

エネルギーシステム

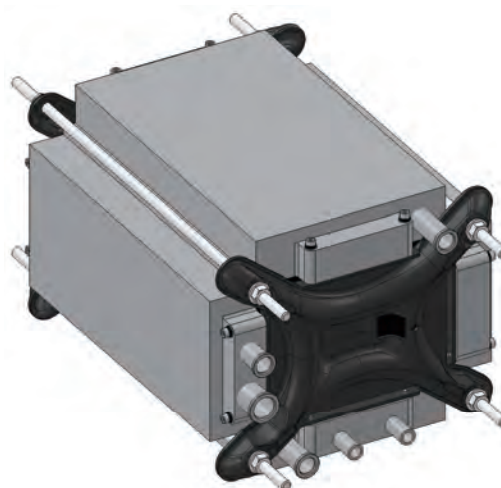
Energy Systems

私たちの生活に欠かせない電気を、環境に配慮しながら、安全かつ安定に供給することが求められています。東芝グループは、発電所の高効率化や安全性向上の取り組みに加え、水素の利活用拡大や、再生可能エネルギーの導入に応じて電力システムの安定化に寄与するシステム、更には電力設備のデジタル化を実現するプラットフォームなどを開発し、社会の要請に応えています。また、液体ヘリウムを用いない冷凍機冷却超電導磁石は、様々な分野に応用できる技術として、注目されています。

燃料電池システムの海外市場開拓を開始



中国広州市の5G通信基地局
Base station for fifth-generation (5G) mobile communications in Guangzhou, China



5 kW 燃料電池の概要
Outline of 5 kW fuel cell

中国では、より環境に優しいエネルギーシステムへの転換と、電力系統の脆弱（ぜいじゃく）な地域への電源供給の観点から、水素の利活用に対する市場が立ち上がりつつある。当社は、メタノールを燃料とする燃料電池システム事業を展開している More Hydrogen Energy 社（以下、MOH 社と略記）と技術提携し、今後急速に拡大が進む 5G（第 5 世代移動通信システム）基地局等向け電源、及び住宅用コジェネレーション向け燃料電池システムの市場開拓を開始した。

MOH 社のメタノール関連技術と、当社の燃料電池技術を組み合わせることで、急速に成長している中国市場に向けた製品を提供していく。メタノールは、様々なエネルギー源から製造でき、輸送・貯蔵性にも優れている。中国が保有している大量の石炭資源をメタノール化して有効活用するビジョンは、中国の環境問題の解決に貢献するとともに、燃料電池システムによる電源供給としてもコスト競争力を持つ。

そこで、広州市のスタートアップ企業でありメタノール改質技術を活用した燃料電池システムを開発している MOH 社と、2019 年 10 月に技術提携契約を締結し、中国市場での製品展開に向けて高品質かつ長寿命な燃料電池システムの開発を進めていくこととした。

技術提携による開発を進めるにあたっては、まず、システムに要求される性能とコストを満足する 5 kW 級の燃料電池を開発した。そして、試作した燃料電池を 2019 年 7 月に MOH 社に納入し、MOH 社でシステム搭載試験を実施して要求仕様を満足することを確認した。また、量産設計も進め、要求コストを満足する見通しを得た。中国の巨大市場へ競合各社の参入が進んでいるが、当社技術の優位性が確認された。

急速に拡大している通信機器・通信サービス市場、特に電力系統が脆弱な地域への 5G 基地局向け分散型電源としての需要が見込まれており、市場開拓を加速させていく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 次世代 100 kW 級純水素燃料電池システム H2Rex™



次世代 100 kW 級 H2Rex™
Next-generation 100 kW H2Rex™ pure hydrogen fuel cell system for
Azuma Sports Park, Fukushima

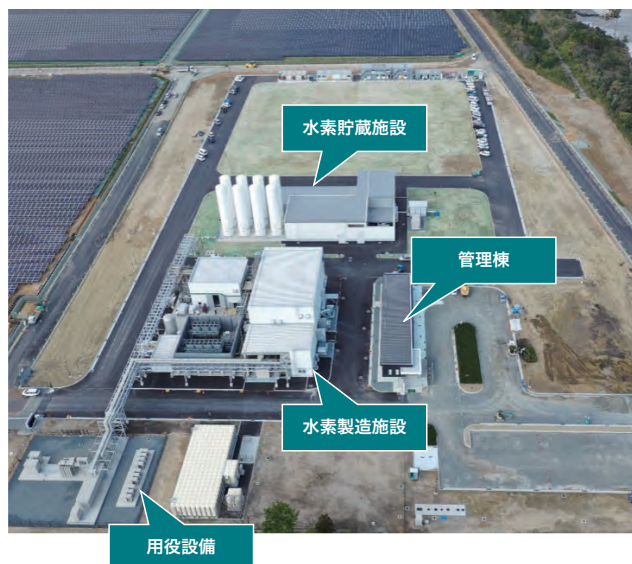
従来モデルの 100 kW 級純水素燃料電池システム H2Rex™ の効率（定格発電効率 $\geq 50\%$ ）や寿命（10 年間）などは維持しつつ、大幅な小型化を実現した次世代 100 kW 級 H2Rex™ を開発した。今回、より効率的な機器配置や、配管ルート最適化、外装パネルの簡素化などを行うことで、メンテナンススペースを含む設置スペースを 28.1 m² から 14.5 m² に約 50 % 削減した。また、この次世代システムは、設備容量を 100 kW 単位で増減可能なモジュール構成としており、顧客の需要規模や用途に合わせて MW 級容量まで拡張できる。

この次世代システムを、あづま総合運動公園設置用として福島県から受注し、2020 年 4 月に運転を開始する予定である。福島水素エネルギー研究フィールドで製造した水素を用いて発電を行い、発電した電力は同公園内のあづま総合体育館の照明や空調に、発生する熱は給湯に、それぞれ利用される。また、外装パネルは体育館の景観に合わせた色を使用している。

今後も H2Rex™ では、更なるコンパクト化やモジュール化を進めるとともに、MW 級システムの開発も行っていく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 再生可能エネルギーを利用した大規模水素エネルギーシステムの試運転を開始



福島水素エネルギー研究フィールドの全景
Overall view of Fukushima Hydrogen Energy Research Field

太陽光発電を利用してクリーンな水素の製造を可能とする、10 MW の水電解装置を備えた水素エネルギーシステム（福島水素エネルギー研究フィールド）の建設が完了し、2019 年 10 月から試運転を開始した。次の二つの特長を持つ制御システムを開発し、現在、性能確認を進めている。

- (1) 水素需要と電力系統需給バランス調整の二つの要求を満たし、かつコスト最小のプラント運転計画を最適化手法により求める。
- (2) (1) の運転計画を実現するために、水電解装置と太陽光発電用パワーコンディショナーを協調させて制御する。

実証運用は 2020 年 7 月から開始する予定であり、水素製造・貯蔵による電力系統需給バランス調整とクリーンな水素の製造を両立させる基礎技術の確立を目指す。

この事業は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「水素社会構築技術開発事業／水素エネルギーシステム技術開発」の一環として実施している。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 海外初のH2One™導入と更なる海外展開



＊写真は、現地試運転完了時点のもの

SP Group施設に設置されたH2One™

H2One™ autonomous hydrogen energy supply system installed at SP Group site, Singapore

シンガポールで電気・ガスの送配電事業を運営するSP Groupに納入されたH2One™が、2019年10月から運転を開始した。このH2One™は、SP Groupの研究施設において再生可能エネルギーを含むマイクログリッドに連系され、シンガポールにおける特定地域の需給バランスを調整する手段や、再生可能エネルギー導入に伴う課題を解決する手段として、水素による都市型エネルギーストレージシステム構築の可能性を研究するために使用される。

更に、東南アジアでは、H2One™を離島における自立型水素エネルギー供給システムとして活用する計画があり、2019年度のNEDOの「民間主導による低炭素技術普及促進事業／低炭素技術による市場創出促進事業（実証前調査）」において、当社の技術実証事業が採択された。今回のシンガポールへの導入実績を基に、東南アジア諸国との連携を深め、現地企業とのパートナーシップの構築と事業化に向けた検討を加速させていく。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、5、p.54-58。

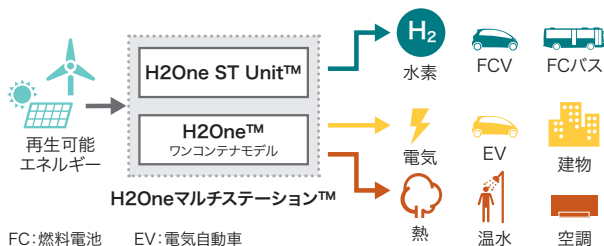
東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 再生可能エネルギー由来の水素インフラシステム構築に向けた水素ステーションH2One ST Unit™が敦賀市に完成



