

(株)イースクエア向け 100 MW 級発電プラント

宮 下 俊 明* 高 橋 貞 良** 遠 沢 純 一**

100 MW Class Power Plant for E-Square Co., Ltd.

by Toshiaki MIYASHITA, Sadayoshi TAKAHASHI, & Junichi ENZAWA

The Kazusa Power Plant, a 100 MW class combined-cycle power generation plant (gas turbine × 3 & steam turbine × 1), developed by Ennet Corporation (Power producer and supplier) and Ebara for E-Square Co., Ltd. has been operating since April 2003. The steam turbine (Model 2SQNV-9) is a 10-stage, multi-valve, condensing horizontal type while the gas turbines (Model FT8) are an aero-derivative type. This plant follows a DSS (Daily Start Stop) schedule and a stable power supply is being provided for supplementing Ennet Corporation power control.

Keywords: Power producer and supplier, Combined cycle, Gas turbine, Steam turbine, Heat recovery steam generator, Distributed control system, Startup and shut down sequence, 10' stage multi-valve condensing turbine, Aero-derivative

1. ま え が き

従来我が国の電力事業の仕組みは、昭和26年（1951年）以来ほぼ半世紀にわたり発電・送電・配電を地域ごとの電力会社が一貫して担当整備し、安定的に電力を供給する体制であった。

1990年の英国における国営電気事業の民営化・自由化が実施されたことにより、日本においても1990年代初頭から電力自由化の議論が本格化し、1995年12月改正電気事業法が施行され、まずIPP（独立系発電事業者）の電力卸供給事業への参入が自由化された。そして、2000年3月の改正電気事業法の施行により電力小売りの部分自由化が行われた。「特定規模電気事業者（PPS：Power Producer and Supplier）」が、電力会社の提供する託送サービスを利用して特別高圧需要家（契約電力2000 kW以上、受電電圧2万V以上）に対し電力を小売りすることが可能となった。現在の部分自由化の規模は、需要電力量の約30%であるが、今後、2004年4月から500 kW以上高圧需要家、2005年4月から50 kW以上へと自由化の範囲が拡大されていく予定である。

さて、ここに紹介する100 MW級発電プラントは、特

定規模電気事業者である(株)エネットと当社の共同出資により設立した(株)イースクエアへ納入したものである。

本プラントは、新規参入者向けの100 MW級大形ガスタービン複合発電設備として国内初の設備であり、(株)エネットの重要な電源に位置づけられ、2003年4月1日から営業運転を開始し、順調に稼働中であるのでその概要を報告する。

2. プラント概要

千葉県袖ヶ浦市中袖地区に建設されたかずさパワープラントは、最大発電端出力97.5 MWでガスタービンと蒸気タービンから構成されるコンバインドサイクル発電の発電所である。発電は(株)エネットの給電指令に基づき行われ、電力は所内動力を除きすべて(株)エネットに供給している。

本プラントの主要機器構成は次のとおりである。

ガスタービン (FT-8)	3台
ガスタービン発電機	3台
排熱回収ボイラ	3缶
蒸気タービン	1台
蒸気タービン発電機	1台
空冷コンデンサ	1台

これらの仕様を表1に、発電所の外観を写真1に、プラント全体の平面配置図を図1に示す。また、図2にプ

* 風水力事業本部 熱エネルギー室 プロジェクト部

** 荏原ハイドロテック(株)

** (株)荏原エリOTT

ロセスフローを示す。

本プラントの主な特長は次のとおりである。

- (1) 給電指令に対して、ガスタービンの運転台数を適切に制御することにより、高効率運転を維持している。
- (2) 夏季外気温に影響されずに安定した電力を供給できるようにガスタービン吸気冷却設備を設けている。
- (3) ガスタービンの燃料は都市ガスが主であるが、起動時の信頼性確保及び燃料価格弾力性確保のため dual fuel対応可能な仕様とし、400 kL灯油タンク2基を設備している。
- (4) 蒸気タービン復水器は、空冷式を採用している。
- (5) 発電所から出る排水を全量処理する排水処理設備を設けている。
- (6) 環境対策としてアンモニア水を還元剤とする乾式アンモニア接触還元法による脱硝設備を採用し、環境負荷の低減に最大限の努力を図っている。

