

日立H-25ガスタービンの特徴と適用例

Characteristics and Application of Hitachi H-25 Gas Turbine

荒井 修 Osamu Arai

廣瀬 俊一 Shunichi Hirose

寺西 光夫 Mitsuo Teranishi

鷺瀬 真二 Shinji Use

永井 信一 Shinichi Nagai

神野 賢治 Kenji Kamino

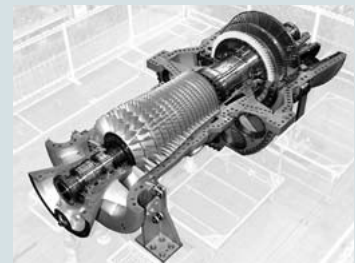
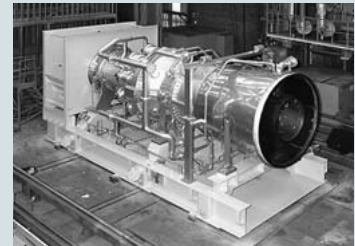


図1 ロシア連邦サハリン プロジェクト全景およびH-25ガスタービン開放状況

ロシア連邦サハリン島東岸の海底から採掘されるガスオイルを処理する陸側プラント用に、H-25ガスタービン発電設備4台をサハリン・エナジー社 (Sakhalin Energy Investment Company Ltd.) に納入した。プラント建設工事に電源供給する目的もあり、2台はガス/オイル両燃料対応のデュアル低NOx燃焼器を採用し、他の2台はガス専焼低NOx燃焼器としている。

日立製作所が供給しているH-25ガスタービンは、信頼性が高いことと、このクラスにおいて高効率であることから、日本国内はもとより、世界各国から多数の発注を受け、受注台数は100台を超えている。その適用分野は、電力向け、一般産業用、石油・ガス分野と多岐にわたっている。

日立製作所は、常に電源設備としてのH-25ガスタービンの改善を図り、その適用分野に寄与している。

1. はじめに

近年、地球温暖化防止対策としてさまざまな対策が検討されているが、ガスタービン発電システムにおいてもCO₂などの温室効果ガス削減に向けて高効率のガスタービンコンバインドサイクルや熱電併給システムなどへの適用が増えている。また電源系統から遠く離れた地域におけるアイランドオペレーション(孤立系統)電源供給用や、自家発電用などさまざまな市

場にも、ガスタービン発電システムが適用されている。また一方では通常小型ガスタービンを用いたメカニカルドライブ方式の代わりに、小型ガスタービンを電動機に代え、中大型ガスタービン発電設備を電源とした電動機駆動方式にした例も見られる。

日立製作所が供給しているH-25ガスタービンは、30 MWクラスの開放単純サイクル1軸型ガスタービンである。

H-25ガスタービンの特徴は、以下のとおりである。

- (1) ヘビーデューティ型であり、信頼性が高く、連続運転用として最適である。
- (2) ガスタービンシンプルサイクルとしての起動時間は、点火から定格負荷まで約15~20分と、従来汽力発電に比較して短く、DSS(Daily Start-up and Shut-down)運用やピーク運用としても適用できる。
- (3) 高性能のタービン冷却技術と、高性能圧縮機技術の適

用により、ヘビーデューティ型30 MWクラスとしては最高水準の熱効率を有しており、また排熱回収ボイラ(HRS: Heat Recovery Steam Generator)と組み合わせたコージェネレーションや蒸気タービンと組み合わせたコンバインドサイクルとしての効率は最高水準にある。

(4) 水平分割式ケーシングや、多缶式燃焼器の採用により、メンテナンス性に優れ、現地での高温部品の交換が可能である。

(5) 各種燃焼器技術の適用により、軽油、天然ガス(LNG: Liquefied Natural Gas)、LPG(Liquefied Petroleum Gas)などの複数の燃料に対応でき、また、湿式・乾式の低NO_x燃焼器の適用により低NO_x環境対策の実現が可能である。