H2One ST Unit™

H2One ST Unit to fill fuel cell vehicles (FCVs) with hydrogen



再生可能エネルギー由来の水素インフラシステムの構成

Configuration of hydrogen-based infrastructure system using renewable energy

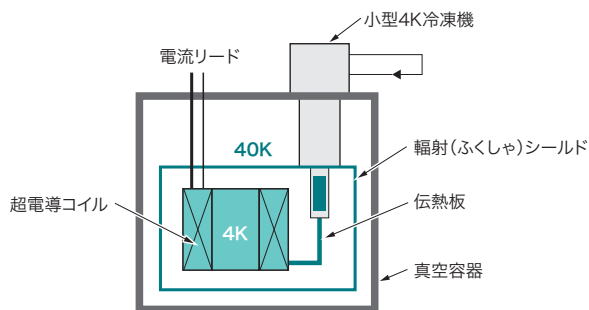
経済産業省の「エネルギー構造高度化・転換理解促進事業」として、2018年度から3年計画で「再エネ由来の水素インフラ」の技術開発事業を福井県敦賀市で進めている。この水素インフラシステムは、水電解、水素蓄圧、FCV（燃料電池自動車）用水素充填設備をパッケージ化した“H2One ST Unit™”コンテナと、水素貯蔵、燃料電池発電装置をパッケージ化した“H2One™”コンテナから構成される。2019年度は、H2One ST Unit™の開発完了と、その実証運転開始が目標であった。

今回、2019年12月にH2One ST Unit™が完成し、目標仕様である再生可能エネルギー由来の水素だけでFCV8台^(注1)を運用可能な水素供給能力2 Nm³^(注2)/hと、商用ステーション並みの充填時間最短3分を確認するとともに、実証運転を開始した。今後、FCV運用データを取得・分析し、再生可能エネルギー由来のクリーンな水素エネルギーの有用性と、利活用普及のための実用性を検証していく。

(注1) 国土交通省「自動車燃料消費量統計年報」の国内自動車平均走行距離から算出。
(注2) Nm³は0℃、乾燥状態(湿度0%)、1気圧の状態に換算した体積。

東芝エネルギーシステムズ(株)

液体ヘリウムを用いない超電導磁石の応用範囲拡大



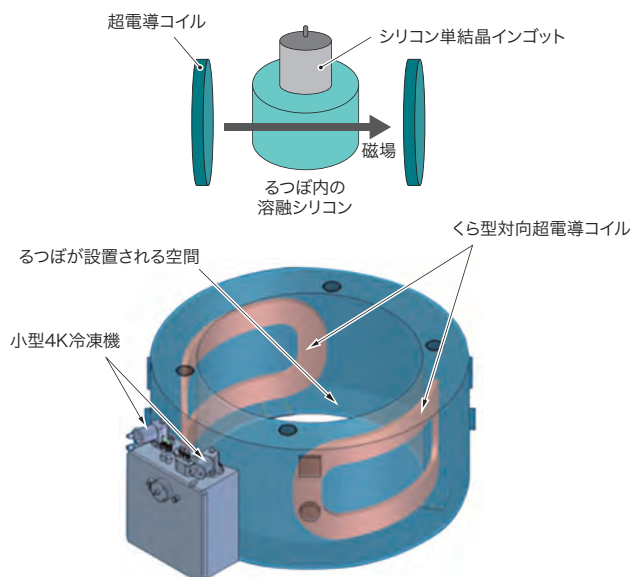
冷凍機冷却超電導磁石の構成

Configuration of liquid helium-free superconducting magnet using compact 4 K cryocooler



3次元巻き線機で製作した高精度湾曲くら型コイル

High-precision curved, saddle-shaped coil fabricated using three-dimensional winding technology



最新型シリコン単結晶引き上げ装置用超電導磁石

Superconducting magnet for silicon single-crystal pullers

超電導磁石は、超電導線材が絶対温度 5 K (−268 °C) 程度の極低温で電気抵抗がゼロになる特性を利用して、銅線材を用いた常電導磁石では得られない高い磁場を作れるので、様々な分野で応用されている。従来、超電導磁石の冷却には希少資源のヘリウムを 4.2 K の液体の状態 で用いてきたが、高価である上に、取り扱いに専門的な知識・技術が必要だった。これに対し、当社は、1980 年代から液体ヘリウムを用いず、取り扱いが容易で運転経費の削減にもつながる冷凍機冷却超電導磁石の開発を進め、1990 年代に世界に先駆けて製品化して超電導磁石の普及に貢献してきた。

更に、磁場分布や磁場強度などに関するユーザーの様々な要望に応えるため、独自の 3 次元自動巻き線技術も開発した。コイル設計データから巻き線機の数値制御データを自動的に作成し、これまででない複雑な形状のコイルも製作できる。

2019 年には、これらの技術を融合した、重粒子線がん治療装置用及びシリコン単結晶引き上げ装置用の革新的な超電導磁石を、国内外に向けて多数出荷した。これらの磁石は、冷凍機のスイッチを入れるだけで使用でき、また、3 次元形状のコイルを、必要な空間を取り囲むように近接して配置しているので、コンパクトで外部への漏れ磁場も少ない。

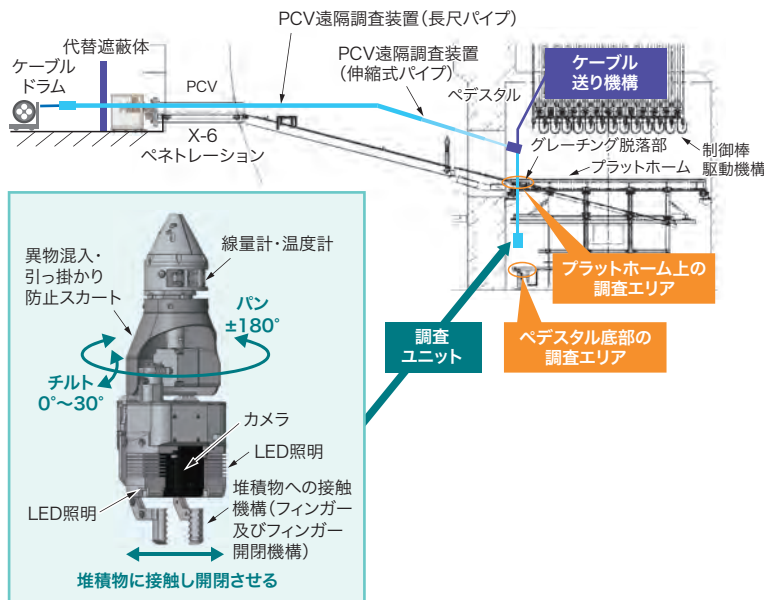
更に、将来を見据え、より高磁場で省エネを実現できる高温超電導磁石の実用化開発も加速しており、研究レベルを超えた実規模コイルを複数製作し、安定した品質を確認した。また、これまで困難であったクエンチ^(注)時のコイル保護を実現する技術も開発した。

超電導磁石は、今後、その応用範囲をますます広げていくと予想される。当社は、その普及に向けて、取り扱いが容易で環境に優しい超電導磁石の開発を継続していく。

(注) 超電導体が常電導に移る現象。

東芝エネルギーシステムズ(株)

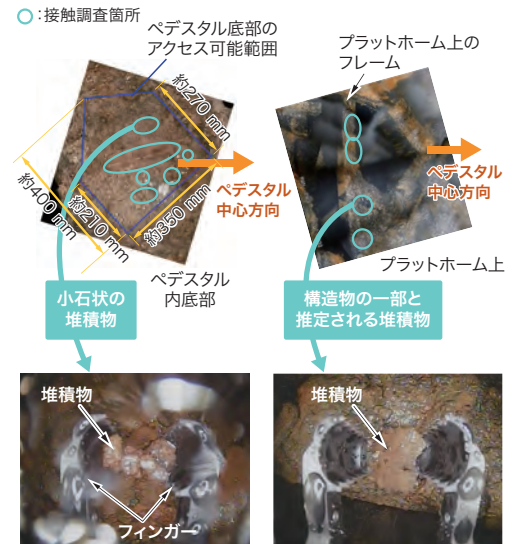
福島第一原子力発電所2号機で燃料デブリの可能性ある 堆積物への接触に成功



LED:発光ダイオード

接触調査エリアと調査ユニット

Survey area and observation device for accessing bottom of primary containment vessel (PCV) pedestal of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2



東京電力ホールディングス(株)
「廃炉・汚染水対策チーム会合 第63回事務局会議 資料3-3」を基に作成

ベデスタル底部及びプラットホーム上の堆積物の接触調査結果

Results of investigation of deposits at bottom of pedestal and on platform

東京電力ホールディングス(株)の福島第一原子力発電所2号機において、原子炉格納容器(PCV)内の堆積物に接触してその性状を確認できるPCV内部遠隔調査装置を開発し、2019年2月に一部の堆積物を動かせることを映像で確認した。

2号機は、先行調査で、PCVのベデスタル^(注1)内底部に堆積物が分布していることが映像で確認されており、事故で溶融した燃料である燃料デブリが存在する可能性がある。したがって、これらの堆積物を動かせるかどうかを確認する接触調査の結果は、燃料デブリの取り出し方法の検討に役立てられる。

