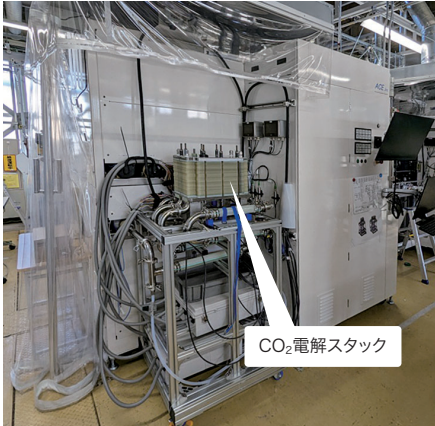


エネルギーシステム

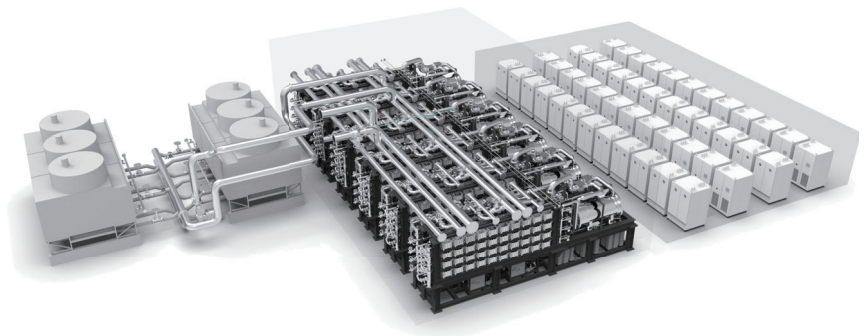
Energy Systems

原子力・火力などの大型発電設備に加え、水力・地熱・太陽光・風力などの再生可能エネルギー発電システムの技術を開発しています。また、作った電気を家庭や産業向け施設などに届ける送配電システムや、分散型エネルギー資源を有効活用するVPP（バーチャルパワープラント）、再生可能エネルギー由来の水素エネルギーシステムなども提供しています。

実機サイズ CO₂ 電解スタックの性能検証と CO₂ 電解装置 C2One 検証機の試作



実機サイズ CO₂ 電解スタックと電気化学評価設備
Full-scale carbon dioxide (CO₂) electrolysis stack and electrochemical evaluation facility



大型 CO₂ 電解プラント (CO 製造量 約 2 万 t/年クラス) の概念図
Conceptual diagram of large-scale CO₂ electrolyzer plant (with carbon monoxide (CO) production capacity of approximately 20 000 tons)

二酸化炭素 (CO₂) を一酸化炭素 (CO) に高効率で転換できる電解技術を基に、年間約 150 t の CO を製造する CO₂ 電解装置 C2One を、2026 年度の実用化を目標に開発している。

2023 年度から C2One の検証機を試作するにあたり、検証機に搭載する電極面積 400 cm² のセルを 100 セル以上積層した CO₂ 電解スタックの評価を行った。電解スタックの設計・試作と電解性能を評価するための電気化学評価設備を導入し、基本特性を取得した。2022 年度までに単セルや CO₂ 電解セル 10 枚を積層したショートスタックにより検証を完了したが、実機の積層枚数では、各 CO₂ 電解セルに供給されるガスや電解液の分配量に差が生じることが懸念される。評価試験の結果、分配量に差がないことを検証し、ショートスタックと同等のファラデー効率で CO を製造できることを確認した。現在、電解スタックのロバスト性や耐久性の検証など、長期安定運転に向けた試験を進めている。

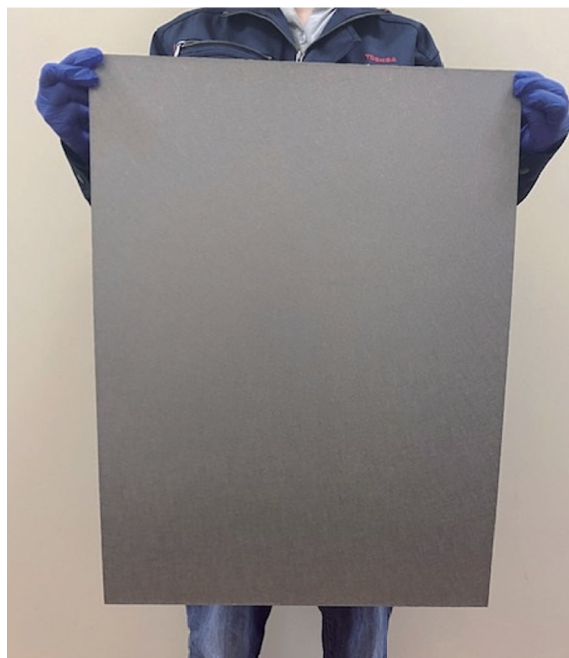
また、C2One の試作に向け、2022 年度に実施した C2One の基本設計や CO₂ 電解スタックの性能検証結果を基に詳細設計を行い、電解スタックの製造や C2One を構成する各機器の調達を進めている。並行して、2024 年度に実施する検証試験に向けた試験設備の設置工事も行っている。

