

# 日本企業初の海外原子力発電プラント建設

Construction of Overseas Nuclear Power Plants for First Time by Japanese Industry

丸山 亨

■ MARUYAMA Tohru

成瀬 佳宏

■ NARUSE Yoshihiro

藪田 均

■ YABUTA Hitoshi

エネルギーの安定供給及び温暖化防止を背景に、原子力発電プラントの建設計画が世界規模で拡大している。過去30年間、新規の原子力発電プラント建設の実績がなかった米国でも、現在既に30基以上の建設が計画されている。一転成長市場となった米国で、2009年2月、東芝はわが国の企業として初めて原子力発電プラント建設プロジェクトの一括契約を締結した。

原子力事業初の米国法人 東芝アメリカ原子力エナジー社 (TANE) は、ノースカロライナ州シャーロットを主要拠点として、長年の国内プラント建設で培った技術とノウハウを商習慣や、制度、規制の異なる米国に適合させるための様々な取組みを行いながら、世界が注目するこのプロジェクトを確実に遂行している。

In response to the worldwide demand for stable energy supplies and the reduction of greenhouse gas emissions, nuclear power plant construction projects have been expanding on a global scale. Even in the United States, where no nuclear power plants have been constructed over the past 30 years, there are plans for the construction of more than 30 plants. Toshiba has been awarded a contract for a nuclear power plant construction project in the U.S., the first case of overseas nuclear power plant construction by Japanese industry.

Toshiba America Nuclear Energy Corporation (TANE), the first U.S. subsidiary in our nuclear business, located in Charlotte, North Carolina, is engaged in this globally prominent project, applying various technologies and know-how that we have cultivated over many years of experience in developing and constructing nuclear power plants in Japan and adapting them to U.S. business practices, laws, and regulations.

## 1 まえがき

東芝は、2009年2月、わが国の企業として初めて米国における原子力発電プラント2基の設計、調達、及び建設を一括受注した。テキサス州ヒューストンの南西約100マイルにあるサウス テキサス プロジェクト原子力発電所3、4号機（以下、STP-3/4と略記）の新設工事は、原子力発電の再評価を受け“原子力カルネサンス”の先駆けとなる、米国では約30年ぶりの新規建設案件である（図1）。

STP-3/4は、当社、東京電力(株)などが中心となって開発した改良型沸騰水型原子炉（ABWR）を採用する。ABWRは、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所6、7号機や中部電力(株)浜岡原子力発電所5号機などに採用され良好な運転実績がある。また、米国では1997年に連邦規制に基づく標準設計認証（DC）を取得しており、その確実性と信頼性が長期間新規建設のなかった米国の顧客から高く評価された。

ここでは、当社が開発した国内向けABWRの実績をベースに、米国の規制と規格要求への適合を図りながら進めているSTP-3/4建設プロジェクト（以下、STPプロジェクトと略記）の取組みについて述べる。



提供：サウステキサスプロジェクト ニュークリア オペレーティングカンパニー

図1. サウス テキサス プロジェクト原子力発電所 — テキサスの大平原にあるこの発電所は、冷却水を確保するための広大な人工池が特徴的である。  
South Texas Project (STP) nuclear power plant

## 2 米国原子力発電プラント建設プロジェクトへの取組み

当社は、わが国で新規原子力発電プラントの建設を40年以上にわたり継続してきた。一方、海外での建設プロジェクトは今回が初めてであり、顧客やベンダーとのプロジェクト遂行に

ついて米国の標準的な手法に従いながら、わが国での豊富な建設実績や経験に基づく当社の技術とノウハウを生かして、プロジェクトをスムーズに進めることがポイントになる。

## 2.1 プロジェクト管理

STPプロジェクトでは、TANEが当社及び米国各社のエンジニアリング、調達及び建設スケジュールを取りまとめ、プロジェクト全体の進捗を管理している。顧客を含めた米国各社を統括管理するため、米国流プロジェクト管理手法である米国規格協会 (ANSI) 規格のPMBOK (A Guide to the Project Management Body of Knowledge) を採用しており、客観的で透明性の高いデータに基づいたプロジェクト管理を実施しているのが特徴である。

