

電力の安定供給を担う石狩湾新港発電所1号機の営業運転開始

Commencement of Commercial Operation of Ishikariwan Shinko Power Station Unit 1 of HEPCO to Ensure Stable Power Supply

立石 学 TATEISHI Manabu 岩田 雄太 IWATA Yuta

北海道電力(株)石狩湾新港発電所1号機が2019年2月に営業運転を開始した。この発電所は、環境特性に優れた液化天然ガス(LNG)を燃料とし、発電効率が高いコンバインドサイクル発電方式を採用しており、道内の既設火力発電所の高経年化に対応するとともに、燃料の多様化や電源の分散化による電力の安定供給を目的としている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、GE社(ゼネラル・エレクトリック社)製ガスタービンと当社製蒸気タービン・発電機を組み合わせたガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)発電システムを開発し、納入した。定格出力は569.4 MWで、発電効率は約62%(低位発熱量基準)を達成している。

Ishikariwan Shinko Power Station Unit 1 of Hokkaido Electric Power Co., Inc. (HEPCO) commenced commercial operation in February 2019. This facility, a single-shaft combined-cycle power generation system with a rated power output of 569.4 MW offering high power-generation efficiency and excellent environmental characteristics due to the use of environmentally friendly liquefied natural gas (LNG) as a fuel, has been constructed with the aim of securing a stable electricity supply in Hokkaido through the diversification of fuels and power sources, and as a measure to deal with the aging of existing coal-fired thermal power plants.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, the prime contractor for this project, successfully completed the construction work including the integration of an HA type gas turbine manufactured by General Electric Company and a heat recovery steam generator (HRSG) and steam turbine manufactured by our company. Unit 1 has achieved a high thermal efficiency of approximately 62% (lower heating value basis).

1. まえがき

北海道電力(株)の石狩湾新港発電所1号機は、定格出力が569.4 MWで、発電効率約62%(低位発熱量基準)を達成した1軸型GTCC発電設備であり、2019年2月に営業運転を開始した⁽¹⁾。

石狩湾新港発電所1号機は、北海道電力(株)にとって初めてのLNG火力発電所であり、①石油や石炭などに新たにLNGを加えることで燃料種を多様化し、将来的な電力の安定供給を確保なものとする、②泊、知内、苫小牧、苫東厚真などで稼働している既設発電所に、新たに石狩湾新港発電所を加えることで電源の分散化を図り、自然災害などによる設備トラブルの影響を低減させること、などを目的としている。東芝エネルギーシステムズ(株)は、2014年4月に、GTCC発電設備一式を受注した。

ここでは、この発電所に採用した、高効率GTCCシステムの最新技術について述べる。

2. 石狩湾新港発電所1号機の発電設備

2.1 発電設備の仕様

石狩湾新港発電所(図1)の1号機は、ガスタービン、



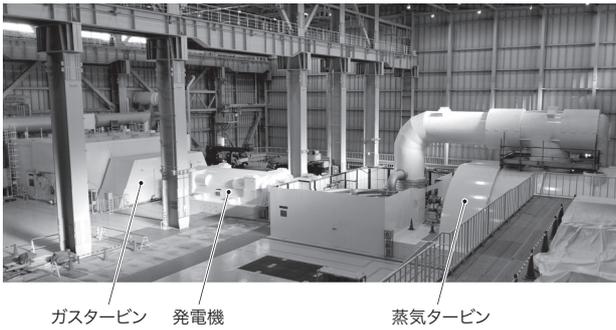
図1. 北海道電力(株)石狩湾新港発電所

ガスタービン、蒸気タービン、HRSGを各1台ずつ組み合わせた、定格出力569.4 MWの1軸型GTCC発電設備である。

Ishikariwan Shinko Power Station of HEPCO

蒸気タービン、排熱回収ボイラー(HRSG)を各1台ずつ組み合わせた、1軸型GTCC発電設備であり、定格出力は569.4 MW(大気温度-5℃)である。

また、ピーク又はミドルロード運用を想定した機器及びシステム設計により、通常の運用負荷帯(届け出出力の25～



ガスタービン 発電機 蒸気タービン

図2. タービフロア

タービン建屋の3階面にあり、ガスタービン、発電機、蒸気タービンが1軸に配されている。

Operation floor

100%負荷)で、EDC(経済負荷分配制御)の負荷指令による自動運転に対応している。

2.2 タービン建屋機器配置計画

1号機のタービフロア(図2)は、タービン建屋の3階面となっている。将来の2、3号機の追設計画に配慮し、天井クレーンが号機間で共用できるように、パワートレインの軸方向に対して直角にレールを配置し、1号機の大物搬入口が2号機と共有できるように計画している。

