

最新鋭 M701JAC 形ガスタービンを採用した タイ国向けコンバインドサイクル発電設備 全 10 系列運開達成

Successful 10 Units Completion of M701JAC Gas Turbine Combined Cycle in Thailand



高嶋 康裕^{*1}
Yasuhiro Takashima

坂田 照明^{*2}
Teruaki Sakata

伊藤 拓平^{*3}
Takuhei Ito

久保田 豊^{*4}
Yutaka Kubota

岡本 拓也^{*5}
Takuya Okamoto

濱口 裕輝^{*6}
Yuki Hamaguchi

三菱重工業株式会社は発電需要が伸長するタイ国内に最新鋭 M701JAC 形ガスタービンを採用した高効率ガスタービン・コンバインドサイクル(GTCC)発電所を 3 地点に建設するプロジェクトをフルターンキー方式で遂行し、全 10 系列(計 6700MW)を予定どおりに納入完了した。2021 年 3 月の初号機運転開始よりタイ国で運用する M701JAC 形ガスタービン計 10 台の実稼働時間は 14 万時間に達し、高い信頼性を実証している。また、この GTCC 発電設備に対して当社は 25 年間の長期保守サービス契約(LTSA)も締結しており、同国の電力需要を支える高効率で信頼性の高いエネルギー供給に引き続き貢献していく。

1. はじめに

三菱重工業株式会社(以下、当社)は長年にわたりタイ国内に多数の発電設備を納入し、目覚ましい経済発展を支える電力エネルギーの伸長と安定供給に貢献してきた。現在、タイ国では天然ガス火力発電の割合が約 6 割と高く、天然ガス火力発電に大きく依存している。近年、二酸化炭素排出量削減による環境負荷低減を目指し、タイ国でも今後再生可能エネルギーの大幅な増加が予想されている。一方、電力システムの安定化のために天然ガス火力発電の需要も高水準を維持するものと予想されており、高効率で運用性の高い GTCC の新規容量増加への期待も大きい。このような状況下、当社は 3 地点、計 10 系列の大規模 GTCC 新設プロジェクトを遂行したが、プロジェクト期間には COVID-19 の蔓延による様々な制限や苦難がありながらも、全てを契約納期以内での納入を果たした。本報では、その GTCC 発電設備の特徴とプロジェクト内容について紹介する。

2. プラント計画概要

2.1 プラント概要と主な特徴

(1) 主要設備諸元

今回建設した 3 地点のプラント主要設備諸元を表 1 に示す。

*1 エナジードメイン GTCC 事業部 プロジェクト推進部 次長 技術士(機械部門)

*2 エナジードメイン GTCC 事業部 プロジェクト推進部

*3 エナジードメイン GTCC 事業部 プラント技術部 主席プロジェクト統括

*4 エナジードメイン GTCC 事業部 プラント計画部 主席技師

*5 エナジードメイン GTCC 事業部 ガスタービン技術部

*6 エナジードメイン GTCC 事業部 蒸気タービン技術部 主席技師

表1 主要設備諸元

地点名		GSRC ¹⁾	GPD ²⁾	HKP ³⁾
プラント全般	送電端出力	2 650MW	2 650MW	1 400MW
	構成	1 軸型×4 系列	1 軸型×4 系列	1 軸型×2 系列
	冷却方式	湿式冷却塔		
ガスタービン	型式	M701JAC		
	燃料	天然ガス/油		
蒸気タービン	型式	TC1F-48 軸流排気		TC2F-40.5 側方排気
	蒸気条件	高压:16.1MPaG×600℃ 中压: 3.1MPaG×600℃ 低压:0.51MPaG×306℃		高压:16.2 MPaG×600℃ 中压: 3.4 MPaG×600℃ 低压:0.44 MPaG×303℃
排熱回収ボイラ	種類	横型再熱三重圧自然循環型		
	最大蒸発量	高压:423t/h 中压: 51t/h 低压: 44t/h		高压:490t/h 中压: 47t/h 低压: 52t/h
発電機	冷却方式	水素間接冷却		水冷却

1) GULF SRIRACHA POWER PLANT

2) GULF PLUAKDAENG POWER PLANT

3) HIN KONG POWER PLANT

(2) 主機構成

発電設備にはガスタービン、発電機、蒸気タービンが同軸で繋がった 1 軸型コンバインドサイクルを採用している。ガスタービンには当社最大容量かつ高効率の最新機種である M701JAC 形を採用した。またガスタービン以外の設備にも各種の最新技術を採用し高い発電効率を実現した。発電所は内陸部に位置しており、冷却方式には湿式冷却塔を採用している。発電設備外観図を図 1 に示す。



