

## 焼却方式についての検討資料

## &lt; 目 次 &gt;

焼却技術の選定.....	1
(1) 国内での稼働実績について.....	1
(2) 検討の対象とするごみ焼却技術について.....	2
(3) 処理方式の概要.....	2
(4) 焼却技術選定のための評価の手順.....	4
(5) 処理方式の評価（第一次選定）.....	5
(5) 処理方式の評価（第二次選定）.....	6

## 1. 焼却技術の選定

ごみ焼却の目的は、ごみに含まれる腐敗物や病原菌の「無害化」など公衆衛生上の観点に加え、悪臭成分などの熱分解による「無臭化」及びごみに含まれる水分の蒸発、可燃物の熱分解などの「減量化」にあります。

その目的を達成するために、国内で採用されているごみの焼却方式は、大別すると表1に示します「焼却炉方式」と「ガス化溶融炉方式」があります。

焼却炉方式は、炉内の燃焼温度を950℃以下として、可燃分を焼却し、それに伴い発生する焼却灰を直接または薬剤処理して埋立処理する方式となりますが、ガス化溶融炉方式は燃焼温度を約1,300℃以上に設定し、高温でごみをガス化した後、その熱を利用して灰をスラグ化する方式です。

本市のごみの特性や焼却残さの処理方式などから焼却方式を選定する中で、当施設において国内トップクラスの環境対策を実施する方針に基づき、環境保全の観点を最重要項目として、以下の選定を行います。

### (1) 国内での稼働実績について

表1 ごみ焼却技術の国内稼働実績

焼却技術の種類と分類			国内稼働実績 注1)			
			全体		直近5年間での建設	
			件数	%	件数	%
溶融なし	焼却炉	ストーカ式	456	64.7	68	82.9
		流動床式	79	11.2	1	1.2
		計	535	75.9	69	84.1
溶融あり	ガス化溶融炉	シャフト炉式	55	7.8	7	8.5
		流動床式	40	5.7	4	4.9
		その他 注2)	14	2.0	0	0.0
		計	109	15.5	11	13.4
	焼却炉+灰溶融方式 注3)	61	8.7	2	2.4	
合 計			705	100.0	82	100.0

出典：環境省一般廃棄物処理実態調査（平成30年度調査結果）

注1) 全連続運転燃焼式のみ抽出（休止・廃止施設除く、焼却施設以外（炭化施設等）は除く）、建設中含む。

注2) その他にはキルン式及びガス化改質炉が含まれる。

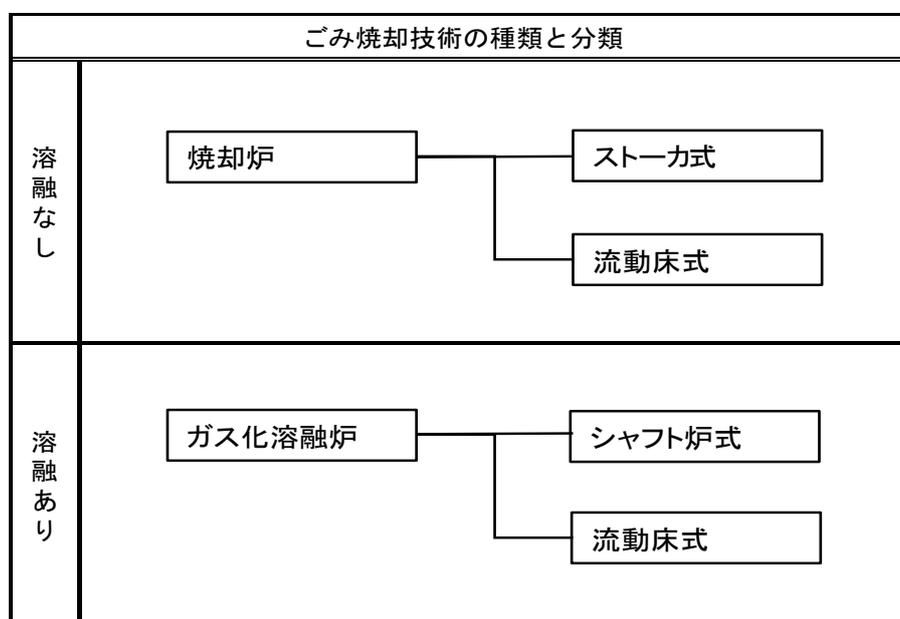
注3) 焼却炉から出る焼却残さを溶融する灰溶融炉を付設した方式であり、全国61件は表中の焼却炉稼働実績（535件）にも含まれる。また直近5年間での2件はいずれも同一自治体での2つの施設である。

