

3.2 火力発電

火力発電には、ボイラーで高圧水蒸気を作り、タービンを回転させて発電機を駆動する汽力発電と、ガスの高温燃焼排ガスでタービンを回転させるガスタービン発電があります。燃料は石炭、石油、天然ガスが主に使われます。発電所の主な設備は、燃料貯蔵設備、発電設備、排ガス処理設備、冷却水関連設備、変圧器、送電設備です。大規模な火力発電所の発電能力は、数百万 kW に達しています。

1. 火力発電の方式

火力発電には主に四つの方式があります。一つは「汽力発電」と呼ばれる方式で、水蒸気の圧力を利用します。燃料（石炭、石油、天然ガスなど）を燃やした熱で高温・高圧の水蒸気を作り、蒸気タービンを回し、タービンに接続させた発電機を駆動して発電します。汽力発電に使用する水蒸気の温度と圧力は、最高で約 600℃、250 気圧です。発電効率は最大で約 40%前後です。発電効率は、燃料の燃焼で得られる熱エネルギーに対して、得られる電力エネルギーの比率です。

二つ目は「ガスタービン発電」で、天然ガスを燃やした高温の燃焼ガスでガスタービンを回し、接続させた発電機で発電します。ガスタービンは小型で高出力が得られることから、飛行機のジェットエンジンにも利用されています。ガスタービン発電は 1100℃～1300℃の熱エネルギーを利用する発電ですが、発生する排ガスの熱を利用しない場合の発電効率は、最大で 38%前後です。

三つめは「コンバインドサイクル発電」で、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電方式です。ガスタービン発電の排気温度はまだ高いので、下流に熱回収ボイラーを設置して蒸気を発生させます。その蒸気で蒸気タービンを駆動し、接

続する発電機で発電します。温度水準の異なる 2 種類のタービンを使うので、構造は複雑になりますが、最大で 50%前後の発電効率が得られます。

四つ目はディーゼルエンジンなどの内燃機関で発電する内燃力発電（internal combustion power generation）です。燃料の燃焼ガスで内燃機関を駆動し、接続する発電機で発電します。エンジンを使うので短時間で始動できるのが長所で、

燃料にはガス、灯油、軽油、A 重油などを使用します。発電効率は規模にもよりますが、概ねガスエンジンなら 30～35%、ディーゼルエンジンなら 35～40%です。発電効率が低いことと、エンジンの定期的な点検や保守が必要なことから、大規模な商用電力ではなく、需要規模の小さな地域や離島の小規模発電に使われています。

2. 火力発電所の設備構成

2.1 石炭火力発電（汽力発電）

図 1 に石炭を燃料とする汽力発電所の事例として、九州電力苓北発電所の設備構成を示します。石炭は石炭船からアンローダーで陸揚げし、貯炭場で一時的に保管され、それからベルトコンベアで下部が漏斗状の石炭バンカーに移されます。ここまでは塊状の石炭ですが、ボイラーに送入する前に、微粉炭機で 100～200 メッシュ（0.25～0.5mm）に粉砕します。微粉化するのには、液体燃料のように先端を細くしたバーナーで燃焼させるためです。バーナー燃焼だと石炭を定量供給できるので、安定した均一燃焼が可能になり燃焼効率を高めることができます。

