

## 第5章 エネルギー回収施設の処理方式

本章では、エネルギー回収施設の処理方式を選定した。

### 1 エネルギー回収施設の炉形式

エネルギー回収施設の炉形式は次の形式がある。

- ①全連続燃焼式（24時間/日稼働）
- ②准連続燃焼式（16時間/日稼働）
- ③機械化バッチ式（8時間/日稼働）

これらの炉形式のうち、本計画では、次の理由により全連続燃焼式の焼却炉とする。

#### 1) ダイオキシン類削減対策

「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」（ダイオキシン類削減プログラム：平成9年1月）において「3-2-2 焼却施設における対策：新設炉」では、「燃焼の安定化、高度な排ガス処理等によるダイオキシン類の排出削減の実施可能性、熱エネルギーの有効利用等の観点から、全連続炉による焼却が適切。」とされており、周辺環境の保全には、全連続燃焼式が適切である。

#### 2) 余熱利用

本計画では、余熱利用としてボイラを備え、発電を行うこととしているため、焼却炉が毎日停止する准連続燃焼式または機械化バッチ式の焼却炉では毎日のボイラの立ち上げ及び立ち下げがあるため、安定した蒸気の発生及び発電はできない。

そのため、余熱利用の観点からも全連続燃焼式にする必要がある。

#### 3) 施設の面積及び建設費

准連続燃焼式炉は、16時間運転のため、1時間当たりの焼却量は、全連続式焼却炉に比べて（ $24\text{h} \div 16\text{h} =$ ）1.5倍の焼却量となる。焼却炉の面積当たりの焼却量は設計計算上、一定の値であるため、焼却炉面積は大きくなる。

また、排ガス処理設備等も1時間当たりの排ガス量は1.5倍となるため、設備が大きくなり、建築面積も大きくなることで建設費が高くなる。

そのため、全連続燃焼式にすることが適している。

炉形式は、周辺環境の保全及び適正な余熱利用等の観点から、「全連続燃焼式」とする。

## 2 エネルギー回収施設の処理方式

可燃ごみの焼却、熔融方式及び過去10年の建設実績件数を図5-1に示す。

なお、下記の方式以外に「流動床方式+灰熔融」及び「キルン方式」があるが、いずれも過去10年の建設実績がないため、図5-1には含めていない。

また、バイオマス方式（メタン発酵+焼却方式）は、実績件数が少なく、建設費・運営費ともに高くなると予想されるため、比較は行わなかった。

エネルギー回収施設の方式の概要を、図5-2に示す。

大区分	方式	H20～H29の実績件数	うち50～100t/日施設
焼却方式	ストーカ方式	124	28
	流動床方式	2	1
焼却+熔融方式	ストーカ+熔融炉	8	1
ガス化熔融方式	シャフト炉方式	14	1
	流動ガス化方式	8	0
バイオマス方式	メタン発酵+焼却	2	1

図5-1 焼却及び熔融方式の種類

メタン発酵+焼却方式：生ごみなどを嫌気性で発酵させ、発生したメタンガスを熱利用する方式で、熱効率が良いが、次の問題がある。

- ①生ごみを個別に収集するための体制が必要であり、量の少ない生ごみ収集は困難である。臭気の発生を防止するため、可燃ごみと同様に、週2回の収集とすると、エネルギー回収に対する費用の発生が大きく、現実的ではない。
- ②メタン発酵後に発生する残渣（中間液及び汚泥）の処理が必要で、特に中間液は液肥としての利用先があることが必要だが、本区域では利用先の確保は難しい。
- ③生ごみ以外の可燃ごみ及びメタン発酵の汚泥処理として、焼却施設が必要である。そのため、メタン発酵施設と焼却施設の2施設の建設費及び運営費がかかる。

