

第 2 章

2

石炭利用方式の概要



2 - 1 石炭を利用した各種発電方式 17

2 - 2 微粉炭火力発電方式の特徴 19



白井 裕三（1983年入所）

これまで、石炭ガス化乾式ガス精製における乾式脱硫に携わってきました。現在は、乾式ガス精製技術の実用化を目指すと共に、石炭の高度燃焼技術、高品位化技術に関する研究に力を入れて実施しています。特に、亜漚青炭の高度燃焼技術、各種石炭の実機への適用性を事前に評価できる技術および、石炭脱灰・脱水技術の開発に力を入れて研究を進めたいと考えています。

2-1 石炭を利用した各種発電方式

石炭を利用した発電方式としては、石炭を燃焼した際に発生する熱を蒸気に伝えて発電する汽力発電方式と燃焼ガスを直接、ガスタービンに導入して発電した後、その排熱を蒸気に伝えて発電する複合発電方式とがある。また、これを用いる石炭の反応方式として、固定床、流動床、噴流床の三方式がある。

2.1.1 石炭の反応方式

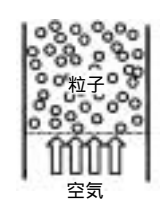
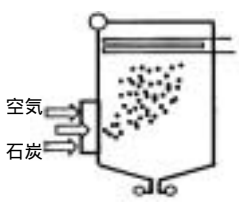
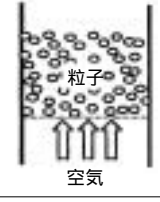
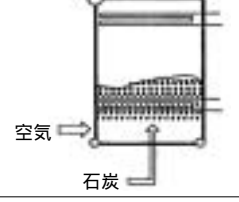
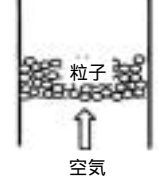
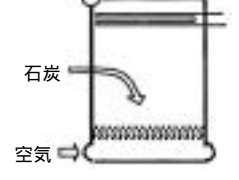
図2-1-1に示すように、石炭の燃焼あるいはガス化反応方式として、固定床方式、流動床方式および噴流床方式があり、この順に、利用する石炭の粒径が小さくなると共に装置内のガス流速も速くなる。固定床方式では、投入された塊状の石炭は、静止した状態で空気と反応し、燃焼あるいはガス化を行う。流動床方式では、投入された粒状の石炭が、空気により液体のような流動状態の層を形成し、この層内で燃焼・ガス化が行われる。噴流床方式においては、投入された微粉の石炭は空気と伴しつつ、燃焼あるいはガス化反応が進行する。

燃焼方式を例に具体的な内容を示すと、固定床燃焼方

式としては、塊状の石炭をコンベア型の燃焼器に載せて、移動させながら燃焼させるストーカー燃焼方式が最もよく用いられる方式として挙げられる。ストーカー燃焼方式では、塊状の石炭をそのまま利用できる利点を有するが、過剰空気を多く必要とし、ボイラ効率も低い。また、大型化が難しく、装置規模に限界がある。

流動床燃焼方式では、粒状の石炭を、気流により浮遊・流動化している石灰石や珪砂等の層に投入して燃焼させる。この方式は、流動床内の伝熱が良いため、ボイラを小さくできる。また、800～900程度の低温燃焼であるため、NO_xの発生も少なく、さらに、炉内に石灰石を投入することにより、炉内脱硫が可能である。一方、流動化状態の粒子による、伝熱管や炉壁の磨耗に注意する必要があること、大きな通風動力を必要とすること、炉内脱硫を行うため石炭灰に石膏等が混入するので、その有効利用法を考慮する必要があることなどが、課題として挙げられる。