図1 発電設備外観図(一部タービン建屋内部を表示した 3D CAD 図)

2.2 環境性能

(1) 排ガス性能

今回建設した 3 地点の排出基準を表 2 に示す。

強制空冷システムを採用した最新鋭 M701JAC 形ガスタービンでは、タービン入口温度を上げることで効率を向上させながら、窒素酸化物の発生も抑制している。また、熱効率向上に伴う燃料消費量の減少により二酸化炭素排出量も大幅に削減している。油焚きでは局所的な高温部の発生を抑制する目的で水噴射システムを採用し、窒素酸化物の低減を図っている。

表2 各地点の排出基準

		天然ガス焼き			油焼き		
		GSRC	GPD	HKP	GSRC	GPD	HKP
脱硝設備		有	無	有	同左		
窒素酸化物 (NOx)	ppmv	8.9	21.1	21.0	10.5	35.4	35.4
硫黄酸化物 (SOx)	ppmv	2.0	2.0	2.0	7.1	7.1	7.1
一酸化炭素 (CO)	ppmv	246	246	246	246	246	246
ばいじん (TSP)	mg/Nm ³	7.1	7.1	3.6	12.5	12.5	6.1

※ 上記は 16%O₂ 濃度基準

(2) 騒音性能

タイ国の騒音規制及び契約要求に従い、敷地境界での騒音レベルを 70dBA 以下、近隣居住地における Annoyance Noise Level を 10dBA 以下に抑える対策を実施した。Annoyance Noise Level は暗騒音に対する騒音増加量を示す指標であり、次式により算出される。

$$\text{Annoyance Noise Level} = 10 \log_{10}(10^{LA_{eq}/10} - 10^{LA_{90}/10}) - LA_{90} + A$$

LA_{eq} : 等価騒音レベル

LA_{90} : 時間率暗騒音レベル

A : 夜間補正值 (夜間 22:00-6:00 は 3, 日中は 0)

騒音規制を満足するために過剰な防音壁を設置した場合、プロジェクト工程への影響や景観を損なう恐れがあるため、適切なバランスを保って対策を講じる必要がある。これらの要求を満たす設備仕様を検討するために、環境騒音予測ソフトウェア (SoundPLAN) を用いたシミュレーションを事前に実施した。

シミュレーション結果を図 2 に示す。各設備での個別騒音低減対策に加えて、敷地外の予測点が比較的近接する北側に防音壁を設置することで、騒音を効果的に抑制できることが明らかになった。これらの事前検討の結果に基づき最終的な騒音対策を実施し、発電所建設後の騒音試験において全ての騒音規制値を満たすことを確認した。