## (2) 検討の対象とするごみ焼却技術について

ごみ焼却方式の選定にあたり、採用実績が多くその方式に関するノウハウを持つメーカーが多く存在する方式については、日々技術革新が図られ、性能が向上すると共に競争性が保たれることから、その方式の採用により費用対効果に優れた施設建設の実現性が高くなると考えられますが、ノウハウを持つメーカーが少ない場合は、技術の独占及び開発の停滞など競争性の低下が危惧されます。(前頁注2)

また、焼却炉で発生した焼却灰に後から熱エネルギー等を加えて熔融スラグを生成する方法もエネルギー消費量が大きく、光熱費の負担やCO2排出量の増大などが課題となっており、近年は採用実績が少なくなっています。(前頁注3)

よって前頁表1のうち、直近5年間での建設実績から図1に示す4つのごみ焼却技術を処理方式選定の対象として検討します。



出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領（全国都市清掃会議）より抽出した注）表1に示す直近5年間における新規国内稼働実績のない処理方式については掲載していない

図1 ごみ焼却技術の種類と分類

## (3) 処理方式の概要

図1で示した対象とする処理方式の概要を表2に示します。また、表2に示した各処理方式において発生する残さ等の種類を参考として表3に示します。

表2 焼却技術における処理方式の概要

項目	焼却炉（溶融なし）		ガス化溶融炉（溶融あり）	
	ストーカ式	流動床式	シャフト炉式	流動床式
概念図	<p>ごみ投入、投入ホッパ、排ガス処理設備へ、供給フイバー、乾燥ストーカ、燃焼ストーカ、後燃焼ストーカ、灰処理設備へ</p>	<p>ごみ、給じん機、ボイラ、エコノマイザ、バグフィルタ、排ガス、不燃物排出機、砂分級機、砂循環コンベヤ、不燃物（もえがら）、火炎の状態</p>	<p>廃棄物、コークス、石灰石、可燃性ガス、フリーボード、流動化層、移動層、コークス充てん層、三段羽口、副羽口、主羽口、スラグ、メタル</p>	<p>熱分解ガス・チャー、流動床式ガス化炉、旋回式溶融炉、溶融排ガス、溶融スラグ、鉄・アルミ・がれき</p>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉内を加熱した状態で、ごみをストーカと呼ばれる可動式火格子上で移動させながら空気を送り焼却する方式である。</li> <li>ストーカが前後に動くことでごみが乾燥、燃焼、後燃焼の過程を経て、約2時間程度で完全燃焼する。</li> <li>ごみは自然するため立上げ時以外、燃料は不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加熱された約600℃の砂を流動させた炉内にごみを投入して焼却する方式である。</li> <li>砂は炉下から吹き込まれる燃焼空気により循環流動しており、ごみは砂と混ざりながら燃え、短時間で灰と不燃物になる。</li> <li>ごみは自然するため立上げ時以外、燃料は不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ごみとともにコークス<sup>注)</sup>・石灰石を投入し、ごみを熱分解・ガス化から溶融までを炉本体で一体的に行う方式である。</li> <li>ごみを高温で溶かすことで、溶融物（スラグ・メタル）と溶融排ガスが生成される。</li> </ul> <p>注) 石炭を蒸し焼きして炭素部分だけを残した燃料</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ごみを流動床炉で熱分解・ガス化し、別の炉で溶融する方式である。</li> <li>ごみは加熱された約450～600℃の砂の中に投入することで熱分解する。不燃物は炉下部より取り出される。</li> <li>熱分解ガスとチャー（炭）を後段の旋回式溶融炉内でさらに高温で溶かし、溶融物を生成する。</li> </ul>
燃焼温度	約850℃～950℃	約600℃～900℃	約1,500℃以上（溶融温度）	約600～700℃（ガス化炉） 約1,300℃以上（溶融温度）
焼却残さ	不燃物、焼却灰、飛灰 ⇒埋立処分	不燃物、飛灰 ⇒埋立処分	溶融物（スラグ、メタル） ⇒コンクリート製品、舗装材などに利活用 飛灰⇒埋立処分	溶融物⇒コンクリート製品、舗装材などに利活用 不燃物、飛灰⇒埋立処分
