

第5章 発電を主体としたエネルギー利用計画

第1節 高効率発電設備の検討

1. 高効率ごみ発電施設の交付要件

高効率ごみ発電施設整備マニュアル（平成22年3月改訂）（環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課）（以下「マニュアル」という。）では、焼却処理に伴い生じるエネルギーの有効利用を行うための高効率なごみ発電施設整備事業において、ごみ発電を高効率で行うために必要な事業に限り、循環型社会形成推進交付金の交付額を対象事業費の1/2とするとしているため、焼却施設については高効率ごみ発電施設とする。

(1) 発電効率

マニュアルに記載されている高効率ごみ発電施設の交付要件を以下に示す。

『発電効率は、タービン発電機定格出力を設定した時の「ごみ発熱量」と「外部燃料投入量」を用いて以下に示す式で計算する。

$$\text{発電効率(\%)} = \frac{\text{発電出力} \times 100 (\%)}{\text{投入エネルギー(ごみ+外部燃料)}}$$

ただし、ごみからエネルギーを可能な限り取り出すという観点から、外部燃料は極力少ないことが望ましく、安定燃焼や安定溶融を維持するために必要なものに限定し、投入エネルギー全体の30%を上限とする。なお、ここでいう外部燃料とは化石燃料を指し、廃プラスチック、RDF、木くず等は含まないものとする。』

施設規模が小さい施設では、タービン発電機の効率低下などにより発電効率が低下するため、マニュアルでは施設規模ごとに発電効率(%)を設定している。施設規模ごとの交付要件を表5-1-1に示す。

表 5-1-1 施設規模ごとの交付要件

施設規模 (t/日)	発電効率 (%)
100 以下	12
100 超、150 以下	14
150 超、200 以下	15.5
200 超、300 以下	17
300 超、450 以下	18.5
450 超、600 以下	20
600 超、800 以下	21
800 超、1,000 以下	22
1,000 超、1,400 以下	23
1,400 超、1,800 以下	24
1,800 超	25

(2) 高効率発電に必要な設備構成

交付率が 1/2 の対象となる設備は、高効率発電に必要な設備に限られる。
高効率発電を行うためには、高効率な燃焼と熱回収率の増強が必要になる。
それらの主要な要件は以下に示すとおりである。

- ・ 低空気比による安定した燃焼
- ・ ボイラ蒸気条件の高温高压化
- ・ ボイラ効率の向上
- ・ 蒸気の効率的利用
- ・ タービン内部効率の向上

2. 高効率発電設備の検討

(1) 発電効率向上に係る技術的要素、施策

発電効率向上には、熱回収能力の強化、蒸気の効率的利用、蒸気タービンシステム
の効率向上が必要である。

① 熱回収能力の強化

熱回収能力の強化には、以下に示す手法が有効である。

1) 低温エコノマイザ

エコノマイザは、ボイラ本体の下流に設置し、ボイラ出口の燃焼排ガスの余熱を利用してボイラ給水を加熱させる機能を持つ。低温エコノマイザとは、エコノマイザの伝熱面積を大きくして、より低温まで排ガスを冷却することで、ボイラ効率の向上を図るものであり、全体の熱効率の向上のためには採用が望ましい機器である。

低温エコノマイザの採用にあたっては、発電効率 18.5%が達成できない場合に、メーカー選定時に提案を受けて検討するものとする。

2) 低空気比燃焼

低空気比燃焼とは、焼却炉等に供給する空気を低減することにより、燃焼排ガス量を減らし、ボイラ設備出口での排ガス持出し熱量を低減することで、ボイラ効率の向上を図る方法である。

本計画においても低空気比燃焼は、ボイラでの回収熱量の増加が見込めるため、採用可能な技術とする。

② 蒸気の効率的利用

蒸気の効率的利用に関しては、以下に示す手法が有効である。

1) 低温触媒脱硝

低温触媒脱硝とは、触媒入口の排ガス温度を低温化し、排ガスを再加熱するための蒸気量を削減、または、使用しないようにすることで、その分を発電用に利用して発電効率を向上するものである。

本計画における排ガス処理設備は、乾式+湿式併用酸性ガス除去設備の採用を基本としているため、排ガスの再加熱温度は重要な要素となる。この意味においても 185℃程度の低温触媒脱硝の採用が望ましい。

