

タイEGATラブリ発電所1/2号機の計画とフルターンキー工事概要

Design, Construction and Commissioning Results of Ratchaburi Thermal Power Plant No.1 and 2 units for EGAT of Thailand as a Full Turn Key EPC Contractor

安藤 健司 浅田 英介 山本 健次郎
野口 俊英 住吉 泰生



経済危機から回復したタイ王国においては、ペ-スロ-ドのみならず電力需給バランスに応じたフレキシブルな発電所の運用が求められていた。これに対応すべく起動停止や負荷変化特性に優れた特性を有し、高効率かつ環境面にも配慮した東南アジアで初めての超臨界圧変圧貫流ユニットが採用され、2000年に商用運転が開始された。当社はラブリ発電所建設に当たり、ボイラ、タービン、発電機、冷却塔、排煙脱硫装置、機器基礎及び建屋の土工工事等発電所の大部分の機器について設計から据付、試運転にわたる範囲を担当した。本報では当社納入機器の特徴、現地工事内容等について紹介する。

1. ま え が き

ラブリ発電所1, 2号ユニットは超臨界圧変圧貫流ユニットとして営業運転を開始した。

当社はラブリ発電所の建設に当たり主機、プラント機器及び当社供給機器の基礎や建屋の土工工事等、発電所の大部分の機器について設計から据付、試運転、性能試験に至る広い範囲を担当し三菱グループの総合力を発揮した。本報では当社納入機器の特徴、現地工事内容等につき紹介する。

2. プロジェクト概要

ラブリ発電所はタイ王国首都バンコク市から西約100 kmに位置し、周囲は農村地帯である。タイの電力系統にとって本発電所は老朽火力にとって替わるこの地域の主要電源供給基地である。

本発電所はタイ発電公社 (Electricity Generating Authority

of Thailand : 以下EGAT) の国際入札によって当社が受注したもので、契約発効は1996年11月6日、運用開始は1号機2000年6月15日、2号機2000年10月28日、契約形態はいわゆるフルターンキーであった。

本プロジェクトの主な特徴は、東南アジアでは初の超臨界圧変圧貫流ユニットであること、低圧二車室タービン/水冷却発電機と大型多段圧復水器との組合せによるプラント効率向上、油と天然ガスの各専焼及び混焼が可能な設備となっていることである。低NOxバーナと高性能脱硫装置設置による低NOx、低SOx運用の達成、頻繁な起動停止及び俊敏な負荷追従性等である。

主な仕様を表1に示す。また発電所全体配置及び当社納入機器を図1に、発電所全景を冒頭に示す。

3. ボ イ ラ

3.1 超臨界圧変圧運転貫流ボイラ

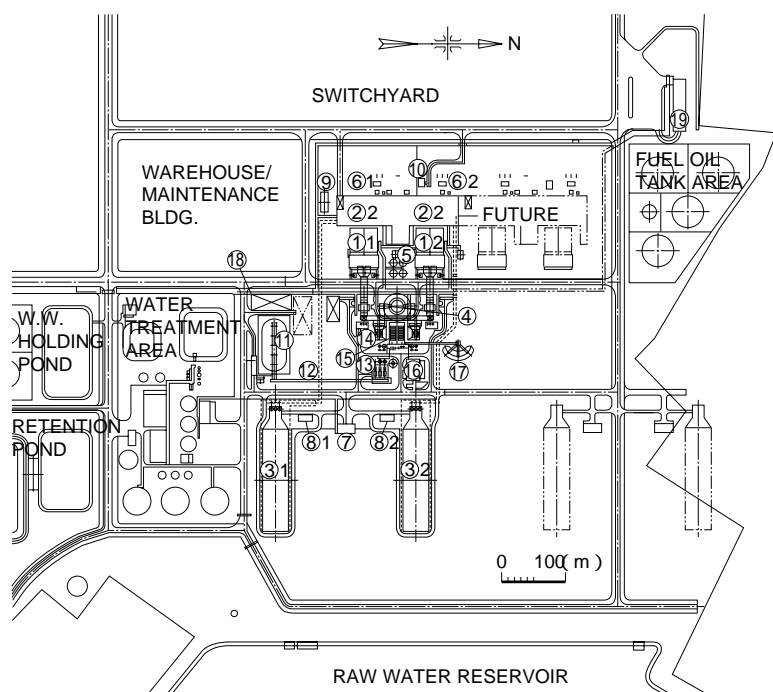
本ボイラは、当社の30, 31缶目の超臨界圧変圧運転貫流ボイラ (油・ガス焚きとしては14, 15缶目) であり、豊富な実績に基づき設計製作された。また、ボイラ形状としては1989年に運転を開始したサウジアラビア王国クラヤ550 MW 1~4号機で良好な実績を有する形式を採用した。計画燃料は油 (硫黄分3%の重油) と天然ガスで、各燃料での全負荷運転が可能である。図2にボイラ側面を示すが伝熱面はガス流れ順に、吊り下げ高温過熱器/高温再熱器、横置き低温再熱器と節炭器を配置している。油、ガスそれぞれの燃料での火炉熱吸収量差に対応するため、GR (ガス再循環) 量を変化させ蒸気温度を調整している。起動時と低負荷時の熱回収は、客先指定によりBCP (ボイラ再循環ポンプ) 方式を採用している。