環境対策	・後段の排ガス処理設備によって、国内トップクラスの排出基準値の設定可能	・後段の排ガス処理設備によって、国内トップクラスの排出基準値の設定可能	・後段の排ガス処理設備によって、国内トップクラスの排出基準値の設定可能	・後段の排ガス処理設備によって、国内トップクラスの排出基準値の設定可能
CO2 排出量	・高温の炉内でごみが自然するため、燃料を必要としないことから、溶融ありと比較し二酸化炭素排出量は少ない。	・高温の炉内でごみが自然するため、燃料を必要としないことから、溶融ありと比較し二酸化炭素排出量は少ないが、ストーカ式よりは電気使用量が多い。	・副資材にコークスを使用するため理論上CO2の排出量が多くなる。	・溶融物を安定的に排出するための助燃が必要で、軽油などの燃料を使用するため、理論上CO2の排出量は多くなる。
施設整備費 (維持管理費)	104,500千円/トン (3,900千円/トン)	104,500千円/トン (3,900千円/トン)	106,500千円/トン (4,300千円/トン)	106,500千円/トン (4,300千円/トン)
その他	・長い歴史や多くの採用実績があり、信頼性が高い。 ・廃棄物の形状や性状を問わず燃焼が安定しており、運転管理がしやすい。	・炉内へ投入するごみの粒度を均一に保つため、ごみの前処理（粗破碎）が必要である。 ・廃棄物が瞬時に乾燥し燃焼されるため、炉内温度が変化しやすく、ストーカ式よりも運転管理が難しい。 ・含水率が高い低発熱量ごみの焼却に適しており、特に汚泥（し尿・下水）を多く含むごみの焼却炉として採用する例が多い。	・灰をスラグ化することで容積を半分近くまで減らすことができる。 ・粗大ごみを除き、基本にごみの選別・破碎等が不要なためごみの分別区分が少ない自治体での採用が多い。 ・近年、スラグの品質の安定性や製品強度の問題で利用先を探すことが困難となっている。	・灰をスラグ化することで容積を半分近くまで減らすことができる。 ・流動床式焼却炉と同様に、炉内の温度制御など運転管理が難しい。 ・ごみの前処理（粗破碎）が必要である。 ・近年、スラグの品質の安定性や製品強度の問題で利用先を探すことが困難となっている。
稼働施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>下呂市クリーンセンター(H31)*炉のみ交換</li> <li><b>武蔵野クリーンセンター(H29)</b></li> <li>飛騨市クリーンセンター(H25)</li> <li>山梨市クリーンセンター(H22)</li> <li>可茂衛生施設利用組合ささゆりクリーンパーク(H11)</li> <li>高山市資源リサイクルセンター(S61)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>北秋田市クリーンセンター(H30)</li> <li>岐阜市東部クリーンセンター(H10)</li> <li>大垣市クリーンセンター(H8)</li> <li>岐阜羽島衛生施設組合衛生センターごみ処理施設(H7)</li> <li>西濃環境整備組合西濃環境保全センター(H3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>名古屋市北名古屋工場(R2)</li> <li>多治見市三の倉センター(H15)</li> <li>西濃環境整備組合西濃環境保全センター(H15)</li> <li>瑞浪市クリーンセンター(H14)</li> <li>各務原市北清掃センター(H14)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上伊那クリーンセンター(H31)</li> <li>南濃衛生施設利用事務組合清掃センター(H20)</li> <li>郡上クリーンセンター(H18)</li> <li>中津川市環境センター(H16)</li> <li>中濃地域広域行政事務組合クリーンプラザ中濃(H14)</li> <li>恵那市恵南クリーンセンターあおぞら(H13)</li> </ul>

出典：概念図、概要等については、ごみ処理施設整備の計画・設計要領（全国都市清掃会議）を参考にした。

表3 焼却や溶融に伴い発生するもの（参考）

焼却炉（溶融なし）		ガス化溶融炉（溶融あり）	
焼却灰	飛灰	溶融スラグ	溶融飛灰
			

(4) 焼却技術選定のための評価の手順

焼却技術の選定は、以下に示す手順により2段階で評価したいと考えます。

(第一次選定)

焼却技術のうち、大別される焼却炉方式またはガス化溶融炉方式の選定を他市の採用実績など市場性、経済性、環境性などから行います。

(第二次選定)

