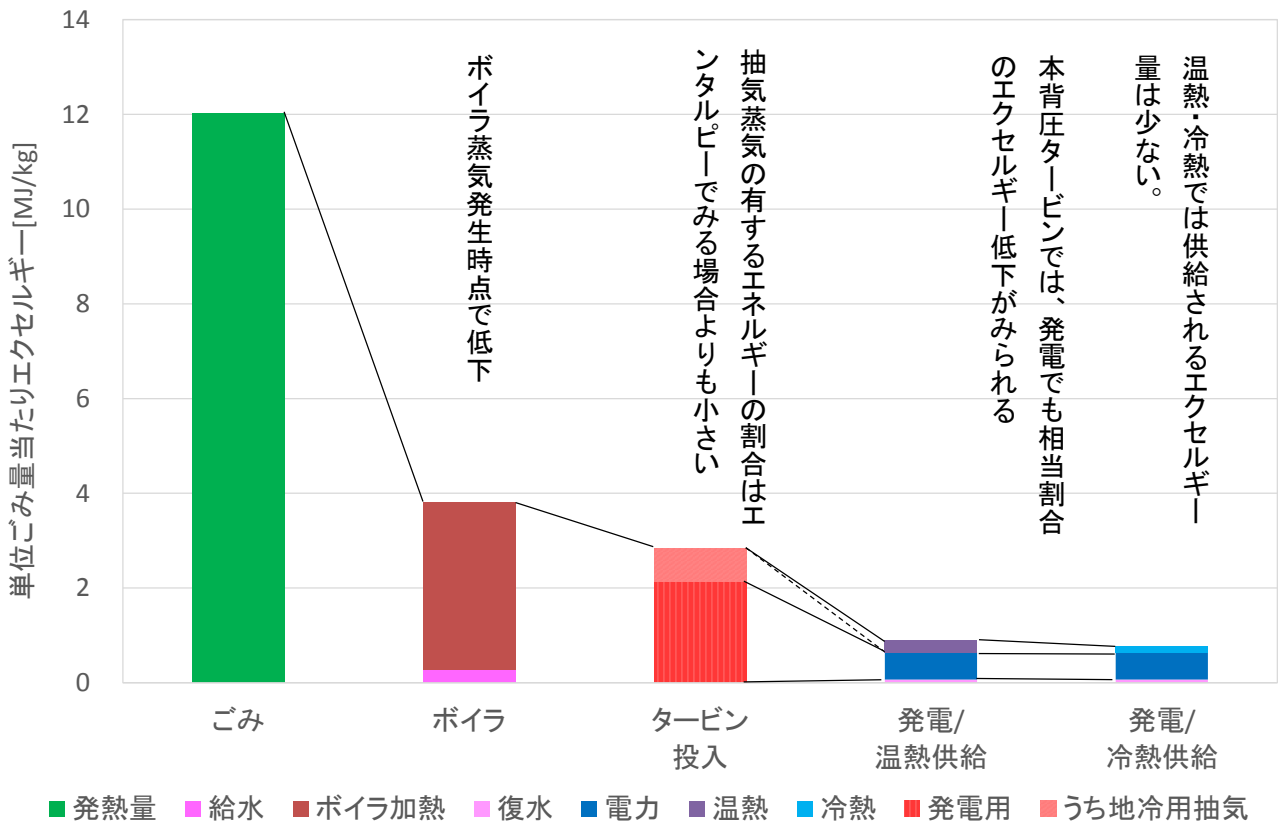


図 I -3-(4) -6 J 清掃工場の単位ごみ量当たりエクセルギーの推移

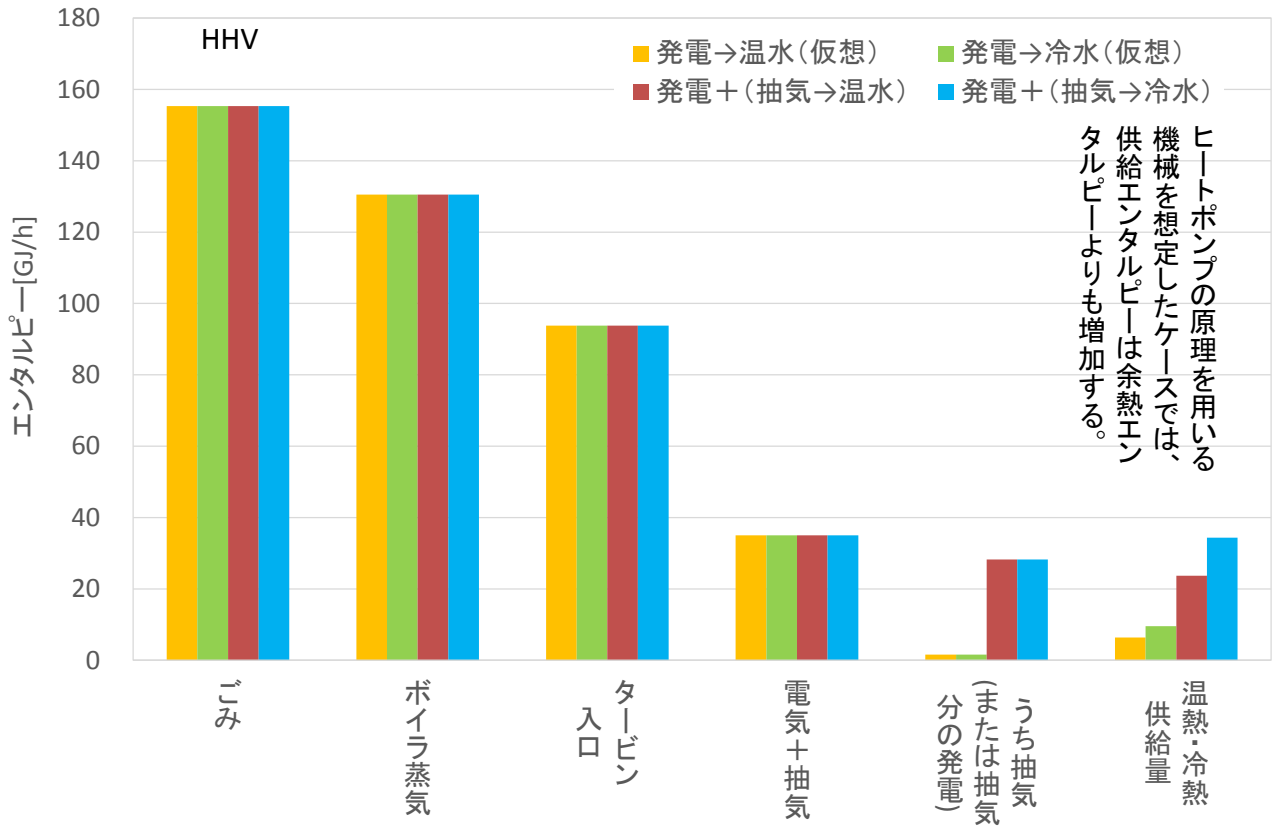


図 I-3-(4)-7 J工場での発電及び抽気利用による地域熱供給と仮想ケース (エンタルピー)

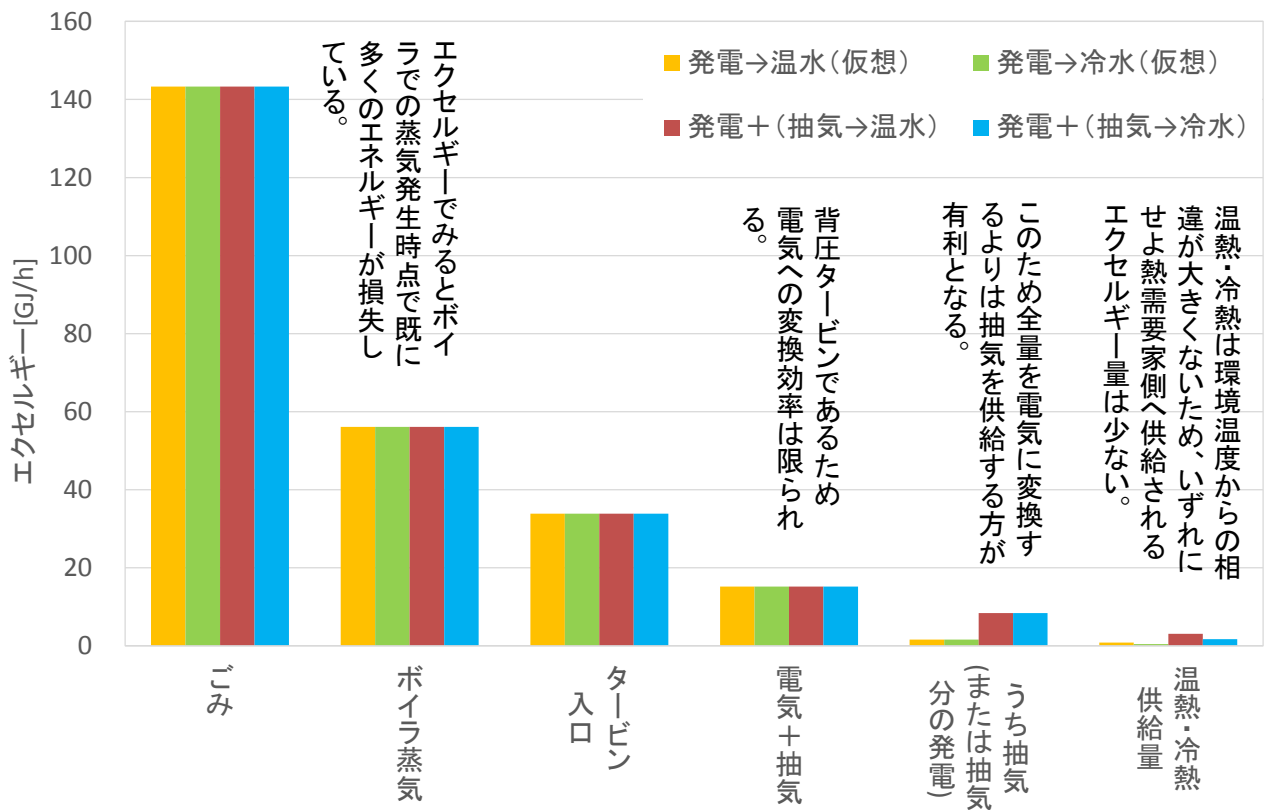


図 I-3-(4)-8 J工場での発電及び抽気利用による地域熱供給と仮想ケース (エクセルギー)

④ 二酸化炭素排出量削減効果

ア)「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」に準じた評価

「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」(環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、平成 22 年 3 月)に準じた方法により、エネルギー利用に伴う二酸化炭素排出量、及び、発電と外部への熱供給に伴う二酸化炭素排出削減量を算定した。

本施設では、発電よりも場外熱供給に伴う二酸化炭素排出削減量の方が大きく評価される結果となった。(両者が併用されている現状の評価であって、発電と場外熱供給のいずれが二酸化炭素排出削減の面で有利であるかを評価した結果ではない。)

その結果、発電よりも抽気蒸気による熱供給のほうが、二酸化炭素排出量の削減量が大きく評価された。

表 I-3-(4)-13 現状の二酸化炭素排出量(マイナスは削減量)

H24	単位	活動量	排出係数	単位	CO ₂ 排出量 (tCO ₂)
ごみ焼却量	t	104,373			
電気使用量	kWh	23,476,137	0.000551	tCO ₂ /kWh	12,935
都市ガス使用量	Nm ³	39,769	0.002230	tCO ₂ /Nm ³	89
ガソリン	L	460	0.002320	tCO ₂ /L	1
軽油	L	600	0.002580	tCO ₂ /L	2
発電量	kWh	16,491,969	-0.000551	tCO ₂ /kWh	-9,087
場外熱供給量	MJ	-6,984,168	-0.000055	tCO ₂ /MJ	-12,022

注) 活動量は環境省一般廃棄物実態調査から引用

イ) 直接に熱供給を行わずに発電を優先させた仮想的ケースの試行的評価

仮に廃棄物焼却エネルギー(蒸気)を地域熱供給に供給しなかった場合は、その蒸気で生産していたはずの温熱または冷熱を代替する熱源で供給する必要がある。焼却施設は定期点検時には蒸気を送出できないことから、地域熱供給側では、その場合でも必要な熱供給ができるだけの設備を現実には有している。

本施設では、タービンから抽気されている蒸気を地域熱供給に用いている。そこで、仮に抽気せずに、そのまま膨張させて排気に至るまで発電を行い、その電気によって温熱や冷熱を高効率なヒートポンプやターボ冷凍機で製造した場合にどうなるかを試算した。従って、建設当時よりは発電によるエネルギー利用効率を過大評価している可能性がある。なお、上述のとおり本計算では、地域熱供給以外に利用される抽気蒸気量は少ないという前提で計算しており、単純に熱落差×推定タービン機械効率で増加発電量を計算している形になっており、誤差が大きい可能性もある。

簡易な試算であるが、抽気せずに発電しても、それによる増加発電量で期待できる二酸化炭素排出削減量は限られており、むしろ地域熱供給側での二酸化炭素排出量が大きく増大する結果が得られた。

表 I-3-(4)-14 地域熱供給に焼却排熱を供給しない場合の CO₂ 排出量増加量の試算 (J 清掃工場)

ケース	熱供給種類	燃料	活動量	単位	排出係数	単位	CO ₂ 排出量 (tCO ₂)
ケース 1	ボイラ	都市ガス	5,396,864	Nm ³	0.00223	tCO ₂ /Nm ³	12,035
ケース 2	ターボ冷凍機	電気	9,486,675	kWh	0.000551	tCO ₂ /kWh	5,227
(参考) 現状	供給熱量	熱	218,573,000	MJ	0.000055	tCO ₂ /MJ	12,022

注) 電動ターボ冷凍機の COP は 6.4、ボイラ効率 は 0.9 (HHV に対して) と仮定した。

表 I-3-(4)-15 地域熱供給に焼却排熱を供給しない場合の CO₂ 削減増加量の試算 (J 清掃工場)

ケース	方法	区分	活動量	単位	排出係数	単位	CO ₂ 削減量 (tCO ₂ /年)
発電量増加	現在のタービンでの発電効率	電気	3,878,399	kWh	0.000551	tCO ₂ /kWh	2,137

⑤ 廃棄物エネルギー利用方式の決定に至る経緯

昭和 62 年の地域開発の基本構想で地域冷暖房の導入を図るとされ、翌年の同基本計画で地域冷暖房への都市排熱活用、清掃工場等の設置など地域内クローズドシステム化が示された。熱導管等は共同溝に収容するとされ、清掃工場・熱供給施設などの一体的開発が進められた。

⑥ 今後について

平成 27 年 2 月に改訂された「一般廃棄物処理基本計画」により、稼動 40 年を目標とした延命化が予定されている。従って、同地区の今後の熱供給は、平成 40 年代中盤までは継続されるものと推測される。

4) K清掃工場

① 焼却施設の概要

表 I -3- (4)- 16 K清掃工場概要

1.処理方式	ストーカー方式	6.排ガス処理		
2.施設規模	300(t/日) 150(t/日)x2 炉	1)HCl-SO _x 除去		
3.竣工年月	1983年9月	①処理方式	乾式・湿式併用	
4.公害防止条件(乾ガス基準、O ₂ =12%換算値)		②使用薬品	消石灰、苛性ソーダ	
		③設計温度	入口最大 260(°C)、出口最大 70(°C)	
	1)HCl	最大 25(ppm)	2)NO _x 除去	
	2)SO _x	最大 30(ppm)	①処理方式	触媒脱硝
	3)NO _x	最大 50(ppm)	②使用薬品	
4)ダイオキシン類	1(ng-TEQ/m ³ N)	③設計温度	最大 190(°C)	
5.発電システム		7.排ガス循環		
1)ボイラ設備		8.白煙防止条件	減湿後再加熱方式	
①蒸気条件	・蒸気圧力:2.21(MPa) ・蒸気温度:280(°C)	9.排水処理		
②最大蒸発量	30(t/h)	1)プラント排水	下水道	
③出口排ガス温度	280(°C)	2)生活排水	下水道	
④ボイラ給水温度	140(°C)	10.発電効率	9.95(%)	
2)蒸気タービン		11.余熱利用		
①形式	復水	1)場内給湯	710(MJ/h)	
②定格出力	4000(kW)	2)場内冷暖房	3300(MJ/h)	
③抽気段数		3)温水プール		
④復水機		4)地域熱供給		
⑤設計排気圧	0.031(MPa)	5)隣接施設		

出典：「廃棄物焼却施設台帳」（公益財団法人 廃棄物・3R研究財団資料）

② 地域熱供給の概要

表 I-3-(4)-17 K地域の地域熱供給 販売熱量

	販売熱量 (GJ)		
	住宅用	業務用・その他	計
温水	22,244	16,753	38,997
冷水		40,609	40,609
給湯	147,861	4,749	152,610

出典：熱供給事業便覧 一般社団法人 日本熱供給事業協会

表 I-3-(4)-18 K地域の地域熱供給 熱発生機器

プラント面積(m ²)				15,965	
加熱能力(MJ/h)				217,467	
冷却能力(MJ/h)				50,082	
ボイラー(MJ/h)				52,894	
冷凍機(MJ/h)				15,189	
冷温水器		加熱			
		冷却			
ヒートポンプ(MJ/h)		加熱		164,573	
		冷却		34,893	
蓄熱槽	水	槽容量(m ³)	冷蓄熱容量(MJ)	3,850	46,047
			温蓄熱容量(MJ)		45,209
	氷	槽容量(m ³)	蓄熱容量(MJ)		
コージェネレーションシステム		発電能力(kw)			
		排熱利用量 (MJ/h)			
熱交換器(MJ/h)					

出典：熱供給事業便覧 一般社団法人 日本熱供給事業協会 より

③ 現状の廃棄物エネルギー利用状況

ア) 現状の運転状況での廃棄物エネルギー利用過程

本施設は、ボイラ排気蒸気の一部を、空冷式復水器と並列に設置されている水冷式復水器（副復水器）において復水し、その際の復水排熱を取り出して、温水として地域熱供給にも供給していることが特徴である。

そこで、発電と地域熱供給部分に注目して、エネルギー変換過程におけるエンタルピー及びエクセルギーの推移を試算した結果を図 I-3-(4)-9 及び図 I-3-(4)-10 にそれぞれ示す。なお、焼却施設から供給された温水から需要家に供給する温熱を製造する部分についてのデータが把握できていないため、図では地域熱供給に提供された温水量（往還の温度差×比熱に相当する量）を計上している。直接に熱交換で需要家に温水として供給される分については、熱交換や熱導管のロス
の控除する必要があるものの、比較的同等の熱量が使用された可能性はあるのではないかと推測される。

試算結果における本施設の特徴は、エンタルピーの面で評価すれば、通常は最終的には大気あるいは海域などの環境へ放熱される復水排熱が、有効に温水として供給されているため、タービンに投入された熱量の多くが有効に利用されている点が特徴である。一方、エクセルギーの面で評価すれば、当該温水は温度が低いため、発電に比べ、その寄与は無視できる程度となっている。

また、本施設は発電効率が背圧タービンよりも高い復水タービンを用いており、エクセルギーでみると、タービン投入蒸気が電気に変換される過程での損失割合が、背圧タービンの他事例よりも低く、かつ、エンタルピーでみる場合よりも低いことも特徴的である。

表 I-3-(4)- 19 K清掃工場のエネルギー変換効率（再掲）

変換効率の指標 平成 24 年度	ごみ 発電効率	③ 総合 発電効率	③総合効率	④ エネルギー 回収効率
発生端	8.8	8.7	20.1	16.7
送出端	0.5	0.5	17.8	8.4

イ) 直接に熱供給を行わずに発電を優先させた仮想的ケースの試行的評価

本施設では、復水タービンの復水排熱から温水供給している。このための水冷式副復水器を用いずに空冷式復水器のみを使用した場合の発電量の変化を推定するにはかなり精緻な評価が必要であると考えられ、かつ、それほど大きな変化はないと想像されるので、当該評価は省略した。