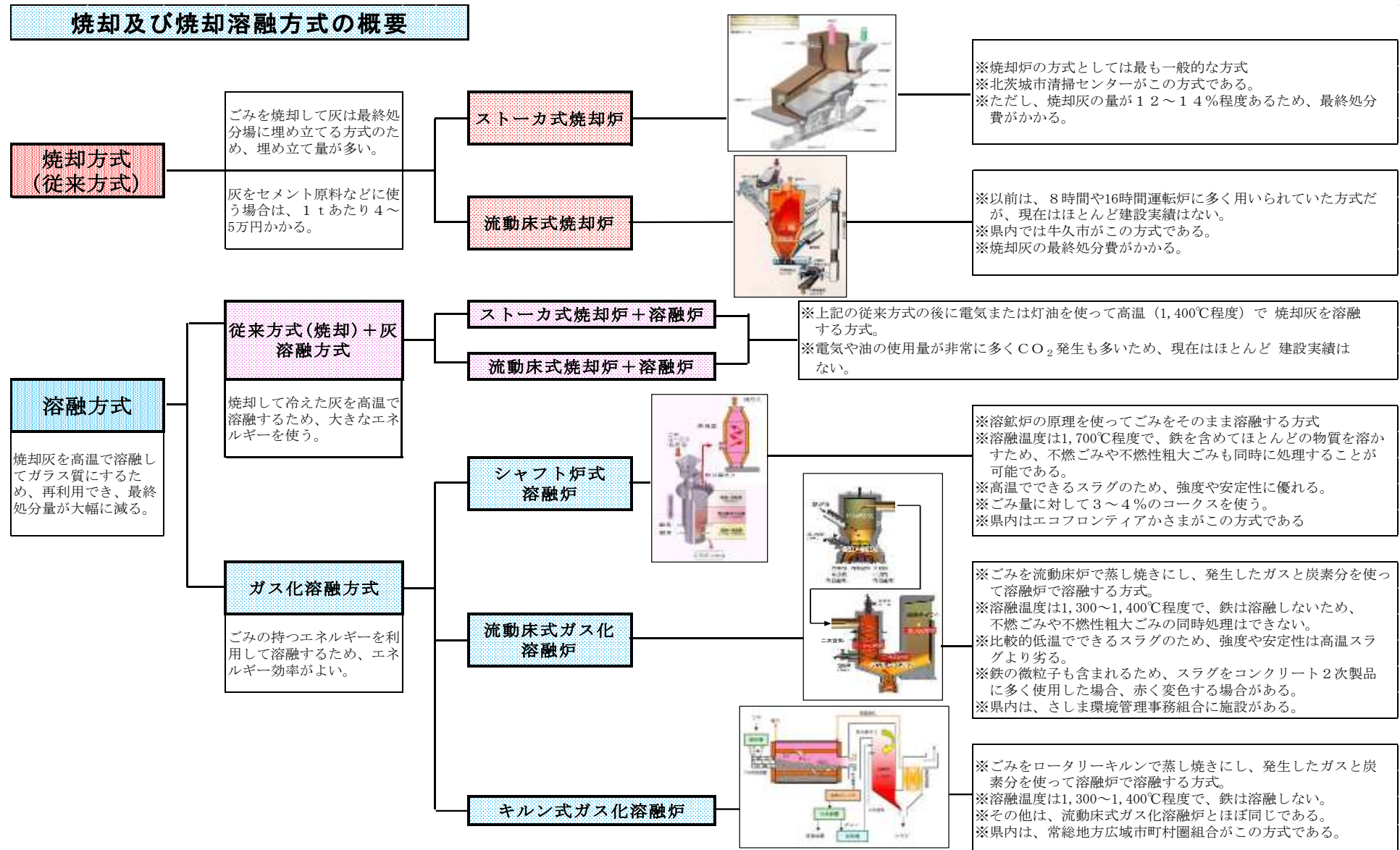


図 5-2 エネルギー回収施設の処理方式

## 1) 焼却処理

### (1) ストーカ炉

ストーカ方式は、炉内のごみを攪拌しながら移送できる機械式火格子(ストーカ)に可燃ごみを投入し、火格子の下方から空気を吹き込みながら乾燥・燃焼・後燃焼までの工程を行う。最も多く採用されている方式である。

### (2) 流動床炉

流動床方式は、砂を入れた流動床の下部から熱風を送り、上部からごみを投入して高熱の砂とごみとの接触により、むらなく短時間に燃焼させる方式である。過去には准連続式燃焼炉に多く用いられてきたが、最近の建設実績は非常に少ない。

