

## 第1章 総則

### 1-1 目的

廃棄物分野における更なる温暖化対策推進を目的とした制度の充実および強化の一環として、ごみの燃焼に伴い生じるエネルギーのより一層の有効利用を行う高効率ごみ発電施設に対して、低炭素社会実現の切り札として交付率 1/2 の積極的な拡充支援を行うことが平成 21 年度より「循環型社会形成推進交付金」のメニューに加わった。この制度充実および強化を踏まえ、高効率発電施設の計画に資する情報を市町村等に対して提供することにより、ごみ発電施設の高効率化を推進することを目的とする。

#### 【解説】

- 地球温暖化対策を総合的かつ計画的に推進するため内閣に設置された地球温暖化対策推進本部が、平成 14 年 3 月 19 日に決定した「地球温暖化対策推進大綱」では、廃棄物分野に関連する施策として、廃棄物の発生抑制、再利用、再生利用の推進による廃棄物焼却量の抑制を図りつつ、燃やさざるを得ない廃棄物からのエネルギーを有効活用する廃棄物発電やバイオマスエネルギー活用等により、化石燃料の使用量の抑制を推進している。
- そのため、環境省では循環型社会形成推進交付金によって発電効率又は熱回収率 10%以上の高効率ごみエネルギー回収施設の建設に対する助成を実施してきたところである。
- また、平成 19 年度からは、建設後 15 年以内のエネルギー回収推進施設に対してエネルギー回収能力を増強させるために必要な設備を追加して設置する事業を、新たに循環型社会形成推進交付金の交付対象とし、より一層の廃棄物からのエネルギー回収とその有効活用を推進してきたところである。
- さらに、平成 20 年 3 月 25 日に閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」においては、廃棄物処理施設の整備に当たっては、温室効果ガスの排出抑制に配慮することが極めて重要との認識に立ち、平成 24 年度においてごみ焼却施設の総発電能力を約 2,500MW まで向上させることを目標としている。
- 一方我が国において、ごみ焼却施設 1,300 施設のうちごみ発電を行っている施設は 300 程度に過ぎず、平成 19 年度における総発電能力は約 1,630MW にとどまっており、発電の高効率化による総発電能力の向上が急務となっている。
- よって、平成 21 年度からは、廃棄物分野での更なる温暖化対策を推進するため、焼却処理に伴い生じるエネルギーの有効利用を行う一層高効率なごみ発電施設について、低炭素社会実現の切り札として交付率 1/2 の積極的な拡充支援を実施することとした。
- 本マニュアルは、上記の拡充支援を踏まえ、高効率発電施設の計画に資する情報を市町村等に対して提供することにより、ごみ焼却施設における発電の高効率化を一層推進することを目的として策定したものである。

## 1-2 用語の定義

本マニュアルにおいて使用する用語を、以下のとおり説明する。

### 1. ボイラ

燃料を燃焼させることにより発生した排ガスから熱回収を行い、所定の圧力および温度を持つ蒸気を発生する圧力容器のこと。大きく分けて、ボイラ本体とエコノマイザで構成される。

### 2. 蒸気タービン

羽根車を回転させることにより蒸気の持つ熱エネルギーを機械的エネルギーに変換する装置のこと。発電機と組み合わせることで電力を回収することが可能である。本マニュアル中では、「タービン」と記すこともある。

### 3. 復水器

空気や水などの冷却媒体と熱交換させることで蒸気を水に凝縮させる装置のこと。ごみ発電施設においては、タービンの排気蒸気を凝縮させる低圧復水器と余剰蒸気を凝縮させる高圧復水器とに分類される。なお、本マニュアルにおいては、低圧復水器のことを指す。

### 4. 乾式排ガス処理

消石灰や重曹などの粉末のアルカリ薬剤を排ガス中に吹き込むことにより、塩化水素や硫黄酸化物などの酸性ガスを中和除去する排ガス処理方式のこと。反応生成物は、ばいじんとともにバグフィルタなどの集じん器で除去される。

### 5. 湿式排ガス処理

塔内を循環する水と排ガスを接触させることにより、塩化水素や硫黄酸化物などの酸性ガスを吸収除去する排ガス処理方式のこと。酸性ガスの吸収に伴い循環水の pH が低下するため、苛性ソーダを注入し pH を適正範囲に維持する。また、循環水の一部を排水処理にブローすることにより、循環水の塩濃度の上昇を防止する。ブロー排水は洗煙排水と呼ばれる。

### 6. 触媒脱硝

触媒を用いて排ガス中の窒素酸化物を窒素と水に還元する排ガス処理方式のこと。還元薬剤としてアンモニアが用いられる。

## 7. 白煙防止

煙突から排出された排ガスが大気中で拡散する過程において生じる、排ガス中に含まれる水蒸気の凝縮、可視化を防止すること。具体的には、排ガスを加熱し温度を上げる方法や温風を混合して排ガスの相対湿度を下げる方法がある。

## 8. 発電効率

投入エネルギーに対する得られた電力エネルギーの割合のこと。ごみ発電施設では、発電量をごみと外部燃料の熱量の和で除した値である。

## 9. ボイラ効率

ボイラに供給された熱量に対するボイラで有効に利用された熱量の割合のこと (JISB0126)。ボイラに加えられたごみや助燃燃料の燃焼熱、燃焼用空気の熱等が蒸気の熱として変換される割合で、残りは出口排ガスやボイラからの放熱等の損失となる。

## 10. タービン内部効率

理論断熱熱落差に対する内部仕事に相当する熱落差の割合のこと (JISB0127)。蒸気タービンで蒸気が理想的に断熱膨張した場合と実際のタービン内部での仕事に相当する熱落差の割合のことで、タービン内部効率が高いほど、同じ蒸気量でも発電量が多くなる。通常は定格蒸気量で最も効率が良く、また大型のタービンほど効率が良くなる。

## 11. 排水クローズドシステム

施設内で発生した排水を処理して排ガス減温水等として再利用することで、排水の下水道や公共用水域への放流が無いようにすること。プラント排水のみをクローズドの対象とする場合と、プラント排水に加えて生活排水まで対象とする場合がある。

## 第2章 高効率ごみ発電施設の交付要件

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交付額を対象事業費の1/2とする。その趣旨は以下のとおりである。

- これまでもごみ焼却施設においては、発電設備等の設置によりエネルギー回収がなされてきたところであるが、近年地球温暖化問題に対する対応が強く求められるようになってきており、平成20年3月に閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」においても、地球温暖化防止にも配慮した廃棄物処理施設の整備を推進することとされている。
- ごみ焼却施設で回収されるエネルギーについては、熱として供給される事例もあるが、我が国では施設近隣で熱需要がある場合に限られるなど立地条件に左右される。このため、より汎用性が高く、輸送効率の高いエネルギーである電気に変換することで、供給先の選定や輸送設備の整備などの負担を最小限に抑えることができる。
- このような背景を踏まえ、廃棄物処理施設整備計画においても、ごみ焼却施設の総発電能力について、現状の約1,630MW（平成19年度見込み）から平成24年度には約2,500MWにまで大幅に増強する目標が新たに設定されている。
- すなわち、従来はごみの適正な処理（排ガス処理等の環境対策も含む）に重きが置かれ、発電については副次的なものとして取り組まれてきたのが一般的であったが、今後は地球温暖化防止にも配慮するため、ごみの持つエネルギーを可能な限り取り出すことが可能となる施設の整備に取り組むよう、ごみの適正な処理を確保しつつ発電についても主たる目的として取り組む場合には、一定の要件の下、財政的支援を拡大することとした。
- こうしたことからこのたび、従来の交付率1/3のメニューに加え、高効率発電が達成可能な場合について交付率1/2とするメニューを追加し、市町村の選択肢を増やしたものである。
- なお、ごみ処理施設は一般にその立地は容易でないことも多い。そうした条件では、通常の場合には十分とされる環境対策よりも一層厳しい対応（白煙防止、湿式排ガス処理、排水クロードシステム等）が求められる場合もある。このたび設定している高効率発電の要件は、通常環境対策を前提とすれば技術的に達成可能なレベルではあるが、より高度な環境対策が求められる場合には直ちにこのレベルに達することが

困難な場合もある。（より高度な環境対策と高効率発電は、一部トレード・オフの関係にある。）

- いずれを選択するかについては地域の実情を踏まえた各市町村の判断ではあるが、リスク・コミュニケーションを通じて、地球温暖化防止と高効率発電への理解を得ることも有効であろう。創意工夫を重ねた上で総合的な判断が必要である。

上記を踏まえ、本件の交付要件は以下のとおりとする。

## 2-1 発電効率

**発電効率 23%相当以上（規模により異なる）の施設に限る。**

### 【解 説】

- 発電効率の定義  
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」を用いて以下の式で計算する。

$$\begin{aligned} \text{発電効率 (\%)} &= \frac{\text{発電出力} \times 100 (\%)}{\text{投入エネルギー (ごみ+外部燃料)}} \\ &= \frac{\text{発電出力 (kW)} \times 3600 (\text{kJ/kWh}) \times 100 (\%)}{\text{ごみ発熱量 (kJ/kg)} \times \text{施設規模 (t/日)} \div 24 (\text{h}) \times 1000 (\text{kg/t}) + \text{外部燃料発熱量 (kJ/kg)} \times \text{外部燃料投入量 (kg/h)}} \end{aligned}$$

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。

- 施設規模ごとの交付要件  
発電効率 23%は、施設規模 1,000t/日程度での数値である。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、交付要件は施設規模ごとに設定し、表 2-1 の発電効率を満足しているものとする。

表 2-1 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、1000 以下	22
1000 超、1400 以下	23
1400 超、1800 以下	24
1800 超	25

表 2-1 に示す発電効率を算出した主な前提条件は下記のとおりである。

- ① ごみの低位発熱量 : 8,800kJ/kg
- ② 燃焼空気比 : 1.4~1.5
- ③ 蒸気条件 : 400℃、4MPaG
- ④ 復水器形式 : 空冷式
- ⑤ 排ガス処理 : 乾式排ガス処理
- ⑥ 触媒用排ガス再加熱 : なし (185℃程度の低温触媒採用)
- ⑦ 白煙防止条件 : なし

その他の効率向上に資する新技術と組み合わせることにより上記発電効率以上の効率を達成することができれば、これらの設備諸元を必ずしも全て満たしている必要はない。

なお、現状技術では 70t/日程度未満の小規模施設においては、高効率発電は言うまでもなく発電設備そのものを設置することが困難な場合が多いため、小規模施設においては、無理な計画とならないよう十分な検討を要する。

- タービン発電機の定格出力は、ごみの質及び量の年間を通じた平均値や変動を十分に考慮した上で設定し、実際に想定される発電量に対して過大なものとならないようにすること。
- 白煙の発生を防止している施設では、回収されたエネルギーが排ガスや白煙防止用空気の加熱等に消費されるため、発電効率が低下する。一方、白煙は、排ガス中の水分が大