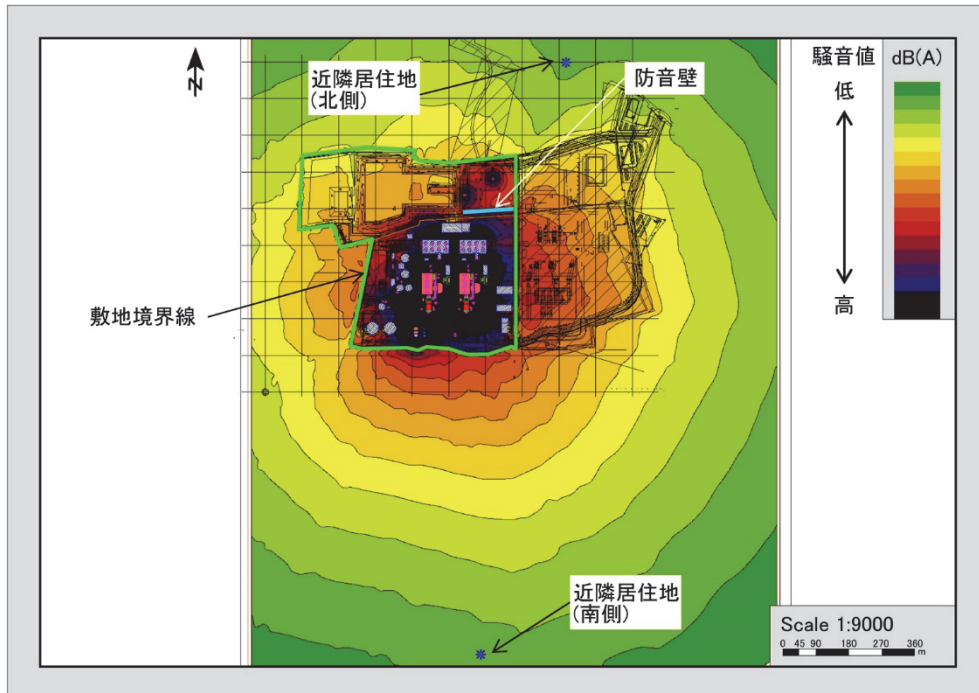


図2 騒音シミュレーション結果(HKP)

3. 主要機器の特徴

3.1 ガスタービン

M701JAC 形ガスタービンは、実績あるJ形ガスタービンに先進技術を導入し、プラント効率の向上を図るため、タービン入口ガス温度を 1650℃級に高温化した最新鋭ガスタービンである。具体的な技術は以下のとおりである(図 3)。

- ① 強制空冷燃焼器採用による低 NO_x 化
- ② 超厚膜化 TBC による信頼性向上
- ③ 高負荷・高効率圧縮機による排ガス温度上昇抑制
- ④ タービンクリアランスコントロールによる高効率化と高運用性の確保

なお、燃焼器についてはガス焚き性能を損なうことなく油焚き運用にも対応できることも実証した。

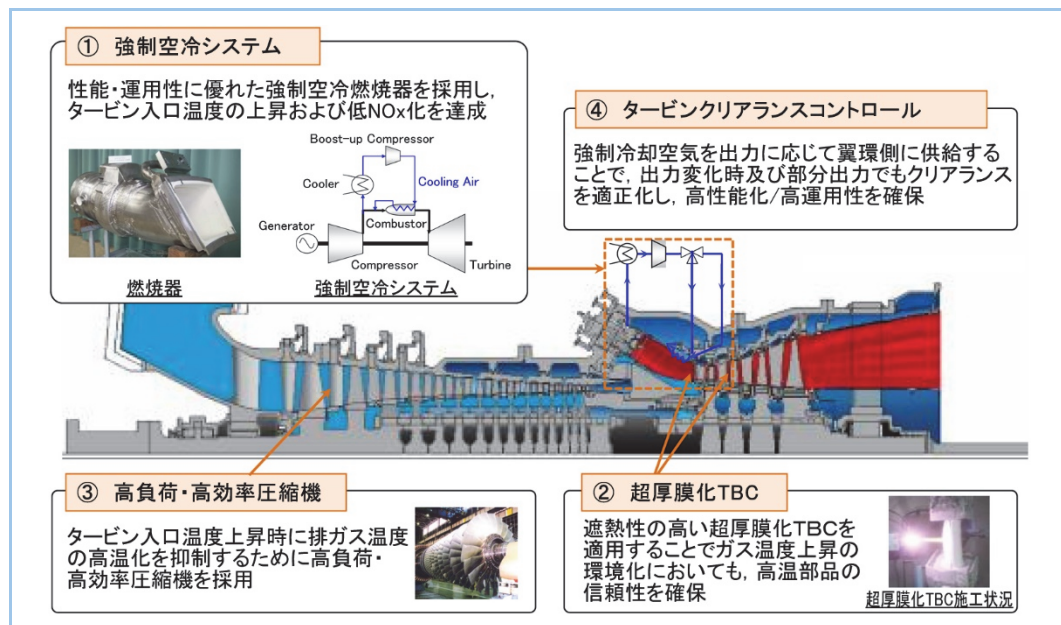


図3 M701JAC ガスタービンの採用技術

3.2 蒸気タービン

蒸気タービンは、排熱回収ボイラの発生蒸気流量に適した2車室のタービンを採用の上、最新の三次元流動解析により設計された高効率反動翼、シール構造のほか、当社最新技術を採用することで、タービン効率を向上している。

GSRC/GPD: 次世代高圧ー中低圧 軸流排気型タービンを採用し、効率向上を実現した。軸流排気の採用により従来の下方排気に比べて建屋高さを低減した。また、基礎柱を基礎梁で結ぶ従来の格子構造に対して、主機荷重範囲に必要な箇所だけ基礎柱を建てる Pier 基礎構造を採用することで、コストを低減した(図 4)。