CO₂ 電解で製造した CO は、化成品や持続可能な航空燃料 (SAF : Sustainable Aviation Fuel) ・合成燃料などの原料としての利用を想定しており、C2One 単機の CO 製造量では需要家が必要とする量を満たさない。このため、CO 製造の更なる大容量化を見据えて、C2One を複数台連結したプラントの基本計画や、電解スタックを高集積して年間約 2 万 t の CO 製造を可能とする大型 CO₂ 電解プラントの概念検討を実施した。

成果の一部は、環境省の委託事業「令和 3 年度二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業」
として採択された「人工光合成技術を用いた電解による地域の CO₂ 資源化検討事業」で得られたものである。

東芝エネルギーシステムズ (株)

イリジウム使用量を1/10に抑えた水素製造用3,000 cm²級大型膜電極接合体の製造技術



3,000 cm²級大型MEA
Large membrane electrode assembly (MEA) with area of 3 000 cm²

当社は、再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）の電力を水素に変換する技術の一つとして、レアメタルの一種であるイリジウム（Ir）の使用量を従来の1/10に抑えたMEA（膜電極接合体：Membrane Electrode Assembly）の大型製造技術（3,000 cm²級）を確立し、2023年度に電解装置メーカーへのサンプル提供を開始した。

Power to Gas（P2G）は、再エネ由来の電力を利用して水を水素と酸素に電気分解（水電解）してグリーン水素を製造し、貯蔵・輸送を可能にする技術であり、欧米を中心に導入推進の動きがある。我が国でも2023年の水素基本戦略改訂で、「2030年までに国内外において日本関連企業（部素材メーカーを含む）の水電解装置の導入目標を15 GW程度」と設定されたため、高い注目を浴びている。

水電解の方式の一つであるPEM（水素イオン交換膜：Proton Exchange Membrane）水電解は、再エネ電力の変動への適応性が高く、耐久性に優れている。しかし、電極に用いる触媒として、年間生産量が約7 tと、貴金属の中でも最も希少なIrを使用しており、Ir使用量の削減が本格普及への課題の一つである。当社は、スパッタリング法を用いた独自の酸化Irナノシート積層触媒を開発し、2022年度に、世界で初めて^(注)Ir使用量を従来の1/10に抑えた大型電極を製造した。

普及型の水電解装置に、この電極を適用するには、電解質膜と電極を一体化した大型MEAを高温プレスで製造する必要がある。しかし、大型化するとMEAの厚みを均一にすることが難しく、更に部材を1 mm以下の精度で位置合わせする必要があることが判明した。そこで今回、プレス装置の板面精度向上、緩衝材の選定、及び位置合わせプロセスの工夫により、3,000 cm²級MEAでも1 mm以下の精度で位置合わせができるようになった。その結果、MEAに掛かる圧力も10%程度の分布に収まり、水素製造性能に影響のないレベルでの大型MEAの製造が可能になった。

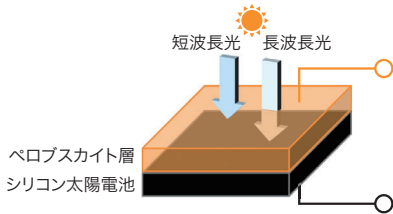
今後は早期実用化を目指し、P2Gの普及に貢献していく。

(注) 2022年10月時点、当社調べ。

研究開発センター

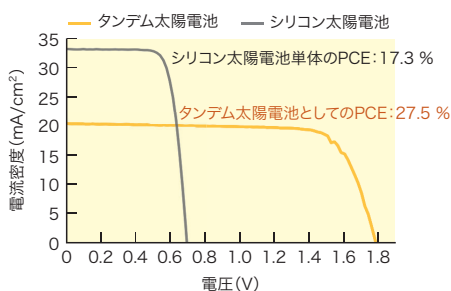
ペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池のエネルギー変換効率と光耐久性の向上