燃料多様化技術としては、オフガス、COG(Coke Oven Gas: コークス炉ガス)、石炭ガス、ジメチルエーテルといった特殊燃料にも積極的に取り組んでいる。

ここでは、H-25ガスタービンの歴史と特徴、および最近の適用例について述べる(図1参照)。

2. H-25ガスタービンの歴史

1988年にH-25ガスタービンの初号機が完成し、出光興産株式会社徳山製油所に納入された。

その後、1990年にはスケールダウンモデルであるH-15初号機を石炭ガス化複合発電技術研究組合に納入し、その適用範囲の拡大に努めてきた。

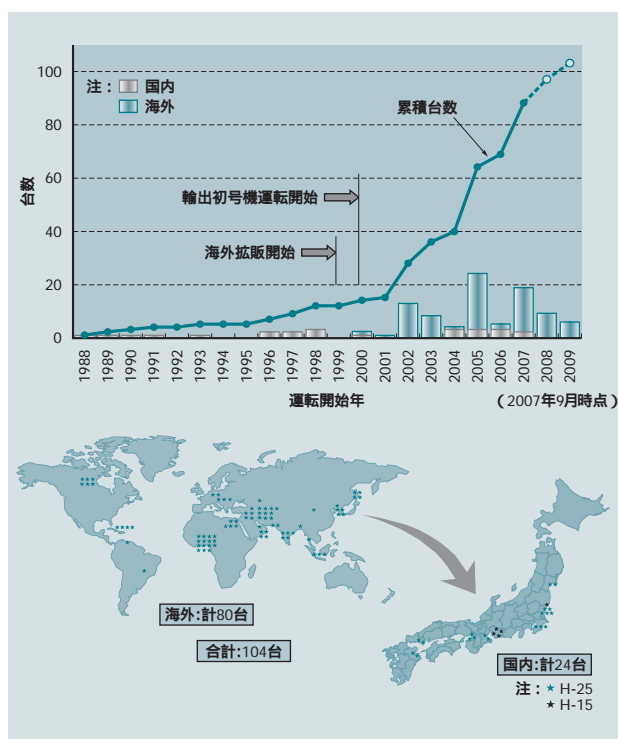
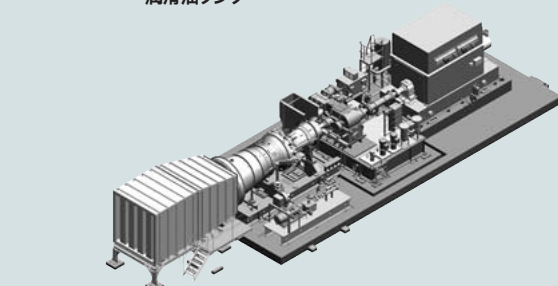
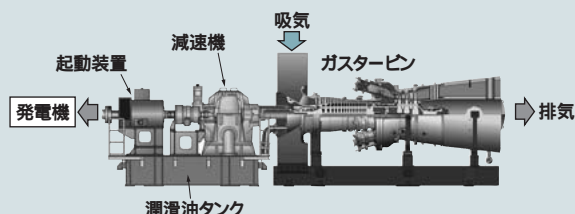


図2 H-25ガスタービンの国内外における納入実績(2008年と2009年は予測)について示す。最低気温-48℃の極寒のロシアから、最高気温54℃の灼熱のイラクまで、さまざまな環境の下でH-25ガスタービンは順調に運転を続けている。

項目	単位	H-25		H-15	
		天然ガス	A重油	天然ガス	A重油
燃料		天然ガス	A重油	天然ガス	A重油
出力	MW	31.0	30.0	16.9	16.0
発電端効率(LHV)	%	34.8	33.6	34.3	32.6
圧縮機入口空気流量	kg/s	92.4	92.4	52.0	52.0
排気温度		564	564	564	564

条件
ISO条件(大気温度:15℃, 相対湿度60%)
吸気圧力損失:0.87 kPa(3.5 inchH₂O)
排気圧力損失:0.62 kPa(2.5 inchH₂O)