HKP: 実績のある高効率高中圧ー低压 側方排気型タービンを元に、当社工場内の実証試験設備で検証した最新技術を取り入れ、効率及び信頼性向上を実現した。主な最新技術は以下のとおりである。

- (1) 車室の上下方向位置制御(図 5(1))

高中圧タービン車室支持部に電気ヒータを取り付け、加熱することで車室を持ち上げることを可能とした。起動時等の過渡的に車室とロータの上部間隙が小さくなるタイミングで間隙余裕を確保することを可能とした。これにより、設計間隙を狭くすることができ、効率向上を実現した。

- (2) 翼列シール漏洩量低減(図 5(2))

シールフィンを傾斜させることで縮流効果を改善し、翼列シール部の漏洩量を低減した。

(3) 最新鋭低圧タービン翼の採用

最新 40.5 インチ最終翼を採用し、従来最終翼からのシュラウド形状改良、翼型改良により効率向上および信頼性向上を実現した(図 5(3))。また、内部車室及び外部車室のサポート構造、リブ構造の見直しにより信頼性向上を実現した。

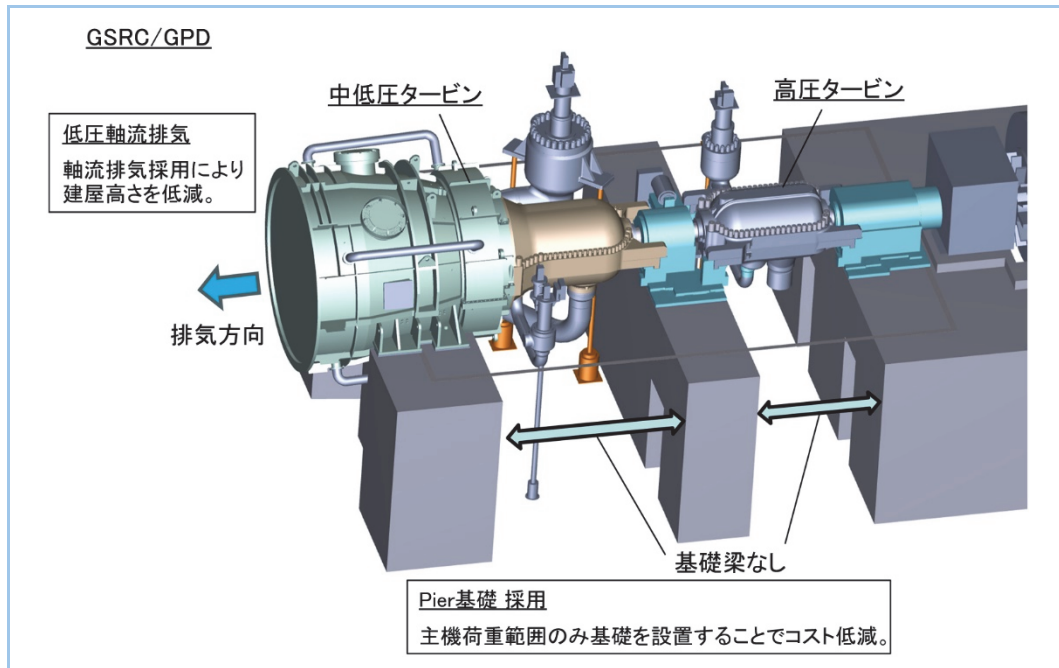


図4 GSRC/GPD 向け 蒸気タービンの特徴

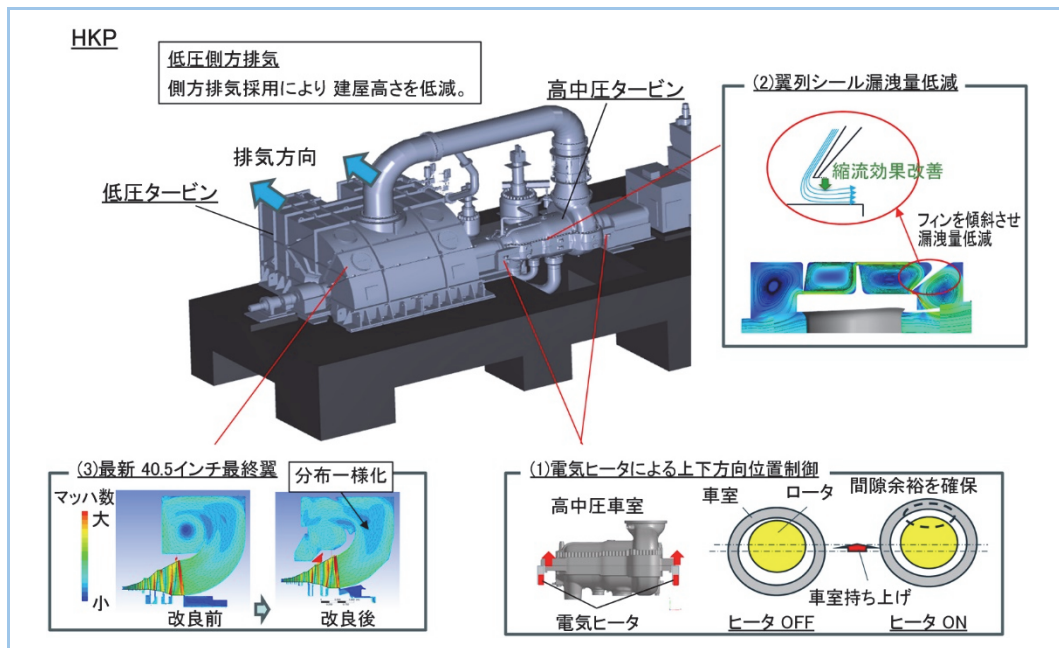


図5 HKP 向け蒸気タービンの特徴

4. プロジェクト遂行

4.1 プロジェクト工程

プロジェクトの主要工程を表 3 に示す。プロジェクト期間中に、COVID-19 の蔓延により機器出荷停滞や現地指導員のタイ国への入国規制もあったものの、優先すべき工事を洗い出し、現地工程組換えやお客様との積極的な調整などの各種対応策を講じることでプロジェクト工程遅延リスクを解消し、タイ国内の他プロジェクトや工事が軒並み遅延する中で、唯一全てのユニットを納

期どおりに運転開始することができた。

- ・サプライチェーンの確保(補助ボイラ, 薬注設備, 空気圧縮機等の緊急現地調達)
- ・代替手段(電源等)での補機試運転遂行
- ・WEB を利用した遠隔指導の最大限活用

表3 プロジェクト主要工程

GSRC		GPD		HKP	
2018/2	契約締結	2018/2	契約締結	2020/9	契約締結