エネルギーシステム
再生可能エネルギー



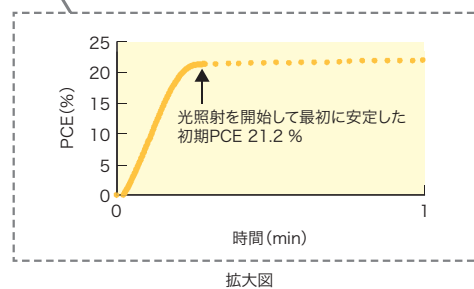
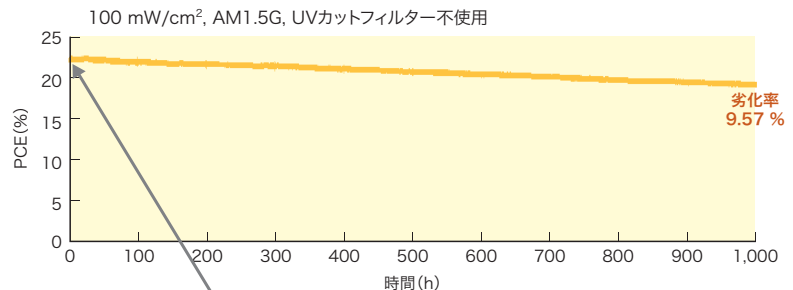
2端子型タンデム太陽電池の原理

Basic principle of 2-terminal type perovskite/silicon tandem solar cells



2端子型タンデム太陽電池の変換効率 (東芝エネルギーシステムズ(株)測定)

Power conversion efficiency of 2-terminal type perovskite/silicon tandem solar cells



2端子型タンデム太陽電池の光照射試験

Light soaking test of 2-terminal type perovskite/silicon tandem solar cells (100 mW/cm², AM1.5G, without UV filter)

カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）は重要な役割を担っている。その中でも革新的な太陽電池は、再エネを社会の主力電源とするために、これまで以上に求められている。当社は将来技術として、2端子型のペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池を開発している。

タンデム太陽電池は、太陽光のエネルギーを、波長によって複数の発電材料で分担して発電することで、トータルのエネルギー変換効率（PCE）を引き上げる技術である。2端子型にすることで、現在主流であるシリコン太陽電池モジュールと同じシステムに適合するため、既存の太陽光発電技術や設備を利用できるメリットがある。一方で、実用化するためには、シリコン太陽電池と同等に20年から30年の寿命が望まれている。

2023年度は、ペロブスカイト層の面内均一性の改善、電極構造の改良などにより、PCEを27.5%に向上させた。

今回、国立大学法人 電気通信大学、国立研究開発法人 産業技術総合研究所、及び(株)フジコーと共同で、世界トップ^(注)の光耐久性を実現した。疑似太陽光（100 mW/cm², AM1.5G（エアマス1.5グローバル）、UV（紫外線）カットフィルター不使用）の1,000時間照射後も、PCEの劣化率が10%以下にとどまった。これまでの世界の報告例は最長600時間であったことから、一気に約2倍になった。これは、独自の長寿命のペロブスカイト層及び素子構造の開発により実現した。この成果は、応用物理学会やNature Photonicsでも広く紹介された。

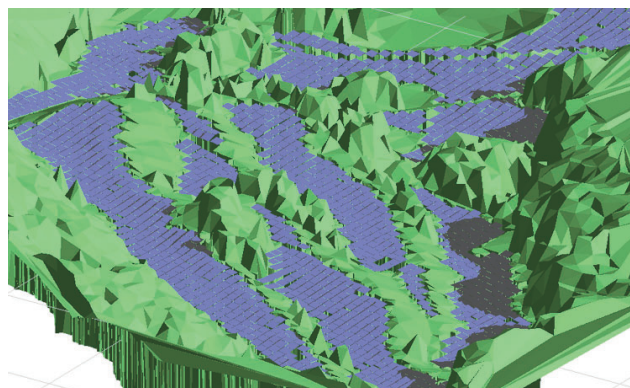
2023年の成果により、ペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池の実用化に一步近づいたといえる。今後、更なる改良を行い、カーボンニュートラルの実現に貢献する再エネ技術の開発を加速する。

(注) 2023年12月現在、2端子型のペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池として、当社調べ。

栃木県那須町など8か所の太陽光発電所の設置工事完了



栃木県那須町の太陽光発電所
Solar power plant constructed in Nasu Town, Tochigi Prefecture



発電量シミュレーションのための3次元モデルの例
Schematic diagram of a three-dimensional (3D) simulation model for power generation calculation

近年、カーボンニュートラル実現のために、再エネへの期待が高まっている。当社は、2009年に太陽光発電事業への取り組みを始めて以降、国内電力会社や、一般産業、海外、住宅などの分野の顧客向けに、太陽光発電システムを提供してきた。

2021年から2022年に掛けて、栃木県那須町など合計8か所、総発電量約200 MWに上る太陽光発電所の、エンジニアリング、機器調達、及び建設工事（EPC）を請け負い、その全てで2023年4月までに商業運転を開始した。