3. 機械設備

3-1 ガスタービン

本プラントで採用したガスタービンFT-8は、Pratt & Whitney社製の航空機用エンジンJT8Dをもとに開発された航空機転用形二軸式ガスタービンで、発電用としては国内のIPPで既の実績のある機種である。FT-8は、小形軽量、高効率、モジュール構造のためメンテナンスが容易などの特長があり、本プラント稼働により合計9



04-81 01/203

写真1 プラント外観

Photo 1 Outside view of plant

表1 主要機器仕様

Table 1 Specifications of main equipment

機器名 Main equipment	台数 Qty	仕様 Specifications
ガスタービン Gas turbine	3	機名 Model FT8 形式 Type 開放サイクルフリータービン式 Open cycle free running ガス発生機 Gas generator 航空機エンジン転用形二軸式 Aero-derivative 2 shaft type 主性能 Performance 吸気温度 15℃ Temperature 外気圧力 絶対圧 0.1013 MPa Ambient press. 発電端出力 25.2 MW Output 燃料 都市ガス 13 A 又は灯油 Fuel LNG or kerosene
ガスタービン用 発電機 Gas turbine generator	3	形式 Type 横軸開放空冷式出口管通風形 回転界磁屋内形三相交流同期 発電機 Air-cooled revolving field type 3 phase synchronous generator 定格 Rating 出力 28.5 MVA Capacity 電圧 11 kV Voltage 極数 2極 Number of poles
排熱回収ボイラ (HRSG)	3	形式 Type 自然循環単同形三段圧排熱ボイラ Natural circulation triple pressure water tube waste heat boiler 蒸気条件 Steam condition 高圧 6.14 MPa 414℃ 27.5 t/h HP 中圧 0.85 MPa 178℃ 10.6 t/h IP
蒸気タービン Steam turbine	1	機名 Model 2SQNV-9 形式 Type 横形10段落外部制御混気復水 衝動タービン 10' stage multi-valve condensing turbine 出力 Output 21.9MW
蒸気タービン用 発電機 Steam turbine generator	1	形式 Type 横軸開放水冷熱交換器形 回転界磁形三相交流同期発電機 Totally enclosed water/air cooled revolving field type 3 phase synchronous generator 定格 Rating 出力 24.7 MVA Output 電圧 11 kV Voltage 極数 4極 Number of poles
復水器 Condenser	1	形式 Type 空冷コンデンサ Air-cooled condenser 入口蒸気圧 絶対圧 18.2 kPa Inlet steam press 流量 114 t/h Capacity
吸気冷却用 冷凍機 Refrigerators	2	形式 Type 密閉形遠心式ダブル コンプレッサ式ターボ冷凍機 Refrigerators 冷水能力 5591 kW Chilled water capacity 流量 685.8 t/h Capacity 冷水入出温度 14℃/7℃ Chilled water temperature