気中での拡散過程で凝縮、可視化したものである。よって、白煙の発生によって航路障害等の支障が発生するような場合を除き、原則として白煙防止条件を設定せず、より高効率なエネルギー回収を推進するよう努めること。

- 表 2-1 は、乾式排ガス処理を想定した数値である。塩化水素や硫黄酸化物の排出濃度をより厳しく設定せざるを得ないときには、湿式排ガス処理が用いられる場合がある。湿式排ガス処理を採用した場合は、乾式排ガス処理に比べて排ガスの再加熱に要する熱量が多くなるため、3%程度の発電効率低下が想定される。この場合は、蒸気条件（400℃、4MPaG）の更なる高温・高圧化、復水器の水冷化、低温エコノマイザや排ガス循環等の代替技術の積極的採用により発電効率の向上を図ることができる。また、地域冷暖房等地球温暖化防止上有効な熱供給等の創意工夫を重ねるとともに、一層の省エネ、特に消費電力の削減にも努め、これらの効果を評価することにより、発電効率の低下分を実質的に回復することが考えられる。
- 排水クロージドシステムを採用した場合、施設内排水を減温塔で噴霧蒸発処理するためボイラ出口排ガス温度が高めの設定となり、ボイラ効率が低下する。施設の計画にあたっては、より効率的なエネルギー回収のため、できる限り施設内排水は適正処理し、再利用した後、下水道等へ放流することを検討すること。特に生活排水や洗車排水等についてはこうした配慮が求められる。
- 今後、蒸気条件の更なる高温・高圧化や復水器の水冷化等の技術を積極的に採用することで、より高効率な発電を目指すことが期待される。

## 2-2 施設保全計画

**施設の長寿命化のための施設保全計画を策定すること。**

### 【解 説】

- 施設保全計画は、施設の引き渡しを受ける前までに策定する。
- 策定された施設保全計画に基づき、予防保全的な維持管理を実施すること。予防保全的な維持管理により、施設の長寿命化だけでなく、施設の機能低下速度が抑制され、長期間にわたり高効率な発電が維持されることが期待される。

### 2-3 ごみ処理の広域化

原則として、ごみ処理の広域化・集約化に伴い、既存施設の削減が見込まれること（焼却能力 300t/日以上施設についても更なる広域化を目指すこととするが、これ以上の広域化が困難な場合についてはこの限りではない。）

#### 【解説】

- 発電の高効率化の観点からは、ごみ処理の広域化・集約化により施設を大型化することが望ましい。
- 施設計画にあたっては、各都道府県にて策定されている「ごみ処理広域化計画」に基づき、ごみ処理の広域化・集約化について検討すること。

### 2-4 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る。

#### 【解説】

- 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などが必要になる。それらの主要な要件は以下のとおりである。
  - ・ 低空気比による安定した燃焼
  - ・ ボイラ蒸気条件の高温高圧化
  - ・ 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
- 上記の要件に基づき、交付率は原則として表 2-2 のとおりとする。設備区分は、「廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き（標準発注仕様書及びその解説） エネルギー回収推進施設編 1 熱回収施設」における、第 2 章 機械設備工事仕様の章・節の区分に従った。なお、燃焼設備は、ガス化熔融方式の場合、燃焼熔融設備と読みかえるものとする。

### 2-5 時限措置

交付率を1/2とするメニューは平成 25 年度までの時限措置とする。

#### 【解説】

- 高効率なごみ発電施設整備事業については、交付額を対象事業費の1/2とするメニューを平成 21 年度よりスタートさせるが、本メニューは平成 25 年度までの時限措置とする。



表 2-2 各設備区分の交付率

工事区分	設備区分	代表的な機械等の名称	交付率		高効率発電のための方策例
			1/2	1/3	
機械設備工事	第2節 受入れ供給設備	ごみピット、ごみクレーン、前処理破砕機など	○		ごみの攪拌・均質化による安定燃焼
	第3節 燃焼設備*	ごみ投入ホッパ、給じん装置、燃焼装置、焼却炉本体、など	○		炉体冷却および熱回収能力の向上
	第4節 燃焼ガス冷却設備	ボイラ本体、ボイラ給水ポンプ、脱気器、脱気器給水ポンプ、蒸気復水器、および付属する機器など	○		高温高圧ボイラの採用 低温エコノマイザの採用 タービン排気復水器能力向上
	第5節 排ガス処理設備	集じん設備、有害ガス除去設備、NOx 除去設備、ダイオキシン類除去設備など	○		低温型触媒の採用
	第6節 余熱利用設備	発電設備および付属する機器	○		抽気復水タービンの採用
		熱及び温水供給設備		○	
	第7節 通風設備	押込送風機、二次送風機、空気予熱器、風道など高効率な燃焼に係る機器	○		高効率な燃焼空気供給方法の採用 排ガス循環の採用
		誘引送風機、煙道、煙突		○	
	第8節 灰出し設備	灰ピット、飛灰処理設備など		○	
	第9節 焼却残さ溶融設備 スラグ・メタル・溶融飛灰処理設備	溶融設備(灰溶融炉本体ほか)、スラグ・メタル・溶融飛灰処理設備など		○	
	第10節 給水設備	水槽、ポンプ類など		○	
	第11節 排水処理設備	水槽、ポンプ類など		○	
	第12節 電気設備	受変電設備、電力監視設備など高効率発電に係る機器	○		特別高圧受電の採用 逆潮流装置の採用
		その他		○	
第13節 計装設備	自動燃焼制御装置など高効率な発電に係る機器	○		自動燃焼制御による低空気比での安定燃焼	
	その他		○		
第14節 雑設備			○		
土木建築工事仕様				○	

※：ガス化溶融方式の場合、燃焼溶融設備と読みかえるものとする。

### 第3章 発電効率向上に係る技術的要素・施策

発電効率向上には、ごみの燃焼によって生じる排ガスの保有エネルギーから

1) より多くの熱を蒸気として回収する

2) より効率良く回収した蒸気を利用し蒸気タービンへ供給する蒸気を増やす

3) 回収した蒸気をより効率良く電気に変換する

ことが必要である。

発電効率の向上は、温室効果ガスの排出抑制にも効果的であり、地球環境保全の観点からも意義深い。

本章では、発電効率向上に係る技術的要素・施策として、上記の1)～3)の観点から、以下の技術の概要と施設計画にあたっての留意点について述べる。

1) より多くの熱を蒸気として回収するための技術（熱回収能力の強化）

① 低温エコノマイザ

② 低空気比燃焼

2) より多くの蒸気を蒸気タービンへ供給するための技術・施策（蒸気の効率的利用）

① 低温触媒脱硝

② 高効率乾式排ガス処理

③ 白煙防止条件の設定なし、あるいは、白煙防止装置の運用停止

④ 排水クローズドシステムの導入なし

3) より効率良く電気に変換するための技術（蒸気タービンシステムの効率向上）

① 高温高圧ボイラ

② 抽気復水タービン

③ 水冷式復水器

新ごみ処理基本計画策定通知にあるとおり、第2次循環型社会形成推進基本計画において、環境保全を前提とした循環型社会の形成を標榜しており、国民の安全・安心が確保されることを軸に地球温暖化対策をより一層推進する観点に立ち、上記技術・施策を効率よく組み合わせて施設計画を行うように留意する必要がある。

表 3-1 発電効率向上に係る技術的要素・施策と向上効果

発電効率向上に係る技術的要素・施策		発電効率向上効果	発電効率比較条件
3-1 熱回収能力 の強化	① 低温エコマイザ	1%	ボイラ出口排ガス温度： 250℃→190℃
	② 低空気比燃焼	0.5%	300t/日 燃焼空気比 1.8→1.4
3-2 蒸気の 効率的利用	① 低温触媒脱硝	1～1.5%	触媒入口排ガス温度： 210℃→185℃（再加熱なし） ※白煙防止の運用停止との組み合わせ
	② 高効率乾式排ガス処理	3%	湿式排ガス処理→高効率乾式処理
	③ 白煙防止条件の設定なし、あるいは、白煙防止装置の運用停止	0.4%	白煙防止条件： 5℃、60%→条件なし
	④ 排水クローズドシステムの導入なし	1%	ボイラ出口排ガス温度： 250℃→190℃
3-3 蒸気タービンシステム の効率向上	① 高温高圧ボイラ	1.5%～2.5%	蒸気条件： 3MPaG×300℃→4MPaG×400℃
	② 抽気復水タービン	0.5%	脱気器加熱用蒸気熱源： 主蒸気→タービン抽気
	③ 水冷式復水器	2.5%	タービン排気圧力： -76kPaG→-94kPaG

※ 上記施策を組み合わせた場合の発電効率の増加割合は、各施策の数値を単純に合計したものとはならないことに留意する必要がある。計画の際には、施策の組み合わせ方による発電効率向上効果を試算し、最適な組み合わせを検討する必要がある。

### 3-1 熱回収能力の強化

熱回収能力の強化には、次の手法が有効である。

1. 低温エコノマイザ
2. 低空気比燃焼

#### 【解説】

##### ■ 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もつ。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方法である。

##### ■ 低空気比燃焼：

焼却炉等に供給する燃焼空気を低減することにより燃焼排ガスを減らし、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。