低温触媒脱硝の採用にあたっては、発電効率 18.5%が達成できない場合に、メーカー選定時に提案を受けて検討するものとする。

2) 高効率乾式排ガス処理

本計画においては、乾式+乾湿併用酸性ガス除去設備を基本としていることから、高効率乾式排ガス処理は採用しない。

3) 白煙防止装置

白煙防止空気加熱用に利用されていた蒸気を発電に利用することで発電効率の向上を図ることができる。

本計画においては、白煙防止装置を設置せず、発電量の増大を図るものとする。

4) 排水クローズドシステム

排水クローズドシステムは、プラント排水や場内排水処理後再利用し、場外に排出しないシステムであるが、本計画の排水は下水道放流とするため、採用しない。

③ 蒸気タービンシステムの効率向上

蒸気タービンシステムの効率向上には、以下に示す手法が有効である。

1) 高温高压ボイラ

高温高压ボイラとは、ボイラの主蒸気条件を高压化及び高温化し、タービン内部効率を大きくすることで、発電効率を向上させるものである。

本計画において発電効率を向上することができる4 MPaG×400°Cの高温高压ボイラは必須条件であるため、採用可能である。

2) 抽気復水タービン

抽気復水タービンとは、蒸気タービンの中間段から低圧または中圧蒸気を取り出し、プロセス蒸気（脱気器加熱、脱気器給水加熱）や余熱利用蒸気として利用するものである。タービン抽気蒸気を利用することで、タービンで使用した蒸気の一部を給水加熱等に再使用でき、発電効率を向上させることが可能になる。

本計画において発電効率を向上させることができる抽気復水タービンが必須条件であるため、採用可能である。

3) 復水器

復水器には水冷式復水器と空冷式復水器の2種類存在する。

水冷式復水器を用いることで、蒸気タービンでの熱落差が大きくなることに伴い発電効率が向上する。水冷式復水器は空冷式復水器に比べ熱貫流率が高く、タービン排気圧力をより低減することが可能であるため、発電効率の向上が期待できる。

しかし、水冷式復水器を使用できる条件として、海水を利用できること及び下水処理施設等に隣接して処理水を利用できることが挙げられるため、立地条件等により、水冷式復水器を本計画に採用することは困難であり、空冷式復水器を採用するものとする。

第2節 エネルギー利用計画

1. 基本フローの検討

(1) 採用する基本設備

高効率ごみ発電施設として、本計画にて採用する基本設備について表 5-2-1 に示す。

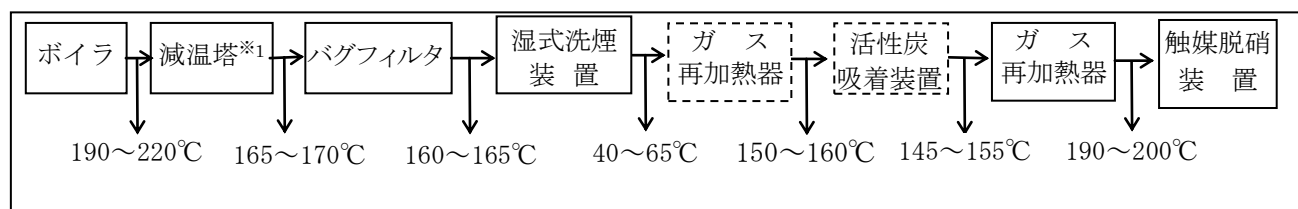
表 5-2-1 本計画にて採用する基本条件、設備

項目	本計画にて採用する基本条件、設備
ごみ量、ごみ質	360 t/日×12,100 kJ/kg (2,900 kcal/kg)
ボイラ蒸気条件	4 MPaG×400℃ (ボイラ過熱器出口)
タービン	型式：抽気復水タービン タービン入口蒸気： 3.8 MPaG×395℃ タービン出口蒸気： 25 kPaA 抽気蒸気： 0.7 MPaG
その他の条件	<ul style="list-style-type: none"> ・低温エコノマイザ： メーカー提案とする ※1 ・低空気比燃焼： 採用する ・低温触媒脱硝： メーカー提案とする ※2 ・高効率乾式排ガス処理： 採用しない ・白煙防止装置： 採用しない ・排水クローズドシステムの導入なし： 採用しない ・水冷式復水器： 採用しない