スケジュールは、個々の作業単位に細分化された作業工程表によって管理する。具体的には、作業項目ごとに工程 (期間) と、他作業とのリンク、同工程に要する時間 (計画)、担当会社及び担当課情報を付与し、これらのデータを専用ソフトウェアへ入力する。こうして、5万件以上に及ぶ作業項目が明確化、可視化され、エンジニアリングスケジュール (ES) 管理が可能となる。

また、各サブベンダーのESも前述のソフトウェアを用いており、プロジェクト全体ESと常にリンクしている。サブベンダー-当社-顧客間の図書受渡しのタイミングも記載するなど、日限をきめ細かく管理している。なお、マネジメント層が全体像を把握しやすくするため、スケジュールの作成段階で、当社が先行して主要スケジュールを提示し、各社がそれによって詳細なスケジュールを作り込むようにした。また、スケジュール上重要なマイルストーンを記載することで、スケジュール構成の理解と進捗管理に活用しやすくするなどの工夫を行っている。

このように、米国流に当社が培ってきた日本流の良さを融合させ、改良を加えながらプロジェクト管理を進めている。

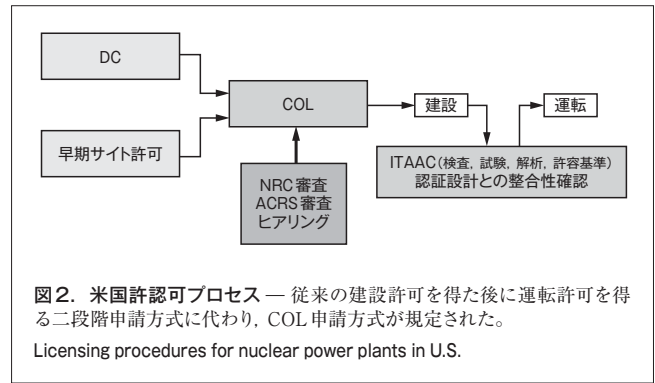
## 2.2 許認可

米国での原子力発電所の建設及び運転にかかわる許認可プロセスは、10 CFR (Title 10, Code of Federal Regulations) Part52が1989年に制定され、従来の建設許可を得た後に運転許可を得る二段階申請方式に代わり建設運転一括許可 (COL) 申請方式が規定された。この方式は、サイトに依存しないDC若しくはサイトの立地適合性を認める早期サイト許可を参照することでCOL審査が簡素化され、許認可プロセスの合理化につながるものである (図2)。

また、プラント運転開始の前には、認証された設計に従って建設されたことを保証するプロセス (ITAAC) が必要になる。

### 2.2.1 STP-3/4の許認可プロセス

STP-3/4の許認可は、10 CFR Part52のプロセスに従って申請を行っている。ABWRは米国で1997年にDCを取得しており、これを基に当社が行ったABWR設計、タービン設計及びサイト条件に依存する設計を組み込んだCOL申請 (COLA) を顧客であるサウ



ステキサスプロジェクト ニュークリア オペレーティングカンパニー (STPNOC) から提出して、米国原子力規制委員会 (NRC) の審査を受けている。

### 2.2.2 標準設計ABWR供給能力の認定

当社が米国原子力規制要求に従いABWRを供給する能力を持っていることを確認するため、2009年7月にNRCによる監査を受審した。設計、試験検査にかかわる品質保証システムから許認可対応体制に及ぶ監査の結果、わが国の企業として初めて米国で標準設計ABWRを供給する能力の認定を受けた。

### 2.2.3 NRCによる審査状況と今後の対応

NRC審査プロセスを円滑に進めるためには、NRCからの質問 (RAI) に対してタイムリーかつ適切に回答することが重要になる。RAIへの回答は原則30日以内に行うことが求められる。STP-3/4のCOLAでは、TANEと当社を中心にプロジェクト参画各社で順調にRAI対応を進めており、その状況はNRCのWebサイト<sup>(1)</sup>で公開されている。

