

海外原子力発電プラント建設及び運転・保守への取り組み

Toshiba Group's Contributions to New Construction and Provision of O&M Services for Overseas Nuclear Power Plants

山崎 之崇 YAMAZAKI Yukitaka 山本 雄司 YAMAMOTO Yuji 北川 大二郎 KITAGAWA Daijiro 有馬 由紀 ARIMA Yuki

エネルギー安全保障の確保とカーボンニュートラルを両立できる手段として、世界では、小型炉から大型炉までの多様な原子力発電プラントの建設需要が増加している。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、国内の沸騰水型原子力発電プラント(BWR: Boiling Water Reactor)の建設や運転・保守で培った技術に基づき、加圧水型原子力発電プラント(PWR: Pressurized Water Reactor)も含めて多種の機器、運転・保守サービスを世界に提供している。特に大型PWRの建設では、福島第一原子力発電所の事故以降に着工したプラント8基に対してタービン・発電機設備を供給している。これまでの大型炉の経験や火力発電向けタービン・発電機の豊富な知見と経験を活用することで、継続して信頼性の高い機器と運転・保守サービスを提供し、世界のカーボンニュートラルの実現に貢献していく。

As a means of achieving both energy security and carbon neutrality, demand for the construction of nuclear power plants equipped with reactors ranging in size from small to large-scale units continues to grow worldwide.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation supplies a wide variety of equipment as well as operation and maintenance (O&M) services to customers around the world, including those for pressurized water reactors (PWRs), based on the technologies it has developed in the construction of and provision of O&M services for boiling water reactors (BWRs) in Japan. In particular, for the construction of large PWRs, we have supplied steam turbine generators (STGs) to eight plants whose construction started after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. We will continue to provide highly reliable equipment and high-quality O&M services, and will contribute to the realization of global carbon neutrality by utilizing our experience in large reactors and our extensive knowledge and experience in STGs for thermal power generation.

1. まえがき

東芝エネルギーシステムズ(株)は、長年にわたり、原子力発電プラントの開発や、設計、許認可、機器製造、建設、運転・保守などに携わっている。国内では、BWRの建設22基(このうち主契約は17基)の実績があり、その後の運転・保守サービスも実施し、プラントの安定運転に貢献してきた。この国内の豊富な知見と経験に基づき、海外においても、BWRに加え、PWR向けの機器を多数供給してきたとともに、運転・保守サービスにも携わった実績がある。ここでは、海外の原子力発電プラントの建設及び運転・保守への取り組みについて述べる。

2. 海外の原子力発電プラント向け取り組み

図1に、海外原子力発電プラント向けの機器やサービスの納入実績を示す。多種の機器やサービスを納入してきた実績とともに、海外でのプラントの許認可も取得している。例えば、国内で建設、運転を開始した改良型BWR(ABWR: Advanced BWR)の経験を生かし、米国原子力規制委員

会(NRC: Nuclear Regulatory Commission)による設計部門及び品質保証部門の監査を受審し、その結果2009年に受注した米国サウステキサスプロジェクト原子力発電所3、4号機(電気出力1,400 MW級ABWR, 2基)について、当社に米国型ABWRの供給能力があることが確認された。そして、その後建設・運転一括許可(COL: Combined License)申請の認可を2016年2月に米国NRCから取得した。これは、米国外の原子炉メーカーとして初めて許可を取得したもので、追加規制要求である航空機落下対策や福島第一原子力発電所事故への対策などを設計に取り込んでいる。更に、ABWRの欧州向け展開としては、1,600 MW級の電気出力で、欧州の安全基準を満足するEU-ABWR(European ABWR)の開発⁽¹⁾も行った。

また、原子炉システムで発生する蒸気のエネルギーを電気に変換する重要機器である蒸気タービン・発電機(STG: Steam Turbine and Generator)も製造し、供給している。2011年3月の福島第一原子力発電所の事故後も、世界では安全性を確認の上、新規建設が継続しており、2023年3月時点までに大型軽水炉は2011年以降、63基が着工さ

顧客 (運転者)	プラント名・炉型	内容	納入年
IBERDROLA スペイン	COFRENTES BWR	移動式炉心内計装 (TIP)	2011
OKG スウェーデン	OSKARSHAMN-3 BWR	蒸気乾燥器・湿分離器	2012
TVO フィンランド	OLKILUOTO-1,2 BWR	移動式炉心内計装 (TIP)	2017