処理対象ごみへの対応、環境性、経済性など、処理性能の観点から評価し、採用することが望ましい処理方式を選定します。

## (5) 処理方式の評価（第一次選定）

### ① 評価方法

第一次選定では、焼却技術のうち大別される焼却炉方式とガス化溶融方式の比較を下記表4のとおり行いました。

表4 溶融あり・なしでの比較評価結果

評価指標		溶融 なし A	溶融 あり B	備考
市場性		◎	△	国内稼働施設数は、Aが535件、Bが109件であり、Aの採用実績が多い。
経済性	施設整備費	◎	△	Aが104.5百万円/t、Bが106.5百万円/tであり、Bは溶融処理する設備が必要となる分、施設整備費が高くなる傾向にある。
	運転・維持管理費	◎	△	Aが3.9百万円/t年、Bが4.3百万円/t年であり、Bは溶融処理する設備が必要となる分、運転・維持管理費が高くなる傾向にある。
	残さ処分費（埋立処分量）	△	○	Bは埋立を行う焼却残さ等の発生量が少ないため、埋立処分費が低減できる。ただし、溶融スラグの再利用については、品質等の課題もあり活用先の確保が難しい場合がある。
環境性	国内トップクラスの排ガス規制値への対応	○	○	国内トップクラスの排ガス規制値への対応はA、Bいずれも可能である。
	二酸化炭素排出量	◎	△	Bは溶融処理に伴い使用するエネルギー（コークスなど）を使用する分、CO <sub>2</sub> 発生量が多い。
エネルギー回収性		◎	△	Bは溶融処理にかかるエネルギーが必要となる分、エネルギー回収性は低い。
操作性		◎	△	Bは、燃焼温度が高く、高温域で溶融処理を伴うため、燃焼管理が難しい。
合計		21点	10点	

注) 評価と配点は以下のとおりとします。

- ◎：相対的に評価して優れる × 3点
- ：相対的に評価してやや優れる、または優劣の差がない × 2点
- △：相対的に評価して劣る × 1点

### ② 評価結果

結果、溶融あり方式に一部優位性が認められる部分はあるが、本市においては、溶融スラグの活用先を確保するのは難しく、全般的には溶融なし方式に優位性があると認められるため、本市の現状を踏まえた処理方式として、溶融なしの「焼却炉」を選定したいと考えています。

※国においても一時期、溶融スラグのリサイクルを推奨していた時期がありましたが、地域によってはスラグの利活用が難しいため、現在は溶融なし方式の採用自治体が増加傾向にあります。

(6) 処理方式の評価（第二次選定）

① 評価方法

第一次選定で選定した焼却炉方式のストーカ式及び流動床式について、ごみ焼却性能の観点から処理方式に特徴があると考えられる項目を評価指標におき、評価します。評価指標は、「処理対象ごみへの対応」及び「処理性能」とし、比較評価した結果を表5に示します。

表5 ごみ焼却性能の特徴を考慮した処理方式の評価

評価指標	ス	流	備考
処理対象ごみへの対応			
ごみ質の変動	◎	△	ストーカ式は緩やかな燃焼であることから、ごみ質の変動が安定燃焼に与える影響は少ない。これに対し、流動床式はごみ質の変動が安定燃焼に与える影響が大きいことから、炉内にごみを安定供給するための前処理装置が必要となる。
廃プラの混合焼却	○	○	現在、埋立処分している焼却可能プラスチック（高発熱ごみ）の処理は、ストーカ式、流動床式ともに対応可能である。
災害ごみの混合焼却	○	○	災害ごみの処理は、ストーカ式、流動床式ともに対応可能である。 ただし、流動床方式はごみの均質化を行う前処理が必要となる。（再掲）
処理性能			
技術の成熟度・競争性	◎	○	ストーカ式、流動床式ともに、技術的には確立されており、長期間の連続稼働実績がある。 国内稼働実績ではストーカ式の採用実績が多く、プラントメーカーの競争性もストーカ式の方が高い。
経済性	◎	△	建設コストに大きな差はない。ただし、流動床式は、前処理設備（破砕機）や流動空気の送風など電力負荷が高い分、ストーカ式に比べて消費電力が大きく維持管理費が高い。（ス：100～200kWh/t、流：140～280kWh/t）
エネルギーの回収性	○	○	ストーカ式、流動床式ともに、エネルギー回収量の差はない。
国内トップクラスの排ガス規制値への対応	○	○	ストーカ式、流動床式ともに、国内トップクラスの排ガス規制値に対応できる。
二酸化炭素排出量	○	○	ストーカ式、流動床式ともに燃料等を使用した助燃は不要であり、二酸化炭素排出量の差はない
焼却残さ処理	◎	△	流動床式は焼却残さが飛灰主体であることから、埋立処分に際して必要な薬品量が多い。
建築面積	○	○	流動床式は、焼却炉本体が縦型であることから、ストーカ式に比べ建築面積が小さくなる傾向がある。しかしながら、建設候補地内には、ストーカ式、流動床式ともに問題なく建設可能である。
合計	24点	17点	

