

小規模火力発電に係る環境保全対策ガイドライン

～自治体や事業者の方に広くご活用いただくための環境保全技術先進事例とりまとめ～

平成 26 年 10 月

環 境 省

<目 次>

本ガイドラインの概要	1
1. 背景、目的及び想定する対象	2
1.1 背景	2
1.2 目的	3
1.3 想定する対象	3
2. 小規模火力発電所の事業特性と採用される可能性がある発電方式	4
2.1 小規模火力発電所の事業特性と環境上の特徴	5
2.2 小規模火力発電所で採用される可能性がある発電方式と環境上の特徴	8
3. 小規模火力発電所における環境保全対策	13
3.1 特に重要な環境保全対策	14
3.1.1 二酸化炭素排出削減対策	14
3.1.2 大気環境保全対策	22
3.2 その他の環境保全対策	34
3.2.1 水環境保全対策	34
3.2.2 冷却塔設置による環境影響への対策	36
3.2.3 周辺住民の生活環境対策	37
3.2.4 生物・生態系及び景観・人と自然との触れ合い活動の場の保全対策	39
3.2.5 廃棄物対策	40
4. その他の留意事項	41

本ガイドラインの概要

近年、電力需給の逼迫や電気料金の上昇、電力システム改革等を背景に、環境影響評価法（平成 9 年法律第 81 号）の対象事業規模である発電出力 11.25 万 kW 未満の火力発電所（以下「小規模火力発電所」といいます。）の設置の事業・計画が、多数明らかになってきました。小規模火力発電所では、安価な石炭火力が採用される可能性が高い上、環境影響評価法の対象とならない小規模火力発電所においても、その設置数が増加すれば、大規模な火力発電所に匹敵する著しい環境影響を及ぼすおそれがあり、事業者においては実行可能な範囲で既存事例の実態に即した環境保全対策を講じることが望ましいです。

このため、環境省において、小規模火力発電所における環境保全対策等の先進事例等を整理・とりまとめ、本ガイドラインを作成しました。

本ガイドラインについては、発電事業者において小規模火力発電所の計画に当たっての環境配慮の検討の際の、また、地方公共団体の環境部局において発電事業者等から環境配慮についての助言を求められた際の参考としていただくことなどにより、小規模火力発電所における環境配慮がさらに行われることを期待します。

本ガイドラインで説明する環境保全対策等の概要を以下に示します。

【小規模火力発電所の事業特性及び採用される可能性がある発電方式】

- ✓ 小規模火力発電所の事業特性を整理し、採用される可能性がある発電方式として、汽力（微粉炭方式及び循環流動床方式）、ガスタービン、ガスタービンコンバインドサイクル及びガスインジェンを抽出。
- ✓ 特に重要な環境保全対策として「二酸化炭素排出削減対策」及び「大気環境保全対策」に着眼。

【二酸化炭素排出削減対策】

- ✓ 可能な限り環境負荷の小さい燃料の採用を検討した上で、バイオマス混焼、発電効率の高い設備の導入及びコジェネレーションの導入を提案。
- ✓ 現時点での 10 万 kW 級の発電設備における最高水準の熱効率や 30% バイオマス混焼する微粉炭火力の計画、バイオマス・廃棄物燃料等の多様な燃料種を採用できる循環流動床方式などの事例を紹介。

【大気環境保全対策】

- ✓ 小規模火力発電所に採用可能な燃焼方式や排ガス処理装置等の事例を効率とともに紹介（脱硝 90% 以上、脱硫 99% 以上、除塵 99% 以上）。

【その他の環境保全対策】

- ✓ 小規模火力発電所に特徴的な「冷却塔方式」による景観等への影響、住居等が比較的近傍になることから「周辺住民の生活環境対策」として騒音・振動、悪臭、日照障害及び工事中の保全対策等についても整理。

1. 背景、目的及び想定する対象

1.1 背景

昨今、環境影響評価法（平成 9 年法律第 81 号）の対象事業規模である発電出力 11.25 万 kW 未満の火力発電所（以下「小規模火力発電所」といいます。）の設置の事業・計画が、報道等で多数明らかになってきました。この背景として、電力供給量の逼迫や電気料金の上昇、電力システム改革、発電設備の更新時期の到来等の要因が挙げられます。

まず、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災以降、ベースロード電源である原子力発電所の稼働停止に伴い、不足した電力供給量を賄うために、緊急的に設置された火力発電設備や運転停止中であった老朽火力発電設備が稼働し、燃料価格の高騰もあり、電気料金が上昇しています。また、平成 25 年 4 月に策定された「電力システムに関する改革方針」において、電気の小売業への参入の全面自由化及び法的分離による送配電部門の中立性の一層の確保が示され、これを踏まえた電気事業法等の改正が段階的に行われることなどが、電気事業への新規参入を後押しすることとなっています。さらに、設置から 30～40 年以上経過した自家発電設備の更新に当たって、効率が良く発電容量の大きい設備を導入し、自家消費に加えて一部売電も行ったり、発電設備を新設し全量売電を行ったりする事業者が見られるようになっていきます。

これらの事業計画では、石炭火力が選定されるものも多数あり、震災時点で 50 社程度であった特定規模電気事業者の数が、平成 26 年 9 月 26 日現在で 364 社と増加しており¹、これに伴って、発電設備の増加が想定されます。

これまで、一般電気事業者が実施してきた大規模な火力発電事業では、国内外における最高水準の発電設備や排ガス処理装置等を導入する等、実行可能な範囲での最大限の環境保全対策が迫られてきました。一方で、小規模火力発電所においては、大規模な火力発電所と比べて、熱効率が低い発電技術しか選択できない、あるいは、経済合理性の観点から、法や条例で規定される規制基準や地域との協定に基づく既存の目標値を達成する範囲での環境保全対策に留まりやすくなっています。

しかしながら、環境影響評価法や地方公共団体の環境影響評価に関する条例等の対象ではない小規模火力発電所であっても、個々の環境影響は小さくとも、その設置数が増加し、発電設備の電力容量が増えていけば、特に環境負荷が大きい石炭では、大規模な火力発電所に匹敵する著しい環境影響を及ぼすおそれがあります。また、「燃料調達コスト引き下げ関係閣僚会合（4 大臣会合）」（平成 25 年 4 月 26 日）で承認された「東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議取りまとめ」（経済産業省・環境省、平成 25 年 4 月 25 日。以下「局長級会議取りまとめ」といいます。）によって、環境影響評価法の対象となる火力発電所については、BAT（Best Available Technology）の導入、電気事業分野全体で二酸化炭素の排出を管理・抑制する枠組みの構築・参加が審査されることになっていることも鑑みれば、小規模火力発電所についても事業者自らが実行可能な最大限の環境保全対策を講じることが望まれます。

このため、環境省において情報を整理・とりまとめ、本ガイドラインを作成しました。環境省では、本ガイドラインの活用状況を把握しつつ、本ガイドラインの周知徹底や改訂等の今後の対応を検討してまいります。

¹ 「特定規模電気事業者連絡先一覧」（経済産業省ホームページ、
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/operators_list/）

1.2 目的

本ガイドラインは、小規模火力発電所の設置に際して、発電事業者が必要とする環境保全対策等の情報について、小規模火力発電所の事業の特性（以下「事業特性」といいます。）を踏まえ網羅的に整理するとともに、特に環境影響が想定される二酸化炭素及び大気汚染物質の排出を削減するための技術的な環境保全対策を詳細に説明しています。

本ガイドラインは、発電事業者において小規模火力発電所の計画に当たっての環境保全対策の検討の際の、また、地方公共団体の環境部局において発電事業者等から環境保全対策についての助言を求められた際の参考としていただくことなどにより、小規模火力発電所における環境配慮がさらに行われることを目的としています。

1.3 想定する対象

本ガイドラインは、環境影響評価法の対象事業規模未満である発電出力 1 万～11.25 万 kW の小規模火力発電所を想定しています。

燃料種については、地球温暖化及び大気汚染等の観点から影響が大きいと考えられる石炭を中心としています。その他のガスやバイオマス、副生物等及びそれらの混焼についても想定したものとなっています。

原動力の種類（発電方式）については、石炭を中心とすることから、固体燃料を利用できる汽力を中心に調査していますが、ガス等を燃料とするガスタービン（汽力との組み合わせを含む。）及びガスエンジン並びにそれらが複数台設置された場合についても想定したものとなっています。

2. 小規模火力発電所の事業特性と採用される可能性がある発電方式

2.1 では、大規模な火力発電所と比較した上で、小規模火力発電所の事業特性を整理し、また、2.2 では、小規模火力発電所で採用される可能性がある発電方式（原動力の種類）を整理し、それぞれで環境上の特徴を概説します。

（参考）燃料の発熱量の表示方法：高位発熱量（HHV）と低位発熱量（LHV）の関係

燃料が持つ発熱量（燃料が完全燃焼するときに発生する反応熱）の表示方法には、燃焼ガス中の水分が凝縮した水の状態の「高位発熱量」（Higher Heating Value; HHV、または総発熱量）と、水分が蒸発した水蒸気の状態の「低位発熱量」（Lower Heating Value; LHV、または真発熱量）との2種類がある。HHVはLHVに水分の蒸発潜熱を加えた値になる。

我が国のエネルギー統計では、「総合エネルギー統計」（経済産業省資源エネルギー庁）をはじめ基本的にHHVで表示されており、火力発電所の熱効率もHHVで表示されている。一方、LHVを用いて熱効率を表示することが一般的な分野もあり、ガスタービンやガスタービンエンジン、ごみ発電ではLHVで表示されている。

HHVとLHVの関係は、燃料の組成や含水率によって異なる。本ガイドラインでは、両者を変換する場合には局長級会議取りまとめの「BATの参考表【平成26年4月時点】」で用いられている以下の関係式で算出している。

石炭：熱効率（LHV）＝熱効率（HHV）／0.95

LNG：熱効率（LHV）＝熱効率（HHV）／0.9

なお、バイオマス燃料は、石炭と比べて燃料中の水素分が多く、かつ含水率が高いため、HHV基準の熱効率はLHV基準の熱効率よりも大きく低下する。

（参考）火力発電所の効率に関する用語

効率に関する用語	説明
熱効率	投入した熱量に対して取り出された仕事量の比率。熱機関のエネルギー変換効率を示す指標。
発電効率	投入した熱量に対して取り出された電気エネルギーの比率。火力発電所の場合、熱効率＝発電効率となる。本ガイドラインでは電気に着目していることを明確にするために、電気と熱の両方を利用するコージェネレーションに関する部分では、熱効率ではなく発電効率と表記している。
発電端効率	投入熱量に対する発電端電力量（発電機で発生した電力量）の比率で表した効率。
送電端効率	投入熱量に対する送電端電力量（発電機で発生した発電端電力量から発電所内で消費される所内電力量を差し引いた量）の比率で表した効率。

2.1 小規模火力発電所の事業特性と環境上の特徴

一般的に火力発電所は、発電出力（規模）が小さくなるほど、熱効率の低下により発電電力量当たりの燃料消費量が増大すること、また、スケールメリットの低下により工作物の建設単価が増加することが考えられます。このため、小規模火力発電所の計画検討に当たっては、発電設備全体の経済性（コストパフォーマンス）を確保することから以下の事業特性を有する傾向にあります。

① 燃料種

燃料は、調達可能性及び貯留能力等を考慮したうえで、安価なものが選択される傾向にあります。具体的には、石炭や廃棄物燃料、工場等における副生燃料等です。また、同種の燃料でも品質の劣るものが選択される傾向があります。このような安価かつ低品位の燃料に適した中で最も効率の良い発電設備（ボイラ等）が採用されることが考えられます。

火力発電所で用いられる化石燃料としては、石炭と天然ガスが候補となります。表1に石炭と天然ガスの比較を示します。小規模火力発電所においては、天然ガスは発電原価に占める燃料価格の割合が高く、大規模な火力発電所に比べて効率が小さいため相対的に燃料費が増加すること、かつ、価格変動の影響を受けやすいこと、さらには、天然ガスを産出国で液化し、国内需要地まで運搬するための膨大なインフラ投資が必要となり、中小規模の需要家が独自に調達することが難しく、このため天然ガスの供給が可能な地点の制約を受けること等から、石炭が採用されやすいと考えられます。

石炭は、天然ガスに比較して安価である一方、二酸化炭素排出量が多く、また石炭の性状によっては、水銀等の有害物質が含まれ、適切な排ガス処理を行う必要があります。また、石炭火力発電所の建設には、天然ガス火力発電所と比較して、排ガス処理装置等を含めた多額の初期設備費、貯炭場等のための広い敷地、灰処理等の検討が必要になります。

表1 石炭と天然ガスの比較

		石炭	天然ガス
設備	設備費	大	小
	建設期間	長い	短い※
	敷地面積	大	小※
	公害対策	大	小
燃料	燃料価格	安い	高い
	価格変動	小	大
	燃料輸送	外洋輸送（ばら積み船）し、発電所の埠頭に荷揚げ、または、コールセンターを経由し、内航船または陸上輸送（トラック等）する。	専用船により外洋輸送（LNG 船）し、LNG 基地で受入後、陸上輸送（パイプライン、タンクローリー等）する。（二次基地・サテライト基地を経由する場合もある。）
	廃棄物処理	必要（石炭灰等）	不要

※：ガスタービン及び汽力の複合発電の場合。なお、ガスタービン及びガスエンジンでは、さらに建設期間が短く、敷地面積が小さい。

出典：「火力原子力発電必携」（火力原子力発電協会、平成25年）、「コスト等検証委員会報告書」（エネルギー・環境会議コスト等検証委員会、平成23年12月19日）、「電気工学ハンドブック」（電気学会編、平成25年）、「コール・ノート2013年版」（石炭エネルギーセンター、平成26年）などより作成。