顧客 (運転者)	プラント名・炉型	内容	実施年又は 納入年
XCEL	MONTICELLO BWR	蒸気乾燥器	2011
EXELON	NINE MILE POINT-2 BWR	ジェットポンプインレットミキサー	2012
EXELON	NINE MILE POINT-2 BWR	シュラウドヘッドボルト	2013
WESTINGHOUSE	(予備品) BWR	制御棒駆動機構パーツ	2013
SNC	VOGTLE-3,4 AP1000	蒸気タービン・発電機, 関連機器	2013, 2014
DOMINION	SUMMER-2,3 AP1000	蒸気タービン・発電機, 関連機器	2013, 2015
DOMINION	SUMMER-2,3 AP1000	コアバレル	2014, 2016
DOMINION	SUMMER-3 AP1000	CA01 サブモジュール	2016
SNC	VOGTLE-4 AP1000	CA01 サブモジュール	2016
ENERGY	ARKANSAS NUCLEAR ONE-1 PWR	RVノズルレーザービームング	2016
STPNOC	SOUTH TEXAS PROJECT-3,4 ABWR	COL取得	2016

顧客 (運転者)	プラント名・炉型	内容	実施年
EDF	CATTENOM-2 PWR	発電機固定子巻き替え	2011
EDF	CATTENOM-1 PWR	発電機固定子巻き替え	2012
EDF	CATTENOM-4 PWR	発電機固定子巻き替え	2013
EDF	PALUEL-1 PWR	発電機固定子巻き替え	2013
EDF	(LE) BLAYAIS-3 PWR	発電機固定子巻き替え	2014
EDF	DAMPIERRE-1 PWR	発電機固定子巻き替え	2015
EDF	BUGEY-4 PWR	発電機固定子巻き替え	2016
EDF	GRAVELINES-1 PWR	発電機固定子巻き替え	2017
EDF	BUGEY-5 PWR	発電機固定子巻き替え	2018
EDF	BUGEY-3 PWR	発電機固定子巻き替え	2019
EDF	(予備機) PWR	発電機固定子巻き替え	2019
EDF	BELLEVILLE-1 PWR	発電機回転子巻き替え	2020
EDF	BELLEVILLE-2 PWR	発電機回転子巻き替え	2022

顧客(運転者)	プラント名・炉型	内容	納入年
CFE	LAGUNA VERDE-1,2 BWR	使用済み燃料プール計装	2016

顧客(運転者)	プラント名・炉型	内容	納入年
TPC	LUMGMEN-1,2 ABWR	制御棒駆動装置	2001
TPC	LUMGMEN-1,2 ABWR	インターナルポンプ	2003
TPC	LUMGMEN-2 ABWR	原子炉炉内構造物	2003, 2004
TPC	CHINSHAN-1,2 BWR	水素注入設備	2002, 2003
TPC	KUOSHENG-1,2 BWR	水素注入設備	2002, 2003

顧客(運転者)	プラント名・炉型	内容	納入年
ENEC	BARAKAH-1,2,3,4 APRI1400	蒸気タービン・発電機, 関連機器	2014-2017
ENEC	BARAKAH-1,2,3,4 APRI1400	中央制御室コンソール	2014-2017

顧客(運転者)	プラント名・炉型	内容	実施年	
非公開	-	-	発電機ロボット点検	2022

RV: Reactor Vessel (原子炉容器)

図1. 海外原子力発電プラント向けの機器やサービスの納入実績

多種の機器や運転・保守サービスを納入してきた。

Record of deliveries of equipment and services for overseas nuclear power plants

れた⁽²⁾。このうち約8割を占める49基が中国及びロシア製の原子力発電プラントであり、残り14基は米国のAP1000が米国にて4基、仏国のEPR(欧州型加圧軽水炉)が英国にて2基、韓国のAPRI400が韓国にて4基及びアラブ首長国連邦(UAE)にて4基である。当社は、このうち、原子力カルネサンス後初の米国向け4基と、UAE初の原子力発電所向け4基の計8基に対してSTGと関連機器を供給した。また、米国でのAP1000建設に対しては、原子炉の燃料を支持する炉内機器主要部品であるコアバレル、更に格納容器内で1次系機器などを支持する大型モジュール構造物(CA01)の構成部品(サブモジュール)も製造、供給した。これらは米国安全関連機器の品質要求や米国機械学会(ASME: American Society of Mechanical Engineers)規格の要求に準拠し、高度な品質管理の下で製造したものである。