3.2 低NOxバーナ

高効率とともに環境保全性を要求された本ボイラの特徴の

表1 プラント主要仕様

機 器	仕 様	
プラント	出力	735 MW (発電端)
	蒸気条件	24.22 MPa x 538 / 566 (タービン入口)
	燃料	油, 天然ガス (専焼 / 混焼)
	冷却方式	湿式強制冷却塔
	復水器真空度	700 / 685 mmHgvac.
	給水加熱器	8段
	給水処理方式	CWT
ボイラ	形式	超臨海圧変圧貫流型放射再熱ボイラ
タービン	形式	串型四分流排気再熱再生復水型 3000 rpm, 最終翼長 35.4 インチ
	形式	円筒回転界磁型三相同期水冷却発電機
発電機	容量	990 MVA
	励磁方式	サイリスタ励磁式
排煙脱硫	形式	湿式石灰石膏法



No.	主要供給設備
1	BOILER
2	TURBINE & GENERATOR
3	COOLING TOWER & CWP
4	BOILER STACK
5	DEMI./COND. WATER STORAGE TANKS
6	TRANSFORMERS
7	CHROLINATION EQUIPMENT
8	ELECTRICAL BLDG. FOR COOLING TOWER
9	AUXLIARY BOILER
10	EMERGENCY GENERATOR
11	LIMESTONE STORAGE AREA
12	LIMESTONE CONVEYOR
13	LIMESTONE PREP. BLDG.
14	SLURRY RECYCLE BLDG.
15	FGD BYPRODUCT PROCESS
16	FGD CONTROL/ELECTRICAL BLDG.
17	SLUDGE STOCKOUT
18	FUEL GAS REDUCING STATION
19	FUEL OIL PUMP HOUSE

図1 発電所配置及び当社納入機器

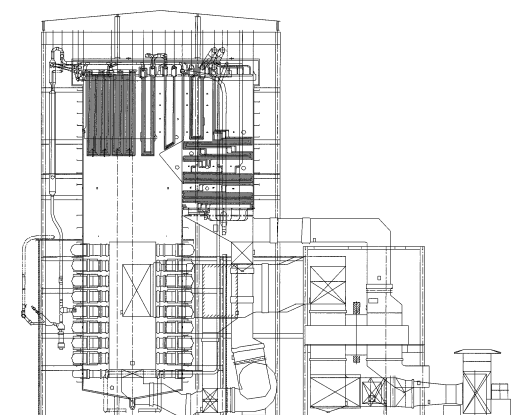


図2 ボイラ側面

一つとして、当社独自開発の巡回燃焼用油・ガス両用焚き低NO_x丸型バーナを採用し、保証NO_x値を大きく下回る高性能を達成した。図3に油とガスの燃焼状況を示す。このように安定した着火が維持されている。低NO_x原理は実績豊富な当社PM (Pollution Minimum) バーナの原理を適用した濃淡混合気炎方式を採用し、N分0.45%の油で80～140ppm (4% O₂)、ガスで20～40ppm (5% O₂)の非常に低いNO_x値を達成している。