② 排ガス処理

排ガス処理については、最も処理効率の高い設備が選択される場合もありますが、むしろ排出基準や地域との協定に基づく目標値等を達成する範囲で選択される傾向にあります。

③ コージェネレーションの採用

周辺に熱需要がある場合、発電と合わせて、蒸気などの熱も利用するコージェネレーションを採用し、実質的な発電コストを低下させることも可能です。

④ 既存インフラの活用

工場等を保有する事業者の場合、タービン・発電機等の発電設備や燃料インフラ、煙突、排ガス処理、排水処理装置等の既存インフラを活用することも可能です。

その他に、小規模火力発電所の事業特性としては以下のものがあげられます。

⑤ 冷却塔の採用

小規模火力発電所においては、復水器の冷却に海水を使用する方式（以下「海水冷却方式」といいます。）ではなく、冷却塔を利用する方式（以下「冷却塔方式」といいます。）を採用する事例が多いです。

⑥ 内陸用地の活用

多量の冷却用海水の確保や大型の発電設備等の設置のために、大規模な火力発電所では、海洋に面した既埋立地や工場跡地、未利用地等に設置されていますが、小規模火力発電所では、必ずしもその必要がなく、内陸の工場跡地や未利用地等に設置される場合もあります。このため、住居や病院、学校等が比較的近傍に存在する場合があります。

これらの小規模火力発電所の事業特性から、以下の環境上の特徴が想定されます。

- ✓ 燃料によっては、多量の二酸化炭素や大気汚染物質等を排出するおそれがあることから、適切な燃料種を選択や排ガス処理装置等の環境保全対策の検討が重要です。
- ✓ コージェネレーションによる蒸気利用により、発電効率は低下しますが、総合効率²は向上します。
- ✓ 既存インフラを活用することにより、土木・建設工事等による土地改変の面積は必要最小限となる場合がありますが、既設の排ガス処理装置等の性能が引き継がれる場合もあります。
- ✓ 冷却塔方式を採用することにより、多量の温排水の排出及びそれによる海域生物への影響が回避されますが、住居等が近傍にある場合においては、白煙による視程障害や

² コージェネレーションにおいて、発電効率と熱回収効率（投入熱量に対して熱利用のために回収された熱量の比率）を足した値を総合効率（総合エネルギー効率、総合熱効率）といいます。なお、熱は温度によりエネルギーとしての質が異なる点を考慮し、熱を電気と等価値に換算して示す「エクセルギー効率」も提案されています。

騒音等の対策を検討する必要があります。

- ✓ 内陸の用地を活用する場合、排水や温排水を河川・湖沼等の淡水域に排出すること、海域に面した埋立地等とは異なる内陸地特有の陸域生物や生態系、景観等の自然的状況であることが想定されます。
- ✓ 住居等が近傍にある場合、特に、騒音・振動や悪臭、日照障害、工事中的影響等について環境保全対策を慎重に検討する必要があります。
- ✓ 海水冷却方式を採用する場合の温排水の排出及びそれによる海域生物への影響、排水や廃棄物による影響、陸域生物・生態系、景観及び人と自然との触れ合い活動の場に対する影響等が想定されます。

2.2 小規模火力発電所で採用される可能性がある発電方式と環境上の特徴

小規模火力発電所で採用される可能性がある発電方式（原動力の種類）としては、汽力（微粉炭方式（以下「PC」といいます。）及び循環流動床方式³（以下「CFB」といいます。）、ガスタービン（以下「GT」といいます。）、汽力及びGTの複合発電（ガスタービンコンバインドサイクル発電。以下「GTCC」といいます。）及び内燃力（ガスエンジン（以下「GE」といいます。）等）があります。発電方式（原動力の種類）及び燃料種により、熱効率、発電電力量当たりの排ガス中の二酸化炭素及び大気汚染物質の量が異なります。

小規模火力発電所に採用されることを前提として、下記及び表2に各発電方式の仕組み及び環境上の特徴を整理します。

- ① 汽力発電は、ボイラで沸かした蒸気でタービンを回転させる発電方式で、小規模火力発電所では、主にPC及びCFBの2方式が採用されています。図1に汽力発電(PCとCFB)で採用されるボイラの構造図を示します。ボイラに燃料を投入し、燃焼させることから、多様な燃料種が選択可能です。このため、二酸化炭素及び大気汚染物質の排出量は燃料種に大きく依存することとなり、特に、石炭の場合にはその量が多くなります。また、コージェネレーションに当たっては、タービンの種類により、目的に応じた蒸気の量を取り出すことが可能です。(20～21 ページ参照)

発電を主体に行う場合や蒸気の利用量が少ない場合には、タービンを通過した蒸気を水に戻す復水の過程で冷却する必要があります。国内の大規模な火力発電所では海水冷却方式が採用されることが多いですが、小規模火力発電所では主に冷却塔方式が採用されています。

売電事業を目的とする場合、高い売電価格を確保するために、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⁴の対象となる木質系バイオマスが燃料として選択（混焼を含む。）されることがあります。この場合、使用するバイオマスの性状に応じて、大気汚染物質の量等が変化することから、排ガス処理方法の検討やアルカリ金属による設備の腐食防止等に留意する必要がありますが、地球温暖化対策や廃棄物等の循環利用の観点からは有利となります。他方、国内のバイオマスについてはその量が限られていること等を踏まえ、地域において適切に活用されるよう留意が必要であるとともに、国外からの輸入については輸送行程等も含めて環境配慮が重要です。

PCとCFBを比較すると、前者は、比較的、熱効率が高くなりますが、バイオマス燃料においては高品位な燃料が必要になるのに対して、後者は、固体燃料であれば、バイオマス・廃棄物燃料等の高品位から低品位のもの、均質・不均質なものの等の多様な燃料を採用可能であり、これらを複数種類混焼する事例もあります。なお、PCについては、従前より発電規模の大型化が進められてきており、10万kW前後の実績も数多くありますが、CFB

³ 流動床方式とは、空気を投入して作りだす流動状態で固体燃料を燃焼させる方式です。CFBでは、排ガス中の粒径の大きい流動媒体や未燃分をサイクロンにより捕捉し、ボイラ本体に戻します（図1参照）。なお、常圧の流動床方式のボイラとしては、CFB以外にも、主に数万kW以下で採用されているバブリング方式や内部循環流動床方式(ICFB)がありますが、本ガイドラインでは、10万kW前後での実績を踏まえ、CFBについて説明しています。

⁴ 「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」（平成23年法律第108号）によります。

については、国内で 10 万 kW を超える規模の実績は多くはありません。

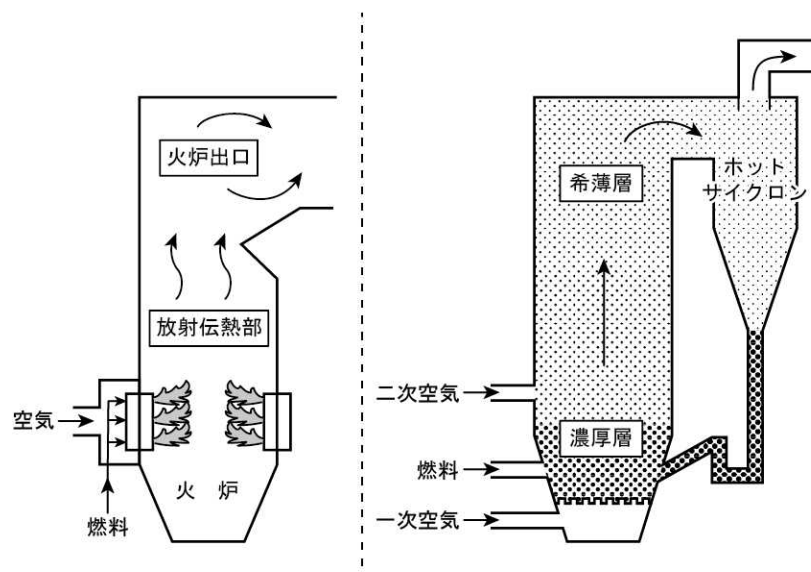


図 1 汽力発電（PC と CFB）で採用されるボイラの構造図（左：PC、右：CFB）

出典：PC については「火力発電総論」（一般社団法人電気学会、平成 14 年）、CFB については「機械工学便覧 応用システム編 γ5 エネルギー供給システム」（社団法人日本機械学会編、平成 17 年）より作成。

- ② GT 発電は、燃焼器で燃料を燃焼し発生させた高温・高圧のガスでタービンを回転させて発電します。図 2 に GT 発電の構造図を示します。石炭等と比較して環境負荷が小さい天然ガスや軽油等の気体燃料又は液体燃料が採用されます。高温の排ガスが発生することから排ガス処理に困難な場合がありますが、復水冷却の必要がありません。また、燃料由来の廃棄物がほとんど出ません。なお、GT 単体での熱効率は低いですが、③に記載するコンバインドサイクル化による熱効率の向上や高温のガスを利用した熱供給（コジェネレーション）による総合効率の向上が可能です。

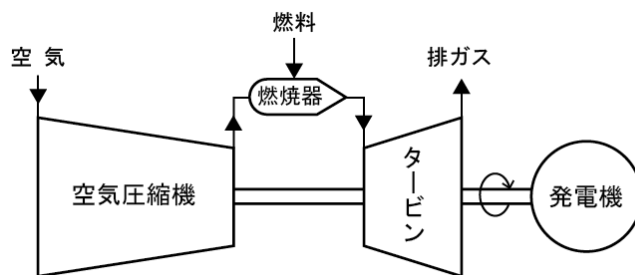


図 2 GT 発電の構造図

- ③ GTCC 発電は、GT から発生する高温の排ガスを排熱回収ボイラで回収し、汽力（蒸気タービン）で再び発電する方式で、現在、最も熱効率が高くなる発電方式です。図 3 に GTCC 発電の構造図を示します。GT 単体と比較して、排ガス温度が低減され、効率的な排ガス処理が可能です。復水冷却が必要となります。なお、発生した蒸気については、一部を発

電に利用するとともに、一部を熱として利用することで、熱電比の可変範囲の広いコージェネレーションシステムとすることも可能です。

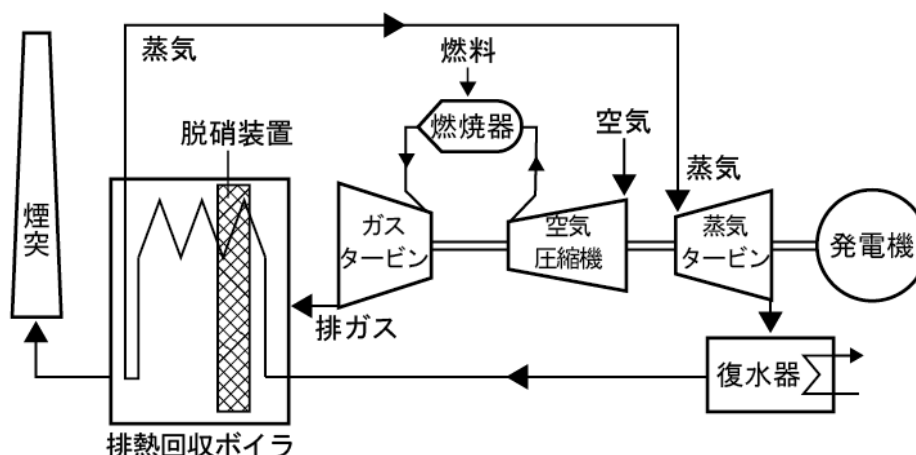


図3 GTCC 発電の構造図

- ④ 内燃力発電は、レシプロエンジン（往復動機関）で発電機を稼働するもので、ガスを燃料とするGE、軽油を燃料とするディーゼルエンジンがあります。図4に内燃力発電の構造図を示します。同一出力規模のGTと比較して、熱効率は高く、排ガス中の大気汚染物質の量、特に、窒素酸化物の排出量が多くなる傾向があります⁵。コージェネレーションの観点からは、GTと比較して回収できる蒸気が少なく、総合効率を高めるためには温水を利用する必要があります。

GEの単機出力は最大でも1万kW程度ですが、複数台設置することで、総出力10万kW程度の発電所を設置する事業・計画があります。このような場合、火力発電所全体の熱効率は、同規模のGTCCに追従する程度になると考えられますが、大気汚染物質の総排出量が多くなるおそれがあります。

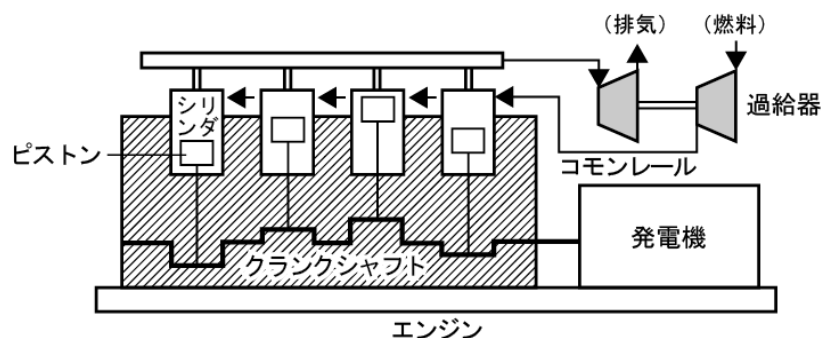


図4 内燃力発電の構造図

出典：「進化する火力発電」（高橋毅編著、平成24年）より作成。

⁵ なお、ディーゼルエンジンは、ばいじんの排出量が多く、窒素酸化物の排出量がGEよりもさらに多くなります。

表 2 小規模火力発電に採用される可能性がある発電方式（原動力の種類）

発電方式 (原動力の種類)	規模 (単機出力)	主な燃料種	熱効率 ^{※2} (発電端・HHV)	環境上の特徴
汽力 【微粉炭方式 (PC)】	～110 万 kW 程度	・石炭（瀝青炭等 灰融点の高い もの） ・バイオマス（ペ レット等高品 質・均質のも の） ・石油（重油・軽 油等） ・天然ガス ・副生ガス	・10 万 kW 程度 39.5% （参考^{※3}） ・20～110 万 kW 41～43%	・石炭を燃料とする場合、二酸化炭素 や大気汚染物質が多量に発生する。 ・バイオマス燃料においては、比較的 高品位なものが必要。30%の高混焼 率の計画がある。 ・復水冷却が必要な場合がある。 ・コージェネレーションに当たっては、 タービンの種類により、目的に応じ た蒸気の量等を取り出すことが可 能。
汽力 【循環流動床方 式（CFB）】	～15 万 kW 程度	・石炭 ・バイオマス、廃 棄物等（高品位 から低品位、均 質・不均質等の 多様なもの）	・10 万 kW 程度 37.5%^{※4}	・石炭を燃料とする場合、二酸化炭素 や大気汚染物質が多量に発生する。 ・バイオマスや廃棄物燃料等多様な燃 料種を、専焼若しくは高い混焼率で 利用できることから、地球温暖化対 策・廃棄物等の循環利用の点で有利。 ・所内率は PC よりも 2%ほど高く、 送電端効率はより差が大きくなる。 ・復水冷却が必要な場合がある。 ・コージェネレーションに当たっては、 タービンの種類により、目的に応じ た蒸気の量等を取り出すことが可 能。
ガスタービン及 び汽力の複合発 電 【ガスタービン コンバインドサイ クル発電 (GTCC)】	～80 万 kW 程度	・天然ガス ・石油（軽油等） ・副生ガス	・10 万 kW 程度 49% （参考^{※3}） ・40～80 万 kW＜東日 本（50Hz 地域）＞ 50.5～52% ・20～60 万 kW＜西日 本（60Hz 地域）＞ 51～52%	・天然ガスを燃料とする場合、二酸化 炭素や大気汚染物質の発生が少な い。 ・現時点で最も熱効率が高くなる方式 である。 ・復水冷却が必要な場合がある。
ガスタービン発 電 【シンプルサイ クル発電（GT）】	～15 万 kW 程度	・天然ガス ・石油（軽油等） ・副生ガス	・10 万 kW 程度 40%	・天然ガスを燃料とする場合、二酸化 炭素や大気汚染物質の発生が少な い。 ・排ガス温度が高いため、排ガス処理 が困難な場合がある。 ・熱電比の可変範囲の広いコージェネレ ーションシステムとすることが可 能。
内燃力発電 【ガスエンジン (GE)】	～1 万 kW 程 度	・天然ガス	・1 万 kW 程度 44%	・GT に比べて熱効率は高いが、窒素 酸化物の量が多くなる。 ・GT と比較して、蒸気の量は少ない。

