

IPP 向けコンバインドサイクル発電設備

山形 通史 (やまがた なおふみ)

武田 淳一郎 (たけだ じゅんいちろう)

山本 隆夫 (やまもと たかお)

① まえがき

1995年電気事業法の改正で電力卸供給入札制度が導入され、それまで電力会社が専有していた市場の開放が始まった。翌1996年から電力卸供給入札が実施され、4年間で経過している。国内で実施されたこれまでの入札実績は、表1に示すとおりである。

また、2000年7月の電気事業法の改正で電力の小売り事業が自由化された。適用範囲は特別高圧電源に限られているが、商社や燃料会社などが電力小売り事業に参入を開始した。

このように、IPP (Independent Power Producer: 独立系発電事業者) と電力会社間で売電をめぐる競争が始まった。

以下、IPPのニーズに対応する富士電機とドイツ・シーメンス社 (富士・シーメンス) のコンバインドサイクル発電設備について紹介する。

② IPP 向けコンバインドサイクル発電設備の需要

IPP電源に求められているのは、発電単価が安いことおよび環境規制を確実にクリアできることである。発電単価の低減には、設備費の低減 (初期投資額の低減)、熱効率の向上 (燃料費の低減) および発電設備の信頼性・保守性の確保 (保守費の低減) が特に重要となる。

これまでの国内のIPPのベース電源には、安い石炭や重油と既設のインフラストラクチャーを利用した在来型の

火力発電設備が大半を占めてきた。

一方、国内の一日の電力需要変化は昼間と夜間の格差が大きく、DSS (Daily Start & Stop: 毎深夜停止起動) 運用のできる設備が求められている。急速起動が可能なガスタービンと小型の蒸気タービンの組合せで構成されているコンバインドサイクル発電設備は、短時間での起動が可能であり、この需要に対応が容易である。

また、従来型火力発電設備に比べて次の特長を持っているコンバインドサイクル発電設備の需要は、今後とも一層増加するものと予想される。

- (1) 建設コストが安く、建設期間が短い。
- (2) 定格負荷および部分負荷での熱効率が高い。
- (3) 環境特性がよい (NOx および CO₂ 排出量が少ない)。

③ 富士・シーメンスのコンバインドサイクル発電設備

3.1 コンバインドサイクル発電設備のラインアップ

富士・シーメンスのコンバインドサイクル発電設備の性能諸元例を表2に示す。

ガスタービン1台につき100~400MWクラスのラインアップであり、多軸についても系列化されている。送電端効率はいずれの場合も50% (LHV基準) 以上であり、3A形ガスタービン (VX4.3A) を採用した設備の送電端

表2 富士・シーメンスのコンバインドサイクル発電設備の性能諸元

モデル	形式	周波数	送電端出力	送電端効率
GUD 1S. V64. 3A ^{*1}	一軸	50/60 Hz	100 MW	52.4%
GUD 1. V84. 2 ^{*1}	別軸	60 Hz	160 MW	51.0%
GUD 1S. V84. 3A ^{*2}	一軸	60 Hz	267 MW	57.0%
GUD 1. V94. 2 ^{*1}	別軸	50 Hz	233 MW	51.5%
GUD 1S. V94. 2A ^{*2}	一軸	50 Hz	294 MW	55.2%
GUD 1S. V94. 3A ^{*2}	一軸	50 Hz	390 MW	57.3%

燃料はガスとし、低位発熱量 (LHV) 基準にて効率を算出。

*1: 複圧非再熱式コンバインドサイクル

*2: 三重圧再熱式コンバインドサイクル

表1 電力卸供給入札の実績

項目	年			
	1996	1997	1998	1999
募集容量	2,650 MW	2,855 MW	150 MW	1,000 MW
入札件数	100件	92件	5件	11件
入札容量	10,831 MW	14,254 MW	764 MW	2,510 MW
落札件数	20件	16件	2件	5件
落札容量	3,047 MW	3,118 MW	215 MW	1,000 MW