3.3 ボイラ性能

性能試験は油専焼、ガス専焼及び混焼の各条件で実施され、各燃料で25%負荷から全負荷までの各負荷とも計画値を上回る良好な結果を得た。最低負荷は計画どおり15%負荷を油、ガスそれぞれの専焼で安定した運転を達成した。

4. 蒸気タービン

4.1 大容量タンデムコンパウンド型タービン

図4に組立断面を示す。また主要仕様を表1に示す。ター

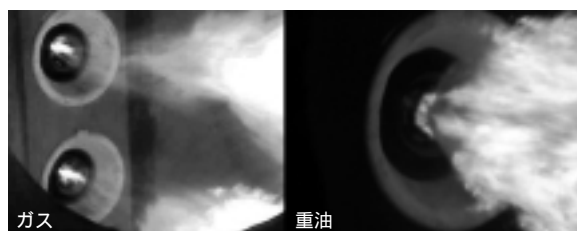


図3 燃焼状況

ピンは、高圧タービン、中圧タービン及び二つの低圧タービンから成るタンデムコンパウンド型である。高圧タービンは主蒸気入口4個所の複流設計であり、各流は1段の调速段及び11段の反動段からなる。中圧タービンは再熱蒸気入口4個所の複流設計であり、各流は9段の反動段からなる。低圧タービンも複流設計であり、各流は35.4インチISB最終翼を含む7段の反動段から構成されている。タービン定格出力は735 MW (運転可能最大出力841 MW)である。

4.2 設計上の特徴

(1) 火力タンデム大容量機に対応した軸系設計

最大出力841 MWであり、かつ50 Hz機ということから、軸系設計に十分配慮し、その結果タ-ピン/発電機間軸受けサイズは535 mmとフルスピード機の最大クラスとなっている。

(2) 改良完全三次元設計翼、高負荷反動翼の採用

高圧、低圧反動翼列に改良完全三次元設計翼、中圧反動翼列には高負荷反動翼を採用し、最終段を含めた反動段全段に完全三次元流れ設計を適用することにより性能向上を図っている。

4.3 性能

性能試験においてタービン効率は100% ECR (Economical Continuous Rating), Turbine-MCR (Maximum Continuous

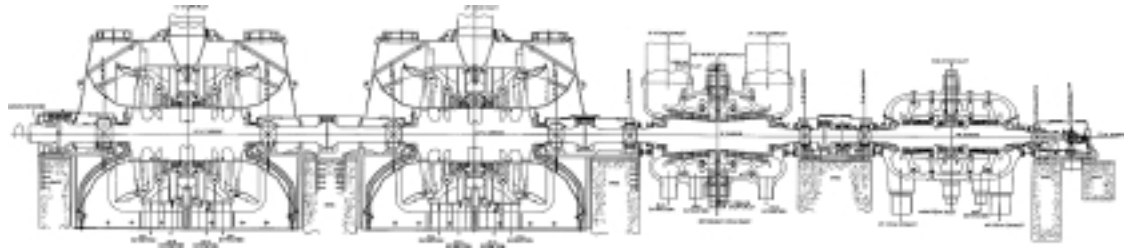


図4 ラブリ 1 & 2号機 735MW 蒸気タービン組立断面

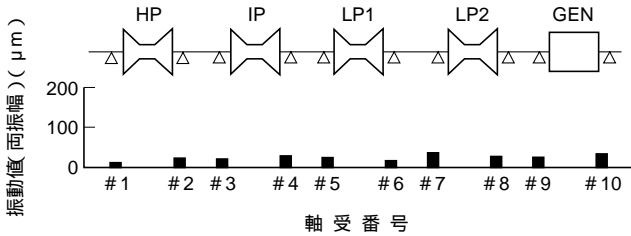


図5 ラブリ1号機軸振動計測例

Rating) のほか全負荷域で計画値 (保証値) を上回る性能を達成していることを確認した。

4.4 軸振動

図5に示すように定格運転時に各軸受部で計測した軸振動値は35 μm以下と非常に安定した運転が達成されている。

5. 発電機

タンデム1000 MW級発電機をターゲットに1980年代より取り組んできた成果を発電機に適用した。図6に発電機の構造を示す。発電機の大容量化には、回転子の径大化、固定子コイル端部の支持強化が不可欠であり、高遠心力に耐える回転子材料の開発、実物大モデルによる開発検証を行った。工場試験及び現地での実負荷試験において、回転子軸の振動、固定子コイル端部の振動、コイル温度などが、いずれも設計どおりであることを確認した。