(a) ISO条件における性能
ヘビーデューティ型の高い信頼性と34.8%の高効率を達成



(b) H-25ガスタービンの機器構成と配置構成概観
コンパクトでフレキシブルな機器配置構成を実現

図3 H-25ガスタービンの構成および性能
H-25ガスタービンの機器構成および性能を示す。

H-25初号機納入から約10年間は主に国内石油化学会社向けのコージェネレーション用として納入されたが、この間の経験と実績をベースに、2000年に海外向け初号機を韓国に納入し、それ以降7年の間に世界各国に納入実績を積み重ねてきた(図2参照)。

H-25/H-15ガスタービンは、高性能、高信頼性であることが評価され、これまでの累計受注台数は100台を超えている。また、総運転時間は140万時間を超え、図2に示すように現在世界各地で順調に運転継続中である。

3. H-25ガスタービンの性能と機器構成

3.1 H-25ガスタービンの性能

ISO(国際標準化機構)条件でのH-25/H-15ガスタービンの性能を図3(a)に示す。H-25は、天然ガス燃焼(だきにおいて、出力31 MW、発電端熱効率34.8% LHV(Lower Heating Value)を達成している。

この性能は、30 MWクラスのヘビーデューティ型ガスタービンとしては高く、さらに蒸気タービンと組み合わせたコンバインドサイクル効率は発電端熱効率50% LHV以上と最高レベルにある。

3.2 H-25ガスタービンの機器構成

H-25ガスタービンの機器構成と配置構成の概観を図3(b)に示す。

H-25ガスタービンは大きく分けて17段の軸流圧縮機, 10缶の缶式燃焼器, 3段のタービンから構成される。軸受は強制給油式であり, ジャーナル軸受がタービン側のNO.1と圧縮機側のNO.2に, スラスト軸受が圧縮機側にあり, いずれもテイルテイングパッド方式が用いられている。

ケーシングは, 圧縮機側, タービン側ともに水平分割式で, サポートは熱伸びが吸収できる構造がとられている。

排気は当初側方排気が主流であったが, 近年は効率を向上させる目的で軸流排気式も採用されている。軸流式は, 圧縮機前側軸に補機駆動歯車付き減速機が接続され, 起動モータと発電機が接続される。潤滑油タンクは, オフベーススキッドとして別に設置される場合と, 図3(b)のように減速機のベースを兼ねてコンパクトに配置する方法がある。

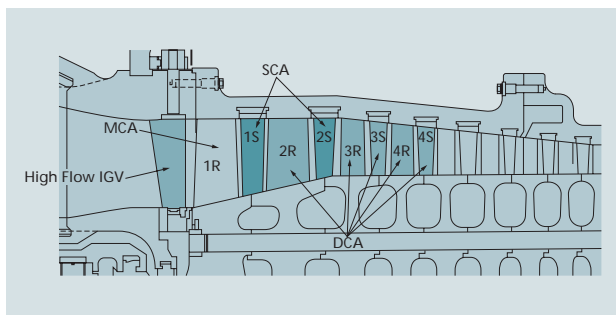
4. 圧縮機の適用技術

H-25ガスタービンの圧縮機は軸流17段であり, 圧力比は約15である。圧縮機入口に, 入口案内翼IGV(Inlet Guide Vane)が設置されており, 油圧駆動によって空気流量可変となっている。

圧縮機前段側は, マッハ数が高く, 損失を抑えるためにスーパークリティカル翼, 多重円弧翼, 二重円弧翼を採用している(図4参照)。

動翼, 静翼材料としては, 12Cr-Nb鋼および12Cr鋼を採用し, さらに表面には耐食性コーティングを適用している。

システムとしては, 圧縮機6段と13段の抽気により, 起動時には回転失速防止のため空気を系外に排出し, さらに6段抽気は軸受のシールと排気フレームの冷却を行い, 13段抽気は2段, 3段静翼の冷却を行っている。