噴流床燃焼方式としては、バーナにより微粉炭を空気と共に噴出して燃焼させる微粉炭燃焼方式があげられる。この方式においては、中位径数十μmの微粉炭を使用

基本 原理			ボ イ ラ 概 略 構 造		
噴 流 層	大きい 小さい			石炭粒径 200メッシュ通過 70% 炉内流速 10～15m/s 炉内温度 1,400～1,500	微粉炭焚 ボイラ
流 動 層	空気流速 石炭粒径			石炭粒径 10mm以下 炉内流速 1.4～10m/s 炉内温度 800～900	流動床 ボイラ
固 定 層	小さい 大きい			石炭粒径 30mm以下 炉内流速 0.8～1.5m/s	ストーカ 焚ボイラ

(出典：火力原子力技術協会編、火力原子力便覧)

図2-1-1 各反応方式の概略と特徴

するため、燃焼性が良く、過剰空気が少なくすむ。さらに大型化も可能であるため、現在、電気事業においては、この微粉炭燃焼方式が主に用いられている。

ガス化方式としては、原理的には、燃焼方式と同様のものが用いられている。空気または酸素などをガス化剤にして、可燃性成分である一酸化炭素(CO)、水素(H₂)を多く含む可燃性ガスを製造する。現在、主に開発されているガス化炉方式は、燃焼方式と同様に、大型化が可能な噴流床方式となっている。

2-1-2 発電方式

汽力発電方式

図2-1-2に微粉炭燃焼方式を用いた、汽力発電システムを代表例として示す。この方式では、燃焼時に発生した熱を蒸気に変えて、蒸気タービンを用いて発電する。微粉炭の燃焼に伴い発生するNO_x、ばいじんおよびSO_xは、後流の脱硝装置、電気集じん機および脱硫装置により除去され、クリーンになった排ガスが煙突から排出される。流動床燃焼方式を用いた場合も、同様に蒸気タービンで発電するが、石灰石を用いて流動床炉内で脱硫を行うため、脱硫装置が不要となるなど、燃焼器、排煙処理システム等が、微粉炭燃焼方式とは異なる。

複合発電方式

発電効率の向上を目指して開発が進められている技術であり、図2-1-3に示すようにガス化炉で発生した可燃性のガスをクリーンにした後に燃焼させ、発生した高温・高圧のガスによりガスタービンを駆動するとともに、

排熱を蒸気タービンで利用して高い発電効率を得る石炭ガス化複合発電(IGCC)が代表的な発電方式である。また、石炭ガスを溶融炭酸塩形燃料電池(MCFC)や固体酸化物形燃料電池(SOFC)の燃料に用いて発電し、その排熱を蒸気タービンで利用して発電する石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)も検討されている。

一方、流動床燃焼発電方式を複合発電に発展させた発電システムとして、加圧流動床燃焼複合発電方式(PFBC)がある。このシステムでは、加圧下で燃焼させ、800以上の高温排ガスをガスタービンに送って発電し、さらにガスタービン出口の排熱および流動床内での燃焼熱を蒸気として回収し、蒸気タービンで発電する。また、このシステムに加圧流動床ガス化炉を組み合わせた高度加圧流動床燃焼複合発電方式(A-PFBC)も考案されている。

電気事業においては、主に微粉炭燃焼発電方式が採用されており、他には、流動床燃焼発電方式が1機、加圧流動床燃焼方式が3機稼動している程度である。

一方、石炭ガス化複合発電方式は、現在、実用化に向けて鋭意開発中の方式であり、国内においては、2007年には実証機(250MW)が運転を開始する計画となっている。石炭ガス化燃料電池発電、高度加圧流動床燃焼発電は、開発途上の技術である。

このような状況では、微粉炭火力発電方式は今後も重要な電源としての役割を担っていくと考えられ、さらなる低コスト化などを目指した技術の高度化が重要な課題となっている。