ベデスタル内底部へのアクセスは、PCV貫通孔であるX-6ペネトレーションのハッチに設けられた直径約10cmの穿孔(せんこう)貫通部から約10m先のベデスタル内部へ進入させた後、更に約2~3m下の底部まで到達させる必要がある。そこで、先行調査で実績のある、パイプを用いた方法を採用した。また、接触調査そのものを行う調査ユニットは、パイプ内に納めるための小型化と、堆積物と接触するのに十分な可動域の確保を両立させる必要がある。これについては、これまでの調査経験で積み上げた技術を活用し、二つのフィンガーの開閉で堆積物を挟む機構(フィンガー開閉機構)を実現した。

現地では、ベデスタル底部の6か所と、プラットホーム^(注2)のフレーム上の4か所にアクセスし、接触調査を行った。その結果、小石状の堆積物や構造物の一部と推定される堆積物は、“フィンガーで把持して持ち上げる”動作で持ち上げられることを確認し、燃料デブリ取り出しに資する情報を得た。

(注1) 原子炉圧力容器を支持する円筒状コンクリート製構造物。

(注2) ベデスタル内にある作業用足場。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、6、p.63-66。

■ 増設 SARRY™ II 運用開始



SARRY™ II を構成するろ過フィルターと吸着塔

Two filtration filters and four adsorption towers of SARRY™ II (Simplified Active Water Retrieval and Recovery System II) at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station

2011年に東京電力ホールディングス(株)の福島第一原子力発電所に納入した第二セシウム吸着装置 SARRY™ は、最終処理設備である2基の多核種除去設備 MRRS™ とともに、建屋内滞留水100万トンの処理に貢献してきた。廃炉に向けた中長期ロードマップで定められた2020年内の処理完了を目指して作業を加速するために、第三セシウム吸着装置 SARRY™ II を増設し、2019年7月に運用を開始した。

SARRY™ II は、高濃度汚染水(建屋内滞留水)からセシウム及びストロンチウムを除去するための装置である。ろ過フィルター2基と吸着塔4基で構成し、廃棄物発生量の低減を目的として、新規開発した吸着材を導入した。

当社は、今後も更なる技術開発を進め、福島第一原子力発電所の廃炉に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 福島第一原子力発電所3号機の燃料取り出し開始に向けたウエアラブルカメラシステム



燃料取扱機

Fuel handling machine (FHM) installed at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 3



ウエアラブルカメラシステムによるクレーンブレーキの確認

Remote visual inspection of crane brake by means of wearable camera system

福島第一原子力発電所3号機の使用済み燃料プールからの燃料取り出し開始に向けて、燃料取り出し設備の据え付けが進められている。現場環境が高線量・高汚染であることから、作業時は全面マスクなどの装備を着用する必要がある。また、管理区域内であることから、入域時間の制限(10時間/日)がある。このため、設計者が現場で確認や調査を行う場合、現場までの移動に時間を要し、結果の報告や必要な処置に関する検討の時間が不足することや、再確認が必要となった場合は入域時間の制限から翌日になることが問題であった。

そこで、設計者が管理区域外である事務所で現場状況を確認できる、ウエアラブルカメラシステムを採用した。これにより、設計者は、環境の整った事務所で図面類を確認しながら、作業者が装着したウエアラブルカメラを通して現場状況を把握でき、現場への指示をタイムリーに行うことで、後戻り作業の低減が可能となった。

このシステムは、大型クレーンによる燃料取扱機の設置作業で、現場確認用として活躍した。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 東北電力（株）女川原子力発電所2号機での空間管理設計を活用したFCVS現地工事



FCVSの配置シミュレーション

Layout planning of built-in filtered containment venting system (FCVS) in reactor building of Onagawa Nuclear Power Station Unit 2



設置後のFCVS

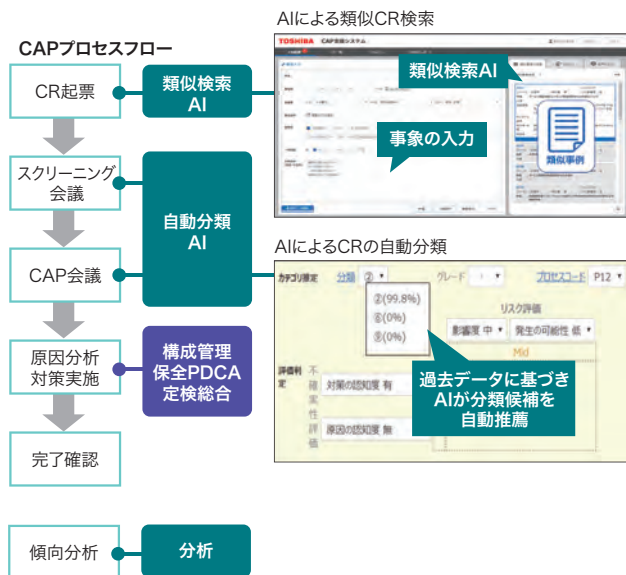
FCVS after installation

原子力発電所の安全対策として、事故時に原子炉格納容器の破損を防ぐ原子炉格納容器フィルターベント(FCVS)系の導入が進められている。女川原子力発電所2号機では、原子炉建屋内に、直径2.6 m、高さ6 mのフィルター装置3基を新規に設置した。設置スペースは狭いため、装置の設置では、周囲と最小で数mmのクリアランスしかなく、周辺機器との干渉防止のために精度の高い作業が必要であった。

そこで、装置の搬入、立て起こし、据え付けの各手順の検討に、3次元CADを用いたシミュレーションを行い、装置の動きと周辺機器とのクリアランスをステップごとにチェックしながら工事手順を確認した。抽出した各課題については、実作業を行う現場工事担当者との調整を繰り返し、最終的に全ての課題を解決した上で作業に臨むことができた。この結果、フィルター装置3基とその架台の設置で、安全で効率的な作業を実現し、工事全体の工程短縮にも大きな役割を果たした。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 原子力事業者の安全性と信頼性に資する情報管理



PDCA: Plan-Do-Check-Act

CAPフローと運用支援

Flow of corrective action program (CAP) processes and operational support system using artificial intelligence (AI)

東日本大震災以降の原子力規制の見直しによって、米国で発展してきた改善処置活動(CAP: Corrective Action Program)への取り組みが我が国でも始まっている。これは、原子力安全に影響を及ぼすおそれのある情報(CR: Condition Report)を幅広く収集・分析し、改善につなげるものである。

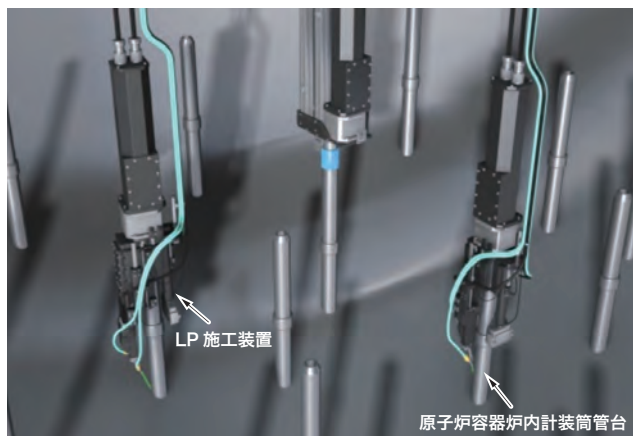
事業者は、収集したCRの内容を確認し、重要度に応じた分類コードを付与して処置内容を検討するが、取り扱うCRが膨大で、CAP運用の負荷増大が問題となっている。そこで、以下のような、AIを活用したCAP運用支援システムを開発した。

- (1) 類似検索AI CRの特徴を解析して類似CRを検索
- (2) 自動分類AI CRに付与する分類コードを推定

これにより、CR情報に対する類似事例の抽出と、分類コードや重要度の自動推定ができ、CAP運用の効率化が図れる。また、検索・分類機能だけでなく、CRの傾向分析や事象発生場所の視覚化機能も備えており、従来にないCAP運用の高度化で、原子力の安全性・信頼性向上に寄与する。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 米国アーカンソー ニュークリアワン原子力発電所1号機でのレーザーピーニングによる炉内保全工事の完遂



原子炉容器炉内計装筒管台へのLP施工

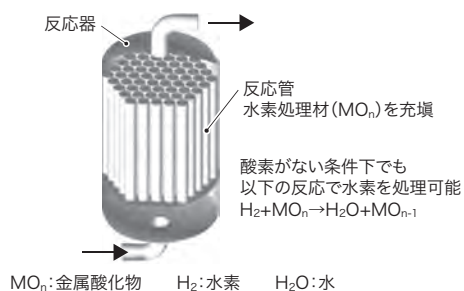
Bottom-mounted instrumentation (BMI) nozzles welded into reactor vessel bottom using laser peening (LP) to prevent occurrence and development of stress corrosion cracking (SCC)