※1 及び※2 については、発電効率 18.5%が達成できない場合、メーカー選定時に提案を受けて検討することとする。

(2) 排ガス処理フロー及び排ガス温度

排ガス処理フロー及び排ガス温度を図 5-2-1 に示す。



※1 減温塔は低温エコノマイザ採用した場合には設置しない。

図 5-2-1 排ガス処理フロー及び排ガス温度

2. 蒸気タービン能力及び発電効率の算定

(1) 蒸気タービン能力

表 5-2-2 のケースにおける蒸気タービンの能力を算定する。

表 5-2-2 タービン能力算定の各ケース

ケース	焼却量、発熱量	付帯条件	
		エコノマイザ	触媒脱硝装置
ケース①	3 炉運転、高質ごみ 360 t/日 12,100 kJ/kg (2,900 kcal/kg)	通常エコノマイザ	低温脱硝 185℃
ケース②		通常エコノマイザ	入口温度 190℃
ケース③		通常エコノマイザ	入口温度 195℃
ケース④		低温エコノマイザ	入口温度 190℃
ケース⑤		低温エコノマイザ	入口温度 195℃
ケース⑥		低温エコノマイザ	入口温度 185℃
ケース⑦	3 炉運転、基準ごみ 360 t/日 8,500 kJ/kg (2,000 kcal/kg)	通常エコノマイザ	低温脱硝 185℃

① 各ケース算出条件

1) ボイラ出口部排ガス量 (1 炉当たり)

- ・高質ごみ時 : 33,800 m³ N/h
- ・基準ごみ : 24,200 m³ N/h

2) 低温エコ入口及び出口ガス温度、ボイラ給水温度

- ・エコ入口 200℃
- ・エコ出口 175℃
- ・ボイラ給水温度 140℃

3) 再加熱用蒸気

$$4.0 \text{ MPaG} \dots\dots\dots h' = 668.8 \text{ kcal/kg}$$

$$h'' = 260.1 \text{ kcal/kg}$$

(2) 発電及び発電効率のまとめ

設定した各ケースの発電量及び発電効率を表 5-2-3 に示す。

表 5-2-3 各ケースの発電量及び発電効率

ケース	焼却量、 ごみ発熱量	付帯条件		発電量	発電効率
		エコノマイザ	脱硝装置		
ケース①	3 炉運転、 高質ごみ	通常エコノマイザ	185℃	9,560 kW	18.14%
ケース②		通常エコノマイザ	190℃	9,470 kW	17.97%
ケース③		通常エコノマイザ	195℃	9,370 kW	17.78%
ケース④		低温エコノマイザ	190℃	9,830 kW	18.66%
ケース⑤		低温エコノマイザ	195℃	9,720 kW	18.44%
ケース⑥		低温エコノマイザ	185℃	9,910 kW	18.80%
ケース⑦	3 炉運転、 基準ごみ	通常エコノマイザ	185℃	5,200 kW	14.31%

本計画の焼却施設は施設規模が約 360t/日であるため、高効率ごみ発電施設の交付要件は、発電効率 18.5%となる。この発電効率以上となるケースは、表 5-2-3 から、ケース④と⑥が該当する。いずれも低温エコノマイザを採用し、触媒脱硝装置の温度が 185℃から 190℃の場合である。

上記の試算結果を基にメーカーヒアリングを行った結果を以下に示す。

- ・低温エコノマイザ及び低温触媒脱硝を採用しなくても発電効率 18.5%を達成できる結果であった。
- ・蒸気タービンの発電能力は、高質ごみ 3 炉運転時の最高出力が 9,900kW、基準ごみ 3 炉運転時の最高出力が 7,500kW であった。
- ・蒸気タービンの発電能力については、最も売電量が増加する効率の良い設計点における発電能力を、メーカー選定時に提案を受けて検討する。

