

特 集 論 文

タイ民間資本による IPP 向け大型
石炭焚き火力発電所 (BLCP 発電所)
の計画と工事概要

Design and Construction Overview of the Biggest Coal Fired Power Plant in Thailand (BLCP Power Project), Developed by Private Companies as IPP Business.

浅田 英 介*¹
Eisuke Asada

高原 五 男*²
Itsuo Kouhara

本多 幸 一 郎*³
Koichiro Honda

渡 邊 健 之*⁴
Takeshi Watanabe

河 島 弘 毅*⁵
Hirotake Kawashima

タイでは民間の IPP（独立発電事業者）が活況を呈しているが、当社はその IPP の一つである BLCP 社より、石炭（瀝青炭）焚きとしてはタイ初となる大容量発電設備を設計、機器供給から、土建工事を含む現地工事まで一括で供給するフルターンキー方式（FTK：Full Turn Key）で受注した。本報では、従来の諸国政府や公社向けと異なり純粋な民間企業が顧客であることや、タイ初の本格的な石炭焚き発電所の建設となることから、プロジェクトの特徴に合わせた様々な工夫や配慮を行い、顧客と一丸となった問題解決の方策を採用することで、納期前倒しでの完工に結びつけた経験を紹介する。

1. は じ め に

タイは東南アジア諸国の中で最も早くアジア通貨危機の影響を脱し、政治的な安定と豊富な労働力、積極的な外資導入支援を武器に極めて順調な経済成長を維持している。経済成長に伴い電力需要の伸びも堅調であり、国営電力公社による設備開発に加え民間の IPP（独立発電事業者）も活況を呈しているが、当社はその IPP の一つである BLCP 社より、石炭（瀝青炭）焚きとしてはタイ初となる大容量発電設備を設計、機器供給から、土建工事を含む現地工事まで一括で供給するフルターンキー方式（FTK：Full Turn Key）で受注した。

従来の諸国政府や公社向けと異なり純粋な民間企業が顧客であることや、タイ初の本格的な石炭焚き発電

所の建設となることから、プロジェクトの特徴に合わせた様々な工夫や配慮を行い、顧客と一丸となった問題解決の方策を採用することで、納期前倒しでの完工に結びつけた経験をここに紹介する。

2. プロジェクト概要

BLCP 発電所はタイ東南部 Rayong 県にある Map Ta Phut 工業団地内に位置し、首都バンコクから車で 2.5 時間ほどの場所にある。サイトは大型石炭船の受入を考慮し、Map Ta Phut 港の東部海岸線から 3 km 先に造成された埋立地上にあり、三方を海に囲まれている。図 1 に BLCP 発電所の建設地を、図 2 に発電所全景を示す。発電所はボイラ、蒸気タービン、発電機で構成される石炭焚きコンベンショナルプラント 2 基である。1 基当たりの定格出力は 717 MW であり、2



図 1 BLCP 発電所の建設地



図 2 発電所全景

*¹ 長崎造船所技師長

*² 長崎造船所プロジェクト推進部プロジェクト実行グループ長

*³ 長崎造船所プロジェクト推進部プロジェクト実行グループ主席

*⁴ 長崎造船所機械営業部原動機輸出二課

*⁵ 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント技術課

基合計で1434 MWの発電能力を有している。燃料となる石炭は豪州／インドネシア産の瀝青炭を使用しており、起動用燃料としては軽油が使用される。当社は、発電に関わるすべての設備を供給しており、揚炭栈橋、貯運炭設備、電気集塵機、灰処理設備、排煙脱硫設備といった大物BOP設備を始め、水処理設備、排水処理設備、取水設備、空調・消火設備といった付帯設備まで一括供給した。設計に際しては、上記設備を含めた発電所設備全体に対して3D-CAD化を推進し、配置計画、詳細設計、干渉チェックに関する統合管理を実施した。主要設備の機器仕様及び環境基準値は表1、表2のとおりである。