レーザーピーニング (LP) は、材料表面に圧縮残留応力を付与することで、引っ張り残留応力が要因の一つとなる応力腐食割れ (SCC) の発生と進展を防止する保全技術であり、ほかのピーニング技術に比べ、狭隘 (きょうあい) 部への施工性に優れるなどの特長がある。当社は、国内の加圧水型軽水炉 (PWR) 及び沸騰水型軽水炉 (BWR) に対し、LPの豊富な施工実績がある。

今回、米国ウェスチングハウス社を元請けとして、原子炉容器炉内計装筒管台の溶接部に SCC の懸念がある米国エンタジー社のアーカンソー ニュークリアワン原子力発電所1号機に対し、溶接部へのLP施工工事を実施し、2019年10月に完遂した。海外での初施工にあたっては、空輸可能な新しいポータブルLPシステムを開発した。また、開発した装置により、LP装置の複数台運用による同時施工を実現した。その結果、最終的な客先要求工期より前倒しで施工を完了できた。

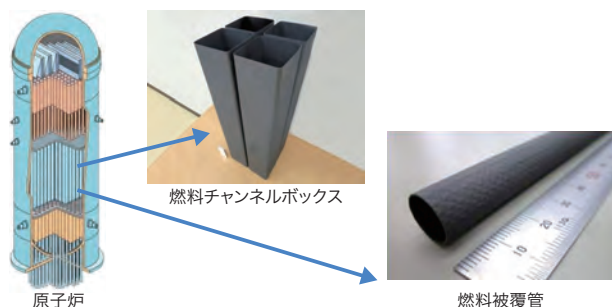
東芝エネルギーシステムズ (株)

■ 原子力発電所に対する安全性向上技術



水素処理システムの反応器の概要

Outline of hydrogen treatment system



SiC製炉心材料の試作品

Prototype fuel components fabricated with silicon carbide (SiC) composite ceramics

当社は、原子力発電所の更なる安全性向上に寄与する様々な技術を開発している。

水素処理システムは、シビアアクシデント (SA) 時に発生する水素を処理し、ほかの安全システムと併用することで格納容器ベント操作を回避できる。従来の水素処理では酸素が必要であったが、開発したシステムでは、水素処理材を使うことで酸素なしで水素を処理する。今回、この水素処理材の強度や水素処理後の粉末化率の確認試験を実施し、水素処理材として適用可能との見込みを得た。今後は、反応評価解析モデルの高度化に取り組み、早期実用化を目指す。

また、炭化ケイ素 (SiC) は、耐酸化・耐熱・中性子吸収特性に優れているため、炉心材料に適用することで、SA時の水素発生抑制に加え、耐震性や経済性の向上が期待できる。2019年度は、燃料棒の製造に必要な基礎技術開発を完了した。今後は、放射線環境下における材料特性データの取得や、実機適用に向けた量産化技術の開発を進めていく。

今後も、安全性向上など社会的要請に応えるための研究開発に取り組んでいく。

東芝エネルギーシステムズ (株)

(株)シグマパワー有明 三川発電所へのエネルギー領域向けIoTプラットフォームの適用



(株)シグマパワー有明 三川発電所
Mikawa Power Plant of SIGMA POWER Ariake Corporation



プラント性能監視の画面例
Example of plant performance monitoring display



ダッシュボードの画面例
Example of dashboard display

東芝グループは、真のCPSテクノロジー企業を目指し、東芝IoTリファレンスアーキテクチャーをベースとした、幾つかの新たなサービスを2019年度中に実用化する計画である。そこで、このアーキテクチャーに準拠したエネルギー領域向けのIoT(Internet of Things)プラットフォームを開発しており、今回、以下に示す四つのサービスについて、(株)シグマパワー有明が運営する三川発電所(福岡県大牟田市)への実機適用を完了した。

- (1) プラントの熱効率モデルを構築し、オンラインで性能監視する“プラント性能監視”
- (2) 過去のデータを基に監視モデルを構築し、致命的な障害に至る前に異常を捉える“故障予兆検知”
- (3) 様々な情報に容易にアクセス可能とし、日々のO&M(運用、保守)業務をサポートする“図面連携によるデータ管理システム”
- (4) 全ての情報をWebベースで統合・共有する“ダッシュボード”

特にプラント性能監視と故障予兆検知については、2018年度に東北電力(株)との共同研究を終え、同社の全ての火力発電所向けに適用し、現在もリアルタイムでの分析が継続されている。三川発電所でも、実運転状態監視を継続しており、通常と異なる運転や効率変化が検出されると、速やかにダッシュボード上で情報共有されるので、稼働率向上につながる事が期待されている。

実用化した四つのサービスは、互いに連携して動作し、異常の検知や、図面検索、現場巡回、予備品調査、作業依頼などが、全て一連の流れとしてダッシュボードで情報提供される。既に、水力、風力の発電所及び変電所のデジタル化にも適用しており、今後も、エネルギー領域の他分野への展開を図るとともに、情報連携をベースにした新しいプラットフォームを活用し、共創相手向けなど、様々なサービスを拡充していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

超臨界CO₂サイクル発電システムのパイロットプラントでのタービン・燃焼器の検証試験を開始



写真提供: ネットパワー社, マクダーモット社

超臨界CO₂サイクル発電システムのパイロットプラント
Supercritical carbon dioxide (CO₂) cycle demonstration power plant, U.S.A.

米国テキサス州ヒューストンにあるネットパワー社の超臨界CO₂(二酸化炭素)サイクル発電システムのパイロットプラントにおいて、当社が開発、設計、及び製作を担当したタービン・燃焼器を組み込んだ検証試験を開始した。

パイロットプラントの発電出力は、商用プラントの発電出力の約1/10で、商用プラントとほぼ同等の機器構成である。超臨界CO₂サイクル発電システムは、タービンの作動流体に超臨界CO₂を用いることで、化石燃料を利用しながらも、CO₂を大気に排出することなくほぼ100%回収できる、新しいコンセプトの環境調和型火力発電システムである。

今回の検証試験に至るまでに、材料や冷却技術などの要素技術の開発や、熱出力10 MWt^(注)の燃焼器による実圧燃焼試験、2018年には実サイズの燃焼器での燃焼試験などを行い、準備を進めてきた。今回の検証試験では、パイロットプラントの起動から着火、負荷上昇における運用性の確認とともに、数百点に及ぶ運転中の圧力や温度などの各種データの収集・分析によるタービン・燃焼器の特性評価なども進めており、2019年10月までに累計250 hの着火運転試験を実施した。

今後も、パイロットプラントでの検証試験を継続しながら、タービン・燃焼器の信頼性や耐久性などの確認を行っていく。また、パイロットプラントでの検証試験と並行して、300 MW級商用プラントのタービン・燃焼器の基本設計も進めており、今回の検証試験で得られた知見を商用プラントに反映していく。

(注) Wt(ワットサーマル)は、熱出力の単位。

関係論文: 東芝レビュー, 2019, 74, 3, p.40-43.

東芝エネルギーシステムズ(株)

湯沢地熱（株）山葵沢地熱発電所が営業運転を開始



写真提供：湯沢地熱（株）

山葵沢地熱発電所の全景

Overall view of Wasabizawa Geothermal Power Plant of Yuzawa Geothermal Power Generation Corp.

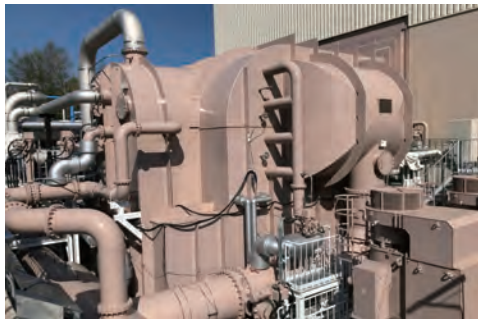
湯沢地熱（株）山葵沢地熱発電所が、2019年5月から営業運転を開始した。この発電所は、生産井から供給される二相流を汽水分離機で1次蒸気と1次熱水に分離し、1次熱水は減圧気化器で減圧沸騰させて低圧の2次蒸気を取り出す、ダブルフラッシュ方式を採用している。蒸気タービン発電機の出力46.199 MWは、設備容量ベースで国内地熱発電所の中で4番目の大きさであり、10 MWを超える大規模地熱発電所としては国内で23年振りの稼働となる。

当社は、2015年にこの案件を受注し、蒸気タービンや、発電機、2次蒸気を発生させる減圧気化器などを含む付属設備の供給と据付工事を行った。蒸気タービンは軸流排気で最終段翼に40インチ（約102 cm）のスチール翼を、発電機は容量52 MVAの空気冷却方式を、復水器は冷却水散布と伝熱促進を組み合わせたスプレー・エレメント式を採用している。発電所と麓の遠方監視室は、光ケーブルで接続され、遠方監視室からも構内監視や停止操作ができる。また、循環水ポンプ及び冷却塔ファン電動機にインバーター制御方式を採用して、四季の寒暖差が大きい発電所環境に合わせた循環水条件に制御することで発電所内の動力削減を図り、送電端出力の最大化を実現した。

