

サウジアラビア RABIGH/IWSPP プラント —世界初の3段 RO システムと超短納期工事の完成—

Completion of Saudi Arabia RABIGH/IWSPP Plant



南 克三
Katsumi Minami

檜垣 隆夫
Takao Higaki

田中 賢次
Kenji Tanaka

サウジアラビアの RABIGH/IWSPP プラントは、住友化学(株)がサウジアラビアの国営石油会社のサウジアラムコと折半出資した大型の化学プラント (Petro Rabigh) のための電気・水・蒸気のユーティリティ供給を目的にしたプロジェクトである。このプラントは、発電プラントと海水淡水化プラントで構成されており、当社は、その機器供給から土建工事を含む現地工事・試運転までをフルターンキーで受注した。2009 年1月1日に客先へ仮引渡しを完了し、客先による営業運転を実施している。

1. はじめに

本プラントは、従来の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、サウジアラビア初の本格的な IWSPP (Independent Water, Steam and Power Plant) 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プロジェクトを完工した。

海水淡水化プラントも、当社が独自開発した3段直列逆浸透 (RO: Reverse Osmosis) 法を適用することで、本プロジェクトへの RO 法の適用を可能にしたので、その内容を紹介する。

2. プロジェクトの概要

RABIGH IWSPP プラントはサウジアラビアの西地区に位置し、アラムコの既設 RABIGH 石油精製工場エリアの敷地に近接している。本プラントでは 192 000m³/日 (最大)を造水するとともに、360MW の電力と多種にわたる蒸気、水を化学プラントに供給している。当社は、発電及び造水に関わる主要設備のほか、水処理設備、排水処理設備、電気集塵機、排煙脱硫設備、灰処理設備といった大型周辺設備から、空調・消火設備といった付帯設備までを一括で供給した。

プラントの主要要目と主要設備仕様を表1、表2に、環境基準値を表3に示す。

3. 超短納期プラントへの挑戦

3.1 プラント納期

プラントの契約上、早期に部分的なユーティリティを供給することが義務付けられており、実質的な初号機完成は海水淡水化プラントで26ヶ月、発電プラントで30ヶ月と、超短納期の工程であった。

表4は当社が納入したサウジアラビアの先行プラント(RABIGH STAGE 1 及び 3)とプロジェクト工程を比較したものである。今回の RABIGH IWSPP プラントの工程の厳しさは、ボイラ立柱及び火入れの工程の短縮とともに、多缶ボイラと多機タービンの建設・試運転を短期間に達成することを要求されたところにある。これを実現するために設計・調達・工事の各ステージで様々な工夫をこらし、集中的に厳しい工程管理を実施した。

表1 発電プラント主要仕様

項 目	仕 様
供給ユーティリティ	電力
	360MW (送電端出力)
	高高压蒸気
	10.5MPa × 500℃ × 35t/h
	高压蒸気
	4.25MPa × 370℃ × 635t/h
	中压蒸気
	2.0MPa × 270℃ × 560t/h
	低压蒸気
	0.46MPa × 160℃ × 90t/h
プラント	高高压給水
	14.35MPa × 130℃ × 430t/h
	高中压給水
	6.3MPa × 130℃ × 885t/h
	純水
	0.8MPa × 40℃ × 65t/h
	冷却塔補給水
	0.6MPa × 40℃ × 4 200t/h (デサリ水)
	蒸気条件
ボイラ	10.5MPa x 500℃ (タービン入口)
	燃料
	重油、軽油
	冷却方式
	冷却塔方式
	復水器真空度
タービン	0.00857MPa(a)
	給水加熱器
	4 段 (低压 1 段 + 脱気器 + 高压 2 段)
	給水処理方式
発電機	低リン酸塩処理
	型式
	油焚単洞自然循環形
	最大蒸発量
変電設備	470t/h
	設置数
	9 基
	型式
電気集塵器	単車室単流 1 段抽気復水タービン
	回転数、最終翼
	3 600min ⁻¹ 最終翼 25 インチ
	最大出力
灰処理設備	120MW
	設置数
	5 基
	型式
排煙脱硫設備	全閉型固定子空冷式発電機
	容量
	141MVA
	励磁方式
変電設備	ブラシレス励磁方式
	型式
	ガス絶縁開閉装置
	型式
電気集塵器	固定式電極方式
	型式
	フライアッシュ: 圧送方式
	型式
	湿式石灰石膏方式