3章以降では、海外でSTG供給を行った原子力建設及び運転・保守で実績を積んだ成果の例として、米国で

AP1000を採用したボーグル原子力発電所、及びUAEでAPRI400を採用したバラカ原子力発電所について述べる。

3. 米国ボーグル原子力発電所3, 4号機

3.1 プロジェクト概要

米国サザンニュークリア社のジョージア州ボーグル原子力発電所3, 4号機(電気出力1,200 MW級AP1000, 2基)(図2)に対し、蒸気タービンや、タービン発電機、湿分離加熱器、復水器、給水加熱器、脱気器、CA01サブモジュールなどを納入した。図3に主要納入機器を示す。

ボーグル原子力発電所の3号機は、2023年5月又は6月に営業運転が開始される予定である。4号機は、2023年7月から10月の間に燃料装荷を始め、2023年第4四半期又は2024年第1四半期での営業運転開始が計画されている。

3.2 AP1000向けタービンシステムの開発・設計

実プロジェクトの開始に先立ち、AP1000のタービンシ

システムの開発、設計を行った。このタービンシステムは、AP1000の蒸気条件に合わせて高性能化を図った60 Hz用52インチ(132 cm)の低圧タービン最終段翼と各種高効率化技術を反映したものであり、この設計はAP1000の設計管理文書(DCD: Design Control Document)に記載され、2011年12月には米国NRCより型式認証(DC: Design Certification)を取得し、米国連邦規則集(CFR: Code of Federal Regulations)にて規則化されている。

3.3 運転・保守サービス

当社グループは、サザンニュークリア社とボーグル原子力発電所3、4号機の運転・保守サービスに関する包括契約を締結した。今後、部品供給、更に効率的な点検・保守を行っていくことで、安定運転に貢献していく。



©2022 Georgia Power Company. All rights reserved.

図2. ボーグル原子力発電所3、4号機

電気出力1,200 MW級の2基のAP1000で、STGや関連機器を納入した。
Vogtle Electric Generating Plant Units 3 and 4, U.S.A.

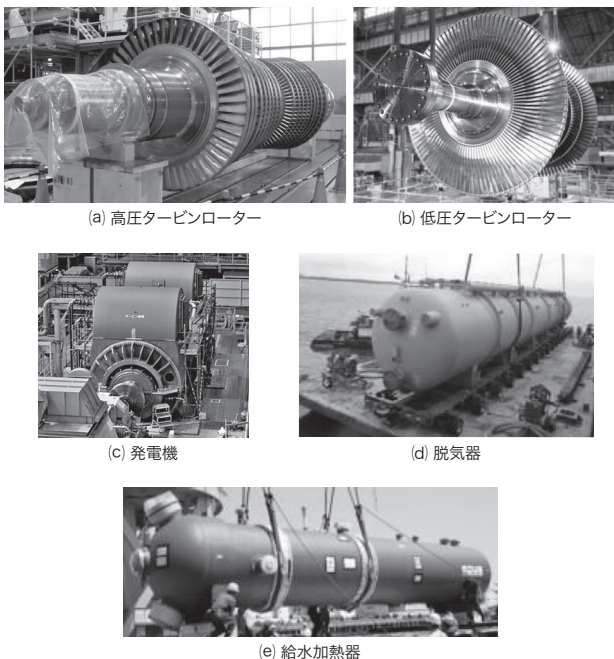


図3. ボーグル原子力発電所3、4号機向け納入機器

STG、湿分分離加熱器、復水器、給水加熱器、脱気器などを納入した。
Equipment delivered to Vogtle Electric Generating Plant Units 3 and 4

4. UAEバラカ原子力発電所1-4号機

4.1 プロジェクト概要

韓国電力公社が手掛けるUAEで初の原子力発電所となるバラカ原子力発電所(電気出力1,400 MW級APR1400, 4基)(図4)において、STGを韓国の斗山エナビリティー社経由で納入した。この発電所の1号機は2021年4月から、2号機は2022年3月から、3号機は2023年2月から、商業運転を開始している。4号機についても運転に向けた準備が進められている。

4.2 APR1400向けタービン・発電機設備の性能

このプロジェクトに対しても、米国ボーグル原子力発電所3、4号機向けと同様に、低圧タービンには最終段翼に52インチ(132 cm)翼を採用するなど、性能向上策を適用しており、発電機には大容量1,690 MVAの水冷却機を採用している。商業運転開始済みの号機において、当社タービン・発電機の性能は計画値を上回っており、UAEが掲げる2050年までの温室効果ガスの排出量ネットゼロ目標に大きく貢献している。

4.3 運転・保守サービス

当社は、バラカ原子力発電所の運転・保守を担当するNawah エナジー社と運転・保守サービスに関する包括契約を締結し、必要な部品供給を開始、効率的定期検査遂行へのサポートを通じて安定運転に貢献していく。