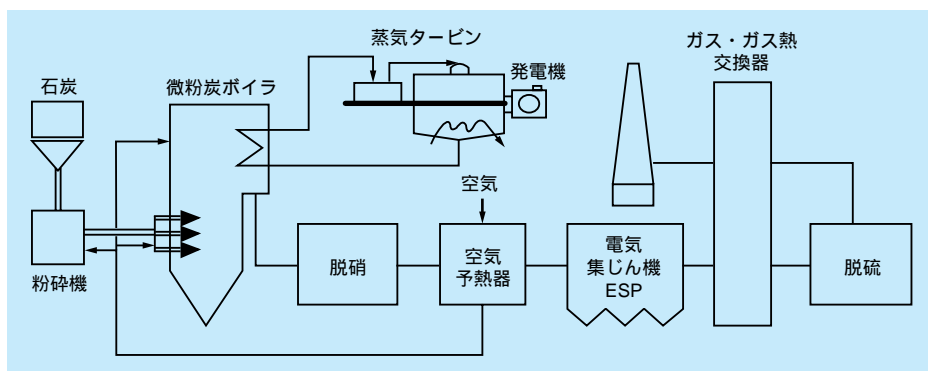


図2-1-2 微粉炭火力発電システム

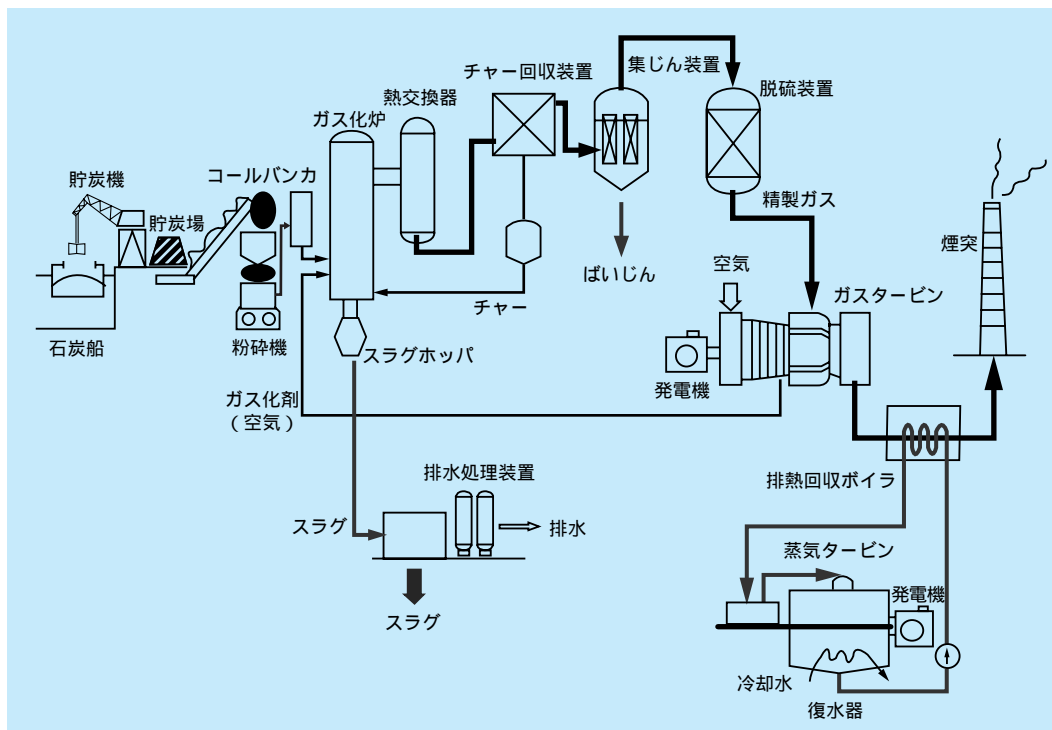


図2-1-3 石炭ガス化複合発電システム

2 - 2 微粉炭火力発電方式の特徴

微粉炭火力発電方式は、石炭を燃料とする発電において最も良く利用されている発電方式である。石炭は、天然ガス、重油等に比べ、発熱量が低く、それに加えて、灰分や硫黄分、窒素分を多く含むため、ガス焼きおよび油焼き火力発電に比べ、微粉炭火力の機器構成は、複雑となる。図2-2-1に微粉炭火力発電所の発電システムの詳細を示す。微粉炭火力発電所は、貯炭設備、粉砕設備、ボイラ、排煙処理設備、灰処理設備等の設備を有する。設備毎にその特徴を以下に述べる。