ボイラーで発生した燃焼排ガスは、排煙脱硝装

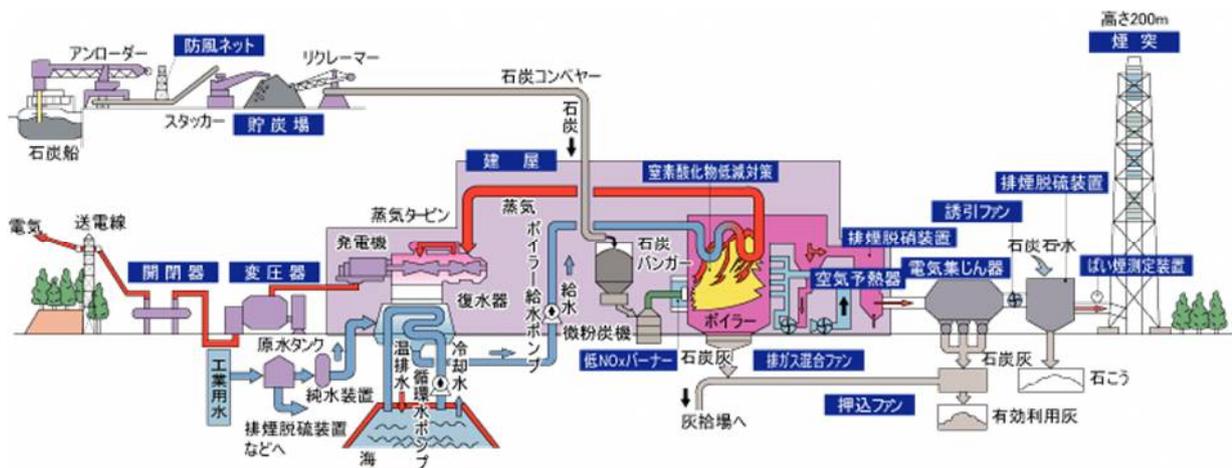
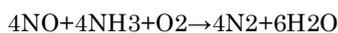


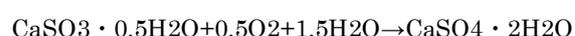
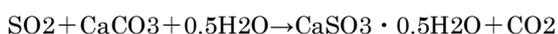
図 1. 火力発電所（石炭燃料）の設備構成（九州電力苓北発電所） 出典：九州電力 HP

置を経て空気予熱器で燃焼用空気を加熱し、電気集塵機に入ります。排煙脱硝装置は触媒の入った反応器で、直前でアンモニアを送入し、下記の反応で一酸化窒素を窒素と水分に分解します。



電気集塵機では石炭に含まれていた灰分を内部の電極に付着させ、排ガスから分離します。付着した灰分は、電極に定期的な衝撃を与えて落下させ、外部に排出します。排ガスは、次に円筒形の吸収塔を中心とする排煙脱硫装置に送られます。

排煙脱硫装置の基幹設備は吸収塔で、直径が 10 m 前後、高さは 30m を超えることが珍しくありません。排ガスは吸収塔の下部から送入され、石灰石を乳化した炭酸カルシウム (CaCO_3) を上部から落下させるか、または下部から噴水のように高く吹き上げて接触させます。塔形式ではなく、炭酸カルシウム溶液を入れたタンクに排ガスを吹き込む方式もあります。排ガスに含まれる硫酸化物は、炭酸カルシウムと接触すると下記の反応で石膏 (CaSO_4) になるので、吸収塔に続く遠心分離機で分離して外部に排出します。なお、反応生成物の石膏は耐火性があるので、建材工場で石膏ボードに加工され、住宅やオフィスの壁材に広く利用されています。



一方、ボイラーで発生させた蒸気は蒸気タービンで発電機を駆動し、圧力と温度の低下した蒸気は復水器で凝縮・冷却され温水になります。この温水は、再度、ボイラー給水になって循環利用されます。図 1 では復水器の冷熱源に海水を使用していますが、内陸立地の場合は工業用水を使用します。このため、温度が上昇した工業用水を冷却する冷水塔を設置します。冷水塔はビルの屋上でよく見かけるので、ご存じの方も多いでしょう。通常は円筒形で、上から温まった水を降らせ、下から空気を送って水の一部を蒸発させます。水の蒸発潜熱が熱を奪い、温度が下がる仕組みです。塔の内部には気液接触をよくするために、金網やプラスチックの充填物を詰めます。発電所の冷水塔はビルの屋上にある空調用より大規模で、直径も高さも十数mから 30m に達する場合があります。日本の発電所は臨海立地なので冷水塔を使いませんが、中国やアメリカなど内陸に立地する発電所では、下部が広く、上にいくと少し細くなり、その上ではまた広がっている冷水塔を遠くからも見ることができます。発電機で発生させた電力は、変圧器で昇圧されて送電線に送り込まれます。