表1 プラント主要仕様

機 器	仕 様
プラント	出力
	717 MW (発電端)
	蒸気条件
	16.7 MPa(a) × 538℃/538℃ (タービン入口)
	燃料
	石炭 (瀝青炭), 軽油 (起動時)
	冷却方式
ボイラ	海水冷却方式
	復水器真空度
	0.006931 MPa (a)
	給水加熱器
タービン	8 段 (低圧 4 段 + 脱気器 + 高圧 3 段)
	給水処理方式
発電機	低リン酸塩処理
	型式
	微粉炭焚き強制循環単胴放射再熱型ボイラ (最大連続蒸発量: 2285 t/h)
変電設備	型式
	串型四分流排気式再熱再生復水型タービン 3000 min ⁻¹ 最終翼 35.4 インチ
貯運炭設備	型式
	全閉型固定子水冷式発電機
電気集塵器	容量
	844 MVA
灰処理設備	励磁方式
	ブラシレス励磁方式
排煙脱硫設備	型式
	ガス絶縁開閉装置
揚炭設備	型式
	揚炭設備, 貯炭 / 払出設備, コンベヤ設備一式
電気集塵器	型式
	固定式電極方式
灰処理設備	型式
	Fly ash: 真空輸送, Bottom ash: コンベヤ輸送
排煙脱硫設備	型式
	海水式脱硫設備

表2 環境基準値 (煙突出口)

項 目	環境基準値 (7% O ₂ , Dry, 1atm, 25deg. C)
窒素酸化物 (NO _x) (ppm)	241
硫黄酸化物 (SO ₂) (ppm)	262
一酸化炭素 (CO) (ppm)	94
煤塵 (Dust) (mg/m ³)	43

3. 主要発電設備の概要

3.1 ボイラ

ボイラは、当社の豊富な実績に基づき設計製作された強制循環の石炭専焼ボイラである。計画燃料の瀝青炭に対応するために実績に基づく火炉及び伝熱面配置の計画を行っており、石炭性状のバラつきによる火炉熱吸収量差に対応するためにバーナ角度調整機構を設置して蒸気温度を調整している。燃焼設備としては、分級性能に優れ高微粉度が達成可能な MRS (MRS :

Mitsubishi Rotary Separator) 付き微粉炭機を採用し、バーナは火炉壁中央寄りに配置し、火炉全体を有効に利用する旋回燃焼方式の特徴を生かした CUF (Circular Ultra Firing) 燃焼方式を採用している。図3にボイラ側面図を示す。

また、環境対策としては、微粉炭焚きの低 NO_x バーナとして実績のある A-PM バーナ (Advanced-Pollution Minimum) と炉内脱硝法 (A-MACT) を適用し、広範囲の石炭性状に対する低 NO_x 運転を可能にしている。また、性能試験においてボイラ効率は、計画値を上回る良好な結果を得ている事を確認した。