2-2-1 貯炭設備

海上輸送された石炭は、貯炭場あるいはサイロに貯蔵される。石炭の貯蔵においては、自然発火および炭じん飛散等の防止のため、貯炭場で、石炭に定期的に散水をする等の対策を講じている。また、サイロによる貯炭では、自然発火防止が重要である。自然発火は、揮発分の多い石炭に生じ易く、危険性のある石炭については、設

定期内に使い切るように運用している。また、サイロ内の温度が上昇する傾向がある場合には、サイロ下部より切り出し、再びサイロ上部に充填する循環操作を行うことにより放熱させる方法が用いられている。

2-2-2 粉砕設備

微粉炭火力では、石炭は貯炭設備より微粉炭機（粉砕機ミル）に送られ、微粉炭とした後、バーナに直接送られ、燃焼される。粉砕機としては、近年、図2-2-2に示すように石炭を乾燥させながら微粉砕する縦型ローラミルが主に使用されている。

この方式は鉢型の皿と複数のローラからなり、ローラで鉢形の皿を一定圧力で押さえ、皿を回転させることにより、その間で粉砕する方式である。石炭は上部より供給し、約200の空気で乾燥・粉砕され、70～80の空気と共にバーナに送られる。粉砕粒径は、皿の回転数、ローラ圧力およびミル出口部に設置されたプロペラ状の