注:略語説明 IGV(Inlet Guide Vane:入口案内翼)
MCA(Multiple Circular Arc:多重円弧翼)
SCA(Supercritical Arc:スーパークリティカル翼)
DCA(Double Circular Arc:二重円弧翼)
S(Stator), R(Rotor)

図4 H-25ガスタービンの圧縮機技術
H-25ガスタービンの圧縮機翼の種類を示す。

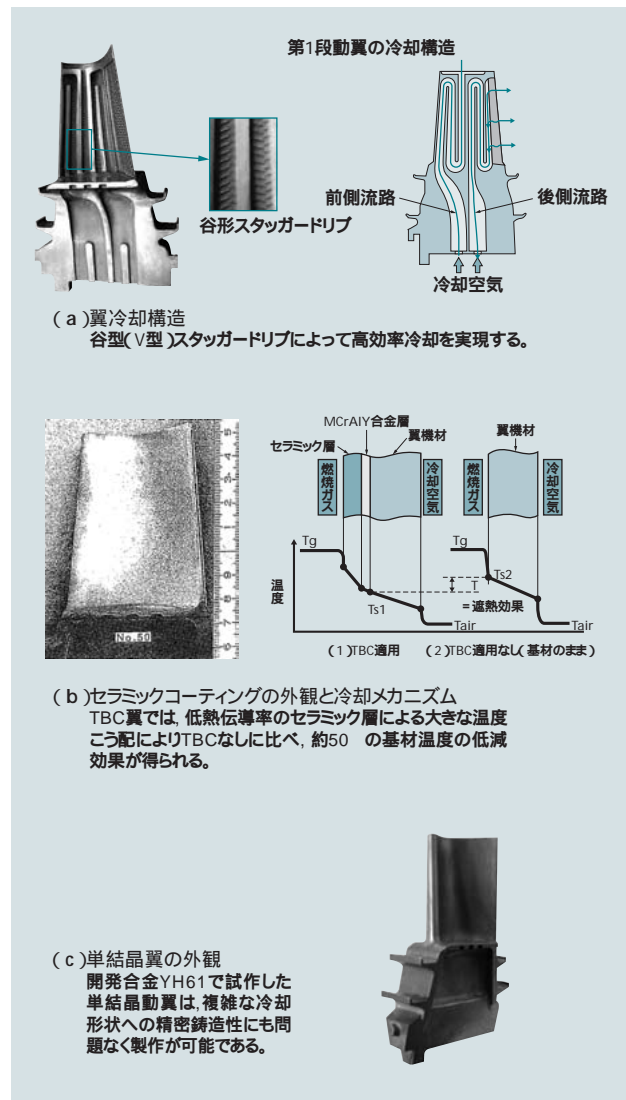
5. タービンの適用技術

H-25のタービンは, 衝動式3段で構成されており, 1段動翼にはマルチパス型冷却翼を適用し, 日立製作所が開発した谷形スタガードリップを採用して, 冷却効率向上を実現している(図5(a)参照)。

動翼材料としては, 高温強度に優れたNi合金を採用し, 初段動翼には図5(b)に示すTBC(Thermal Barrier Coating:熱遮蔽(へい)コーティング)を適用し, 翼メタル表面温度を低下させている。

初段静翼は, 内面へのインピジメント冷却と翼表面のフィルム冷却およびピンフィン冷却を組み合わせた冷却方式を採用している。材質は高温腐食に強いCo合金を採用している。

以上の技術によって冷却空気の削減を行い, 熱効率の向上を実現しており, さらなる効率向上技術として, 図5(c)に示す単結晶翼の試作も完了している。



注:略語説明 Tg(燃焼ガス温度), Ts1-Ts2(基材表面側温度)
Tair(冷却空気温度), TBC(Thermal Barrier Coating)