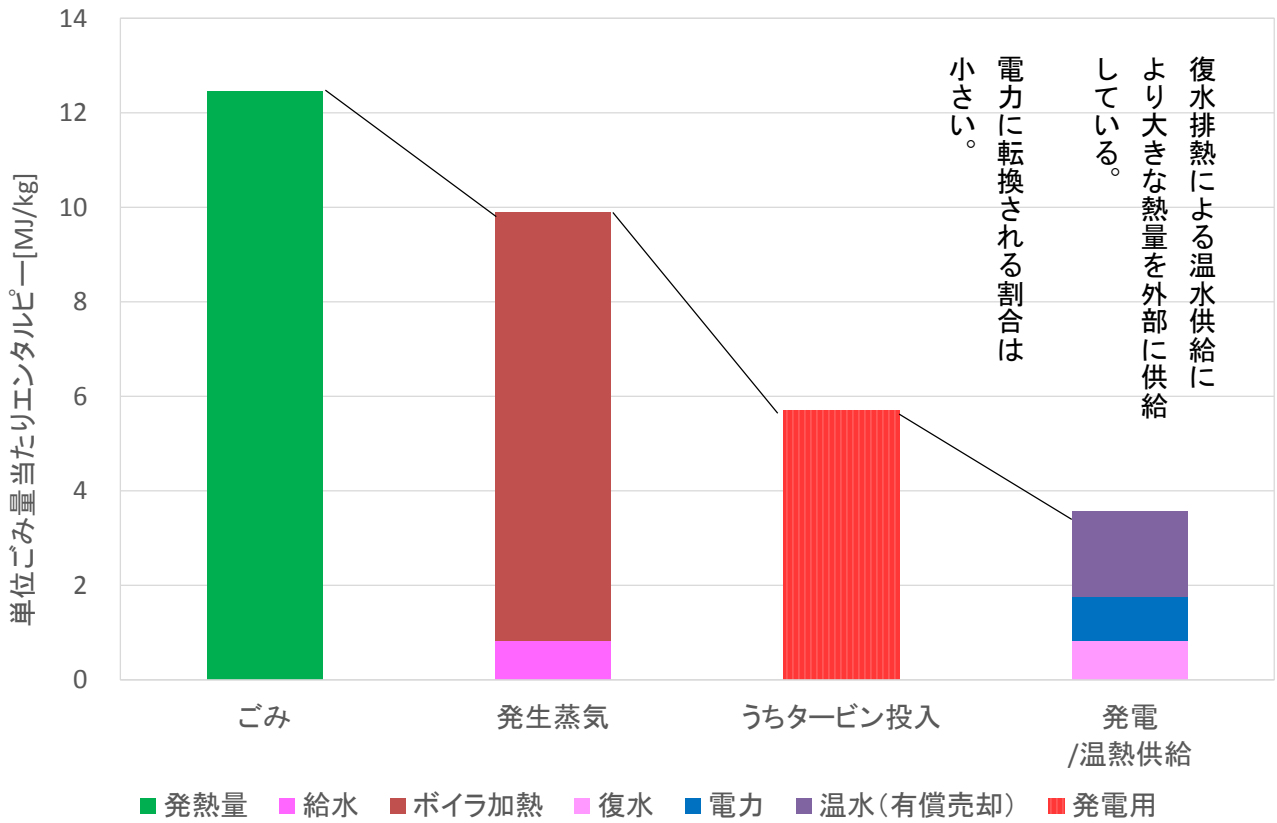


図 I-3-(4)-9 K清掃工場の単位ごみ量当たりエンタルピーの推移

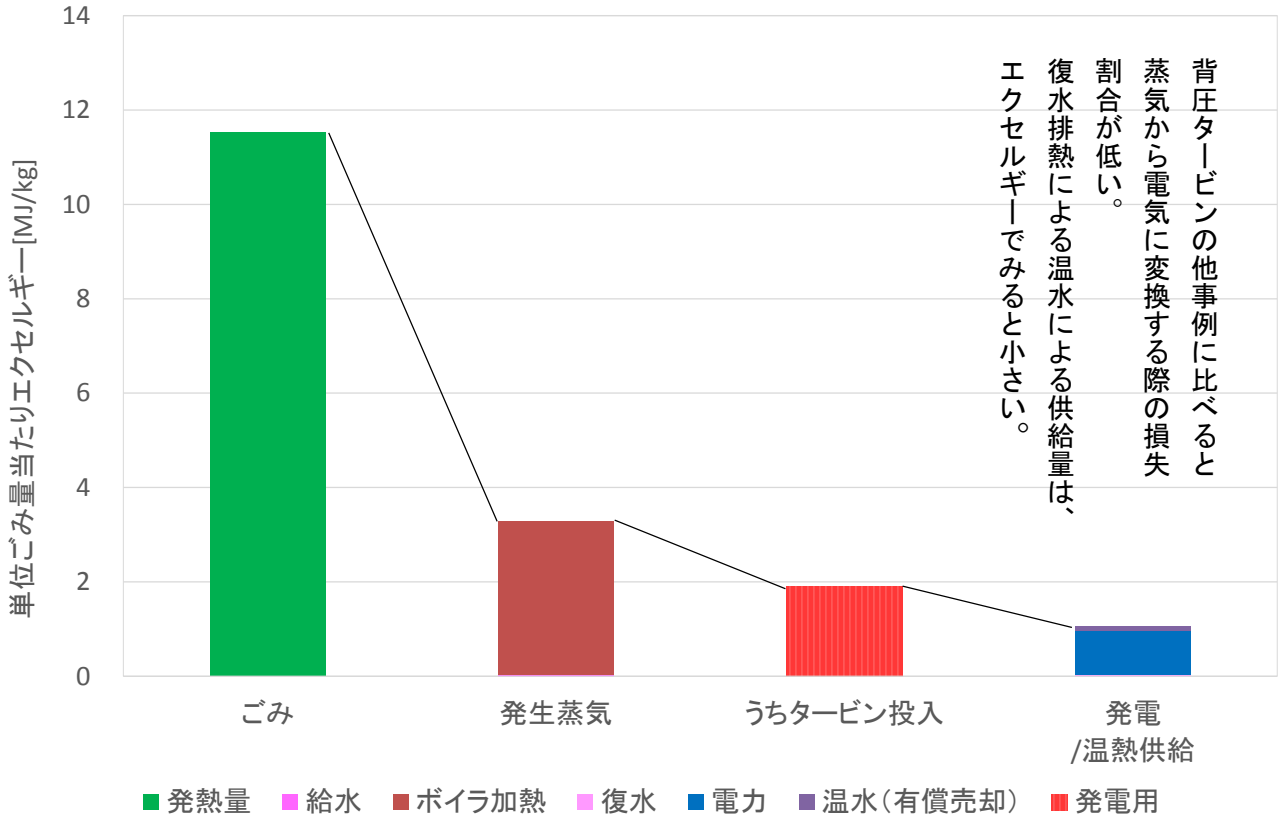


図 I-3-(4)-10 K清掃工場の単位ごみ量当たりエクセルギーの推移

④ 二酸化炭素排出量削減効果

ア)「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」に準じた評価

「廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル」(環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、平成 22 年 3 月)に準じた方法により、エネルギー利用に伴う二酸化炭素排出量、及び、発電と外部への熱供給に伴う二酸化炭素排出削減量を算定した。

本施設では、場外熱供給に伴う二酸化炭素排出削減量も大きいものの、発電に比べれば小さい結果となった。しかし、温水供給については、発電後の復水排熱を利用していることから、発電による削減に加えて、さらに追加的な削減が実現していると評価される。

表 I-3-(4)-20 現状の二酸化炭素排出量(マイナスは削減量)

H24	単位	活動量	排出係数	単位	CO ₂ 排出量 (tCO ₂)
ごみ焼却量	t	67,646			
電気使用量	kWh	16,383,360	0.000551	tCO ₂ /kWh	9,027
都市ガス使用量	Nm ³	96,173	0.002230	tCO ₂ /Nm ³	214
ガソリン	L	160	0.002320	tCO ₂ /L	0
発電量	kWh	17,286,540	-0.000551	tCO ₂ /kWh	-9,525
場外熱供給量	MJ	903,180	-0.000055	tCO ₂ /MJ	-6,797

注) 活動量は環境省一般廃棄物処理事業実態調査から引用

イ) 直接に熱供給を行わずに発電を優先させた仮想的ケースの試行的評価

同地域においては、地域熱供給(温水による給湯及び暖房)の需要家として集合住宅の一般家庭が多数含まれることが特徴である。ただし、多くの住戸への温水供給は、サブステーションごとのヒートポンプから行われており、焼却排熱(温水)は、蓄熱槽を経由して、当該ヒートポンプの熱源水として使用されていることになる。当該熱源水の温度は、26℃程度とされていることから、環境温度を 25℃とした場合のエクセルギーで評価すれば、エクセルギー率としては、ほぼ 0 として評価されると想定される。

従って、焼却排熱(温水)は、基本的には熱交換による温水の直接供給へ寄与しているとみることが、一定の合理性があるのではないかと考えられる。(ただし、清掃工場からの温水の熱供給量と温水の直接供給量の大小関係は不明。)

同地域の地域熱供給における温水製造のための熱源機器としては、ボイラー及びヒートポンプがある。そこで、温水が供給されず、これらの機器で加温を行う必要がある仮想ケースについて、二酸化炭素排出量の増加量を試算した。

計算の手順上当然ではあるが、都市ガスボイラー代替の場合には、現状の温水供給量に伴う CO₂ 排出削減量と同等量が増加する。また、ヒートポンプ代替の場合について、ここでは比較的、加温の温度差が大きい機種のパフォーマンスを想定したため、二酸化炭素排出量の増加量は都市ガスボイラーとそれほど異なる結果となっている。実際に地域熱供給側に導入されているヒートポンプの

効率の定格値や実績値については入手できておらず、本試算は実態と乖離している可能性もある。

表 I-3-(4)-21 地域熱供給に焼却排熱を供給しない場合の CO₂ 排出量増加量の試算 (K 清掃工場)

ケース	熱供給種類	燃料	活動量	単位	排出係数	単位	CO ₂ 排出量 (tCO ₂)
ケース 1	ボイラ	都市 ガス	2,988,346	Nm ³	0.00223	tCO ₂ /Nm ³	6,664
ケース 2	ヒートポンプ 給湯器	電気	9,338,580	kWh	0.000551	tCO ₂ /kWh	5,146
(参考) 現状	供給熱量	熱	121,028,000	MJ	0.000055	tCO ₂ /MJ	6,657

注) ヒートポンプ給湯器は実際に地域熱供給で導入されているものの性能が不明であるため、ここでは仮に COP は 3.6 とした。ボイラ効率は 0.9 (HHV) とした。

⑤ 廃棄物エネルギー利用方式の決定に至る経緯

アメリカ空軍の家族宿舎の全面返還に伴い、開発計画が検討され、住宅団地の都市計画が決定され、同時に地域冷暖房システムの導入の検討が開始された。一度は断念されたが、東京電力によるヒートポンプ活用型システムの提案を契機に、プロジェクトが再開され、現工場の発電後の排熱供給の方向で協議が進められた。自治体の総合実施計画において、余熱利用による発電施設を増設し、ローカルエネルギーセンターとして役立てていくことが標榜、同清掃工場が正式に計画された。同年に住宅関係の行政部局・公社・公団の三者が地域冷暖房事業に係る費用負担に合意、自治体を筆頭株主に地域熱供給会社が設立された。

⑥ 今後について

平成 24 年度より建替計画の策定が始まり、同 24 年より環境アセスメント開始、平成 28 年度より解体着手予定であり、平成 29 年度着工平成 32 年度の竣工が目指されている。現在地において建替えて、竣工後は、高効率発電を行うとともに、公共施設や地域冷暖房施設へ熱供給を行うとされている。

建替の検討において、現状の温水供給に加えて、蒸気 1.5t/h を供給しても、交付金の高効率発電効率の要件 17%を満たせるかどうかを検討された経緯がある。

(5) 結論及び提案

二酸化炭素排出量を削減するために、外部へのエネルギー供給量を拡大するためには、廃棄物からのエネルギー回収量の増加と、場内のエネルギー消費量の削減が必要である。

本節では、既存施設の外部エネルギー供給効率を、電気と熱の熱量を単純に合算した総合効率によって評価した試算結果を踏まえて調査対象施設を選定した結果、発電に加えて相当量の熱を供給している施設が中心となったことから、主に前者のエネルギー回収量の増加の側面から、熱の活用状況を含めた調査を行った。

廃棄物焼却エネルギーの回収・利用過程について、エネルギーの量をエンタルピーで評価すると、タービンにおける電気への変換過程での損失（復水損失）が大きい。一方、エクセルギーで評価すると、効率の高い復水タービンであれば、蒸気の電気への変換での損失率はエンタルピーの場合ほどには小さくなく、かつ、タービンの種類や熱利用の方式によらず、燃料（廃棄物）を熱（蒸気）に変換するボイラで最大の損失が生じていることがわかる。

地域熱供給への焼却エネルギーの供給では、熱交換や輸送の過程での一定の損失があるとはいえ、エンタルピーの損失の低減度合が発電よりも少ないことが特徴である。試算結果より、現状では発電に比べても CO₂ 排出量の削減に資する可能性は十分あると考えられたが、供給された蒸気から温水や冷水を製造する過程でのエクセルギー損失割合が大きい場合もあった。よって、冷熱・温熱製造過程における損失を低減するために、今後、焼却施設からの最適な熱供給条件の追求や地域熱供給の熱源設備における高効率な変換機器の導入なども期待される。この点について、本調査結果を踏まえ、その課題などを1) で整理した。

エネルギー回収量の増加のためには、効率面からみた施設の適正規模化を通じた発電効率の向上と所内率の低下、及び、同一規模における発電効率の向上が基本的な対策であると考えられる。このうち、前者については技術的というよりは政策的な対応が中心になると考えられる。一方、後者については廃棄物発電技術の高度化も必要であるが、上記のとおりボイラで発生させる蒸気の高圧化によるエクセルギー損失の低減が原理的には基盤となるため、この点について2) で整理した。

最後に本調査の前段における一般廃棄物処理事業実態調査の活用を通じて、同調査のデータについて判明した点のあるため、同調査自体に対する提案を簡単に3) に記す。

1) 発電のみならず相当の熱を供給する焼却施設について

本調査で抽出された既存施設のうち発電のみならず相当の熱を供給する3つの焼却施設は、いずれも、地域熱供給（地域冷暖房）に排熱を供給している施設であった。これは、熱を熱として大量に地域で利用しようとするならば、その方法は限られることを反映していると考えられる。

これらの施設は、いずれも最近に建設されたものではなく、周辺の大規模な開発計画と何らかの関係性・整合性をもって比較的過去に建設された事例である。調査した事例の中には、焼却施設の立地後、一定期間が経過した後に、排熱の地域熱供給への供給が開始されたものもあった。

抽出された3施設で地域熱供給のために使用していた余熱は、偶然にも、ボイラ発生蒸気（タービン投入前の高温高圧蒸気）、タービン抽気蒸気（タービンで一定の仕事をして温度圧力がある程度低下した蒸気）、タービン排気蒸気（タービンでの発電が終わったあとで復水する前の蒸気）

と異なる種類に分かれた。それぞれの特徴等を表 I-3-(5)-1 に要約した。

地域熱供給での焼却排熱の利用の実現には従来から指摘されているように都市計画における一体的な検討などの都市開発や社会基盤整備全体における一体的取り組みが必要であると考えられるが、本調査で判明した、いわば最近のそれ以外の個別の留意事項等のいくつかを以下に列挙する。

(ア) 再生可能エネルギーにより発電した電気の固定価格買取制度 (FIT) との関係

FIT の導入により、一般廃棄物のうちバイオマス分について、現状では 17 円/kWh という従前よりも高い価格で売電が可能となった。

このため、外部に蒸気供給を行った場合には、廃棄物発電主体からみれば、その分だけ売電収入が減少することになる。売電単価が従来より向上したために、売熱（蒸気）単価についても、それに応じて引き上げた価格設定としなければ、特に新設工場（既存工場では建設後の経過年数に応じて買取期間が短縮される。）においては収入面で不利となる。

このことは、蒸気を購入する地域熱供給側からみると経済性の悪化につながる。特に、電気や都市ガスの水準に近い値となってくると、焼却排熱を利用する経済的動機が失われることになる。

いずれにせよ、FIT で補填されるサーチャージの分だけ、二酸化炭素排出削減効果にすぐれた外部熱供給が経済面で相対的に不利になったと考えられる。販売量の明確な外部熱供給においても、FIT 制度の対象となることで、バランスのとれた廃棄物エネルギー利用方法が促進されると考えられる。

(イ) 既に地域熱供給への供給を実施している焼却施設の建替時の熱供給の継続・強化

既に地域熱供給への供給を実施している焼却施設を建て替える場合には、既存施設よりも発電効率を向上させることで二酸化炭素排出量はその部分では削減できるものの、地域熱供給への排熱供給が継続されないと、地域熱供給側での二酸化炭素排出量は増大するため、社会全体としての二酸化炭素排出量削減効果は十分発揮されないおそれがある。特に、かえってトータルの排出量が増大するような状況は回避することが、地球温暖化対策の面からは望ましいのではないかと。

従来の循環型社会形成推進交付金制度の高効率ごみ発電施設の要件としては、発電効率のみであったので、少なくとも蒸気を外部供給することは、この面で不利となる可能性があった。実際に調査対象事例の中でも、将来の建替計画の検討において、蒸気供給を行った場合にも、当該要件を満たすことができるかどうかを検討された事例があった。一方、現状では、エネルギー回収型廃棄物処理施設として、熱利用率（有効熱量×0.46）も加算される形となっているため、この点は抑制要因とはならなくなったと考えられる。

発電と熱供給を両立するためには、抽気復水タービンによる蒸気・温水供給がありうると考えられるが、本調査の対象事例では、同タービン形式による地域熱供給への活用の事例はなく、具体的な評価は行えていない。また、地域熱供給の需要家が業務系中心の場合には冷熱需要が相対的に大きくなることから、温水よりも蒸気に対する要求が高いと考えられるが、この場合、発電量とのトレードオフが温水以上に発生すると考えられる。一方で、恒常的に大量の蒸気需要が見込まれるならば、抽気によらずとも、背圧タービンを採用し、低圧排気蒸気の全量を地域熱供給

で使用することも考えられるのではないかと。この場合、タービン入口蒸気を高圧化しても、タービン最終段付近での湿り度の上昇が回避されることから、ボイラ出口の温度上昇量は現状水準から一定程度に抑えつつ、高圧化することでタービンにおける熱落差を確保できれば、発電効率と外部熱供給をよりよい条件で両立しうるのではないかと考えられ、一つの方策の可能性として挙げうるのではないかと。

(ウ) 焼却施設から地域熱供給の中央熱源設備までのインフラの費用負担

調査した事例においては、インタビュー結果によれば焼却施設から地域熱供給の熱源設備までのインフラ（熱導管）を地域熱供給側で負担しているという事例があった。売電の場合には、商用電力システムまでの連系のための工事費負担金は売電側の負担となる原則とは、相違があると考えられる。

特に蒸気配管の場合には、一定年数での交換も必要になる可能性があると考えられることから、地域熱供給側の経済的な負担となる可能性がある。

なお、地域熱供給の中央熱源設備から需要家までの熱導管は、熱供給事業を行ううえでの本来的なインフラであり、当該インフラの整備については地域熱供給の推進の観点から、取り扱われるべき事項ではないかと考えられる。さらに、それが温水・冷水等の配管である場合においては、蒸気配管と異なり、敷設条件によってはより長期に利用できることから、更新は当面の課題とはならないと考えられる。

表 I-3-(5)-1 地域熱供給での焼却排熱活用事例の種類と本調査試算結果を踏まえた考察

事例の種類	試算結果の概要
ボイラ発生蒸気を地域熱供給に使用している既存施設	<p>高圧蒸気を地域熱供給に使用している施設におけるエネルギー利用効率の試算結果からは、温熱・冷熱へ変換する方が、ボイラ蒸気を電気へ変換するよりも、エクセルギー効率は高い結果となった。これは、発電した電気により温熱・冷熱を製造する場合よりも、ボイラ蒸気を地域熱供給へ供給した方がより多くの温熱・冷熱を供給できるとの試算結果となったことと合致する。</p> <p>この試算結果より、同焼却施設に当時導入されたタービン発電機の性能を前提とすれば、蒸気全量を発電に投入するよりも、地域熱供給へも供給するという選択が、エネルギー有効利用の観点からすぐれていたと考えられる。ただし、実際には蒸気全量を発電にすることでタービン発電機の容量拡大に伴う熱効率の向上も期待される。また、現在では、発生蒸気はより高温高圧化が可能であり、タービン室効率も向上していることから、今後の施設においては、抽気復水タービン方式による廃棄物発電との組み合わせとすることで、総合的な効率をより高めることが可能になると考えられる。</p>
タービン抽気蒸気を地域熱供給	タービンで一定程度発電のために仕事をしたあとの抽気蒸気を地域熱供給に使用している施設におけるエネルギー利用効率の試算結

<p>に使用している 既存施設</p>	<p>果からは、温熱・冷熱へ変換する方が、抽気蒸気を電気へ変換するよりも、エクセルギー効率は高い結果となった。これは、発電した電気により温熱・冷熱を製造する場合よりも、抽気蒸気を地域熱供給へ供給した方がより相当多くの温熱・冷熱を供給できるとの試算結果となったことと合致する。</p> <p>この試算結果より、同焼却施設に当時導入されたタービン発電機の性能を前提とすれば、抽気蒸気を地域熱供給へ供給するという選択が、エネルギー有効利用の観点からすぐれていたと考えられる。ただし、同施設の蒸気タービンは抽気背圧タービンであったため、抽気蒸気の外部供給が、発電よりも相当有利に評価された一因となっている可能性もある。このため、排気（低圧蒸気）についても地域熱供給で利用したり、あるいは、抽気復水タービンが採用されることで、総合的なエネルギー利用効率をより高めることが可能になると考えられる。</p>
<p>タービン排気蒸 気を地域熱供給 に使用している 既存施設</p>	<p>復水タービン排気の水冷式の復水過程における排熱を温水として地域熱供給に供給することから、タービンに投入された蒸気の熱量が高いエンタルピー効率で利用されている。復水条件の設定にもよるが、発電とのトレードオフが小さいことから、高効率発電に加えて二酸化炭素排出量の追加的な削減が可能な方法であるといえる。</p> <p>ただし、当該温水の温度は同事例では 50℃程度であり、エクセルギーでみれば発電された電力に比べて相当小さい。このことは、当該温水の用途が限られることを示唆している。同事例では、地域熱供給が業務系ではなく住宅系に対して、しかも温水供給中心に行われていることから、本方式と両立性が相対的に高いものと考えられる。化石燃料で温水を発生させる方式と比べれば二酸化炭素排出削減効果は大きいですが、家庭の温水（給湯・暖房）需要を賄う機器の方式（ヒートポンプや燃料電池）及びそれらのエネルギー変換効率の将来的な見通しや組み合わせ方を含めた検討が必要と考えられる。</p>

2) 廃棄物焼却エネルギー回収の更なる高度化に向けて（蒸気条件の高温高圧化に向けた技術開発の必要性）

廃棄物を燃焼し、ボイラで蒸気を発生させた時点で、ごみがもともと有していたエネルギー（エクセルギー）は、既に大部分が失われている。従って、原理的には、蒸気条件の高温高圧化によりボイラで回収するエクセルギーを増加させる必要がある。

このような方向性での国における技術開発プロジェクトとしては、平成3年から平成11年にかけて NEDO により実施された「高効率廃棄物発電技術開発『従来型ストーカ炉発電等高効率化技術開発』」（9年間の受託含む事業費総額 88億円）が挙げられる。同プロジェクトでは、廃棄物発電の高効率化を図るため、高温高圧（500℃、10MPa 級）の蒸気を安定的に発生させることを