注 国内の全電力卸供給入札実績。落札辞退案件は反映せず。



山形 通史

火力発電設備のプラントエンジニアリング業務に従事。現在、電機システムカンパニー富士・シーメンスエネルギーシステム推進本部総括部技術部。



武田 淳一郎

火力発電設備のプラントエンジニアリング業務に従事。現在、電機システムカンパニー富士・シーメンスエネルギーシステム推進本部総括部技術部参与。



山本 隆夫

蒸気タービンの設計、ガスタービン発電設備のプラントエンジニアリングに従事。現在、電機システムカンパニー富士・シーメンスエネルギーシステム推進本部総括部技術部長。

効率は 57 % (LHV 基準) を超える世界最高水準である。

主要機器であるガスタービンは、1994年に開発された 1,400 級の最新型 3A 形機 (VX4. 3A) と、1970 ~ 1980 年代に開発され運転実績豊富な 1,100 級の 2 形機 (VX4. 2) が採用されている。シーメンス社の重負荷形ガスタービンのマーケットシェアは、最近では 30 ~ 40 % に達しており、世界各国の IPP 向けコンバインドサイクルにも数多くの納入実績がある。

3.2 標準プラント設計

富士・シーメンスのコンバインドサイクル発電設備は、基本仕様、現地要求仕様、顧客要求仕様に分けて、あらかじめ標準設計されている。

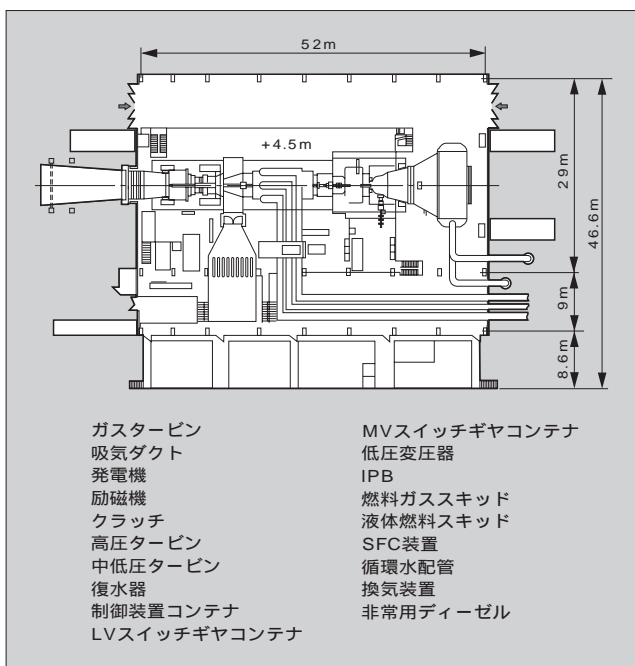
基本仕様はターンキーベースの供給範囲をカバーし、性能、経済性を最適化した標準として完成している。現地仕様および顧客要求仕様で変更が必要となる冷却水設備や二次燃料設備などは、オプションモジュールとして設備が標準設計されている。

このように最適化、標準設計を完了した基本仕様により、オプションモジュールを組み合わせることで、市場の要求に応じた幅広いプラント計画ができるようになっている。各モジュールの組合せを決めれば、三次元 CAD によって全体配置計画や、P&I (Piping & Instrument)、機器リストなどの各種エンジニアリングが容易に遂行できる。

こうした取組みにより、実プラントのエンジニアリング時間や設備費が低減でき、顧客にもコストダウンの成果を享受してもらうことができる。

標準プラント設計された配置図を図 1 に示す。これを適用して全体計画された一軸形コンバインドサイクル発電設備の例として、図 2 に三次元 CAD 設計されたプラント (GUD 1S. V94. 3A) の外観、図 3 に実際のプラントの外

図 1 一軸形コンバインドサイクル発電設備の配置図



観を示す。

4 コンバインドサイクル発電設備の各機器の特長

4.1 パワートレイン

富士・シーメンスの一軸形コンバインドサイクル発電設備のパワートレインは、図 4 に示すようにガスタービン、発電機、蒸気タービンの順で配置され、次の特長を有している。⁽¹⁾⁽²⁾

