

(解説)

神鋼神戸発電所における発電設備の概要

Shinko Kobe Power Station Outline



木田 真*
Makoto Kida



井掘 享*
Akira Ibori

The No. 1 Plant of the Shinko Kobe Power Station began commercial operation in April 2002; the No. 2 Plant goes into commercial generation in April 2004. The plants are both located near to dense urban areas, so utmost consideration was given to address the environmental concerns (for example prevention of dust dispersion). This paper introduces an overview of the plants' policies and design, as well as concrete examples related to primary equipment, etc.

まえがき = 電気事業法の規制緩和の一環として、1995年に電気事業法が改正された。電力会社の入札制度を通じて、一般企業が電力卸供給事業に参入することが可能になった。

厳しい経済環境下の日本鉄鋼業において、製鉄所に新規事業を興すことにより、企業競争力を高める必要があるとの認識に基づき、製鉄所の保有するインフラ(土地、原料岸壁)と長年製鉄所で培ってきた自家発電などのノウハウを活用した発電所の建設を計画し、電力卸事業に参画した。

1996年と1997年に関西電力㈱が実施した電力卸供給入札に応募し、70万kW × 2基(神鋼神戸発電所)を落札した。

神鋼神戸発電所は、神戸市の市街地の中心部に隣接する神戸製鉄所の西側1/3を占める1・2号高炉、原料ヤード、焼結工場の跡地(約30万m²)に計画した石炭火力発電所である。図1に設置場所を示す。

計画にあたっては、都市の電力自給率の向上、電力供

給系統の多重化により、災害に強い街づくりに貢献する「都市型発電所」をコンセプトとし、同時に、発電所周辺の環境への調和と地域社会との交流・共生を目指した。

1号機は2002年4月に営業運転を開始、2号機は2004年4月運転開始を目指し、機器単体試験を実施している段階である。

これまでの主な経緯を表1に示す。

1. 発電所全容

写真1に発電所の全景、図2にレイアウト、図3に全体フローを示す。

豪州などから入荷した石炭は、連続式アンローダで船から荷揚げし、コンベヤでサイロに搬送する。サイロより払出した石炭はコンベヤでボイラに送り、ミルにて微

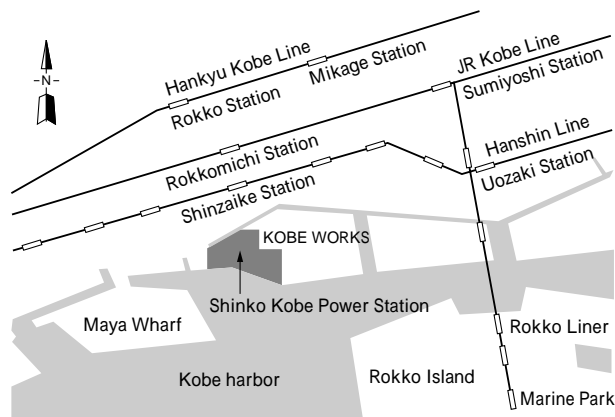


図1 設置場所
Fig. 1 Location

表1 主な経緯

Table 1 Major milestones

January 1997	Signed a wholesale power supply contract for the No.1 Power Plant.
January 1998	Signed a wholesale power supply contract for the No.2 Power Plant.
March	Submitted a preliminary environmental impact assessment and environmental impact study. Both were open to public inspection.
April	Held explanatory meetings in Nada-ku, Higashinada-ku, Chuo-ku and Ashiya.
June	Public hearings held by Hyogo Prefecture and Kobe City.
August	Submitted reports to the review boards to Hyogo Prefecture and Kobe City. Opinion papers received by the Mayor of Kobe and the governor of Hyogo.
October	Received feedback on the environmental assessment report.
November	Submitted revised environmental impact assessment and revised environmental impact study. Both were open to public inspection.
December	Signed an environment protection agreement with Kobe City.
March 1999	Started construction of the No.1 Power Plant.
February 2001	Started construction of the No.2 Power Plant.
August	Established Shinko Kobe Power Inc.
April 2002	Started commercial operation of No.1 Power Plant.
April 2004	No.2 Power Plant to commence commercial operation.