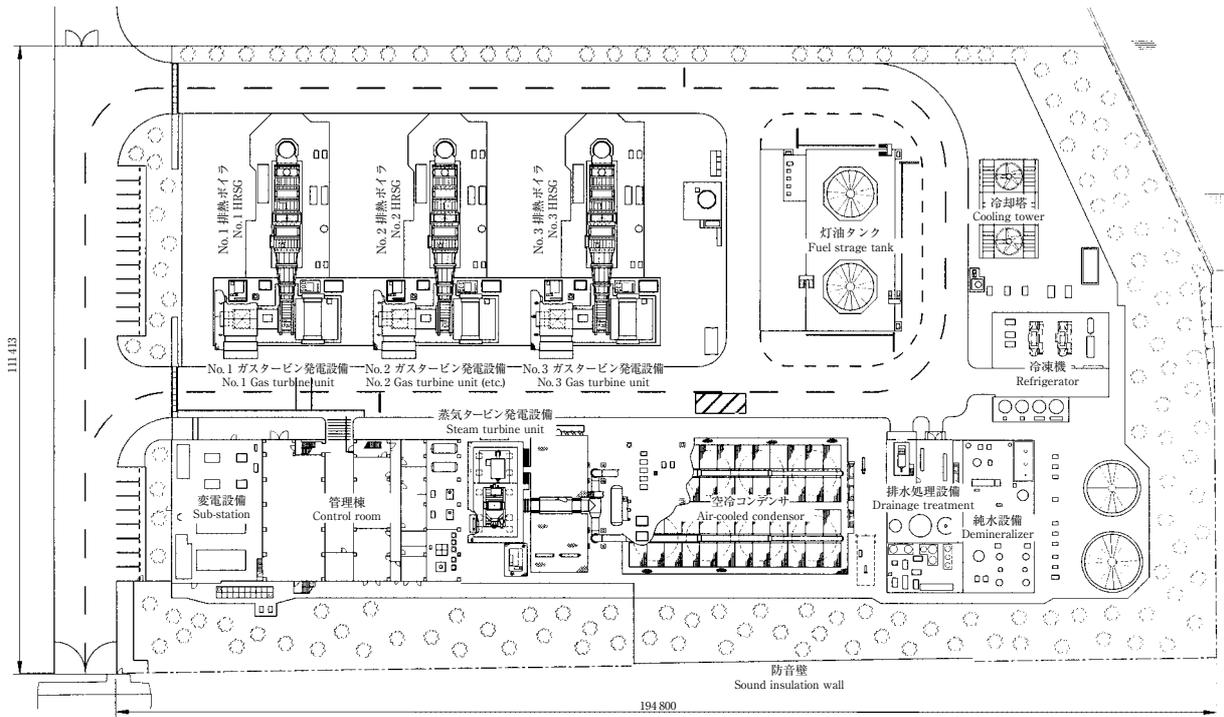


図1 平面配置図
Fig. 1 Layout drawing

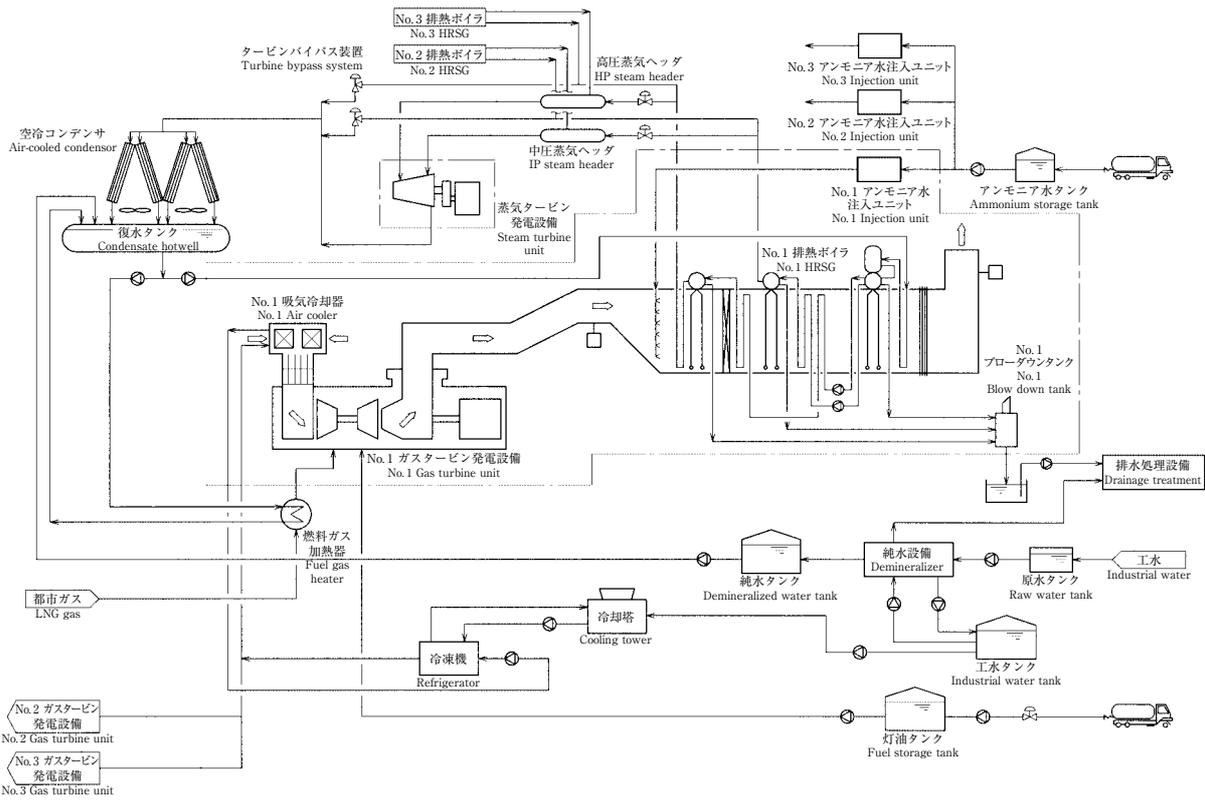


図2 プロセスフロー
Fig. 2 Process flow diagram

台が稼動することになる。

ガスタービンは、都市ガス、灯油いずれも使用が可能な dual fuel仕様となっている。ガスタービンパッケージは、ガスタービン (FT-8) 1台で発電機を駆動する方式で、定格出力は25.2 MWである。

ガスタービンと発電機のユニットは建屋を設けず、屋外形の防音エンクロージャに収納し、タービン吸気室をエンクロージャ前面側上部に設け防雨用フード付きフィルタチャンバ室とした。フィルタチャンバ室内には夏季に発電出力を維持するために吸気冷却熱交換器を有している。また、エンクロージャ内の保安設備としてガス漏れ検知器、消火設備としてCO₂消火設備を設置している。ガスタービン補機としての油圧始動装置、水噴射装置、各潤滑油装置は、エンクロージャ外部の配管スペースを有効利用し配置している。

3-2 排熱回収ボイラ

排熱回収ボイラ (HRSG: Heat Recovery Steam Generator) は、自然循環単胴形複圧式排熱ボイラ (屋外自立形) で、ガスタービン排ガスの熱エネルギーを高圧の過熱蒸気、中圧及び低圧の飽和蒸気として熱回収している。