また、ガスタービン、発電機、及び蒸気タービン用の建屋に加え、HRSG及びガスタービン吸気室も建屋で覆う構造としている。更に、建屋内部には暖房設備を設置し、冬季の降雪期間中でも、機器の凍結防止や保守・点検を容易にする構成としている。

3. 石狩湾新港発電所1号機への採用技術

3.1 9HA.01型ガスタービン

GE社が開発した9HA.01型ガスタービン(図3)は、2013年当時の最新F型機に採用された7F.05型圧縮機を基に設計され、そのほかの全てのコンポーネントは、納入機で実証された既存技術を踏襲して進化させた、高い信頼性を実現した製品である。

最新の高效率HA型ガスタービンの性能向上には、圧力比約21:1である先進の3次元空力設計翼を採用した14段高效率圧縮機が大きく寄与している。更に、保守性を向上させるため、航空機のエンジンと同様に、全段とも現地交換可能な動翼翼根構造を採用している。燃焼器には、適用実績の豊富なDLN2.6+を採用している。

タービンは、4段構成とし、大容量化による各段落の負荷分担を最適化し、最新鋭のシール技術の適用により効率向上が図られている。また、タービンケーシングは二重構造

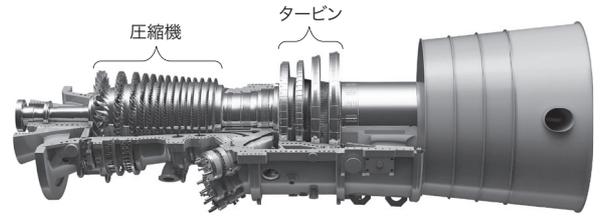


図3. HA型ガスタービン

14段圧縮機と4段構成のタービンを備えた高效率・大容量のGE社製ガスタービンである。

HA type gas turbine

を採用し、起動/停止を含むチップクリアランスの最適化を図った設計としている。

タービン1段動翼には、入り口ガス温度の高温化に対応するため、最新のF型機と同様の単結晶合金を採用し、そのほかの動翼、静翼は、従来機と同様の一方向凝固材や多結晶材を採用している。

そのほかの特徴としては、可変入り口案内羽根に加えて1~3段静翼も可変とした、合計4段の可変静翼の採用や、圧縮機出口から燃焼器までの流路における圧力損失低減及び静圧回復のための、ハイブリッドラジアルディフューザーの採用などがある。

3.2 蒸気サイクル計画

蒸気サイクルは、ガスタービンからの排熱を最大限に活用して、主蒸気圧力16 MPa、主蒸気・再熱蒸気温度600℃とし、HRSGのガス通路部拡大でガスタービン排気系圧力損失を低減し、これに高性能蒸気タービン・発電機を適用することで、プラントの効率向上を図っている。

また、軸受冷却水を熱源とする復水予熱器で、HRSGへの給水を加熱したことと、ガスタービン燃料加熱システムを最適化(2段化)したことにより、更にプラント効率を向上させている。

3.3 蒸気タービン

蒸気タービンを図4に示す。蒸気通路部には、最適反動度翼設計を適用し、衝動タービンと反動タービンの特徴をうまく組み合わせ、漏洩(ろうえい)量とのバランスを考慮して、部位ごとに最適な反動度を選定して性能向上を図っている。最終段翼には、環状面積の大きい48インチ最終段翼の複流構造を採用し、排気流速減による排気損失の低減を図っている。

3.4 発電機

1号機の発電機(図5)には、両軸駆動650 MVA水素間接冷却式を採用した⁽²⁾。固定子コイルは、高熱伝導絶縁(TOSλ)技術を適用することで、従来より冷却性能の向上