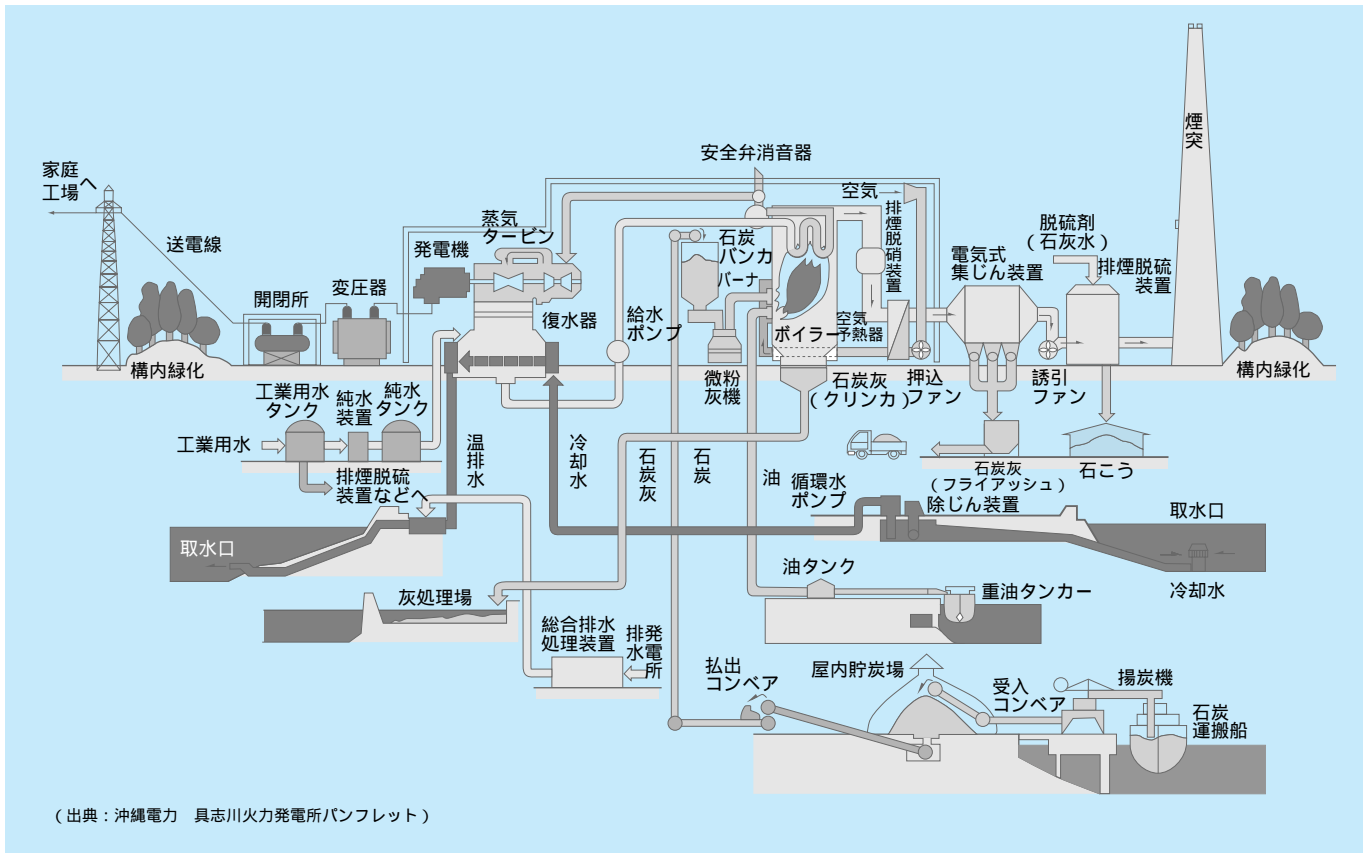


図2-2-1 微粉炭火力発電システム

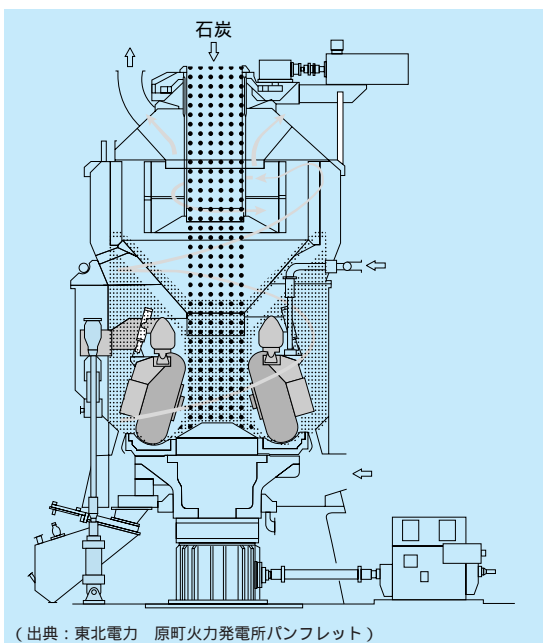


図2-2-2 堅型ローラミル

回転分級器の回転数で調整され、200メッシュ(75 μm)以下75～90%となる。この粉碎機の運転条件は、石炭の粉碎性から設定され、一般的には、硬い石炭ほど皿の

回転数やローラ圧力を高くする。

2-2-3 ボイラ

石炭を燃焼し、熱を蒸気にして回収する装置であり、ボイラは、同じ発電量の重油焚きボイラより1.5～2倍ほど大きい。これは、石炭は燃焼速度が遅いこと、燃焼後の灰が炉壁や蒸気過熱器に付着するのを防ぐため、容積あたりの発熱量を低減する必要があること、による。

粉碎された微粉炭は、搬送用一次空気と共にバーナ中央部より炉内に噴出し、その周りに二次・三次空気を噴出させ混合させることにより燃焼する。また、NOx低減のため、バーナへの供給空気を減らし、バーナ位置より後流に空気挿入口を設置した二段燃焼法が用いられている。