目指して、高温高効率燃焼炉の開発や「耐腐食性スーパーヒーター材料」の開発について、要素技術の開発や実用炉における信頼性の実証などが実施された。

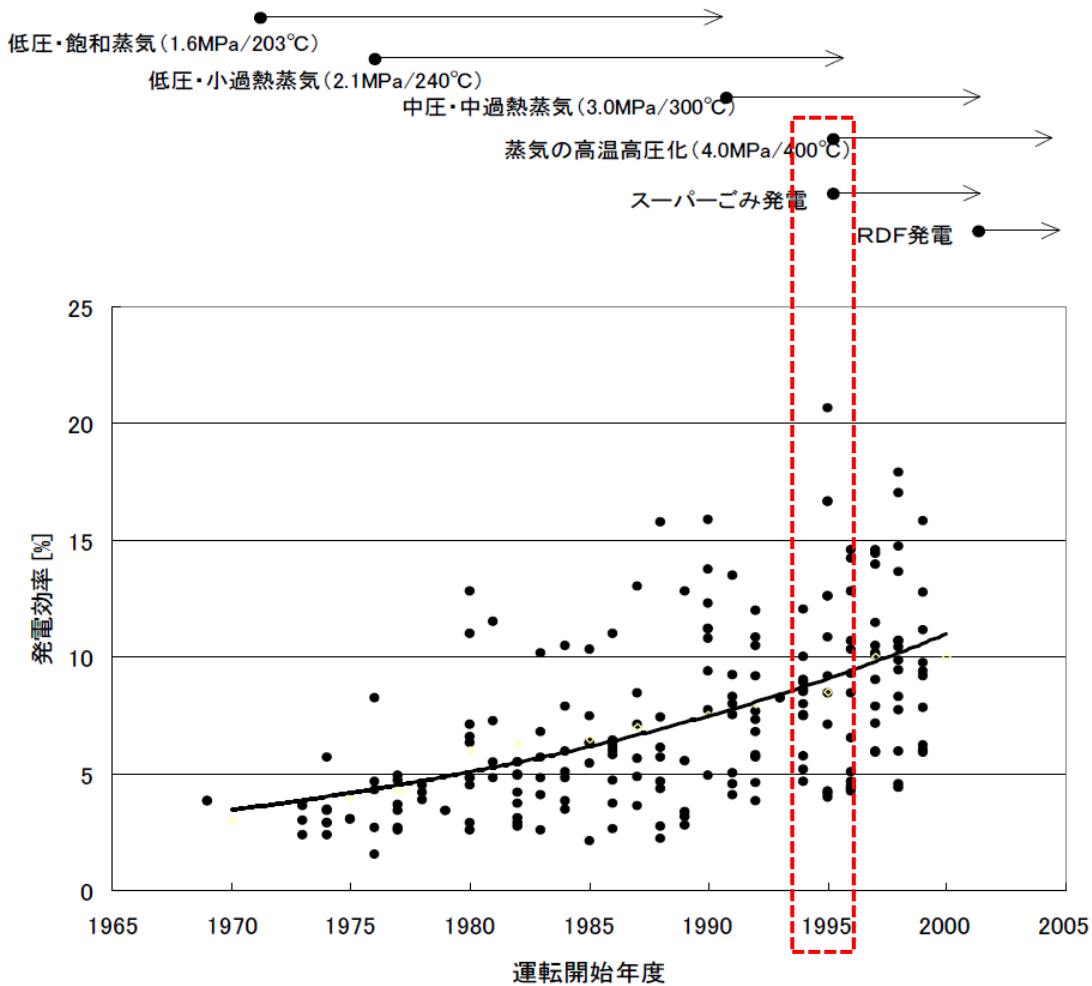


図 I-3-(5)-1 廃棄物発電施設におけるボイラ蒸気条件と発電効率の推移

出典：角田芳忠 (社) 日本環境衛生施設工業会技術委員長「高効率廃棄物発電の現状と今後の展望について」(平成 22 年 11 月 26 日) より引用し、赤枠を追加。

このような技術開発が進められる中、現実には 1995 年 (平成 7 年) ごろより、実機においても蒸気条件が 400°C、4MPa 程度の、従来よりも高効率な廃棄物発電施設の導入が進んできた。このことは、同時に、その後の現在までのおよそ 20 年間は、この部分での抜本的な技術革新または革新的技術の導入がなかったことを示唆しているともいえるのではないかな。

無論現在の蒸気条件の設定は、温度上昇に応じた伝熱管 (特に過熱器管) の腐食の悪化という技術的な障害要因を背景として、合理的な水準に抑えられているためと考えられる。しかしながら、現状水準に留まる場合には、外部送電効率の向上は早晚頭打ちとなり、将来における更なるエネルギー回収量の増大が困難となる事態も予想されるのではないかな。一方で、さらなる高効率の廃棄物発電施設が現実に導入できれば、今後、ごみ焼却量の増加が見込まれる地域も世界的には少なくない中で、わが国の高度な環境技術を分かりやすく示すことにも大きく貢献することが期待できるのではないかな。また、当時と比較して、現状では売電単価が上昇しており、高温高圧

化による発電効率の向上が相対的に経済的メリットが生じやすくなったという状況変化もある。

なお、ストーカ炉による廃棄物発電ではなく、単純に比較できるものではないが、例えば、廃タイヤや RPF、建設廃材などのリサイクル燃料も多く活用する外部循環型流動床炉による熱回収施設（発電施設）においては、500℃、10MPa 程度のボイラーの導入が多くみられ、ごみ発電との水準の開きは大きい。

従って、廃棄物発電における現状よりも高度な蒸気条件の導入に向けて、そのための技術面等での実現可能性の調査を踏まえた上で、中期的な視点から新たな技術開発あるいは実証や導入促進のためのプロジェクトが検討されることも、考慮に値するのではないかと。

3) 一般廃棄物処理事業実態調査の記入様式についての提案

今後、以下の点などへの対応が図られることで、一般廃棄物処理事業実態調査が、特に外部エネルギー供給の観点より、一層有用なデータベースとして価値を高めうるのではないかと。

○公表されているデータ項目における用語の定義の明確化

具体的には、発電能力の調査区分の総発電量のうち外部供給量が何を意味するかの明確化が望ましいのではないかとと思われる。売電または自家消費及び特定供給のいずれなのか、あるいは両方なのかといったことが、規模の大きな自治体の間でも回答（解釈）に相違がみられる。ただし、受電量を差し引かないとすれば、同一発電量・同一使用電力量でも、受電量の相違により外部供給量が相違するため、単純に同欄で外部送電効率を評価することは難しいように思われる。

また、コジェネレーションが存在する場合は、回答者がそれぞれに記入方法を判断されている可能性が示唆されたため、今後、常用発電機の導入が進むような場合には、データ利用方法を踏まえた記入方式の明確化が望まれる可能性がある。

なお、余熱の場内利用量については、現状の交付金における「エネルギー回収効率」における有効熱量（のうち場内利用量）が定義されるよりも以前から調査が行われているものであり、従って有効熱量には含まれないプラント利用も含めた様々な用途が計上されている可能性もある。

○関連するデータ項目間での整合性チェック

具体的には、余熱利用量に発電用タービンに投入した蒸気量が含まれている場合や、電力量の入出力の収支が明らかにバランスしていない場合が散見されたため、例えば、これらが（半）自動的に記入様式で判定されるとよいのではないかとと思われる。（異常値の可能性の自動的な指摘）

・電力量収支の確認について

発電量、送電量、受電量、使用量のバランスについて、それぞれが独立に計量されていれば必ずしも厳密に収支が一致するわけではないが、おおよその妥当性がチェックされることは有用ではないかと考えられる。それによって、外部送電効率による評価の信頼性が高められると考えられる。

ただし、これらの各電力量については、既に報告様式にも識別欄が用意されているように、他施設との重複がある場合も一定数あり、他施設を含めた全量計上または当該焼却施設ではゼロ（空

欄)として計上するなどの対応となることから、外部送電効率(ネット送電量)を評価しようとするならば、この条件に該当する施設については除外せざるをえない場合もある。

4. 中小都市における廃棄物エネルギーの利用方策の検討

(1) バイオマスとのコンバインド発電検討

1) はじめに

東日本大震災以降、電力不足や原発に大きく依存してきたエネルギー戦略の見直しが迫られる中で、災害時の緊急電源や防災拠点としての機能や、廃棄物系バイオマスの再生可能エネルギーとしての有効利用等の観点から、地域において廃棄物発電が果たす役割は大きくなることが期待されている。

一方で、地域の特性や制約から、廃棄物処理施設の広域化・集約化が難しい中小規模の施設における実施可能かつ効率的な廃棄物エネルギーの活用方策が課題となっている。

このような背景を受け、林地残材等のバイオマスに目を向けると、全国の山間地に賦存し、その周辺は中小都市といった状況である。バイオマス発電は原料の収集が要因で事業性に乏しいといわれているが、ごみ焼却とのコンバインド発電により普及が期待されているので、林地残材等によるバイオマス発電と一般廃棄物のごみ発電をコンバインドし、より高効率の発電を実現することでバイオマス発電事業の事業化を図ること、さらに、バイオマスを定量的に受入れることで森林整備事業の運営に貢献し、地域振興を図ることを目的として本検討を実施した。

2) 検討概要

林地残材によるバイオマス発電と一般廃棄物焼却施設（蒸気供給）をコンバインドし、より高効率の発電を実現することでバイオマス発電事業の事業化を図るため、L市の条件（林地残材約25,000t/年の処理を想定して処理能力80t/日のバイオマスボイラを想定）を踏まえ検討を行った。

ごみ焼却施設単独処理の場合、基準ごみ処理ベースで年間送電端量が約35MWh/年、発電効率が約21%程度あるのに対して、バイオマスとのコンバインド発電（ごみ焼却+バイオマス発電施設）を行った場合は、年間送電端量が約52MWh/年、発電効率も約25%程度までのアップが期待できる結果となった。

一方、コスト面からみると、バイオマスとのコンバインド発電における増加分（整備・運営費、チップの購入費等）と売電収益増加分を考慮する必要がある、チップ購入費を約7円/kg程度で設定すると約1.7億円/年程度の収入が見込め、約15円/kg程度で設定すると約0.3億円/年程度の赤字となった。

また、バイオマスとのコンバインド発電におけるCO₂削減の効果は約0.9万トン/年となった。

3) 検討のステップ

①蒸気条件及び蒸気フロー等の検討（Step1）

蒸気条件及び蒸気フロー等についてはメーカーヒアリング等を実施し、エンジニアリング面からの実行可能性も確認するとともに図1に示すフローで検討を実施した。また、経済性については、ごみ焼却施設（可燃ごみ処理）単独処理の場合と比較して、送電端量の増加分、売電単価、チップ購入費、バイオマスボイラの整備・運営費等を考慮して検討を実施した。（「結果の概要」参照）

②林地残材（チップ）の受け入れに関する検討（Step2）

林地残材（チップ）の受け入れに関しては、地元の対応性（年間供給量）を確認するとともに、地元経済への還元対策として購入単価（7～15 円/kg）の検討を実施した。（「結果の概要」参照）

ア）L市における林地残材（チップ）の調達可能性

L市からのヒアリング等から下記に示すとおりL市内で25,000t/年程度の林地残材（チップ）が調達可能である。また、L市は隣接する市町村の森林にも囲まれているため、隣接する市町村からの調達可能性も有している。

- ・L市年間伐採量：約120,000 m³/年（A材：70%、B材：20%、C材：10%^{注1}）
- ・チップ（C材及び製材所での端材等を利用）：約40,000 m³/年（25,000t/年）

注1）A材：直材（製材用丸太） B材：曲がり材、短尺材 C材：低質材（チップ等で使用）

イ）林地残材（チップ）の購入費用

L市からのヒアリング等により、林地残材（チップ）の購入単価は10 円/kg 前後と想定することができたので、地域振興という観点から上限を15 円/kg と設定した。また下限は上限値の半値（7 円/kg）と設定した。

③システム全体の収益性の検討及び課題等の抽出（Step3）

ア）事業主体としての自治体の参加の在り方検討

バイオマス発電事業に係る公共（市町村等）の係わり方について、施設間（ごみ焼却施設ーバイオマス発電施設）の電気受給の考え方（特定供給等）や双方施設の運転調整の対応について検討を実施した。（「結果の概要」参照）

イ）国のバイオマス活用支援制度の活用方策検討（今後の対応）

4）検討条件（主な条件）

①ごみ焼却施設（L市から排出される可燃ごみ処理）

- ・ごみ焼却施設の能力：390t/日（130t/24h×3 炉）
- ・ごみ質：1,200～2,800kcal/kg（基準ごみ：2,000kcal/kg）想定
- ・蒸気条件：400℃ 6.0MPa（飽和蒸気）

②バイオマス発電施設（林地残材処理）

- ・林地残材（チップ）の搬入量は約25,000t/年（80t/日）
- ・林地残材（チップ）の発熱量：2,000kcal/kg（水分：50%）想定
- ・バイオマスボイラの処理能力：80t/日程度
- ・蒸気条件：500℃ 6.0MPa（過熱蒸気）

5) 検討フロー

本検討フローは図 I-4-(1)-1 に示すとおりである。

林地残材によるバイオマス発電施設を一般廃棄物焼却施設側に組み込み、一般廃棄物焼却施設側の蒸気（条件：400℃ 6.1MPa）をバイオマスボイラ側の蒸気（条件：300℃ 6.1MPa）と混合し、独立過熱器（バイオマスボイラ側）において500℃、6.0MPaに過熱した蒸気で発電を行うものとする。

バイオマスボイラの排ガス処理は、集じん機～誘引通風機を経て一般廃棄物焼却施設側の排ガス処理システムへ合流するものとする。

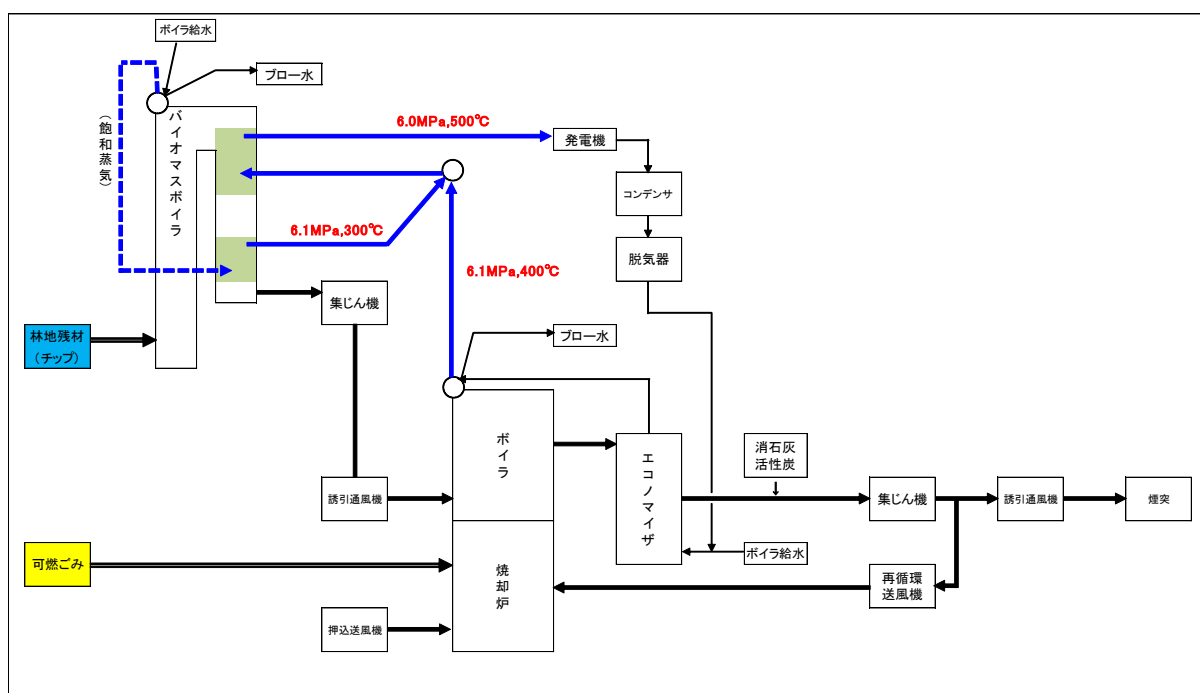


図 I-4-(1)-1 検討フロー図

6) 結果の概要

上記の試算条件に基づく結果の概要は以下に示すとおりである。

①ごみ焼却施設単独処理の場合の試算

ごみ焼却処理施設単独の場合の年間送電端量、発電効率、年間売電収入の試算結果は下表のとおりである。

表 I-4-(1)-1 ごみ焼却施設単独処理の場合の試算

年間ごみ処理量(t/年)	98,800	
計算に用いるごみ質	基準ごみ(2,000kcal/kg)	
ボイラ蒸気条件	4MPa 400°C	
稼働状況	2炉運転時	3炉運転時
日数(日/年)	200	120
立上げ下げ時を含まない		
使用電力量(kWh/日)	40,800	48,000
発電電力量(kWh/日)	129,600	192,000
差引電力量(kWh/日)	-88,800	-144,000
送電端 合計(kWh/年)	17,760,000	17,280,000
		35,040,000

発電効率	21.2 %
------	--------

年間売電収入(売電単価:17円/kWh)	596,000 千円/年
----------------------	--------------

②バイオマスとのコンバインド発電の場合の試算

バイオマスとのコンバインド発電の場合の年間送電端量、発電効率、年間売電収入、CO₂削減効果の試算結果は下表のとおりである。

表 I-4-(1)-2 バイオマスとのコンバインド発電の場合の試算

年間ごみ処理量(t/年)	98,800	
年間木質チップ処理量(t/年)	25,000	
計算に用いるごみ質	基準ごみ(2,000kcal/kg)	
計算に用いる 木質バイオマスの発熱量	2,000kcal/kg	
ボイラ蒸気条件(独立過熱器)	6MPa 500°C	
稼働状況	2炉運転時	3炉運転時
日数(日/年)	200	120
立上げ下げ時を含まない		
バイオマスホウ稼働日数(日/年)	200	120
使用電力量(kWh/日)	64,800	72,000
発電電力量(kWh/日)	204,000	276,000
差引電力量(kWh/日)	-139,200	-204,000
送電端 合計(kWh/年)	27,840,000	24,480,000
		52,320,000

発電効率	25.3 %
------	--------

年間売電収入(売電単価:20円/kWh)	1,046,000 千円/年
----------------------	----------------

①ごみ焼却施設単独 送電端量	35,040,000	kWh/年
②コンバインド発電 送電端量	52,320,000	kWh/年
送電端量増加分 ②-①	17,280,000	kWh/年
CO ₂ の削減効果 ※	8,864,640	kg-CO ₂ /年

※ 排出係数:0.513 kg-CO₂/kWh(中部電力)

③バイオマスとのコンバインド発電を実施した場合コスト試算

林地残材（チップ）の購入費用とバイオマス発電施設の整備・運営費を考慮した年間収支は表 I-4-(1)-3 に示すとおりで、ごみ焼却施設単独の場合の売電収入（約 6 億円／年）をベースとすると、チップ購入単価が 14 円/kg が一つの目安となる。

表 I-4-(1)-3 L市バイオマス+ごみコンバインド発電におけるチップ購入費と年間収支

チップ購入単価	円/kg	7	8	9	10	11	12	13	14	15
チップ購入費用	億円/年	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75
売電収益(焼却単独)	① 億円/年	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96
売電収益(コンバインド発電)	② 億円/年	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46	10.46
整備費・運営費【追加分】	③ 億円/年	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
チップ購入費	④ 億円/年	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75
コンバインド発電による年間収支増加分(②-③-④)-①	億円/年	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	-0.25

ア) チップ購入費

- ・ 7～15 円/kg×25,000t/年=175,000～375,000 千円/年

イ) バイオマスボイラ発電施設の整備・運営費（追加分）

- ・ 建設費及び運営費：約 100,000 千円/年(設定)

ウ) 追加分合計

- ・ 275,000～475,000 千円/年

エ) 年間収支（ごみ焼却施設単独処理と比較した場合）

- ・ 175,000～-25,000 千円/年

④売電単価を考慮したコスト試算

ア) 売電単価とコンバインド発電による売電収益増加分

売電単価の変数を 10～30 円/kW として、ごみ焼却処理施設単独の場合とバイオマスとのコンバインド発電のそれぞれの売電収益から算出した売電収益の増加分は表 I-4-(1)-4 に示すとおりである。

例えば、売電単価が共に 10 円/kW の場合は、約 1.7 億円となっている。

表 I-4-(1)-4 売電単価とコンバインド発電による売電収益増加分(億円/年)

	(単価 10円)	(11円)	(12円)	(13円)	(14円)	(15円)	(16円)	(17円)	(18円)	(19円)	(20円)	(21円)	(22円)	(23円)	(24円)	(25円)	(26円)	(27円)	(28円)	(29円)	(30円)	
売電収益(焼却単独)	→	3.5	3.9	4.2	4.6	4.9	5.3	5.6	6.0	6.3	6.7	7.0	7.4	7.7	8.1	8.4	8.8	9.1	9.5	9.8	10.2	10.5
売電収益(コンバインド発電)	↓	5.2	5.8	6.3	6.8	7.3	7.8	8.4	8.9	9.4	9.9	10.5	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.6	14.1	14.6	15.2	15.7
(単価 10円)		1.7																				
(11円)			1.9																			
(12円)				2.1																		
(13円)					2.2																	
(14円)						2.4																
(15円)							2.6															
(16円)								2.8														
(17円)									2.9													
(18円)										3.1												
(19円)											3.3											
(20円)												3.5										
(21円)													3.6									
(22円)														3.8								
(23円)															4.0							
(24円)																4.1						
(25円)																	4.3					
(26円)																		4.5				
(27円)																			4.7			
(28円)																				4.8		
(29円)																					5.0	
(30円)																						5.2

※差額収益(億円/年:コンバインド発電による売電収益-焼却単独の場合の売電収益)

イ) 売電収益増加分と年間収支

前述の表 I-4-(1)-4 から売電収益の増加分を 1.7～4.5 億円/年と想定し、林地残材(チップ)の購入費用とバイオマス発電施設の整備・運営費を考慮した年間収支は表 I-4-(1)-5 に示すとおりである。

売電単価(円/kW)は電気の売り方等により変動するが、焼却処理単独の場合とバイオマスとのコンバインド発電を実施した場合において、同様の形態(チップ購入費や追加整備費等を考慮しない)で売電を行うと仮定すると、バイオマスとのコンバインド発電を実施した場合は概ね 2～5 億円/年程度の売電収益(売電単価:10～30 円/kW とした場合)の増加が見込まれる。

一方、前述のとおりチップ購入費やバイオマスボイラ発電施設の整備・運営費といった追加分を考慮した収支をみると、概ね-3～2 億円/年程度(チップ購入単価:7～15 円/kg とした場合)となっている。

表 I-4-(1)-5 売電収益増加分と年間収支

チップ購入単価	円/kg	7	8	9	10	11	12	13	14	15
チップ購入費用	億円/年	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75
売電収益増加分(1.7億円/年)		1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
売電収益増加分(2.0億円/年)		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
売電収益増加分(2.5億円/年)		2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
売電収益増加分(3.0億円/年)		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
売電収益増加分(3.5億円/年)		3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
売電収益増加分(4.0億円/年)		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
売電収益増加分(4.5億円/年)		4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
整備費・運営費【追加分】	億円/年	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
チップ購入費	億円/年	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75
年間収入(億円/年)										
売電収益増加分(1.7億円/年)の場合		-1.05	-1.30	-1.55	-1.80	-2.05	-2.30	-2.55	-2.80	-3.05
売電収益増加分(2.0億円/年)の場合		-0.75	-1.00	-1.25	-1.50	-1.75	-2.00	-2.25	-2.50	-2.75
売電収益増加分(2.5億円/年)の場合		-0.25	-0.50	-0.75	-1.00	-1.25	-1.50	-1.75	-2.00	-2.25
売電収益増加分(3.0億円/年)の場合		0.25	0.00	-0.25	-0.50	-0.75	-1.00	-1.25	-1.50	-1.75
売電収益増加分(3.5億円/年)の場合		0.75	0.50	0.25	0.00	-0.25	-0.50	-0.75	-1.00	-1.25
売電収益増加分(4.0億円/年)の場合		1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	-0.25	-0.50	-0.75
売電収益増加分(4.5億円/年)の場合		1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	-0.25