ボイラ設備（ボイラ本体およびエコノマイザ）の概略フローは図 3-1 のとおりであり、ボイラ設備で回収される熱量（ $Q$ ）は、式（3-1）で求められる。

$$Q = \text{ボイラ設備入口の熱量} - \text{ボイラ設備出口の熱量} - \text{放熱損失熱量} \dots (3-1)$$

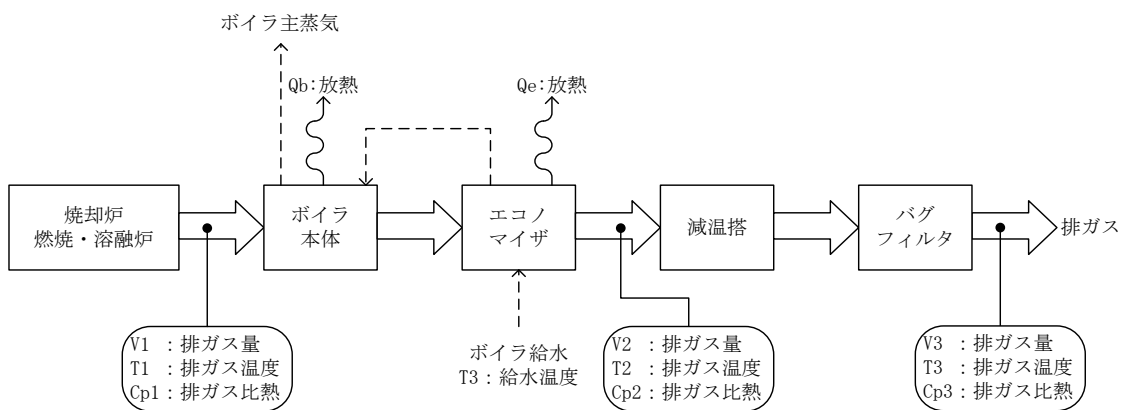


図 3-1 ボイラ設備まわりの概略フロー

式（3-1）を模式的に表現すると、図 3-2 のとおりである。

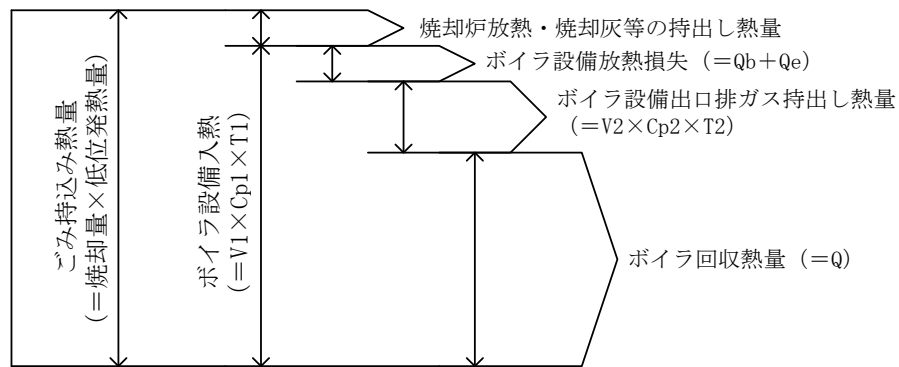


図 3-2 ボイラ設備での熱収支の模式図

燃焼排ガスの保有エネルギーは、排ガス量と比熱と温度の積となる。燃焼排ガスからより多く熱回収するためには、ボイラ設備などからの放熱損失を低減することに加え、ボイラ設備から出ていく排ガスの持出し熱量 ( $=V2 \times Cp2 \times T2$ ) を低減させる必要がある。排ガスの持出し熱量を低減するためには、熱回収設備出口の排ガス温度 ( $T2$ ) の低温化や排ガス量 ( $V2$ ) を低減することが効果的である。

## 1. 低温エコノマイザ

### 1) 技術の概要

図 3-2 で示すとおり、排ガス量 (V2) が同じでもエコノマイザ出口温度 (T2) を下げることによってボイラ設備出口における排ガス持出し熱量を低減できるため、ボイラ設備での回収熱量をアップさせることが可能である。

従来の施設では、エコノマイザ出口の排ガス温度 (T2) の設計値として 220~250℃程度を採用する例が多かったが、最近では積極的な熱回収を図る観点から 200℃以下まで冷却・熱回収される事例もみられる。エコノマイザ出口排ガス温度 (T2) の低温化に伴う発電効率の向上効果の試算例を表 3-2 および図 3-3 に示す。なお、表 3-2 に記載以外の条件は、6 ページに記載の表 2-1 の前提条件による。エコノマイザ出口排ガス温度 (T2) を 250℃から 190℃まで低温化することにより、約 5%ボイラ効率がアップし、発電効率として約 1%の向上が期待される。

表 3-2 エコノマイザ出口排ガス温度による発電効率の試算

試算条件	施設規模 (t/日)	400			
	ごみ質 (kJ/kg)	8,800			
	ボイラ蒸気条件	4MPaG×400℃			
試算結果	エコノマイザ出口排ガス温度 (℃)	190	220	250	300
	蒸発量 (t/h・炉)	25.4	24.7	24.1	23.0
	発電量 (kW)	8,500	8,300	8,100	7,700
	発電効率 (%)	20.9	20.4	19.9	18.9

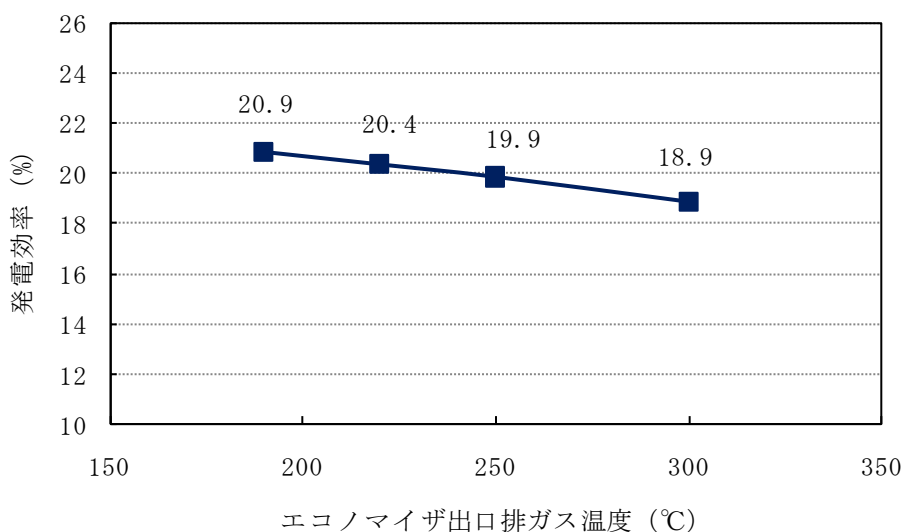


図 3-3 エコノマイザ出口排ガス温度と発電効率

また、更なる高効率化を図るためエコノマイザによる熱回収能力を強化することで 160~170℃程度まで熱回収し、減温塔を設けない事例も出てきている。

## 2) 施設計画にあつての留意点

低温域の排ガス中においては、低温腐食に留意する必要がある。低温腐食の原因は、主に燃焼排ガス中に含まれる塩酸による腐食と硫酸化物による腐食に分類されるが、エコマイザの温度域においては、硫酸化物 ( $\text{SO}_3$ ) による影響が大きい。排ガス中の硫酸化物は、そのほとんどが  $\text{SO}_2$  であるが、数%の  $\text{SO}_3$  が含まれていると言われている。例えば排ガス中の  $\text{SO}_3$  濃度が 1ppm とすると排ガス中の水分率が 20% の場合において、ガス露点温度は 120°C 程度となる (図 3-4)。そのため、ボイラ給水温度 ( $T_3$ ) は、上述の低温腐食を考慮して 130°C~140°C 程度に設定されることが多い。

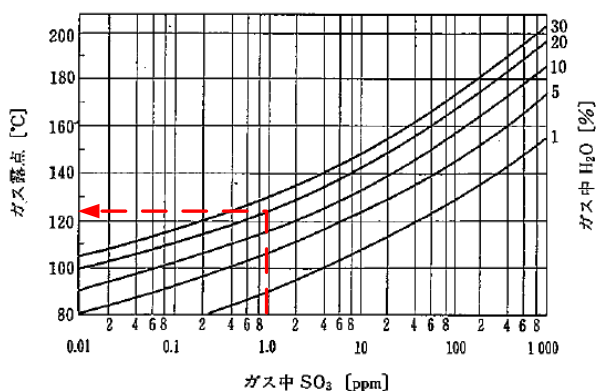


図 3-4 排ガス中の  $\text{SO}_3$  濃度とガス露点の関係

(出典：廃棄物ハンドブック 廃棄物学会編)

一方、ボイラ効率向上のためエコマイザ出口排ガス温度 ( $T_2$ ) を低温化すると、ボイラ給水温度 ( $T_3$ ) との対数平均温度差が小さくなるため、エコマイザ伝熱面積が大きくなり、特に低温化するほどその傾向は顕著になる。エコマイザの大型化を抑制する観点では、ボイラ給水温度 ( $T_3$ ) を低温化することが有効であるが、過度に低温化すると伝熱管壁温度が低下し酸露点に近づくため、伝熱管の低温腐食リスクが大きくなる。

低温エコマイザを採用する場合は、排ガス温度 ( $T_2$ ) と給水温度 ( $T_3$ ) の適正化を図る必要がある、ごみ性状や排ガス分析に基づく排ガス酸露点温度の検討結果を踏まえ、エコマイザ伝熱管の材質選定にも留意する必要がある。

## 2. 低空気比燃焼

### 1) 技術の概要

図 3-2 で示すとおり、エコノマイザ出口排ガス温度 ( $T_2$ ) が同じでも、排ガス量 ( $V_2$ ) を低減することでボイラ設備出口における排ガスの持出し熱量が低減でき、ボイラでの回収熱量の増加が期待できる (図 3-5)。

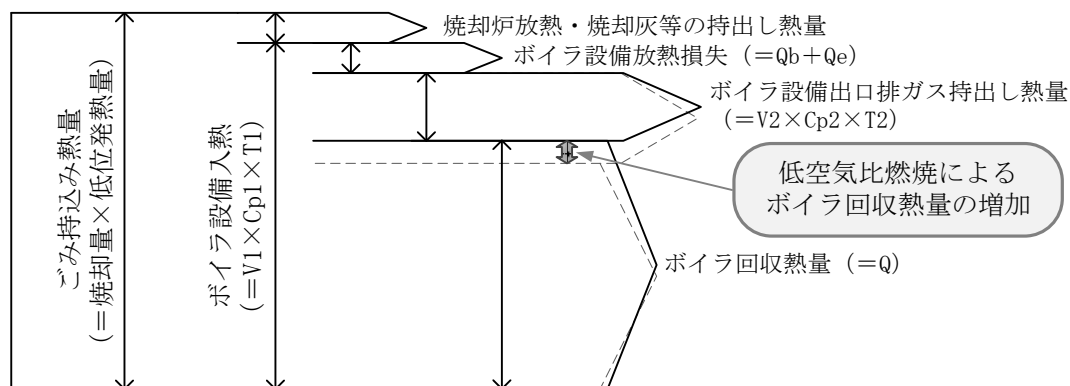


図 3-5 低空気比燃焼における熱収支の模式図

例えば、燃焼空気を従来の平均的な数値である 1.8 から 1.4 まで低減した場合は、約 7% のボイラ主蒸気流量のアップが可能と試算される。詳細は、第 18 回廃棄物学会研究発表会小集会発表資料 「地球温暖化防止における都市ごみサーマルリサイクルの役割の現状と可能性」(2007 年 11 月 廃棄物学会学術研究委員会 廃棄物焼却研究部会) を参照されたい。

また、燃焼排ガス量が低減されることで触媒反応塔入口における排ガス再加熱用蒸気量が低減されることに伴い、タービン主蒸気流量が増加することで発電効率の向上が期待できるとともに、排ガス量低減に伴う後段の機器 (誘引送風機等) の消費電力の低減による送電端効率の向上も可能である。