※1：表内は原則、国内における火力発電所の事例。

※2：熱効率は、GE では 1 万 kW 程度、その他では 10 万 kW 程度の規模（単機出力）において、調査により把握できた最も熱効率の良い事例を掲載している。なお、GT・GE の熱効率は一般的に LHV で表示されるが、比較のために HHV に換算している。（HHV と LHV の関係については 4 ページ参照。）

※3：参考として、環境影響評価法の対象事業規模における熱効率として、局長級取りまとめの「BAT の参考表【平成 26 年 4 月】」から「(A) 経済性・信頼性において問題なく商用プラントとして既に運転開始をしている最新鋭の発電技術」の設計熱効率（発電端：HHV）を掲載した。

※4：石炭にバイオマス 50%を混焼する火力発電所の事例である。便宜的に石炭の式で LHV から HHV に換算している。（18 ページの表 7 参照。）

小規模火力発電所に採用される可能性のある発電方式の中で、排ガスや排水、廃棄物処理等が最も複雑な石炭を燃料とする汽力発電（PC）を用いて、発電設備のフローを説明します。（図 5 参照。）

火力発電所に受け入れられた石炭は、一旦、石炭サイロなどの貯炭設備に貯留されます。石炭バンカより供給された石炭は、微粉炭機で粉砕され、燃料（微粉炭）としてボイラに供給され、高温で燃焼されます。この熱で高温・高圧の蒸気を発生させ、その蒸気でタービンを回転し、発電を行います。蒸気タービン通過後の排気は、復水器において冷却水で冷却されて水に戻り、給水ポンプで再びボイラへ送られます。復水器で用いられた冷却水は温度が上昇するため、小規模火力発電所では、主に冷却塔を用いて温度を低下させています。冷却塔で蒸発した冷却水の不足分は、工業用水などから補給します。

ボイラで発生した排ガスは、排煙脱硝装置や集じん装置、排煙脱硫装置などの排ガス処理装置で大気汚染物質を除去された後、煙突から大気へと放出されます。除去された物質は無害化されて、大部分は大気や水域に排出または副産物として回収されますが、湿式排煙脱硫装置の排水等へ移行するものもあります。これらの排水は、排水処理により無害化されて放流されます。

石炭には灰分が多く含まれているため、集じん装置で捕集される細粒のフライアッシュやボイラ底部に落下した塊状のクリンカアッシュ（ボトムアッシュ）等の石炭灰が大量に発生します。これらの廃棄物についてはセメント原料等として有効利用が図られています。

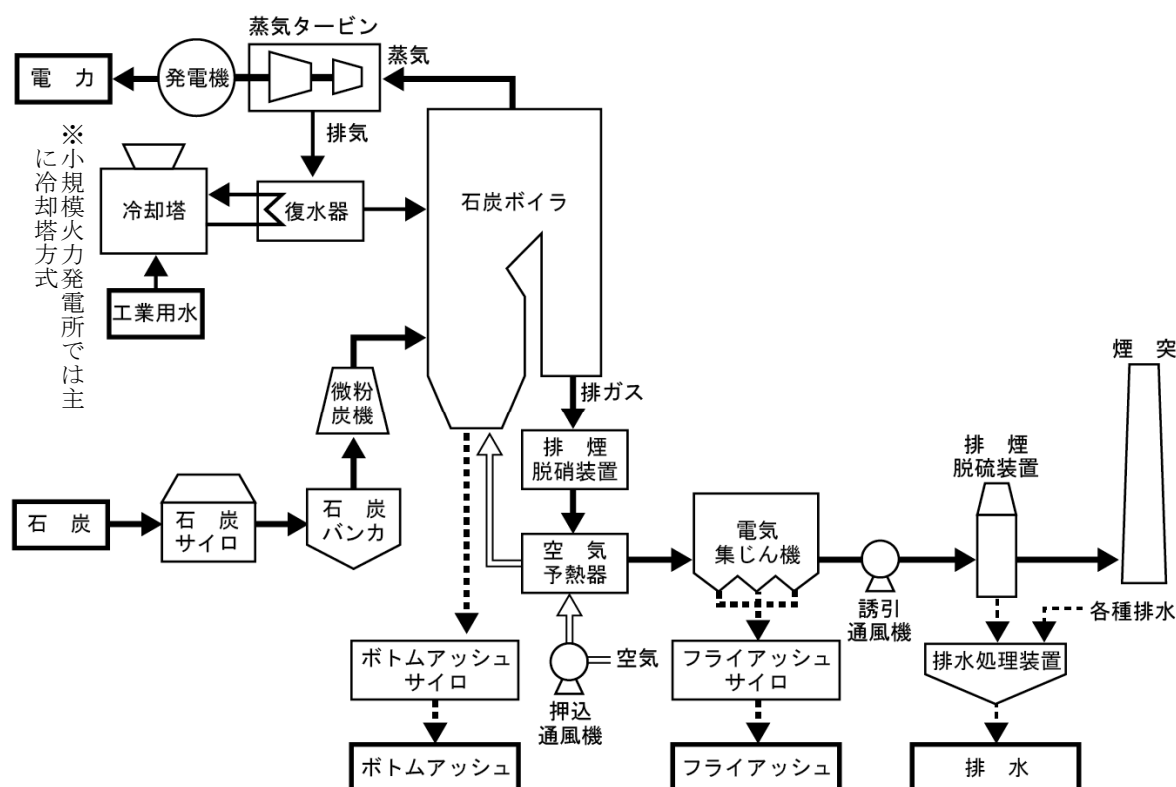


図 5 小規模火力発電所における汽力発電（PC・石炭）の発電設備フロー図

出典：「火力発電総論」（一般社団法人電気学会、平成 14 年）、「進化する火力発電」（高橋毅編著、平成 24 年）、「火力原子力発電必携」（一般社団法人火力原子力発電技術協会、平成 25 年）、「電気工学ハンドブック」（一般社団法人電気学会編、平成 25 年）などを参考に作成。

3. 小規模火力発電所における環境保全対策

3.1 では、火力発電所からの環境影響の程度を勘案し、特に重要な二酸化炭素及び大気汚染物質に係る発電設備及び排ガス処理装置等の技術的な環境保全対策を中心に詳細に整理しています。なお、燃料の選択は、小規模火力発電所における個々の事業者において、事業の目的（既存インフラ（石炭ヤード等）の活用や地域の森林資源の活用、副生残さの処理）及び現実的な燃料調達方法（天然ガスではパイプラインやタンクが必要等）を踏まえて検討されるものであり、必ずしも環境保全の観点からのみから判断されるものではありませんが、可能な限り環境負荷の小さい燃料種が選択されることが望まれます。

3.2 では、その他の環境影響に対する環境保全対策を網羅的に提示しています。また、冷却塔方式の採用等の小規模火力発電所に特徴的なものについても記載しています。

表 3 に示すとおり、環境保全対策の検討に当たっては、回避し、又は低減することを優先し、それでもなお残る環境への影響について代償措置を検討することが重要です。また、1 つの環境保全対策だけに着目するのではなく、発電設備や排ガス処理装置等の環境装置の組み合わせを複数案検討し、二酸化炭素や大気汚染物質の排出等の環境負荷が効果的かつ実行可能な範囲で最大限低減できる環境保全対策を総合的に判断することが重要となります。

表 3 環境保全対策の分類

環境保全対策 の分類	概 要
回避	行為（影響要因となる事業行為）の全体または一部を実行しないことによって影響を回避する（発生させない）こと。重大な影響が予測される環境要素から影響要因を遠ざけることによって影響を発生させないことも回避といえる。 （例） ・燃料に天然ガスを採用することで、硫黄酸化物・ばいじんを発生させない。 ・既存インフラが利用できる場所に立地することで新たな土地の改変を回避する。 ・冷却塔方式の採用により温排水による影響を回避する。
低減	行為（影響要因となる事業行為）の実施の程度または規模を制限することにより、また、発生した影響を何らかの手段で軽減または消失させることにより、影響を最小化するための措置である。 （例） ・バイオマス燃料を混焼し、二酸化炭素排出量を削減する。 ・脱硝装置を設置し、窒素酸化物の排出量を低減する。 ・騒音・振動が発生する設備を住居等から可能な限り離す。
代償	行為（影響要因となる事業行為）の実施により損なわれる環境要素と同種の環境要素を創出すること等により、環境の保全の観点からの価値を代償すること。 （例） ・火力発電所から排出される二酸化炭素排出量を、工場全体の省エネルギーや再生可能エネルギー発電設備の導入等による二酸化炭素排出量の削減量で相殺する。 ・緑地の改変に当たって、代替緑地を創出する。

出典：「環境アセスメント技術ガイド 大気・水・土壌・環境負荷」（環境省総合環境政策局編、平成 18 年）を参考に作成。

3.1 特に重要な環境保全対策

ここでは、特に重要な環境保全対策として二酸化炭素排出削減対策及び大気環境保全対策について、技術的な情報を中心に整理しています。

3.1.1 二酸化炭素排出削減対策

(1) 小規模火力発電所から排出される二酸化炭素

地球温暖化とは、大気中の二酸化炭素等の温室効果ガスの濃度が増加し、地上の温度が上昇する現象です。「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)の第5次評価報告書によると気候システムの温暖化については疑う余地がないと指摘されており、これ以上の影響拡大を防ぐため対策は喫緊の課題となっています。

地球温暖化対策や温室効果ガス排出削減目標については、第四次環境基本計画(平成24年4月27日閣議決定)において、「2050年までに80%の温室効果ガス排出削減」を目指すとの国の長期目標が位置付けられています。さらに、「気候変動に関する国際連合枠組条約」(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)のもとで平成32年(2020年)以降の枠組みについて日本も参加して国際的な議論が進められています。こうした中、我が国の温室効果ガスの大宗を占める二酸化炭素の主要な排出源の1つである火力発電所からの二酸化炭素排出量の削減は非常に重要な課題です。

一般的には火力発電所は規模が小さくなることで、熱効率が低下する傾向にあります。これにより発電電力量当たりの燃料消費量が増大し、結果として発電電力量当たりの二酸化炭素排出量が大規模な火力発電所を建設する場合よりも増加します。例えば、同一の燃料であれば、100万kWの火力発電所を1か所建設するよりも、10万kWの火力発電所を10か所建設する方が、二酸化炭素排出量は大きいことになります。

我が国における火力発電所の稼働による二酸化炭素排出量を低減するためには、小規模火力発電所においても、二酸化炭素排出量の小さい燃料の選択を検討した上で、実行可能な最大限の環境保全対策を実施することが重要です。

(2) 小規模火力発電所における主要な二酸化炭素排出削減対策

a) 燃料の選択

二酸化炭素排出量の小さい単位発熱量当たりの炭素含有量が少ない燃料が採用されることが地球温暖化対策上重要です。小規模火力発電所の場合、燃料の選択は、必ずしも環境保全の観点からのみで判断されるものではありませんが、可能な限り環境負荷の小さい燃料の選択を、混焼を含め、検討した上で、その他の実行可能な環境保全対策を慎重に検討することが望まれます。

(参考) 主な燃料の発熱量と炭素排出係数の例

燃料	発熱量 (GJ/固有単位)	炭素排出係数 (tC/GJ)
一般炭	25.7 GJ/t	0.0247
A 重油	39.1 GJ/kl	0.0189
B・C 重油	41.9 GJ/kl	0.0195
石油コークス	29.9 GJ/t	0.0254
LNG	54.6 GJ/t	0.0135
都市ガス	44.8 GJ/1,000Nm ³	0.0136

※：例えば、一般炭 1t を燃焼した場合の二酸化炭素排出量は下記の式で計算される。

$$1 \text{ (t)} \times 25.7 \text{ (GJ/t)} \times 0.0247 \text{ (tC/GJ)} \times 44 \text{ (tCO}_2\text{)} \div 12 \text{ (tC)} = 2.33 \text{ (tCO}_2\text{/t)}$$

なお、標準発熱量は HHV で表示される。(HHV と LHV の関係については 4 ページ参照。)