⑤事業主体としての自治体の参加の在り方について

ア) 施設間(ごみ焼却施設-バイオマス発電施設)の電気受給の考え方

ごみ焼却施設とバイオマス発電施設の事業主体が異なる場合は、施設間の電気受給(特定供給が不可)に問題が生じる。

イ) 双方施設の運転調整の対応

ごみ焼却施設とバイオマス発電施設の運営(運転)体制が異なる場合は、運転の調整(処理量の調整、蒸気の調整、排ガス処理等の調整)が難しくなる。

ウ) 事業運営スキームのあり方

当初計画の事業スキームでは、ごみ焼却施設とバイオマス発電施設を別事業として、ごみ焼却施設からバイオマス発電施設へ蒸気を供給し、バイオマス発電施設側で発電を実施する計画であったが、前述のとおり、両施設間の電気受給や運転調整等の問題など

を考慮すると、ごみ焼却施設とバイオマス発電施設を一体事業として、官民連携とした事業（DBO 事業等）の検討が必要である。

7) バイオマスとのコンバインド発電導入を支援するための計画策定

今回検討したL市の試算結果から、ごみ発電と林地残材等によるバイオマス発電とのコンバインドにより、高効率発電と CO₂削減を実現することが可能であると考えられる。また、バイオマスを定量的に受入れることで森林整備事業の運営に貢献し、地域振興を図ることも可能になると考えられる。

今後、バイオマスとのコンバインド発電導入を促進するため、以下に示す内容で対応していくことが望ましい。

①事業運営スキームの調整

ごみ焼却施設（可燃ごみ処理）とバイオマスボイラ施設（林地残材処理）の運転も含めた事業スキームについて以下のとおり調整する。

市町村等において、ごみ処理事業（市町村が主体）とバイオマス発電事業を合理的に組み合わせることでより有効に事業を実施できるように、以下に示す内容で調整する。

ア) 事業スキーム

- ・バイオマス発電事業に市町村が出資を行う場合の可能性
- ・DBO事業として両事業を一体化*して実施する場合の可能性

※：バイオマス発電設備とごみ焼却施設の両施設を市町村が整備

イ) 調整内容

- ・国等からの支援（補助金・交付金や基金等）への適用性
- ・プロジェクトファイナンス等の適用性
- ・事業期間（契約期間）
- ・電気及び蒸気の供給（施設間における）
- ・林地残材供給元との連携 等

②事業導入可能性調査の実施

具体的な事業条件を提示し、民間事業者（プラントメーカー、林地残材の供給元、運搬事業者等）に対して事業導入可能性調査（具体的な条件での事業の実行可能性も評価）を実施する。

③事業実施

以下のとおり発注条件等を整理して、事業を実施する。

- ・事業者選定方法の検討
- ・応募資料（入札説明書、要求水準書（発注仕様書）及び事業契約書、事業者選定基準等）の作成
- ・事業の発注

8) その他検討

中小都市におけるバイオマスコンバインド発電を想定し、一般廃棄物焼却施設（①100t/日：50t/24h×2 炉、②150 t/日：50t/24h×3 炉、③210t/日：70t/24h×3 炉）と林地残材によるバイオマス（80t/24h）*によるコンバインド発電について以下のとおり検討を行った。

※：林地残材約 25,000t/年の処理を想定して処理能力 80 t/日のバイオマスボイラとのコンバインド発電を検討

①一般廃棄物焼却施設（100t/日：50t/24h×2 炉）とバイオマス（80t/24h）の場合

100 t/日（50t/24h×2 炉）+バイオマス（80t/24h）によるコンバインド発電については、焼却施設が 1 炉稼働時の場合、下記に示すとおり課題を有しているため 2 炉構成（50t/24h×2 炉）の焼却施設とのコンバインド発電は難しい状況にある。

表 I-4-(1)-6 1 炉稼働（50t/h）時の課題

<ul style="list-style-type: none"> ・焼却施設が 2 炉構成の場合、常に 2 炉でフル稼働することは難しく、炉ごとに補修等を実施する場合は 1 炉運転となるため、バイオマスボイラから発生する蒸気とのバランス調整が難しい。 ・焼却施設において、2 炉稼働時と 1 炉稼働時では排ガス量が倍・半分となるため、前述した検討フロー（バイオマスボイラの排ガス処理は、集じん機～誘引通風機を経て一般廃棄物焼却施設側の排ガス処理システムへ合流）では経済的な施設の整備・運営が難しい。（焼却施設が 1 炉稼働の場合、バイオマスボイラ側の排ガス量全量を 1 系列の排ガス処理設備で処理しなければならないため、焼却施設側の排ガス処理設備（1 系列）が過大になる。また、バイオマスボイラ側に専用の排ガス処理システムを整備するとしても建設費及び維持管理費が増加する。）

②一般廃棄物焼却施設（150t/日：50t/24h×3 炉）とバイオマス（80t/24h）の場合

一般廃棄物焼却施設（150t/日：50t/24h×3 炉）と林地残材によるバイオマス（80t/24h）によるコンバインド発電の試算結果は以下に示すとおりである。

表 I-4-(1)-7 ごみ焼却施設単独処理の場合の試算

年間ごみ処理量(t/年)	38,000	
計算に用いるごみ質	基準ごみ(2,000kcal/kg)	
ボイラ蒸気条件	4MPa 400°C	
稼働状況	2炉運転時	3炉運転時
日数(日/年)	200	120
立上げ下げ時を含まない		
使用電力量(kWh/日)	26,400	36,000
発電電力量(kWh/日)	48,000	76,800
差引電力量(kWh/日)	-21,600	-40,800
送電端 合計(kWh/年)	4,320,000	4,896,000
		9,216,000
年間送電端量(kWh/年)	4,320,000	4,896,000
		9,216,000
発電効率	15.7 %	
年間売電収入(売電単価:17円/kWh)	157,000 千円/年	

表 I -4-(1)-8 バイオマスとのコンバインド発電の場合の試算

年間ごみ処理量(t/年)	38,000	
年間木質チップ処理量(t/年)	25,000	
計算に用いるごみ質	基準ごみ(2,000kcal/kg)	
計算に用いる 木質バイオマスの発熱量	2,000kcal/kg	
ボイラ蒸気条件(独立過熱器)	6MPa 500°C	
稼働状況	2炉運転時	3炉運転時
日数(日/年)	200	120
立上げ下げ時を含まない		
バイオマスボイラ稼働日数(日/年)	200	120
使用電力量(kWh/日)	44,400	54,000
発電電力量(kWh/日)	76,800	120,000
差引電力量(kWh/日)	-32,400	-66,000
送電端 合計(kWh/年)	6,480,000	7,920,000
		14,400,000

発電効率	17.8 %
------	--------

年間売電収入(売電単価:20円/kWh)	288,000 千円/年
----------------------	--------------

①ごみ焼却施設単独 送電端量	9,216,000 kWh/年
②コンバインド発電 送電端量	14,400,000 kWh/年
送電端量増加分 ②-①	5,184,000 kWh/年
CO ₂ の削減効果 ※	2,659,392 kg-CO ₂ /年

※ 排出係数:0.513 kg-CO₂/kWh(中部電力)

表 I -4-(1)-9 バイオマス+ごみコンバインド発電におけるチップ購入費と年間収支

チップ購入単価	円/kg	1	1.3	2	3	4	5	6	7	8	9
チップ購入費用	億円/年	0.25	0.33	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
売電収益(焼却単独)	① 億円/年	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
売電収益(コンバインド発電)	② 億円/年	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88
整備費・運営費【追加分】	③ 億円/年	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
チップ購入費	④ 億円/年	0.25	0.33	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
コンバインド発電による年間収支増加分(②-③-④)-①	億円/年	0.06	-0.02	-0.19	-0.44	-0.69	-0.94	-1.19	-1.44	-1.69	-1.94

③一般廃棄物焼却施設（210t/日：70t/24h×3 炉）とバイオマス（80t/24h）の場合

一般廃棄物焼却施設（210t/日：70t/24h×3 炉）と林地残材によるバイオマス（80t/24h）によるコンバインド発電）の試算結果は以下に示すとおりである。

表 I-4-(1)-10 ごみ焼却施設単独処理の場合の試算

年間ごみ処理量(t/年)	53,200	
計算に用いるごみ質	基準ごみ(2,000kcal/kg)	
ボイラ蒸気条件	4MPa 400°C	
稼働状況	2炉運転時	3炉運転時
日数(日/年)	200	120
立上げ下げ時を含まない		
使用電力量(kWh/日)	28,800	38,400
発電電力量(kWh/日)	60,000	96,000
差引電力量(kWh/日)	-31,200	-57,600
送電端 合計(kWh/年)	6,240,000	6,912,000
	13,152,000	
年間送電端量(kWh/年)	6,240,000	6,912,000
	13,152,000	
発電効率	19.7 %	
年間売電収入(売電単価:17円/kW)	224,000 千円/年	

表 I-4-(1)-11 バイオマスとのコンバインド発電の場合の試算

年間ごみ処理量(t/年)	53,200	
年間木質チップ処理量(t/年)	25,000	
計算に用いるごみ質	基準ごみ(2,000kcal/kg)	
計算に用いる 木質バイオマスの発熱量	2,000kcal/kg	
ボイラ蒸気条件(独立過熱器)	6MPa 500°C	
稼働状況	2炉運転時	3炉運転時
日数(日/年)	200	120
立上げ下げ時を含まない		
バイオマスホ行稼働日数(日/年)	200	120
使用電力量(kWh/日)	46,800	56,400
発電電力量(kWh/日)	132,000	168,000
差引電力量(kWh/日)	-85,200	-111,600
送電端 合計(kWh/年)	17,040,000	13,392,000
	30,432,000	
発電効率	24.9 %	
年間売電収入(売電単価:20円/kW)	609,000 千円/年	
①ごみ焼却施設単独 送電端量	13,152,000	kWh/年
②コンバインド発電 送電端量	30,432,000	kWh/年
送電端量増加分 ②-①	17,280,000	kWh/年
CO ₂ の削減効果 ※	8,864,640	kg-CO ₂ /年

※ 排出係数:0.513 kg-CO₂/kWh(中部電力)

表 I-4-(1)-12 バイオマス+ごみコンバインド発電におけるチップ購入費と年間収支

チップ購入単価	円/kg	7	8	9	10	11	11.5	12	13	14	15
チップ購入費用	億円/年	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	2.88	3.00	3.25	3.50	3.75
売電収益(焼却単独)	① 億円/年	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
売電収益(コンバインド発電)	② 億円/年	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09
整備費・運営費【追加分】	③ 億円/年	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
チップ購入費	④ 億円/年	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	2.88	3.00	3.25	3.50	3.75
コンバインド発電による年間収支増加分(②-③-④)-①	億円/年	1.10	0.85	0.60	0.35	0.10	-0.03	-0.15	-0.40	-0.65	-0.90

4. 中小都市における廃棄物エネルギーの利用方策の検討

(2) 製鉄所等熱多用施設での廃棄物固形燃料 (RDF) の熱利用

要旨

中小都市の廃棄物の持つエネルギーを効率よく回収できる一つ的手段として廃棄物固形燃料 (RDF) がある。RDF 施設はごみ量 100 t/日未満、人口 10 万人未満の中小都市に大部分が設置されており、全国では 94 市町村の年間 680 千トンのごみから、52 施設で年間 372 千トンの RDF が製造され、そのうち 74% が全国 5 か所の RDF 発電所で発電に利用、25% が民間企業等で熱利用されている。

しかし、近年、RDF 施設および RDF 発電施設の新設はない上、稼働後 10 年を経過した施設が多く、その施設においても 15 年の更新時期に継続するか否か未定の施設が多い。原因は熱利用先が不足していることや RDF 施設を運営する自治体が RDF 発電所へチップングフィー (RDF 処理費) 支払わなければならないことなど、RDF の普及、継続を妨げる課題があるためと考えられる。

本提案では、利用先不足解消のため、RDF 発電ではなくチップングフィーが不要な RDF 熱利用に焦点を当て検討する。廃棄物からのエネルギー回収効率は、熱利用は約 80%、発電は約 30% であり、熱利用の方が有利である。また、最近の重油価格の若干の低下はあるが、依然として重油価格は 75 円/ℓ (平成 26 年 12 月) と高値であり、価格の変わらない RDF を 3 円/kg とすると、発熱量当りの価格は重油の約 1/13 となり、重油代替の熱利用により大幅な経費削減となる。更に、RDF のバイオマス比率は 50~70% なので、重油代替の燃料としての RDF 熱利用は地球温暖化対策にも大きく貢献する。

RDF 熱利用先で有望なのは、製鉄所等の熱需要の多い工場であることから、RDF と製鉄所等を組み合わせた RDF 熱利用システム (事例 1) と、民間染色工場の蒸気供給専用ボイラ燃料利用 (事例 2) を検討した。

(事例 1) 製鉄所、製錬所等は全国 29 か所に点在し、近隣の中小市町村の RDF は、製鉄所等で使用する石炭、重油等化石燃料の代替活用が期待出来る。M 市の製鉄所石灰石焼成炉では焼成用燃料として平成 26 年 11 月に試用を開始した。試算では燃料経費削減および CO₂ 削減効果も大きく、設備投資しても短期間の減価償却が可能であり、他の製鉄所、製錬所等同様の施設での活用のモデルになると考えられる。

(事例 2) 平成 27 年 1 月に民間の N 市の染色会社工場に RDF と RPF 混焼、発生蒸気量 3t/h×5 基、燃料使用量約 1,100 トン/月の蒸気製造用ボイラが導入された。現在の RDF ボイラでの蒸気製造コストは、10 年前と比較して、重油ボイラよりも非常に安くなっている。この規模の蒸気製造用ボイラでは、重油代替コスト低減効果により、ボイラ設備の投資回収が短期間に可能なため、導入のインセンティブが働き、同様の蒸気利用施設での活用のモデルになると考えられる。

1) 背景

地域の特性や制約から、廃棄物処理施設の広域化・集約化を図り難い中小都市の廃棄物処理施設を念頭に置いて、実施可能かつ効率的な廃棄物エネルギーの活用方策が求められている。

現在、10万人以下の中小都市の廃棄物焼却施設（ごみ処理量100トン/日未満規模）では、24時間連続運転が難しいため発電設備設置数は極めて少ない。平成24年度全国の焼却炉数は1,188炉あり、そのうち100t/日未満の施設数は633炉で全体の53%を占めるが、発電設備がある焼却炉は13炉に過ぎない。廃棄物からのエネルギー回収は、施設内外での余熱利用に留まっているため、これらの施設ではエネルギー回収が十分に行うのが難しい状況にある。平成24年度全国の年間焼却量は3,399万トンあり、そのうち100トン/日以下の年間焼却量は454万トンで全体の13%を占める。熱量換算すると、454万トン/年×9,000kJ/kg（ごみの発熱量）≒4,000万GJ/年、重油換算100万kl/年に相当する（図I-4-(2)-1）。

一方、中小都市の廃棄物の持つエネルギーを効率よく回収できる一つ的手段として廃棄物固形燃料(RDF)がある。RDFの利用先であるRDF発電施設については、三重県の事故の影響や運営経費の負担の問題等の理由により、近年は新設されていないが、すでに事故の原因は究明され、対策以降事故はなく、安全に稼働している。また、新電力会社(PPS)への売電単価アップによりRDF発電施設の収支は改善しつつある。しかし、RDF発電施設、RDF施設の多くは、RDF普及および継続に向けたいくつかの課題があり、稼働後10年を経過して稼働後15年の更新時期を迎えて、継続するか否か未定の施設が多い。

このため、本提案は、RDF熱利用が中小都市における廃棄物エネルギーの利用方策として有効であるという認識を基に、自治体と企業間のRDF熱利用システムを検討する。

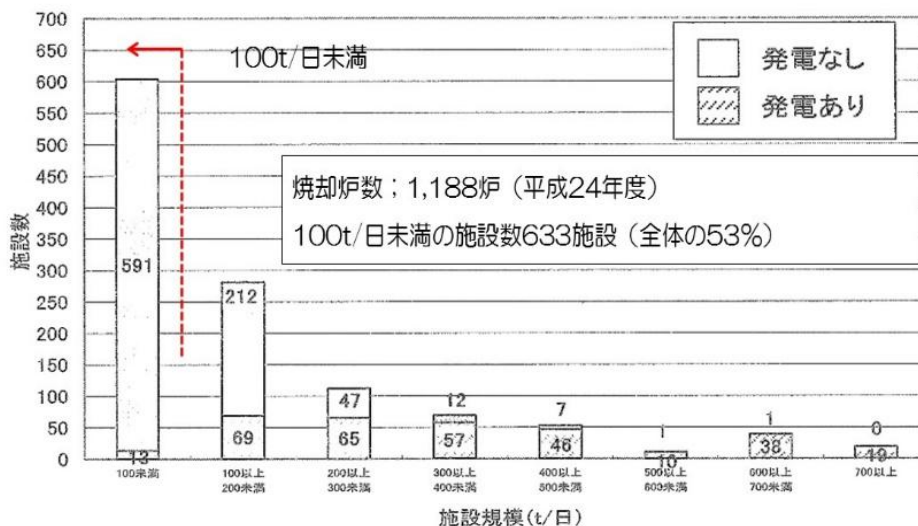


図 I-4-(2)-1 「発電設備あり・なし」焼却施設数分布

出典：環境省一般廃棄物処理実態調査結果平成24年度焼却施設整備状況より編集
「一社日本環境衛生施設工業会」資料引用

2) RDF の現況

公益財団法人廃棄物・3R研究財団の平成24年度のアンケート調査結果（表 I-4-(2)-15）では、94市町村の年間680千トンのごみを、52施設で固形燃料化し、その製造量は年間372千トンである（表 I-4-(2)-1）。また、RDF利用については全RDF製造量372千トン/年うち、74%に当たる275千トン/年（56市町村のごみを30か所RDF施設に集め製造）が全国に5か所のRDF発電所に集めRDF発電が行われ、残る25%の92千トン/年（35市町村のごみを18か所RDF施設に集め製造）は、個々に事業で熱利用されている（図 I-4-(2)-2）。



図 I-4-(2)-2 全国の RDF 利用先

このように、RDF施設は中小都市（100トン/日未満）の廃棄物エネルギーを回収する一つの有効な手段となっている。

表 I-4-(2)-1 RDF 製造量（平成 24 年度）

ごみ処理量	施設数	市町村数	ごみ処理量 (千t/年)	RDF製造量 (千t/年)
100 t /日以上	11	20	389	219
50～100 t /日	10	24	127	66
50 t /日以下	31	50	164	87
合計	52	94	680	372

表 I-4-(2)-2 RDF 利用量（平成 24 年度）

利用先	施設数	市町村数	利用量 (千 t /年)	熱回収効率 (%)
RDF発電	30	56	275	約28
温熱・蒸気等熱利用	18	35	92	約80
その他	4	3	5	-
合計	52	94	372	

表 I-4-(2)-3 熱利用事例（平成 24 年度）

熱利用事例	利用量t/年	備考
地域暖房	18,300	温熱・蒸気 (冷暖房・乾燥)
晒綿工場	2,100	
染色工場	4,400	
セメント工場	4,400	助燃剤
下水汚泥焼却炉	5,600	
計	34,800	

既設の熱利用先としては、地域暖房燃料、蒸気利用工場ボイラ燃料、セメント工場補助燃料、下水汚泥焼却炉補助燃料等があるが、製鉄所等熱多用施設での活用事例は少ない。RDF熱利用とRDF発電について廃棄物からのエネルギー回収効率を比較すると、蒸気製造ボイラの熱利用（約80%）、RDF発電（約28%）であり、RDF熱利用の方が勝っている（表 I-4-(2)-2, 3）。

平成2年からRDF施設は約60ヶ所、RDF発電所は5か所（表 I-4-(2)-4）建設された。平成15年8月三重県ごみ固形燃料発電所のRDF貯蔵サイロの火災・爆発事故が起こり、新たな廃棄物処理法等により安全対策を実施した。それ以降、事故は発生していない。主要原因と対策については、平成20年6月大牟田RDF貯蔵槽安全対策の有効性実機検証試験評価委員会による「大牟田RDF貯蔵槽安全対策の有効性実機検証試験評価報告書」に詳細に報告されている。しかし、以降新しいRDF発電所の建設がなく、RDF利用先の確保困難等の問題を抱え、平成17年を境にRDF施設の新規建設も途絶えている状況である（図 I-4-(2)-3）。

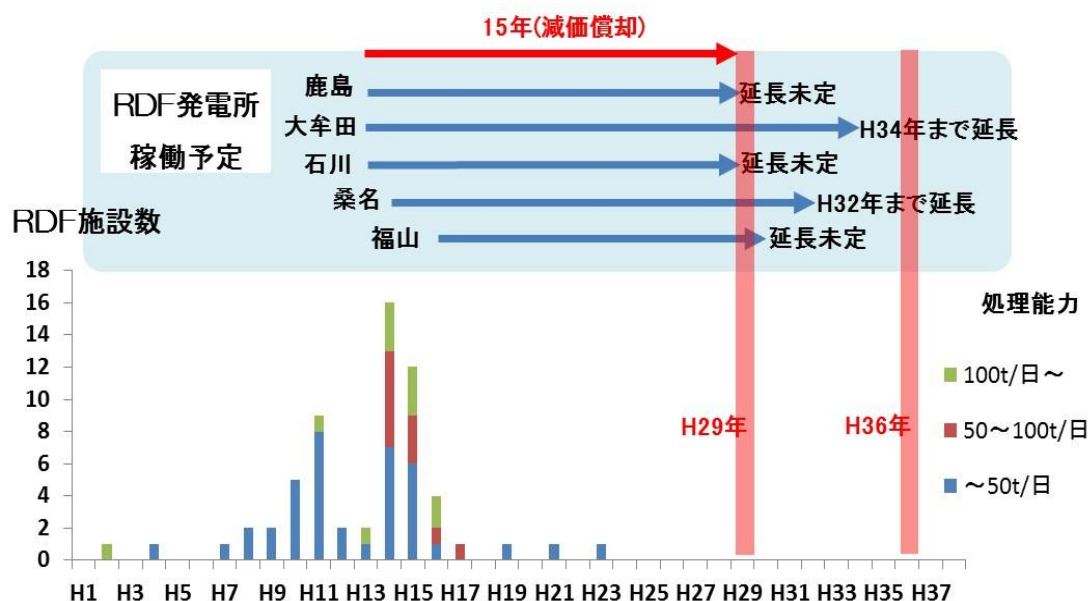


図 I-4-(2)-3 RDF 発電所稼働計画と施設建設数

表 I-4-(2)-4 RDF 発電事業

主要項目	茨城県	三重県	福岡県	石川県	広島県
事業主体	鹿島共同資源 化センター	三重県企業庁	大牟田リサイ クル発電(株)	石川県北部 RDF広域組合	福山リサイク ル発電(株)
専焼能力	200 t/日 (RDF・産廃； 各100 t)	240 t/日 (120 t×2炉)	315 t/日 (1基)	160 t/日 (80 t×2炉)	314 t/日 (1基)
稼働年月	H13年4月	H14年12月	H14年12月	H14年12月	H16年4月
発電能力	3,000kw	12,050kw	20,600kw	7,000kw	約20,000kw
発電効率	16.1% (蒸気利用有)	約28%	約30%	約21%	28%以上
炉形式	キリスト-加炉	外部循環 流動床炉	内部循環 流動床炉	流動式加 入化 溶融炉	シャタ式加 入化 溶融炉