注) ス：ストーカ式、流：流動床式

注) 評価と配点は以下のとおりとします。

- ◎：相対的に評価して優れる × 3 点
- ：相対的に評価してやや優れる、または優劣の差がない × 2 点
- △：相対的に評価して劣る × 1 点

## ② 評価結果

「処理対象ごみへの対応」ならびに「処理性能」の観点から比較評価した結果、ストーカ方式に流動床方式よりも全般的に優位性が認められることから、本市において採用することが望ましい処理方式として、「ストーカ式」を選定したいと考えています。

－ 以上 －

## 焼却施設に付帯する生ごみ発酵方式導入の検討

### < 目 次 >

1. 検討の対象とする生ごみ発酵方式について .....	1
2. メタンガス化技術の概要 .....	1
3. 全国事例 .....	2
4. 高山市の導入モデル比較 .....	2
5. メタンガス化技術（乾式メタン発酵）導入の評価 .....	3
(1) 評価方法 .....	3
(2) 評価結果 .....	3

## 1. 検討の対象とする生ごみ発酵方式について

国は、循環型社会や地域循環生活圏の形成だけでなく、温室効果ガスの排出削減により気候変動対策にも資することから、地域へのエネルギー供給を図る観点も含め地域特性に応じて、ごみ飼料化施設、ごみ堆肥化施設、燃料化施設、メタンガス化施設等、廃棄物系バイオマスの利活用のための施設整備を推進しています。本市は、現在のところ生ごみの分別収集を実施しておらず、現状のごみ収集の分別区分に対応できるバイオマス利活用技術（生ごみ発酵方式）として「メタンガス化施設」を対象とし、焼却炉に付帯するメタンガス化施設の導入可能性について検討します。

## 2. メタンガス化技術の概要

メタンガス化技術の概要を表1に示します。

表1 メタンガス化技術の概要

項目	メタンガス化技術
概念図	<p>(出典) 榊タクマHPより抜粋</p>
概要	<p>生ごみ等のバイオマスを機械選別してメタン発酵させ、バイオガス（メタン）としてエネルギー回収する技術である。</p> <p>投入ごみの固形物濃度を 15～40%程度に調整して発酵させる乾式と、投入ごみの固形物濃度を 10%前後に調整して発酵させる湿式がある。なお、焼却技術との組合せ（コンバインド）でのバイオガス化施設は乾式メタン発酵がほとんどである。</p>
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回収したメタンガスの利活用の拡大を図ることが可能になる</li> <li>・焼却炉単独に比べて、循環型社会形成推進交付金が多く充当されるほか、発電した電力が固定価格買取制度に対し優遇措置を図ることが可能となる</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内での稼働実績が少ない</li> <li>・施設整備・運転・維持管理費ともに焼却炉単独より高くなる可能性が高い</li> <li>・焼却炉単独に比べて、広いスペース（建築面積）が必要になる</li> </ul>

### 3. 全国事例

焼却技術に付帯したメタンガス化施設の導入事例を表2に示します。  
国内では建設中の事例を含め6件で、稼働中の施設は4件となっています。

表2 コンバインド方式（焼却+メタンガス化）の全国事例

自治体名等	施設規模		稼働年度
	メタンガス化施設 (乾式メタン発酵)	焼却施設	
南但広域行政事務組合（兵庫県）	36t/日	43t/日	平成25
防府市（山口県）	51.5t/日	150t/日	平成26
京都市（京都府）	60t/日	500t/日	令和元
宮津与謝環境組合（京都府）	20.6t/日	30t/日	令和2
鹿児島市（鹿児島県）	60t/日	220t/日	令和3
町田市（東京都）	50t/日	258t/日	令和6