ボイラの構造は横置き自立形ガス流れ水平式である。HRSGは高圧過熱器、高圧蒸発器、高圧節炭器など八つの伝熱部分からなり、各管群は上下に管寄せ部を設けたスパイラルフィン付伝熱管で構成されている。本体は海上輸送可能な4ブロックに分割製作し、据付を容易にすると共に現地工事を極力少なくした構造とし、ブロックとドラム間の耐圧部分だけ現地溶接で品質管理向上に努めた。

3-3 蒸気タービン

蒸気タービンは、当社の横形10段落外部制御混気復水衝動タービンである。主な仕様は次のとおりである。

- 定格出力 : 21.9 MW
- 主蒸気圧力: ゲージ圧 5.8 MPa
- 主蒸気温度: 410℃
- 主蒸気流量: 82.5 t/h
- 混気圧力 : ゲージ圧 0.7 MPa
- 混気流量 : 31.2 t/h
- 排気圧力 : 絶対圧 21.7 kPa

蒸気タービン及び発電機は全体の配置から管理棟操作室の真横で地上約5 mの基礎上に設置し、ガスタービンと同様に屋外形防音エンクロージャ内に収納した。また、蒸気タービンの排気方向は下排気方式とした。

プラントの運用は連続運転、DSS (Daily start stop)

運転とも可能な設備としており、立上時間を極力短くするため、3台のガスタービンのうちの1台目の起動過程で蒸気の圧力・温度条件が整い次第、蒸気タービンの暖機を行う方式としている。

3-4 タービンバイパス装置

本プラントにおけるタービンバイパス装置は、蒸気タービンの起動停止時と蒸気タービンの長期停止中における発電量を確保するため、HRSGの蒸気系統ごとに設けている。

タービンバイパスの減圧減温弁は、騒音低減を図った二段減圧方式を採用した多孔ケージ減圧部と、減温制御範囲の拡大や制御性を考慮する必要から、水噴霧パターンと流量範囲の異なる注水ノズル6本が減圧下流部に組み込まれた、新しいタイプの製品を採用している。