(1) パワートレインは床置き配置を採用

蒸気タービンに排気損失の少ない軸流排気方式を採用し、パワートレインを床置き配置としている。タービン架台が不要となるとともに、タービン建屋は 1 階構造とすることができ、従来の 3 階構造の建屋に比べて土木建築費用の大幅な低減が可能となった。

(2) クラッチの採用

発電機と蒸気タービンの間には、伸び差を吸収し自動着

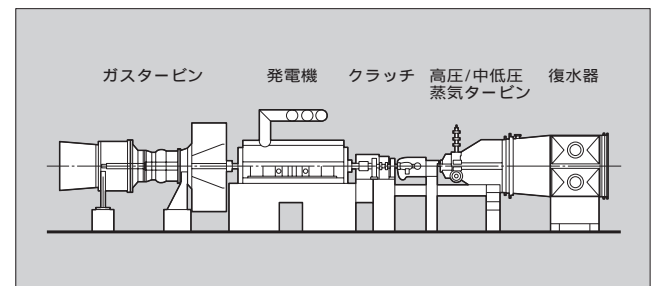
図 2 三次元 CAD 設計のプラントの外観



図 3 実際のプラントの外観



図 4 一軸形コンバインドサイクル発電設備の構成



脱のできるクラッチを設置している。これにより、ガスタービンおよび蒸気タービンは、伸び差やスラスト荷重に対して独立した設計が可能となり、標準タービンが適用できる。また、蒸気タービンとは無関係にガスタービンの起動・停止ができ、起動・停止ロスが低減できる。

(3) 静止形周波数変換装置 (SFC) の採用

ガスタービンの起動は、発電機を電動機として使用する静止形周波数変換起動方式である。起動用電動機などが不要で軸長が短くなり、全体配置を小さくしている。また、起動装置が電気設備だけで構成されるので保守が容易となる。

4.2 ガスタービン設備

シーメンス社のすべてのガスタービンに共通の特長は、実証済み技術に裏付けられた信頼性の高さと保守の容易さである。

(1) 軽量・高剛性のディスクタイプロータ

半径方向に切られたのこ歯状継手(ハースセレーション)を介して各ディスクを1本のボルト(センタータイボルト)で結合したロータは、各ディスクが個々に熱膨張した際にも拘束熱応力を生じることがなく相互の芯(しん)を保持する自己調芯機能を有している。熱時定数が小さく振動特性も優れているので、単体では最短12分での起動が可能である。

また、すべての動静翼は、ロータをつり出さずに交換、点検ができる。

(2) 大型燃焼室内でのマルチバーナ燃焼方式

均一な燃焼温度分布が得られ、低NOx、高燃焼効率に有利な大型燃焼室内でのマルチバーナ燃焼方式を採用している。ハイブリッドバーナは気液両燃料での予混合燃焼が可能である。天然ガス燃焼時の出口NOx濃度は21~30ppm(16% O₂ dry)で、アンモニアを使った有触媒脱硝装置により煙突出口では3ppm以下が達成できる。

また、保守・点検時には、マンホールから燃焼室内に入りバーナやタービン初段翼などの高温部品を直接目視点検できるので、短時間で確実な点検ができる。

これらに加えて、二軸受支持方式、水平二分割構造ケーシング、圧縮機端駆動、タービンは軸流排気、などの構造的特徴は、数十年の実証済み技術である。

最新型の3A形ガスタービン(図5)では、圧縮機翼列に三次元設計の拡散制御翼列、燃焼器にアニューラ形構造、タービン動翼に単結晶翼、タービン翼冷却には最新のフィルム冷却構造を採用し、高温度化、高効率化を達成している。

4.3 蒸気タービン設備

蒸気タービン設備は、軸流排気式蒸気タービンと軸流復水器の採用で排気損失を低減させ、高効率かつ経済的に優れた設備としている。各プラント形式と排気圧力に応じて低圧翼の選定とモデルの標準化が行われている。