*鉄鋼部門 IPP 本部 発電部



写真1 発電所全景
Photo 1 Shinko Kobe Power Station

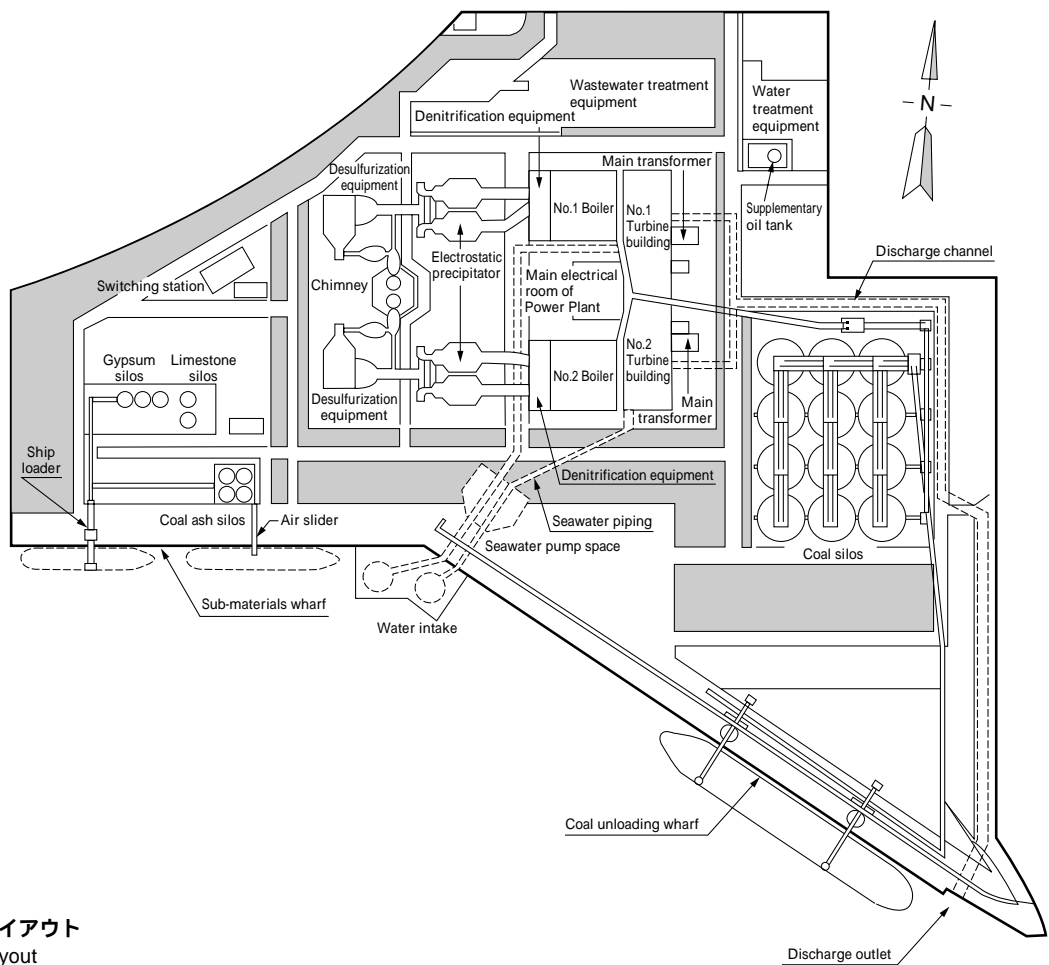


図2 レイアウト
Fig. 2 Layout

粉化し燃焼する。ボイラで発生した蒸気でタービンを駆動し、発電機で発電する。

ボイラから発生した燃焼ガスは、排煙処理設備（脱硝装置、電気集塵装置、排煙脱硫装置）で窒素酸化物、煤塵、硫黄酸化物を除去し煙突から排出する。脱硫装置などからの排水は排水処理設備で処理し、可能な限り回収・再利用を図ると同時に、放流する排水は基準の水質をクリアするよう処理を行っている。