3) RDF普及および継続に向けた課題

RDFの普及および継続の障害となっている課題は、活用先不足およびRDF流通の仕組みにあると考えられる(図I-4-(2)-4)。RDF発電所は、チップングフィー(RDF処理費)を貰わなければ経営が成り立たない。供給側=自治体は「RDF製造費+チップングフィー」が必要となり、「準連式焼却炉ごみ処理費+灰処理費」と比較した場合には経費負担は大きいとされている。一方のRDF発電所は、一般の「全連焼却炉+廃棄物発電」とは異なり、ごみ処理費はないので「チップングフィー+売電収入」で経営を維持しなければならない。ダイオキシン類緊急対策としての一定の役割がなくなり、三重県の事故対策として、RDF発電所はサイロの積み込高さの制限などの法規制により操業が難しく維持管理費が掛る施設となっている。

しかし、事故以降は安全な操業を続けており、最近ではPPSへの売電価格アップにより、収益が若干好転しつつあるが依然としてチップングフィーが必須とされている(図I-4-(2)-5)。

A. 熱利用の流通の仕組み課題：熱利用先不足(利用方法開拓不足)



B. RDF発電所利用の流通の仕組み課題：収益不足でチップングフィー(RDF処理費)必要

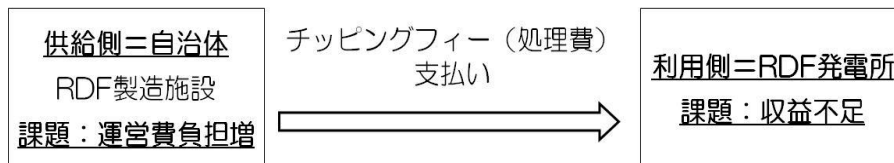


図 I-4-(2)-4 RDF 流通の仕組みと課題

これらのRDF普及および継続に向けた活用先不足およびチップングフィーに関する課題は、それぞれ順次解消してゆかなければならない。本提案では、先ずRDF流通を円滑にさせる活用先不足解消のため、製鉄所等基幹産業における熱利用施設開拓事例を検討する。

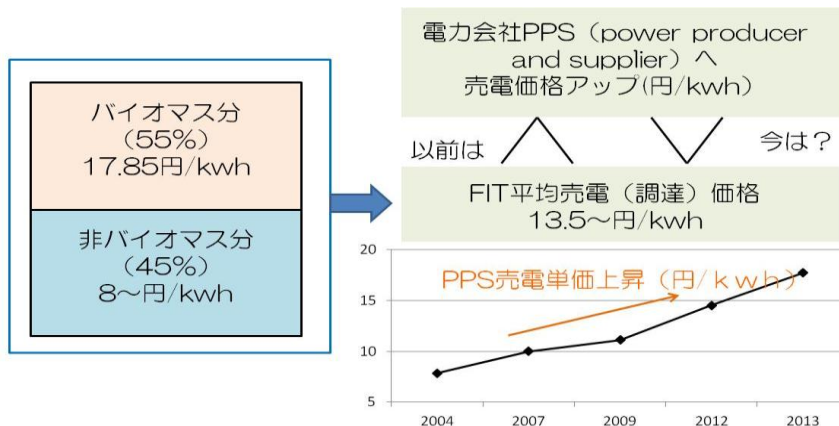


図 I-4-(2)-5 RDF 発電事業の収益向上

4) RDFの熱利用の効果

①「利用側＝企業等」のメリット

最近重油価格は若干値下がりしたが、依然75円/ℓ（平成26年12月）と高値であり、RDFを3円/kgと固定して、発熱量当りの価格を重油と比較すると1/13となり、重油代替熱利用により利用側＝企業等の需要先には大幅な経費削減となる（表 I-4-(2)-5）。

表 I-4-(2)-5 発熱量あたりの価格比

	単価	発熱量	発熱量あたり価格比
重油	75円/ℓ	9000 kcal/ℓ	重油 100
RPF	6円/kg	6000 kcal/kg	19 ⇒ 重油の1/5
RDF	3円/kg	4500 kcal/kg	8 ⇒ <u>重油の1/13</u>

②「供給側＝自治体」におけるRDF施設継続のメリット

一方、供給側＝自治体は、販売価格が3円/kg程度と安価なため、RDF販売による収益が得にくい状況である。ここでは、ごみ処理量10,000 t/年（40t/日）（RDF製造量5,400t/年）自治体が、既設のRDF施設を継続する場合と、焼却（准連）炉方式に建替え変更する場合を検討する。表 I-4-(2)-6に示すRDF熱利用 VS. 焼却（准連）炉条件で比較した結果を表 I-4-(2)-7に示す。

表 I-4-(2)-6 RDF 熱利用 VS. 焼却（准連）炉条件

施設条件	単 位	RDF	焼却（准連）炉
年間稼働日数	日/年	250	同左
運転時間	h/日	16	
計画年間日平均処理量	t/日	27	
系列数	-	2	
調整稼働率	-	1.00	
実稼働率	-	0.68	
施設規模	t/日	40	
RDF 施設灯油原単位	ℓ/ごみ t	90	-
RDF 施設電力原単位	kw/ごみ t	200	-
ごみのエネルギー	kJ/kg	-	8,370
発電機効率	MJ/kwh	9.82	同左
RDF ボイラ効率	%	80	-
重油ボイラ効率	%	90	-

表 I-4-(2)-7 「供給側＝自治体」における RDF 施設継続のメリット

比較項目	RDF熱利用 vs. 焼却（准連）炉
LCC試算	供給側＝自治体におけるRDF施設継続のメリットは大きい。 111百万円/年（約22億円/20年間）（表 I-4-(2)-8）
維持管理費	2～3万円/ごみトンは、同等
CO ₂ 削減効果	RDF熱利用によりCO ₂ は焼却（准連）炉の1/3に削減 （表 I-4-(2)-13）
廃棄物エネルギー回収	RDF熱利用により中小都市の廃棄物エネルギーを 焼却（准連）炉よりも多く回収出来る。（表 I-4-(2)-14）

LCC試算比較を表 I-4-(2)-8に示す。供給側＝自治体におけるRDF施設継続と新焼却炉のLCC比較をすると、年間経費はRDF施設継続の場合272百万円/年であるが、焼却炉新設の場合382百万円/年となり、その差111百万円/年がRDF施設継続メリットとなる。

また、維持管理費は2～3万円/ごみトンではほぼ同じだが、CO₂削減効果および廃棄物エネルギーの回収量でRDF施設の方が勝っている。ごみ処理量100トン/日未満でエネルギー回収が余熱利用に留まっている焼却炉（准連）との比較では、RDF施設継続によりCO₂削減効果および廃棄物エネルギーの回収量のメリットが維持される。（表 I-4-(2)-13, 14）

表 I-4-(2)-8 RDF施設継続と新焼却炉建設のLCC試算比較

項目	RDF施設継続 (40t/16h)	千円/年	焼却炉新設 (准連40t/16h)	千円/年
労務費@7,000	8人@7,000	56,000	12人@7,000	84,000
用役・薬剤費	灯油 (90L/t) @90	81,000	灯油 (5L/t) @90	4,500
	電力 (200kwh/t) @12	24,000	電力 (120kwh/t) @15	14,400
	水道・薬品・油脂	5,000	水道・薬品・油脂	25,000
分析費・法定点検	分析費にRDF分析含む	5,000	分析費に飛灰分析含む	5,000
残渣・灰処分費	運搬・処分(100t)@50	5,000	運搬・処分(1,200t) @50	60,000
RDF再利用費	5,400t×@3	16,200	---	0
劣化更新費	機器更新	80,000	基幹改修	100,000
運営費計		272,200		292,900
建設費		0	交付金等を除く建設負担額 (20年均等額)	90,000
運営費+建設費		272,200		382,900

LCC試算条件：運営費には残さ・灰処分費及びRDF再利用費を含み、建設事業費を加算した今後20年間に要する費用を年平均額で表し、トータルコストとして比較した。

ア) 運営は直営で計量・事務は含まず。

イ) 対ごみ残渣量はRDF方式では1.0%（現施設実績）、焼却方式では12%（焼却残さ）。

ウ) RDF再利用費を RDF売却益を3,000円/t-RDF、輸送費を6,000円/t-RDF)で設定。

エ) 新設焼却炉の整備規模は40t/日（20t/16h×2炉 准連式250日稼働）。

オ) 焼却炉新設の建設事業費は以下の費用を含む。

- ・ 交付金等を控除した新炉建設費負担額（施設建設費の約4割相当）及び公債利子分
- ・ 用地取得費（造成費含む）及び現RDF施設の解体費
- ・ 調査・設計費、建設工事監理業務費

カ) 地域還元施設（回収温水利用）建設費は含めず。（交付条件熱回収10%以上達成の為に必須）

5) 製鉄所等のRDF熱利用システム

熱需要の多い製鉄所等がRDFの安定・多量利用先として有望と考えられることから、一般廃棄物のRDF化と製鉄所等を組み合わせた熱利用システムを検討する(図 I-4-(2)-6)。製鉄所等熱利用先としては、①石灰石焼成炉の焼成用燃料、②所内用蒸気製造ボイラ燃料、③加温用燃料などがある。全国の製鉄所・製錬所分布を示す(図 I-4-(2)-7)。関東以西を中心に全国で29か所(丸印)広域で分布しており、中小都市の近隣に製鉄所・製錬所等熱多用施設が多数存在することがわかる。また、全国のRDF発電所分布(図 I-4-(2)-8)とも立地が重なっており、更新時期を迎えているRDF発電所の継続稼働の検討に当たっては、RDF発電所近隣にある製鉄所等熱多用施設を、代替のRDF供給先として捉えることが重要である。

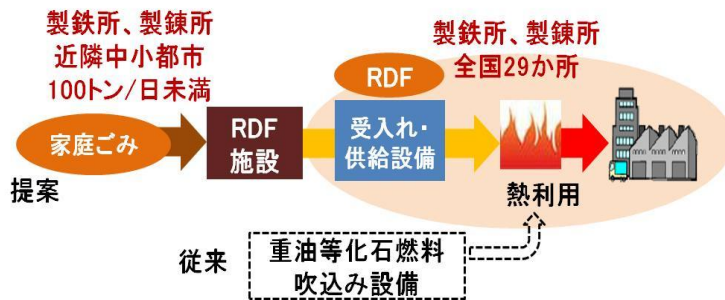


図 I-4-(2)-6 製鉄所等のRDF熱利用システム

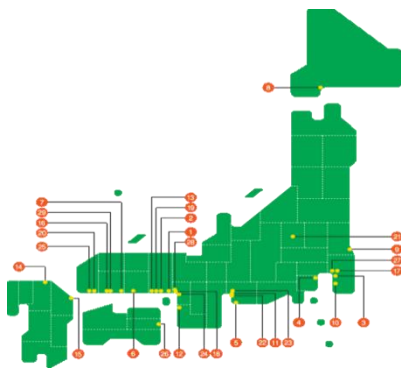


図 I-4-(2)-7 全国の製鉄所・精錬所分布

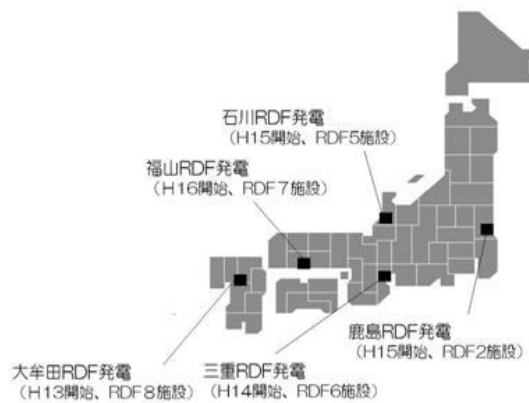


図 I-4-(2)-8 全国のRDF発電所分布

① 事例1：石灰石焼成キルン炉の焼成用燃料(注)

製鉄所等の熱利用の形態の一つとして、石灰石焼成キルン炉の焼成用燃料利用についてFSを実施した。事例1は、RDF製造施設として近隣の自治体のRDF施設、石灰石焼成炉としてM市の製鉄所の場合を示す。石灰石焼成キルン炉は製鉄所で多量に使用している製鉄副原料生石灰の製造施設であり、その焼成用補助燃料としてRDFを活用する。従来から、製鉄所内のコークス炉ガスがメイン燃料でRPFを補助燃料使用しているが、経済性、安定供給性及び燃料汎用性の観点からRDFを代替燃料として使用する計画が製鉄所で進められている(図 I-4-(2)-9)。



写真 I-4-(2)-1 石灰石焼成キルン炉

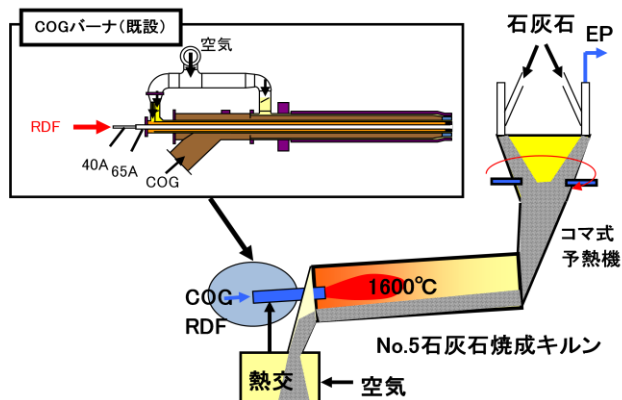


図 I-4-(2)-9 石灰石焼成キルン炉への RDF 吹込み

石灰石焼成キルン炉は、供給のため気流輸送が必要であり、輸送用配管径及びキルン内での燃焼状況を考慮して、RDF 径は 15mm が汎用だが、より小さな径に再加工及び供給設備への初期投資が必要になるが燃料代替によるコスト削減により、短期間の減価償却が可能である。現在試用中であるが、RDF・RPF 等を石灰石焼成炉燃料として使用する場合、成分中の塩素分の製造する生石灰への混入が懸念されるが、石灰石焼成キルン中に投入された塩素はダストとして系外に排出されることが明らかになっている。試算結果では燃料費削減および CO₂ 削減効果もあることがわかり、他の製鉄所、製錬所等同様の施設での活用のモデルになると考えられる。



写真 I-4-(2)-2
汎用 RDF 径 15mm×長さ 30mm

ア) 燃料費削減効果

表 I-4-(2)-9 RDF、RPF 発熱量当りの単価

燃料	発熱量	単価	発熱量当り単価
RPF	6,500 kcal/kg	10.0 円/kg	1.56 円/Mcal
RDF	4,500 kcal/kg	3.0 円/kg	0.67 円/Mcal

表 I-4-(2)-9 から RDF を RPF 代替吹込みする場合、発熱量当りの単価は安価なので燃料費削減効果がある。

イ) CO₂削減効果

表 I-4-(2)-10 CO₂削減効果

	排出係数	換算数値	発熱量当り排出量
RPF	1.57tC/t	7,286Mcal/t	0.215kgC/Mcal
RDF	0.775tC/t	4,500Mcal/t	0.172kgC/Mcal

表 I-4-(2)-10 から RDF を RPF 代替吹込みする場合、発熱量当りの CO₂ 排出量が小さいので CO₂ 削減効果がある。

(注) 石灰石は、化学工業用原料、土木建築、廃液・排ガス処理や農業（肥料、農薬）、食品製造などに広く使用されており、日本における石灰生産量は150 百万t (2013 年) に達している。特に、鉄鋼業において媒溶剤、脱硫剤として年間約22 百万トンの石灰石(全出荷量の約13%) が使用されている。石灰石を鉄鋼業(製鋼用、製鉄用原料)で使用する場合には、C 重油、微粉炭、石油コークス、天然ガス、製鉄所副生ガス等の燃料を用いてロータリーキルン炉、メルツ炉(堅型焼成炉)等で焼成され、生石灰として利用される。石灰石焼成は17.8 kJ/mol の吸熱反応($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$)であり、多量のエネルギーを消費し、理論分解熱量から算出されるエネルギーは重油換算で18 億リットルに相当する。そのため、昨今のエネルギー価格の高騰もあり、焼成炉の熱効率向上や、廃プラスチック等の廃棄物を燃料として利用しつつある。

② 事例 2: 蒸気製造ボイラ燃料(図 I-4-(2)-10)

民間の染色工場では、乾燥蒸気用の重油ボイラ代替として RDF+RPF ボイラ活用について既存 RDF 施設を利用した連携スキームの FS を実施した。平成 27 年 1 月に導入された蒸気製造用ボイラは RDF と RPF 混焼可能で、発生蒸気量 3t/h×24h×5 基、燃料使用量 1,080 トン/月で稼働中。重油代替コスト低減により、設備投資回収が短期間に可能で、

CO₂削減 効果も大きく、同様の蒸気利用施設の活用のモデルになると考えられる。

(写真 I-4-(2)-3)。

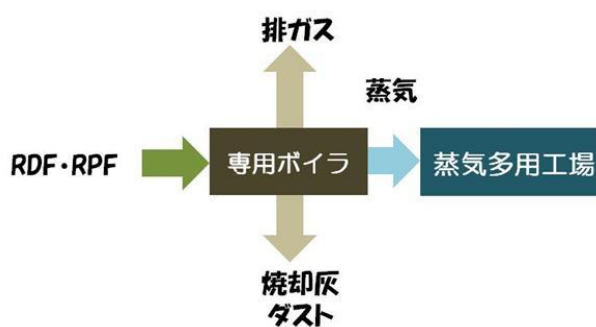


図 I-4-(2)-10 蒸気供給専用ボイラ利用



受入れホッパー



ストーカ式燃焼炉炉内



スチームドラム



バッグフィルター

写真 I-4-(2)-3 蒸気製造ボイラ

固形燃料は燃料庫より、受入ホッパーに投入される。受入ホッパーの下部には、ウォーキングフロア型の燃料引出し装置を備えている。引出された燃料は、コンベアを經由して、燃焼炉への

定量供給装置に運ばれる。燃焼炉はストーカ型で完全燃焼する構造である。主灰は自動的に密閉空間を經由して外気と接触することなく、灰バンカーに貯蔵される。燃焼炉で発生した高温空気は、燃焼炉を囲む形で構成されるジャケットで蒸気を製造する。また高温排ガスは燃焼炉上部に設備された廃ガスボイラで熱交換されて蒸気として熱回収される。廃ガス中に含まれる飛灰は、誘引ファンにより吸引されてバグフィルターへ導かれ、捕集され、クリーンな廃ガスとなって煙突より排出される

(図 I-4-(2)-11)。

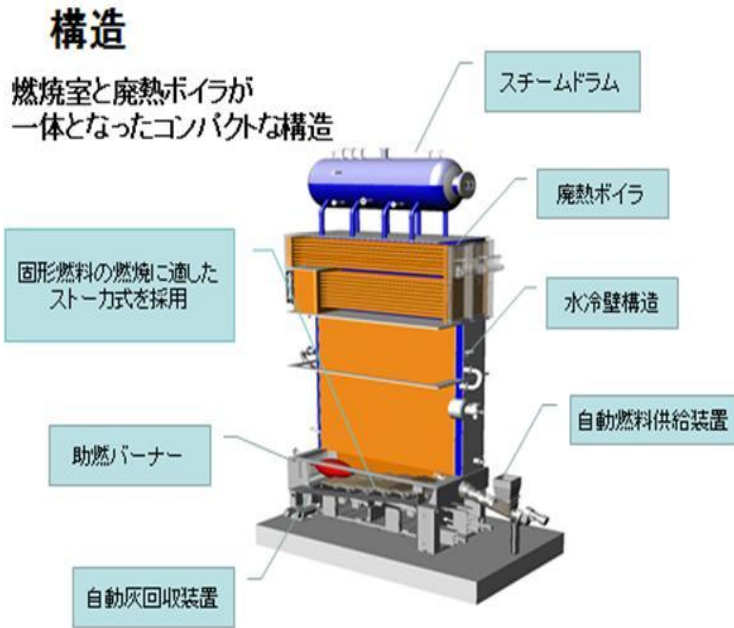


図 I-4-(2)-11 蒸気供給専用ボイラ構造

ア) 燃料費削減効果試算

蒸気製造ボイラは、専用の燃焼設備や適切な排ガス処理設備を設ける必要があり、一定規模以上の 24 時間稼働の工場が費用対効果の面から望ましい。そこで、蒸気量 3t/h・基の蒸気製造ボイラを想定し、設備投資効果について検討した。製鉄所、製錬所、非鉄精錬会社、繊維会社、食品会社等では、24 時間連続・通年、多量に蒸気が必要である。事業者が重油ボイラ利用から蒸気供給専用ボイラに投資して、メリットを得るには、目安として蒸気量 3t/h・基以上が必要と試算されている。この規模では、重油代替コスト低減効果として約 7 千万円/年・基が期待され、約 3 億円/基のボイラ設備の投資回収が短期間に可能である (表 I-4-(2)-11, 12)。

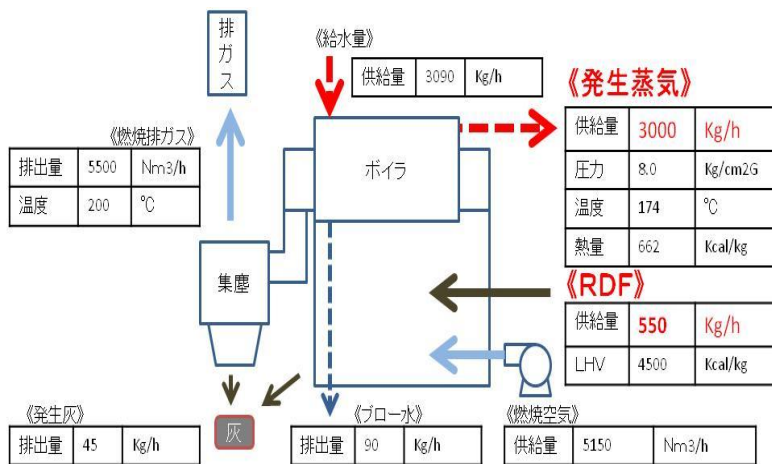


図 I-4-(2)-12 蒸気量 3t/h の蒸気供給専用ボイラ物質収支

表 I-4-(2)-11 蒸気製造コスト（円/蒸気トン）試算条件

試算条件	重油ボイラ（熱効率0.9）		RDFボイラ（熱効率0.8）
	（10年前）	（現在）	
燃料単価	30円/ℓ	75円/ℓ	3円/kg一定
蒸気発生量	3トン/h・基×24h/日×330日/年=23,760トン/年		
蒸気原単位	72.9 ℓ/蒸気トン		183 kg/蒸気トン
ボイラ建設費	0.5億円/基		3億円/基
減価償却費（10年）	210円/蒸気トン		1,260円/蒸気トン