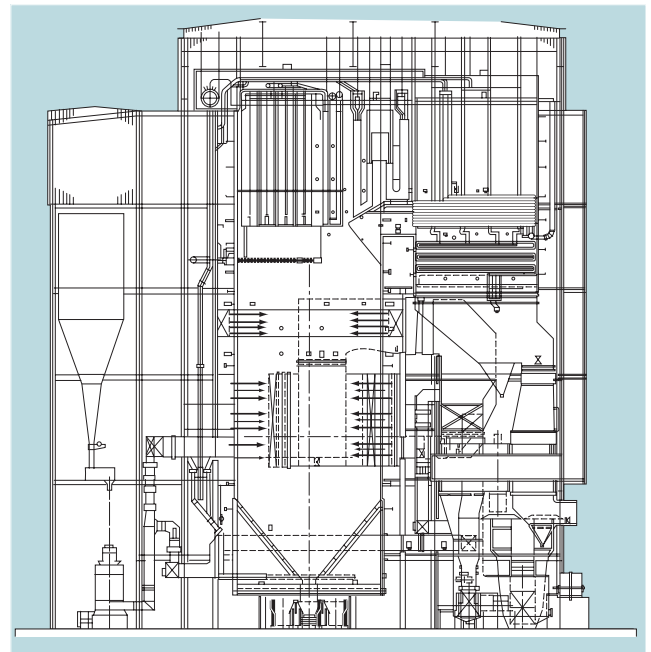


図3 ボイラ側面図

3.2 蒸気タービン

タービンは定格出力717 MWであり、高圧、中圧タービンを一体フレームとした高中圧コンバインド車室と二つの低圧タービン車室を一つの軸でつないだタンデムコンパウンド型である。高圧タービンは単流設計であり、調速段1段と反動段9段から成る。中圧タービンは高圧タービンと対向の単流設計であり、反動段7段から成る。低圧タービンは複流設計であり、各流は35.4 インチ ISB (Integral Shroud Blade) 最終翼群を含む反動段7段から構成されている。図4にタービ

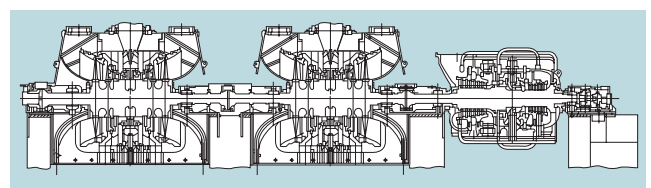


図4 蒸気タービン組立断面

ンの組立断面を示す。高圧と低圧の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事により性能向上を図っている。

運転開始後、軸振動を始めとする各種運転監視値は許容値より十分低く、安定した運転が達成されている。また、性能試験においてタービン効率は計画値を上回る性能を達成している事を確認した。

3.3 発電機

発電機は、大容量化に対応した固定子水冷却方式を適用した。図5に発電機の構造図を示す。発電機の大容量化は、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おり、本プロジェクトでは、タイ電力庁^(注1)／ラブリ向け990 MVA発電機にて検証済の構造を採用した。運転性能に関しては、発電所で実施した実負荷試験において、回転子軸の振動やコイルの温度上昇などが何れも計画値を満足している事を確認した。

注1：現在はRGCO(Ratchaburi Electricity Generating Co Ltd)所有。

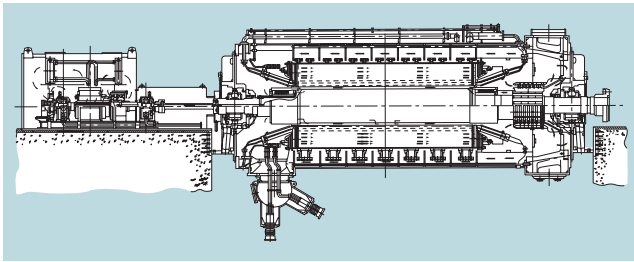


図5 発電機構造図

4. プロジェクトの特徴

4.1 許認可

従来の途上国の公共工事では政府の執行権限をもって省略されがちであった諸般の許認可について、タイ国法規における発電所建設にかかわるものすべて、逐一法規に則って取得する事が求められた。これらの許認可の内、例えば建屋などの建築許可のように設計者でなければ申請、承認取得が不可能なものについては全て契約者責任とされたため、当社もその一翼を担う事となった。代表的なものは、発電所用地が属する工業団地公社への建築許可申請であり、これは用地内に建設するすべての構造物（含む機器基礎）と建物にかかわる安全性の審査を目的とし、設計が完了していても、承認を取得できていなければ工事着工が出来ない。この許認可の重要性はプロジェクト開始当初から認識されており、申請を開始する以前から専任の設計者及び調整担当者をタイに頻繁に派遣し、当局担当者