地熱発電は、再生可能エネルギーの中でも、天候や昼夜といった自然環境に左右されない安定的な電源として期待されている。当社は大規模発電所向けだけでなく、10 MW以下の小型地熱発電設備の製品ラインアップも展開しており、今後も更なる再生可能エネルギーの普及に貢献していく。

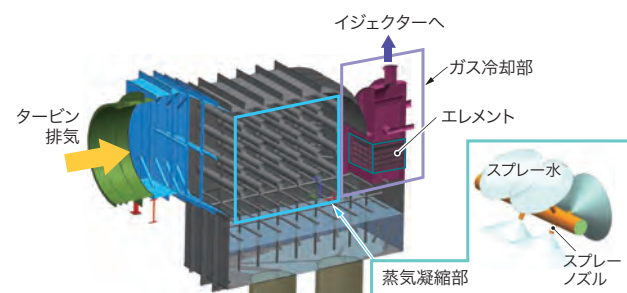
東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 地熱発電所向け新型スプレー・エレメント式復水器



山葵沢地熱発電所の復水器

Newly developed spray type direct-contact condenser for Wasabizawa Geothermal Power Plant



復水器の内部構造

Internal structure of condenser

地熱発電プラントでは、一般に、蒸気と冷却水を直接接触させる直接触式復水器が用いられてきた。

今回、蒸気冷却にスプレーノズルで微細な冷却水を散布する低圧損凝縮と、ガス冷却にエレメントの流下液膜効果を用いる伝熱促進という2種類の冷却技術を組み合わせた、独自のスプレー・エレメント式復水器を開発した。

この復水器は、湯沢地熱(株)山葵沢地熱発電所に採用され、更に、年間の発電量を最適化するため、夏冬の運転モードに応じて冷却水の流量を約20%変化させる運転切り替え機能を持たせた。この運転切り替え機能によって内部の熱交換エリアを変化させることで、発電所内の動力を抑えながらタービン排気圧を確保する効率的なプラント運転が実現できる。営業運転時には、計画どおりの高い熱交換効率が得られ、運転切り替え機能も適切に動作することを確認した。

今後も、地熱発電エネルギーを有効に活用する高効率の復水器を提供していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ マレーシア ジマイースト発電所 1, 2号機が営業運転を開始



マレーシア ジマイースト発電所の全景

Overall view of Jimah East Power Plant, Malaysia

マレーシア ジマイースト発電所(1,000 MW×2基)は、主蒸気圧力(ゲージ圧)27 MPa、主蒸気温度600℃、再熱蒸気温度610℃を採用した最新鋭の高効率石炭火力発電設備である。また、マレーシアグリッドコード試験で要求される、電力系統の急激な負荷変動にも対応できるように、タービン抽気流量を高速に制御することで、瞬時の負荷上昇/降下を可能としている。更に、デスパーヒーターを採用することで、最終給水温度を上昇させ、従来よりも高いタービン室効率を実現した。

当社は、蒸気タービン・発電機・熱交換器を含むタービンアイランド設備と、変電設備、海洋土木工事を担当し、1号機は2019年8月に、2号機は2019年12月にそれぞれ営業運転を開始した。大容量・高効率発電に加え、急激な負荷変動にも対応できる設備であり、マレーシアにおける電力供給に大きく貢献できる。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 中国電力(株)新小野田発電所2号機 工期短縮施策によるタービン更新工事を完了



高中圧タービンの工場での組み立て

High- and intermediate-pressure (HIP) turbine under assembly for Shin-Onoda Thermal Power Station Unit 2 of The Chugoku Electric Power Co., Inc.

石炭火力発電所の稼働率向上とCO₂排出量低減は、電力会社にとって重要な経営課題である。中国電力(株)新小野田発電所2号機の高中圧ケーシングは、材料劣化により水平フランジ面にひずみが認められたため、2019年度の定期点検で取り替え工事を計画していた。工事には、配管溶接や新旧部品の調整作業が伴うため、135日程度の停止期間が必要と見積もられたが、顧客からは、高稼働率で運用しているため、類似機の更新実績から50日程度短縮した定期検査期間内での更新要請があった。

そこで、先に更新工事を行った新小野田発電所1号機と同じ更新範囲にすることに加え、レーザートラッカー計測による仮組立レス工法を採用した工事期間短縮・工事費用削減や、工期短縮による稼働率向上、低反発シールを採用した性能回復による燃料費削減などを提案し、工期短縮と性能回復を両立させるタービン一式の更新工事が決定した。この更新工事は、2019年6月に完了し、停止期間を67日短縮するとともに、目標値を超える性能向上を実現した。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ フィリピン カラカ発電所1号機の高中圧タービン及び発電機の更新工事が完了



高中圧タービンの据付作業

Installation of HIP turbine at Calaca Power Station Unit 1, Philippines

フィリピン カラカ発電所1号機の高中圧タービン及び発電機一式の更新工事が、2019年5月に完了した。

火力発電サービス事業では、各機器の内部又は外部の部分更新が一般的で、今回のような機器一式という大規模な更新は少なかった。また、現地での機器交換工事も追加で受注したが、この規模の工事を海外で実施するのは約10年振りであった。

機器供給では、既設基礎を流用するなどの制約の中で、最新技術を適用した設計・製造を行った。一方、現地工事では、10年前の工事内容を調査確認するとともに、顧客・社内・関連会社との通関・輸送・搬入・据え付けなどの多岐にわたる打ち合わせを通して、綿密な計画を作成して作業を進めた。その結果、顧客要求のシャットダウンからターニング運転までの工期(150日)を、3日前倒しで完了できた。また、工事完了後の性能試験では、機器更新の前後で、定格蒸気条件時の発電出力が7.0 MW向上することを確認した。

今後も、多様な顧客ニーズに合わせた最適な選択肢を提供し、更なる電力の安定供給と低炭素社会の実現に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

米国の複数の水力発電所における発電機器の改修



ウェルズ発電所 3 台目カプラン水車ランナのつり込み
Installation of third Kaplan turbine runner at Wells Hydro Power Plant, U.S.A.



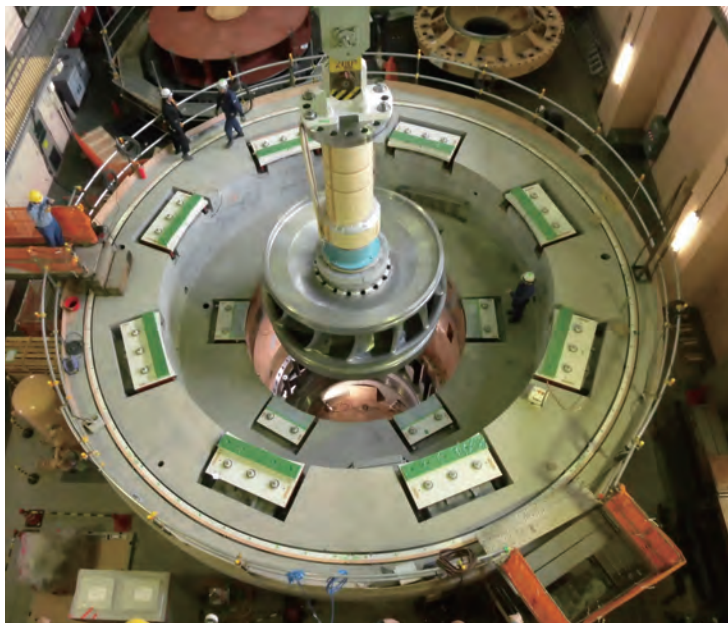
ブルームサ発電所 1 台目発電機固定子のつり込み
Installation of first generator stator at Blue Mesa Hydro Power Plant, U.S.A.

米国には1960年代から1970年代にかけて建設された水力発電所が多く、経年劣化に伴うオーバーホールに加え、運用中に発生した問題の改善や性能向上を目的とした、機器の更新を伴う近代化改修工事が活発に行われている。当社は、ラディントン揚水発電所や、ウェルズ発電所、ブルームサ発電所で、他社製の既設機器の改修工事を進めている。他社製機器の改修では、再現設計のための情報収集が不可欠であるが、書類からは得られない情報もあり、その対策として、現地調査や試験などを実施することで、改修を可能とした。これらの改修に使用される主要部品の一部は、東芝水電設備（杭州）有限公司（THPC）で製造し、米国の厳しい品質要求を満足している。

- (1) ラディントン揚水発電所 全6台のポンプ水車ランナや、発電電動機固定子、スラスト軸受けの更新などによる機器性能及び信頼性の向上を目的とした改修工事であり、2019年6月に5台目が営業運転を開始した。
 - ・ポンプ水車定格：359 MW/398 MW, 98 m/111 m, 112.5 min⁻¹
 - ・発電電動機定格：455 MVA/455 MVA, 20.0 kV, 112.5 min⁻¹, 60 Hz
- (2) ウェルズ発電所 全10台の水力発電機器のうち、9台の改修工事である。カプラン水車のオーバーホールや発電機固定子の更新などによる信頼性向上を目的とした改修工事であり、2019年5月に3台目が営業運転を開始した。
 - ・水車定格：96.9 MW, 22.9 m, 85.7 min⁻¹
 - ・発電機定格：93.7 MVA, 14.4 kV, 85.7 min⁻¹, 60 Hz
- (3) ブルームサ発電所 全2台の水力発電機器の発電機固定子と励磁装置の更新などによる信頼性向上を目的とした改修工事である。1台目は2020年の運転開始に向けて改修工事を進めている。
 - ・発電機定格：48.0 MVA, 11.5 kV, 200 min⁻¹, 60 Hz