表 I-4-(2)-12 蒸気製造コスト（円/蒸気トン）試算

コスト（円/蒸気トン）	重油ボイラ		RDFボイラ
	（10年前）	（現在）	
維持管理費	500	500	1,600
燃料費	2,200	5,500	550
減価償却費	210	210	1,260
合計（蒸気単価）	2,910	6,210	3,410

10年前と比較して、重油価格が30円/ℓから75円/ℓと2.5倍に上昇したことから、蒸気トン当りの単価は、2,910円/蒸気トンから6,210円/蒸気トンに上昇している。一方、RDFの価格は3円/kgとこの10年変化がないため、3,410円/蒸気トンのままであり、現在のRDFボイラでの蒸気製造コストは、重油ボイラよりも非常に安くなっている（図I-4-(2)-13）。

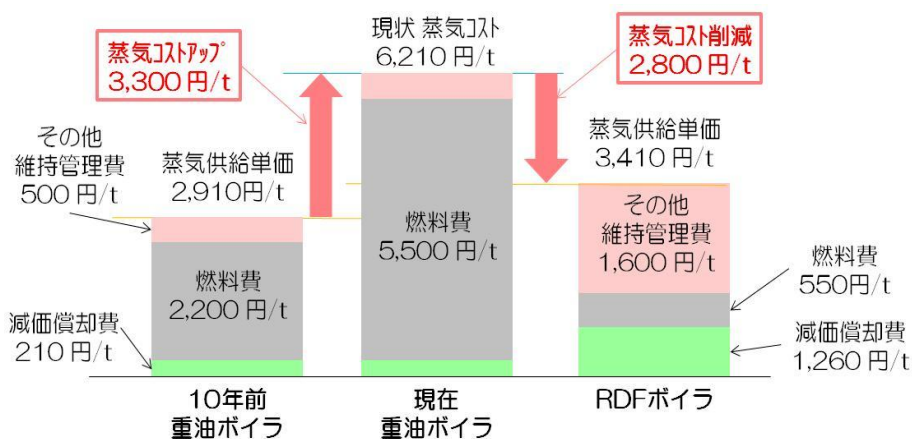


図 I-4-(2)-13 蒸気製造コスト（円/蒸気トン）比較

イ) CO₂削減効果比較(RDF vs. 焼却)試算

表 I-4-(2)-13 に RDF 熱利用と焼却炉の CO₂削減効果比較を試算した結果を示す。試算条件は表 I-4-(2)-6 に記載した数値を使用している。いずれも、環境省「温室効果ガス排出抑制等指針」である 436 kg-CO₂/ごみトンには適合しているが、RDF 熱利用の排出量は焼却炉と比較して 3 分の 1 の 100kg-CO₂/ごみトンとなり、ごみ処理量 100 t/日未満の中小規模のごみ処理施設では、RDF 熱利用の方が焼却炉と比較して、温室効果ガス抑制に寄与することがわかる。

表 I-4-(2)-13 CO₂削減効果比較(RDF vs. 焼却)試算

2012年3月環境省「廃棄物処理部門・温室効果ガス排出抑制等指針」マニュアルを基に算出

ごみ処理量(t/年) 10,000

施設条件	単位	RDF、焼却(準連)同条件
年間稼働日数	日/年	250
運転時間	h/日	16
計画年間日平均処理量	t/日	27
系列数	-	2
調整稼働率	-	1.00
実稼働率	-	0.68
施設規模	t/日	40

CO₂排出係数
 購入電気(t-CO₂/kWh) 0.000555
 灯油(t-CO₂/kℓ) 2.49
 A重油(t-CO₂/kℓ) 2.71

分類	項目	単位	RDF	焼却(準連)
a1. 使用エネルギー分	焼却プラント消費電力原単位	kW/t-ごみ	*	120
	RDF電力原単位	kW/t-ごみ	200	*
	焼却灯油原単位	ℓ/t-ごみ	*	5
	RDF灯油原単位	ℓ/t-ごみ	90	*
	消費電力	kWh/年	2,000,000	1,200,000
	灯油使用量	ℓ/年	900,000	50,000
	電気由来CO ₂	t-CO ₂ /年	1,110	666
	灯油由来CO ₂	t-CO ₂ /年	2,241	125
	エネルギー由来CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /年	3,351	791
	a1)	ごみあたりCO ₂ 量(エネルギー由来)	kg-CO ₂ /t-ごみ	335
a2. ごみ由来排出分	ごみ組成(水分)	%	51.0	51.0
	ごみ組成(廃プラスチック)	%-dry	24.0	24.0
	廃プラスチック量	t(dry)/年	1,176	1,176
	*1 CO ₂ 排出係数(廃プラスチック)	kg-CO ₂ /t-廃プラ(dry)	2,730	2,730
	廃プラ由来CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /年	3,210	3,210
a2)	*2 ごみあたりCO ₂ 量(廃プラ由来)	kg-CO ₂ /t-ごみ	321	321
b1. 熱利用代替分	熱利用先		場外民間企業工場	地元隣接還元施設
	RDF製造量	t-RDF/年	5,400	*
	RDF発熱量	MJ/t-RDF	18,837	*
	RDF保有熱量	GJ/年	101,720	*
	RDFボイラのボイラ効率	-	0.80	*
	年間発生蒸気熱量	GJ/年	81,376	*
	換算A重油使用熱量	GJ/年	90,418	*
	A重油発熱量	MJ/kℓ	39,100	*
	代替されるA重油量	kℓ/年	-2,312	*
	*3 ごみ発熱量	MJ/t-ごみ	*	8,370
	ごみ入熱	GJ/年	*	83,700
	熱回収率	%	*	10
	回収熱量	GJ/年	*	8,370
	換算灯油使用熱量	GJ/年	*	8,811
	灯油発熱量	MJ/kℓ	*	36,700
代替される灯油量	kℓ/年	*	-240	
年間CO ₂ 排出量(熱利用)	t-CO ₂ /年	-6,267	-598	
b1)	ごみあたりCO ₂ 量	kg-CO ₂ /t-ごみ	-627	-60
b2. 熱利用設備排出分	利用設備消費電力	kWh/年	967,680	*
	利用設備重油使用量	ℓ/年	1,296	*
	電気由来CO ₂	t-CO ₂ /年	537	0
	A重油由来CO ₂	t-CO ₂ /年	4	0
	利用施設動力由来CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /年	541	0
b2)	ごみあたりCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /t-ごみ	54	0
c. 回収物輸送	回収物		RDF、不適物残さ、焼却残さ	焼却残さ
	RDF回収率	%対ごみ	54	*
	不適物残さ回収率	%対ごみ	2	*
	焼却残さ回収率	%対ごみ	10	13
	RDF回収量	t-RDF/年	5,400	*
	不適物残さ回収量	t-残さ/年	200	*
	焼却残さ回収量	t-残さ/年	1,000	1,300
	*4 RDF輸送距離	km(往復)	126	*
	*4 不適物残さ輸送距離	km(往復)	36	*
	*4 焼却残さ輸送距離	km(往復)	270	36
*5 CO ₂ 排出原単位	kg-CO ₂ /t-km	0.174	0.174	
輸送のCO ₂ 発生量	t-CO ₂ /年	167	8	
c)	ごみあたりCO ₂ 量	kg-CO ₂ /t-ごみ	17	1

まとめ

	単位	RDF	焼却(準連)
年間CO ₂ 発生量	t-CO ₂ /年	1,002	3,411
ごみあたりCO ₂ 発生量	kg-CO ₂ /t-ごみ	100	341
環境省指針	y = -240*LOG(x) + 820 X:施設規模(t/日)	436	436
2012年3月環境省「廃棄物処理部門・温室効果ガス排出抑制等指針」への適合		◎ : 適合	○ : 適合

- *1 ごみ中廃プラスチック類のCO₂排出係数は、平成20年度の我が国の「温室効果ガス排出インベントリ」で用いている値。
- *2 平成20年度廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用実態調査より、ごみ焼却量に対する平均的な廃プラスチック類由来のCO₂排出量は320kg-CO₂/t-焼却ごみ。
- *3 ごみ発熱量は8,370kJ/kg(=2,000kcal/kg)とした。
- *4 RDF輸送距離は片道70km。不適物残さは片道20km(自区内処分場)。焼却及びハイオマス焼却の焼却残さは片道20km(自区内処分場)。RDF利用の焼却残さは片道150km。いずれの場合も復路は空荷の為、往路の0.8掛の距離とする。
- *5 トンキ口法による輸送時のCO₂排出原単位は、積載4t以上の普通トラックの値。

ウ) 廃棄物エネルギー回収効果比較(RDF vs. 焼却)試算

表 I-4-(2)-14 に RDF 熱利用と焼却炉のエネルギー回収効果比較を試算した結果を示す。試算条件は表 I-4-(2)-6 に記載した数値を使用した。試算方法は表 I-4-(2)-13 と同じ分類で、各分類の消費電力は発電機効率 9.82MJ/kwh として消費熱量に換算した。

RDF 熱利用の場合、ごみ処理量 40 トン/日 (10,000 トン/年) 規模の中小都市の廃棄物エネルギーを 25,749GJ/年 (重油換算 658kℓ/年) 回収出来る。一方、焼却 (准連) 炉では、余熱利用しているにも関わらず使用エネルギーの方が大きく、△4,928GJ/年 (重油換算△126kℓ/年) を消費する。従って、RDF 熱利用により中小都市の廃棄物エネルギーを回収出来る。

表 I-4-(2)-14 廃棄物エネルギー回収効果比較 (RDF vs. 焼却) 試算

分類	項目	RDF	焼却 (准連) 炉
a1. 使用エネルギー分	消費電力MWh/年	2,000	1,200
	消費熱量GJ/年	19,640	11,784
a2. 使用エネルギー分	灯油使用量 kℓ/年	900	50
	消費熱量GJ/年	33,030	1,835
b1. 熱利用代替分	A重油削減量 kℓ/年	-2,310	0
	場外民間企業工場熱利用 回収熱量GJ/年	-90,399	0
	灯油削減量 kℓ/年	0	-240
地元隣接施設・施設内熱利用	回収熱量GJ/年	0	-8,808
b2. 熱利用設備排出分	消費電力MWh/年	968	0
	消費熱量GJ/年	9,505	0
	A重油使用量 kℓ/年	1	0
	消費熱量GJ/年	51	0
C. 回収物輸送分	A重油使用量 kℓ/年	62	3
	消費熱量GJ/年	2,424	117
年間エネルギー回収 GJ/年		-25,749	4,928

6) 導入を支援するための計画策定

事例1・事例2とも燃料費と同時にCO₂削減効果が大きく、中小都市における廃棄物エネルギーの有効な利用方法になり得ると考えられる。フィールドは製鉄業界及び石炭、重油、LPG等化石燃料多用業界の工場と近隣の中小都市RDF施設が考えられる(表 I-4-(2)-15)。

- ① 既存RDF施設を利用した大規模需要先との連携スキームのFSと実施
- ② 新規RDF施設のシステム設計・導入と需要先のFSと実施

表 I-4-(2)-15 導入計画案件例

区分	案件(用途)	事業規模	設備概要	H27年度	H28年度	H29年度
燃料供給	石灰石焼成炉 燃料	RDF 3,600 t/年	貯蔵搬送 吹込み	実施		
	石灰石焼成炉 燃料	RDF 7,000t/年	貯蔵搬送 吹込み	FS	実施	
	製鉄所用燃料	RDF 1,300 t/年	分別・成形 貯蔵・搬送	FS	実施	
蒸気供給	園芸施設	蒸気 3t/h×2	ボイラ 発電機	実施		
	廃棄物処理場	蒸気 3t/h	ボイラ	FS	実施	
	金属精錬工場	蒸気 5t/h	ボイラ	FS	実施	
	食品工場	蒸気 3t/h	乾燥機 ボイラ	FS	実施	
	ホテル	蒸気 3t/h	ボイラ 発電機		FS	実施

表 I-4-(2)-16 平成 24 年度全国 RDF 生産状況一覧表 (52 施設) (注 1, 2, 3)

No.	都道府県	事業主体	施設名 (注2)	構成 市町村	竣工 年度	処理 能力	RDF 製造 能力 (t/d)	ごみ 搬入量 (t/年)	RDF 製造量 (t/年)	施設規模t/年			用途先t/年			燃料利用 内訳t/年					
										100 t/日 以上	50 ~100t	50t 以下	RDF 発電	燃料 利用	その他	製紙 会社	セメント 工場	官公庁	その他	計	
1	北海道	北海道富良野市	富良野市リサイクルセンター	富良野市	S63.7 → H14.3	1.3 (t/hr)	15	2,460	2,366			2,366		2,366			871		1,390	105	2,366
2	北海道	札幌市環境局	篠路資源化センター(札幌市ごみ資源化工場)	札幌市	H2.3	200 (t/13hr)	140	21,256	16,907	16,907			16,907					16,907			16,907
3	北海道	北海道名寄地区衛生施設事務組合	炭化センター(炭化)	名寄(なよろ)市	H15.3	20 (t/16hr)	10	4,239	1,973			1,973			1,973						
4	北海道	白老町	ecoリサイクルセンターしらおい	白老町	H21.3	37.6 (t/16hr)	18.8	11,732	5,866		5,866		5,866								
5	茨城県	茨城県鹿島地方事務組合	広域鹿嶋RDFセンター	神栖(かみす)市、鹿島市	H13.3	142 (71×2) (t/16hr)	71	27,180	14,674	14,674			14,674			鹿島共同資源化センター					
6	茨城県	茨城県鹿島地方事務組合	広域波崎RDFセンター	神栖市	H14.3	135 (67.5×2) (t/16hr)	67.5	18,070	10,183	10,183			10,183								
7	栃木県	(株)日本リサイクルマネジメント	栃木県野木資源化センター	野木町	H4.10	20 (t/16hr)	10	6,200	3,100			3,100		3,100				2,616	484	3,100	
8	群馬県	群馬県邑楽郡板倉町	板倉町資源化センター	板倉町	H9.3	20 (t/8hr)	10	2,000	1,000			1,000		1,000			1,000				1,000
9	群馬県	群馬県水上月夜野新治衛生施設組合	奥利根アメニティパーク	水上(みなかみ)町	H10.3	40 (t/16hr)	20	5,616	2,808			2,808			2,808						0
10	群馬県	群馬県多野郡神流町	クリーンセンター奥多野	神流(かんな)町	H11.3	6 (t/8hr)	2.6	607	209			209		209					209	209	
11	石川県	石川県七尾鹿島広域圏事務組合	ななかりサイクルセンター	中能登町、七尾市	H15.3	94 (47×2) (t/16hr)	50	21,310	11,231		11,231		11,231			石川RDF発電所 5組合施設					
12	石川県	石川県羽咋郡市広域圏事務組合	クリンクル羽咋	羽咋市、宝達志水町、志賀町	H15.3	66 (33×2) (t/16hr)	33	14,084	7,012		7,012		7,012								
13	石川県	石川県河北郡市広域圏事務組合	河北郡市クリーンセンター(エコラ)	かほく市、津幡町、内灘町	H15.3	119.5 (t/16hr)	59.75	22,152	11,076	11,076			11,076								
14	石川県	石川県奥能登クリーン組合	奥能登クリーンセンター	珠洲市、能登町	H15.3	48 (t/8hr)	22	8,234	4,128			4,128	4,128								
15	石川県	石川県 輪島市 穴水町環境衛生施設組合	クリーンセンター	輪島市、穴水町	H2.3	40 (t/8hr)	20	6,997	3,188			3,188	3,188								
16	岐阜県	岐阜県恵那市	エコセンター恵那(炭化)	恵那市	H15.3	90 (t/15hr)	72	12,241	7,138		7,138		7,138						7,138	7,138	
17	静岡県	静岡県御殿場市 小山町広域行政組合	御殿場 小山RDFセンター	御殿場市、小山町	H11.3	150 (75×2) (t/15hr)	90	30,055	18,493	18,493			18,493				6,723		11,770	18,493	
18	三重県	三重県紀北町	海山リサイクルセンター	紀北町	H11.3	20 (t/8hr)	8	2,952	1,616			1,616	1,616			三重RDF発電所 6組合施設					
19	三重県	三重県香肌奥伊勢広域連合	資源化プラザ	松阪市、多気町、大台町、大紀町	H13.3	44 (t/8hr)	22	8,117	4,634			4,634	4,634								
20	三重県	三重県南牟婁清掃施設組合	紀南清掃センター	御浜町、紀宝町、熊野市(紀和町)	H14.9	23 (t/8hr)	23	4,775	2,442			2,442	2,442								
21	三重県	三重県伊賀市	さくらリサイクルセンター	伊賀市	H14.10	135 (45×3) (t/16hr)	67.5	20,836	11,445	11,445			11,445								
22	三重県	三重県桑名広域清掃事業組合	桑名広域/資源循環型センター	桑名市、東員町、木曾岬町、いなべ市	H15.3	230 (77×3) (t/16hr)	115	50,775	25,677	25,677			25,677								
23	三重県	三重県紀北町	紀伊長島町リサイクルセンター	紀北町	H15.3	21 (t/8hr)	12.6	3,558	2,077			2,077	2,077								
24	滋賀県	滋賀県湖東広域衛生管理組合	リバースセンター	東近江市、愛荘町、大上郡3町	H9.3	44 (t/16hr)	22	9,429	4,779		4,779		4,779			779			4,000	4,779	
25	京都府	京都府綾部市	綾部市クリーンセンター	綾部市	H14.11	50 (t/16hr)	25	8,565	4,892		4,892		4,892							0	
26	兵庫県	兵庫県中幡北部広域	中幡北部クリーンセンター	市川市、神河町	H15.4	27 (t/8hr)	13.5	5,132	2,786			2,786		2,786				2,786		2,786	
27	奈良県	奈良県広陵町	クリーンセンター広陵(炭化)	広陵町	H19.2	35 (t/8hr)	17	7,513	3,700			3,700		4,505					4,505	4,505	

No.	都道府県	事業主体	施設名 (注2)	構成 市町村	竣工 年度	処理 能力	RDF 製造 能力 (t/d)	ごみ 搬入量 (t/年)	RDF 製造量 (t/年)	施設規模t/年			用途先t/年			燃料利用 内訳t/年				
										100 t/日 以上	50 ~100t	50t 以下	RDF 発電	燃料 利用	その他	製紙会 社	セメント 工場	官公庁	その他	計
28	和歌山県	和歌山県太地町	はまゆう太地町 清掃センター	太地町	H12.3	6 (t/8hr)	2.5	873	419			419								0
29	島根県	島根県雲南市・飯 南町事務組合	雲南エネルギー センター	雲南市、飯南 町	H11.3	30 (t/8hr)	15	7,157	3,615			3,615	3,615			3,079			536	3,615
30	広島県	広島県甲世衛生 組合	エコワイズセン ター	世羅町、三原 市	H10.3	16 (t/8hr)	8	3,662	1,831			1,831	1,831							
31	広島県	広島県府中市	府中市クリーンセ ンター	府中市	H14.11	60 (30×2) (t/8hr)	30	7,762	3,464		3,464		3,464							
32	広島県	広島県大竹市	夢エネルギーセン ター	大竹市	H14.11	42 (t/8hr)	21	7,820	3,910			3,910	3,910							
33	広島県	広島県庄原市東 城町	東城クリーンセン ター	庄原(しょうば ら)市	H15.3	19 (t/8hr)	9.5	1,720	860			860	860							
34	広島県	広島県神石高原 町	クリーンセンター じんせき	神石町	H15.3	11 (t/8hr)	5	1,085	485			485	485							
35	広島県	広島県廿日市市	エコセンターはつ かいち	廿日市市	H16.3	102 (t/16hr)	60	19,337	11,628	11,628			11,628							
36	広島県	広島県福山市	福山市ごみ固形 燃料工場	福山市	H16.4 (稼働)	300 (75×4) (t/16hr)	180	87,001	50,605	50,605			50,605							
37	山口県	山口県周南市	フェニックス	周南市	H11.3	48 (t/9hr)	20	8,179	4,433			4,433	4,433			4,433				4,433
38	山口県	山口県美祿地区 衛生組合	カルストクリーン センター	美祿(みね)市	H11.3	28 (t/8hr)	28	7,078	4,831			4,831	4,831			4,831				4,831
39	愛媛県	愛媛県砥部町	砥部町美化セン ター	砥部(とべ)町	H14.2	23 (t/8hr)	11	4,644	2,309			2,309	2,309			2,309				2,309
40	愛媛県	愛媛県今治市	伯方クリーンセン ター	今治市	H14.8	11 (t/8hr)	6	1,809	1,045			1,045	1,045			1,045				1,045
41	高知県	高知県津野山広 域事務組合	クリーンセンター 四万十	ゆすはら町	H10.3	6 (t/8hr)	3	1,000	500			500	500			500				500
42	高知県	高知県高幡東部 広域	ごみ固形燃料化 施設	須崎市、中土 佐町、津野市	H14.4	53(26.5×2) (t/8hr)	26	8,777	4,841		4,841		4,841			4,841				4,841
43	福岡県	福岡県苅田町等 第三セクター	苅田エコプラント	苅田町	H10.7	42 (t/7hr)	21	12,026	6,370			6,370	5,565			5,565				5,565
44	福岡県	福岡県築上町	築上町清掃セン ター	築上町	H12.3	25 (t/8hr)	12.5	4,334	2,167			2,167	2,167							
45	福岡県	福岡県ふくおか県 央環境施設組合	ごみ燃料化セン ター	嘉麻市、飯塚 市	H14.8	54 (t/16hr)	28	9,802	5,179		5,179		5,179							
46	福岡県	福岡県宮若市外 二町しん芥処理 施設組合	くらじクリーンセン ター	宮若市、鞍平 町、小竹町	H14.9	66 (t/16hr)	35	13,616	7,124		7,124		7,124							
47	福岡県	福岡県大牟田・荒 尾清掃施設組合	大牟田・荒尾RDF センター	大牟田市、荒 尾市	H14.11	225 (75×3) (t/16hr)	109	48,549	24,827	24,827			24,827							
48	福岡県	福岡県須恵町外 二町清掃施設組 合	クリーンパークわ かさぎ	須恵町、篠栗 町、粕谷町	H15.3	177 (59×3) (t/16hr)	100	43,991	23,629	23,629			23,629							
49	福岡県	福岡県うきは久 留米環境施設組 合	耳納クリーンステ ーション	うきは市、久留 米市	H16.8	61 (t/16hr)	30	12,022	6,076		6,076		6,076							
50	熊本県	熊本県阿蘇広域 行政事務組合	大阿蘇環境セン ター未来館	阿蘇市、南小 国町、小国 町、高森町、 南阿蘇村、産 山村	H14.8	88 (44×2) (t/10hr)	44	15,962	8,224		8,224		8,224							
51	熊本県	熊本県菊池市	エコ・ヴィレッジ旭	菊池市	H16.4	45 (22.5×2) (t/8hr)	22.5	9,368	5,236			5,236	5,236							
52	大分県	大分県津久見市	ドリームフューエ ルセンター	津久見市	H8.12	32 (16×2) (t/8hr)	32	6,500	3,352			3,352	3,352					3,352		3,352
計 52施設				94市町村			1896.25	680,159	372,360	11 施設	10 施設	31 施設	30 施設	19 施設	3 施設	4 施設	7 施設	7 施設	7 施設	25 施設