への説明、申請要領や提出図書の内容等について詳細にヒアリングを行うなどの対応を行った。また、工事着工には十分な余裕を持って設計工程を計画し、かつ、設計者や調整担当者をタイに常駐させて当局とのクロスコミュニケーションを充実させた事が功を奏し、80有余にのぼる申請を行いつつ、工事工程に致命的な影響を及ぼす事なくすべての承認を取得する事が出来た。プロジェクトの建設工事の完了まで、本許認可は常に当社の設計者、工事担当者のみならず客先を含むすべての関係者の重要関心事で有り続けた。

4.2 環境アセスメント (EIA: Environmental Impact Assessment)

本プロジェクトは、タイ国初の大型石炭焚き火力発電所である事から発電所の建設・運転に伴う周辺地域環境への影響を最小限に抑えるべく厳格な環境アセスメント (EIA) が適用された。EIAには、タイ国の環境規制値（排水・排ガス・騒音）を満足する事はもちろんの事、大型火力及び石炭焚き故の様々な環境負荷低減対策が盛り込まれた。以下にその代表的な対応例を示す。

(1) 建設中の諸規定の遵守

建設期間中における EIA の遵守を実証するために、サイト内外での定期的な大気性状観測、排水性状管理とモニタリング、地域住民への建設概要等の説明会、自治体が設立したコミッティへの月例報告を徹底して実施した。サイト内での具体的な施策としては、工事用仮設道路への粉塵対策を目的とした散水、サイトを往来する車両に対する車輪洗浄設備の設置や走行スピード管理、建設資機材・トラック荷台への防風カバーの設置などである。また、建設中に発生した排水はいったん、サイト内に敷設した複数の仮設浄化槽に集め、沈殿処理した後、排水性状が EIA 規定値を越えていない事を確認した後に排出する事を徹底させた（図6）。

(2) 貯炭場への不透水シートの敷設

本プロジェクトは埋立地の上に発電所が建設さ



図6 仮設浄化槽

れ、貯炭場が屋外仕様となっている。このため、貯炭場に降った大量の雨水が地下へ浸透し、最終的に海への流出が懸念される事から、EIA では不透水シートの敷設が義務づけられた。客先と協議した結果、貯炭場全面に厚さ 1.5 mm の HDPE (High Density Polyethylene) シートを敷設し、貯炭場に降った雨水排水の地下浸水を防止する事とした。さらに、貯炭場の雨水を集水し、処理するために専用の貯炭場排水槽及び排水処理設備を新設した。排水処理設備でタイ国排水基準値以下に処理された排水は、貯炭場の粉塵飛散防止用として散水に再利用している。

(3) 貯炭場周辺の粉塵飛散対策

貯炭場での粉塵が周辺設備、及び海上へ飛散するのを防止するために、貯炭場南側全面に防風壁を設置した。また、貯炭場近傍に風速計を設置し、風速による散水設備の自動発停や、薬品散布車(ポリマー系コーティング剤)による定期的な散水、ブルドーザでのコンパクションによる飛散防止も実施している。運炭設備では、カバー付きコンベヤの採用や乗継建屋、スクリーン建屋での散水設備、粉塵回収設備を設置し、粉塵飛散防止対策を施している。

(4) 復水器冷却水の放水制限への対応

放水設備は、EIA が実施した温排水拡散シミュレーション結果を受け、放水口端から半径 500 m 地点での温度上昇を 3℃ 以下に抑えるべく放水流速を 1.5 m/s 以上となるよう設計した。また、海水脱硫方式を採用している事から、放水制限は一般的な項目(残留塩素濃度 Cl: 1.0 ppm, 放水温度: 40℃ 以下)以外に pH 規定 (≥ 7.0) が追加で義務付けられた。この $\text{pH} \geq 7.0$ という規定は東南アジア諸国での実績から見ても非常に厳しい制限項目であった。