さらに、排ガス量が低減されることにより燃焼温度の高温化が図れるためダイオキシン類の生成を抑制することにもつながる。



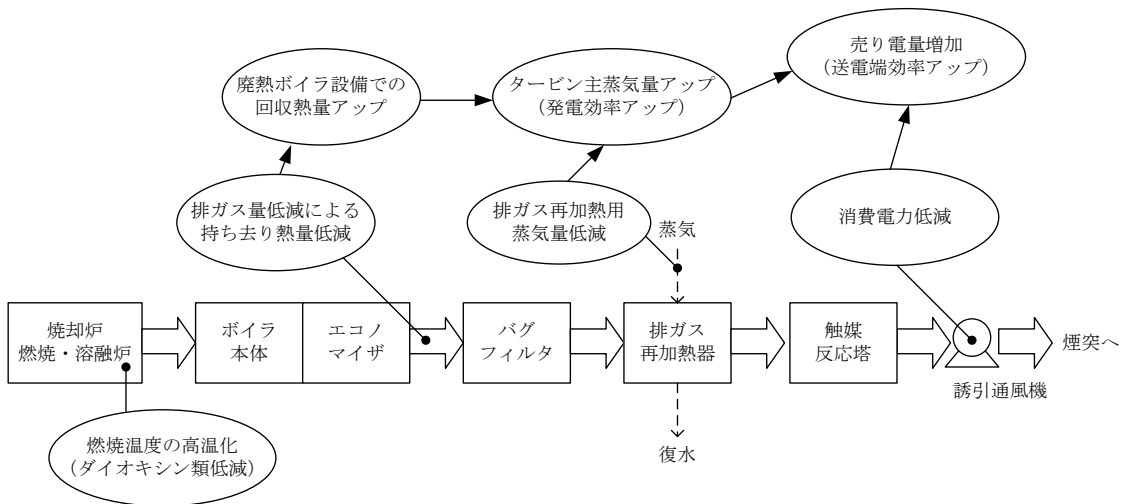


図 3-6 低空気比燃焼による効果

## 2) 施設計画にあつての留意点

### (1) 高温燃焼による熱負荷の増加

燃焼温度の高温化により火格子、耐火材、ボイラ伝熱管等への熱負荷が高くなることに留意する必要がある。高温燃焼に対応するため、炉体をボイラ水冷壁構造とし冷却能力を増強するなどの対策が取られるとともに、水冷火格子や耐火材が開発、実用化されている。

### (2) 燃焼の安定性

燃焼空気量が減ることにより排ガスの混合促進が阻害され、燃焼が乱れやすくなる。この対策として、排ガス循環システムや高温空気燃焼システムなどを採用する事例もある。以下では、排ガス循環システムについて述べる。

排ガス循環システムとは、バグフィルタ出口等から分岐した燃焼排ガスを燃焼室に吹き込むシステム（図 3-7）である。低空気比化によって減少した二次空気による排ガスの混合・攪拌効果を補完し、燃焼の安定性を確保できるため、低空気比燃焼と併せて採用されることが多い。

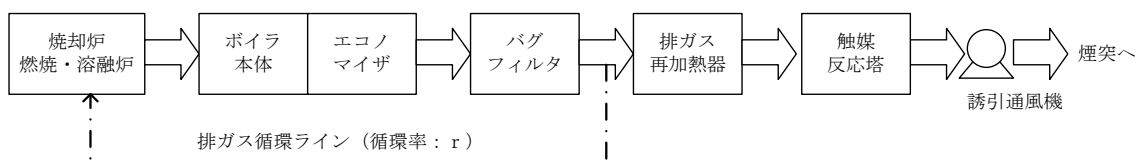


図 3-7 排ガス循環システム

低空気比燃焼に排ガス循環を採用した場合の熱収支を模式的に表現すると、排ガスの循環率を  $r$  とすれば、図 3-8 のとおりである。 $(r = \text{循環ガス量} / \text{燃焼排ガス量})$  図 3-8 で示されているとおり、排ガス循環システムを採用することにより、排ガス処理設備以降

の排ガス持ち出し熱量が削減されるためボイラでの回収熱量の増加にも寄与する。

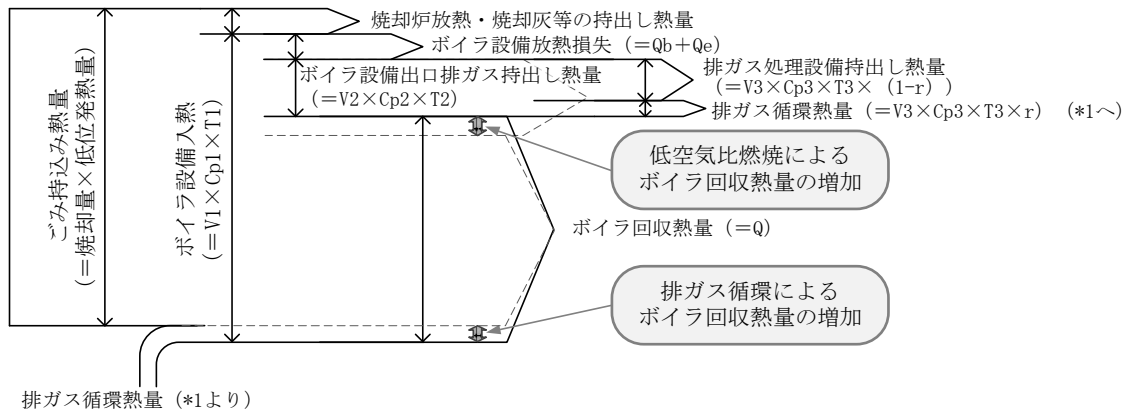


図 3-8 低空気比燃焼および排ガス循環を採用した場合の熱収支の模式図

以上のとおり、排ガス循環システムを採用した場合の効果をまとめると図 3-9 のとおりである。

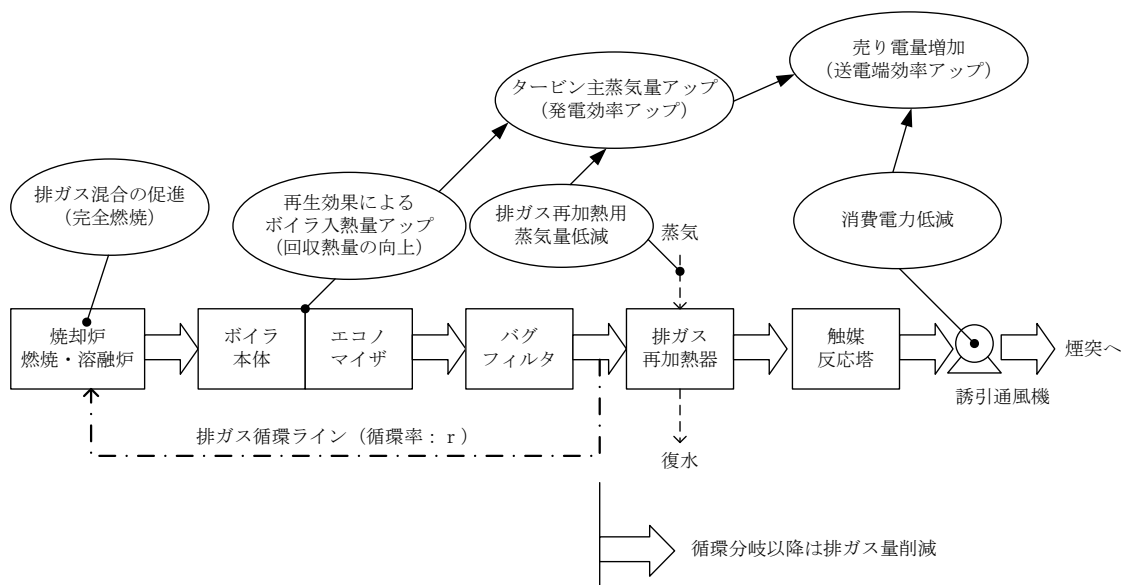


図 3-9 排ガス循環システムによる効果

しかし、酸性ガスを含む排ガスを循環させるため、機器やダクトに腐食が発生する可能性があり、採用にあたっては十分な腐食対策を考慮する必要がある。

### 3-2 蒸気の効率的利用

蒸気の効率的利用に関しては、次のような技術・施策がある。

1. 低温触媒脱硝
2. 高効率乾式排ガス処理
3. 白煙防止条件の設定なし、あるいは、白煙防止装置の運用停止
4. 排水クローズドシステムの導入なし

#### 【解説】

##### ■ 低温触媒脱硝：

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方法である。

##### ■ 高効率乾式排ガス処理：

酸性ガス（塩化水素、硫黄酸化物）の公害防止基準値が、例えば 20ppm 以下など厳しい場合、従来は苛性ソーダによる湿式排ガス処理が用いられることが一般的であった。これに対し、高効率反応消石灰やナトリウム系薬剤等の高効率脱塩薬剤を採用することで乾式排ガス処理にて対応し、排ガス再加熱用蒸気使用量を削減、発電用に供することで発電効率の向上を図る技術である。

##### ■ 白煙防止条件の設定なし、あるいは、白煙防止装置の運用停止：

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方法である。

白煙防止条件を設定しない場合は、白煙防止用空気加熱蒸気が不要になる。また、白煙防止装置の運用を停止した場合でも有害物質の発生リスクや他の機器への影響も小さく、白煙防止空気加熱用蒸気を発電に利用できるため、簡易に発電効率を向上できる手法である。

##### ■ 排水クローズドシステムの導入なし：

排水クローズドシステムを採用した場合、施設内排水を減温塔で噴霧蒸発処理するためボイラ出口排ガス温度が高めの設定となり、ボイラ効率、つまり発電効率が低下する。施設内排水を下水道等に放流できるようにすることで、施設内排水を減温塔で噴霧処理する必要がなくなる。これにより、ボイラ出口排ガス温度をより低温化することが可能となり、熱回収量の増加、ひいては発電効率の向上が可能となる。

ごみ焼却施設は、ばいじん、塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物、ダイオキシン類などに対して公害防止基準値が設けられており、それぞれに適した処理装置を組み合わせることで確実に基準値を遵守するシステムとなっている。それぞれの処理装置では、その能力

を確実に発揮できる温度条件があり、一連のプロセスには排ガスの冷却や再加熱装置が設けられている。エネルギーの有効利用の観点から、排ガス処理システムのトータルバランスの最適化を図り排ガス処理のための投入エネルギーを削減することで、発電効率の向上が期待できる。

特に、白煙防止装置は、煙突からの白煙を防止するため、加温した外気を排ガスと混合させる装置である。白煙防止用空気の加熱にはボイラで発生した蒸気が使われている。白煙は、排ガス中に含まれる水分が凝縮して可視化されるものであるため、有害なものではない。実際に寒冷地では外気温が低く、白煙防止が困難なため白煙防止対策を行っていない施設もある。白煙防止条件を設定しない場合は、白煙防止用空気加熱蒸気が不要になる。また、白煙防止装置の運用を停止した場合でも有害物質の発生リスクや他の機器への影響も小さく、白煙防止空気加熱用蒸気を発電に利用できるため、簡易に発電効率を向上できる手法である。