(注1) RDF発電

- ①No.44~50 大牟田リサイクル発電所 8組合施設(28市町村) 平成34年まで稼働延長
- ②No.30~36 福山リサイクル発電所 7組合施設(8市町村) 稼働計画未定
- ③No.18~23 三重RDF発電所 6組合施設(8市町村) 平成32年まで稼働延長
- ④No.11~15 石川RDF発電所 5組合施設(12市町村) 稼働計画未定

(注2) 本RDFに関する集計表は、公益財団法人 廃棄物・3R研究財団が平成25年11月に実施した「固形燃料施設運営の現状と課題に関する調査」の結果です。財団の調査では、50施設が対象になりましたが、本集計では、NO.3白老町とNo.7野木町を追加して、52施設のRDF生産状況を示します。

(注3) 炭化物として利用している施設については、炭化炉に投入する以前にRDF化している施設のみ対象とした。従って、ごみを直接炭化炉により炭化物にしている施設は対象外とした。RDF製造量は炭化物になる前のRDF化量を示す。

施設規模t/年			用途先t/年			燃料利用 内訳t/年				
100t/日 以上	50 ~100t	50t 以下	RDF 発電	燃料 利用	その他	製紙会 社	セメント 工場	官公庁	その他	計
219,144	66,155	87,061	275,386	91,774	5,200	5,729	29,745	27,553	28,747	
372,360			372,360			91,774				
59%	18%	23%	74%	25%	1%	2%	8%	7%	8%	

5. 災害時におけるエネルギーの安定供給方策の検討

平成 25 年 5 月 31 日に閣議決定された廃棄物処理施設整備計画では、災害対策の強化をその柱の一つとしており、その中で、焼却施設が大規模災害時に電力供給や熱供給の役割が期待されるものとしている。

一方で、大規模災害時に焼却炉での災害廃棄物の受け入れを可能とするためには、施設自体の強靱化を図る必要性に加えて、商用電源や公共水道が途絶した場合などの非常時にも焼却炉を稼働させるための、始動用電源、燃料、薬剤の保管、水の確保などの対策も必要である。

これらの対策がなされることにより、平常時のエネルギー供給に加え、災害時にあっても焼却炉の稼働が確保され、避難所等に対する電力供給や熱供給等、廃棄物処理施設整備計画で期待される役割が発揮されることになる。

具体的には、「平成 25 年度地域の防災拠点となる廃棄物処理施設におけるエネルギー供給方策検討委託業務」において、災害時のエネルギー安定供給上の課題として、「焼却炉の再稼働が可能な発電容量をもつ非常用発電設備の設置」、「ごみ焼却施設の稼働のための用水の確保」が示されたことから、これらの課題について対応方策を検討するものである。

(1) 概要

1) 本章の適用範囲

本章では、災害時にエネルギーの供給を続けるためには、災害時に一旦、安全に停止した焼却炉を、商用電源や公共水道などのインフラが途絶えた中でも再稼働させることが必要であることから、そのために必要な非常用発電機の設置や水の確保方策について検討するものである。

したがって、本検討の適用範囲は、一旦立ち上げれば商用電源からの電力供給の必要のない、廃棄物発電による自立運転が可能な焼却施設とする。

また、エネルギーの供給先は、場内及び周辺施設（電力については自家消費扱いとなるもの）を想定し、災害時における売電等を目的とするものではない。1 炉が立ち上がれば、2 炉目以降は 1 炉目の発電した電力で立ち上げることが可能であることを想定する。

なお、本章の検討結果は、災害時にエネルギーの供給を続けることを想定して再稼働する焼却施設のみではなく、単に災害廃棄物の処理のために再稼働を行うことを想定した焼却施設にも参考となるものである。

2) 災害時のエネルギーの安定供給をとりまく現状

平成 25 年 5 月 31 日に閣議決定された廃棄物処理施設整備計画では、災害対策の強化を理念の一つとしており、その中で、焼却施設が大規模災害時に電力供給や熱供給の役割が期待されるものとしている。

地域の核となる廃棄物処理施設においては、地震や水害によって稼働不能とならないよう、施設の耐震化、地盤改良、浸水対策等を推進し、廃棄物処理システムの強靱性を確保する。これにより、地域の防災拠点として、特に焼却施設については、大規模災害時にも稼働を確保することにより、電力供給や熱供給等の役割も期待できる。

(廃棄物処理施設整備計画 平成 25 年 5 月閣議決定)

一方、環境省では、国と地方が協働して広域的かつ総合的に廃棄物処理・リサイクル施設の整備を推進するため、平成 17 年度に「循環型社会形成推進交付金」を創設し、廃棄物処理施設を整備する地方公共団体に対し財政支援を行っている。

平成 26 年度からは、高効率エネルギー回収及び災害廃棄物処理体制の強化の両方に資する包括的な取り組みを行う施設に対して、交付対象の重点化を図る事業として「エネルギー回収型廃棄物処理施設」が新たに創設された。「エネルギー回収型廃棄物処理施設」のうち、ごみ焼却施設に高効率エネルギー回収に必要な設備を整備する場合は、エネルギー回収率 24.5%相当以上(規模により異なる。)の施設であること、整備する施設に関して災害廃棄物対策指針を踏まえて地域における災害廃棄物処理計画を策定して災害廃棄物の受け入れに必要な設備を備えることなどの要件を満たすものについては、交付率 1/2 の交付対象とすることとされた。*

*100 t/日以下の小規模なごみ焼却施設を除く。平成 30 年度までの時限措置を予定。

「エネルギー回収型廃棄物処理施設マニュアル」(平成 26 年 3 月 環境省廃棄物対策課)においては、「全ての設備・機能を一律に整備する必要はなく、地域の実情に応じ、災害廃棄物処理計画において必要とされた設備・機能を整備する」との前提の上で、「商用電源が遮断した状態でも、1 炉立ち上げることができる発電機を設置する。」「水については、1 週間程度の運転が継続できるよう、災害時の取水方法を検討しておくこと。」などとされた。

第 2 章 エネルギー回収型廃棄物処理施設 (交付率 1/2) の交付要件

平成 26 年度から、災害対策の強化に資するエネルギー効率の高い施設について、交付率を対象事業費の 1/2 とする。その趣旨は以下のとおりである。

(略)

○ 災害対策の強化に関しては、地域の核となる廃棄物処理施設の耐震化、地盤改良、浸水対策等を推進することで、大規模災害時にも稼働を確保し、地域の防災拠点として電力供給や熱供給等の役割を果たすことが期待できるとしている。

(略)

○ 以上のことから、今後増大が見込まれる廃棄物処理施設の更新需要に備えて、高効率エネルギー回収及び災害廃棄物処理体制の強化の両方に資する包括的な取り組みを行う施設に対して、交付対象の重点化を図ることとしたものである。

○ 上記を踏まえ、エネルギー回収型廃棄物処理施設における、高効率エネルギー回収に必要な設備及びそれを備えた施設に必要な災害対策設備に対する交付率 1/2 の要件は、以下のとおりとする。

(1) ごみ焼却施設 (ボイラ式焼却施設、水噴射式焼却施設)

(略)

■ 整備する施設に関して災害廃棄物対策指針を踏まえて地域における災害廃棄物処理計画を策定して災害廃棄物の受け入れに必要な設備を備えること

(略)

2-1 (略)

2-2 (略)

2-3 災害廃棄物処理体制の強化

整備する施設に関して災害廃棄物対策指針を踏まえて地域における災害廃棄物処理計画を策定して災害廃棄物の受け入れに必要な設備を備えること。

【解説】(略)

災害廃棄物の受け入れに必要な設備として、下記の設備・機能を装備すること。

1. 耐震・耐水・耐浪性
2. 始動用電源、燃料保管設備
3. 薬剤等の備蓄倉庫

【解説】

災害廃棄物対策指針を踏まえ、交付要件として、災害廃棄物の受け入れに必要な設備・機能を定める。なお、上記全ての設備・機能を一律に整備する必要はなく、地域の実情に応じ、災害廃棄物処理計画に

において必要とされた設備・機能を整備すること。

■耐震性～■耐浪性（略）

■始動用電源

商用電源が遮断した状態でも、1 炉立ち上げることができる発電機を設置する。始動用電源は、浸水対策及び津波対策が講じられた場所に設置するものとする。

なお、本発電機は、非常用に整備するものであるが、常用としても活用することは差し支えない。

■燃料保管設備

始動用電源を駆動するために必要な容量を持った燃料貯留槽を設置するものとする。設置環境に応じて、地下埋設式等を採用すること。

なお、施設に設置する機器に応じて、必要な燃料種の備蓄を検討する。

例)

軽油、灯油、ガソリン、A重油、都市ガス 等

また、都市ガスの中圧導管は、耐震性を強化している場合が多いので、燃料として、都市ガスを採用することも視野に入れる。

■薬剤等の保管

薬剤等の補給ができなくても、運転が継続できるよう、貯槽等の容量を決定する。

なお、備蓄量は、「政府業務継続計画（首都直下地震対策）」（平成 26 年 3 月）を踏まえ、1 週間程度が望ましい。

水については、1 週間程度の運転が継続できるよう、災害時の取水方法を検討しておくこと。

（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 環境省廃棄物対策課）

3) 災害時のインフラの状況

「ごみ焼却施設に係る大震災対策について～東日本大震災と阪神・淡路大震災の実データをもとに～(平成 25 年 7 月、ブック財団 13-01、(公財)廃棄物・3R 研究財団、廃棄物対応技術検討懇話会(頑張れ関西)」によれば、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災で被災し、運転を停止した焼却炉は 55 施設で、このうち運転停止期間が 7 日間以上になったものは 19 施設であった。*停止理由をみると、停電のためとされているものが 18 施設、断水のためとされているものが 4 施設あった。**また、計画停電の影響があったとされているものも 12 施設あった。

*運転停止期間が不明とされているものが他に 3 施設あった **重複あり

東日本大震災では、電力、都市ガス、水道等のライフラインにも大きな影響があった。

①電力

東北電力管内では、延べ 486 万戸が停電、平成 23 年 3 月 11 日の発災から 3 日後の 3 月 14 日に約 80%、8 日後の 3 月 19 日に約 94%、同年 3 月末に約 96%の停電が解消し、同年 4 月 7 日の余震により最大約 401 万戸が停電したものの、同年 6 月 18 日までに家屋流出地域などを除いて復旧した。ⁱ

東京電力管内では、延べ 405 万軒が停電、発災から 24 時間後の 3 月 12 日 15 時には約 60 万軒を残すところまで、同年 3 月 15 日には約 1 万軒を残すところまで復旧し、同年 3 月 18 日 22 時 10 分に停電が解消した。ⁱⁱ

その他、北海道電力管内で約 3,000 戸、中部電力管内で約 400 戸の停電があった。ⁱⁱⁱ

さらに、東京電力管内では平成 23 年 3 月 14 日から 4 月 8 日まで計画停電が実施された。東北電力管内では、同年 3 月 15 日からの計画停電が予定されていたが、実施には至らなかった。

②都市ガス

都市ガス(一般ガス)については、8 県 16 事業者で約 46 万戸の供給が停止した(うち 36 万戸は仙台市ガス局)。^{iv}平成 23 年 3 月 18 日時点の復旧率は 9%、同年 3 月 25 日時点の復旧率は 13%(分

母は復旧対象戸数)、同年4月11日時点の復旧率は77%(同)であり、同年5月3日までに家屋流出地域を除いた復旧対象戸数約40万戸が復旧した。ガス導管事業者(一般ガス事業者等にガスを供給する事業者)は、1社は同年3月14日に、他の1社は同年3月23日にガスの送出を開始している。

都市ガス(一般ガス)事業、ガス導管事業の施設別の被害の概要は表I-5-(1)-1のとおりである。v

表 I -5-(1)-1 東日本大震災による都市ガス供給の被害概要

		一般ガス事業		ガス導管事業
被害を受けた事業者数		供給停止16社(8県)	その他61社 (15都県) (注2)	2社(2県)
供給停止戸数		462,528	なし	2(注7)
ガスホルダー		被害なし(注3)	被害なし	
導管 (注1)	高圧	被害なし	被害なし	被害なし
	中圧	13箇所(注4)	9箇所(注5)	
	低圧(注6)	679箇所(本支管) 6,726本(供内管)	95箇所(本支管) 406本(供内管)	
製造所		・津波によるLNG基地等の損傷・浸水(電気・計装設備、地上配管等)(5事業者) ・管理建屋浸水(4事業者) ・護岸コンクリートの破損(1事業者)	被害なし	・建屋浸水(1事業者) ・電気設備冠水(2事業者)

注1: 導管の被害数は、漏えい箇所数

注2: 震度5弱以上で供給継続を実施した事業者数

注3: 球形ガスホルダーの支持構造部及び基礎の損傷(1事業者)があったが、本体耐圧部の損傷及びガス漏えいなし。
有水式ガスホルダーのガイドローラー部の外れ等(3事業者)があったが、気密性は維持され、ガス漏えいなし。

注4: 13箇所のうち10箇所については、導管のループ化等により供給停止なし。

注5: 被害箇所の前後を遮断したものの、導管のループ化等により9箇所全てにおいて供給停止なし。

注6: 導管のループ化等により供給停止を伴わないものも含む。

注7: ガス事業法に基づく供給先の停止数

③水道^{vi}

総断水戸数は19都道県264事業者で256.7万戸(平成23年4月の大規模余震による新規断水戸数を含む)であった。発災後1週間で57%、約3週間後の3月末で約90%が復旧した。復旧困難地域(津波被災地)を除く断水戸数は、平成23年3月末で19万6,000戸、同年6月末で6,800戸、同年9月末に解消した。断水地域は、本震発生3~4週間後(3/31~4/6)では、太平洋沿岸部のほか内陸部の一部が残存していたが、同年6月末では太平洋沿岸部のみとなり、同年9月末で解消している。

【参考】災害時の被災、復旧の実例^{vii}

①東日本大震災(平成23年3月11日)時の事例

本クリーンセンターは、海岸から100m(海抜4m)にあり、2m(海面から6m)の津波の襲来を受け、地下部、一階部が浸水し、電力、水道等のライフラインが寸断され、孤立した。

津波により、場外設置設備、管理棟、防災盤等の建築設備にダメージを受けたが、非常用発電

機室、受変電室、タービン発電機室は外部扉が防塵用のエアタイト使用であったため海水流入を逃れた。

平成 23 年 3 月中は、東北エリア全域においてガソリン、軽油などの燃料不足により、車の移動に支障が生じ、軽油燃料の非常用発電機が運転できなかったが、その後、非常用発電機により照明、コンセント電源を確保し、点検、清掃作業、復旧工事、設備運転確認を進めた。

同年 4 月 7 日に水道が復旧し、損傷時の影響が懸念されたボイラについては、同年 4 月 9 日に非常用発電機で起動させたボイラ給水ポンプによって水圧試験を実施し以上がないことが確認された。同年 6 月 1 日に仮設変電設備を利用して外部からの電力供給が再開し、試運転を開始、同年 6 月 21 日に炉内の昇温を開始し、同年 6 月末に屋外、管理棟部分の土木・建築工事に関する消防部局の検査をパスし、同年 7 月 11 日に通常運転を開始した。

②阪神淡路大震災（平成 7 年 1 月 17 日）時の事例

本クリーンセンターでは、地震発生時に誘引送風機がリミットスイッチの誤作動により停止したことをきっかけとして、蒸気タービンの蒸気圧が低下して蒸気タービン発電機が停止し、地震発生と同時に商用電源も停電したことから、焼却炉が停止するに至った（蒸気タービン発電機の停止により、非常用発電機が起動し、所内の保安動力は確保された。）。

当日中に商用電源は復旧したが、都市ガス、水の供給がストップしたので、焼却炉はそのまま停止状態となった（点検の結果、運転再開は可能な状態であった。）。

水については旧施設で使用していた井水を使用することを検討したが、井戸の損傷が激しく使用不可であったため、平成 7 年 2 月 6 日の水道の仮復旧を待つこととした。

水道が仮復旧される 2 月 6 日を目標に焼却炉を再稼働させるため、ガスに関してはプロパンガスを使用し、着火の準備にかかったが、都市ガスも 2 月 6 日に仮復旧されることとなり、仮設灯油バーナで事前に炉の昇温を図ることとした。

平成 7 年 2 月 2 日にタンクローリにより給水し、各水槽の水張りの実施、純水装置の起動を行った。同年 2 月 4 日に仮設灯油バーナによる昇温を開始し、同年 2 月 6 日の水道、都市ガスの仮復旧によりさらなる昇温、ごみ投入を開始し、同年 2 月 7 日に蒸気タービンの起動、併入を行った。

(2) 非常用発電機に関する事項

1) 非常用発電機の設置の意義

災害時にも安定的にエネルギー供給をするために、商用電源の途絶えた中で焼却炉を再稼働させるため、非常用発電機の設置計画にあたっては、次の機能を考える必要がある。

- ① 消防法、建築基準法で義務付けられる非常電源、予備電源
- ② 商用電源の途絶した中で焼却炉を安全に立下げるための電源
- ③ 商用電源の途絶した中でも施設の安全点検などの業務に必要な最低限の電源（保安電源）
- ④ 一旦停止した焼却炉を商用電源の途絶した中で再稼働させるための電源

本調査では、非常用発電機は上記①～④の機能を併せ持つものを想定する。しかしながら、常用発電機と兼用する場合（別途の項で解説）などには、①、あるいは①と②,③の機能を持つ非常

電源（非常用発電機）を常用非常用兼用発電機とは別に設置することが考えられるなど、必ずしも1基の発電機ですべての機能を賄わなければならないものではない。施設が必要とする発電機能と発電機の条件を勘案して決定することが望ましい。

2) 非常用発電機の能力の考え方

非常用発電機の設置にあたっては、1)の機能を考える必要があるが、災害時の焼却炉を再稼動するまでには、次のようなフェーズが生ずることが想定される。

- ①焼却炉の安全停止
- ②施設の点検や災害の状況の見極め
- ③焼却炉の立上げ

商用電源の途絶した中で焼却炉を再稼動するためには、上の3つのフェーズで必要な電力を非常用発電機で賄う必要があり、さらに消防法、建築基準法で義務づけられる非常電源、予備電源としての能力を勘案して、これらに必要な非常用発電機の能力と燃料の確保をする必要がある。

表 I-5-(2)-1 発電能力と燃料の量の概算(100~200t/日炉、液体燃料の使用を想定)

	時間	発電能力※	燃料※
①焼却炉の停止	0.5日程度	} 500kW~1500kW程度	2~5kL
②施設の点検等	0.5日程度		1~2kL
③焼却炉の立上げ	1日程度		3~10kL
合計	2日程度	—	6~15kL程度

※非常用発電機に必要な能力、燃料の量は焼却炉の能力、形式等により大きく異なる。

これらのフェーズに対応すべく非常用発電機の設置計画を検討する必要があるが、次の点についても注意が必要である。

- ・焼却炉の停止については、複数の炉の運転が想定されている施設では全炉を同時に停止する必要があると考えられることから、全炉を同時に停止させるのに必要な能力、燃料の量を計算に入れた計画とする必要がある。一方で、焼却炉の立上げについては、1炉を立ち上げれば立ち上がった炉による発電で2炉目以降を立ち上げる電力供給計画を立てることができれば、1炉のみの立上げを非常用発電機で行う計画とすることができる(1炉目の余剰電力で2炉目を立ち上げることができなければ、2炉目の立上げには別途電力が必要である。)
- ・施設の点検等により必要な、炉の立上げまでにかかる時間は、災害の規模や対応の状況により大きく異なる場合がある。想定する災害に応じた業務継続計画(BCP)を作成するなどにより、どのように点検等を行うなど焼却炉の立上げまでの手順を決めておき、これに応じた時間を想定しておくことが望ましい。
- ・備蓄された燃料を使用する場合、一旦非常用発電機で立ち上げた焼却炉が何らかの理由で緊急停止した場合、通電するか燃料の補給がない限り再度立ち上げることはできないと考えられる。したがって、水や薬品の確保を行うとともに、焼却すべきごみがあるか否かについての検討も必要である。すなわち、一旦立ち上げた焼却炉を継続的に運転するために必要なごみの量と、最低限貯留されているごみの量及び業務継続計画(BCP)などにより想定される災害発生以降の

ごみの量を織り込んだ運転計画とすべきである。焼却炉を継続的に運転するのに必要なごみ量がない場合、焼却炉の立上げまでの時間(施設の点検等にかかる時間)を必要以上に長く取らざるを得ないこととなる。

- ・ 備蓄された燃料を使用する場合、一旦非常用発電機で焼却炉を立ち上げた後も、消防法等で求められる非常電源は必要であり、非常用発電機で対応するためにはこのための燃料は別途確保する必要がある。
- ・ 焼却炉の立上げに必要な助燃バーナの燃料についても別途確保する必要がある。
- ・ 焼却施設やその周辺施設を災害時の避難所として活用する場合、非常用発電機により1炉めが立ち上がった後は、その炉による発電で避難所に電力を供給する計画とすることが考えられるが、それまでの間に電力が必要な場合は、別途確保する必要がある。

3) 非常用発電機の種類と特徴

非常用発電機の種類としては、ガスタービン、ガスエンジン、ディーゼルエンジンなどが考えられる。非常用発電設備として考えた場合にはディーゼルエンジン(またはガスエンジン)の採用が多いが、常用化(後述)を考えることでガスタービン(またはガスエンジン)も採用されるようになってきている。

表 I-5-(2)-2 非常用発電機の種類と特徴

原動機の種類	ガスタービン	ガスエンジン	ディーゼルエンジン
燃料種	液体燃料 ガス(+液体燃料)※	液体燃料 ガス※	液体燃料
設置コスト	大	中	小
発電効率	小	大	低負荷時に小
排熱	蒸気	温水 (冷却水が必要)	温水 (冷却水が必要)
黒鉛、NOxの発生	小	小	大
その他	—	—	大規模な製品は限られる。

※ガスタービンを消防法の非常用電源として使用するためには、立上げ時間の基準をクリアーするために液体燃料が必要であり、別途貯蔵する必要がある。ガスエンジンでも液体燃料を必要とする場合がある。