### 4. 高山市の導入モデル比較

本市に導入した場合における、焼却炉単独方式及びコンバインド方式のモデル比較を図1に示します。なお、本モデルでは、災害廃棄物量は加算しない前提の試算となります。

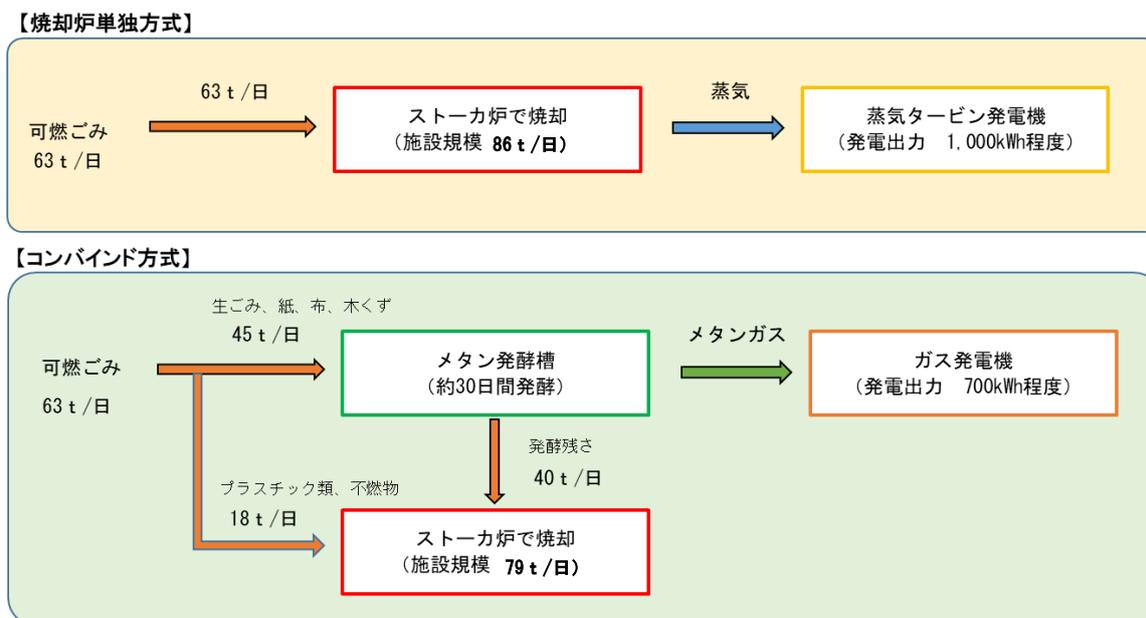


図1 高山市の導入モデル比較（災害廃棄物10%加算含まず）

## 5. メタンガス化技術（乾式メタン発酵）導入の評価

### (1) 評価方法

焼却炉単独方式とコンバインド方式を比較評価します。また、評価指標は、表 3 のとおり「市場性・競争性」、「経済性」、「エネルギー回収性」、「操作性・維持管理」及び「建築面積」とします。

表 3 焼却炉単独方式とコンバインド方式の比較評価結果

評価指標		焼却	コンバインド	備考
市場性・競争性		◎	△	コンバインド式は、国内稼働施設数が 4 件と少なく、開発メーカーも少ないことから、競争性に乏しい。
経済性	施設整備費	◎	△	コンバインド式は、メタンガス化施設が付帯となる分、焼却炉単独設置に比べて施設整備費が約 15% 高くなる。
	残さ処分費	○	○	トータルでの残さ処分量は両方式において変わらないことから、残さ処分費に差はない。
エネルギー回収性		○	○	トータルでのエネルギー回収性は両方式において大きく変わらない。 メタンガスの利用用途が確立していれば、コンバインド式にメリットがある。 本市では、ガスの供給先がなく、現時点で売電もできないため、発生ガスの有効利用に課題がある。
操作性・維持管理		◎	△	コンバインド式は、焼却炉単独での稼働に比べ、可燃ごみの分別など前処理が必要になること、メタンガス化施設の点検整備が必要となるなど、焼却炉単独に比べて運営人員やメンテナンス費用の増加が見込まれる。
建築面積		◎	△	コンバインド式は、前処理施設、メタン発酵施設、メタン貯留施設などが付帯されるため、焼却炉単独よりも敷地面積が多く必要となる。
合計		16 点	8 点	

注) 焼却：焼却炉単独、コンバインド：焼却炉＋メタンガス化施設（コンバインド式）

注) 評価と配点は以下のとおりとします。

- ◎：相対的に評価して優れる × 3 点
- ：相対的に評価してやや優れる、または優劣の差がない × 2 点
- △：相対的に評価して劣る × 1 点

### (2) 評価結果

焼却炉単独方式とコンバインド方式とを比較評価した結果、本市では、ガスの供給先の確保が難しく、現時点で売電もできないため、発生ガスの有効利用に課題があることから、特にコスト面で優位性のある焼却炉単独方式を採用したいと考えています。