ただし、発電効率の向上が重要であることは論をまたないが、周辺住民の理解、環境負荷の低減、施設の立地条件を十分考慮の上、安全・安定運転が確保されることを軸に施設計画を立てる必要がある。

## 1. 低温触媒脱硝

### 1) 技術の概要

触媒脱硝においては、排ガス温度を高くすることにより高い脱硝率が得られるため触媒量を削減できる。また、脱硝触媒は、排ガス中の  $\text{SO}_3$  とアンモニアが反応することにより生成する酸性硫酸アンモニウム ( $\text{NH}_4\text{HSO}_3$ ) や硫酸アンモニウム ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) による被毒で性能低下を起こすことがあるが、運転温度を高くすることでリスクを軽減できる。一方、排ガスの再加熱用の熱源として高圧蒸気を用いるため、再加熱温度には上限がある。これらの諸条件により、触媒反応塔の入口の排ガス温度は 200～220℃程度で設計されることが多い。

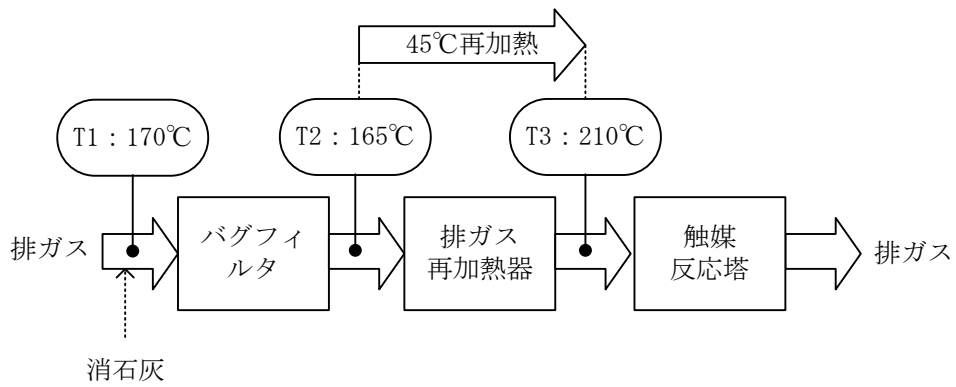
例えば、標準的な乾式排ガス処理フローにおける加熱上昇分は 45℃である(図 3-10 (a)) が、低温触媒(入口排ガス温度  $T_3=185^\circ\text{C}$ ) とすることで加熱上昇分は 20℃となり(図 3-10 (b))、再加熱用蒸気量を半減することができる。さらに、バグフィルタ入口排ガス温度 ( $T_1$ ) を 190℃まで上げて運転することができれば、低温触媒と組み合わせることで排ガス再加熱器を削除できる(図 3-10 (c)) 可能性がある。

白煙防止の運用停止との組み合わせで 1～1.5%程度の発電効率向上が期待される。

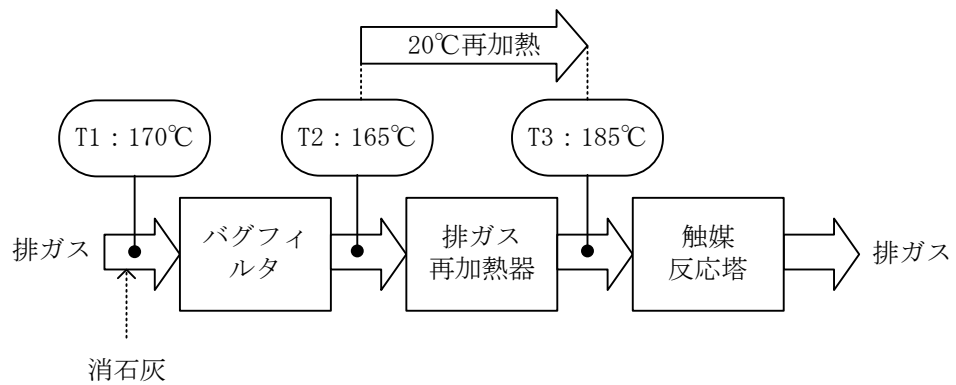
### 2) 施設計画にあたっての留意点

低温化にともない脱硝率は下がるため、触媒量については留意が必要である。また、排ガス中に含まれる  $\text{SO}_3$  による被毒にも留意が必要となる。

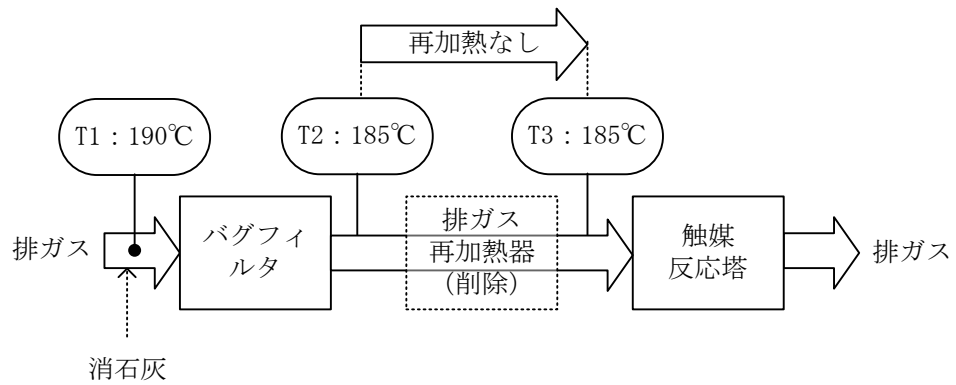
また、酸性ガス除去において、消石灰を用いる場合、温度が高くなるにつれて、除去率は低下する。図 3-10 (c)のように、バグフィルタ入口温度を高温化する場合は、排ガス基準値等の条件によっては、脱塩率が温度の影響を受けにくいナトリウム系薬剤を採用するなどの検討が必要となる。



(a) 標準的な乾式排ガス処理フロー



(b) 低温触媒を採用した場合



(c) バグフィルタ入口排ガス温度のアップと低温触媒を組み合わせた場合

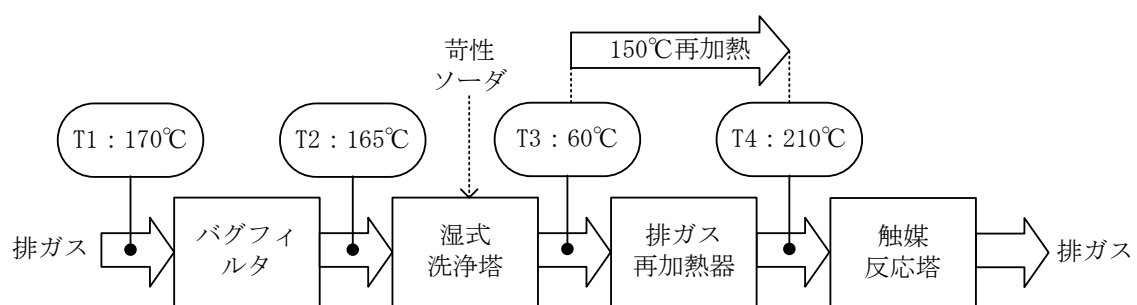
図 3-10 乾式排ガス処理フロー (例)

## 2. 高効率乾式排ガス処理

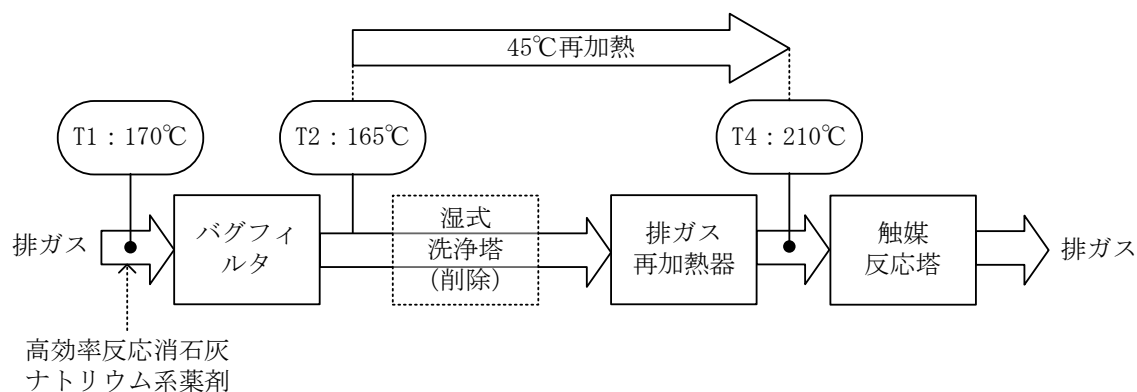
### 1) 技術の概要

酸性ガスの公害基準値が厳しい場合、排ガス処理は、湿式排ガス処理を用いることが一般的であった（図 3-11 (a)）。湿式排ガス処理では、湿式洗浄塔内で多量の水を循環し、排ガス中の酸性ガスを吸収・除去しており、湿式洗浄塔出口では、水分率が飽和（相対湿度 100%）まで増湿し、排ガス温度(T3)は 50~60℃となる。そのため、150℃程度の排ガスの再加熱（=T4-T3）が必要となる。

これに対し、乾式排ガス処理を採用できれば 45℃程度の再加熱で済む（図 3-11 (b)）ため、再加熱用の蒸気量が削減できることにより、発電効率の向上が期待できる。



(a) 標準的な湿式+触媒反応塔方式排ガス処理フロー



(b) 高効率乾式排ガス処理を採用した場合

図 3-11 湿式排ガス処理および高効率乾式排ガス処理フロー（例）

乾式排ガス処理の採用に伴う発電効率の向上効果の試算例を表 3-2 および図 3-12 に示す。表 3-3 および図 3-12 のとおり、乾式排ガス処理にて対応できれば湿式排ガス処理の場合に比べて発電効率は 3%程度アップすると期待される。なお、試算条件は、6 ページに記載の表 2-1 の前提条件による。

表 3-3 乾式排ガス処理と湿式排ガス処理との発電効率の差異の試算

施設規模 (t/日)		400	1,000	1,800
乾式排ガス処理	発電量(kW)	8,500	23,300	43,300
	発電効率 (%) (=①)	20.9	22.9	23.6
湿式排ガス処理	発電量(kW)	7,300	19,800	37,300
	発電効率 (%) (=②)	17.9	19.4	20.3
差異 (=①-②)		3.0	3.5	3.3