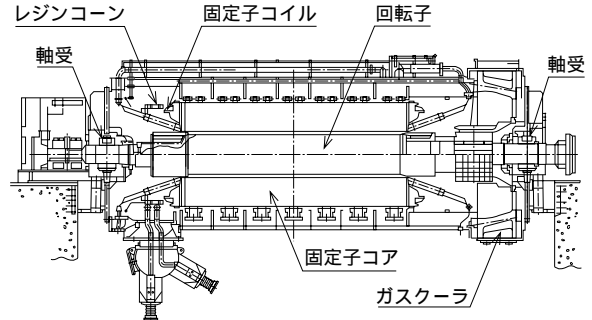


図6 タービン発電機の構造

6. プラント機器

6.1 多段圧復水器

二つの低圧タービンの各車室下方に、器内圧力の異なる復水器を設置した多段圧式復水器を採用している。また、冷却水は二つの復水器を直列に流す連続通水方式を採用しており、単段圧復水器に比べ以下の利点が得られる。

- (1) 復水器の平均真空度が上昇し、タービン熱消費率の向上が図れる。
- (2) 復水器の冷却水を連続通水方式で流すため、冷却水流量の低減が図れるとともに、冷却塔セル数が削減でき建設費の低減が図れる。
- (3) 高真空側の復水を、低真空側の排気で再熱 (復水予熱) し、さらに低真空側の復水と混合して系統に送り出すため、低圧給水加熱器の抽気量が減少でき、出力の増加が期待できる。再熱手段としては、図7に示すように、高真空側の復水を低真空側から引き込んだ蒸気中へ自由落下させ、その落下復水が復水溜り表面に生じさせる乱流によって熱交

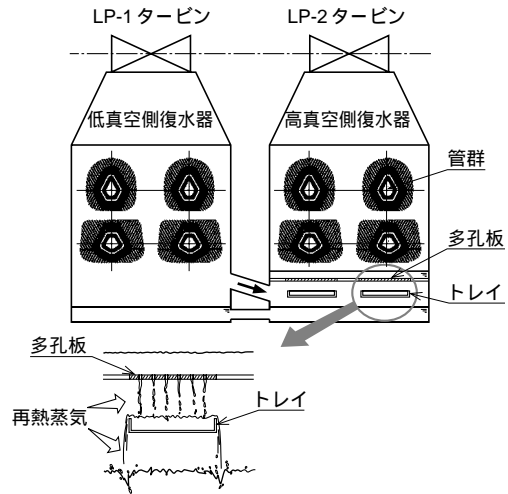


図7 多段圧復水器の構造

換する方法である。

性能試験において、復水器真空度及び復水の再熱効率とも保証値を上回る性能を達成していることを確認した。

6.2 循環水ポンプ

循環水ポンプは1, 2号機各々50%容量3台のプルアウト型ポンプ(世界最大級)から構成されている。冷却塔の下に設置された大きなプールからの流れがスムーズとなるように取水ピットの模型試験が実施され最適化が図られている。

6.3 復水ポンプ

復水ポンプは、1, 2号機各々100%容量2台から構成されている。特徴としては、火力発電用の復水ポンプ単機容量としては最大クラスであることと、補機動力低減のため立型ポンプとして大容量の流体継手を備えていることである。本ポンプは据付け面からの高さが約7mと高くかつ可変速であることから、振動解析を行い振動の少ない信頼性の高いポン

ブとなるよう設計した。

7. 運用性（負荷追従）

本ユニットは、高い負荷変化率を客先から要求され、設備・制御の両面で高負荷変化率に対応するとともに、きめ細かい調整により目標の負荷変化率を達成でき、国内事業用プラントと同等の良好な結果が得られた。