2.2 石油火力発電所（汽力発電）

図2には、石油を燃料とする汽力発電の事例として、九州電力川内発電所の設備構成を示します。燃料の重油または原油は右端に示すタンカーから陸揚げされ、燃料タンクに貯蔵されます。タンカーが停泊している間は、周囲にオイルフェンスを敷設し、何らかの事故で燃料油が海上に漏れても、周辺に拡散しない対策を講じます。オイルフェンスは水面の上部が約20センチ、水面下が約40センチで、上部にはウレタンなどでできたフロート部があり下には錘がついています。横に長いスカート状になっており、保管中は巻いてありますが、敷設する時は船で牽引して敷設します。ローディングアームはポンプでタンカーから燃料油を陸揚げする設備ですが、同時に陸上の燃料タンクに残っていた燃料油の蒸気をタンカーに戻します。そうしないと揮発性の炭化水素が大気に放出され、燃料の損失になるだけでなく環境汚染の原因になるからです。

電所には排煙脱硝装置が設置されていません。石油燃料は石炭に比べて燃焼時の窒素酸化物の発生が少ないので、この発電所では設置しなくても排出規制基準を満たせるからです。しかし、工場の集積密度が高いコンビナート地域では、排出規制基準が厳しいので、排煙脱硝装置が必要になる場合も少なくありません。排煙脱硝装置も設置されていませんが、一般的に石油燃料は石炭に比べて硫黄分が少ないので、この発電所では設置しなくても排出規制基準を満たせるからです。

ボイラーで発生させた蒸気は蒸気タービンで発電機を駆動し、圧力と温度の低下した蒸気は復水器で凝縮・冷却され温水に戻ります。この温水がボイラー給水として循環利用されるのは、石炭火力発電の場合と同じです。復水器の冷熱源に使用された海水は、一般的に取水温度から約7℃高くなった温度で放水口から海中に放流されます。発電機で発生させた電力は、変圧器で高圧に変換し、送電線に送り込まれます。発電機で発生する電力は、通常、2万ボルト（V）以下です。変圧器で昇

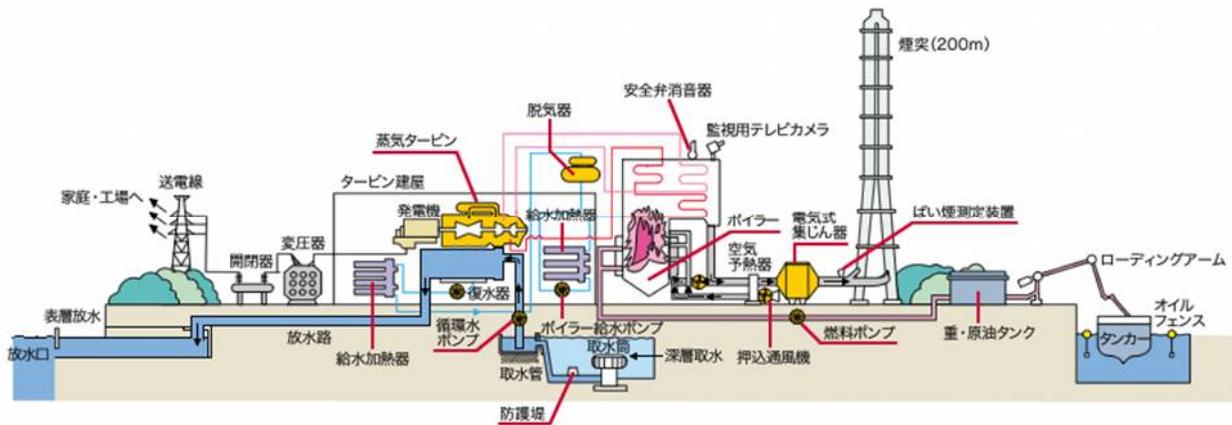


図2. 汽力発電所（石油燃料）の設備構成（九州電力川内発電所）出典：九州電力 HP

燃料はボイラーで燃焼し、燃焼排ガスは燃焼用空気を予熱すると同時に温度を下げ、電気集塵機に送られます。電気集塵機の原理は石炭燃焼の場合と同じですが、石炭と比べると灰分が少ないので、集塵の負荷は小さくて済みます。なお、この発