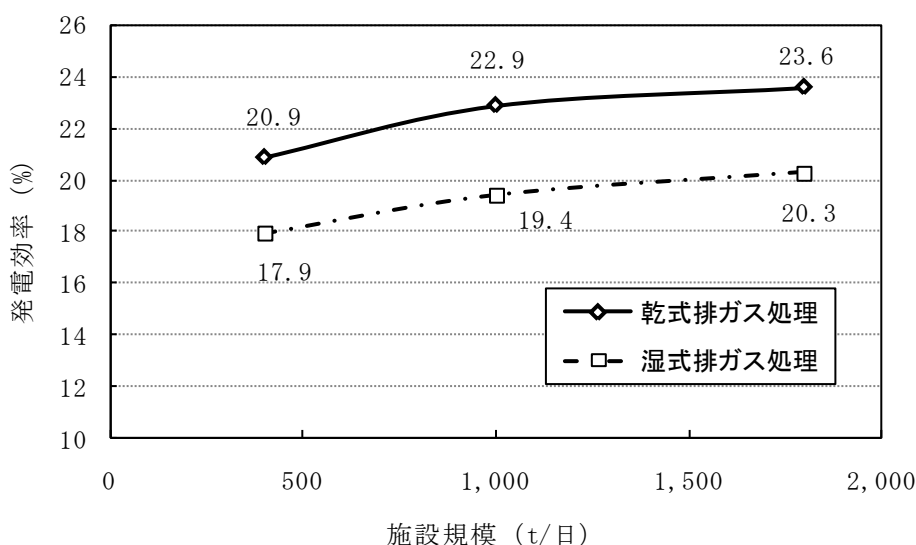


図 3-12 施設規模による乾式排ガス処理と湿式排ガス処理の発電効率

## 2) 施設計画にあたっての留意点

湿式排ガス処理を採用した場合は、洗煙排水を下水道等へ放流することが必要になるのに対し、乾式排ガス処理では洗煙排水は発生しないという特長を有する。

一方、湿式排ガス処理は、除去プロセスが気液接触であり、酸性ガスと除去用薬剤とはほぼ同当量で反応する。しかし、乾式排ガス処理では固気接触であり湿式排ガス処理に比べて除去効率が低い。そのため、除去用薬品を過剰に供給する必要があり、酸性ガス発生濃度が高くなると過剰薬品量が多くなる。

酸性ガスの発生濃度、施設の立地条件を十分考慮の上、安全・安定運転が確保されることを軸に施設計画を立てる必要がある。



### 3. 白煙防止条件の設定なし、あるいは、白煙防止装置の運用停止

#### 1) 技術の概要

白煙防止装置は、その熱源や熱交換箇所により、主に下記3方式に分類される。

##### ① 蒸気式加熱空気吹込方式

ボイラ設備等の蒸気を用いた熱交換器により空気を加熱し、煙道に吹き込む方式。オフライン方式とも呼ばれる。

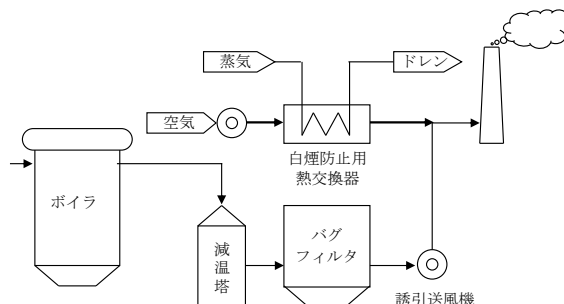


図 3-13 蒸気式加熱空気吹込方式

##### ② ガス式加熱空気吹込方式

燃焼排ガス（主にボイラ出口）の熱交換器にて空気を加熱し、煙道に吹き込む方式。インライン方式とも呼ばれる。

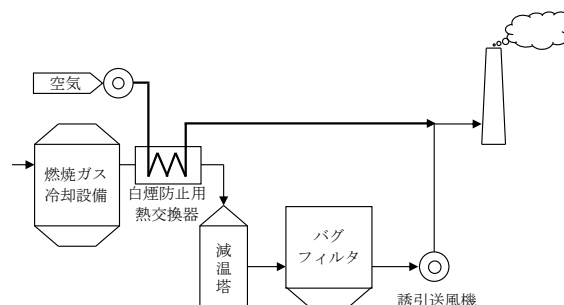


図 3-14 ガス式加熱空気吹込方式

##### ③ 燃料式加熱空気吹込方式

別途灯油等の燃料を用いた熱風バーナにより空気を加熱し、煙道に吹き込む方式。

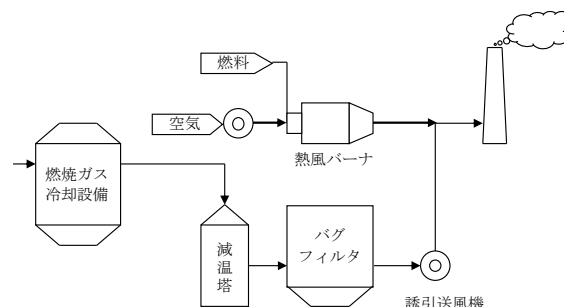


図 3-15 燃料式加熱空気吹込方式

白煙防止を行う場合、排ガスの再加熱や混合空気の加熱に蒸気が使われることが多い。その蒸気使用量は白煙防止条件により異なり、白煙防止条件の外気温度が低いほど、また、湿度が高いほど多くなり、それに伴い発電量が低下する。

蒸気式加熱空気吹込方式（図 3-13）における、白煙防止装置の運用を停止した場合の発電量向上効果の試算例を表 3-4 および図 3-16 に示す。白煙防止条件は、「白煙防止条件なし」、「外気温 5℃×50～70%」、「外気温 0℃×50～70%」の7ケース（表 3-4）とし、その他の試算条件は、参考資料1における、表 参 1-1 試算条件（標準仕様）をベースとした。

白煙防止装置の仕様が外気温 5℃、湿度 60%で設計されている施設において、白煙防止を停止することで発生する余剰蒸気をタービン発電に回すことにより、発電電力量は約 3%（発電効率で 0.4%）増加する（4,600kW ⇒ 4,740kW）結果となった（図 3-16）。ただし、タービン呑込み余力に依存する。

この場合、年間 3 ヶ月間白煙防止装置を運転している施設が運転を停止したとすると、売電単価を 8 円/kWh として、

売電収入 = (4,740kW - 4,600kW) × 24h × 30 日 × 3 ヶ月 × 8 円/kWh = 2.4 百万円/年の増加（ファン等消費電力削減分は含まず）となる。

表 3-4 白煙防止条件と発電量

白煙防止条件		白煙防止基準無し	外気温5℃			外気温0℃		
			50%	60%	70%	50%	60%	70%
発電量	kW	4,740	4,680	4,600	4,520	4,250	4,160	4,040
発電効率	—	15.5%	15.3%	15.1%	14.8%	13.9%	13.6%	13.2%

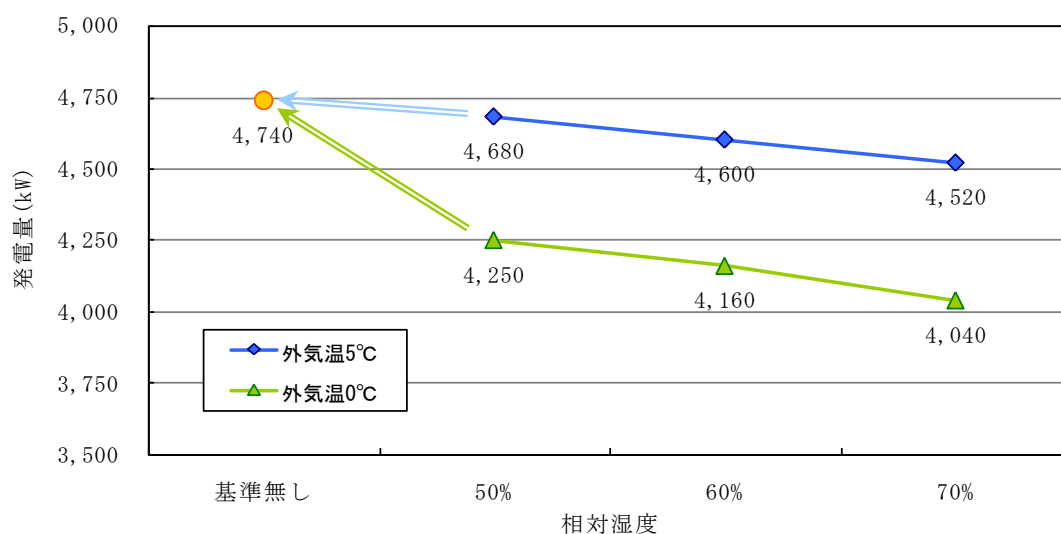


図 3-16 白煙防止が発電量へ与える影響

## 2) 施設計画にあたっての留意点

白煙は有害物質ではないこと、白煙が見えることを、周辺住民に理解を求めよう努める。

## 3) 白煙防止装置の運用を停止した場合の留意点

白煙防止装置を設置・運用している施設においては、白煙防止装置の運用を停止することにより、白煙防止のために使用していた蒸気をタービンに回せることによる発電量のア

ップ(図 3-13) や熱風バーナ用燃料の削減を図れる(図 3-15) などのメリットがある一方、煙道から白煙防止用空気ダクトへの排ガスの逆流などが懸念される。白煙防止装置の運用を停止した場合のメリット、デメリット等をまとめると表 3-5 のとおりである。

表 3-5 白煙防止装置の運用を停止した場合の留意点

方式	①蒸気式 加熱空気吹込方式	②ガス式 加熱空気吹込方式	③燃料式 加熱空気吹込方式
停止のメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>蒸気使用量削減分発電量が増加</li> <li>ファンの消費電力削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ファンの消費電力削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料費削減</li> <li>ファンの消費電力削減</li> </ul>
停止のデメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>特になし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>排ガス温度が大幅に変化するため、減温塔噴霧水量増加やエコノマイザの追加設置が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特になし</li> </ul>
停止時の必要処置(例)	<ul style="list-style-type: none"> <li>煙道から白防ラインへの排ガス逆流・腐食防止処置(閉止板等の施工、空気パージ等)</li> <li>熱交換器は保缶処置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>煙道から白防ラインへの排ガス逆流・腐食防止処置(閉止板等の施工、空気パージ等)</li> <li>熱交換器は保缶処置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>煙道から白防ラインへの排ガス逆流・腐食防止処置(閉止板等の施工、空気パージ等)</li> </ul>

#### 4. 排水クローズドシステムの導入なし

##### 1) 技術の概要

ごみ処理施設は一般にその立地は容易でないことも多い。そうした条件では、通常の場合には十分とされる環境対策より一層厳しい対応が求められる場合があり、その一つとして排水クローズドシステムがあげられる。排水クローズドシステムを採用した場合、施設内排水を減温塔で噴霧蒸発処理するためボイラ出口排ガス温度が高めの設定となり、ボイラ効率、つまり発電効率が低下する。

排水クローズドシステムの条件を緩和する場合や導入をなくすことによる発電効率の向上効果の試算例を表 3-6 および図 3-17 に示す。なお、表 3-6 に記載以外の条件は、6 ページに記載の表 2-1 の前提条件による。