NRCでの審査が進展し、2010年3月には、NRCから審査結果を示す安全評価報告書 (DSER) が発行された。これと並行して、原子炉安全諮問委員会 (ACRS) によるDSERの詳細レビューが継続して行われている。

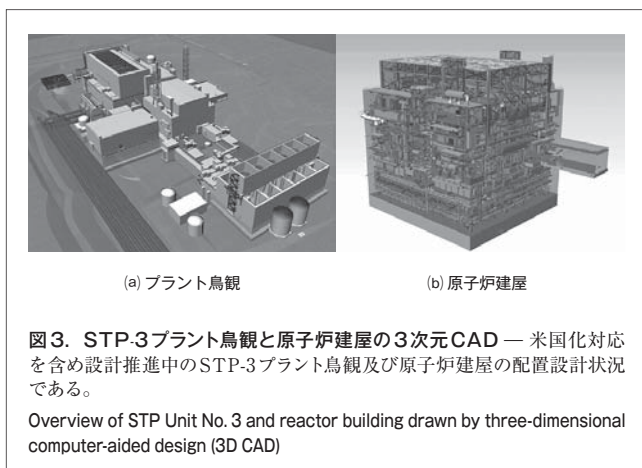
これらのプロセスを経て、NRCから最終的な安全評価報告書 (FSER) が発行され、公聴会でのヒアリングを受けた後、建設運転一括許可COLが発給され、プラント建設の着手が可能になる。当社は、2012年前半のCOL発給を目指してNRC審査への対応を継続するとともに、STP-3/4の運転開始に備えITAACでの確認に向けた準備を進めていく。

## 2.3 エンジニアリング

### 2.3.1 米国化対応

ABWRは、わが国では運転実績がある完成された設計であるが、米国建設のエンジニアリングでは、標準設計認証図書 (DCD)、米国の規格基準、及び顧客要求を詳細設計に展開していく作業が必要になる。そのうえで、わが国での設計上の留意点や運転経験を的確に反映していくことが重要である。

エンジニアリングは基本設計図書をおおむね提出済みで、調達品発注に向けた条件がほぼ確定する段階にある。設計



の各プロセスで常に米国での要求事項に対して整合していることを確認（コンプライアンス チェック）しながら進めており、これを“米国化対応（Americanization）”と呼んでいる。

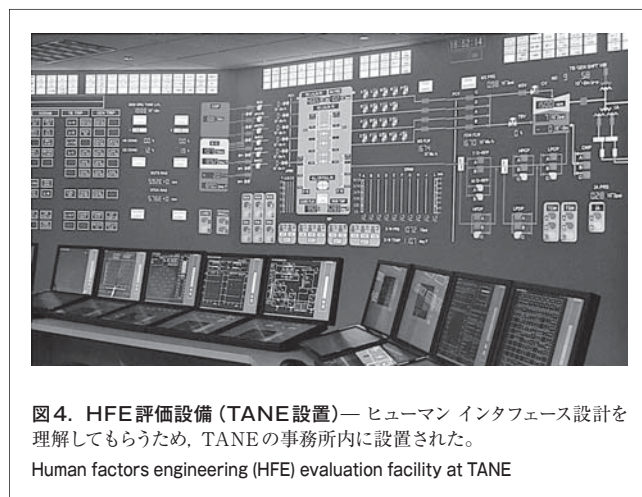
当社は主に基本設計を担っており、米国化対応の重要性を認識したうえで、総力を挙げてこれに取り組んできた。これを高い精度で実施するため、当社の磯子エンジニアリングセンターにACC（Americanization Collaboration Center）を設置し、設計全部門が米国人設計者と連携して作業できる環境を整備した。これにより効率的な集中作業が可能となり、全部門への浸透を図ることができた。これらの成果は、STPNOCによって行われた2009年6月と2010年2月のアセスメントで確認されている。