図5 H-25ガスタービンのタービン技術
H-25ガスタービンの翼冷却技術(a), コーティング技術(b), 材料技術(c)を示す。

6. 燃焼器の適用技術

H-25ガスタービンの燃焼器は10缶の缶型燃焼器で、各缶はクロスファイア管によって連通させた構造となっており、保守性がよいという特徴がある。

燃料としては、ガス、油の専焼、ガス・油の二重焚き、ガス・ガスの二重焚きが可能である。

NO_x低減対策としては、湿式法である水噴射式や蒸気噴射式の適用が可能であり、また乾式法では、日立製作所が開発した低NO_x燃焼器により、天然ガスによる定格運転時15%O₂換算値にて25 ppm(Dry)以下を達成することが可能である(図6(a)、(b)参照)。

H-25/H-15に適用してきた燃料の種類としては、天然ガス、オフガス、石炭ガス、灯油、軽油、A重油、分解ケロシンなどがある。

さらなる燃料多様化への取り組みとして、ジメチルエーテルの燃焼が可能なるクラスタバーナを開発しており、実負荷試験によって燃焼性能を確認した(図6(c)参照)。この燃焼システムは、従来の予混合バーナに比べて短い距離で急速に予混合させることができるため、燃焼速度の速い燃料に適用でき、低NO_x化が可能である。

7. H-25ガスタービンの適用例

7.1 電力会社向けの適用例

電力会社向けの適用例として、2007年に運転開始したハンガリー-E.ON社ハンガリー-NYKCE(Nyiregyházi Kombinált Ciklusú Erőmű)プロジェクトについて述べる。

NYKCEプロジェクト向けH-25ガスタービンは、日立製作所の欧州向けとしては5台目である。

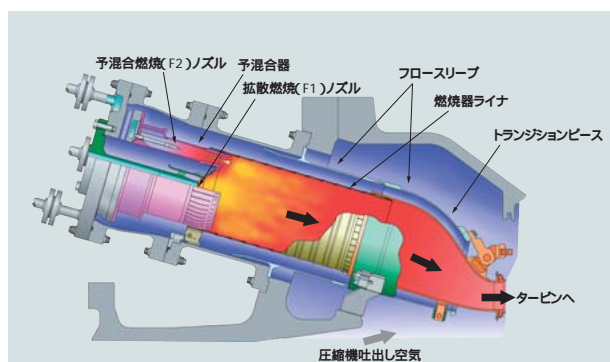
図7の系統図に示すように、H-25ガスタービン1台、追い焚きバーナ付き排熱回収ボイラ1台、蒸気タービン1台から構成される多軸コンバインドサイクルプラントである。

送電端コンバインド出力は29.5 ~ 49.5 MWである。このプラントは、ガスタービン排熱を利用して地域暖房用温水を供給するとともに、付近の工場向けに26 barの高圧蒸気と7.5 barの低圧蒸気を供給する熱電併給システムであり、89.3%のコージェネレーション効率を持つ高効率プラントである。

ガスタービン吸気フィルタの氷結防止として、ガスタービンエンクロージャの換気出口高温空気を再循環させるシステムを採用している。燃焼器には、低NO_x燃焼器を導入し、定格運転時15%O₂換算値にて25 ppm(Dry)以下を達成している。

7.2 石油化学会社向け適用実績(1)

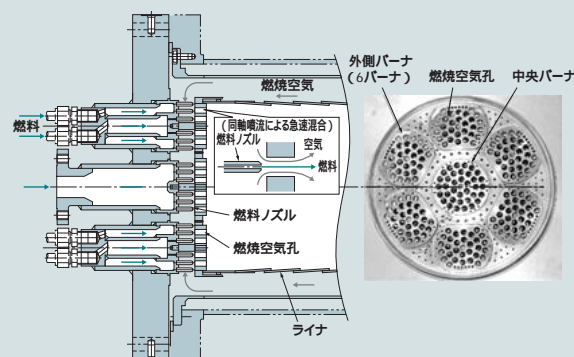
石油化学会社向けの適用実績として、ペトロチャイナ社ベタラ地区ガス田開発プロジェクトについて述べる(図8参照)。このプロジェクトはインドネシア共和国スマトラ島のジャングルの