三圧再熱形に採用される蒸気タービン(高圧はつぼ形、

中低圧は軸流排気式)の断面図を図6に示す。

4.4 発電機設備

発電機は、発電機容量に応じて空気冷却式と水素冷却式によって標準化している。一軸式のGUD 1S. V84. 3AおよびGUD 1S. V94. 3A用の大型発電機は効率重視で水素冷却式を採用し、それ以外の発電機は設備費と保守性に優れた空気冷却式を採用している。

4.5 計装制御システムおよび電気設備

計装制御システムは、シーメンス社製の発電プラント用プロセス制御システム「テレパームXP」を採用している。テレパームXPを採用した場合の特長としては、

- (1) ソフトウェア、ハードウェアの高度なモジュール化と柔軟な拡張性を持つ。
- (2) 国際水準の基本ソフトウェア(Windows^{注1}やUNIX^{注2}な

注1 Windows : 米国 Microsoft Corp. の登録商標

注2 UNIX : X/Open Company Ltd. がライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標

図5 3A形ガスタービン

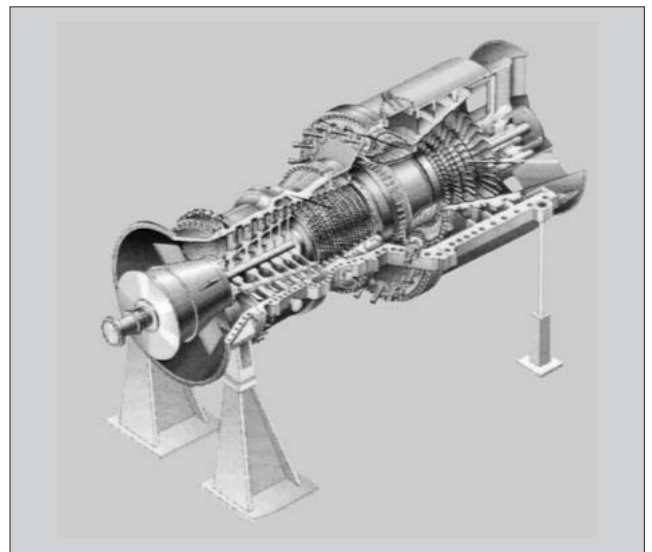


図6 三圧再熱形軸流排気蒸気タービン

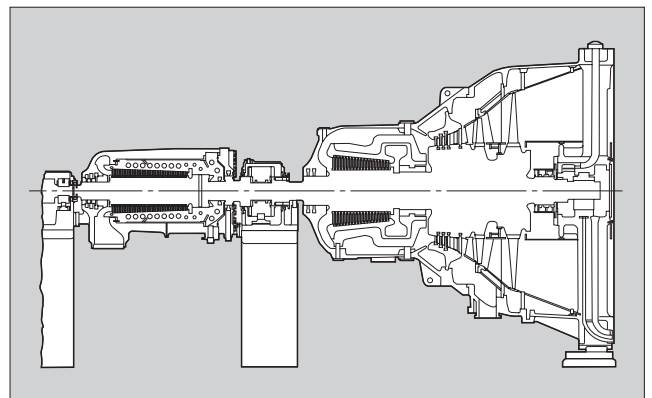


図7 テレパーム XP の階層構成の制御システム概念図

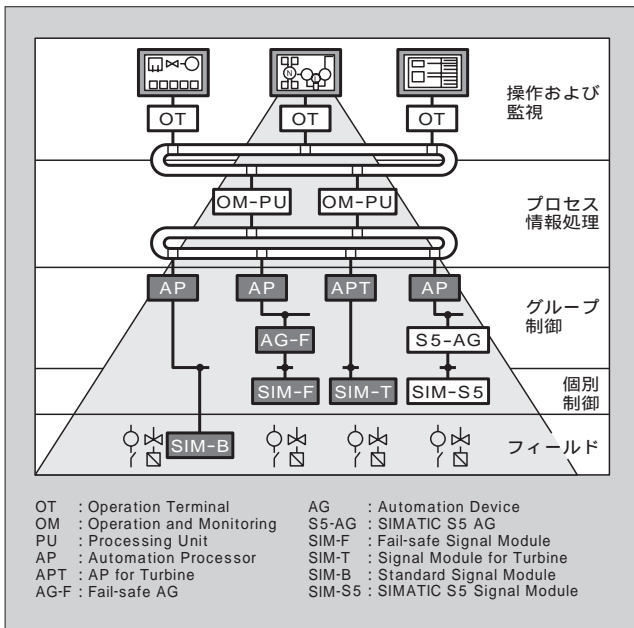
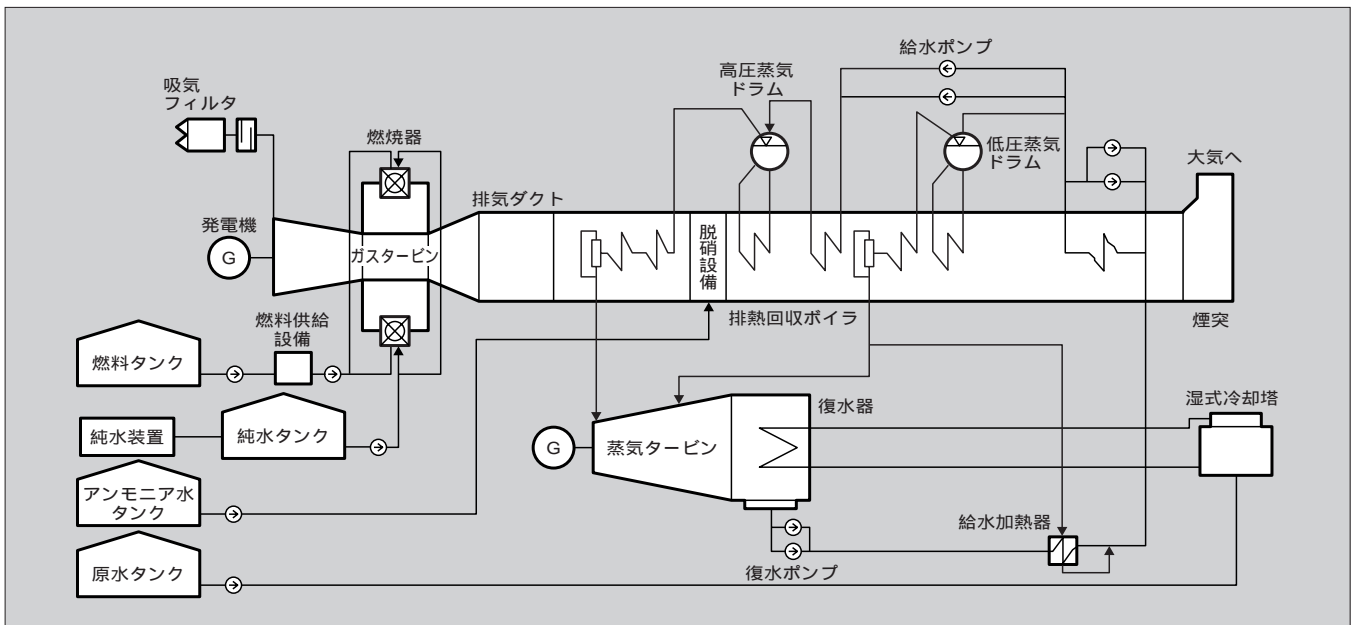


図8 電気制御装置収納コンテナ



図9 某IPPコンバインドサイクル発電設備の概略系統図



ど)とオープンコミュニケーションを採用している。
 (3) 統一された MMI (Man Machine Interface) による操作, 監視, 管理ができる。
 などがあげられる。

図7にテレパーム XP の階層構成の制御システム概念図を示す。

電気制御装置は, 図8に示すようなコンテナ収納式を採用しており, 建屋を必要としない。これにより土木建築費を低減している。また, 工場で配線, 組立および試験を行い完成度を高めることで, 現地での据付け, 試運転工程を短縮するとともにトータルコストダウンを図っている。