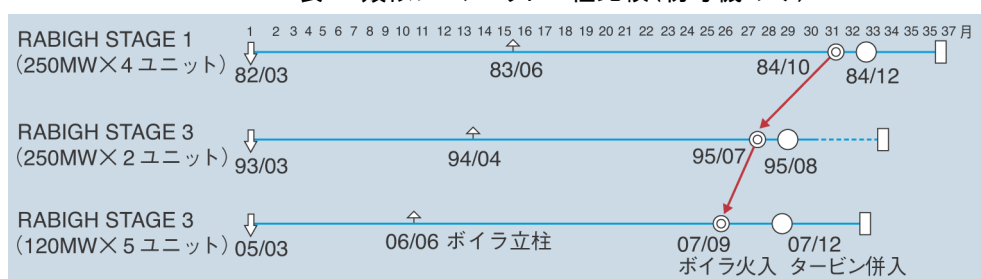
表2 海水淡水化プラント主要仕様

項 目	仕 様
造水量	168 000m ³ /日 (通常時)、192 000m ³ /日 (最大時)
前処理設備	重力式二層ろ過
高压ポンプ設備	遠心多段・動力回収タービン直結
逆浸透膜設備	三段直列逆浸透(RO)法
貯水・送水設備	鋼製円筒形
逆洗排水・放流設備	ポンプ排水・放流

表3 環境基準値(排ガスは煙突出口基準)

項目	単位	環境基準値 (3%O ₂ , Dry, 1atm, 25℃)
窒素酸化物 (NO _x)	mg/m ³ N	430
硫黄酸化物 (SO ₂)	mg/ m ³ N	210
一酸化炭素 (CO)	mg/ m ³ N	80
煤塵 (Dust)	mg/ m ³ N	50
排水基準 (懸濁質)	mg/l	15
排水基準 (PH)	—	6—9

表4 類似プロジェクト工程比較(初号機のみ)



3.2 設計のフロントローディング

プロジェクト開始より、図1に示すようにプラント計画・設計部門を中心に最大 180 名のエンジニアを投入し、6ヶ月で各種の計画資料と設計仕様を確定させ、詳細設計への展開を実施した。海外プラントの実績のみならず、国内自家発プラントのノウハウや、経験豊富なシニアエンジニアのアドバイスも反映した。ボイラ、タービン単体は、容量的には大きなものではないが、それらを複数号機同時に稼動するための共通設備が、実質 500～600MW クラスの発電所規模となった。

この超短納期工程の初期段階をいかにスムーズに乗り切るかを客先との共通目標とし、設計初期段階の各種仕様決定のための主要ミーティングを当社で実施した。

3.3 現地調達

本プロジェクトでは、サウジアラビア国内での現地調達率が非常に高く、発注～設計調整～製作～検査～出荷管理を一貫して行うべく、図2に示すように現地調達事務所をサウジアラビアの東地区(MDPO)と西地区(MJPO)にそれぞれ設立した。各現地調達事務所には日本人の所長を、その下にインド人スタッフ6名を配置し、納期・品質管理に当たさせた。

