

米国ボーグル原子力発電所3号機の営業運転開始



Photo © Georgia Power Company. All rights reserved.

ボーグル原子力発電所3, 4号機
Vogtle Nuclear Power Plant Units 3 and 4, U.S.A

項目	仕様
蒸気タービン	タンデムコンパウンド6フロー 52インチ最終段翼, 1,800 rpm
タービン発電機	三相同期発電機 1,389 MVA, 力率0.9, 1,800 rpm 固定子：水冷却, 回転子：水素冷却 励磁装置：サイリスター励磁方式
復水器	3胴複圧式, チタン冷却管
給水加熱器	7段(脱気器含む)
湿分分離加熱器	2段再熱

主な供給機器の仕様
Specifications of major equipment



(a) 高圧タービンローター



(b) 低圧タービンローター



(c) 発電機

主な供給機器
Major equipment

2023年7月、米国ジョージア州にて、サザンニュークリア社のボーグル原子力発電所3号機（電気出力1,200 MW級AP1000）が営業運転を開始した。当社はこの発電所3, 4号機向けに、蒸気タービンや、タービン発電機（励磁装置を含む）、復水器、湿分分離加熱器などの主要機器の、納入・据付指導・試運転支援を行った。

原子力発電は、エネルギー安全保障とカーボンニュートラルを両立させる手段の一つとして世界的に期待されている。米国ではこのボーグル3号機が、実に30年ぶりの新設原子力発電プラントであり、当社は機器供給を通じてプロジェクトの価値向上に寄与した。

プラントの高出力化への取り組みとして、蒸気タービンには60 Hz用として世界最大級となる52インチ（132 cm）最終段翼のほか、3次元翼設計、損失低減など最新の高性能技術を適用した。また、復水器の冷却管配列を最適化し、冷却性能を向上した。また、建設コスト低減への取り組みとして、復水器と一体化した蒸気タービンとその基礎台全体を、スプリングで支持する構成を採用することで、建屋に掛かる荷重を軽減し、建築物の量を大幅に低減した。

機器の据付指導と試運転支援への取り組みでは、機器・運用に精通した熟練の指導員を現地へ派遣するとともに、エンジニアも駐在させ、日米間で連携して各種試験や運用上の課題に即応する体制を敷いた。効果的な指導、課題解決、及び試運転を通じ、タービン・発電機の安定な運転や、振動抑制など、高い信頼性を実現したことが顧客から評価された。

当社は、引き続き4号機の試運転を支援していくとともに、営業運転においても、優れた点検・保守方法の提案や、速やかな補修対応、部品のタイムリーな供給などのサービス業務を通じて、プラントの安定運転に尽力していく。

今後も世界の原子力発電所に高品質、高信頼性、高性能の機器を供給することで、カーボンニュートラルの実現、及びエネルギーの安全・安定供給に貢献していく。

関係論文：東芝レビュー. 2023, 78, 3, p.31-34.

東芝エネルギーシステムズ(株)

再処理工場への新規制基準工事を完遂



廃ガス貯留設備（工事中）
Active vessel off-gas treatment units under construction



廃ガス貯留設備（工事完了後）
Completed active vessel off-gas treatment units

福島第一原子力発電所の事故後、原子炉等規制法が改正されたことを受けて、日本原燃（株）六ヶ所再処理工場の新規制基準対応工事を2016年から実施し、2023年5月に完工した。

新規制基準に適合するために、主に次の工事を行った。火災防護対策として、延焼拡大防止の観点から、耐火シール、防火ダンパー、火災検知器、及び消火設備を追加設置した。溢水（いっすい）防護対策として、溢水源となる系統に遮断弁を設置し、エリアごとの没水高さに応じて貫通部へのシール工事などを行った。耐震性は、新規制基準用に策定された地震動に対する耐震評価を行い、結果に応じて補強工事を実施した。重大事故対策として、設計上の想定を超える事象で安全機能が喪失した場合に備え、臨界事故の検知器、臨界を止める薬剤の自動注入設備、及び放射性物質を含む気体を滞留させるための廃ガス貯留設備を設置した。

この工事は設計と工事が同時進行し、更に当社を含む複数の工事会社による複数工事が同時期・同エリアの狭隘（きょうあい）部で行われたため、作業や設備の干渉が多々発生した。また、作業員確保や増員が難しく、原子力施設・建設工事未経験者が多いことで、工事遅れにつながった。