出典：地球温暖化対策の推進に関する法律施行令（平成 14 年政令 143 号）より作成

小規模火力発電所においては、低品位の石炭や副生燃料（製油所での重質な副生残さ等）、廃棄物燃料⁶等の大規模な火力発電所では採用されることが少ない燃料を利用する場合（混焼を含む。）があり、廃棄物量の縮減や燃料種の多様化による安定供給の確保の面で優位になりますが、二酸化炭素の排出係数が高くなる可能性があります。

(参考) 石炭の種類による二酸化炭素排出係数の違い

石炭の種類	低位発熱量 (GJ/t) (デフォルト値)	炭素排出係数 (kgC/GJ) (デフォルト値)
Anthracite (無煙炭)	26.7	26.8
Coking Coal (原料炭)	28.2	25.8
Other Bituminous Coal (他の瀝青炭 (一般炭))	25.8	25.8
Sub-Bituminous Coal (亜瀝青炭)	18.9	26.2
Lignite (褐炭)	11.9	27.6

出典：“2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”より作成。

⁶ 廃棄物燃料とは、本ガイドラインでは、建設発生木材のような廃棄物等を燃料化したものを指しています。

b) バイオマス燃料の混焼

木材などのバイオマスに含まれる炭素は、植物が光合成により大気中から吸収した二酸化炭素に由来するため、燃焼しても追加的な二酸化炭素の排出になりません⁷。また、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では、化石燃料等を用いた場合の一般的な発電単価よりも高い水準での一定期間の買い取りが、バイオマス燃料とする場合にも保証されています⁸。これらを背景に、バイオマスを専焼する、または石炭等と混焼する発電事業が進められています。

固体燃料を燃焼可能な汽力発電では、主に建設廃材を含む木質バイオマスが採用されており、現在、1万kW前後の未利用材を含む木質バイオマス専焼及び数万～11万kW級の石炭等と混焼を行う事業・計画があります。

汽力発電のボイラの燃焼方式は、燃料の流動形態の面から、固定床、流動床、噴流床（気流搬送；PC）に区分されますが、小規模火力発電所では、大規模な火力発電所で主に採用されているPCに加え、CFBが採用されています。表6にバイオマス混焼からみた両方式の特徴を示します。

PCでは、高い混焼率を実現する場合のバイオマス燃料については、高品位な木質ペレットが利用されます。しかし、現在の国内の木質ペレット工場の生産規模は大きくても数万t/年です。一方で、11万kW級の火力発電所では、石炭換算で30万t/年以上の燃料を消費することとなり、熱量の小さい木質ペレットではそれ以上の量が必要となります。このため、既存の国内供給ルートでは木質ペレットの供給量が不足し、国外からの輸入に頼らざるを得ないケースが想定されます。CFBにおいては、木質ペレットを含む多様なバイオマス燃料を利用できるため、比較的量を確保しやすいですが、調達範囲を発電所周辺に限定すると、やはり不足する可能性があります。

このため、小規模火力発電所においてバイオマス燃料を大量に使用するためには、発電事業者自身による十分な調達量や貯留スペースの確保に加え、国外からの輸入や大型の貯留地も含めた供給ルートの構築などの条件整備が課題となります。

なお、PCにおける高比率混焼では、前述のように比較的加工度が高いバイオマス燃料が用いられます。このため、加工や輸送工程のエネルギー消費量もできる限り低減することなどにより、バイオマス燃料による温室効果ガスの削減効果を総合的に向上することが求められます⁹。

⁷ 現在の温室効果ガス排出量の算定ルール上は、伐採木材製品は、森林を伐採・搬出した時点で排出として計上されており、燃焼しても排出量は計上しないことになっています。

⁸ 現時点で、バイオマスについては、メタン発酵ガス（バイオマス由来）、間伐等により発生する未利用の木質バイオマス（輸入されたものを除く）、一般木質バイオマス・農作物残さ、建設資材廃棄物、一般廃棄物その他のバイオマスに区分して、それぞれ買取価格が設定されています。これらの区分方法や買取価格などは毎年見直される可能性があります。個々の発電事業ごとには売電開始時点での価格が一定期間（バイオマスは20年間）保証されています。なお、「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」（林野庁、平成24年6月）に基づく証明のない場合は、最も買取価格の安い建設資材廃棄物として取り扱うこととなっています。

⁹ 「バイオ燃料の温室効果ガス削減効果に関するLCAガイドライン Ver.1.0」（環境省、平成22年3月）

表 6 バイオマス混焼からみた汽力発電のボイラの特徴

		微粉炭方式 (PC)	循環流動床方式 (CFB)
採用可能なバイオマスの種類・特性		木質ペレットや木質チップなど品質の良い性状が均質のものを微粉碎して用いる。	- 長い燃焼時間が確保できることから、多様な固体燃料を燃焼可能である。このため、木質ペレットや木質チップに加え、林地残材や建設廃材、パームやし殻など各種のバイオマス燃料を採用することが可能である。 2 種以上のバイオマス燃料種の混焼事例もある。
混焼率	現時点で技術的に可能な水準	既存の微粉炭機に少量の木質チップを混合して破碎する方式では数%程度である。	バイオマスを 100%専焼することも可能である。
	実際の事例	既存の微粉炭機混合破碎方式により、1～数%混焼している事例が、大規模な火力発電所を含め複数ある。	- 専焼については、国内では最大で 3 万 kW 程度の事例があり、7.5 万 kW の計画が公表された。 - 混焼については、70%混焼で 5 万 kW、30%混焼で 8 万 kW 相当などの事例がある。
	今後の技術開発の動向	- 石炭とは別に、木質ペレットを単独で粉碎する方式により、熱量比で 30～50%程度混焼可能とする技術開発が進められており、実際に 30%混焼し、石油火力並みの二酸化炭素排出係数に低減する計画が公表されている。 - 木質ペレット以外に半炭化（トレフアクション）により粉碎性等を高めることで高い混焼率を可能とする研究開発が進められている。	- 高い混焼率でも石炭専焼に匹敵する発電効率を達成するために、従来よりも蒸気条件の高温・高圧化が検討されている。 - なお、バイオマスの種類によっては、含有成分による腐食リスクがあることから、高い混焼率では留意が必要。
留意事項		- 品質の良い木質ペレットを多量使用するためには、国内の供給ルートのみでは十分な量を確保できず、国外からの輸入を行う必要がある。 - 木質ペレットは、原料となる粉碎された木材を圧縮成型して加工した高品質な燃料であり、石炭と比べて必ずしも安価ではない。 - 木質ペレットを微粉碎するための専用ミルが必要な場合がある。	- 多様なバイオマス燃料を利用できることから、発電規模・混焼率によっては国内でも十分な量を確保できる可能性がある。 - 一方で、利用可能なバイオマスの種類や量は地域特性により異なり、分散して発生するものが多く、運搬経費等も踏まえれば収集可能な地理的範囲には限界がある。 - 対象燃料に異物・不純分などを含む場合には、異物除去などの前処理等の対策が必要である。また、設備の摩耗・腐食に対応するための維持管理に留意が必要。
		- バイオマスは、かさ密度が小さいため、石炭と比べて貯留に必要な面積が大きい。 - 雨水対策等が必要である。	

c) 発電効率の高い設備の導入

事業の目的や使用する燃料により採用される発電方式は異なりますが、それぞれの発電方式・出力規模の中で最も効率の良い発電設備が選ばれる傾向にあります。特に、近年、売電を主な目的とした 11 万 kW 級の小規模火力発電所では、15～20 万 kW 級に匹敵する高い発電効率の発電設備が計画されています。

表 7 に現時点で計画されている発電設備の発電効率（汽力；固体燃料）を、表 8 に現時点で達成可能な発電設備の発電効率（気体燃料）を示します。なお、発電効率は、発電のみを行う場合の値であり、蒸気利用も行う場合にはこれより低下することがあります。

表 7 現時点で計画されている発電設備の発電効率（汽力；固体燃料）

発電方式 (原動力の種類)	規模 (単機出力)	燃料種	発電端効率 (%)		送電端効率 (%)		所内率 (%)
			HHV	LHV	HHV	LHV	
汽力 (PC)	11 万 kW	石炭(瀝青炭)等	39.5	41.5	36.5	38	8
汽力 (CFB)	11 万 kW	石炭、バイオマス (50%混焼)	37.5 ^{※1}	39.5 ^{※1}	※2		

※1：PC とは燃料種等の条件が異なっているため、発電効率を単純に比較することはできないことに留意すること。なお、ここでは便宜上石炭の関係式で計算しているが、バイオマスと石炭とでは含水率等の違いより、HHV と LHV の関係が異なる（4 ページ参照）。

※2：計画事例での所内率及び送電端効率は不明だが、PC に比べて CFB の所内率は 2%程度高いことが見込まれている。（送電端効率＝発電端効率 ×（1－所内率）。）

表 8 現時点で達成可能な発電設備の発電効率（気体燃料）

発電方式 (原動力の種類)	規模 (単機出力)	燃料種	発電端効率 (%)	
			HHV	LHV
GTCC	10 万 kW 程度	天然ガス	49	54
GT	3 万 kW 程度		36	40
	10 万 kW 程度		40	44
GE	8,000kW 程度		44	49

※1：GTCC については、基本的には補機動力控除後の仕様値を掲載しているが、環境保全装置の付加などにより、これよりも低下する可能性がある。

※2：ガスの HHV 基準の発電効率は、LHV = HHV/ 0.9 として計算した。（HHV と LHV の関係については 4 ページ参照。）

出典：“Gas Turbine World 2014 Performance Specs” (Pequot Publishing Inc.、平成 26 年)、「天然ガスコージェネレーション機器データ 2013」(日本工業出版株式会社、平成 25 年)より作成。

汽力発電及び GTCC 発電では、高効率の原動力（ボイラ等）に加えて、タービンや発電機等を含め発電設備全体として最適な発電効率となるよう設計されます。PC と CFB では、同一の蒸気条件であればタービンや発電機の効率は同様ですが、燃料の性状等によるボイラ効率の差によって発電効率が異なります。CFB では媒体の流動のための動力が必要なことから、PC と比べて所内率が高くなり、発電端効率が同等でも送電端効率は低下しますが、サイクロン内部に回転ロータを設置して未燃分の回収効率を高める工夫を行い、ボイラ効率を向上させている事例があります。

これまでの火力発電所は規模の大型化に伴い、蒸気を高温・高圧化することで、発電効率を大幅に向上してきました。一方、従来の小規模火力発電設備では、蒸気条件が高温・高圧のものでも、非再熱方式で蒸気温度が 530℃程度、蒸気圧力が 12MPa 程度ですが、近年の 11 万 kW 級の発電所の計画では、15～20 万 kW 程度発電所と同様に、再熱方式を採用し、主蒸気の温度を 566℃、蒸気圧力を 17MPa 程度にまで向上させています。また、発電端効率の向上の他にも、所内動力や送電ロスの削減も対策として考えられます。

なお、発電効率の向上による燃料消費量の低減は、発電電力量当たりの排ガス量の低減、すなわち、大気汚染物質の排出量に、また、発電電力量当たりの排熱量の減少、すなわち、温排水の排出量の減少にもつながります。このように、発電効率の向上は、地球温暖化対策以外の面でも効果があります。

d) コージェネレーションの導入

発電と同時に、発生する蒸気や排熱¹⁰を利用するコージェネレーションにより、総合的なエネルギー利用効率を高めることができます。このため、周辺に安定した熱需要がある場合には、コージェネレーションの導入を積極的に検討することが求められます。特に、小規模火力発電所においては、発電設備の規模が小さくなり、発電効率が低下することから、総合的なエネルギー利用効率を向上させるために、積極的にコージェネレーションを採用することが重要です。これまでの小規模火力発電所では、工場等の熱需要を賄いつつ、主に自家消費のための発電を行う目的で、コージェネレーションは導入されていますが、小規模火力発電所を設置する周辺の熱需要も勘案して、コージェネレーションの導入を検討することが重要です。

コージェネレーションの導入においては、熱・電気の需要規模や比率（熱電比）等を踏まえ、高い総合的なエネルギー利用効率確保ができるようなシステムを事業計画段階から検討する必要があります。その際、電気が熱に比べエネルギーとして質が高い（仕事に変換できる割合が高い）ことを踏まえれば、発電効率をできるだけ向上させた上で、必要な温度の熱を取り出せる方式が選択されることが一般的には望ましいと考えられます。さらに、生産設備などにおける熱需要の削減等の省エネルギー対策を実施した上で、コージェネレーションを導入することが総合的な省エネルギーにつながると考えられます。

以下に、発電方式（原動力の種類）別のコージェネレーション利用上の特徴を説明します。

汽力発電では、蒸気の取り出し方に応じた複数のタービンの種類があり、事業の目的に応じて、大量の蒸気利用を行うことも、必要に応じた蒸気の量を取り出すことも可能です。表 9 に汽力発電における蒸気利用からみたタービンの種類を示します。汽力発電においては、利用する蒸気の量などに応じ、抽気復水タービンまたは背圧タービンなどが用いられます。エネルギーの有効利用のためには発電専用と同様に蒸気条件の高温・高圧化が求められます。なお、再熱サイクルにおける抽気蒸気の利用は、再熱化により発電効率を向上させつつ、蒸気利用も行えるものの、抽気蒸気量の変動や設備の複雑化への対応が必要となるなどの課題があります。

表 9 汽力発電における蒸気利用からみたタービンの種類

タービンの種類	コージェネレーション利用上の特徴	採用事例※1
復水タービン	蒸気タービンの排気の全量を復水器で凝縮させて水に戻す方式で、最も発電効率が上がる。復水器では大気圧以下の真空（負圧）状態にすることで、蒸気タービンの効率が上がる。	大規模火力発電所を含め発電専用で数多く採用されている。
抽気復水タービン	蒸気タービンの途中で蒸気の一部を取り出して利用し、残りの蒸気で発電し、復水器に通す方式で、比較的高い発電効率と蒸気利用を両立できる。蒸気使用量の変動が大きく、相対的に電気の使用量が大きい場合に用いられる。抽気では、排気よりも高温・高圧の蒸気を利用することができる。	蒸気を必要とする工場などで多数採用されているが、15 万 kW を超える規模では少ない。