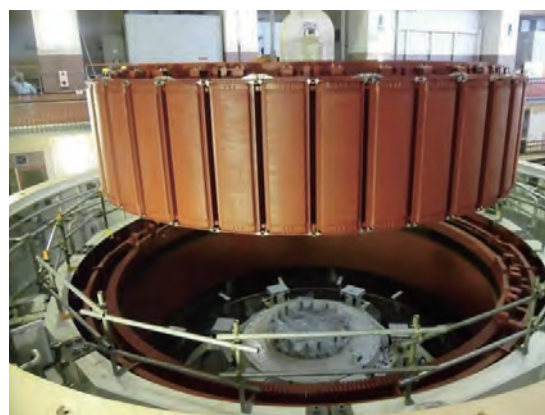
東芝エネルギーシステムズ（株）

関西電力（株）丸山発電所2号機が営業運転を開始



水車ランナのつり込み

Installation of hydraulic runner at Maruyama Power Station Unit 2 of The Kansai Electric Power Co., Inc.



発電機回転子のつり込み

Installation of generator rotor

関西電力（株）丸山発電所2号機の一式更新工事が完了し、2019年6月に営業運転を開始した。この発電所は、戦後復興時の電源確保を目的に、1954年に当時の国内最大容量機として運転を開始したが、その後60年以上が経過して経年劣化が著しいため、今回、更新工事が実施され、その1台目として2号機の一式更新を行った。

水車設計では、既設を流用する下部吸い出し管の形状を模擬した流体解析及び水車模型試験によって、最適な流路形状を選定した。また、T-Blade™ランナを適用することで、保証効率に対して平均0.72%高い水車性能を実現した。更に、設備のコンパクト化や保守性の向上を目的に、ガイドベーンサーボモーターの制御油圧を高圧化するとともに、当社として最大容量となるブラシレス励磁装置を採用した。

水車及び発電機は、THPCでほぼ一式を製造した。水車と発電機の定格は、次のとおりである。

- ・ 水車：76.0 MW, 87.44 m, 180 min⁻¹
- ・ 発電機：85.0 MVA, 13.2 kV, 180 min⁻¹, 60 Hz

更新工事の2台目となる1号機については、2021年3月の営業運転開始に向けて一式更新工事を進めている。

丸山発電所の取水元である丸山ダムは、治水能力向上のため、水位を6.5 m上昇させる改良工事が進められているが、今回の丸山発電所の一式更新は、丸山ダム改良工事後の落差にも対応した定格となっている。

■ 九州電力（株）新甲佐発電所が営業運転を開始



写真提供：九州電力（株）

水車発電機

Hydraulic turbine generator for Shin-Kosa Hydroelectric Power Station of Kyusyu Electric Power Co., Inc.

九州電力（株）甲佐発電所は、1951年から運用されてきたが、高経年化対策及び未利用水の有効活用を目的に、水車、発電機及び制御装置一式の更新工事を行い、新生の甲佐発電所として2019年8月に営業運転を開始した。

発電所の最大出力は、導水路トンネルの増設に伴う最大使用水量の増加によって、従来の3,900 kWから、7,200 kWに増加した。また、水車の主軸封水部にはセラミックシールを、ランナベーン及びガイドベーンには電動サーボモーターを、それぞれ採用した。このほか、入口弁の電動化、電磁ブレーキ及び新素材軸受けの採用、刷子シールを用いたオイルパー防止による保守省力化、一体形制御盤の採用による省スペース化、制御ケーブルの低減による工期の短縮を図った。

水車と発電機の定格は、次のとおりである。

- ・水車：立軸カプラン水車，
7,680 kW, 24.46 m, 277 min⁻¹
- ・発電機：立軸三相同期発電機，
8,000 kVA, 6.6 kV, 60 Hz, 力率 0.95

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 日本軽金属（株）波木井発電所が営業運転を開始



水車発電機

Hydraulic turbine generators for Hakii Power Plant of Nippon Light Metal Co., Ltd.

日本軽金属（株）波木井発電所は、2019年3月に2台の一式更新を完了し、営業運転を再開した。

この発電所は、1939年に運用が開始された他社製の設備であったが、老朽化したため、水車、発電機、制御装置、及び屋外変電設備を、当社が一式更新したものである。

更新に際し、水車は最新の流れ解析技術を用いて、T-Blade™ランナを適用し、従来の設備に比べて効率を1.85 %向上させた。更に、ガイドベーンサーボモーター及び入口弁を電動化し、保守の省力化を図った。

また、汎用型コントローラー TOSMAP-DS™/LXを採用した一体形配電盤を採用することで、制御ケーブル数の低減、工期短縮、及び省スペース化に寄与した。

水車と発電機の定格は、次のとおりである。

- ・水車：11.15 MW, 79.5 m, 360 min⁻¹, 2台
- ・発電機：12.5 MVA, 11 kV, 360 min⁻¹, 60 Hz, 2台

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ インド リバーベッド揚水発電所の主配電盤の更新を完了



部分更新を行った主配電盤
Partially renewed main control board for River Bed Pumped Storage Power Station, India

インド リバーベッド揚水発電所の主配電盤の更新工事が完了し、2019年7月に営業運転を再開した。

この発電所は、2006年6月の運転開始後13年を経過しており、主配電盤は6台中2台のコントローラーの故障に加え、保守ツールも故障しているため、コントローラーによる自動運転ができなくなっていた。一方で、電力需要が逼迫（ひっばく）していることから、一刻も早く復旧したいとの要望があり、短納期で更新するために、ネットワークは構築せず、既設盤内のハードウェア回路を可能な限り流用して、部分更新を行った。また、停止期間が最短となるように試験も限定し、工程を圧縮することで、6台分の更新をトータル53日の工期で実施した。

現地工事は、海外現地法人の東芝インド社（TIPL）が担当し、現場責任者を派遣して取りまとめた。今後、インドでの工事にTIPLを活用していく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 中国 Qianwei 発電所のバルブ水車初号機を出荷



初号機発電機ローターのつり込み
Installation of first generator rotor at Qianwei Power Station, China

中国四川省楽山市の経済発展を担うQianwei発電所には、単機の最大出力が63.32 MWとバルブ水車としては大容量の主機9台が設置されている。THPCは、このうち4台の発電機器を受注し、2019年9月に、初号機全部品を出荷した。

発電機ロータースポークは、強度を増強するため π 型形状の断面構造とし、エアクーラーは、主機内の限られたスペースを考慮した内壁円周方向の配置とした。また、発電機固定子コイルは、サイドスペーサーが不要な構造とした。水車ランナは、小さいボス比や、高い無拘束速度、重いランナベーンなどの特性を考慮した、信頼性の高いボス内部配置及び構造とした。ラジアル方向の軸受け荷重は、当社実績最大の180 tで、機器全体の安定性を向上するため、バルブ水車ブラケットに水平サポートを増やした構造とした。

初号機の完成は、THPCのバルブ水車設計・製造能力の高さを示すものである。

水車と発電機の定格は次のとおりである。

- ・水車：63.32 MW/10.00 MW, 17.4 m/4.0 m, 83.3 min⁻¹
- ・発電機：61.78 MVA, 10.5 kV, 83.3 min⁻¹, 50 Hz

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 九州電力（株）一ツ瀬発電所 1号機が営業運転を再開



水車ランナのつり込み

Installation of hydraulic turbine runner at Hitotsuse Hydroelectric Power Station Unit 1 of Kyushu Electric Power Co., Inc.