3. 余熱利用システムの設定

本計画は、高効率ごみ発電施設として、発生した蒸気を有効に使用するシステムを採用するものとし、本計画にて採用する基本条件、設備を表 5-2-4 に示す。

表 5-2-4 本計画にて採用する基本条件、設備

項目	本計画にて採用する基本条件、設備
ごみ量、ごみ質	約 360 t / 日 × 高質ごみ 12, 100 kJ/kg (約 2, 900kcal/kg)
低空気比燃焼	燃焼空気比 : 1. 4
ボイラ蒸気条件	400°C × 4 MPaG (ボイラ過熱器出口)
タービン	型式 : 抽気復水タービン
その他の条件	・低温エコノマイザ : メーカー提案とする。 ・低温触媒脱硝 : メーカー提案とする。

(1) 蒸気、復水基本フローの設定

ボイラで発生した高温高圧の蒸気は、高圧蒸気だめに一旦貯められ、所内のプロセス蒸気として空気予熱器及びガス再加熱器で使用し、残りの蒸気はすべてタービン発電機へ通気するものとする。

なお、施設内で比較的低圧で使用する蒸気はタービンの抽気蒸気を使用することにより、全体の熱効率の向上を図るものとする。

タービンの途中段から抜いた抽気蒸気は低圧蒸気だめに貯留した後、脱気器の加熱用及び所内利用として給湯等に使用するものとする。

(2) 蒸気、復水基本処理フローの設定

本計画における蒸気、復水基本フローを図 5-2-2 に示す。

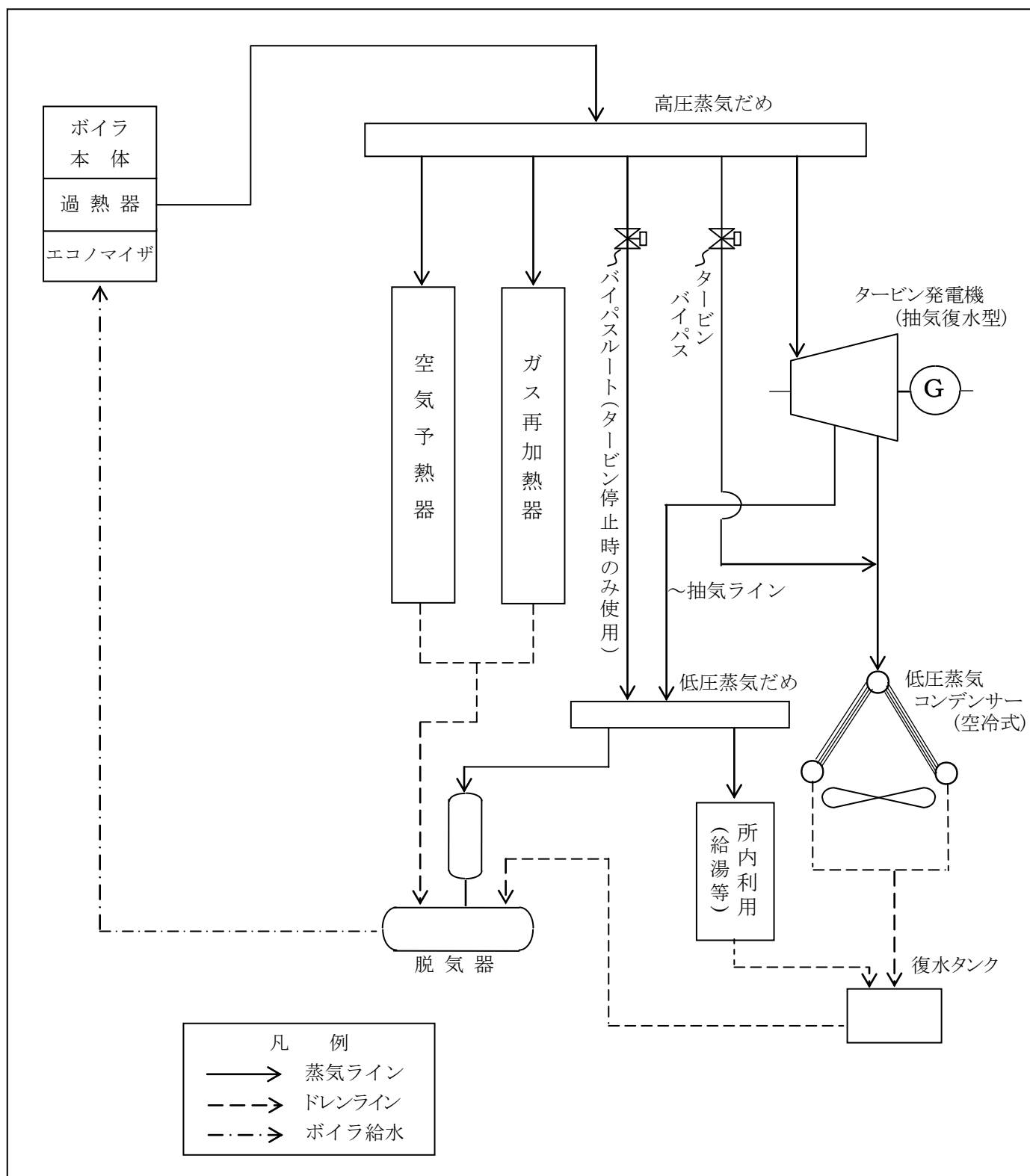


図 5-2-2 蒸気、復水基本フロー

4. 売電増大計画

(1) 売電量増加のための施設内対策

売電量を増やすためには発電量の向上とともに、所内での消費電力低減を図る必要がある。

対策としては、以下に示す低減策が有効である。

① 主要電動機のインバータ化

インバータ化の導入により、設備を効率よく運転し消費電力を抑えることが可能となる。

以下に示す比較的大型のモータ、連続運転形のモータにインバータ化を導入するものとする。

- ・ 押込送風機
- ・ 二次送風機
- ・ 誘引送風機
- ・ ボイラ給水ポンプ
- ・ 空気圧縮機
- ・ 蒸気復水器等

② 高効率モータの採用

上記主要モータを含め、コンベヤ類のモータ等に高効率モータを採用するものとする。

5. 蒸気の使用

本項では施設内の熱利用に限定して検討するものとする。