※1：タービン種類別の出力規模別の設置状況は、「火力・原子力発電所設備要覧（23 年改訂版）」（一般社団法人火力原子力発電技術協会、平成 24 年）掲載情報より記述。

¹⁰ コージェネレーションという用語は、発電に用いる GT や GE など内燃機関の排熱を利用するシステムのみを指す場合もあります。本ガイドラインでは、ボイラ蒸気を発電と熱利用の両方に用いる場合も含めて熱電併給（熱併給発電）として広義に用いています。

表 9 汽力発電における蒸気利用からみたタービンの種類（続き）

タービンの種類	コジェネレーション利用上の特徴	採用事例 ^{※1}
背圧タービン	タービン出口の排気圧力を大気圧力以上（正圧）とし、復水せずに、そのままタービン外の工場などで全量の蒸気を利用する方式。発電効率は低下するが、大量の蒸気利用が可能となる。	電気に比べ蒸気を多く必要とする工場などで多く採用されており、3 万 kW 未満がほとんどである。
抽気背圧タービン	2 種類以上の圧力の蒸気が必要な場合に用いられる。タービンに供給された蒸気を、抽気及び排気で利用する。	電気に比べ蒸気を多く必要とする工場などで多く採用されており、10 万 kW 未満で採用されている。

※1：タービン種類別の出力規模別の設置状況は、「火力・原子力発電所設備要覧（23 年改訂版）」（一般社団法人火力原子力発電技術協会、平成 24 年）掲載情報より。

GT 発電では、GT の排ガス温度が高いため、排熱回収ボイラにより蒸気利用が可能です。GT と排熱回収ボイラを単純に組み合わせたシステムでは、発電出力と発生蒸気量の比率は基本的には一定となりますが、さらに蒸気タービンと組み合わせて余剰蒸気により発電も行うシステムでは、熱電比の可変性を高めることが可能です。

GE は、同一出力規模での単体での発電効率は GT より高いですが、ボイラを設置して取り出せる蒸気量は GT より少なく、排熱としては温水の割合も多いため、熱電比が低い場合（熱に対して電気の需要が大きい場合。）に向いています。

（参考）コジェネレーション導入による二酸化炭素排出量の削減効果の評価手法

コジェネレーションシステムの導入に当たっては、熱と電気の両方が供給されることから、その両者を勘案した定量的な二酸化炭素排出量の削減効果の評価するための手法が必要です。

①二酸化炭素排出削減量による評価

コジェネレーションの導入による二酸化炭素排出量の削減量は、導入しない場合との比較で評価されます。導入しない場合の排出量は、コジェネレーション導入前の排出量や、当該コジェネレーションを導入しなかった場合の仮想シナリオ（ベースライン）による排出量を用いることが考えられます。

前者では、現況よりも悪化しないと評価できます。後者では、ベースラインについてコジェネレーションで代替される系統電力や熱供給のそれぞれの二酸化炭素排出量（排出係数）を定める必要がある点が、削減効果の評価上の留意点となります。「J-クレジット制度」における方法論（「方法論 EN-S-007 (ver.1.0) コージェネレーションの導入」（平成 25 年））などが参考になります。

②電気の二酸化炭素排出係数による評価

地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年法律第 117 号）に基づく算定・報告・公表制度においては、電気事業者が排出係数（ kgCO_2/kWh ）を算定するための方法が示されており、コジェネレーションの場合の二酸化炭素排出量を電気と熱に配分する方法も示されています。これは、二酸化炭素排出量を、電気と熱のそれぞれの熱量で単純に按分するのではなく、電気と熱をそれぞれ単独で得る場合の（標準的な）熱効率で割り戻して按分する方法です。この方法で求められるコジェネレーションによる電気の二酸化炭素排出係数は、発電単独の場合の二酸化炭素排出係数と比べて、大きく低下する場合があります。

3.1.2 大気環境保全対策

(1) 大気汚染と小規模火力発電所

我が国では、高度経済成長に伴って、工場から排出されるばい煙や、急速な都市化や交通量の増加に伴う排気ガスの増加などによる大気汚染問題が、全国各地で深刻化し、ばい煙等に含まれる硫黄酸化物（以下、3.1.2では「SO_x」といいます。）等による影響が問題となりました。その後、各企業が脱硫・脱硝・集じんに関する技術開発や工場・事業所等への排煙処理装置等の導入を行うことで、大気汚染の状況は改善してきています。例えば、平成24年度の一般環境大気測定局における二酸化窒素の環境基準達成率は100%、二酸化硫黄の環境基準達成率は99.7%となっています¹¹。

火力発電所においては、化石燃料を燃焼することにより、燃料の性状に応じて、SO_xや窒素酸化物（以下、3.1.2では「NO_x」といいます。）、ばいじん、水銀等の重金属等の大気汚染物質が大気中に放出されます。この量の低減が、大気汚染防止に向けた課題となります。

排ガス中の大気汚染物質は、そのほとんどが燃料の成分に由来していますが、NO_xは、燃料中の窒素分が酸化して生じるもの（Fuel（フューエル）NO_x）に加え、空気中の窒素分が燃焼過程の高温下で酸化して生じるもの（Thermal（サーマル）NO_x）があります。

なお、SO_x、NO_x及びばいじんについては、火力発電所の燃焼設備（ボイラ、GT、GE等）がばい煙発生施設として、大気汚染防止法（昭和43年法律第97号）で規制されています。

小規模火力発電所は、大規模な火力発電所と比べると熱効率が低いため、燃料種が同じであれば発電電力量当たりの大気汚染物質の量は多くなる傾向があります。製造業等が設置する小規模火力発電所の燃料は、工場等から排出される副生燃料・副生残さ等を使用する場合も多く、燃料中の硫黄分や窒素分などの割合が高い重質燃料の場合には特に大気汚染防止対策の重要度が増します。なお、廃棄物燃料が用いられる場合、その性状によっては、廃棄物焼却施設と同様にダイオキシン類等の対策が求められます。

大気環境保全対策に係る小規模火力発電所に特徴的な発電方式（燃焼設備）として、下記の2つがあげられます。発電方式により大気汚染物質の発生濃度（炉出口濃度）が異なること等から、発電方式に応じた適切な排ガス処理システムを採用する必要があります。

- ① 石炭等の固体燃料の場合、PCの他、CFBが挙げられます。CFBでは炉内脱硫・脱硝が可能です。
- ② ガスの場合、GTやGEが挙げられます。GEは、同一燃料でも発生するNO_xの濃度がGTより高くなる傾向にあります。また、複数の発電設備を設置し、1つの小規模火力発電所とする事業・計画もあります。

なお、GTに採用できる排ガス処理方式は、基本的にはGTCCにも採用できます。

¹¹ 「平成26年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」（平成26年6月6日閣議決定）

(2) 小規模火力発電所における主要な大気環境保全対策

a) 燃料の選択

小規模火力発電所では、石炭を中心に、ガスや副生燃料、バイオマス等の多様な燃料が、混焼も含め使用されることが想定されますが、燃料の性状（含有硫黄分や含有窒素分、灰分、発熱量等）によって、発生する大気汚染物質の種類及び量は異なります。

例えば天然ガスについては、発生する大気汚染物質は主に NO_x のみであり、その量も比較的少ないですが、石炭は NO_x に加え、 SO_x やばいじん等も発生します。また、石炭には水銀等の重金属が含まれており、これについても十分な対策を講じていく必要があります。

燃料の選択は、事業計画に関わるものであり、必ずしも環境保全の観点からのみで判断されるものではありません。ただし、燃料の種類は、排ガス中の大気汚染物質に影響を与えることから、検討段階から使用予定の燃料の特性を十分に把握し、大気汚染物質の発生抑制、除去等の実行可能な環境保全対策を検討することが重要です。（表 10 参照。）

表 10 燃料種と排ガス含有物質及び環境対策装置の関係

燃料種		排ガス含有物質			環境対策装置		
		NO_x	ばいじん	SO_x	脱硝装置	集じん装置	脱硫装置
石 炭		○	○	○	○	○	○
石 油	高硫黄分	○	○	○	○	○	○
	低硫黄分	○	○	—	○	○	—
天然ガス		○	—	—	○	—	—

出典：「火力発電所（全体計画と付属設備）（改訂版）Ⅲ．環境対策」（火力原子力発電、平成 25 年 7 月）より作成。

なお、石炭を燃料とする場合には、石炭の運搬や貯留時に屋外貯炭場等から石炭粉じんが飛散するおそれがあります。その対策として、石炭の貯蔵・運搬に当たって密閉構造を採用する（貯蔵にサイロ方式を採用、運炭用のベルトコンベアを密閉構造にする。）ことや、屋外に貯炭場（石炭ヤード）を設置する場合の散水や表面硬化剤の散布、貯炭場周囲への防じんネット設置などの飛散防止対策が挙げられます。

b) 燃焼過程における発生抑制

(a) 窒素酸化物 (NO_x)

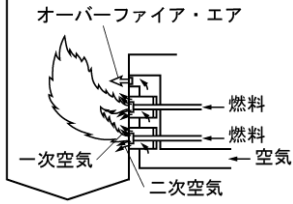
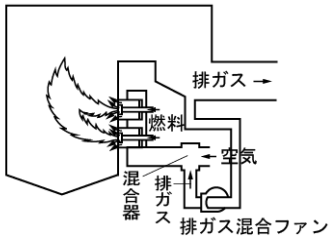
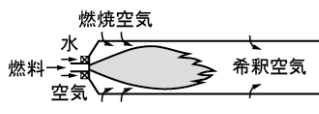
火力発電所から排出される排ガス中の NO_x のうちサーマル NO_x の割合は、燃料が石炭の場合は約 2 割、天然ガスの場合は全となります。

このサーマル NO_x の発生抑制方法として、PC や GT 等においては NO_x 低減のための燃焼方法の工夫及び低 NO_x バーナの採用があげられます。なお、CFB においては、800～900℃程度と燃焼温度が低いため、サーマル NO_x が比較的発生しにくいという特徴があります。

(燃焼方法の工夫等)

表 11 に燃焼方法とその特徴を示します。PC では、二段燃焼法や排ガス混合燃焼法があります。GT では、水蒸気や水を燃焼室に送ることにより、燃焼温度を低下させて NO_x の低減を図る方法があります。ただし、一般に燃焼温度を低下させると熱効率が低下するので、留意が必要です。

表 11 燃焼方法とその特徴

燃焼方式	二段燃焼法	排ガス混合燃焼法	水蒸気又は水吹き込み
概念図			
特徴	燃焼用空気を二段階に分けて供給し、急激な燃焼反応を抑制することで、 NO_x の生成を抑制する。	燃焼排ガスの一部を燃焼用空気に混合し燃焼することで、火炎の最高温度を低下させ NO_x の生成を抑制する。	燃焼火炎中に水蒸気又は水を吹き込むことによって燃焼温度を低下させ、サーマル NO_x の低減を図る。

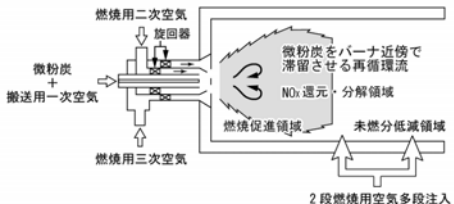
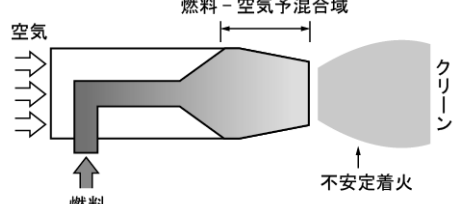
出典：「火力発電所の環境保全技術・設備（改訂版）Ⅰ．火力発電所の環境保全対策の概説」（火力原子力発電、平成 24 年 4 月）及び「火力発電所での窒素酸化物（ NO_x ）低減技術開発の歴史（5）」（火力原子力発電、平成 25 年 4 月）より作成。

また、GE では、燃料の希薄化により 1 万 kW 弱の出力規模で 200ppm（酸素濃度 0%）のエンジン出口濃度を達成しています。

(低 NO_x バーナの採用)

表 12 に低 NO_x バーナの方式とその特徴を示します。PC では、現在実用化のものとして、急速燃焼型や緩慢燃焼型、分割火炎型、自己再循環型などがあり、これにより NO_x の発生濃度は 80～130ppm（酸素濃度 6%）程度です。近年、低 NO_x バーナの性能向上が進められており、従来と比べて NO_x 発生量が更に約 3～4 割抑制され、発生濃度は 40～80ppm（酸素濃度 6%）となります。GT では、燃料を燃焼室に噴射する際に予め空気と十分に混合することで燃焼室内の温度分布を低く均一なものとする希薄予混合型により、3 万 kW 級で 15ppm（酸素濃度 15%）のタービン出口濃度を達成しています。

表 12 低 NO_x バーナの方式とその特徴

形式	構成	特徴
段階的燃焼型		段階的燃焼によって、1 段目で酸素濃度の低い燃焼状態を作ることによって NO_x を低減させる方法である。 PC で多数採用されている。
希薄予混合型		燃焼前にあらかじめ燃料と空気の均一な混合気体を作って燃焼させ、局所的に発生する高温域を小さくし、火炎温度自体も低下させることによって、NO_x を低減させる方法である。 GT で採用されている。

出典：「新・公害防止の技術と法規 2014 大気編」（社団法人産業環境管理協会、平成 26 年）、「火力発電所での窒素酸化物（NO_x）低減技術開発の歴史（2）」（火力原子力発電）及び「火力発電総論」（一般社団法人電気学会、平成 14 年 10 月）を参考に作成。

c) 処理装置等による除去

(a) 硫黄酸化物（SO_x）

SO_x は、燃料に含まれる硫黄分が燃焼過程で SO_x に転換して発生し、その量は燃料の成分に依存します。

（燃焼装置内での処理）

CFB では、炉内への石灰石の吹込みによる炉内脱硫が可能です。これにより最大で燃料中の窒素分の 90%程度を脱硫できます。

（排煙の処理）

表 13 に排煙の脱硫方式とその特徴を、図 6 に脱硫装置の方式別概念図を示します。小規模火力発電所では、PC 等において、湿式脱硫装置が多く採用されており、主に処理装置がシンプルな水酸化マグネシウム法と大規模な火力発電所でも採用されている石灰石-石こう法（反応生成物を石こうとして回収）が採用されています。どちらもほぼ同じ原理であり、技術的に排ガス中の硫黄分の 99%程度を脱硫できます。