発電機の燃料としては、ガス(主に都市ガス)、液体燃料が考えられる。それぞれの特徴は次の通りである。助燃バーナの燃料種と併せて考慮することになる。

表 I -5-(2)-3 燃料の種類と特徴

燃料の種類	ガス(都市ガス)	液体燃料		
		灯油	軽油	重油
燃料費	大	小		
環境負荷	低	低	高(黒煙、SO _x がでる)	高(黒煙、SO _x がでる)
燃料確保	供給区域に限られる 中圧管であれば信頼性が高い	貯蔵が可能(タンクが必要) 緊急時の補給が難しい場合がある		
特記事項	消防法で設置の義務付けられる非常電源として使用する場合には、中圧管に限られ、消防法に基づく認定(都市ガス認定)が必要	貯蔵タンクが必要。 消防法上の危険物にあたるので、危険物規制がかかる。		

【参考】 いわゆる「都市ガス認定」について

消防法では、屋内消火栓やスプリンクラーなど消防用の設備を置くことが義務付けられており(消防法第 17 条)、これらの設備が停電時にも使用可能であるように、非常電源を設置することが義務付けられている。(消防法施行令第 7 条、第 11 条等)

非常用発電機は、この非常電源(自家発電設備)として使われるもので、これらの設備の基準の細目は、消防法施行規則第 12 条等、昭和 48 年消防庁告示第 1 号「自家発電設備の基準」に規定されている。この中で都市ガスを燃料とする原動機の場合は地表面水平加速度 400 ガルの地震動が加えられた後でも、燃料が安定して供給されるものであることなどが規定されている。

また、消防法施行規則第 31 条の 4 では、消防庁長官が登録する法人は消防用設備等が技術基準に適合していることの認定を行うことができることとしており、自家発電設備については一般社団法人日本内燃力発電設備協会(内発協)が登録されている。

同協会の認証を取得している防災用自家発電装置は、消防法施行規則、消防庁告示の自家発電設備の基準に適合するものとみなされる。

さらに、同協会では学識経験者から構成される委員会を設け、都市ガス導管の耐震性評価を行っており、この委員会の評価を受けた都市ガス供給ライン(本支管、供内管)は消防法施行規則、消防庁告示の基準に適合する(すなわち、地表面水平加速度 400 ガルの地震動が加えられた後でも、燃料が安定して供給される)ものとして運用されている。^{viii}

【参考】 危険物規制について

消防法では、指定数量以上の危険物を貯蔵または取扱をする場合には、設置の許可などの規制の対象となる。(消防法第 10 条、第 11 条など)また、貯蔵所、取扱所の位置、構造及び設備の基準等は危険物の規制に関する政令に規定されている。指定数量未満の危険物の貯蔵または取扱いをする場合には、条例の規制によるものとされている。

指定数量は表表 I -5-(2)-4 の通りである。

表 I-5-(2)-4 液体燃料の指定数量

液体燃料の種類	灯油、軽油	重油
指定数量	1,000 リットル	2,000 リットル

4) 非常用発電機の常用化とその課題

非常用発電機を設置する場合、この発電機を有効に利用するため常用発電機として使用することが考えられる。多くは、①使用電力のピークカット(主に焼却炉立上げ時の補助電源)、②焼却炉の停止時の外部への電源供給、に使われ、その用途に応じて機種を選定することになる。

通常、常用発電機は、商用電力と併用して使用するため、商用電力系統と連系することとなる。このため、非常用発電機を常用発電機として使用する場合、電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン(資源エネルギー庁)に沿った電力会社との個別協議が必要とされる。同ガイドラインは、系統に連系することを可能とするために必要となる要件のうち、電圧、周波数等の電力品質を確保していくための事項等についての考え方を整理したものとされている。

一方、電気事業法第39条第1項及び第56条第1項に基づく「電気設備に関する技術基準を定める省令」(平成9年通商産業省令第52号。)に定める技術的要件を満たすものと認められる技術的内容を具体的に示した「電気設備の技術基準の解釈」においては、系統連系に必要な設備が具体的に示されており、負荷制限対策や保護装置の施設等が求められている。

常用発電機は、電気事業法上の発電所としての扱いとなり、技術基準など各種の規制がかかる。また、ガスタービンを原動力とするものは1,000kW、内燃力を原動力とするものは10,000kW以上となると工事計画の届出が必要となる(電気事業法第48条)。また、1,000kW以上のガスタービンでは定期事業者検査等が必要となる(電気事業法第55条)。なお、受電電圧10,000V以上の需要施設では(非常用発電機であっても)工事計画の届出、検査が必要である。大気汚染防止法等の測定義務などの規制もかかることとなる。

また、非常用発電機の点検は焼却炉の停止時に行う場合が多いが、常用発電機として使用する場合、点検のタイミングについて検討する必要がある。

表 I-5-(2)-5 常用非常用兼用発電機の点検のタイミングと課題

発電機の点検のタイミング	課題
焼却炉運転時	・災害時等の緊急停止時の電源としての役割を果たせない。
焼却炉停止時	・焼却炉停止時の外部への電源、余熱供給の役割は果たせない。 ・発電機の点検期間の長さによっては焼却炉の停止期間が長くなる可能性がある。

いずれの場合も、別途、消防当局との協議により非常電源(消防法)の確保が必要とされる場合があり、この場合、別途非常用発電機を準備する必要がある。

【参考】都市ガスシステムを利用した非常用発電について

1) 都市ガス事業の現状

日本の都市ガス事業者(ガス事業法の一般ガス事業者)は、207事業者(平成26年8月現在、私営181者、公営26者)¹⁸⁾であり、需要家数は約3,000万件となっている。(なお、平成25年3月現在の簡易ガス事業の需要家数は約140万件、LPガス販売事業の需要家数は約2,400万件

である。x) また、一般ガス事業の供給区域の面積は、日本全体の面積の約 5.5%である。xi
都市ガスは概ね次の図のように供給される。

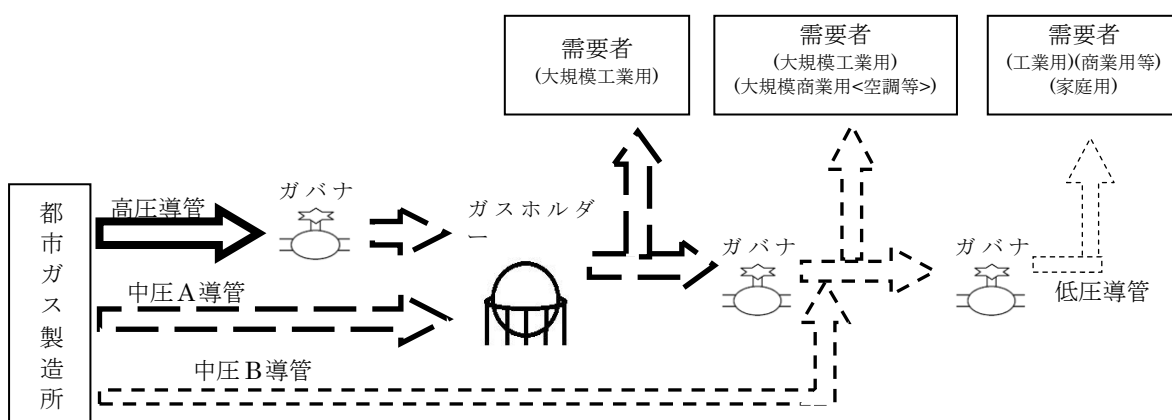


図 I-5-(2)-1 都市ガス供給の概略

なお、他の事業者から導管による卸でガスを調達する事業者も多く、都市ガス製造所、高圧導管や中圧導管などを持つか否か等については、事業者によって異なる。

図中、高圧導管、中圧 A 導管、中圧 B 導管、低圧導管の圧力範囲と、平成 25 年 3 月末の導管延長は次の通りである。xii

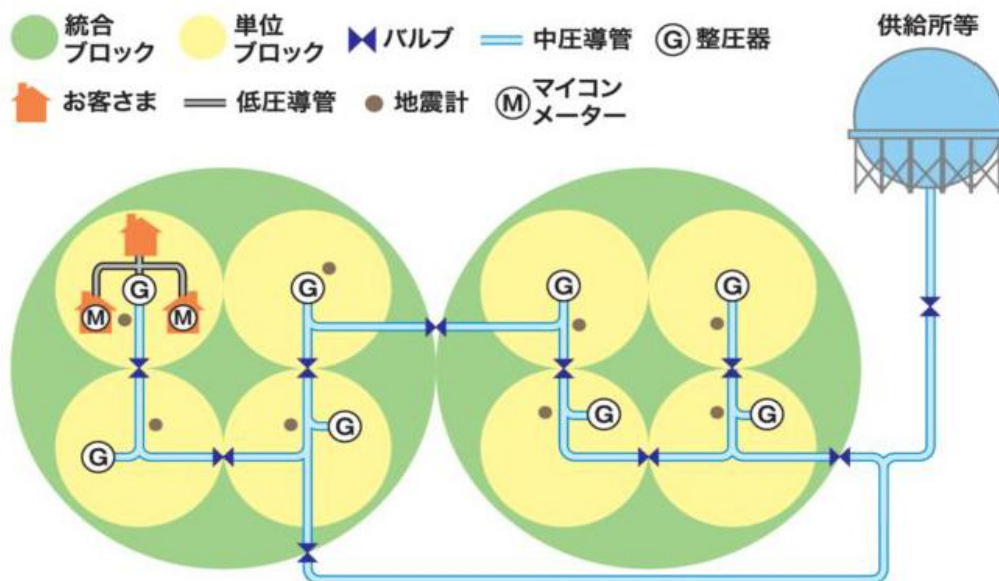
表 I-5-(2)-6 都市ガスの導管延長

	高圧導管	中圧 A 導管	中圧 B 導管	低圧導管	計
圧力範囲 (MPa)	1.0 以上	0.3～ 1.0 未満	0.1～ 0.3 未満	0.1 未満	
導管延長 (km)	2,220	14,353	18,291	215,786	250,649

2) 都市ガス事業における震災対策

都市ガス事業の震災対策として、地震や腐食に強いポリエチレンパイプの低圧導管への導入を進めている。また、低圧供給需要家には地震を感知するとガスを自動的に遮断するマイコンメーターの普及促進も進めており、マイコンメーターの普及率は 99.8%(2013 年末)^{xiii}である。

大規模地震時には、二次被害発生防止のため状況に応じ、ブロック単位でガス供給を停止する。(図 I-5-(2)-2)^{xiv}



供給停止は、地震の規模や状況に応じ統合ブロック又は単位ブロックで停止します。

- ・供給所等（製造所、ガスホルダー）で送出を止める方法
- ・中圧導管に設置してあるバルブを閉止する方法
- ・整圧器を止める方法

等があります。

図 I-5-(2)-2 ガスの供給ブロック

なお、各施設の耐震化の状況や震災時のガス供給の運用はガス事業者によって異なるが、一般的に低圧導管に比べ、中、高圧導管やガスホルダーの方が耐震性に優れている。

3) 東京ガスの震災対策^{xv}

東京ガス株式会社では、高圧、中圧ガス導管については、地震時の地盤変動にも耐えられるよう、強度や柔軟性に優れた素材を使用している。また、ガスホルダーについても強固な建造物となっている。

大地震発生の際のガス供給区域を最小限に抑えるため、中圧、低圧の導管網を複数のブロックに分け、切り離しが可能となっている。低圧導管網のブロックは約 190、中圧導管網のブロックは 15 となっている。

大地震が発生した場合、東京ガスでは地区ガバナ(中圧から低圧に変換する整圧器)が自動的に停止し、また、必要に応じて遠隔操作で地区ガバナを遮断して、低圧導管網のブロックのガス供給を停止する。中圧導管が被害を受けることは稀と考えており、中圧導管網は原則として供給を停止しないこととしている。

なお、家庭においては、マイコンメーターが震度 5 以上の地震やガスの異常流出を感知するとガス供給を自動的に遮断するが、需要者が事業者の場合には必ずしも自動で遮断される設備を設置するわけではなく、需要者が手動でガスを遮断する緊急遮断弁を設置する場合もある。

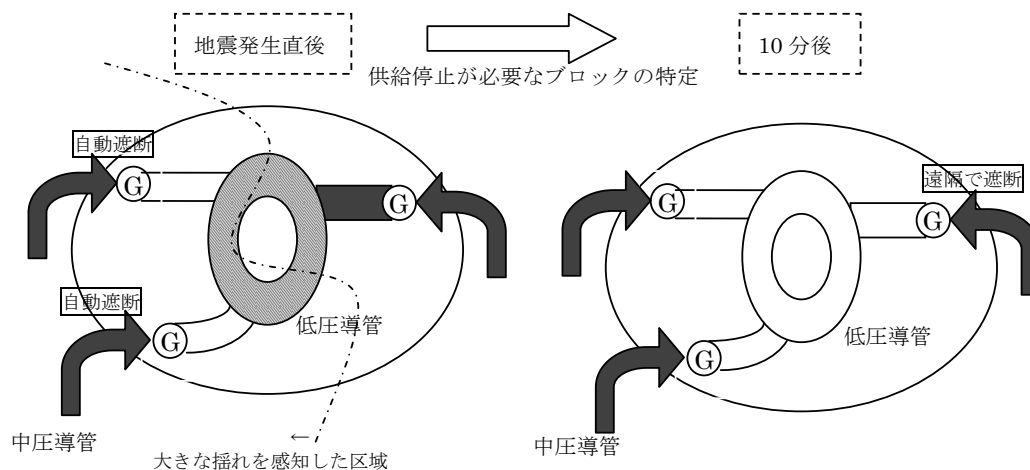


図 I-5-(2)-3 東京ガスの低圧ガス供給停止の仕組み

(3) 用水の確保に関する事項

1) 用水の確保の意義

焼却施設の運転にあたっては用水が確保されていることが必須である。

通常、焼却炉においては、生活用水、プラント用水（ボイラ用水、機器冷却水）が使用され、主に、前者は水道、後者は水道、工業用水道、地下水のいずれかにより水が供給される。災害時に水道、工業用水道からの用水の供給が途絶えた場合、生活用水に加えプラント用水の供給にも支障をきたす場合があることから、災害時に焼却施設を稼働させるためには、水道、工業用水道からの用水の供給が再開されるまでの間の水の確保が不可欠である。

2) 用水の確保方策の種類と特徴

用水の確保方策として現実的に考えられるのは、貯水槽を設置してあらかじめ用水を確保しておくこと、地下水を利用することの2種類である。

それぞれの特徴をまとめると次の通りとなる。

表 I-5-(3)-1 用水の確保方策の種類と特徴

水の確保方策	貯水槽の設置	地下水の利用
適用可能性	土地に余裕がない場合、施設に組み込む必要がある。	地下水の存在は立地により異なる
設置コスト	立地により幅がある。	立地により幅がある。
水質	水質の劣化を防ぐため、常に使用する必要がある。	通常使用する水と水質が違う場合、処理施設が必要となる場合がある。
規制	—	条例により井戸の設置や汲み上げに対し規制がある場合がある。
その他の課題	公共水道等の再開までの期間を適切に見込む必要がある。	・通常とは別に電源が必要 ・適切な維持管理が必要

用水の使用量は焼却炉の種類や規模によって大きく異なるが、概観すると次のようになる。災害時に必要な水の使用量であるので、洗車用水などを除いて考えることも可能である。

表 I-5-(3)-2 水の必要水量、必要貯蔵量の概算(100~200t/日炉を想定)

必要水量		必要貯蔵量 ※	
ボイラ用水(補給水)	10~100m ³ /日	7日分	350~1400m ³
機器冷却水(補給水)	20~200m ³ /日	15日分	750~3000m ³
生活用水(場内)	5m ³ /日程度		
合計	50~200m ³ /日		

※焼却炉の停止期間に必要水量が減少することを考慮しない概算

地下水を利用する場合は、上記の必要水量を確保できる井戸を設置することでよいが、貯水槽による水の確保を図る場合には、まずは、水道による供給が再開するまでの期間を適切に想定する必要がある。水道事業者(主に市町村)、工業用水道事業者(主に都道府県市)とよく調整し、あるいは業務継続計画(BCP)の作成の際に適切に想定することとなる。想定期間が過ぎても水の供給が再開しないと稼働させた焼却炉を再停止しなければならない状況が生ずることも想定される。

なお、用水の確保に際して、次の点にも注意が必要である。

- ・水槽の大きさやポンプの能力などに影響を与える可能性があるため、焼却施設を災害時の避難所として利用する場合など市民へ水を供給する必要がある場合及び水道が再開するまでの間の水が必要な場合は、別途検討する必要がある。

【参考】政府業務継続計画（首都直下地震対策）による被害想定

政府業務継続計画による被害想定では、水道による水の供給が再開するまでの期間(断水期間)、停電期間等を次のように想定している。

中央防災会議防災対策実行会議首都直下地震対策検討ワーキンググループから示された「首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）」(平成 25 年 12 月)では、総理大臣官邸や中央省庁の庁舎が主に立地する東京都千代田区永田町、霞が関等の地区は、周辺の低平地と比較して、相対的に固い地盤上にあり、地震動の増幅が小さい領域に位置するため、耐震基準に適合している建物において倒壊等の大きな損傷が発生する可能性は低いとされている。また、この地区は、電力、通信・情報システム、上下水道等が被災した場合でも、各事業者が優先的に復旧することとなっており、地震に対して一定の強靱性を有しているものといえる。

しかしながら、政府は、どのような事態に対しても、首都中枢機能の維持を図り、国民生活及び国民経済に及ぼす影響を最小化するため、業務継続体制を維持する必要があることから、本計画は、同ワーキンググループが想定する震度分布や被害様相を念頭に置いた上で、特に不確実性が高い項目については、より過酷な被害様相を呈することを想定することとする。具体的には、次のとおりである。

- 停電、断水は、1週間継続する。
- 主要道路の啓開には、1週間に要する。

「政府業務継続計画（首都直下地震対策）平成 26 年 3 月」

【参考】水道事業者との連携による水の確保

1) 水道事業の現状

水道事業の事業数は、平成 25 年 3 月 31 日現在、給水人口が 5,000 人を超えるいわゆる上水道事業が 1,414 となっており、主に市町村によって経営されている。これに給水人口が 100 人

を超え 5,000 人未満の簡易水道事業の数 6,257 を加えると、水道事業の数は 7,671 に上る。水道による給水人口は、1 億 2,466 万人であり、水道の普及率は 97.7%である。^{xvi}

水道は一般的に図 I-5-(3)-1 のような施設で水を供給している。なお、水道事業の中には、水道用水供給事業から浄水を受水しているものもあり、浄水施設や基幹管路を持たないものもある。

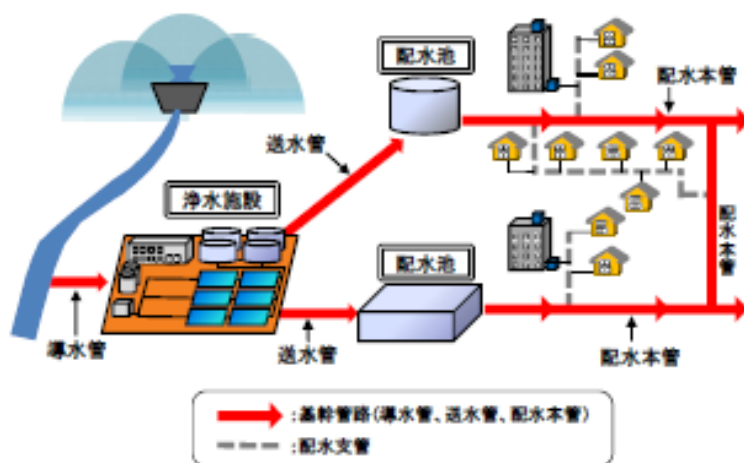


図 I-5-(3)-1 水道施設

2) 水道事業における耐震化の状況^{xvii}

水道事業における耐震化の状況は次の通りとなっている。

・基幹管路

導水管や送水管などの基幹管路総延長 96,816km のうち、耐震適合性のある管の延長は 33,692km であり、耐震適合率は 34.8%である。

・浄水施設

浄水施設の全施設能力 6,931 万 m³/日のうち、耐震化された施設の能力は 1,529 万 m³/日であり、耐震化率は 22.1%である。

・配水池

配水池の全施設容量 4,004 万 m³のうち、耐震化された施設の能力は 1,886m³であり、耐震化率は 47.1%である。

いずれの施設の耐震化も、依然として低い状況であるが、事業者によって耐震化の進み具合は大きく異なっている。

3) 水道事業者との連携による水の確保

水道事業者による水道施設の耐震化が進めば震災時にも水道による水の確保が可能となる。水道事業者によっては避難所、病院などの防災上重要な施設への供給が可能となるよう、これに関係する施設の耐震化を優先的に進めている。水道事業は多くの場合市町村によって経営さ

れているので、焼却施設が防災上重要な施設となり得ることについて、水道事業体の理解を得ることも重要である。この際、災害時に水道により水が供給されるか否かについては、末端の管路のみならず、水源や浄水施設を含めた施設の総体が耐震化されていることも重要である。

一方で、水道事業体によっては浄水場や配水池などの水を確保する施設や給水車などの非常時に水を供給する体制などを持っている。このため、水道による水の確保が可能か否か、あるいは水道事業体との連携により水の確保をすることが可能か否かについて水道事業体と調整の上、検討することが肝要である。

なお、水道事業体の設置する配水池は、必ずしも防災用の水を確保する目的で設置されているわけではないこと（災害時に配水池に水が確保されているとは限らない）、震災が起こった場合には配水池からの供給を止めて給水拠点となる場合があることなどから、水道事業体と調整することなしに配水池の水が震災時に供給されることを期待することには問題がある。

【参考】その他の水の確保の可能性

その他の水の確保の可能性として、河川水の使用、海水の使用なども考えられる。それぞれ、次のような課題が考えられる。

・河川水の使用

河川法上の河川の水を使用する場合、河川法に基づく流水占用の許可（いわゆる水利権）が必要である。通常流水を占用するには、河川区域内にダム、堰等の施設を設けて行われる。

既存の水利権については災害時には弾力的に運用される場合もあるが、災害時の焼却炉の稼動に必要な用水を河川水に確保しようするのであれば、河川管理者等との事前の調整が不可欠である。また、河川区域内に取水施設などの工作物を設置する場合には、河川法に基づく土地の占用の許可、工作物の新築等の許可などが必要である。

水力発電に使用した後の水路の水の利用についても水利権が必要であると解されている。また、農業用水路、水道用の導水路などの水の使用を考えた場合にも、水利権の目的外となるため、管理者との調整のほか、河川管理者等との調整が必要であると考えられる。

なお、河川法の適用を受けない普通河川の場合は、基本的に地方公共団体の条例により管理される。

・海水の使用

海水は塩分濃度が高いため淡水化の処理をする必要がある。海水淡水化装置の費用が高額であるほか、運転するために大きなエネルギーを必要とするため、維持管理費用が嵩む。

（４）事例調査

災害時に焼却炉を再稼動するために焼却炉を立ち上げるための非常用発電機を設置し、水の確保を行っている（または計画している）施設の事例（エネルギー供給を目的としないものを含む。）を調査した。調査対象施設とその特徴は次の通りである。