4. 3 タイ投資委員会による免税制度の適用

タイへの機器輸入には一定の関税が課せられるが、本プロジェクトが公共インフラの建設である事より、タイ投資委員会 (BOI: Board Of Investment) の免税制度が適用された。しかしながらこの免税恩典は原則に過ぎず、実際の通関に際し関税を掛けられないようにするには、輸入する機器を分類してすべてリストに記載し、それがタイ国内では調達出来ない事を説明し、輸入を開始する前に投資委員会の承認を得る必要があった。設計が固まっていない段階で斯様なリストを作成するのは極めて困難ではあったが、契約上は免税が受けられない場合契約者が関税を負担する事となっており、このため契約発効後早急に作業体制を確立しリスト作成及び当局への説明資料作成に臨んだ。リストの項目は約 2 000、説明資料は 8 cm 厚のキン

グファイル 10 冊に及び、専従作業員 3 名により完成に 3 ヶ月を要した。申請後も建築許可申請と同様に担当部署への度重なる説明、説得が必要であったが、経験を積んだ通関業者へ申請、承認取得の代行を発注し、最終的には申請から 2 ヶ月で全品目の関税免除を勝ち取る事が出来た。

4. 4 海水式脱硫設備の計画

本設備は脱硫用の吸収液として復水器出口冷却水(海水)の一部を再利用するのが特徴である(図 7、図 8)。新たな吸収液や副生成物処理が不要となる事から石灰石膏法と比較して設備・運轉動力が簡素化・低減される利点がある。一方、脱硫性能は海水性状に大きく依存し、設計条件を決める際には海水性状の正確な把握が最も重要となった。本プロジェクトでは、1 年間にわたり周辺海域における海水の定期的な分析を行い、脱硫性能に影響を及ぼす主要パラメータ(アルカリ度、pH、温度)の変動幅を特定した。設備構成としては、吸収塔、BUF (Boost Up Fan)、脱硫用海水ポンプ、海水処理設備、酸化設備等である。排ガス側については、部分脱硫方式 (70 % 脱硫, 30 % バイパス) を採用する事で、 SO_2 基準値を満足し、かつバイパスされたガスとの混合により脱硫出口排ガス温度を上昇させることで EIA 基準温度 ($\geq 77 \text{ deg.C}$) を達成している。海水側については、海水ポンプにて復水器出口海水の約 2 割を取水し吸収塔へ送水、塔内



図 7 海水式脱硫設備 (吸収塔)

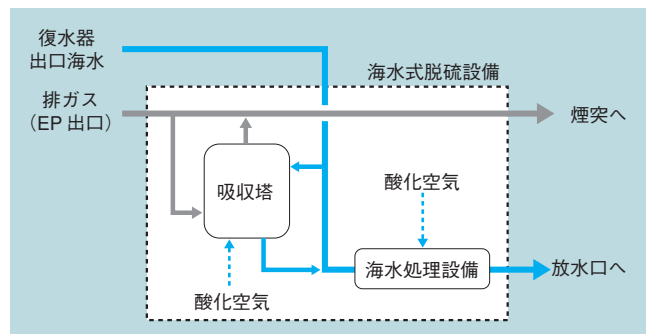


図 8 海水式脱硫設備 (系統図)

脱硫用に使っている。吸収塔出口の海水は低 pH となっているため、海水処理設備で酸化促進用エアレーションを行い pH を EIA 排水基準値内 ($\text{pH} \geq 7.0$) まで回復させる事にした。システム及び設備仕様については、当社研究所及び社外研究機構による各種試験、並びにシミュレーションを実施して決定した。

4. 5 石炭揚炭棧橋の設計と建設

(1) 棧橋の設計 (暴風を考慮した係留条件)