8. プラント水質管理（CWT 適用）

ラブリはCWT（Combined Water Treatment）適用プラントであり、従来のAVT（Ammonia Volatile Treatment）に比べ、火炉圧損低減、ボイラ酸洗頻度減少等による経済性効果とともに薬品使用量減少、コンデミ再生排水減少による環境対策の面でも優れており、今後の海外プラントのモデルともなる設備である。

9. 排煙脱硫装置

EP非設置排煙脱硫装置であり、高い除じん効率（85%）を達成するため、吸収塔の1塔目に高速流（10m/s）の液柱塔を採用している。

2 224 000Nm³/hの処理ガス量は、脱硫装置1系列のプラントとしては国内の1 000 MW発電所（東北電力（株）原町1号、中国電力（株）三隅1号外）等に次ぐ規模であり海外では過去最大規模である。煙突出口SO_x保証値240 mg/Nm³ @3% O₂ dry に対して、硫黄分3%の重油をたいた場合に、1号で116 mg/Nm³、2号で112 mg/Nm³の高脱硫性能を達成している。図8に実機写真を示す。

GGH（ガスガスヒータ）を吸収塔上置き配置とすること及び石膏脱水設備、石灰石スラリー調整設備の吸収塔近傍への集約配置によりメンテナ性に優れたコンパクトな配置とした。

10 建設工事概要

杭工事中着工以来、1997年12月15日の建屋鉄骨立柱までは順調に工事を行ってきたが、1997年7月のタイパーツ変動相場制への移行に伴うタイパーツの急激な下落によりタイ経済が混乱を来した。

この間EGATの民営化、ラブリ火力発電所の第三者への売却が決まるなど、前例の無い事態になったが、1、2号機共にEGATが公表したラブリ発電所の売却スケジュールを遅らせることなく運開することができた。

10.1 ラブリ火力建設工事の特色

タイでの建設工事はタイ東北部からの労働者を中心とした人海戦術に頼っており、建設完了までに膨大な人力（185万人日）を費やしたが、重大災害無しで工事を完遂することができた。

現地は湿地帯で、基礎が軟弱であったため特に1号機械工事が山場となった98年の雨期では、現場/資材置場いずれも場所によっては歩くと膝まで土に埋まる所がでる有様で、鉄板養生も功を奏せず、クローラクレーンでさえ長期に立ち往生し、重機&資材の組立/移動に多大の時間を費やし、機械でなく土と雨との戦いが続くこととなった。



図8 ラブリ火力発電所1号吸収塔と周辺機器

10.1.1 土工工事

大規模な土工工事であったためタイ国内業者を使用するに当たり、建屋、基礎工事を2社、杭工事を2社、煙突工事を専門業者にそれぞれ分割し、当社が据付工事との調整も含めて全体のコーディネーションを行った。

10.1.2 ボイラ据付工事

大型の超臨界圧変圧貫流ボイラであったが現地工事業者と当方指導員が一体となり、非常に精度の良いボイラを作り上げることができた。また、溶接欠陥によるトラブルは、竣工以降現在に至るまで1、2号共に発生していない。

10.1.3 タービン据付工事

タービン、発電機は単機容量としては最大クラスであり、特に発電機固定子は400トンもの重量であったため、脱気器やヒータ、トランスなど他の重量物の据付も考慮して、1500トンクレーンを使用した。

11 ま と め

当社はサウジアラビア/クワラ/パキスタン/ラルピール、フィリピン/マシンロック、中国/珠海等多数の経験を基に本プロジェクトを完遂した。海外発電プラントも多くはIPPとなり客先要求も一層複雑多岐にわたるものとなりつつある。今後もこれらの経験を踏まえ顧客の要望にこたえるよう万全の体制で臨む所存である。



安藤健司
高砂製作所
プラント技術部
次長



浅田英介
長崎造船所
火力プラント設計課
主幹



山本健次郎
原動機事業本部
ボイラ技術部
ボイラ技術一課
主席



野口俊英
原動機事業本部
タービン技術部
ガスタービン技術課
主席



住吉泰生
原動機事業本部
火力プロジェクト部
プラント技術三課
主席