石炭灰と脱硫装置で発生する石こうは、セメントメー

カに出荷し、セメント原料、石こうボードなどに全量リサイクルしている。

2. 揚貯運炭設備

揚貯運炭設備は石炭をハンドリングする際に発生する粉塵飛散を抑制するため、密閉方式を採用した（揚炭は密閉化したアンローダを採用、運炭はギャラリ・カバーで覆われた構造のコンベヤを採用、貯炭はサイロを採用した）。それぞれ写真2、写真3、図4を参照されたい。

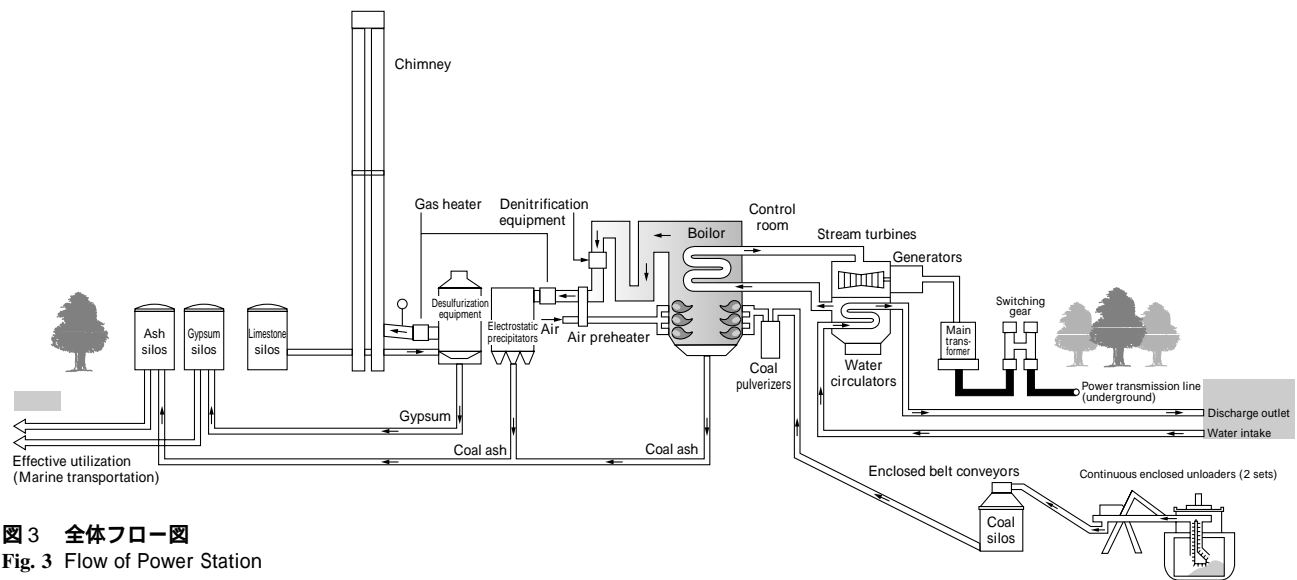


図3 全体フロー図
Fig. 3 Flow of Power Station



写真2 運炭貯炭設備
Photo 2 Coal silos and belt conveyor

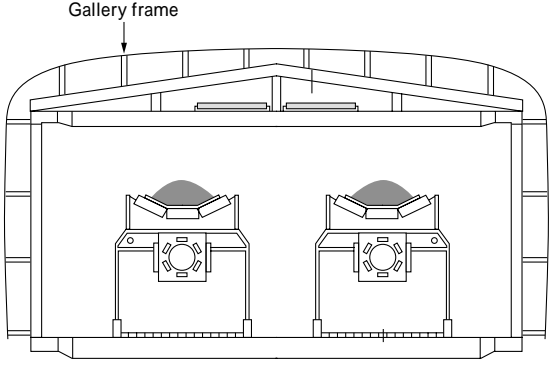


図4 コンベヤギャラリー断面
Fig. 4 Section of conveyor gallery



写真3 アンローダ
Photo 3 Unloader

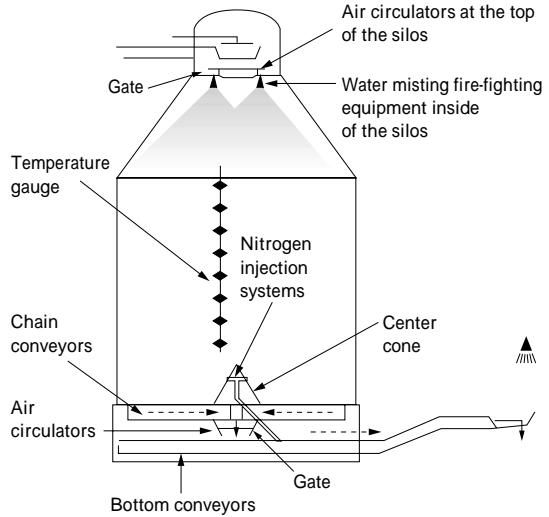


図5 石炭サイロ防災設備
Fig. 5 Fire prevention features of the coal silos