九州電力（株）一ツ瀬発電所は、1号水車・発電機のオーバーホール工事を完了し、2019年5月に営業運転を再開した。

この発電所は、九州の発電専用水力発電所として最大出力を誇るもので、今回は、主機2台のうち1号機の水車ランナと1号機用・共通用の制御装置を更新した。

水車は、流れ解析によって最適化したT-Blade™ランナを適用し、更新前に比べて効率を1.5%以上向上させた。

制御装置には、汎用コントローラー TOSMAP-DS™/LXを採用し、2重化した制御LANによるネットワークを構築することで、伝送路の信頼性を向上させるとともに、ケーブルを大幅に削減した。更に、常時は消灯している監視画面には、事故発生時に自動点灯表示するのに加え、スクロールする機能も付加し、監視カメラによる遠方からの確認を可能とした。

水車と発電機の定格は、次のとおりである。

- ・水車：94.6 MW, 152.4 m, 225 min⁻¹
- ・発電機：100 MVA, 15.4 kV, 225 min⁻¹, 60 Hz

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 僧都ウィンドシステムの運転開始



8基の2 MW風車から成る僧都ウィンドシステム

Sozu Wind System composed of eight 2 MW wind turbines

愛媛県愛南町に位置する風力発電所僧都ウィンドシステム（2 MW風車8基）が建設工事を完了し、2019年4月に営業運転を開始した。当社は、風車機器の供給とサイトへの技術指導員の派遣を行い、風車に係る保守業務を担っている。

この発電所の風車は、保安林区域に指定されている標高600 m級の山岳部の尾根伝いに設置されており、その建設工事には、以下の特長を持った技術で対応した。

- (1) 森林伐採範囲を低減する施策として、風車翼を1枚ずつ上空で組み立てることで、狭小な風車ヤード面積でも工事ができる、シングルブレード工法を採用
- (2) 設置サイトの複雑な地形に起因する高風速や高乱流に耐え得る風車を供給

建設工事期間中には、台風による記録的な豪雨にも見舞われたが、工事業者との連携を図ることで無事に工事を完了した。ここで得られた知見は、2020年度に建設予定のほかの案件にも展開しており、更なる風力事業の拡大や今後の技術開発にもつなげていく。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、1、p.13-17、

東芝エネルギーシステムズ（株）



シングルブレード工法

Single-blade construction method appropriate for narrow worksite area

北海道電力（株）新北海道本州間連系設備が運転を開始



自励式変換器

Voltage source converters for New Hokkaido-Honshu High-Voltage DC (HVDC) Link



北斗変換所

Hokuto Converter Station

北海道電力（株）が建設した新北海道本州間連系設備が、2019年3月に営業運転を開始した。この設備は、北海道と本州間の更なる電力安定供給を目的として新設された直流送電（HVDC）システム（定格300 MW ±100 Mvar, DC（直流）250 kV, DC 1,200 A）である。

当社は、交直変換器のほか、変圧器や、直流開閉装置、制御保護装置、空調・冷却設備など、主要な変換所設備一式を納入した。この設備は、HVDCシステムとしては国内初^{（注）}の自励式変換器（モジュラーマルチレベル変換器）を採用しており、従来の他励式変換器で必要であった調相設備やフィルターを不要にし、変換所のコンパクト化や建設コストの低減を実現した。また、自励式変換器が持つ特徴を最大限に利用することで、通常の電力融通や周波数維持機能に加え、電圧維持（無効電力制御）機能や、北海道システムの全域停電（ブラックアウト）時に本州側から電力を供給して停電復旧を助ける（ブラックスタート）機能などを備えており、北海道内の電力システムの信頼度向上に貢献できる。

2018年10月～2019年3月に実際のシステムを用いた機能確認試験（システム連系試験）を実施して、各種機能を検証した。特に、ブラックスタート機能に関しては、北海道側のブラックアウトを想定した試験システムを準備し、実際に本州側から電力を融通することで、北海道内の近隣の発電機を立ち上げて早期に停電復旧できることを確認した。

大容量の自励式変換設備は、長距離大電流送電や、異周波数系統連系、洋上風力発電の電力送電用など様々な分野への導入が期待されており、今後も更なる適用拡大を進めていく。

（注）2019年3月時点、当社調べ。

東京電力パワーグリッド（株）南横須賀変電所 300 kV GISが運用を開始



300 kV GIS

300 kV gas-insulated switchgear (GIS) installed at Minami-Yokosuka Substation of TEPCO Power Grid, Inc.



機器監視ユニット
Equipment monitoring unit

東京電力パワーグリッド（株）南横須賀変電所の気中開閉設備の更新工事に伴い、当社は300 kVガス絶縁開閉装置（GIS）8回線を納入し、2019年12月から運用を開始した。

今回、このGISや同時期に納入したガス絶縁変圧器（GIT）に、各種センサーからの情報を活用したオンライン機器監視を実現する、デジタル変電所技術を適用した。この技術の導入により、巡視や定期点検などによる電力会社の現場への出向機会が削減でき、設備保全業務の効率化を図ることができる。

オンライン機器監視システムの中核には、新たに開発した機器監視ユニット（EMU：Equipment Monitoring Unit）を採用した。当社が保有する豊富な機器ノウハウや各種試験データに裏付けられた独自のアルゴリズムに基づいて、GISの状態監視、劣化診断、寿命診断、及び事故点標定機能を提供できる。またEMUからは、国際伝送プロトコルであるIEC 61850（国際電気標準会議規格 61850）シリーズに準拠して、上位システムへデータをデジタル伝送することも可能である。更に、GISの工事計画時には、3D（3次元）レーザースキャナーを活用した現地測量を実施して送電線の運用停止を回避した最適な重機配置と工法を検討するなど、現地工事における重要な品質確認を設計段階で行うことができた。

今後、EMUから伝送される各GISの監視データのほか、ユーザーの運用データや、点検記録、設計図面などのドキュメントも含めて一元管理できるライブラリーやダッシュボード機能を開発し、南横須賀変電所に実装予定である。また、今回適用したデジタル変電所技術を他の既設変電所に対しても順次拡大していくことで、ユーザーの設備保全の高度化や生産性の向上に寄与する新たなサービスとして、展開を図っていく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 東京電力パワーグリッド（株）新佐原変電所 新形550 kV GISが運用を開始



新佐原変電所に設置した550 kV GIS
550 kV GIS installed at Shin-Sawara Substation of TEPCO Power Grid, Inc.

東京電力パワーグリッド（株）新佐原変電所の気中開閉設備の更新工事に伴い、当社が納入した既開発の新形550 kV GISが、2019年11月から運用を開始した。

今回、定格電流8,000 Aの送電線回線仕様に対して、初めて新形GISを適用した。仕様の合理化を図るとともに設計の最適化を行うことで、回線単位でのGISユニットとの一体輸送を可能にした計器用変圧器、及び超々高耐圧素子を採用して小形・軽量化を実現した酸化亜鉛形避雷器を新規に開発した。また、線路用断路器・接地開閉器と計器用変圧器の一体化により構成部品を削減するとともに、遮断器閉極位相制御装置を導入した遮断器のデジタル制御や、各種センサー情報を活用したオンライン機器監視を実現するデジタル変電所技術などの機能も備え、機器の信頼性向上と保守・点検作業の省力化に寄与している。

この案件を皮切りに、今後高経年化により保守限界を迎える気中開閉設備の更新を促進し、安定した電力システムの構築に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ カナダ トロントハイドロ社コーブランド変電所110 kV，130 MVA GITが運用を開始



地下変電所に設置したGIT
Gas-insulated transformers (GITs) installed at underground substation of Toronto Hydro-Electric System Ltd., Canada

カナダのトロントハイドロ社コーブランド変電所に納入した2台の110 kV，130 MVA GITが、現地据付及び受電試験を経て、2019年4月から運用を開始した。この変圧器は2014年7月に現地到着後、プロジェクト全体工程の変更により、2016年度に据え付けられ、2017～2018年度に追加の接続と調整工事が行われた。

この案件は、トロント市の都市部発展に対する電力供給能力不足を解消するためにトロント市都市部では1960年代以降初めて新設された変電所であり、カナダでは初の大型GIT適用の地下変電所である。今回運用を開始したGITは、当社独自の技術である高ガス圧方式の採用により、従来の油入変圧器に比べてコンパクト性に優れ、更に安全性（不燃性・防災性を有する）と環境調和性（油漏れがない）も兼ね備え、地下変電所に最適である。

今後、カナダにおける安定的な電力供給への貢献が期待できる。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 東京電力パワーグリッド（株）墨東変電所に納入した 新形300 MVA GITの運用開始



墨東変電所 300 MVA GIT

300 MVA GIT installed at Bokuto Substation of TEPCO Power Grid, Inc.

東京電力パワーグリッド（株）墨東変電所 主要1号変圧器の更新工事が完了し、2019年8月に商用運転を開始した。今回納入したGITは、地下変電所に設置されている経年油入変圧器の更新を目的に適用しており、2017年に同社の大井ふ頭変電所に納入した300 MVA GITにも採用した、仕様合理化などの設計思想を踏襲している。

機器の構造面では、現地組立式三相一括タンクの採用により、従来設けていた大規模なリードダクトや連通管を省略することで、変圧器のコンパクト化を図るとともに、機器上部に設置していた冷却器を床面に配置して点検フロアを省略し、メンテナンス性の向上も実現した。また、内部リード接続点数を従来GITに比べて大幅に少なくすることでリード接続工数を削減し、現地工期の短縮に寄与している。

今後、地下変電所向け経年油入変圧器の更新案件が増加することを見据え、防災・コンパクト性に優れたGITの特長を生かして、新形GITの適用拡大を進めていく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 福島送電（株）都路変電所及び東京電力パワーグリッド（株） 南いわき開閉所への500 kV 変電設備据え付けを完了



都路変電所に設置した500 kV 変電設備

500 kV substation facilities installed at Miyakoji Substation of Fukushima Power Transmission Co., Ltd.