表 3-6 エコノマイザ出口排ガス温度による発電効率の試算

試算条件	施設規模 (t/日)	400			
	ごみ質 (kJ/kg)	8,800			
	ボイラ蒸気条件	4MPaG×400℃			
試算結果	エコノマイザ出口排ガス温度 (℃)	190	220	250	300
	蒸発量 (t/h・炉)	25.4	24.7	24.1	23.0
	発電量 (kW)	8,500	8,300	8,100	7,700
	発電効率 (%)	20.9	20.4	19.9	18.9

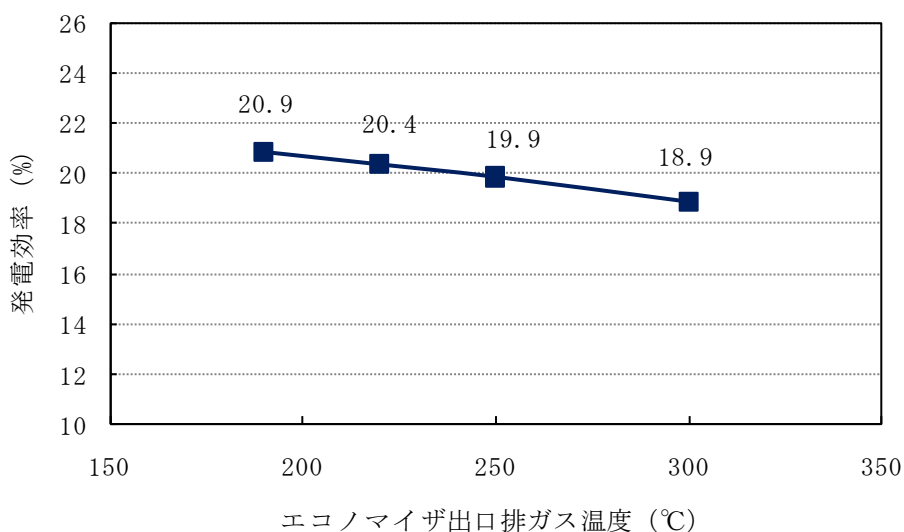


図 3-17 エコノマイザ出口排ガス温度と発電効率

施設内で発生した排水を適正に処理・再利用したのち、余剰水を下水道等に放流できる場合は、エコノマイザ出口排ガス温度 190～220℃程度以下までボイラで熱回収する場合は

多い。一方、排水クローズドシステムとした場合は、諸条件にもよるがエコマイザ出口排ガス温度を 250℃程度に設定することが必要になる。エコマイザ出口排ガス温度 (T2) が 190℃と 250℃の場合を比較すると、ボイラ効率で約 5%、発電効率として約 1.0%の差異が生じると試算される。

## **2) 施設計画にあたっての留意点**

より効率的なエネルギー回収のため、できる限り施設内排水は適正処理して再利用した後、下水道等へ放流することを検討すること。特に生活排水や洗車排水等についてはこうした配慮が求められる。

### 3-3 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、次の手法が有効である。

1. 高温高圧ボイラ
2. 抽気復水タービン
3. 水冷式復水器

#### 【解説】

##### ■ 高温高圧ボイラ：

ボイラの主蒸気条件を高圧化および高温化し、タービン内部効率を大きく取ること  
で、発電効率を向上させる方法である。

##### ■ 抽気復水タービン：

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方式である。タービン抽気蒸  
気を利用することでタービンで仕事をした蒸気の一部を更に給水加熱等に使用でき、  
発電効率を向上させることが可能になる。

##### ■ 水冷式復水器：

蒸気タービンでの熱落差が大きくなるに伴い発電効率が向上する。つまり、入  
口蒸気条件が一定の場合、タービン排気圧力を低くすることにより発電出力の向上が  
期待できる。水冷式は空冷式に比べ熱貫流率が高く取れ、タービン排気圧力をより低  
減することが可能であり、発電効率の向上が期待できる。なお、水冷式復水器の冷却  
媒体には、冷却塔による冷却水の他に河川水や海水を直接利用する方式がある。

発電効率を向上させるためには、蒸気タービンシステムの高効率化が有効である。蒸気  
タービンシステムの効率は、主蒸気条件、タービン排気圧力およびタービン内部効率よっ  
てほぼ決定される。

# 1. 高温高压ボイラ

## 1) 技術の概要

蒸気の圧力と温度のバランスにもよるが、高温高压化することでタービンでの熱落差が大きくとれる。例えば、タービンの排気条件が圧力-76kPaG の場合を想定する。3MPaG×300℃クラスでは熱落差 ( $\Delta h_1$ )は640kJ/kg 程度であるのに対し、4MPaG×400℃クラスでは熱落差 ( $\Delta h_2$ )は750kJ/kg と17%程度アップする(図3-18)。高温高压化することでボイラ主蒸気量は10%程度少なくなるが、熱落差の上昇率が主蒸気流量の低下率を上回るため、結果として発電効率の向上につながる。

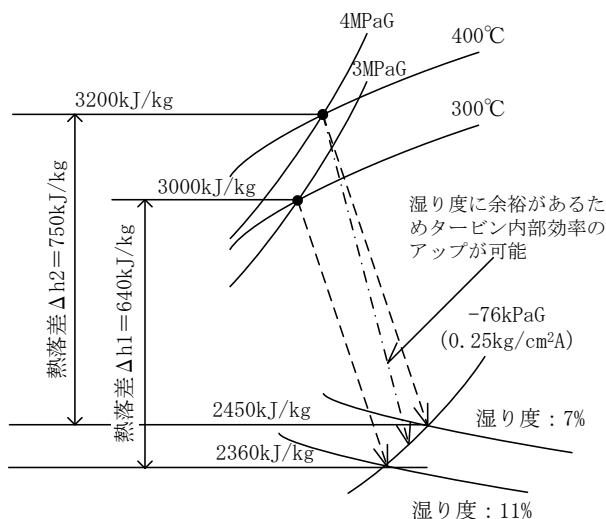


図 3-18 タービン膨張線図 (例)

(3MPaG×300℃クラスと4MPaG×400℃クラスの比較)

なお、諸条件にもよるが、「湿り度は8～12%程度の範囲にあることが望ましい

(出典：蒸気の上手な使い方 応用編 218 ページ、財団法人 省エネルギーセンター)」とされている。つまり、4MPaG×400℃の場合は、湿り度に余裕があるため、3MPaG×300℃の場合に比べてさらにタービン内部効率のアップが可能である。

前述のとおり、熱落差の増加に加えて、湿り度の許容範囲の観点から内部効率の高い蒸気タービンを採用できることや排気の圧力を下げた計画にしやすいことで発電効率をアップできることが高温高压化の長所である。ボイラ主蒸気条件を3MPaG×300℃から4MPaG×400℃に高温高压化することで、発電効率は1.5～2.5%向上することが期待できる。(詳細は、参考資料2を参照されたい。)

## 2) 施設計画にあたっての留意点

### (1) 高温高压化による腐食リスクと発電効率向上効果

2000年以前に建設された施設では、水管に付着する灰の溶融等に起因する過熱器の高温腐食を避ける(図3-19)ため、蒸気条件を圧力：3MPaG以下、温度：300℃以下で設計されることがほとんどであった。しかし、2000年以降は、ボイラ構造の最適化や高温高压ボイラ用過熱器材料の開発により圧力：4MPaG、温度：400℃クラスの蒸気条件を採用す

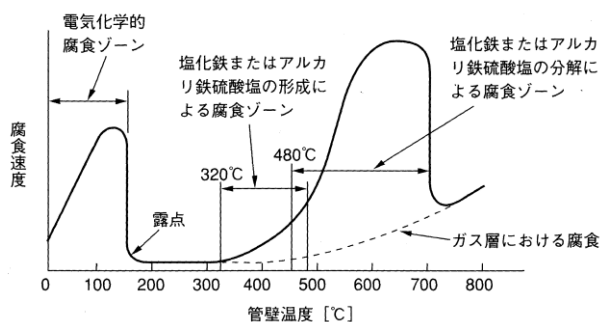


図 3-19 ボイラ水管の管壁温度と腐食速度の関係

(出典：ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006改訂版)

る例が増加しており、長期安定運転のためのデータの蓄積が行われている。3MPaG×300℃クラスのボイラでは過熱器を長期使用できるが、4MPaG×400℃クラスでは、一定期間の使用で過熱器の交換が必要になる。

発電の更なる高効率化を目的とし400℃以上の蒸気温度の高温化を検討する場合は、高温化に伴い加速度的に腐食速度が増加（図 3-19）、つまり過熱器の寿命が短くなる可能性があるため、過熱器交換コストと発電効率向上効果を総合的に勘案して、蒸気条件および過熱器材質等を決定することが望ましい。

## **(2) 施設規模、ごみ質による経済性評価**

施設規模が小さくなるにつれて、相対的に放熱量が増加しボイラ効率が下がるため、高温高压化による発電効率の向上率が小さくなる。そのため、高温高压化によるコストアップ（ボイラ・過熱器伝熱面積の増大、過熱器材質の耐食性向上、高压仕様のバルブ・配管類の採用）を考慮すると、経済性が損なわれる場合がある。また、ごみ質についても発熱量が低くなるにつれて、蒸気量が減るため、同様の場合がある。



## 2. 抽気復水タービン

### 1) 技術の概要

蒸気タービン出口の圧力を大気圧以上で運転するものを背圧タービン（図 3-20 (a)）、大気圧より下げて真空域とするものを復水タービン（図 3-20 (b)）という。背圧タービンは構造が簡単で取り扱いも容易なため、以前はごみ発電に多く採用されてきた。蒸気タービン出口の蒸気温度が高いため蒸気をカスケード利用して他の熱需用で使用することができ、大きな熱供給先が確保される場合は有効な形式であるが、蒸気タービンで利用できる蒸気の熱落差が小さいため発電量は小さくなる。初期のごみ発電は場内使用電力を賄うことを目的とした場合が多かったため、発電量の小さい背圧タービンでも問題なかったが、場外へ売電することが容易になったことによるごみ発電出力の大規模化に伴い、熱落差が大きくとれる復水タービンが採用されるようになった。最近では、更なる高効率化を目的として抽気復水タービン（図 3-20 (c)）を採用する事例が増えてきている。