また、減温用ノズルから噴霧される微粒水滴を効果的に気化させるため、弁下流部に設けた多孔板の二重化を当社から提案して設置し、その効果を確認している。

3-5 空冷コンデンサ

本プラントでは、多量の工業用水や海水の取水、排水が困難なため、蒸気タービンの復水器として空冷式を採用した。コンデンサは8個のモジュールで構成され4個づつ2系統に区画できる。1個のモジュールは直径約8 mのプロペラファン上部に伝熱管をA型に配置している。蒸気は管束チューブ内を通過しながらファンによって送られた空気により冷却され凝縮し、飽和温度の水になり復水タンクへ流れ落ちる。また、凝縮せずに残った空気等は真空ポンプにより管束内から抜き取られる構造となっている。

蒸気タービンの安定した運転を行うため、蒸気量と外気温の変動に応じてファン風量をインバータ制御することでタービン排圧を一定にする。また本設備にはプラント起動時間の短縮及び停止時の真空破壊による伝熱管の発錆防止を目的として、蒸気タービンと空冷コンデンサ間に真空保持用しゃ断弁を設置している。

また、プラント稼動の安定化のため空冷コンデンサを2系統とし、片系統が停止中でもプラント全停止を防げるよう配慮した。

3-6 吸気冷却設備

本プラントでは、夏季ガスタービン出力維持のためにガスタービン燃焼空気を冷却するターボ冷凍機を設置している。冷凍機は制御性や耐久性を考慮したものとし、冷媒は環境影響の少ないフロン-123を使用している。冷凍機で製造された冷水は耐食性、耐久性の高いポリエチレン製の埋設導管により供給している。

4. 電気設備

かずさパワープラントの単線結線図を図3に示す。電気設備は開閉所と発電所に区分され、開閉所には発電所起動用電力の受電並びに発生電力の売電のための東京電力(株)との連系設備を設置している。連系にはSF6ガス絶縁開閉装置 (GIS) を採用し、東京電力(株)60 kV代宿環線配電線の一部となるループしゃ断器群、連系用しゃ断器並びに発電所との接続用しゃ断器群を設備している。

開閉所と発電所の間には66 kV CVTの地中ケーブル二回線のほか、通信用光ケーブル、低圧動力ケーブル二回線、制御-信号線並びに保安用通信線を布設し、電力の授受、開閉所の無人化、保安の確保を行っている。

発電所には11 kV 25.2 MW ガスタービン駆動発電機3台、11 kV 21.9 MW 蒸気タービン駆動発電機1台を設置し、最大97.5 MWを発電している。発電機からの11 kV電力はガスタービン2基を1系に、ガスタービン1

基と蒸気タービン1基を2系として集約し、それぞれ55 MVA変圧器により66 kVに昇圧されて地中ケーブルを介して開閉所に送り、一本に統合した上で東京電力(株)の送電線に送っている。

発電機運転後は発電された11 kVの電力を6 kV、400 Vに降圧し各配電盤を介してそれぞれの負荷に給電している。所内の負荷は、それぞれ、最重要負荷、重要負荷、一般負荷に区分している。

最重要負荷にはDCS電源、保安通信電源、ガスタービン潤滑油非常ポンプなどがあるが、これらの最重要負荷は、非常用発電機、蓄電池でバックアップを行い、非常時でも無停電で電力供給ができる構成としている。重要負荷には非常用発電機からの給電ができる構成としており、プラントの安全な停止ができるように設計している。一般負荷は1系と2系に分割され、それぞれは単独で停止できるように設計しており、全停止なしで主要機器の保守が可能な構成となっている。