密閉化における課題は、サイロでの貯炭中における石炭酸化による温度上昇があげられる。そのため、サイロ採用にあたっては、温度上昇防止についての対策を重点的に検討した。サイロは投炭口、払出口を通して、コンベヤを収納するギャラリーなどにつながっており、ギャラリー内の空気が流入する構造となっている。投炭時、払出時を除く貯炭期間中に空気が流入しないよう空気遮断装置を設けた。更に酸化の早期発見のため、温度計及び、

酸化時に発生する微量のガス(CO, CH₄)の検知器を設け連続測定を可能とした。
また、運用面においても、貯炭日数を決め、酸化が進み温度が上昇する前にボイラで使い切ることとした。石炭需給上、基準の貯炭日数をこえる場合は、空のサイロへ移動し空冷、更に、必要に応じて散水、窒素吹込みを実施することとしている。
図5に設備面での対策を示す。

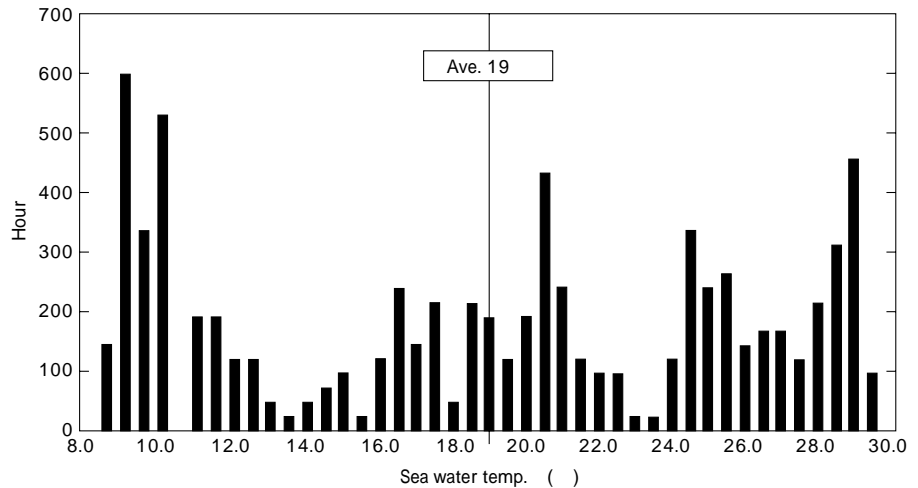


図6 海水温度分布
Fig. 6 Sea water temperature distribution

3. ボイラ・タービン・発電機設備

一般的に火力発電所では、蒸気温度と圧力の上昇により発電効率の向上が図られてきた。当発電所では実績を重視したため、蒸気条件（主蒸気温度/再熱蒸気温度：538 / 566）は必ずしも最高温度及び圧力ではないが、自家発電で培ってきた各種効率改善の経験を折込むことで、高效率設備の実現を目指した。下記にその改善事例を示す。