電するのは、高圧送電の方が送電抵抗による損失が少ないからです。

2.3 天然ガス火力発電（汽力発電）

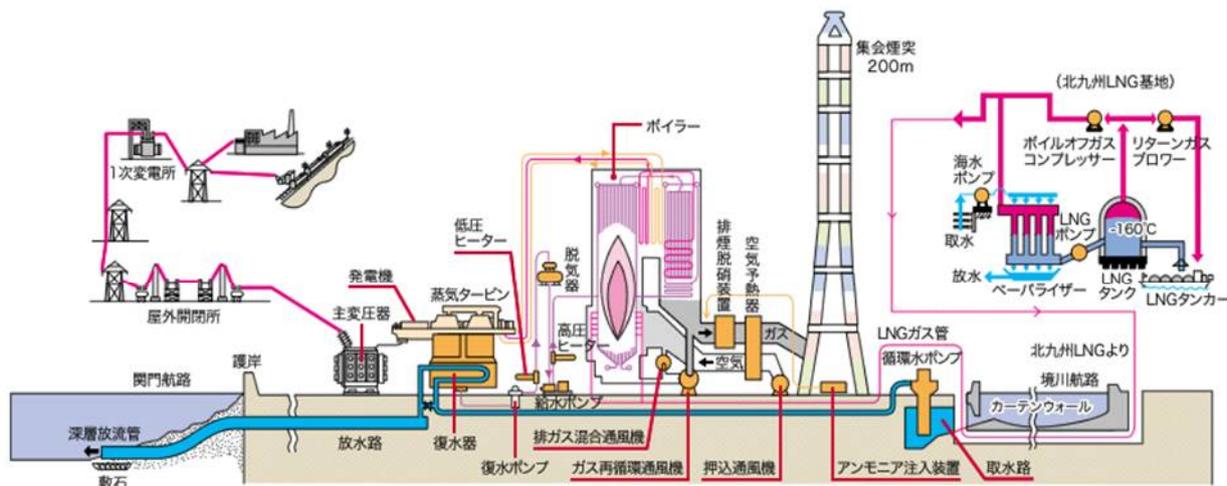


図 3. 汽力発電所（天然ガス燃料）の設備構成（九州電力新小倉発電所）出典：九州電力 HP

図 3 に天然ガスを燃料とする汽力発電の事例として、九州電力新小倉発電所の設備構成を示します。燃料天然ガスには、液化天然ガス（LNG）をガス化して使用します。通常、LNG のガス化は LNG 受入基地が実施し、発電所はガス化した天然ガスを、パイプラインを通して購入する立場です。図 3 の右に示す LNG タンクやペーパーライザー（LNG 気化器）は、発電所の近隣に立地する LNG 受入基地にあります。

燃料はボイラーで燃焼し、排煙脱硝装置を経て燃焼用空気を予熱すると同時に温度を下げ、煙突から排出されます。排煙脱硝装置は、図 1 に示した石炭燃料の火力発電装置と同じです。排煙脱硫装置は設置されていませんが、天然ガスには硫黄分が含まれていないので必要ありません。なお、一般的に資源国のガス井戸から噴出する天然ガスには、硫黄分が硫化水素として含まれています。しかし天然ガスを液化する前に、硫黄分をほぼ完全に除去するので、LNG には残っていないのです。硫黄分を除去するのは、天然ガスの液化段階で硫黄分が固体になり、設備に損傷を与えるからです。図 3 には電気集塵機も設置されていませんが、LNG には煤塵の大きな要因になる灰分が全く含まれていないからです。