湿式脱硫装置は、SO_x の除去のみならず、ばいじんなどの不純分が除去されるなどの大気環境保全上のメリットがあります。一方で、脱硫排水が生じるため、その処理を適切に行う必要があり、排水の排出量は石灰石-石こう法より水酸化マグネシウム法の方が多くなります。

なお、大規模な火力発電所では、活性炭（活性コークス）を用いた乾式脱硫脱硝装置により脱硫脱硝を同時に行っている事例があります。脱硫効率は 98%以上、脱硝効率は活性炭（活性コークス）の状態によりますが 40～80%程度です。この方式は、設備の設置面積が比較的小さい、用水使用量が少なく済むなどのメリットがあります。

表 13 排煙の脱硫方式とその特徴

脱硫方式	石灰石・石こう法	水酸化マグネシウム法	活性炭法 (同時脱硝・脱硫法)
脱硫効率	99%	99%	98%以上
反応剤	石灰石(炭酸カルシウム) 消石灰(水酸化カルシウム)	水酸化マグネシウム	活性炭(活性コークス)《吸着》
副生品	石こう	硫酸マグネシウム(放流)	硫酸、石こう
利点	・石灰石及び石こうの取り扱いが容易である。	・他方式と比較して、簡易で設備費が安価である。	・装置の設置面積が比較的小さい。 ・用水の使用量が少ない。 ・水銀やダイオキシン類も同時に吸着が可能。
留意点	・石灰石(消石灰)の調達先及び副生品としての石こうの販路を確保する必要がある。 ・石灰石や石こうを貯蔵等するための敷地が必要となる。	・石灰石・石こう法と比較して、排水量が多い。	・本設備の設計上、設備高さが高くなる ・活性炭を触媒とするため、高温の排ガスには不適である。
適用先等	・火力発電所で広く普及している方式であり、小規模火力発電所での事例もある。	・小規模火力発電所での事例が多い。	・大規模な火力発電所での事例がある。

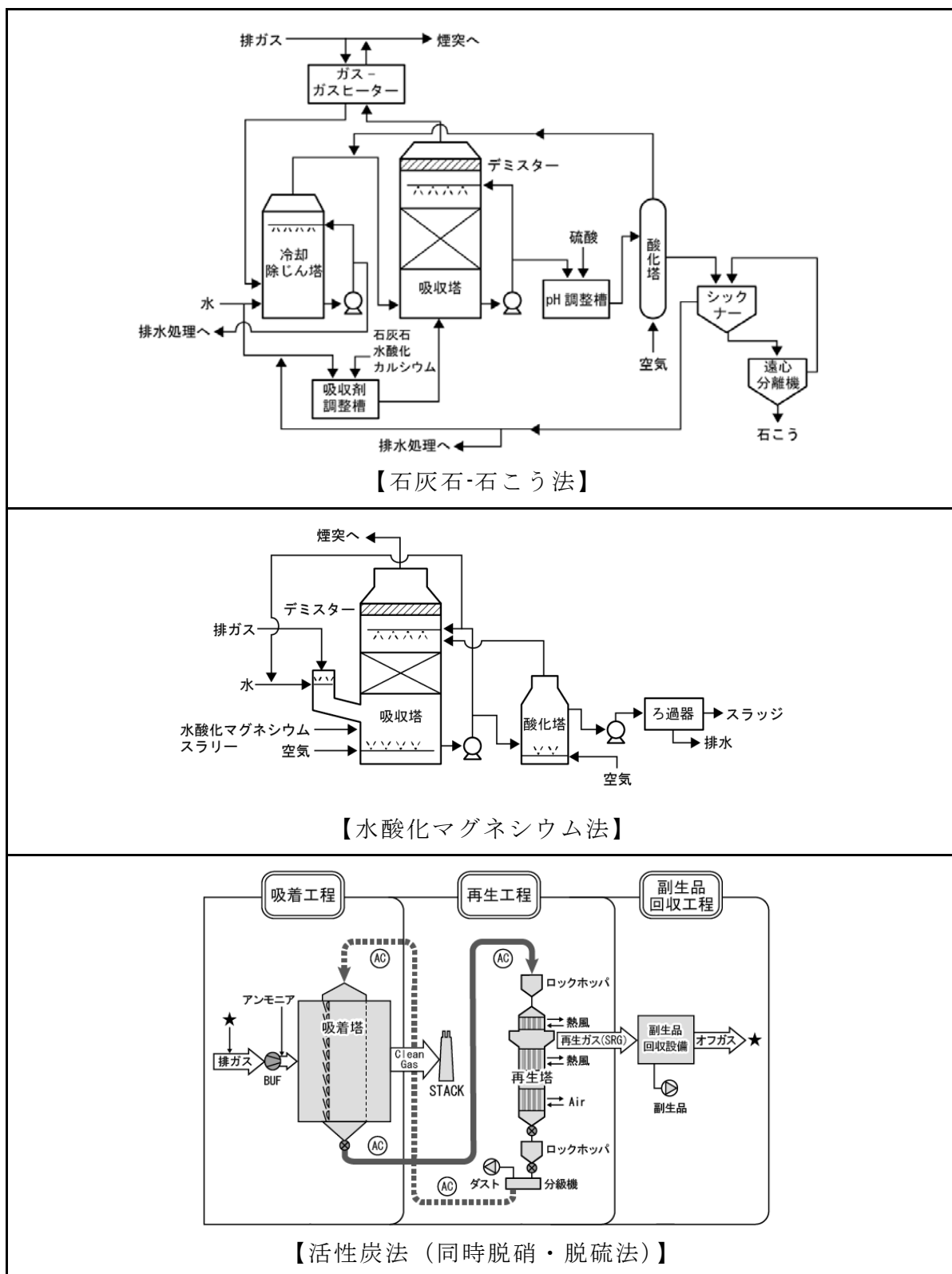


図 6 脱硫装置の方式別概念図

出典：「新・公害防止の技術と管理」（平成 26 年 1 月、社団法人産業環境管理協会）、「石炭火力発電所の高効率発電と環境保全対策」（外村健次郎、エネルギーレビュー、平成 23 年 12 月）より作成。

(b) 窒素酸化物 (NO_x)

NO_x は、サーマル NO_x の発生に加えて、燃料に含まれる窒素分が燃焼過程で NO_x に転換するフューエル NO_x も発生します。燃料由来のフューエル NO_x の発生量は、燃料の成分に依存します。

(燃焼装置内での処理)

CFB では、炉内 (サイクロン部分) へのアンモニアの吹込みによる炉内脱硝が可能です。これにより、発生する NO_x の 50% 程度を脱硝できます。

(排煙の処理)

表 14 に排煙の脱硝方式とその特徴を、図 7 に脱硝装置の方式別概念図を示します。小規模火力発電所では、PC や GT、GE 等において、大規模な火力発電所に採用されているアンモニア等を還元剤とする乾式の選択接触還元法 (触媒を利用) が主に採用されています。燃料種や原動力の種類によらず排ガスに含まれる NO_x の 90% 以上を脱硝できます。還元剤 (アンモニア等) が未反応のまま排出されるリークアンモニアによる悪臭対策を検討する必要があります。

なお、大規模な火力発電所では、活性炭 (活性コークス) を用いた乾式脱硫脱硝装置により脱硫脱硝を同時に行っている事例があります。脱硫効率は 98% 以上、脱硝効率は活性炭 (活性コークス) の状態によりますが 40~80% 程度です。この方式は、設備の設置面積が比較的小さい、用水使用量が少なく済むなどのメリットがあります。【前掲】

表 14 排煙の脱硝方式とその特徴

脱硝方式	選択接触還元法	活性炭法 (同時脱硝・脱硫法)
脱硝効率	90%以上	40~80%程度
反応剤	アンモニア 尿素水	アンモニア
触媒	酸化チタン等	活性炭 (活性コークス)
利点	・装置の構成が単純であり、大量の排煙処理に適している。	・装置の設置面積が比較的小さい。 ・用水の使用量が少ない。 ・水銀やダイオキシン類も同時に吸着が可能。
留意点	・脱硝効率を上げるために、アンモニアの投入量を増加する場合には、リークアンモニアによる悪臭対策に留意する必要がある。	・本設備の設計上、設備高さが高くなる ・活性炭を触媒とするため、高温の排ガスには不適である。
適用先等	・火力発電所で広く普及している方式であり、小規模火力発電所でも多く採用されている。	・大規模な火力発電所で事例がある。

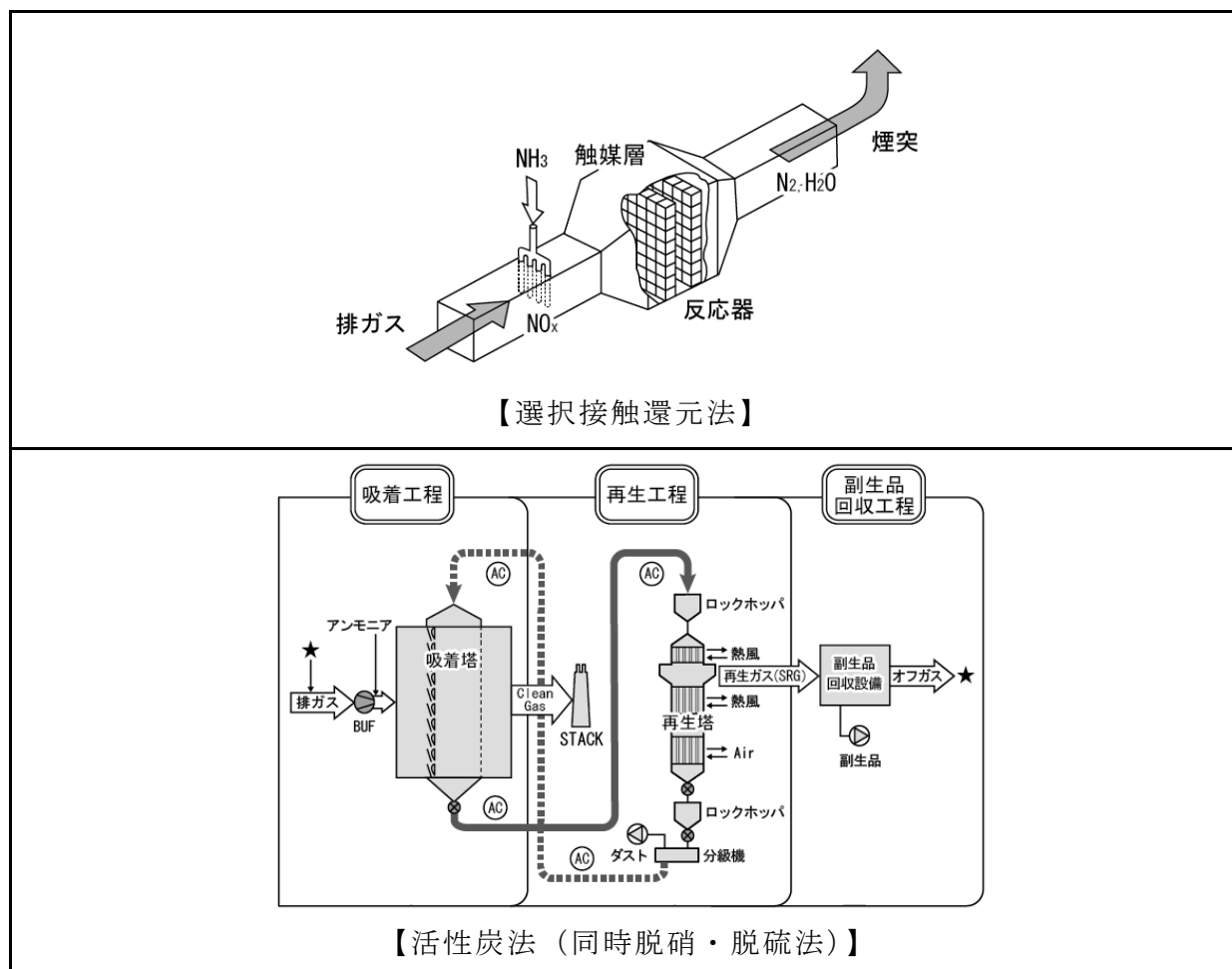


図 7 脱硝装置の方式別概念図

出典：「排煙脱硝装置の最新技術」（小澤政弘他、石川島播磨技報、平成 11 年）、「石炭火力発電所の高効率発電と環境保全対策」（外村健次郎、エネルギーレビュー、平成 23 年 12 月）を参考に作成。

（GE を複数台設置する場合）

GE 発電設備を複数台設置し、10 万 kW 級の発電所を設置する事業・計画があります。GE 単体からの NO_x 排出量は小さいですが、排出濃度は GT と比べて高濃度であるため、特に複数台設置された場合には、その環境影響は大きいものになると考えられます。

このような事業の場合においては、NO_x の排出濃度が小さい発電設備を採用した上で、発電所の運用形態を踏まえ、個々の GE 又は GE 複数台のユニットごとに選択接触還元法等の脱硝装置を設置し、NO_x の総排出量の低減を図ることが重要です。

(c) 浮遊粒子状物質（ばいじん）

燃料に含まれる灰分や未燃分がばいじんとなります。その量は燃料の成分等に依存します。

（排煙の処理）

表 15 に集じん装置の分類とその特徴を、図 8 に集じん装置の概念図を示します。小規模火力発電所では、PC において、大規模な火力発電所で一般的に採用されている電気集じん装置（Electrostatic Precipitator; EP または ESP）が多く採用されています。また、CFB では、集じん効率の高いバグフィルタが多く採用されています。