ボイラ設備：・排ガスの熱回収を最大限行う。

- タービン設備：・タービン最終段への40インチ翼を採用することによる排気損失の低減
- ・タービン内部の蒸気流れ改善，漏洩蒸気の低減
 - ・給水温度の高温化（タービン排気エネルギーの回収）
 - ・年間海水温度分布を考慮した復水器設計による効率向上

上述の中で、「年間海水温度分布を考慮した復水器設計による効率向上」について、以下に内容を記す。

復水器冷却水の設計温度は、立地点の年間温度とその温度における運転時間から決まるが、従来、本州中央部～九州では21～23程度とすることが多い。

図6に、当発電所に隣接する当社自家発電所で採取した神戸の海水温度データの度数分布を示す。この地点における海水の最高温度は29.5，最低温度は8.5，平均温度は19である。その運転時間は平均値を中心とした正規分布とはなっておらず、低温部，平均温度付近，高温部と大きく3つのピークをもった複雑な分布となっている。従って、従来は21～23で設計がなされているが、当発電所においては、設計温度を変化させた場合の運転コストと建設コストを実際に計算し、最も経済的な復水器冷却水の設計温度を定めることとした。

経済性評価による設計海水温度決定のイメージを図7に示す。設計海水温度が高くなるに従って燃料消費量は小さくなり、ランニングコストが小さくなる。しかし、設計海水温度が高くなると、伝熱面積の増加によりインシャルコストが増加するというデメリットがある。これらをトータルコストとして評価した結果、神戸の自然条

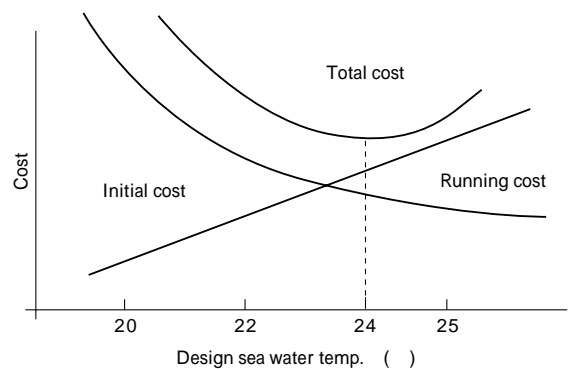


図7 総合コスト評価
Fig. 7 Total cost estimation

件と本発電所の運用条件では、24が最適ポイントであることがわかった。

このようにして設計された復水器は、結果として従来の設計海水温度22の場合に比べて平均運転熱効率が0.3%高くなっている。

4. 環境設備

4.1 大気環境保全設備（排煙処理設備）

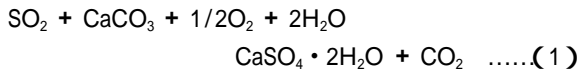
排煙処理設備は、 NO_x を除去する脱硝装置，煤塵を除去する電気集塵装置， SO_x を除去する脱硫装置，脱硫装置上流でガスの熱を回収し脱硫出側の排ガスを加熱するガスガスヒータ(GGH)とから構成されている。当発電所の排煙処理設備を計画するにあたり、個々の設備の特性を把握し、排煙処理設備トータルとして最適となる配列を比較検討した。

検討の結果、GGHの熱回収部を電気集塵装置の上流に設置する配列を採用した。この配列は、電気集塵装置入口の煤塵の電気抵抗を下げ、電気集塵装置の小型化が図れる。また、電気集塵装置入口の温度を下げることにより、有視煙の原因である SO_3 がガス状からミスト状になり電気集塵装置で除去されるため、有視煙発生を防止できる。

個々の装置に関しても、周辺環境に与える影響を低減するために仕様を検討してきた。その一例として、 SO_x 濃度を低減するための高pH脱硫装置について、以下に示す。