## 2) 灰溶融及びガス化溶融

### (1) 焼却+灰溶融炉

焼却+灰溶融は、焼却後の灰を熱源を用いて溶融し、焼却灰をスラグとして再利用する方式で、熱源としては灯油による燃料溶融方式及び電気による電気溶融方式があるが、いずれの方式も冷えた灰を燃料や電力を使用して溶融するため、建設費、運営費ともに高価である。

### (2) シャフト炉方式

シャフト炉は、溶鉱炉の原理を応用した方式で、上部のホッパからごみとともにコークスなどの副資材を投入する。ごみ及び副資材は、炉の下方に移動し、乾燥・分解し、炉の最下層では、炭化したごみとコークスに酸素を吹き込むことで、1,700℃程度の高温で溶融し、スラグ及びメタルとして再利用する。

### (3) 流動ガス化方式

流動ガス化方式は既存の技術である流動床炉でごみを蒸し焼きにしてガス化し、旋回溶融炉に送り、ガスの燃焼熱を利用して1,400℃程度で灰の溶融を行う。

過去には大手メーカーも流動ガス化方式を研究・建設していたが、最近では流動ガス化方式の建設に参入するメーカーは少なくなっている。

スラグ：焼却灰を1,400℃以上に熱し、ガラス化して内部の重金属類の溶出を、ほぼ完全に防止することで、路盤材やコンクリート二次製品の材料として利用する。

## 3 焼却方式の検討

焼却方式の検討を行うに当たって、最も基本的な条件をまとめた。これらの基本事項をもとに処理方式を選定した。

### 1) 基本的条件

施設計画に当たっての基本的条件を次のように設定する。

- (1) エネルギー回収施設の規模は、80 t /24 h とする。
- (2) 焼却炉形式は、全連続燃焼式(24h 運転) とする。

- (3) 公害防止設計基準は、法令以下とすることはもとより、自主規制値以下とする。
- (4) 効率的な資源化等が可能で、適正な建設費、維持管理費及び点検整備費が可能な方式とする。

## 2) 施設計画の比較要素

処理方式選定の比較要素は次のとおりとする。

### (1) 過去 10 年の建設実績（建設件数）

計画施設と同程度またはそれ以上の規模の建設実績が多いこと。（過去 10 年の建設実績で比較）

### (2) 建設費及び運営費

計画施設と同程度の能力及び仕様では、建設費及び運営費が安価であることが望ましい。特に運営費は全額一般財源であり、20 年以上継続して使用するため、安価であることが望ましい。

### (3) 安定運転と外部エネルギーの必要性

計画施設の運転管理は、特異な専門知識が不要で、委託する場合も管理が可能な業者が多い方が、望ましい。また、焼却に外部エネルギーが必要な方式は、運営費が高くなるため、望ましくない。

### (4) 熱利用（発電量に対する電気使用量）

電気使用量が少なく、発電出力が多い方が CO<sub>2</sub> 発生は少ない。また、燃料等の使用量の少ない方が周辺環境、地球環境にやさしい。

### (5) 処理残渣と資源化

処理残渣量が少ないことが経済的かつ循環型社会形成に望ましい。

### (6) 施設解体費

施設使用終了後に解体をする場合、解体費用が安価なことが望ましい。

## 4 検討を行った方式

比較検討を行ったエネルギー回収施設の処理方式は、次のとおりとした。

### 1) 比較対象とした方式

- (1) ストーカ方式
- (2) 流動床方式
- (3) シャフト炉方式
- (4) 流動ガス化方式

### 2) 比較対象としなかった方式

検討の比較対象としなかった方式を理由と共に次に示す。

#### (1) 焼却＋灰溶融方式

この方式は、焼却（ストーカ又は流動床炉）＋灰溶融炉で構成する。平成 10 年度

頃は、最終処分場の残余容量が逼迫していたことから、熔融によりスラグ化を図り資源化をすることが推奨されてきた。近年では、最終処分場残余容量の確保ができていたり、焼却灰のセメント原料化などの方法が確立され、また、灰熔融炉の建設には多額の費用がかかり、運営費も高額であることなどから、検討対象から除外した。

(2) キルン方式

キルン方式は過去 10 年の建設実績がなく、平成 10 年度から平成 13 年度には実績があったが、初期の一時的な稼働停止や処理性能の未達などのトラブルが続いた経緯がある。そのため、この方式は検討対象から除外した。