(a) 乾式低NO_x燃焼器構造



(b) 乾式低NO_x燃焼器外観



(c) クラスタバーナ構造

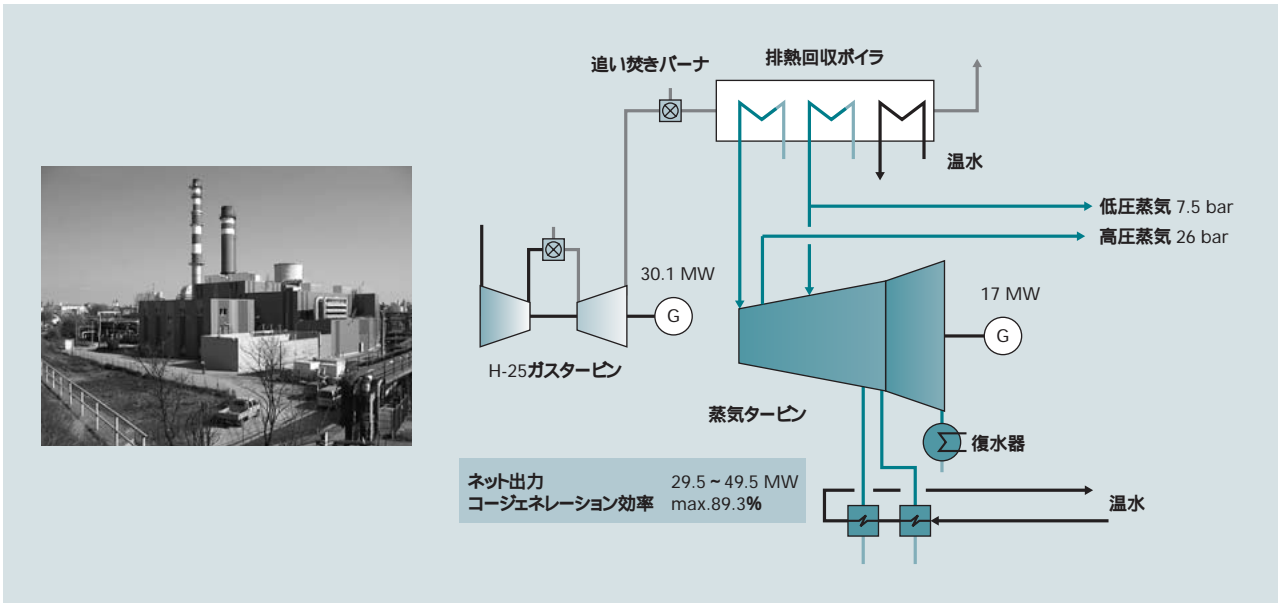
注: 略語説明 LNG(Liquefied Natural Gas), DME(Dimethyl Ether)

図6 H-25ガスタービンの燃焼器技術

H-25ガスタービンの低NO_x燃焼器(a)、(b)およびクラスタバーナ構造(c)を示す。実負荷燃焼試験において、LNG焚きおよびDME焚きともに良好なNO_x低減効果が得られている。

中にあり、インドネシアの電力系統(50 Hz)から遠く離れているため、H-25ガスタービン3セットをプロジェクトサイトの電源設備とし、一般に言われるアイランドオペレーションで運転されているものである。また、機器の小型化とトータルシステムのコストダウンを考慮して、ポンプなどが高速で運転できる60 Hzで設計されている。