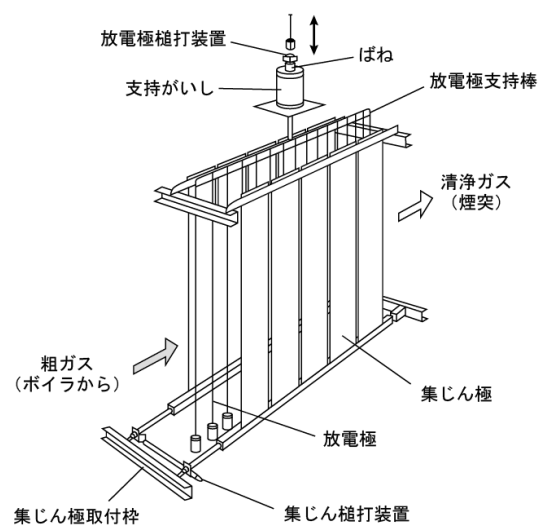
EP は、ばいじん粒子を帯電させ、集じん極に引き寄せて捕集するものであり、ばいじんの電気抵抗率によって集じん効率が変化します（図 9 参照）。ばいじんの電気抵抗率は、燃料種や通過させる排ガスの温度域によって異なりますが、PC の場合では、ばいじんの概ね 99% 以上を捕集できます。小規模火力発電所では、ガス - ガスヒータ（GGH）が設置されていることが少ないため、低温 EP（ガス温度 130℃ 程度）が採用されています。一方、大規模な火力発電所では近年、さらに排ガスの温度を低減した上で、低々温 EP（ガス温度 90℃ 程度）が採用され、集じん効率の向上が図られています。

バグフィルタは、円筒状のろ布に排ガスを通過させ、ガス中のばいじんを捕集する方式で、多様な燃料種を採用できる CFB においても、燃料による集じん効率低下の影響を受けにくい特徴をもっています。ただし、メンテナンスが比較的容易な EP と比べて、日常点検や定期的なろ布の交換等を行う必要があります。

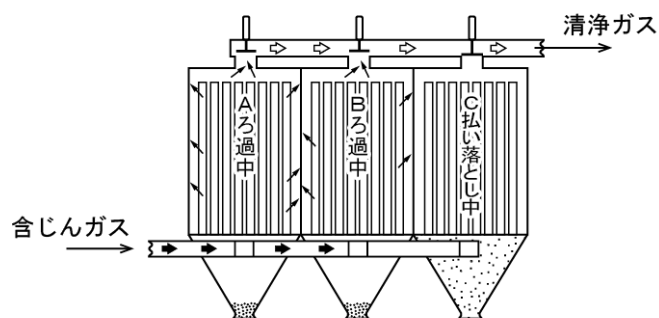
なお、EP またはバグフィルタの後段に湿式脱硫装置を導入することで、EP 等で捕集できなかったばいじん等を脱硫汚泥とともに捕集でき、総合的な集じん効率を向上することができます。

表 15 集じん装置の分類とその特徴

方式	電気集じん装置（EP）	バグフィルタ
除去効率	90～99.9%	99%以上
粒度	20～0.05μm	—
圧力損失	0.1～0.05kPa	1.5±0.3kPa
利点	・メンテナンスが比較的容易。	・集じん効率は、燃料種の影響をほとんど受けず、粒子径によらず高い。
留意点	・集じん効率は、ばいじんの電気抵抗率の影響を受けるため、燃料種や排ガスの温度域によって変化する。	・日常のメンテナンス及び定期的な保守点検・ろ布の交換（2～3 年に 1 回）が必要。
適用先等	・火力発電所で広く普及している方式であり、小規模火力発電所でも採用されている。 ・小規模火力発電所では、低温 EP（ガス温度 130℃ 程度）の採用が多い。	・小規模火力発電所でも多く採用されており、特に多様な燃料を燃焼する CFB での採用が多い。



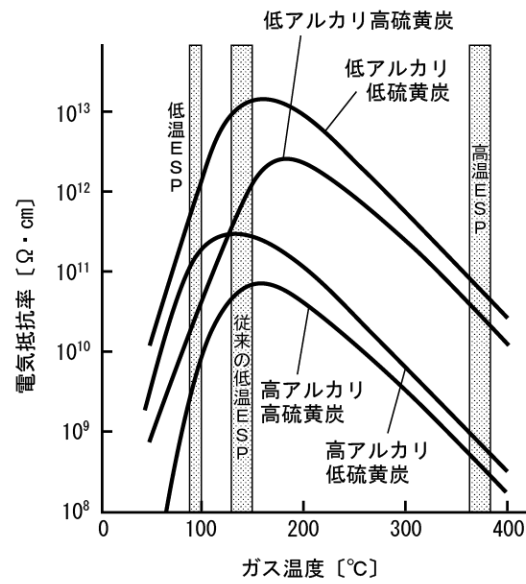
【電気集じん装置】



【バグフィルタ】

図 8 集じん装置の概念図

出典：「集塵の技術と装置」（日本粉体工業技術協会編、平成 9 年）、「大気環境保全技術と装置事典」（産業調査会事典出版センター、平成 15 年 5 月）より作成



高アルカリ炭とは、ナトリウム分が Na_2O 換算で灰分中に約 1% 以上含む石炭、高硫黄炭とは、硫黄分を約 1% 以上含む石炭

図 9 石炭灰の電気抵抗率に及ぼすガス温度の影響

※：本文中の「低温 EP」が図中の「従来の低温 ESP」に、「低々温 EP」が「低温 ESP」に該当します。

出典：「火力原子力発電必携 第 6 版」（火力原子力発電技術協会編、平成 12 年）より作成

(3) 小規模火力発電所における排ガス処理系統（処理フロー）

小規模火力発電所における排ガス処理系統について、石炭等を燃料とする PC 及び CFB での概要を図 10 に示します。なお、いずれも代表的なケースを示すものであり、全ての発電所に適用されるものではありません。

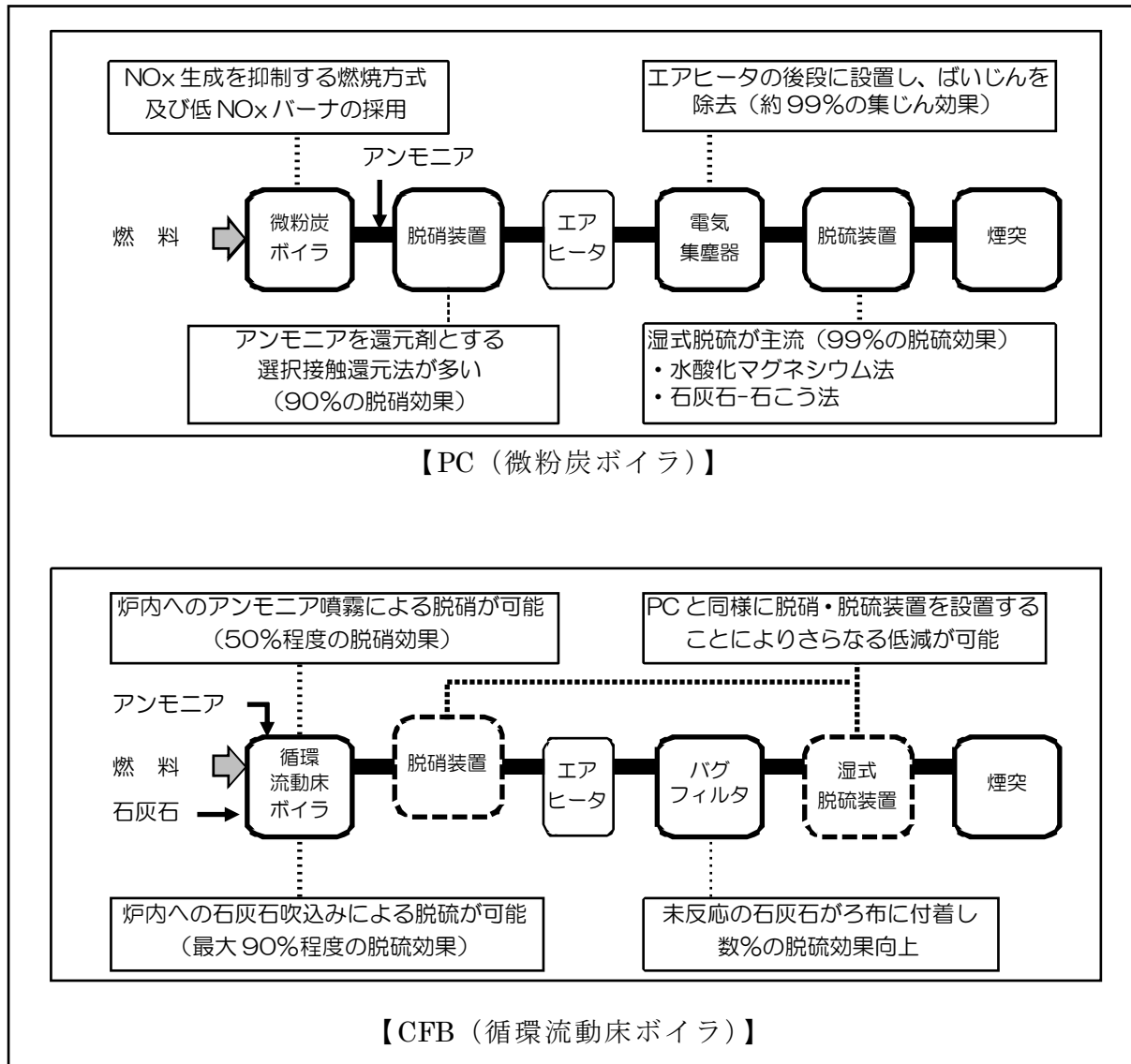


図 10 小規模火力発電所における排ガス処理系統（PC 及び CFB）

3.2 その他の環境保全対策

ここでは、冷却塔方式の採用等の小規模火力発電所に特徴的なものを含め、二酸化炭素排出削減対策及び大気環境保全対策以外の環境保全対策を網羅的に提示しています。

3.2.1 水環境保全対策

(1) 水質保全対策

a) 想定される環境影響

火力発電所の稼働に伴い排水が発生します。タービン室・ボイラ室床などから発生するプラント一般排水及び窒素酸化物及び硫黄酸化物に起因する COD 成分、金属などを含む脱硫排水や機器洗浄排水が発生します。これらの排水の性状は燃料によって異なります。また、事務所等から生活排水が発生します。

石炭中にはフッ素、ホウ素、セレン等の物質が含まれており、湿式脱硫装置を設置する場合には、脱硫排水中に移行します。特に、低品位炭を使用する場合は、排水中の窒素分が多くなることから、閉鎖性水域に排水を行う場合には、富栄養化の要因物質である窒素分の低減に留意する必要があります。

なお、水質汚濁防止法（平成 25 年法律第 60 号）により、「石炭を燃料とする火力発電施設のうち、廃ガス洗浄施設」は特定施設として規制の対象となっています。

b) 主要な環境保全対策

【発電設備個別における排水処理】（図 11 を参照。）

- ✓ 窒素分や金属類を含む脱硫排水や機器洗浄排水は、凝集沈殿装置やろ過装置、イオン交換装置、中和装置などにより、窒素分や金属類、フッ素等を除去した後、放流することが考えられます。
- ✓ ボイラ等から生じるプラント一般排水及び窒素分等を含まない排水等は、pH 調整による中和処理と、凝集沈殿・ろ過による浮遊物質を除去した後、放流することが考えられます。
- ✓ 生活排水は、BOD 又は COD 成分や浮遊物質等を除去した後、放流することが考えられます。
- ✓ これらの方法によって除去が困難な物質（ホウ素等）が含まれる場合には、個別の物質に応じた凝集沈殿法や吸着法を採用することが考えられます。

【工場全体における排水処理】

- ✓ 工場等に発電設備を設置する場合、工場全体の総合排水処理システムを活用することも考えられます。

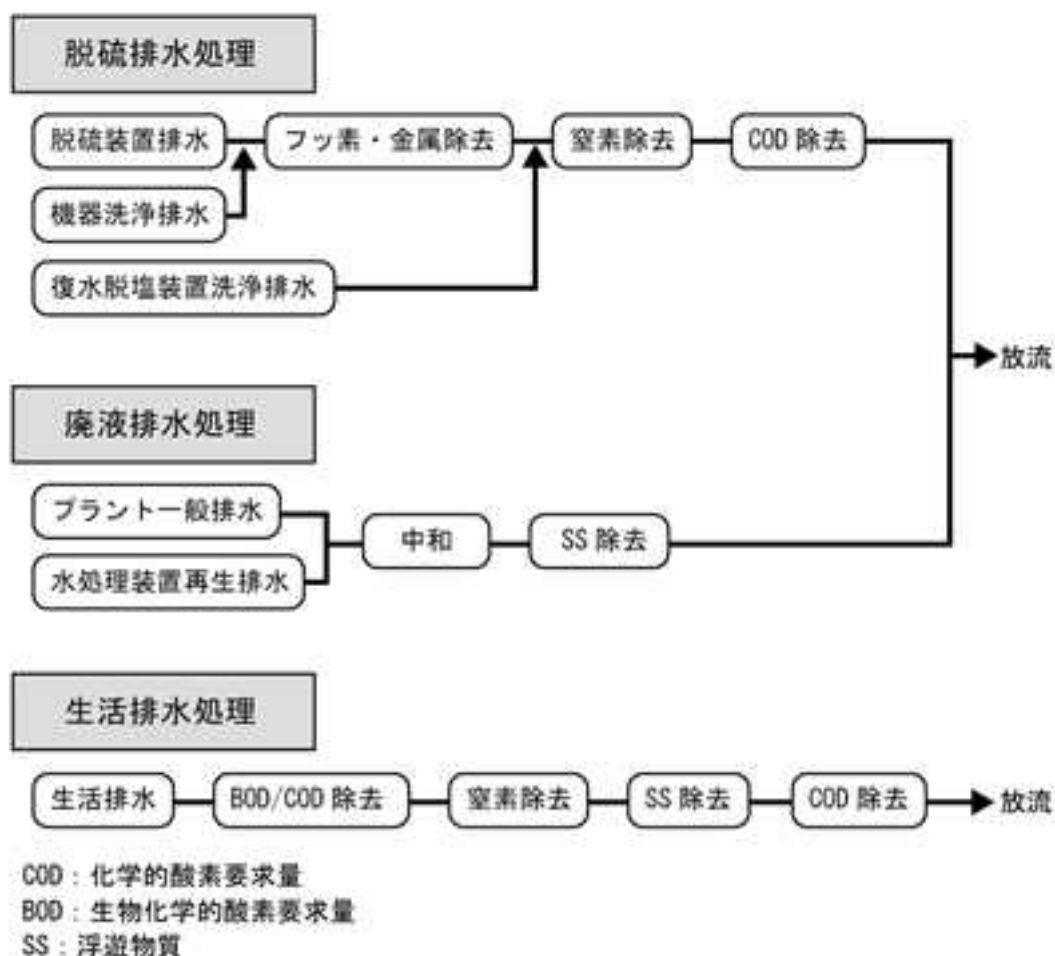


図 11 排水フロー図

出典：中部電力 Web サイトより作成。

(http://www.chuden.co.jp/energy/ene_energy/thermal/hat_thermal/sea/index.html)