ボイラーで発生させた蒸気は蒸気タービンで発電機を駆動し、復水器で凝縮・冷却されて温水に戻ります。石炭火力発電や石油火力発電と同じです。冷熱源に海水を使用するのも、使用して温度が高くなった海水を海中に放流するのも、石炭火力発電や石油火力発電と同じです。発生した電力を送電する前に昇圧するのも同様です。

2.4 コンバインドサイクル発電（天然ガス燃料）

図 4 にコンバインドサイクル発電の事例として、九州電力新大分発電所の設備構成を示します。燃料は天然ガスですから、受入基地が LNG をガス化し、パイプラインを通して送り込みます。中央に示すのがガスタービンで、燃焼ガスがタービンを回転させます。ガスタービンの左側に示すのが同軸の空気圧縮機で、その左に示すのが発電機です。ガスタービンの燃焼排ガスは、排煙脱硝装置を経て排熱回収ボイラーに送られます。燃料は天然ガスですから、燃料には窒素が含まれていません。しかし燃焼過程で空気中の窒素が一酸化窒素になるので、排煙脱硝装置を設置し、直前にアンモニアを吹き込んで環境に負荷を与えない窒素と水蒸気に変換します。排煙脱硝の反応メカニズム

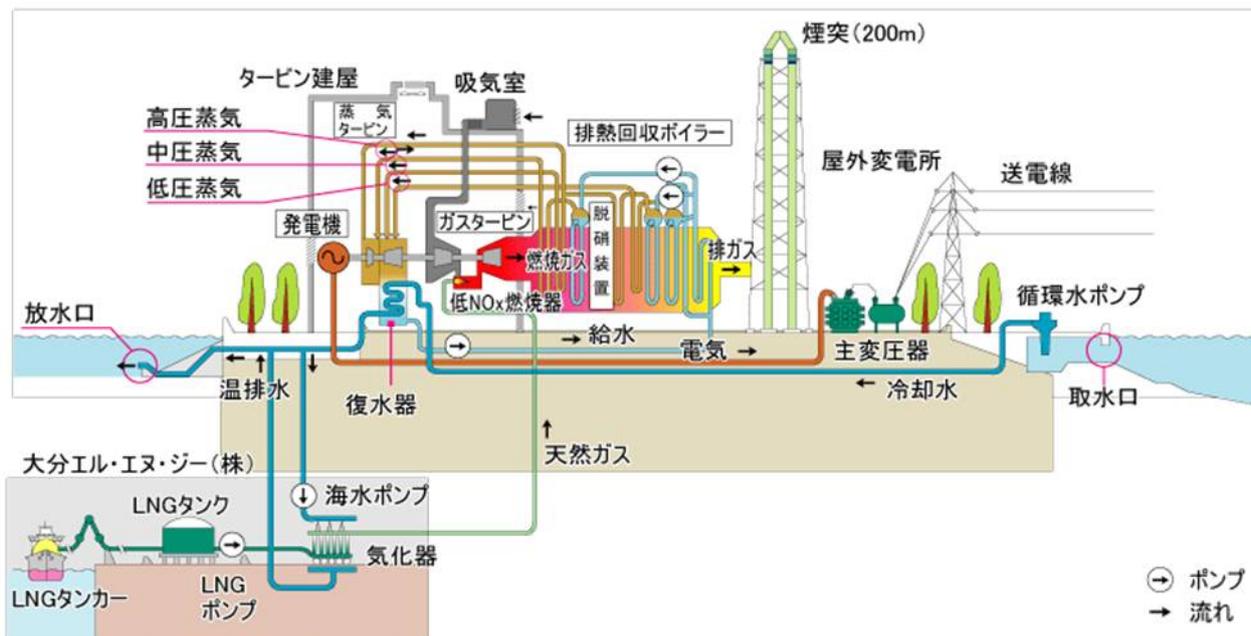


図 4. コンバインドサイクル発電所の設備構成（九州電力新大分発電所）出典：九州電力 HP

は、図 1 の石炭燃料の火力発電所と同じです。

排熱回収ボイラーでは蒸気を発生させ、多段で構成される蒸気タービンを駆動し、連結する発電機の出力に変換されます。蒸気タービンの駆動で温度と圧力が低下した蒸気は、他の汽力発電と同様に復水器で凝縮させ、ボイラー給水として循環使用します。復水器で少し温度が上昇した海水は、放水口から海中に放散されます。発生した電力は、変圧器で昇圧させて送電線に送り込みます。