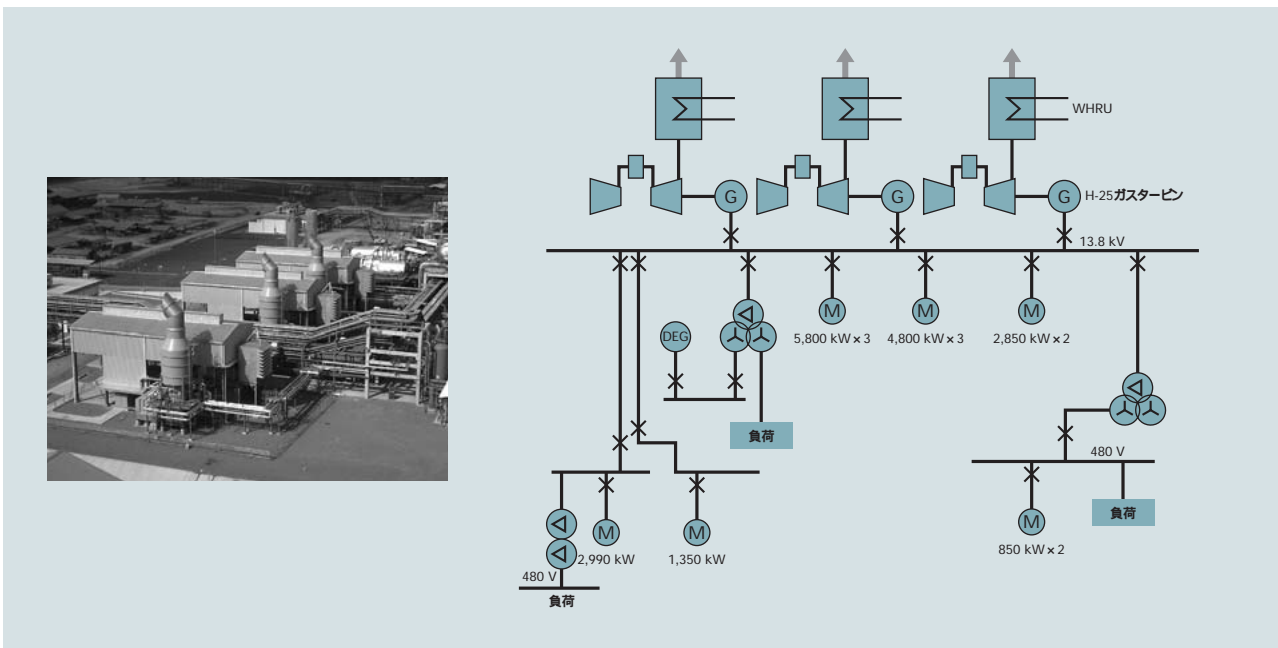
このサイトには5,800 kW、4,800 kW、2,990 kWなど、多数の電動機駆動圧縮機があり、従来これらの圧縮機駆動設備は、メカニカルドライブガスタービンを用いるのが主流であった。しかし、ガスタービンは定期的に高温部品などのスペアパー



注:略語説明 (G Generator)

図7 ハンガリーE.ON社ハンガリーNYKCEプロジェクト

プロジェクトの外観(左)と系統構成(右)を示す。この発電所は系統に連系されており、付近にある工場に電源を供給するとともに、暖房熱源を供給するために建設されたものである。



注:略語説明 (G Generator), (M) Motor, DEG (Diesel Engine Generator), WHRU (Waste Heat Recovery Unit)

図8 インドネシア共和国ペトロチャイナ社ベタラプロジェクト

プロジェクトの外観と系統構成を示す。近隣の数十個所のガス井からのガスと液をパイプラインで受け入れ、気液分離した天然ガスを精製する設備で、プロセスガス中の水分を除去するドライヤーの吸着材 (Molecular Sieve) を再生するために高温のガスが必要とされ、H-25ガスタービンの排熱を利用している。

ツの交換が必要であり、多数のメカニカルドライブガスタービンを設置した場合、スペアパーツの必要量も多くなる。当初計画ではそれぞれの遠心圧縮機を個別の小型ガスタービンで駆動し、そのほかに数台の小型のガスタービン発電設備を導入するものであった。しかし、運転の容易さ、レイアウトの容易さ、メンテナンスの軽減、予備品の負担軽減、およびコストダウン効果などのメリットが検討され、電源設備をH-25に集約し、圧縮機をすべて電動機駆動に変更することでシステム全体とし

ての運用性が高められている。

7.3 石油化学会社向け適用実績(2)