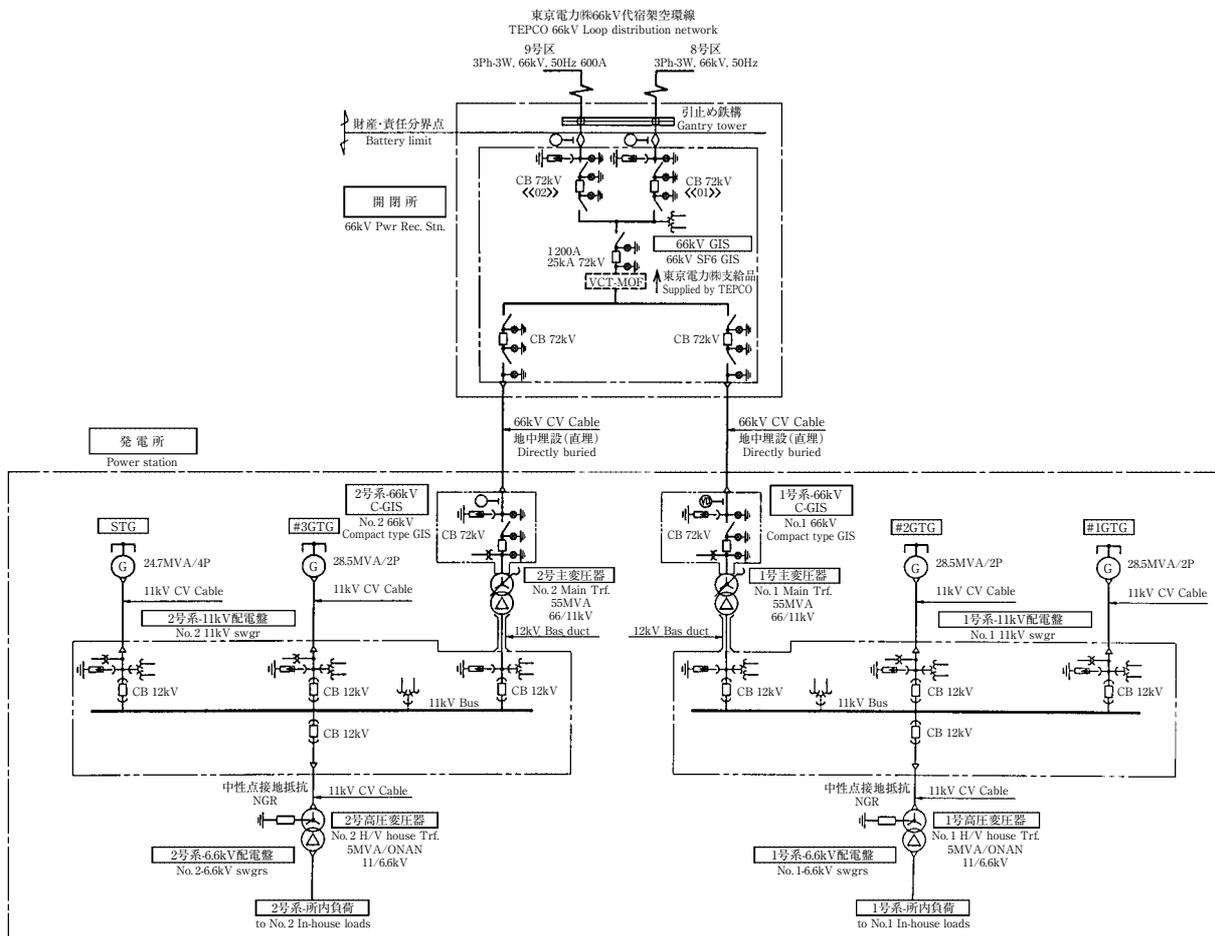


図3 単線結線図
Fig. 3 Single line wiring diagram

5. 計測制御設備

操作室に設置されている制御システムの構成図を図4に示す。各制御盤に搭載している機能は次のとおりである。

5-1 DCS及び運転操作卓

DCS (Distributed control system) には、次の制御機能を設けている。

- ・プラント自動起動、停止シーケンス制御機能
- ・給電指令に対する送電端電力の制御
- ・復水系統の制御機能
- ・各ボイラ系統の制御機能
- ・蒸気ヘッダ系統の制御
- ・燃料系統の制御機能
- ・BOP系統の制御機能

各DCSに搭載する制御機能は、ガスタービン系列に対応する機能はDCS1～3に分散し、BOP (Balance of plant) 系統などのプラントの共通設備に対してはDCSA, Bに分散あるいは冗長化して搭載している。これにより、プラント運転中の系列メンテナンスを可能にしている。

運転操作卓には5台のCRTを設けて、前記の制御状態の監視、操作を行っている。また、DCSダウン時に対応するため、蒸気タービン、各ガスタービン、プラント全体に対する非常停止スイッチと系列ごとのメンテナンス用のマスタスイッチを設けている。