当発電所の脱硫装置は、湿式の石灰石こう法により、

SO_x を石灰及び空気中の酸素と反応させて石こうとして除去している。下に反応式を示す。



装置の機構は、石灰石粉のスラリーが入った吸収塔内に、スパージャパイプで排ガスを吹込み、数 mm の気泡として気液接触させ上記の反応により、SO_x を除去するものとなっている。この方式では気液の接触比率が高くとれるため、高い脱硫率が得られる。図 8 に脱硫設備を示す。

従来の火力発電所では脱硫率は 90 ~ 97%、SO_x 排出濃度は 20 ~ 50ppm の能力であるが、当発電所では環境保全協定から 8ppm を達成する必要があった。このため、脱硫入口 SO_x 最大濃度 834ppm に対して、排出濃度 8ppm、脱硫効率 99.1% と石炭火力としては国内最高レベルの設備仕様が求められた。

脱硫効率の向上としては、気液接触面積の増加（浸液深の増加）、SO_x 吸収速度の増加（吸収液 pH の増加）がある。吸収液とは、脱硫反応用の石灰石と反応により生成した石こうを含むスラリー液のことである。従来は浸液深を増加させ、脱硫効率の向上に対応していた。当発電所では、脱硫設備の圧力損失増加が大きく脱硫ファン動力の増加をまねくことから、浸液深の増加はおさえ、吸収液 pH を従来設計の 4.2 から 5.0 へ増加する対応を検討した。

吸収液 pH5.0 で運転した場合の課題として、次の 2 点があった。

まず、吸収液中の石こう、石灰石濃度が上昇し、スケールが発生しやすく、このスケールが剥離し、吸収液中に排ガスを吹込むノズルを閉塞させ、性能低下や圧力損失上昇が発生することである。

先行プラントでスケール発生部位を実績調査したところ、スケールは吸収塔の壁面に付着しやすいことがわかった。そこで壁面に洗浄スプレを追加し、付着スケールを連続除去することで、安定運転を可能とした。

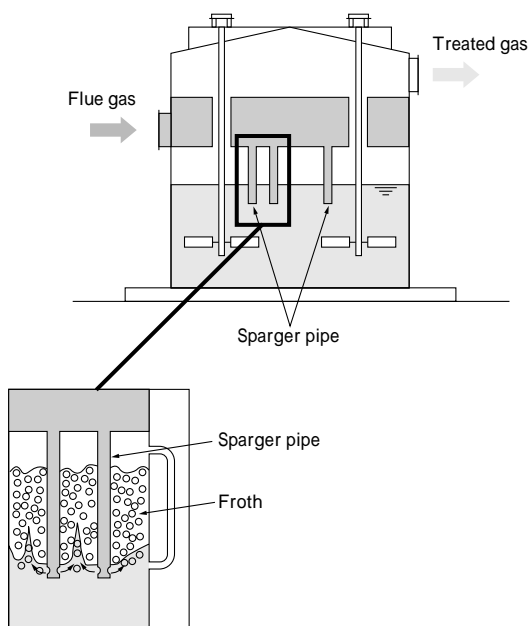


図 8 脱硫設備
Fig. 8 Desulfurization equipment

つぎに、石炭中のフッ素分の高い炭種を使用した場合に、石灰石の表面に不活性な皮膜（アパタイト）が生成し溶解されなくなる不活性化現象が発生し、脱硫性能が低下することである。

不活性化の発生を防止するために、石炭中のフッ素分の管理値を 170mg/kg と定め炭種選定を行うこととした。

稼働後は、安定した高 pH 運転を継続し、出側 SO_x 濃度は 8ppm 以下で運転できている。

4.2 水質保全設備（一般排水水処理設備、温排水）

4.2.1 一般排水水処理設備

排水処理設備においては、発電所から発生する排水を、含有塩類濃度の違いによって放流系と回収系とに分別して受入と処理を行い、回収系の水を再利用することで、水を極力有効利用することを図った。