(2) 温排水対策

a) 想定される環境影響

発電に利用した蒸気の復水方法は、主に海水冷却方式と冷却塔方式（図 12 参照）に区別されます。小規模火力発電所では、既設の海水取水・放水設備がある場合等を除き、ほとんどが冷却塔方式を採用しています。工場等が併設されている場合には、工場等への蒸気を送気する等で、復水器の排出熱量（冷却放散熱）を削減している事例があります。

冷却塔方式を採用することで、多量の温排水による影響は回避できます。ただし、冷却塔の稼働により所内率が増加すること、冷却塔ブロー水として温度の高い排水を放流する場合、排水先の環境や排水量に応じた対策を検討することに留意する必要があります。

なお、海水冷却方式の場合、復水器の中で蒸気を冷却した海水は、冷却に伴う熱交換によって取水時よりも水温が上昇した状態（温排水）で海に放流されることにより、水温上昇及びそれに伴う海生生物への影響、取水に伴う生物影響、付着生物対策剤（塩素）による生物影響等が想定されます。

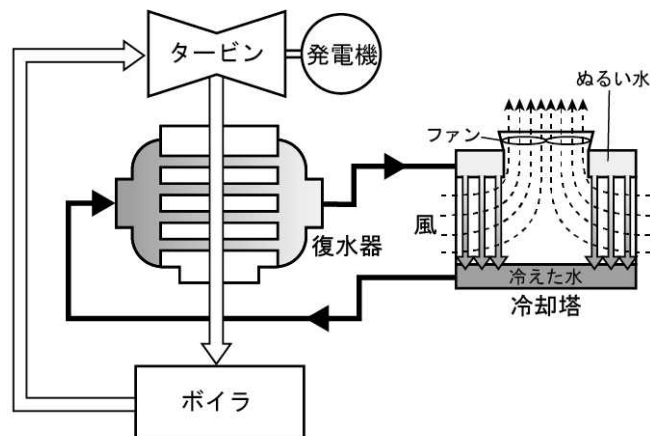


図 12 復水器及び冷却塔の概念図

b) 主要な環境保全対策

【冷却塔方式における対策】

- ✓ 河川へ温度の高い冷却塔ブロー水を放流する場合、排水先の環境や排水量によっては、排水温度を下げるなどの対策を検討することが考えられます。

【取水・放水・水温上昇に関する対策】

- ✓ 海水取放水温度差を 7℃以下とすること、取水流速をできる限り遅くすること等の対策が考えられます。
- ✓ 海水取水方式として深層取水やカーテンウォール方式等の採用が考えられます。
- ✓ 海域への放水方式として、温排水の拡散範囲を小さくするために水中放水方式の採用が考えられます。

【付着生物対策剤（塩素）による対策】

- ✓ 付着生物の対策に、物理的な除去を採用し、塩素を用いないことで影響を回避することが考えられます。

3.2.2 冷却塔設置による環境影響への対策

a) 想定される環境影響

小規模火力発電所では、主に冷却塔方式が採用されます。空気と接触させて冷却水を冷却する方式の冷却塔では、湿った空気がエアロゾル状の白煙となり、大気中に熱とともに放出されます。特に湿度の高い梅雨の時期や大気温度の低い冬季に白煙が生じやすくなります。また、冷却塔にファンを採用した場合、騒音が発生するおそれがあります。なお、冷却水がレジオネラ属菌に汚染された場合、エアロゾルとともに外部に飛散するおそれもあります。

b) 主要な環境保全対策

民家などが影響範囲に位置する場合など、地域の特性に応じて対策を検討する必要があります。

【白煙防止】

- ✓ 冷却塔をできる限り敷地境界から離して配置することが考えられます。

- ✓ 白煙除去装置を採用することが考えられます。

【騒音対策】

- ✓ 冷却塔をできる限り敷地境界から離して配置することが考えられます。【前掲】
- ✓ 冷却塔へ低騒音ファンを採用することが考えられます。

【レジオネラ属菌対策】

- ✓ レジオネラ菌の温床となる藻類、細菌類、真菌類によるスライム防止のため、補給水の水质に合わせて適切な薬剤処理を行うことが考えられます。
- ✓ 冷却水の濃縮倍率を 3～4 倍程度で運用することにより、細菌に汚染されるおそれを低減することが考えられます。

3.2.3 周辺住民の生活環境対策

発電設備を設置する地点が民家などの近傍に位置する場合など、地域の特性に応じて生活環境対策を検討する必要があります。

(1) 騒音・振動対策

a) 想定される環境影響

発電設備等から発生する騒音・振動により、周辺地域に影響を及ぼすおそれがあります。

b) 主要な環境保全対策

それぞれの事業に応じた形で、下記に示す「発生源対策」と「伝播経路対策」を組み合わせ、周辺地域への影響を最小限となるよう環境保全対策を講じる必要があります。

【発生源対策】

- ✓ 発電設備を防音建屋（エンクロージャー）等に格納することが考えられます。
- ✓ 煙突に消音装置（サイレンサー）を設置することが考えられます。
- ✓ 冷却塔に低騒音ファンを採用することが考えられます。【前掲】
- ✓ 吸気口等の開口部分に吸音ルーバーを設置することが考えられます。
- ✓ 低騒音、低振動の機器を採用することが考えられます。
- ✓ 振動源となる機器に対して、防振・制振対策を行うことが考えられます。

【伝播経路対策】

- ✓ 発生源となる設備は民家等から遠い位置に配置することが考えられます。
- ✓ 敷地境界に防音壁を設置することが考えられます。

運転開始後に影響が明らかになった場合においては、その要因を特定し、適切な対策を実施することに留意することが考えられます。

低周波領域の騒音は、その特性として防音壁や吸音対策の効果が得られにくい性質を持っています。そのため、例えばボイラから生じる騒音の場合には仕切り板の設置等により管路系の固有振動数を変える、または、ファンの旋回失速により騒音が生じている場合には回転数を調整するなど、発生源対策を中心に検討することに留意することが考えられます。

(2) 悪臭対策

a) 想定される環境影響

悪臭物質としては、排煙脱硝装置及び電気集じん装置等に使用するアンモニア等が挙げられます。これらの装置へ過剰にアンモニアを注入すると、リークアンモニア濃度が高くなり、脱硫排水処理装置での回収量や、排ガスとして煙突より拡散する量が増加し、周辺環境に影響を及ぼすおそれがあります。

b) 主要な環境保全対策

【アンモニアの過剰注入の防止】

- ✓ 排煙脱硝装置及び電気集じん装置等へのアンモニア注入に当たっては、自動制御装置を設置し、常に適正注入量を維持することが考えられます。

【設備の適正な維持管理によるアンモニア漏洩の防止】

- ✓ アンモニアの取扱施設等は、定期的に検査を実施し、設備の適正な維持管理を行うことによって、漏洩を防止することが考えられます。

(3) 日照阻害対策

a) 想定される環境影響

発電所に近接して民家等が存在する場合には、発電所の設備や防音壁などにより、日照阻害が発生するおそれがあります。

b) 主要な環境保全対策

【日照阻害対策】

- ✓ 発電設備等の配置の工夫により日影の範囲を縮小することが考えられます。

(4) 工事中の環境保全対策

a) 想定される環境影響

発電所の周辺地域に民家等が存在する場合には、建設工事に伴う騒音や振動、粉じんなどの影響が発生するおそれがあります。また、工事用車両が走行する道路沿道に民家等が存在する場合には、工事用車両の走行に伴うこれらの影響が発生するおそれがあります。

b) 主要な環境保全対策

【建設機械の対策】

- ✓ 環境保全型建設機械（排出ガス対策型や低騒音型、超低騒音型、低振動型、低炭素型建設機械など）を使用することが考えられます。
- ✓ 建設機械の点検・整備を十分に行うことが考えられます。
- ✓ 建設機械の集中稼働を行わないよう、工事工程の平準化、建設機械の効率的稼働を行うことが考えられます。

【工事区域における対策】

- ✓ 工事区域に、適宜散水を実施することが考えられます。

- ✓ 工事区域の周囲に仮囲いを設置することが考えられます。

【工事用車両の対策】

- ✓ 工事用車両は、低公害・低燃費車を使用することが考えられます。
- ✓ 乗り合いを励行し、作業員の通勤車両や工事用車両の台数を削減することが考えられます。
- ✓ 資材等の搬出入車両台数の平準化を図ることが考えられます。
- ✓ 規制速度順守やアイドリングストップの励行、工事用車両の走行ルートに主要幹線道路を利用すること等を運転者へ教育・指導することが考えられます。

3.2.4 生物・生態系及び景観・人と自然との触れ合い活動の場の保全対策

(1) 生物・生態系の保全対策

a) 想定される環境影響

緑地等に発電所を設置する場合には、樹木の伐採や地形の改変等により陸域の生物・生態系に影響を及ぼすおそれがあります。

b) 主要な環境保全対策

【生物の生息・生育環境改変の回避・低減】

- ✓ 発電所の設置場所に施設跡地等を採用する等、新たな地形改変や植生改変を行わないよう配慮することが考えられます。
- ✓ 生物の生息・生育環境として重要と思われる環境の改変を回避する、又は改変面積を最小限にすることが考えられます。

【工事の方法等の配慮】

- ✓ 重要な動物の繁殖地に近接する場合は、繁殖期における工事の方法を工夫するなど、工事計画において配慮を行うことが考えられます。

【緑化樹種選定における配慮】

- ✓ 臨海部における緑化樹種は、地域の植物誌等を参考に、潜在自然植生を踏まえ、潮風害に抵抗性のある種等から選定することが考えられます。
- ✓ 内陸部における緑化樹種は、周辺植生との連続性に配慮するとともに、地域の植物誌等を参考に郷土種から選定することが考えられます。

(2) 景観・人と自然との触れ合いの活動の場の保全対策

a) 想定される環境影響

タービン建屋や煙突、冷却塔などの新たな構造物を設置する場合には、周辺の眺望点からの眺望景観などに影響を及ぼすおそれがあります。

b) 主要な環境保全対策

【配置、形状及び色彩への配慮】

- ✓ 構造物の配置、形状及び色彩については、周辺景観との調和を図ることで、眺望景観への影響を緩和することが考えられます。
- ✓ 修景緑化を行うことで、設備等の人工構造物が出現することによる影響を緩和するこ

とが考えられます。

なお、遊覧船が就航している場合など、海上からの眺望にも配慮が必要な場合があることに留意することが考えられます。

3.2.5 廃棄物対策

(1) 想定される環境影響

石炭等を燃料とする場合には、フライアッシュ（集じん装置捕集灰）及びクリンカアッシュ（炉底灰）が多量に発生するおそれがあります。

その他、排ガス処理や排水処理等の方式に応じて、脱硫石膏や排水汚泥などが発生します。

(2) 主要な環境保全対策

【廃棄物等の発生抑制】

- ✓ 灰分の少ない石炭種を選定することが考えられます。

【廃棄物等の再生利用】

- ✓ 発生する副産物は、有効利用を図ることが考えられます。

（副産物の有効利用例）

- ・フライアッシュ：セメント原料、肥料、土木材料（土壌改良剤等）
- ・クリンカアッシュ：セメント原料、土木材料（路盤材、軽量盛土材等）
- ・脱硫石膏：セメント原料、石膏ボード原料
- ✓ 事業の計画段階から、発生する副産物の量に応じて、副産物の引取先等を検討することに留意することが考えられます。
- ✓ 脱硫排水の処理汚泥を脱水・焼却後、セメント原料として再生利用することも考えられます。

4. その他の留意事項

環境と調和した小規模火力発電所の設置に当たっては、本ガイドラインを参考に、下記の点についても留意して環境保全対策を実施することが期待されます。

- ✓ 火力発電所の設置は、環境負荷の発生源が地域に長期にわたって固定化されることになります。そのため、地方公共団体はもちろんのこと、周辺の住民の方々の声にも十分配慮することが重要であり、事業の概要や環境保全対策、モニタリング結果等を公表し、さらに丁寧に関係者に説明することが望まれます。
- ✓ 環境に与える影響を最大限緩和するためには、一般電気事業者が実施する大規模な火力発電所と同様に、実行可能な範囲で既存事例の実態に即した環境保全対策を検討することが重要です。
- ✓ 発電設備や排ガス処理装置等の設備が最大限の効率を発揮できるよう、定期的な保守・点検等を確実に実施することが重要です。
- ✓ 事業地周辺の設備も含めた全体のエネルギーロスの削減や再生可能エネルギーの導入等を検討し、発電設備を設置する事業地全体、あるいは企業全体として、環境保全対策を検討することが効果的です。

特に、二酸化炭素及び大気汚染物質の排出が多く、小規模火力発電所の設置数や設備容量が増加することで、著しい環境影響が生じるおそれのある石炭火力では、慎重に環境保全対策を検討することが重要です。

環境省としては、事業者が本ガイドラインを参考に、可能な限り環境負荷が低減された小規模火力発電所を設置し、更に事業者が環境保全対策の内容やモニタリング結果等を自主的に公開することで地域住民の理解を得つつ、積極的・意欲的に環境負荷の回避・低減に取り組むことを期待します。