5. 海外原子力運転・保守サービス

図1に示すとおり、海外のBWR及びPWR運転プラントに対しても、国内で培った技術サービス(保全技術や機器更新技術など)を展開している。具体的には、フランス電力公社(EDF: Électricité de France)で実施した振動を低減する巻き線技術であるインタースペース技術を適用した発電機固定子の巻き替え工事(図5)や、発電機回転子の巻き替え工事、原子炉の炉内構造物リプレース向け機器供給



図4. バラカ原子力発電所

電気出力1,400 MW級の4基のAPR1400で、STGを納入した。
Barakah Nuclear Energy Plant, United Arab Emirates (UAE)

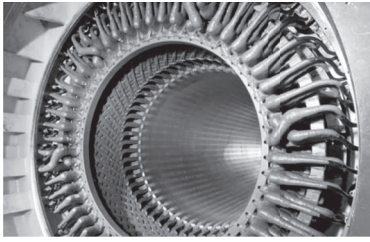


図5. EDFの発電機固定子の巻き替え工事

振動を低減する巻き線技術であるインタースペース技術を適用した。
Generator stator rewind for nuclear power plant of Électricité de France (EDF)



図6. タービン発電機用薄型検査ロボット

当社で開発した薄型検査ロボットは、回転子の引き抜き工程が不要で、工期短縮の効果がある。
Ultrathin inspection robot for turbine generators

サービス、炉底溶接部残留応力除去(レーザーピーニング)サービスなどである。

また、当社が2018年に開発したタービン発電機用薄型検査ロボット(図6)は、一部の海外原子力発電所で検査サービスを開始しており、発電機の回転子が固定子内にある状態のまま、狭いギャップを走行して内部の詳細な検査を行えるため、回転子の引き抜き工程が不要で、工期短縮の効果がある。

海外ではプラント寿命の再延長がトレンドともなっており、原子力発電プラントの安定運転に寄与する技術開発を今後も継続していく。

6. 海外原子力の今後の展開

世界ではエネルギー安全保障の確保とカーボンニュートラルを同時解決する有力手段の一つとして、原子力を位置付ける動きが顕著となっている。欧州諸国では、“EUタクソノミー”としてサステナブル経済活動に原子力発電を位置付け、2050年のカーボンニュートラル実現とエネルギー安定供給を目指すこととしている。既に、過度な化石燃料依存からの脱却に向けて、建設実績のあるAP1000, APR1400, EPRなどの大型軽水炉や、主に米・英・仏で開発中の小型モジュール原子炉(SMR: Small Modular Reactor)、非軽水炉の革新炉など多数の建設を表明している。北米においては、運転プラント寿命の再延長の許認可や、2基の

大型軽水炉AP1000の建設が行われており、初号機は試運転段階である。更にSMRや革新炉の開発も活発である。

こういった世界の原子力発電プラントの需要に対し、前述した米国やUAEでの最近の建設経験や、各種運転・保守サービスの経験に基づき、引き続き当社技術を展開していくとともに、新しいSMRのSTGに対しては、当社火力発電など向けSTGの豊富な知見と経験も活用した取り組みを行っていく。これにより、世界の小型から大型原子力発電プラントといった複数のタイプの多様なプラント需要に向け対応を行っていく。

7. あとがき

当社は、国内のBWR技術で長年にわたる建設、運転・保守サービスの実績を持つとともに、海外では大型機器であるタービン・発電機をはじめ、BWR及びPWR向けに豊富な機器供給実績と運転・保守サービスの経験を持つ。世界では、エネルギー安全保障の確保とカーボンニュートラルを両立できる手段として、小型炉から大型炉までの多様な原子力発電の建設需要がある。当社は、継続して信頼性の高い機器と運転・保守サービスを供給することで、世界に貢献していく。

文 献

- (1) 畠澤 守, ほか, ABWRの国内外への展開, 東芝レビュー, 2010, 65, 12, p.13-17.
- (2) 日本原子力産業協会 情報コミュニケーション部, 世界の最近の原子力発電所の運転・建設・廃止動向, 2023年3月13日版, 日本原子力産業協会, 2023, 1p.



山崎 之崇 YAMAZAKI Yukitaka, Ph.D.
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 パワーシステム・プロジェクト部
博士(工学) 日本原子力学会・日本機械学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



山本 雄司 YAMAMOTO Yuji
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 パワーシステム・プロジェクト部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



北川 大二郎 KITAGAWA Daijiro
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 パワーシステム・プロジェクト部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



有馬 由紀 ARIMA Yuki
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.