係留対象の石炭運搬船は、ケーブサイズ (170 000 DWT, DWT: Dead Weight Ton) 及びバナマックスサイズ (70 000 DWT) であり、通常この種の船舶は暴風時には棧橋停泊は行わず、沖合いに退避するのが一般的である。しかし本プロジェクトにおいては、航路の水深不足から、棧橋へは高潮位のときに接近し、航路よりも 2 m 深く浚渫してある停泊場所に係船する計画であった。従い、棧橋の設計条件としては、低潮位の時に暴風に遭遇し、かつ当該石炭運搬船の喫水が深く沖合いに待避できない場合を想定し、この停泊条件 (喫水条件) に設計最大風速/波を考慮する必要があった。通常、この種の設計最大風速は、船が係留されていない状況で棧橋単位の設計に対して考慮され、船が係留されている場合の設計風速としては、発生頻度が高い風速 (設計最大風速の $1/3 \sim 1/2$ 程度) が適用されることから、本棧橋の耐力は他の実績と比較してかなり強固なものになっているといえる。なお、棧橋設計の際には、暴風時の風および波を受けた場合における船体動揺について動的シミュレーションを行い、係留時の安全性と棧橋構造の安定性を評価している。

(2) 棧橋の施工

棧橋は、30 m (幅) \times 346 m (長さ) のコンクリートデッキと係留ドルフィンを、斜杭を含む合計 326 本の鋼管杭にて支持する構造であったが、夏のモンスーン時期、特に 7 月～9 月には、ほとんど杭打ち工事が行えなかった。工程を挽回するため、杭打ち船を増やし、デッキ部コンクリートの打設に当たっては、コンクリート硬化前の重量を支持する強度を有する中空のプレキャストコンクリート (PC) 板を型枠 (捨て型枠) として使用し、従来の工法である型枠+支保工の設置及び撤去にかかる時間を短縮した。また、長さ 60 m のトレスル (岸壁と棧橋のつなぎ道路部) の建設に当たっては、大型の PC ガーダーを、予め製作して、必要時期に現場搬入・据付ける事で、通常の現場打ちコンクリートによる場合に比べて大幅な工期短縮を計る事ができた。

(3) 環境対策

石炭受入作業中にコンベヤや乗継建屋で発生する

石炭粉塵が、雨水により海へ流出する事を防止するために、棧橋上に専用の排水槽と沈殿槽を設置した。これにより、雨季における大量の雨水排水は棧橋上の排水槽にいったん集水された後、専用の移送ポンプにて前述した貯炭場排水槽へと移送され、排水処理設備にて処理するようにした。



図9 石炭揚炭棧橋

4. 6 現地調達管理

本プロジェクトでは、タイ国内での現地調達率を高くしたため、現調品の発注から出荷までを円滑に遂行する目的で、VC (Vendor Controller) をリーダーとする、資材・設計・品質管理の経験者にて構成された現地調達事務所を早期に設立した。また、本邦との情報交換、及び現調事務所業務を効率的に行うため、インターネットを駆使して物流情報を収集/検索する“物揃えシステム”を構築した。

工事期間中における現地調達事務所の存在意義は非常に大きく、必要なモノを必要な時期に間に合わせるという納期遵守の管理はもとより、VC が構築したタイ人及びサプライヤー間のネットワークは、トラブル発生時における迅速な対応と物品供給を可能にし、工程/コスト的被害を最小限に抑える事ができ、工程遵守に大きく貢献した。

4. 7 ローカルスタッフの活用

調達管理、書類管理 (図面及びコレポン)、人事・勤労管理、IT 管理 (全書類電送システム、IT ツールの開発・改修・保全) 等の現地事務所機能拡大に伴い、そこで働くローカルスタッフに要求される資質も一般性から専門性へと変わらざるを得なかった。当プロジェクトでは、現地における業務を細分化し、各分野で経験豊富な専任責任者を配置する事により、業務の円滑化を図る事に成功した。