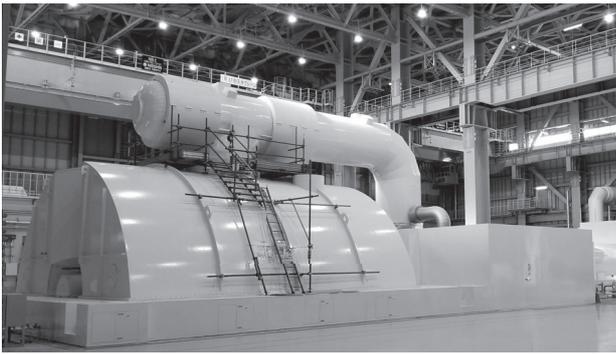


図4. 蒸気タービン

蒸気通路部に最適反動度翼設計を適用し、衝動タービンと反動タービンの特徴をうまく組み合わせ、性能向上を図った。

Steam turbine

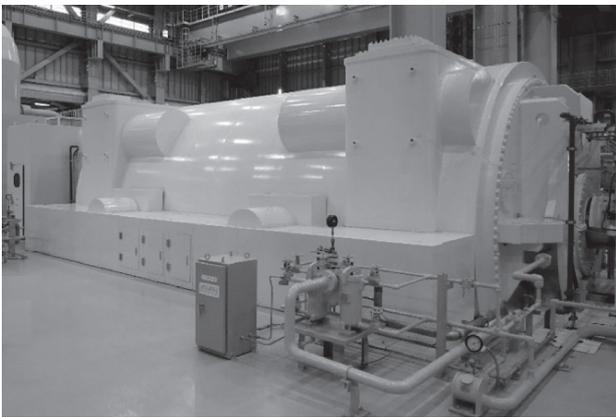


図5. 両軸駆動発電機

両軸駆動650 MVA水素間接冷却式の採用と、TOSA技術の適用で、発電機の高効率化(99.1%)を実現している。

Double-end drive generator

を図り、発電機の高効率化(99.1%)を実現している。

また、この両軸駆動発電機は、従来の片軸駆動発電機のコレクター軸とは構造が異なり、スタッド用の径方向の穴を無くし、シャフト外表面の溝の中に銅帯を設置することで、トルクに対して強度のある断面構成となる新構造(図6)を適用した。

3.5 HRSG

建設中のHRSGを図7に示す。HRSGは、横型自然循環3重圧再熱式を採用している。従来のガスタービンに比べ、高温化した排ガスのエネルギーを活用するため、HRSGから発生させる高圧蒸気を600℃まで高めて蒸気タービンサイクルでの熱効率を向上させている。このため、排ガス温度及び蒸気温度の高温化に伴い、高温部耐圧部には、一部ステンレス材を適用している。

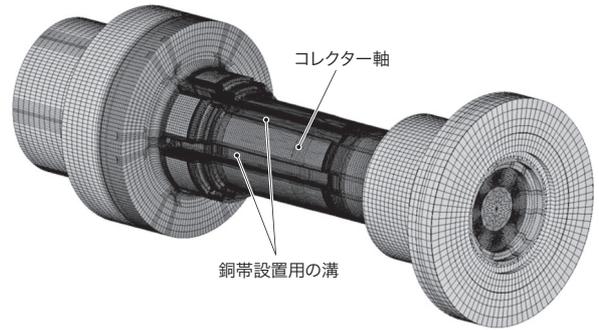


図6. 両軸駆動用コレクター軸の新構造

スタッド用の径方向の穴を無くし、シャフト外表面の溝の中に銅帯を設置する新構造とすることで、トルクに対して強度のある断面構成とした。

Structure analysis model of collector shaft for double-end drive generator

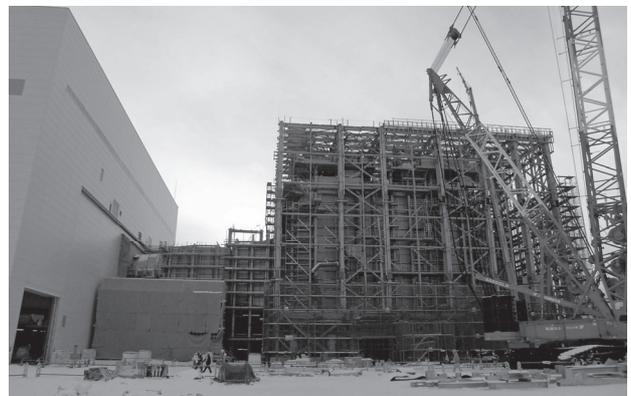


図7. HRSG

現地組み立てで完成したHRSGは、NO_xを除去する脱硝装置を備えており、最低連続運転負荷が15%の極低負荷でのガスタービン燃焼域で、脱硝後のNO_x濃度が4 ppm以下という高い脱硝効率を実現している。