5 選定の結果

エネルギー回収施設（焼却施設）の処理方式は、過去10年の他自治体等の採用実績から、ストーカ方式、流動床方式、シャフト炉式ガス化熔融方式及び流動床式ガス化熔融方式を選定し、これらの方式の「実績・安定性」、「エネルギー・環境配慮」、「経済性」について、比較・評価を行った。その結果について、表5-1に示す。

表5-1 処理方式の評価結果

評価項目	ストーカ方式	流動床方式	シャフト炉式 ガス化熔融方式	流動床式 ガス化熔融方式
実績・安定性	◎	△	○	△
エネルギー・環境配慮	◎	◎	△	○
経済性	◎	△	○	○

凡例； ◎；優れている ○；普通 △；やや劣る ×；劣る

◇本計画による処理方式

処理方式は、①比較的近郊に民間の最終処分場があり灰の処分先が確保できる状況にあること、②長い歴史と豊富な実績による処理技術の信頼性（安全性・安定性）から圧倒的な採用実績がある方式であること、③建設費及び運営費など経済性に優れていることから、現在の北茨城市清掃センターと同じ方式である「ストーカ方式」とする。

表 5-2 エネルギー回収施設の処理方式の比較(1)

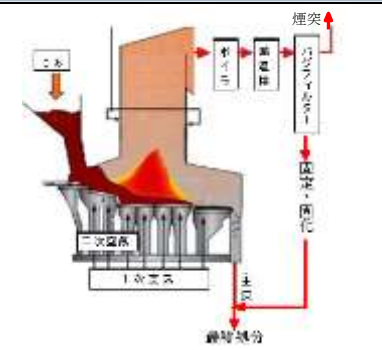
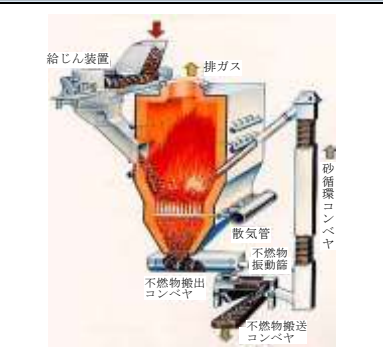
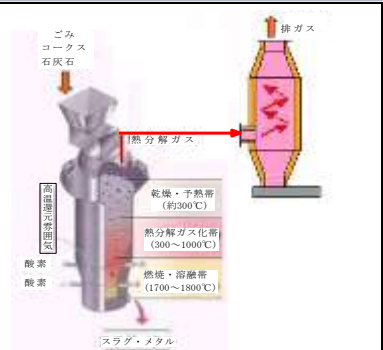
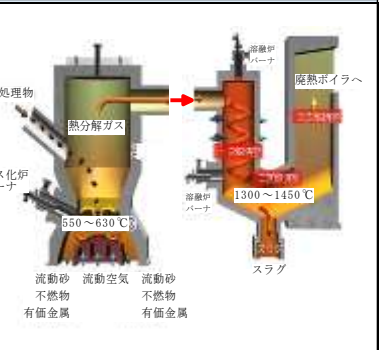
項目	焼却方式		ガス化溶融方式		
	ストーカ式	流動床式	シャフト炉式	流動ガス化式	
処理フロー					
処理の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>代表的な炉内構造は、ごみを乾燥させるための乾燥段、焼却するための燃焼段、未燃焼分を完全に焼却するための後燃焼段の3段構造となり、可動する火格子上でごみを移動させながら、火格子下部から空気を送入し、燃焼させる。(現在は、流動床のような堅型ストーカ炉もある。)</li> <li>焼却灰は、不燃物とともに炉の下部から排出される。</li> <li>高温排ガス中に含まれる飛灰は、排ガス処理設備(集じん機)で捕集する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉内に熱砂が入っており、この砂による流動層に破碎したごみを投入し、乾燥、燃焼、後燃焼をほぼ同時に行う方式で、ごみは流動層内で攪拌され、短時間で燃える。</li> <li>アルミ、鉄、がれき等の不燃物は、流動床炉底部より抜き出され、資源化等を行う。</li> <li>灰は、高温排ガスとともに炉上部から排出され、排ガス処理設備(集じん機)で飛灰として捕集する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高炉技術が基礎で、堅型シャフト炉で、乾燥、ガス化、溶融を同一炉内で行う。</li> <li>ごみは炉上部からコークス等の副資材とともに投入し、炉底に向けて下降する過程で乾燥し、可燃分は熱分解してガス化、不燃分は炉底部で溶融し、スラグとなる。</li> <li>熱分解ガスは、炉上部から後段の燃焼室で完全燃焼し、溶融飛灰は排ガス処理設備(集じん機)で捕集する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流動床炉内で、ごみを450～600℃で熱し、熱分解を継続して行う。</li> <li>アルミ、鉄、がれき等の不燃物はガス化流動床炉底部より抜き出す。</li> <li>ガス化炉の後段に設置される溶融炉で熱分解ガスと炭素分(チャー)を熱源として不燃物の溶融を行い、スラグが排出される。</li> <li>熱分解ガスは、炉上部から後段の燃焼室で完全燃焼し、溶融飛灰は排ガス処理設備(集じん機)で捕集する。</li> </ul>	