このように、国内向けABWRの設計、建設、及び運転経験に基づいて米国化対応を進めることで、米国版の標準設計ABWRを確立してきている（図3）。

### 2.3.2 中央制御室のヒューマン ファクター エンジニアリング

米国では、個々のヒューマン ファクター エンジニアリング（HFE）の設計過程における手順と内容をレポートとしてまとめ上げる必要がある。これらを担当する米国人エンジニアは、総合デジタル化中央制御室の設計と運転経験がないことから、実際の監視操作方法やプラントの挙動を熟知していない場合が多い。そのため、DC記載のABWR中央操作盤A-PODIA™のヒューマン インタフェース設計を理解してもらうことを主目的に、フル スコープ プラント モデルのHFE評価設備をTANEに設置した（図4）。このHFE評価設備を使ったABWRの各運転操作のデモンストレーションを、HFEプロセスに沿った詳細設計と検証を効率的に進めるために活用するとともに、STPNOCを含む電力・産業界や規制サイドの理解促進にも有効活用している。

また米国では、新設原子力発電プラントの建設スケジュール上、シミュレータによる運転員の訓練が国内プラントに比べて長い期間必要になる。認可された運転員によるシフト体制を燃料装荷前に整えるため、この実機運転員訓練用のシミュ

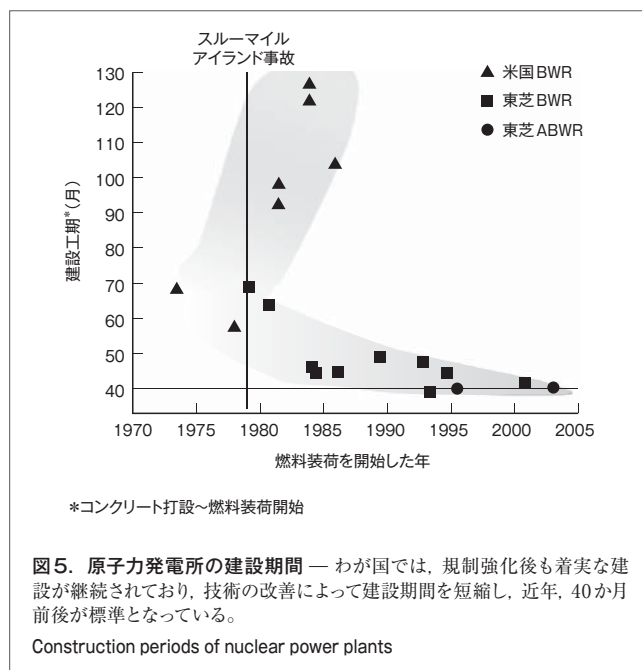


レータの早期完成を目指し設計を進めている。

### 2.4 建設計画

原子力発電所の建設は、原子炉建屋の基礎工事開始から原子炉に燃料を装荷するまで、長い期間を要する。図5には、年代を横軸に当社が建設した発電所の建設期間と米国の建設期間を合わせて記載している。

1970年代には日米の建設期間は60か月から70か月でほぼ同じであったが、1979年のスリーマイルアイランド事故後の米国規制の強化によって、建設途上にあったプラントの設計変更や据付工事のやり直しなどが発生し、米国での建設期間は100か月を超えるとともに、新規建設がとどえた。わが国でも規制が強化されたが、着実な建設が継続され、建設技術の改善により建設期間の短縮が図られており、近年では、40か月前後が標準となっている。