福島送電（株）は、福島県内で発電した再生可能エネルギーを電力系統に連系するための送電網を建設しており、この度、東京電力パワーグリッド（株）南いわき開閉所の敷地内に、電力系統との連系変電所である都路変電所を新設した。

今回、66 kV 及び 154 kV 送電網を電力系統に連系するための変電設備として、460 MVA 分解輸送油入変圧器、550 kV GIS、168 kV GIS、72 kV GIS、監視装置、及び保護リレー装置を、都路変電所に納入した。変圧器と各GISは、油-ガス絶縁スペーサーを介した直結構造を採用し、連系する南いわき開閉所に納入した550 kV GISともGIB（ガス絶縁母線）により接続する構成としており、主回路に気中設備がないという特徴がある。両電気所に納入した550 kV GISは、2018年に開発が完了した新形機種の実地適用2例目である。新形機種は、回線一体輸送により現地工期を短縮するとともに、従来機種に比べてコスト低減を図ったものである。

都路変電所、南いわき開閉所とともに、2019年11月にそれぞれ使用前自主検査が終了し、2020年1月に営業運転を開始した。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ IEC 61850を適用した国内向け変電所監視制御システム



実証試験装置

Test equipment for verification of substation automation system in accordance with International Electrotechnical Commission (IEC) 61850 standards

現在、国内の電力会社とともに、IEC 61850を適用した変電所監視制御システムの実現に向けた開発を進めている。

IEC 61850は、変電所監視制御システム用の通信規格として制定されたものであり、マルチベンダーに対応し、監視制御に必要な情報だけでなく詳細な各種設備情報も送信できる。

海外では、この規格を適用した変電所監視制御システムの導入が進んでおり、国内でも今後適用が見込まれる。そこで、これまでに、国内電力会社の仕様に基いたIEC 61850の適用方法や、上位システムとの間の通信プロトコルに対応する方法などの検討を行ってきた。この成果に基づいてシステムの開発を進め、2019年7月に、国内電力会社の既存システムをIEC 61850適用システムに置き換える実証試験を実施し、正常に動作することを確認した。

今後、IEC 61850は、機器などの設備の状態監視やアセットマネジメントなどへの活用も期待されていることから、今回の結果を基に、引き続き実用化を進めていく。

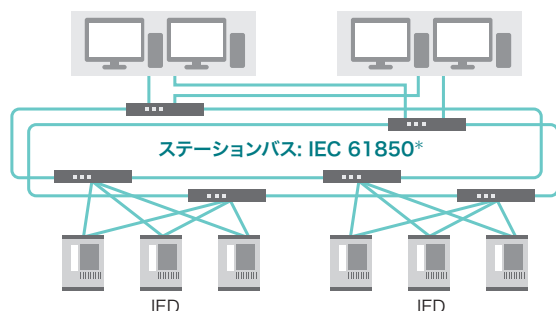
東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 高機能MV系統保護リレー GRE200



GRE200

GRE200 series intelligent electronic device (IED) for medium-voltage (MV) power distribution systems



*PRP, HSR (High-availability Seamless Redundancy), 又は RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) による冗長化通信が可能

GRE200を適用した構内伝送システムの例

Example of application of GRE200 series to substation network system

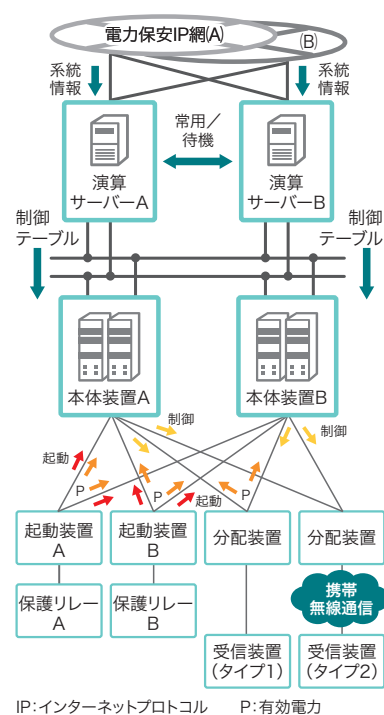
海外向けMV (Medium Voltage) 系統用のIED (Intelligent Electronic Device) として、保護リレー GRE200シリーズを開発した。主な特長は、次のとおりである。

- (1) 多機能保護制御 方向過電流、電力、電圧、周波数、過負荷、モーターなどの保護に加え、オン/オフ制御機能も搭載
- (2) 通信機能 変電所自動化システムとの間の通信用LAN 2重化に対応し、IEC 61850を採用した。PRP (Parallel Redundancy Protocol) などによる冗長化通信が可能
- (3) 構造 MVスイッチギアパネルに収納するため、149 (幅) × 177 (高さ) × 211 (奥行き) mmの引き出し式
- (4) 前面操作性・視認性の向上 21文字×8行の液晶ディスプレイ、14個のLED (発光ダイオード) (このうち12個は、ユーザー設定が可能)、及び15個の操作キーを実装

電力会社から一般産業ユーザーまで、幅広いニーズに対応できる製品である。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 九州電力（株）転送遮断システムの運転開始



システム構成

Block diagram of transfer trip system for Kyushu Electric Power Co., Inc.



演算サーバー
Processing server



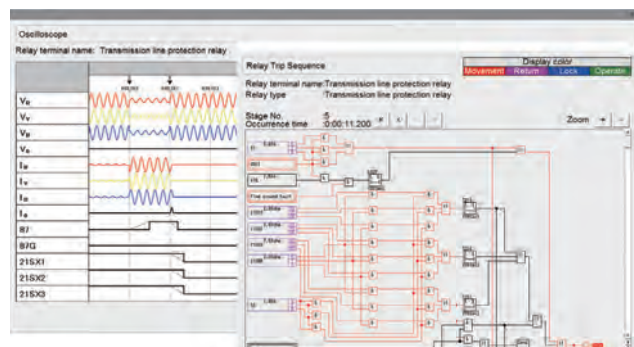
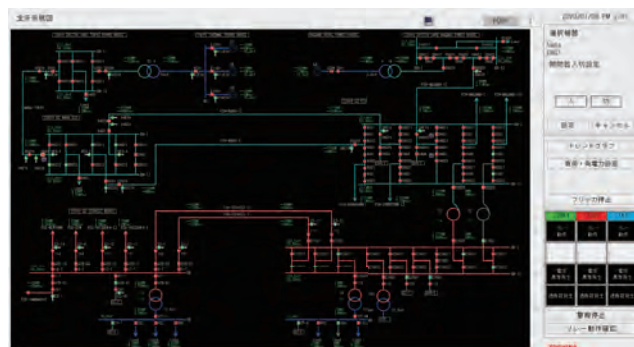
本体装置と分配装置
Server panel and interface panels

九州地方では、再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）電源の導入が拡大しており、九州電力（株）は、電力需要が低く再エネ電源の出力が多いときに、関門連系線を活用した他エリアへの送電や再エネ電源の出力制御などを実施している。通常運用時の関門連系線の送電量を増やして再エネ出力制御量を低減させるには、関門連系線のルート断事故が発生したときでも需給バランスが崩れないように、発電機を瞬時に遮断する必要がある。そこで、再エネ電源を電源制限対象に含めた転送遮断システムを開発した。このシステムは、計算機（演算サーバー）とデジタルリレー（本体装置、起動装置、分配装置、受信装置）で構成されている。主な機能は、関門連系線のルート断事故時の周波数上昇対策であり、最短6 s周期で、電源制限量と電源制限対象を算出できる。2019年4月にこのシステムを運用開始してから、他エリアへの再エネ送電可能量を最大30万kW程度拡大することが可能になった。

この開発は、九州電力（株）が受託した経済産業省 資源エネルギー庁「平成29年度再生可能エネルギー出力制御量低減のための技術開発事業」の一環として実施した。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 電力系統運用訓練シミュレーターのパソコン用パッケージソフトウェア化



電力系統運用訓練シミュレーターの画面表示例

Examples of power grid operation training simulator displays

電力系統の状態変化と系統事故発生時の保護リレーの応動をリアルタイムで模擬できる電力系統運用訓練シミュレーターを、パソコン1台で動作可能なパッケージソフトウェアとして開発した。電力系統で発生する複雑な現象を、系統計算で模擬するのが特徴である。

具体的には、時間によって変化する負荷パターンの設定や、保護リレーの整定値設定と動作判定、調相設備による電圧制御、需給調整に伴う周波数制御、機器操作時の操作条件判定など、実際の電力系統運用技術の習得に必要な機能を実装している。訓練対象の系統として、基幹系統や、配電系統、需要家系統などの切り替えで、様々な場面での操作訓練が実施でき、また、ベテラン操作員の技術継承にも活用できる。

送変電設備の臨場感のある操作体験ができるため、電力系統に関わる事業分野の電力会社、電鉄会社、及び大規模需要家における系統運用操作訓練や、教育機関での電力系統工学講座や学生実験などでの活用が見込まれる。

東芝エネルギーシステムズ（株）