実績・安定性	整備実績 平成20年度～ 平成29年度契約	<ul style="list-style-type: none"> <li>124件</li> <li>他の方式に比べて、国内に数多くの実績があり、信頼性は高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2件</li> <li>最近の採用実績は極めて少ない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>14件</li> <li>ガス化炉の中では、最も多い実績を有している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>8件</li> <li>流動床炉から流動床式ガス化溶融炉への移行が強い。</li> </ul>
	最小規模 平成20年度～ 平成29年度契約	6 t/日 (60～90 t/日規模 : 13件)	150 t/日	95 t/日	117 t/日
	運転管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>運転が容易なため、管理可能な業者が多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>運転は比較的容易なため、管理可能な業者が多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>専門知識を有するため、運転管理を行う業者が限られる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>専門知識を有するため、運転管理を行う業者が限られる。</li> </ul>
	処理対象物の量・質の変動への対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>供給量に対して、マス燃焼(時間をかけて燃焼する)のため、量、質の変動には影響を受けにくい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>瞬時燃焼のため、燃焼状態がごみ質等に左右され易かったが、近年では、前処理で燃焼変動を抑制し、安定化を図っている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ごみ質に関わらず副資材(コークスなど)が必要であり、運転管理面で副資材の投入量等に留意を要する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>前処理等により処理機能の安定化を図っている。</li> </ul>
	評価	◎ 最も実績が多く、燃焼特性から安全・安定性の面で信頼性は高い。	△ 近年は前処理にて安定化が図られているが、採用実績は少ない。	○ ガス化溶融の中では、実績も多く運転面での安定性は高い。	△ ごみを熱分解、溶融する際、炉内温度が変動しやすいが、近年は前処理等により安定化が図られている。