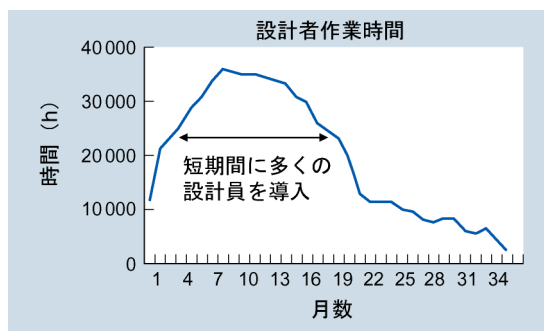


図1 設計工数の推移

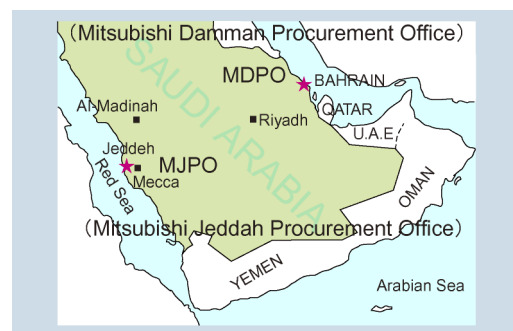


図2 サウジ現地調達事務所

4. 世界初の3段直列 RO 法

海水淡水化プラントは客先の石油化学プラントで使用される冷却塔補給水を供給する。そのため、要求水質は厳しく、蒸発法の海水淡水化プラント並みの生産水質(全溶解固形分 TDS < 10 mg/l, 塩素イオン濃度 Cl < 5 mg/l)が規定されている。この規定値を RO プラントで満足させたのが、当社が独自に開発した3段直列逆浸透(RO)法である。このプロセスの採用は世界初である。

造水規模も 168 000m³/日(通常時)及び 192 000m³/日(最大時)と世界でも超大型規模である。RABIGH IWSP プラントでは世界初の3段直列 RO プラントを納期どおりに完成、試運転でも極めて良好な結果を得て、当社独自技術の優秀性と信頼性を証明した。お客様やエンドユーザの高い評価と信頼を得て、新規類似案件への採用拡大が期待される。

本設備は、第1段(1st Pass)の高圧 RO 膜には紅海側で長期間安定した運転実績を豊富に有する東洋紡績(株)製の膜を、第2段(2nd Pass)及び第3段(3rd Pass)の低圧 RO 膜には高脱塩性能を有する日東電工(株)製の膜を採用している。RO ユニット1系列当たりの生産水量は 504 m³/h、全体で 16 系列(14 系列+予備2系列)の設備である。

回収率(Rc)は第1段 RO が 43%で、第2段 RO 及び第3段 RO がそれぞれ 90%である。第1段 RO の濃縮海水のみ系外に排出されるが、第2段 RO 及び第3段 RO のブラインは各々循環するため、総合回収率は 40%となる。

RO プラント性能試験時のデータを図3に示す。各段の水質は、第1段 RO 透過水の電気伝導度が 280 μ S/cm(蒸発残留物(TDS)で 140mg/l 相当)で第2段 RO 及び第3段 RO 透過水の電気伝導度がそれぞれ 26 μ S/cm(TDS で 13mg/l 相当)と 11 μ S/cm(TDS で 5.5mg/l 相当)で運転初期とはいえ極めて良好な水質を達成している。本来の設計値より高めの塩濃度海水の供給が続いている状況にもかかわらず、水量も保証値の 504m³/h に対し余裕を持って達成できた。

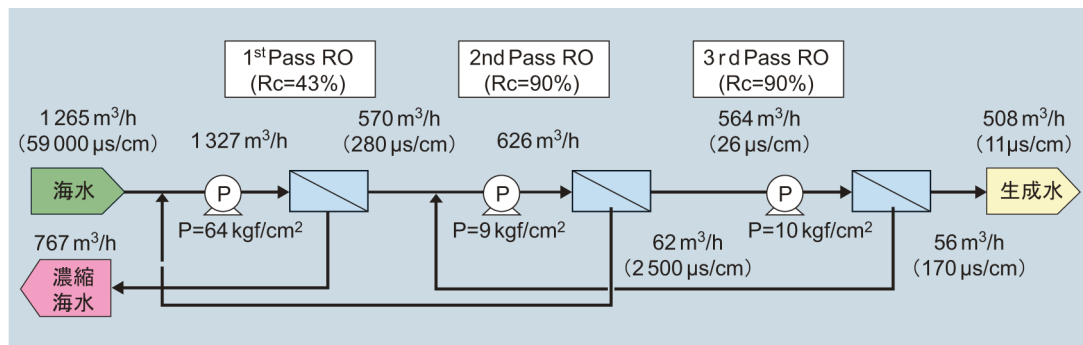


図3 RO PLANT 性能試験時のデータ

5. 現地工事

5.1 土工工事

サイトは紅海沿いで珊瑚を含む地質であるため、地下水レベルが GL-2.5mと浅いことから設計・工事時に注意を要した。短納期を意識して地下構造物レベルを浅くしたり、構造物レベルを地上に上げるなど工夫を凝らしたものの、海水の湧き出しが避けられず一部構造物では1年半にわたりポンプ10数台で排水を継続しながら工事を行った。(図4)