工事スケジュールを改善するために、設計やプロジェクトの担当者も現地に常駐し、現場干渉などの懸案事項の即時解消に努めた。また、電気計装工事の工事範囲が多かったことから、機械配管工事業者でも対応できる作業を拡大調整し、人員を有効活用した。請負会社ごとの工事遅れの度合いに応じて、別の請負会社に作業をシフトし、請負会社間の図面、機材、取り扱いなどを、設計・プロジェクト・現場の関係者全員で調整した。請負会社の垣根を越えたフレキシブルな協力により、工事の遅れを最小化し、完工した。

今後、新規制基準対応工事の追加工事及び認可後工事を控えている。新規制基準工事を通して得た教訓・対策をしっかりと浸透させて、追加工事・認可後工事を確実に進め、再処理工場完工に向けて、東芝グループ一丸となって貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

中国電力(株)島根原子力発電所 予備変圧器用OPC自動検知装置新設工事完遂



OPC自動検知装置
Automatic open-phase condition (OPC) detection device

当社は、外部電源に接続する架線のうち、1相が開放する故障(OPC: Open Phase Condition)の自動検知装置を開発し、2023年2月に中国電力(株)島根原子力発電所への新設工事を完遂した。

OPCは、米国原子力発電所で発生した事象で、国内では新規規制基準^(注)で検知機能装備が要求されているが、更なる検知性の向上を目的に、OPC自動検知装置を開発した。

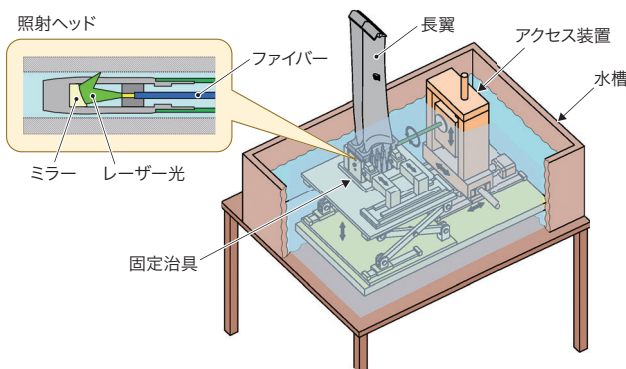
OPC検知にあたり、既存の保護継電器などでは、微小電流の有無を検出するために専用の変流器(CT)の追設工事が必要であった。微小電流検出も可能なアナログ-デジタル変換器を開発・適用することで、専用CTを追設しなくても、既設のCTを用いた微小電流の検出を可能にした。

既設設備の活用が可能なこのOPC自動検知装置を導入することで、工事物量とコストの低減を実現し、発電所の安全性向上に貢献していく。

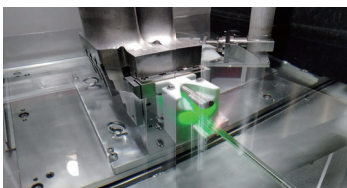
(注)「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第33条(保安電源設備)。

東芝エネルギーシステムズ(株)

東京電力ホールディングス(株)柏崎刈羽原子力発電所第6, 7号機 低圧タービン長翼植え込み部へのレーザーピーニング技術の検証試験完了



低圧タービン長翼植え込み部ピン穴向けレーザーピーニング設備
Laser peening device for finger-type dovetails of low-pressure steam turbine blade



レーザーピーニング施工状況
Laser peening

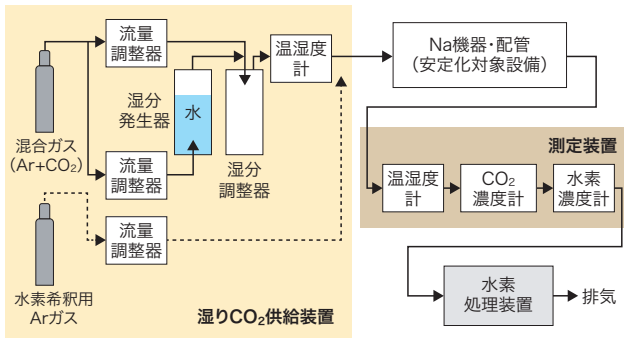
東京電力ホールディングス(株)柏崎刈羽原子力発電所第6, 7号機の他社製低圧タービンの長翼植え込み部で、2008年に損傷が確認された。この事象は、低負荷運転時や負荷遮断時に、翼を通過する蒸気の流れが乱れることで翼に振動が発生し、高サイクル疲労で損傷したものと推定された。この事象への対策を行ったタービンへの更新が、計画されている。材料強度を改善するため、従来、翼植え込み部にショットピーニングを適用してきたが、長翼をピンで固定する翼植え込み部のピン穴は狭隘部のため施工が困難であり、ピーニングを施工できなかった。