5. 建設工事概要

本プロジェクトは機器も大型であり、現地での組立

作業を出来るだけ少なくする事が工期短縮の鍵であった。このため、各機器のノックダウンコンディションは海上／内陸輸送における効率／制限を考慮した上で、最大限、大型化したものとした。また、一部の機器は建設サイトでの地組／大型化を行い、吊上げ、据付けを行なった。

現地業者に関しては、土建工事業者はその工事規模が大きい事から、陸工事と海工事(揚炭棧橋)に分割し、2社を採用した。陸工事はタイ西松建設(TNC)とし、その下請けとしてシノタイ(STECON)、イタリアンタイ(ITD)のタイ国2大建設ゼネコンと小規模建設会社数社という体制とした。一方の海工事(石炭受入棧橋)は、海工事に強い東亜建設(TOA)を採用し、その下請けにはITDの1社のみとした。総コンクリート量は陸海合せ170 000 m³であった。機械据付/計装電気工事業者は機械・計装・電気一括で地場業者の内1社(Thai Jurong Engineering : TJEL)のみを採用した。対象重量は機械関係で70 000 ton、電気機器で1 400 ton、ケーブル長は1 960 kmであった。

タイ国内では据付業者側にも石炭焚き発電所据付経験者が少ない。これを鑑み、据付作業の後方支援ツールとして、詳細な据付作業要領書を作成し、活用した(社内的にはこれを兵站(HEITAN)活動と称している)。この要領書は、各機器の据付作業ごとに必要な図面番号、図面名称、部品番号、部品名、部品数及び重量を記載しており、据付作業の段取りの段階で対象機器に不慣れな担当者にも滞りなく準備作業(図面、部品、工具、重機、作業員等)が進められ、かつ、現場での据付指導へも活用できる内容とした。この要領書の作成には多大な時間を要したが、実工事施工時には工事関係者にも好評で、据付作業での混乱/停滞の排除、及び品質、工期の確保に効果を発揮した。

試運転に関しては、火入れから、通気・併入、引渡しまで半年間という700 MWクラスの発電所では例の無い短納期を要求されたため、設計初期段階から設計部門に試運転担当者を常駐・参画させた。これにより、プラントの基本計画、設計思想、運転思想を理解させる事はもとより、試運転側からの要望・提案も積極的に設計へ取り入れる事により設計/試運転間の相互協調が図られ、効率的かつトラブルの少ない試運転

を実現でき、納期前倒しでの完工に大きく貢献した。

また、試運転と同時期に実施した客先トレーニングに関しては、当社所掌のボイラ、タービンといった主機はもとより、範囲が多岐に渡る機器・装置関係に関しても、当社の豊富な経験に基づく徹底したレビューを行い、総合的かつ体系的なトレーニング手法を構築・提供する事で、客先からも高い評価を受けた。

6. ま と め

本プロジェクトでは、4章で述べた各種問題点の克服だけでなく、当社が過去に経験した中近東や東南アジア向け大型FTK工事での教訓を元に、海外向けFTK工事の円滑な管理運営を目的として独自のプロジェクト管理手法となるPMT(Project Management Tool)を構築する事によって、工程、出図、各種懸案、品質、調達、リスク等の一元管理による徹底的な見える化の促進を行った。新規に構築したPMTの総数は最終的に30以上となり、“より使い易く、より効果的に”をモットーに都度改修を続け、関係者の努力により真に使えるPMTとして育て上げる事に成功し、当社の長年の課題であったリスク管理、購入品の納期管理をキチンとやれた事も今回の成功に繋がった大きな要因であると考えます。

最後に、本プロジェクトを成功裏に終わらせる事ができたのは、客先をはじめプロジェクトに携わった方々全員の苦勞と、努力のおかげであり、この場を借りて感謝の意を表します。



浅田英介



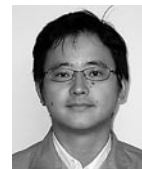
高原五男



本多幸一郎



渡邊健之



河島弘毅