5 某社向けコンバインドサイクル発電設備

富士電機は, 1999年度の IPP 入札で落札された某社コンバインドサイクル発電設備の内定を得ている。表3に示すこの設備は, 富士・シーメンスが日本国内に納入する初

表3 IPP 発電設備の概要

項目	諸元
出力	約200 MW
プラント	別軸形コンバインドサイクル
ガスタービン	開放サイクル一軸形 (V94.2形ガスタービン)
蒸気タービン	混圧復水式
発電機	空気冷却同期発電機
冷却方式	湿式冷却塔
使用燃料	灯油
運転パターン	利用率 : ミドル30% 年間運転日数 : 223日 運転パターン : DSS 運用 運転時間 : 12時間/日
納期	2006年5月完工

のコンバインドサイクル発電設備となる。

この発電設備の特長は次のとおりである。

- (1) ガスタービンは信頼性を重視し、納入・運転実績の豊富な V94.2 形ガスタービンを採用している。
- (2) DSS 運用のため、起動・停止の損失、および停止中の所内動力の最小化を図った設備計画としている。
- (3) 蒸気タービンは、全周噴射絞り制御方式および軸流排気方式によって高効率を確保している。
- (4) 排熱回収ボイラは、ボイラ循環ポンプの不要な横形復圧式自然循環形ボイラを採用している。
- (5) 冬季の白煙防止のために、乾湿併用形冷却塔設備を採用している。
- (6) シーメンス社製制御装置を採用している。

このコンバインドサイクル発電設備の概略系統図を図 9 に示す。

⑥ あとがき

電力需要は今後も確実に増加することから、コンバイン

ドサイクル発電設備の建設は増加するものと思われる。また、在来火力発電設備が老朽化し更新する時期を迎えているが、新設するよりも少ない投資で高効率化ができるリパワリング案件も今後増加していくものと予想される。

一方、設備費の低減や効率向上、さらに環境問題の解決などの要求は、競争によりさらに厳しい課題となっていく。

今後ともコンバインドサイクル発電設備を顧客に満足していただける形で提供できるよう、富士・シーメンスが一体となって努力する所存である。

参考文献

- (1) Balling, L. et al. : The New Generation of Advanced GUD Combined-Cycle Blocks, Power Gen. Europe 95 (1995)
- (2) 明畷市郎：シーメンスの最新型コンバインドサイクルプラント，日本ガスタービン学会誌，Vol.27，No.3，p.146-152 (1999)
- (3) 吉川修平・山本隆夫：富士・シーメンスガスタービン，火力原子力発電，Vol.46，No.10，p.1181-1187 (1995)

最近登録になった富士出願

〔特 許〕

登録番号	名 称	発明者	登録番号	名 称	発明者
3097375	三相電流検出回路	松本 吉弘	3099542	交流入力振巾のデジタル推定演算方法	上部 誠二 新井 健司
3097394	回路遮断器の内装付属品表示装置	三浦 正夫 内田 直司 小嶋明比古	3099557	ダイオード	桜井 敬二
			3099577	有機薄膜発光素子	菅田 好信 黒田 昌美
3097610	誘導機可変速駆動装置	松本 康 大澤 千春 水上 哲也	3099582	自動販売機における情報収集方法	川崎 一哉
			3099584	表面加圧形半導体圧力センサの製造方法	山崎 高弘 石川 建司
3097628	光記録媒体	山崎 幹夫 菅野 敏之	3099585	報知装置	乾 大輔
3099407	リン酸型燃料電池の水処理システム	山本 修 小澤 芳明	3099586	空き缶回収機	清藤 真次 宮尾 哲也 永田 和重 垣内 弘行 岩本 昌三 橋口 勝敏
3099429	IPL 処理におけるファイルデータの保存方法	寄田 浩司			
3099487	伝送端末の非回線・光交信装置	沼上 毅			
3099529	有機薄膜発光素子	菅田 好信 白石洋太郎 黒田 昌美 古庄 昇	3099603	測距装置	森 賢一
			3099604	可撓性光電変換モジュール，その接続方法およびその製造装置	吉田 隆



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。