コンクリートや鉄筋材がサウジ全体で不足し、埋め戻し土は地元有力者によって出荷調整(制限)を受けるなど想定外の影響を受けた。これらに起因する工事遅れを取り戻すために、工事業者の協力を得て大幅な土建・機械・電気工事の輻輳作業/基礎部分引渡しを計画して、機電工事の開始はほぼスケジュールどおり開始できた。海水淡水プラントでは複雑な形状をしたろ過槽の土工工事が再び工程を悩ます主役となったが、機械工事との連携で部分引渡しを繰り返すことにより全体工程の遅れを最小化できた。

5.2 機械・電気工事

スケジュールどおり始めたものの、中東建設ブームに起因した作業員動員遅れに加え、能力のあるエンジニア、現場管理者や指導員が集まらず、工程遅れが徐々に発生し始めた。

先行きの目処も不透明であることから、機械工事開始4ヶ月後に当社 長崎造船所の工作部から技術指導員及び優秀な外国人スタッフを追加派遣して、現場の隅々まで三菱技術者による直接指導を行った。工事業者も工程挽回のために計画の2倍近い5千人の作業員を投入したがレベルが低いため、当社から日本人溶接工や、当社で独自雇用した配管工、組立工などを最大700名投入してこれをサポートした。

これは各社が作業員不足で苦しみ中、当社のフィリピンでの経験と人脈をいかし、地場の優秀な小規模業者の登用や東南アジアで付合いの長い会社からの作業員の融通、さらに当社独自にフィリピンで技能面接や溶接技量試験を実施して送り込んだものである。

(図5はボイラドラム上げ工事)



図4 土工工事
地下水汲み上げ排水



図5 機械工事
ボイラドラム上げ

今回の工事での教訓として、以下の3点が挙げられる。

- (1) 中東建設ブームの中ではスピードが勝負。手に入るときに建設資材を購入するなど自衛手段が必要。
- (2) 作業員のレベルが特に低い最近の中東工事では、過去に実績がある業者といえども信頼できるスタッフを常に現場にはり付けて、自ら安全管理・品質管理・工程管理を行っていく覚悟が必要。
- (3) 客先、工事業者との目標の共有、一体感無くして短納期プロジェクトの玉成はありえない。

6. 環境対策

本プロジェクトでは、サウジアラビアで初めて脱硫装置(FGD)を本格運転及び稼働して排ガス中の SO_2 成分の低減を図っている。この脱硫装置は、湿式の石灰・石膏方式を採用しており、石灰石はラービックプラント近くの山場から現地調達したものをそのまま使用している(図6)。電気集塵機は当社神戸造船所の製品で、排ガス中の煤塵を除去し、環境にやさしい発電プラントを実現している(図7)。



図6 脱硫装置

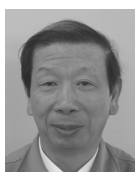


図7 電気集塵機

7. まとめ

サンドストームと呼ばれる砂漠の砂嵐が吹き荒れ、夏場は大気温度摂氏 50 度を超える過酷な環境下での現地作業は、肉体的にも精神的にも非常に厳しいものがある。異国の厳しい環境下で、客先及び当社の指導員をはじめとする日本人や外国人指導員の日々の頑張りには、敬意と感謝が尽きなかった。客先関係者からも当社に対し“サウジでの厳しい環境下、超短納期プロジェクトへ果敢によく挑戦してくれている”とのねぎらいの言葉を何度も頂き、我々の励みと力になった。客先、工事業者と目標を共有し、一体感をもって設計・工事を実施したことが、本プロジェクトの完成に大きく貢献した。

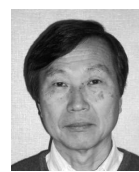
執筆者紹介



南 克三
長崎造船所
長崎プロジェクト
推進部
主幹



檜垣隆夫
長崎造船所
長崎プロジェクト
推進部
主幹



田中賢次
長崎造船所
長崎プロジェクト
推進部
主席