ガスタービン発電は、燃焼ガスで直接タービンを駆動させます。このため、ボイラーで蒸気を発生させてタービンを駆動する間接方式に比べて、燃焼排ガスの温度が高くなります。コンバインドサイクル発電は、この熱損失を少しでも少なくするため、燃焼排ガスの下流に排熱回収ボイラーを設置して発電効率を高めているのです。

2.5 内燃力発電（エンジン駆動発電）

日本には非常に多くの島があり、人口の多い島には海底ケーブルを通して本土から電力が送られ

ています。しかし人口が少なく、したがって電力需要も少ない島は、本土と独立した内燃力発電が採用されています。内燃力発電所の主要な設備は、燃料貯蔵タンク、大型のディーゼルエンジン、発電機、エンジン冷却水の循環ポンプ、温度の上昇したエンジン冷却水と海水との熱交換器、発生電力の変圧器です。エンジンと発電機は、防音と振動対策を講じた建物の中に設置します。ディーゼルエンジンではなくガスエンジン、またはガスタービンを使う場合もあります。ディーゼルエンジンの燃料には、硫黄分が少なく粘度の低い A 重油を使うのが一般的ですが、灯油を使う場合もあります。エンジンなので、大気に放出する排ガスの温度がボイラーの排ガスより高く、通常はエンジン冷却水の排熱も回収しないので、発電効率は汽力発電より低い水準に止まります。一方、起動と停止が容易なので、需要の時間的な変動に追従しやすいのが長所です。表 1 に日本の火力発電所を示します。（おわり）

参考： 電気事業連合会 HP、電力会社 HP

表 1. 日本の火力発電所（出力 100 万 kW 以上、2019 年） 燃料：C：石炭 O：石油 G：天然ガス

電力会社	発電所名 (略:発電所)	出力 (万 kW)	燃料	電力会社	発電所名 (略:発電所)	出力 (万 kW)	燃料
北海道	苫東厚真	165	C	北陸電力	七尾大田火力	120	C
東北	東新潟火力	515	O, G		敦賀火力	120	C
	原町火力	200	C		富山新港	192	C, O, G
	秋田火力	163	O	関西電力	姫路第二	411	G
	能代火力	120	C		海南	210	O
東京電力 フュエル & パワー	鹿島火力	566	O, G		堺港	200	G
	袖ヶ浦火力	360	G		御坊	180	O
	姉崎火力	360	O, G		南港	180	G
	富津火力	516	G		姫路第一	151	G
	横浜火力	354	O, G		多奈川第二	停止中	
	広野火力	440	C, O		赤穂	120	O
	千葉火力	438	G		相生	112	Ô
	横須賀火力	354	O, G		舞鶴	180	C
	東扇島火力	200	G	中国電力	柳井発	140	G
	五井火力	停止中			玉島	120	O, G
	川崎火力	342	G		三隅	100	C
	南横浜火力	115	G		新小野田	100	C
	品川火力	114	G	四国電力	坂出	138	O, G
	大井火力	105	O		阿南	125	O
	常陸那珂火力	200	C	九州電力	新大分	280	G
	中部電力	川越火力	480		G	新小倉	180
碧南火力		410	C		苓北	140	C
知多火力		397	G		豊前	100	O
渥美火力		140	O		川内火力	100	O
知多第二火力		171	G	電源開発	磯子	120	C
新名古屋火力		306	G		竹原	105	C
西名古屋火力		238	G		松島	100	C
上越		238	G		橘湾	210	C
			松浦		200	C	