排水の内、ボイラ・タービン系からのブロー排水、給水処理及び復水脱塩の再生排水の内、含有塩類濃度の低い排水は回収して再利用している。

そのほか、排煙脱硫装置からのブロー排水など、含有塩類濃度の高い排水は放流している。

排水処理では、従来からの凝集沈殿、ろ過、中和などの処理に加えて、脱窒・活性炭吸着・COD 吸着などの高度処理を行い、排出基準以下の水質とし排水としている。

4.2.2 温排水

当発電所では、主にタービン出側の蒸気を冷却することに 65m³/秒の海水を使用している。海水の取放水は、航行する船舶や海生物への影響を極力抑えるため、平均取水流速を 0.2m/秒以下、平均放水流速を 0.3m/秒以下と遅くしている。また、取水と放水との温度差が 7 以下となるようにしている。

5. 灰処理設備と石こう設備

灰処理設備と石こう設備は、粉塵の飛散を防止し、また灰、石こうのリサイクルを図ることを基本に設備を計画した。

粉塵飛散の防止については、搬送における灰は密閉化した気送設備、石こうはカバーで覆ったコンベヤ設備を採用し、貯蔵においては灰・石こうともにサイロ方式を採用した。写真 4 に石炭灰サイロ、写真 5 に石膏サイロを示す。

リサイクルについては、セメント会社に払出し、灰はセメント原料に、石こうは石こうボード原料などに有効利用している。

特に、灰処理設備の一部であるボイラ下部から発生するクリンカ灰を回収する装置は、クリンカを乾燥した状態のままで空気冷却し、粉砕回収する乾式クリンカ方式を国内で初めて採用した。従来、クリンカは加湿冷却させて回収する湿式が採用されており、この方式ではセメント原料としてキルンにて焼成する際に、水分の蒸発潜熱効率が低下する。乾式クリンカ装置では乾燥した状態で回収するため、効率が向上する。

また、湿式設備が必要であった水処理設備などが不要となり、設備設置面積の低減が可能となった。



写真4 石炭灰サイロ
Photo 4 Ash silos



写真5 石こうサイロ
Photo 5 Gypsum silos

また、石こうの貯蔵は倉庫方式が主流であるが、設備面積の低減を目的にサイロ方式を採用した。採用にあたっては、当発電所と同方式の脱硫装置で発生した石こうの物性（圧密した石こうを破壊する強度）を測定し、圧密した石こうを破壊する強度を上回る外力がかかるサイロ形状とし、圧密閉塞を防止した。

6. 設備の運転監視装置

発電設備の運転監視操作については、従来はCRTオペレーションと直立操作盤とを併用することが多かったが、製鉄プロセスや自家発電所での経験から、直立操作盤を廃し、全面CRTオペレーションとした。発電設備のユニット起動から停止までを自動化し、小人数で運転可能なシステムとした。

7. その他

当発電所のコンセプトである都市型発電設備として、景観や騒音についても周辺環境に与える影響を少なくすることを検討してきた。

景観については、煙突、建物及び構造物の形状や色彩について細かく配慮し決定してきた。また、都市景観に影響を及ぼす送電線は地中埋設とするなど、周囲の景観との調和を図った。

騒音については、低騒音型の機器の採用や防音カバー、防音壁を採用して対策を行い、事前に騒音のシミュレーションにより敷地境界で基準値を達成できることを確認して設備を計画した。

むすび＝発電設備の計画にあたっては、都市型発電所として周辺環境に与える影響を低減するよう考慮するとともに、卸電力供給者として電力安定供給のため、機器の信頼性を確認してきた。また、海水温度などの立地条件をきめ細かく見極めて、機器仕様の計画に反映してきた。

1号発電設備は02年4月に運転を開始し、以降順調に稼働し、1年を迎えることができた。

今後は、設備を維持管理する中で、設備の特性を把握し、設備面と操業面での改善に取り組んでいきたい。