図1に示したサハリンプロジェクトの建屋内H-25配置計画図を図9に示す。このプロジェクトは、外気温度 -48 にもなる寒冷地に適用した例であり、排熱回収装置を含めH-25ガスタービン4台が屋内設置となっている。4台中2台にガス専焼の乾式低NO_x燃焼器を採用し、残り2台にガス・油のデュアル乾

式低NO_x燃焼器を採用することにより、運用性の向上を図っている。

8. おわりに

ここでは、H-25ガスタービンの特徴と適用例について述べた。

1997年の地球温暖化防止京都会議以降、温室効果ガス削減に向けて種々の対応がなされているが、化石燃料を利用する発電プラントとしては、高効率のガスタービンコンバインドサイクルや、熱電併給システムなどのニーズは今後ますます高まることが予想される。従来の大型ガスタービンシステムに加え、H-25のような中容量のガスタービンによる熱電併給システムの需要が増加している。

日立製作所は、H-25ガスタービンのさらなる性能・信頼性の確保に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 児島:耐熱コーティングの最新技術動向,ガスタービンセミナー第34回資料集(2006.1)
- 2) 齊藤,外:DME/LNG 焚き低NO_x燃焼器の開発,日本ガスタービン学会誌, Vol.34, NO.5(2006.9)
- 3) 鶴田,外:ペトロチャイナ社ベタラ地区ガス田開発プロジェクト納めH-25ガスタービン,日立評論,88,2,221~224(2006.2)

執筆者紹介



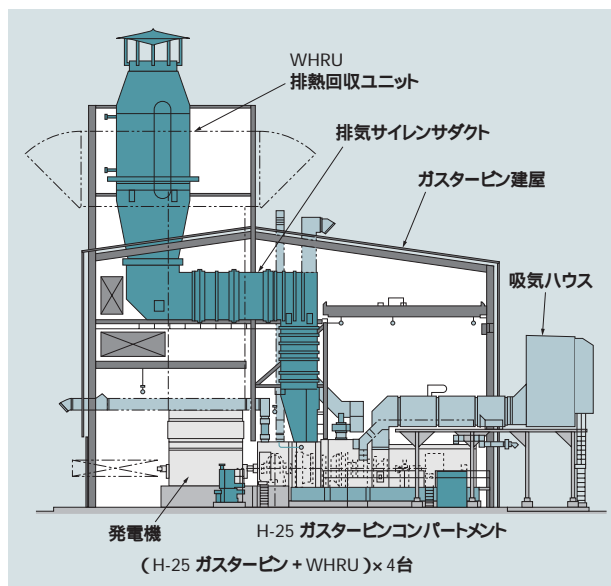
荒井 修
1982年日立製作所入社,電力グループ 日立事業所タービン設計部 所属
現在,ガスタービンの設計業務に従事
日本ガスタービン学会会員



廣瀬 俊一
1970年日立製作所入社,電力グループ 火力事業部火力技術本部 所属
現在,海外火力プラントの取りまとめに従事
電気学会会員



寺西 光夫
1979年日立製作所入社,電力グループ 火力事業部火力技術本部 所属
現在,ガスタービンの受注活動に従事
日本ガスタービン学会会員



注:略語説明 WHRU(Waste Heat Recovery Unit)

図9 ロシア連邦サハリン プロジェクト
H-25ガスタービンの建屋内の配置を示す。

- 4) 土井,外:火力プラントを支える耐熱材料,日立評論,87,4,393~396(2005.4)
- 5) 竹原:ガスタービンを用いた発電システムについて,日本ガスタービン学会誌,Vol.31,NO.3(2003.5)



鶴瀬 真二
1979年日立製作所入社,電力グループ 日立事業所タービン設計部 所属
現在,ガスタービンの設計業務に従事
日本ガスタービン学会会員



永井 信一
1980年日立製作所入社,電力グループ 日立事業所タービン設計部 所属
現在,ガスタービンの設計業務に従事



神野 賢治
1980年日立製作所入社,電力グループ 国際電力営業本部 所属
現在,火力発電設備の受注活動に従事