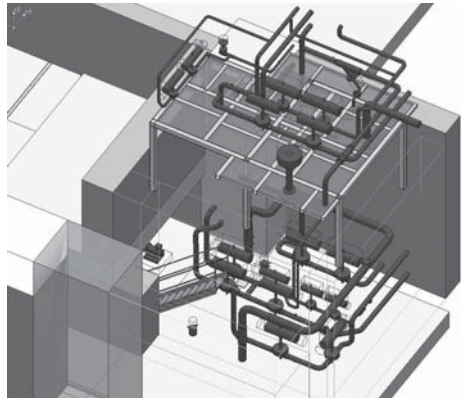


図6. STP-3/4に適用する配管のモジュール計画 — 配管を工場で組み立て、現場で大型クレーンで据え付けるモジュール工法の適用によって、品質の向上と工程の短縮に効果を上げている。

Piping module plan for STP

当社は、国内で培ってきた建設技術を米国に適用することで、短時間で、かつ計画どおりの建設工期を達成することを目標にして、STPプロジェクトに取り組んでいる。

**2.4.1 米国工事会社との共同検討** 原子炉建屋の基礎工事開始に向けて、2008年4月から米国の工事会社と建設検討を開始した。まず、米国の工事会社による当社建設技術の習得と、基本的な工事計画の作成を進めた。更に、2010年より設計図面を用いた詳細な工事計画に着手している。このように設計の進ちょくに合わせて工事計画を詳細化する方法も、国内の建設で実行している手法である。

米国での工事工程を検討するためには、日米間での工事効率の違いを考慮する必要がある。この差異は、工程だけでなく現場の作業人数にも影響するため、作業員を昼間と夜間に分けた体制の導入も検討している。

国内の建設では、配管を工場であらかじめ組み立て、現場で大型クレーンで据え付けるモジュール工法を適用して、品質向上と工程短縮に効果を上げている(図6)。STP-3/4の建設にもこれらの技術を適用するため、米国の工事会社と検討を進めている。

**2.4.2 3Dモデルを用いた工事計画** 原子力発電プラントの設備は大半が3次元(3D)モデル化される。3Dモデルを用いることで、モジュール計画やクレーン計画などの詳細な工事計画も可能になったため、STPプロジェクトの工事計画でも、3Dモデルを用いた工事計画を行っている。特に、3Dモデルから計算される物量と作業員人数をパラメータとして詳細な工事工程が作成できる、当社独自の6DCAD™(3Dモデル+物量+工事人員+工程の6次元化)を適用することで、工事工程の信頼性は格段に向上する。

**2.4.3 現地工事状況** STP-3/4建設現場では、2009年9月から準備工事が始まっており、工事エリアに設置されている



図7. 冷却池でのボーリング調査工事 — STP-3/4建設現場では、2009年9月から準備工事が始まっている。

Boring investigation in cooling pond

倉庫の移設工事や道路の整備工事、冷却池でのボーリング調査などが進められている(図7)。

### 3 あとがき

原子力発電プラント建設プロジェクトは、設計着手から営業運転開始まで約10年を要する巨大プロジェクトである。現在、エンジニアリング、ライセンシングともに順調に進ちょくしている。STP-3/4建設に向けての取組みを通して、わが国で実績のあるABWRを世界に展開できる集大成のプラントと位置づけ、STPプロジェクトを進めていく。

### 文献

- (1) NRC. "Requests for Additional Information Regarding the Combined License Application for South Texas Project, Units 3 and 4". NRC Home Page. <<http://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/col/south-texas-project/rai.html>>, (accessed 2010-11-05).



丸山 亨 MARUYAMA Tohru

東芝アメリカ原子力エナジー社 上級副社長。  
米国原子力プラント建設プロジェクトの統括業務に従事。  
日本機械学会会員。  
Toshiba America Nuclear Energy Corp.



成瀬 佳宏 NARUSE Yoshihiro

東芝アメリカ原子力エナジー社 副社長。  
米国原子力発電プラントエンジニアリングの統括業務に従事。  
日本機械学会会員。  
Toshiba America Nuclear Energy Corp.



藪田 均 YABUTA Hitoshi

東芝アメリカ原子力エナジー社 副社長。  
米国STP-3/4プロジェクトの統括業務に従事。  
Toshiba America Nuclear Energy Corp.