そこで当社は、長翼植え込み部ピン穴向けレーザーピーニング技術を開発して実用化した。今回更新タービンの長翼植え込み部にこのレーザーピーニング技術を適用し、疲労強度向上効果の確認のため残留応力測定及び疲労試験を実施して、レーザーピーニング未施工材に比べて1.3倍の疲労限度の向上効果があることを検証した。

現在、更新タービンの長翼植え込み部へのレーザーピーニングを実施している。

東芝エネルギーシステムズ(株)

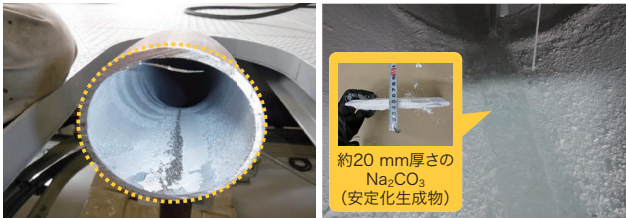
■ 高速炉廃止措置に資するナトリウム安定化処理技術



Ar: アルゴン

Na 安定化処理装置の概要

Overview of carbonation treatment equipment



配管径(内径80 mm)

タンク内(内径1.6 m)

安定化後の配管及びタンクの内部状態

Internal states of piping and tank after carbonation treatment

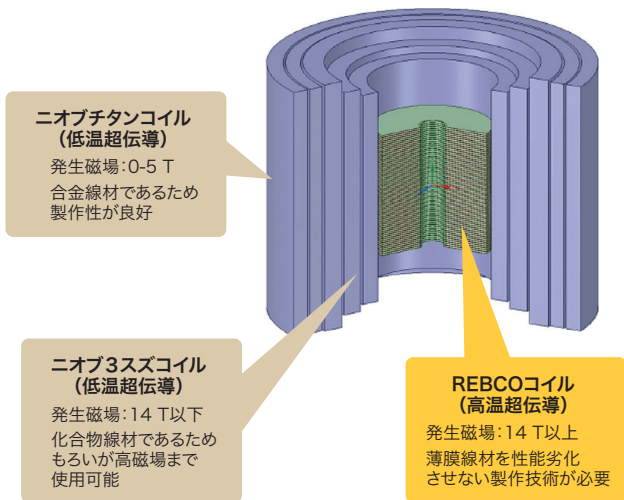
解体前の高速炉の機器・配管内部には、冷却材に使用されたナトリウム(Na)が付着・残留している。Naは空気と反応して燃焼することから、従来、機器・配管の切断などは不活性ガス雰囲気でのプラバグ中に行っているが、工事期間の長期化などの懸念がある。機器・配管を安全に短期間で解体するため、空気とNaの反応を抑制する安定化技術は重要である。

当社は、当社保有のNaループ試験設備の解体に合わせて、炭酸塩化法によるNa安定化処理技術を開発した。安定化手法の一つである炭酸塩化法は、Naに湿分を含む二酸化炭素(CO₂)を接触させて化学的に安定な炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)塩に転換するものである。安定化処理装置は、湿りCO₂供給装置や、安定化により発生する水素を処理する水素処理装置などで構成される。安定化処理装置を運用し、機器・配管の残留Naの表面層又は全層を安定化させ、その後の解体作業を安全に短期間で完了した。

今後、ここで得た経験・知見を、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構の高速増殖原型炉もんじゅで計画されているNa機器・配管の解体などへ活用していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 33 T 無冷媒超伝導磁石



33T-CSMの超伝導コイルの構成

Configuration of coils for 33T cryogen-free superconducting magnet

当社はこれまで、国立大学法人 東北大学と液体ヘリウムを使わない無冷媒高磁場磁石の開発を行っており、現在、無冷媒磁石として、世界最高磁場^(注)を達成する33 T無冷媒超伝導磁石(33T-CSM)を開発している。

33T-CSMは、効率良く高磁場を発生させるために、3種類の超伝導コイルで構成される。2015年に開発した25 T無冷媒超伝導磁石は最内挿の高温超伝導コイルに、製造性に優れたビスマス系線材を採用したが、今回は強度と高磁場中の通電特性がより優れたREBCO線材(希土類系超伝導線材)を採用する。

REBCO線材は金属基板に超伝導材料を成膜した構造のため、超伝導薄膜の剥離方向の力に対し劣化しやすい性質がある。そのため、製作から磁場発生までの全過程で過剰な剥離力を加えないものづくりをする必要がある。33T-CSMでは、コイル巻線内での剥離力を緩和するターン間離型を採用することで、問題を解決する。

これらREBCO線材の剥離対策を含め、これまでの技術蓄積を結集し、無冷媒磁石として世界最高磁場の達成を目指す。

(注) 2022年3月現在、当社調べ。

東芝エネルギーシステムズ(株)