2018/12	現地着工	2020/3	現地着工	2022/3	現地着工
2021/3	Block-1 運開	2023/3	Block-1 運開	2024/3	Block-1 運開
2021/10	Block-2 運開	2023/10	Block-2 運開	2025/1	Block-2 運開
2022/3	Block-3 運開	2024/3	Block-3 運開	-	-
2022/10	Block-4 運開	2024/10	Block-4 運開	-	-

4.2 プロジェクト管理

発電プラント全体の機器供給, 輸送, 土木建設, 現地据付, 試運転までの全スコープを所掌するフルターンキー方式にて請け負った工事であった。現地工事については, タイ国内大手ゼネコンの Sino-Thai 社とコンソーシアムパートナーを組み遂行した。プロジェクト期間を通して, Q(品質), C(コスト・リスク), D(納期)を継続的かつ綿密に管理し, 高い品質のプラントを納期どおり引渡した。また, 安全第一の現地施工管理徹底により, 3 地点合計で 55 百万時間(Man-Hour)の無災害記録を達成することができた。

5. まとめ

当社は総計出力 6700MW に及ぶ最新鋭ガスタービン(M701JAC 形)を採用した高い発電効率の GTCC 発電設備全 10 系列を全て納期どおりに完成させた。契約締結から最終号機運転開始まで約 7 年にもおよぶ大規模プロジェクトであったが, お客様, パートナーをはじめ多数のプロジェクト関係者の信頼関係と円滑なコミュニケーションにより, “ONE TEAM”となることで, COVID-19 などの困難な状況も乗り越えプロジェクト完遂することができた。この GTCC 発電設備は運転開始後も安定した運転を継続し高い信頼性を実証しており, これからのタイ国のエネルギー需要を支え, 更なる経済発展に貢献していくものと信じる。

これら成果に対して, GSRC が ASEAN 最大級の電力・エネルギー展示会である ENLIT Asia にて“Power Plant of the Year 2023”を獲得したほか, 社外からも高い評価を多く頂いている。