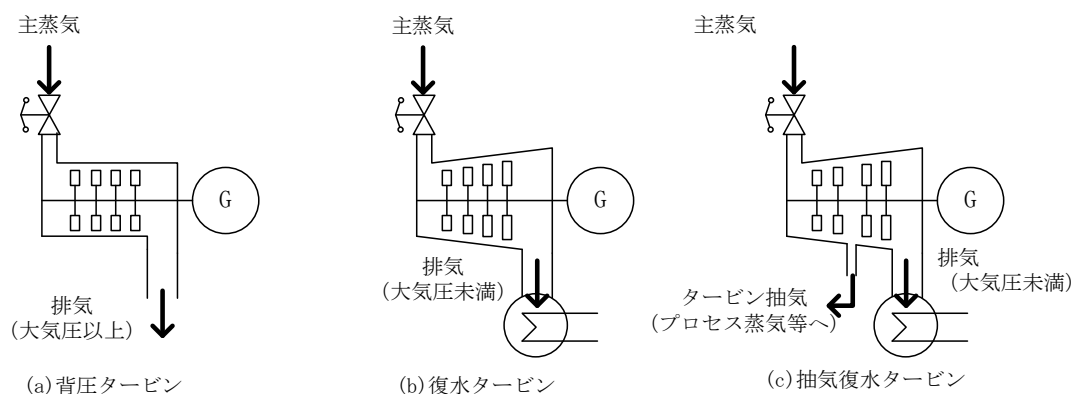


図 3-20 蒸気タービンの分類

図 3-21 に蒸気復水フローの一例を示す。

復水タービンを採用した単純サイクル（図 3-21 (a)）ではボイラ主蒸気から空気予熱用、脱気器加熱用、余熱利用設備用として蒸気を分岐するのに対し、抽気復水タービンを採用した再生サイクル（図 3-21 (b)）では必要圧力が比較的低い脱気器加熱用や余熱利用設備用としてタービン抽気蒸気を利用することが可能になる。これにより、タービン主蒸気量がアップするため発電効率が増加する。

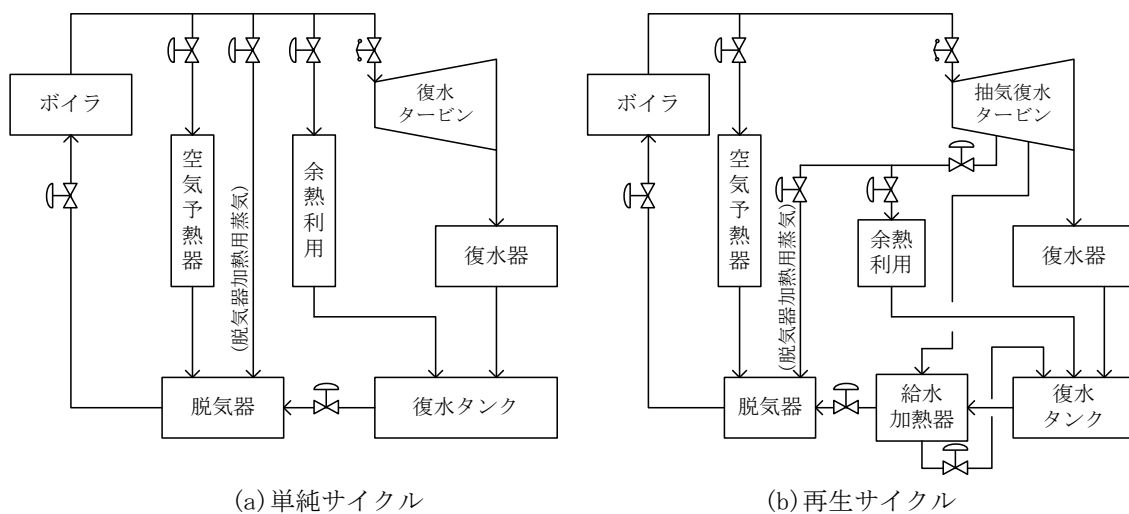


図 3-21 蒸気復水フロー（一例）

諸条件によるが、脱気器加熱用蒸気をタービン抽気に変えることで約 0.5%の発電効率向上が期待できる。

さらに、抽気復水タービンを 2 段抽気構造として、低圧側抽気蒸気を用いて脱気器給水を加熱すれば、復水器での放熱が少なくなるため、さらに 0.2~0.5%の発電効率向上が期待できる。

## 2) 施設計画にあたっての留意点

復水器の容量や抽気圧力制御方式等により抽気可能量に制限があるため、抽気量の変動を考慮してプロセスフローを検討する必要がある。

### 3. 水冷式復水器

#### 1) 技術の概要

タービン排気の復水方式は、空冷方式と水冷方式に分けられる (図 3-22)。

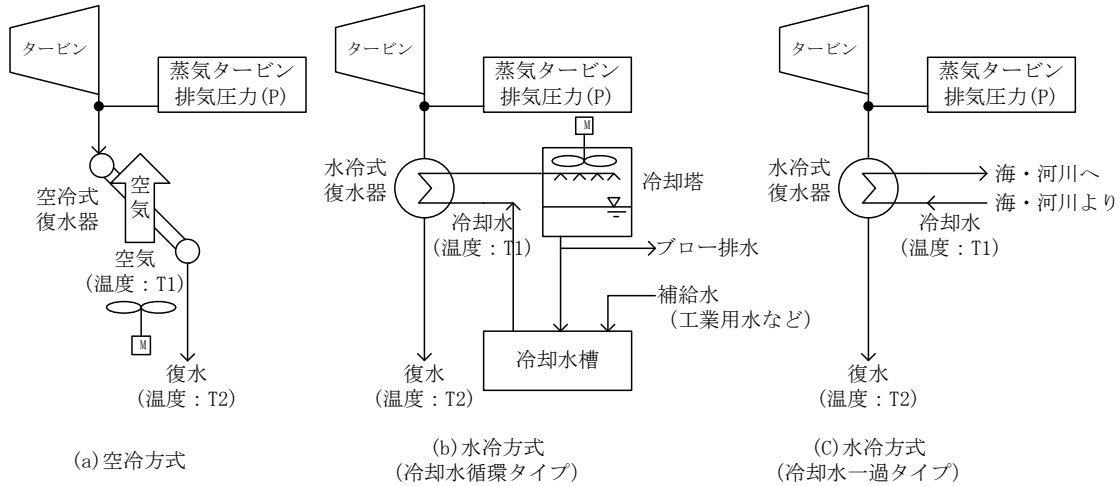


図 3-22 タービン排気の復水方式

空冷方式 (図 3-22 (a)) では、冷却媒体に立地条件の制約がない空気を利用できるが、比熱が小さい上、気体であるため比容積も大きく、結果的に水に比べて 4,000 倍程度の体積流量が必要となり、広い復水器設置スペースが必要となる。そのため、「経済性を考慮し冷却媒体温度 (T1) と復水温度 (T2) の差は 30°C 程度 (出典：廃棄物ハンドブック 293 ページ)」と言われている。つまり、設計空気温度 (T1) を夏季の外気温度を考慮し 35°C とすると復水温度 (T2) は 65°C 程度となり、蒸気タービン排気圧力 (P) は、-76kPaG (0.25kg/cm<sup>2</sup>A) となる。

一方、水冷式 (図 3-22 (b) または (c)) の場合は、空冷方式に比べて熱貫流率が高くとれるため、「冷却媒体温度 (T1) と復水温度 (T2) の差は 13~15°C 程度 (出典：廃棄物ハンドブック 293 ページ)」と言われている。つまり、設計冷却水温度 (T1) を冷却塔で標準的に用いられている 32°C とすると復水温度 (T2) は 45~47°C 程度であり、蒸気タービン排気圧力 (P) は、-94~-92kPaG (0.08~0.1kg/cm<sup>2</sup>A) まで低減できる。

タービン主蒸気を 4MPaG×400°C とし

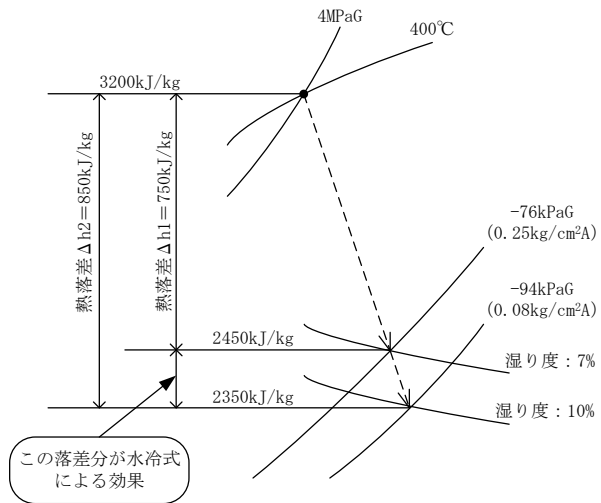


図 3-23 タービン膨張線図 (一例)

て、タービン排気圧力が $-76\text{kPaG}$  ( $0.25\text{kg/cm}^2\text{A}$ ) の場合の熱落差 ( $\Delta h_1$ ) と $-94\text{kPaG}$  ( $0.08\text{kg/cm}^2\text{A}$ ) の場合の熱落差 ( $\Delta h_2$ ) を比較してみる。

図 3-23 に示すとおり  $\Delta h_1=750\text{kJ/kg}$ 、 $\Delta h_2=850\text{kJ/kg}$  となり、水冷式復水器を用いることで  $13\%$  ( $\cong \Delta h_2/\Delta h_1$ ) 程度のタービン出力アップが期待できる。発電効率に置きかえると、空冷式で発電効率  $20\%$  とした場合、水冷式とすることで  $2.5\%$  程度のアップが期待できることになる。

## 2) 施設計画にあたっての留意点

### (1) 冷却水の確保

水冷式では大量の冷却水が必要であり、インフラや立地条件によって制限を受ける。

冷却水循環タイプ (図 3-22 (b)) では、冷却塔での蒸発水分を補給する必要があり、タービン排気蒸気量と同程度の補給水量 (工業用水) が必要となる。また、工業用水の水質によっては、冷却塔用水として使用するための水処理用薬品量が増加したり、水質維持のためのブロー水量が増加し工業用水使用量や下水道放流量が多くなることがあるので、計画にあたっては発電量向上効果と上下水道使用量増加や水処理用薬品による費用アップを総合的に勘案して施設を計画する必要である。

冷却水一過タイプ (図 3-22 (c)) では、冷却用の海水や河川水が必要となるため、施設の立地は沿岸部や河川近傍に限られる。なお、海水や河川水を使用する場合は、水利権や温排水の放出先などに対して留意が必要である。

### (2) タービン翼のドレンアタック対策

復水タービンの出口では蒸気のエネルギーが低下して一部が凝縮し、蒸気と水滴の混合状態となる。この状態を湿り蒸気といい、水滴の割合を湿り度という。湿り度が高くなるとタービン翼に水滴が衝突し翼が浸食されるドレンアタックと呼ばれる現象が生じる。図 3-23 のように膨張する場合、排気圧力が低くなるほど湿り度が高くなるため、タービンの排気圧力、タービン入口蒸気の蒸気温度と圧力のバランスに留意して施設計画を行う必要がある。また、高効率化のためより湿り度が高い領域まで膨張させる場合は、タービン翼に耐食加工をするなどの構造上の留意が必要がある。