これらのバーナは、ボイラ容量により複数本設置されるが、その配置方法により、

- ボイラ前面と後面にバーナを配置する方法(対向燃焼)
- ボイラの四隅にバーナを配置する方法(コーナーフ

ファイリング)がある。

ボイラにおいては、燃焼により溶融した灰が炉壁や伝熱管に付着して収熱の低下、および炉内圧力損失を大きくする現象が生じることがあり、これをスラッシングと呼ぶ。また、灰中のナトリウム分等の揮発成分が蒸気過熱器などに、凝縮して付着することにより、伝熱の阻害や圧力損失の増大を引き起こすこともあり、この現象をファウリングと呼ぶ。スラッシング、ファウリングは、灰の性状に密接に関連するため、その防止策はボイラ毎に指針が定められている。

2-2-4 排煙処理設備

ボイラ出口ガスには、ばいじん、NO_xおよびSO_xが含まれているため、これらを除去するための排煙処理設備が設けられている。NO_xを除去する脱硝装置には、350 程度で触媒上で吹き込まれたアンモニアと反応させ、窒素と水蒸気に分解する接触還元法（SCR法）が主に用いられる。脱硝後、電気集じん機によりフライアッシュが除去され、冷却後、脱硫装置でSO_xが除去さ

れる。脱硫装置は、一般的に、石灰石スラリーを用いてSO_xを吸収し、石膏として回収する石灰石-石膏法が用いられている。

2-2-5 排水処理設備

発電所の排水には、生活排水、含油排水、一般排水および脱硫排水がある。これらの排水は、石膏、フライアッシュ等の浮遊物質（SS：Suspended Solid）や油、重金属などそれぞれ含む物質が異なっているため、図2-2-3に示すように排水毎に個別に処理された後、濾過器および吸着器を経て放水するという複雑な排水処理システムで処理される。

排水処理規模の大きい一般排水および脱硫排水処理システムにおいては、先ず懸濁固体や重金属が、凝集沈殿槽で沈降分離される。分離後、濾過器で微細な粒子が除去され、さらに活性炭などを用いた吸着器で化学的酸素要求量（COD：Chemical Oxygen Demand）に関わる物質を取り除き、排出されている。また、フッ素を多く含む排水では、その除去のためカルシウム塩やアルミニウム塩が凝集沈殿槽に添加されている。

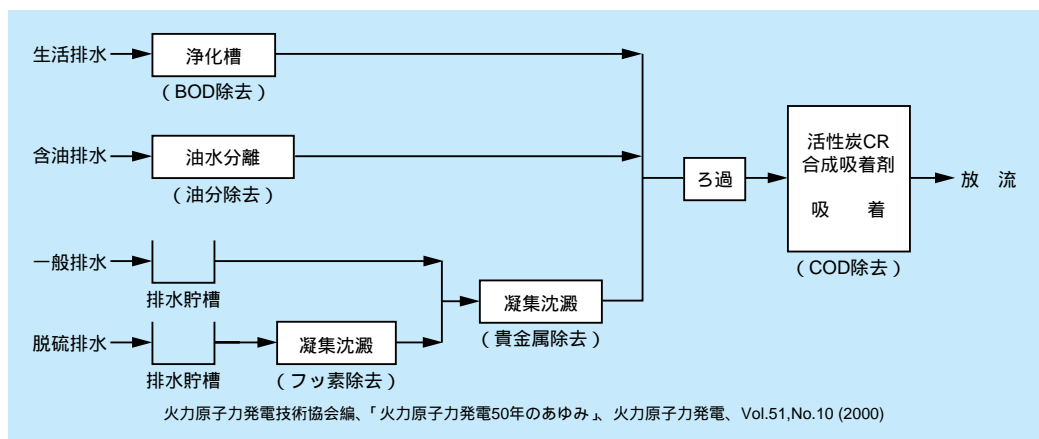


図2-2-3 排水処理フロー