表 5-3 エネルギー回収施設の処理方式の比較(2)

項目		焼却方式		ガス化溶融方式	
		ストーカ式	流動床式	シャフト炉式	流動ガス化式
エネルギー・環境配慮	電気	・ガス化溶融方式に比べ、溶融しない分、電気使用量は少ない。		・ガス化溶融方式に比べ、溶融しない分、電気使用量は少ない。	
	使用量(kWh/t)*1	約 150 ~ 200	約 150 ~ 200	約 280 ~ 410	約 280 ~ 410
	助燃燃料	・炉の立上げ、立下げ以外は、燃料(灯油等)は、ほぼ使用しない。		・炉の立上げ、立下げ以外は、燃料(灯油等)は、ほぼ使用しない。	
	使用量(MJ/t)*1	約 50 ~ 100	約 50 ~ 100	約 1,500 ~ 2,500	約 400 ~ 1,000
評価	◎ ガス化溶融方式に比べ、エネルギー使用量が少ない。	◎ ガス化溶融方式に比べ、エネルギー使用量が少ない。	△ 焼却方式に比べ、電気・燃料使用量とも多い。	○ シャフト炉式に比べ燃料使用量は少ないが、焼却方式に比べ、電気・燃料使用量とも多い。	
経済性	建設費割合 *2 平成20年度～平成29年度契約 80～120 t/日の平均 ※ストーカを100とし比較	100	113	113	106
	運営費(H20～H29のデータ)*3 ※ごみ1t当たり・年額	約 18,200 円/t	約 35,000 円/t	約 24,100 円/t	約 19,700 円/t
	灰等の処理・資源化に係る費用 *4	焼却灰等 0.10 t /ごみ1t 飛灰 0.03～0.04 t /ごみ1t	焼却灰等 0.01 t /ごみ1t 飛灰 0.08 t /ごみ1t	飛灰 0.03 t /ごみ1t 溶融スラグ 0.10 t /ごみ1t 溶融メタル 0.01 t /ごみ1t	飛灰 0.03～0.04 t /ごみ1t 溶融スラグ 0.07～0.10 t /ごみ1t メタル 0.01 t /ごみ1t
		1. 埋立処分費 (北茨城市現状:運搬含む) 9,500 円/灰t ※灰を埋立以外で処理する場合 2. 灰資源化処理 (セメント化) 40,000～50,000 円/灰t 3. 灰資源化処理 (外部溶融化) 45,000～60,000 円/灰t	1. 埋立処分費 (北茨城市現状:運搬含む) 9,500 円/灰t 2. 飛灰資源化処理 45,000～50,000 円/灰t ・スラグは50～100円/tで買い取られ、土木資材等に利用される。 ・メタルは50～100円/tで買い取られ、重機のカウンターウエイト等に利用される。 ・金属類は、資源化される		
	定期整備補修費(年額) (千円/施設規模)*1	約 400 ~ 900	約 400 ~ 900	約 900 ~ 1,500	約 1,300 ~ 2,300
	運転管理委託費(年額) (千円/施設規模)*1	約 300 ~ 800	約 300 ~ 800	約 1,000 ~ 2,100	約 1,000 ~ 1,500
	施設解体費	処理方式により施設面積が変わり、溶融方式が大きな面積を必要とするため、解体費も焼却方式に比べ、ガス化溶融方式が高額となる。 (参考)*1 建築面積 : ストーカなど焼却方式 18～35㎡/(t/日) ・ ガス化溶融方式 25～55㎡/(t/日)			
	評価	◎ 焼却灰等の処分費が必要となるが、建設・補修・運営等の費用は最も少ない。	△ ガス化溶融方式に比べ、焼却灰等の処分費が必要となるが、補修・管理委託費等は少ない。	○ 溶融スラグ化による埋立量の減容、再利用効果はあるが、建設費や補修・管理委託費等が高い。	○ 溶融スラグ化による埋立量の減容、再利用効果はあるが、建設費や補修・管理委託費等が高い。



表 5-4 エネルギー回収施設の処理方式の比較

項目	焼却方式		ガス化熔融方式	
	ストーカ式	流動床式	シャフト炉式	流動ガス化式
総合評価	燃焼の特性や最終処分形態の違いにより、方式ごとに長所・短所が見られるが、比較的近郊に最終処分場があり灰の処分先を確保できること、豊富な採用実績があること、建設費及び運営費など経済性に優れていること、他方式と比べ幅広いごみ質に対応し安定性があることなどを踏まえ、当計画施設の処理方式は、焼却方式のストーカ式が総合的に有利と評価する。			

\*1 出典1：北海道大学廃棄物処分工学研究室 一般廃棄物全連続式焼却施設の物質収支・エネルギー収支・コスト分析(2012年3月)

\*2 建設費は、平成20年度から平成29年度までの建設実績を調査し、1t当たりの建設単価を求めてストーカ炉を100とした場合の建設費を算定した。

\*3 運営費は、平成20年度から平成29年度までの運営費及び処理量を調査(行政アンケート及び一般廃棄物実態調査：環境省)し、1t当たりの運営費を求め、100円未満を四捨五入した。

なお、流動床炉、シャフト炉及び流動ガス化炉は、110t/日から150t/日の各々2件ずつであるため、ストーカ炉は、80t/日～170t/日(平均125t/日)の平均金額とした。

\*4 灰の処分費：セメント化は、千葉県のエコセメント(現在休止中)の実績金額で、外部熔融化は、民間熔融施設の受入費用を調査した結果で、熔融の飛灰資源化処理は、山元還元(飛灰中の有価メタルを抽出利用する)

の聞き取り調査結果である。また、スラグ及びメタルの引取価格は、実績調査結果による。

灰出し設備を含むストーカ炉の概要を右の図に示す。