(1) 焼却施設としてのプロセス蒸気の使用

ボイラで発生した蒸気は、基本的にはタービン発電機に通し発電量の増大を図るものとしているが、焼却設備として必要な空気予熱器及びガス再加熱用の蒸気は高温蒸気を必要としているため発電よりも優先的に使用されることになる。

(2) 抽気蒸気の使用

焼却施設内で使用する比較的低圧の蒸気は、タービン抽気蒸気を使用する。比較的低圧の蒸気とは、脱気器加熱用及び焼却施設内での給湯等の建築設備内で使用する蒸気である。

また、給湯等として 0.5 t/h (0.3 MPaG 相当) の蒸気を見込んでいるが、熱量として表示すると以下のとおりである。

建設設備利用可能熱量

$$(653.66 - 143.7) \text{ kcal/kg} \times 500 \text{ kg/h} = 254,980 \text{ kcal/h} \\ \doteq 255 \text{ Mcal/h}$$

これは、60℃の温水量に換算すると、約 5 t/h の熱量となる。

(3) 場外熱供給可能量

本計画は発電中心の熱利用を図る計画であり、かつ、施設外への熱供給はないが、将来施設外への熱供給を行うとした場合の熱供給可能量について検討を行う。

① 低温熱源

本計画では発電を中心としているため、蒸気タービンでの効率を上げるため、排気圧力を極限にまで低く抑え、低圧蒸気コンデンサとの熱交換により復水し、循環使用している。つまり空気との熱交換により、大気へ熱を逃がしていることになるが、タービン排気は 25kPaG と低い圧力であり、蒸気の温度は 64.5℃である。この低温の蒸気を復水コンデンサを使用して温水として回収すると、約 45℃程度の温水が得られることになる。温水の量としては 40 t/h 程度が可能である。

以上のように低温熱源では、用途が制限されることになる。

② 高温熱源

タービン排気利用は低温の温水であるが、高温熱源を得るためにはタービン抽気蒸気を使用する方法がある。タービン抽気は 0.6MPaG の圧力 (169.6℃) を持った蒸気であり、最高 145℃の温水を利用でき、使用する先は広範囲である。

抽気蒸気の使用はタービン発電への能力に影響を与えることになるが、抽気蒸気の使用により影響度は軽減される。

145℃の温水を 10 t/h 使用すると、発電への影響は 800～900kW/h 程度減るものと試算される。