Installation of HRSG

HRSGは、環境設備として、排ガス中の窒素酸化物(NO_x)を除去する脱硝装置を備えている。この発電所は、最低連続運転負荷が15%と低いが、この極低負荷におけるガスタービン燃焼域でのNO_x濃度特性に対応できる触媒を開発し、脱硝後のNO_x濃度が4 ppm(酸素濃度16%換算値)以下という高い脱硝効率を実現している。

3.6 運用性能・プラント効率の向上

1号機は、発電機の両端にガスタービンと蒸気タービンをそれぞれ接続した軸系であり、発電機と蒸気タービンの間のカップリングにSSS(Synchro Self Shifting)クラッチを採用している。これにより、従来の軸直結タイプの1軸型GTCC発電設備に比べて、以下のような運用性能・プラント効率に関する特長を備えている。

(1) ガスタービン・発電機だけの先行起動が可能なの

で、起動装置容量及び起動損失が低減される。

- (2) 軸直結タイプは、ガスタービンの起動から蒸気タービンの起動条件確立までの間で、蒸気タービンが高速で空転するため、蒸気タービンの長翼の過熱防止用冷却蒸気を必要としていた。しかし、SSSクラッチでは、起動条件確立後に蒸気タービンに通気するので、この冷却蒸気が不要となり、所内ボイラー容量及び起動損失が低減される。
- (3) 軸直結タイプでは、スラスト軸受はガスタービン側に設置されており、蒸気タービンはガスタービンの伸びを考慮した設計を必要としていた。しかし、SSSクラッチでは、ガスタービン側と蒸気タービン側のそれぞれの伸びを吸収することが可能なので、蒸気タービンローターの熱伸びに伴うグランド周りの漏洩損失を低減でき、プラント効率が向上する。
- (4) ピーク又はミドルロードの運用を想定して循環水ポンプに可動翼を採用し、通常運転中は、プラントの負荷に応じた翼角制御を行うことで部分負荷時の所内動力の低減を図っている。

3.7 最新鋭監視制御システムの適用

1号機は運用負荷範囲が広く、特に低負荷15%での連続的な負荷変化が要求される。このため、低負荷で排ガス性状が大きく変化する脱硝制御や、広い排ガス温度変化への追従が必要な主蒸気温度制御については、単純なフィードバック制御では困難である。そこで、より高度な演算が可能な最新機種種の監視制御システムTOSMAP-LXを適用し、モデルベースなどの高度演算を取り入れて制御安定性を向上させた。

また、リモート監視システムを活用し、試運転期間中に、当社の工場での運転状態の把握やトラブル発生時の解析などを実施し、試運転の効率化を図った。

4. あとがき

最新のGTCC発電設備の導入により、高効率で環境負荷の少ない世界最高水準の発電設備が営業運転を開始した。

当社は、今後も技術開発のスピードを一層加速し、信頼性の高い安定電力の確保や、更なるCO₂(二酸化炭素)排出量削減による低炭素社会の実現に向け、地球環境に優しいクリーンなエネルギーシステムを提供し、社会や地域に貢献していく。

文献

- (1) 北海道電力, “LNG(液化天然ガス)火力発電所～石狩湾新港発電所～”. 北海道電力. <http://www.hepco.co.jp/energy/fire_power/ishikari_ps/index.html>, (参照 2019-01-24).
- (2) 淵本 遼, ほか, 両軸駆動650MVA水素間接冷却タービン発電機の開発. 火力原子力発電. 2018, 69, 2, p.107-112.



立石 学 TATEISHI Manabu
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 火力統括技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



岩田 雄太 IWATA Yuta
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 火力コンバインドサイクル技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.