5-2 ガスタービン監視制御盤

ガスタービン監視制御盤は各ガスタービンのエンジンの監視制御、ガスタービン補機監視制御、ガスタービンの自動起動、停止のシーケンス制御を行っており、ガス

タービン監視制御盤から単独でもガスタービンを運転可能としている。

5-3 蒸気タービン監視制御盤

蒸気タービン監視制御盤は蒸気タービン補機の監視制御、蒸気タービンのガバナ制御及び蒸気タービンの自動起動、停止のシーケンス制御を行っており、蒸気タービン監視制御盤からの操作も可能としている。

5-4 HRSG監視盤

HRSG監視盤にはITV (Industrial television) と記録計を設けている。ITVはボイラドラム水位計、液体燃料受入給油口等、プラントの遠隔監視を可能としている。また、記録計はNOx専用の記録計、工業用水受入の記録計とDCSから割り付けできる汎用の記録計を設けている。

5-5 発電機盤

発電機盤はガスタービン発電機監視制御盤、蒸気タービン発電機監視制御盤、特高監視制御盤、同期検定盤、励磁制御盤から構成されており、ガスタービン発電機及び蒸気タービン発電機の監視制御機能、所内電力系統のしゃ断器操作機能を有している。

6. 環境対策

本プラントの環境保全は、大気質の保全、水質の保全、土壌の保全、騒音防止、振動防止があり、プラント建設中から適用を受けた。

具体的施策は、「都市計画法」に基づく工業専用地域であり、市、県と当社が「公害の防止に関する協定」を締結している内容に沿って、自主環境影響評価を行った。

ガスタービン排ガスのNOx対策はガスタービン燃焼部分に水噴射を行うとともに乾式アンモニア接触還元法を採用した。HRSGでは、中温度域 (300℃近傍) に脱硝触媒を設置し、触媒下流の排ガスをブロワで抜き出しこれに25%アンモニア水を噴霧し完全蒸発させたのち、ガスタービン出口の拡散ダクトから吹き込んでいる。

水質保全のため、プラント用水から出る全排水量を発電所の水処理施設で浄化し海へ放流する方式とした。極力排水量を減らすことはもちろん、雨水排水も分離浄化する対策を施した。放流水は、放流口出口において毎日3回の採水を行い、COD (化学的酸素要求量)、T-N (窒素含有量) 及びT-P (りん含有量) の測定を行っている。

騒音対策としては、吸気冷却用冷凍機は建屋内に収納し、ガスタービン、蒸気タービンには防音エンクロージャを設置し、発生源での対策を施すとともに、タービンバイパス部及び空冷コンデンサ西側敷地境界線上に高さ

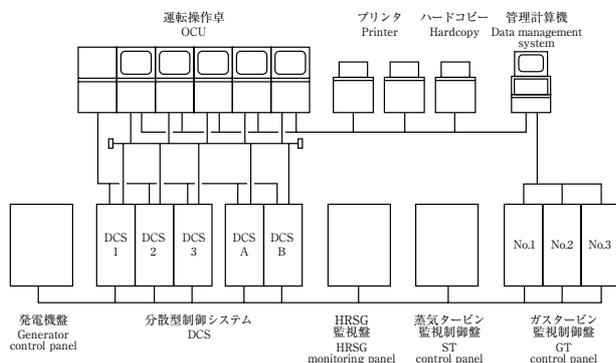


図4 制御システム構成図

Fig. 4 Control system configuration

9 mの防音壁を設けて近隣環境に配慮した。

各種環境規制値は、袖ヶ浦市、千葉県との建設前の事前協議内容を試運転調整で確認することができた。

7. あとがき

社内及び社外の多くの方々による協力を得て、IPP向けに続きPPS向けに発電所を建設することができた。

今回の発電所建設は2001年の正式スタートから24箇月という短期間にもかかわらず、無事に2003年4月の開

業運転を迎えることができ、現在順調に運転されている。

IPP向け発電所建設で培われた技術が、今回のPPS向け発電所建設に生かされ、更に今後のPPS向け発電所建設に数多くの技術が活用され、「環境負荷低減」で社会に貢献できることを確信している。

おわりに、本技術に深い御理解を示され、設計及び建設に際して多大な御協力をいただいた(株)エネット及び(株)イースクエアの関係各位に深く感謝の意を表する。