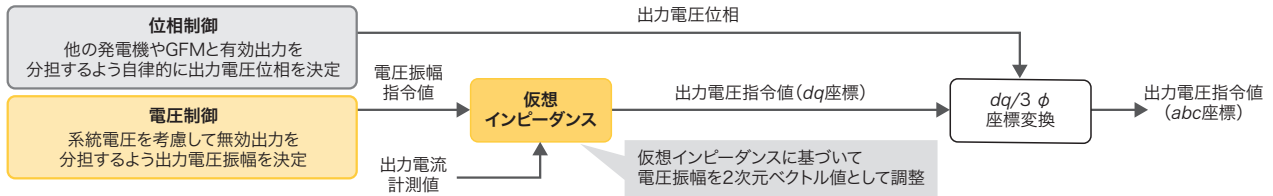
これらの太陽光発電所は、顧客から日射に対する発電電力比（Performance Ratio）の性能保証を求められている。そこで、発電所で計測される日射に対する期待発電電力を精緻に計算する性能保証モデルを開発し、当社として初めて発電所の性能保証に適用した。性能保証モデルは、発電所の起伏、太陽電池モジュール、及びその支持用架台など、各機器の配置を再現した3次元モデルを用いて、日射条件や周辺環境からの影響を考慮して発電量をシミュレーションする。

また、高品質な施工も、重要なポイントである。8か所の多くは起伏の多い雑木林やゴルフ場に建設された発電所であった。効率的・高精度に整地すること、及び太陽電池モジュールの支持用架台・モジュールを3次元モデルのGPS（Global Positioning System）データどおりの位置に設置することを、ICT（情報通信技術）搭載の重機により実現した。

精緻なシミュレーションと高品質な施工の結果、いずれの発電所でも、顧客と取り決めた保証条件を超える性能を確認できた。

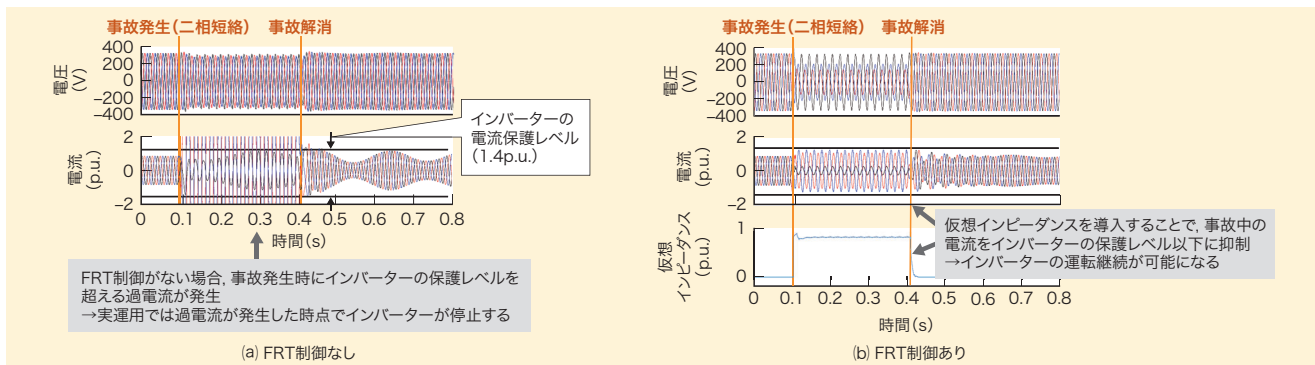
今後も、顧客の要望に応じて高品質な太陽光発電システムを納めることで、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

グリッドフォーミングインバーターの事故時運転継続制御



提案方式によるGFMのFRT制御の概要

Overview of proposed fault ride-through (FRT) control for grid-forming inverter



瞬時値解析によるFRT制御の過電流抑制効果の検証

Verification of FRT overcurrent suppression via electromagnetic transient simulation

太陽光発電や蓄電池などのインバーター電源の普及拡大に伴い、電力システムの慣性力が減少し、周波数変動が増大することが懸念されている。その対策として、インバーター電源が電圧源として振る舞うことで慣性力を供給するグリッドフォーミングインバーター (GFM) の開発が、各所で進められている。GFMは、連系先の系統で地絡などの事故が生じた場合に、従来型インバーターと比べて過渡的な大電流が流れて、過電流停止しやすいという問題がある。このようなGFMの特性は、系統事故時の電源の大量脱落を引き起こして、系統の安定運用を脅かすおそれがある。GFMを実系統に適用するために、過電流を確実に抑制できる系統事故時運転継続制御 (FRT制御: Fault Ride Through制御) の開発が急務となっていた。

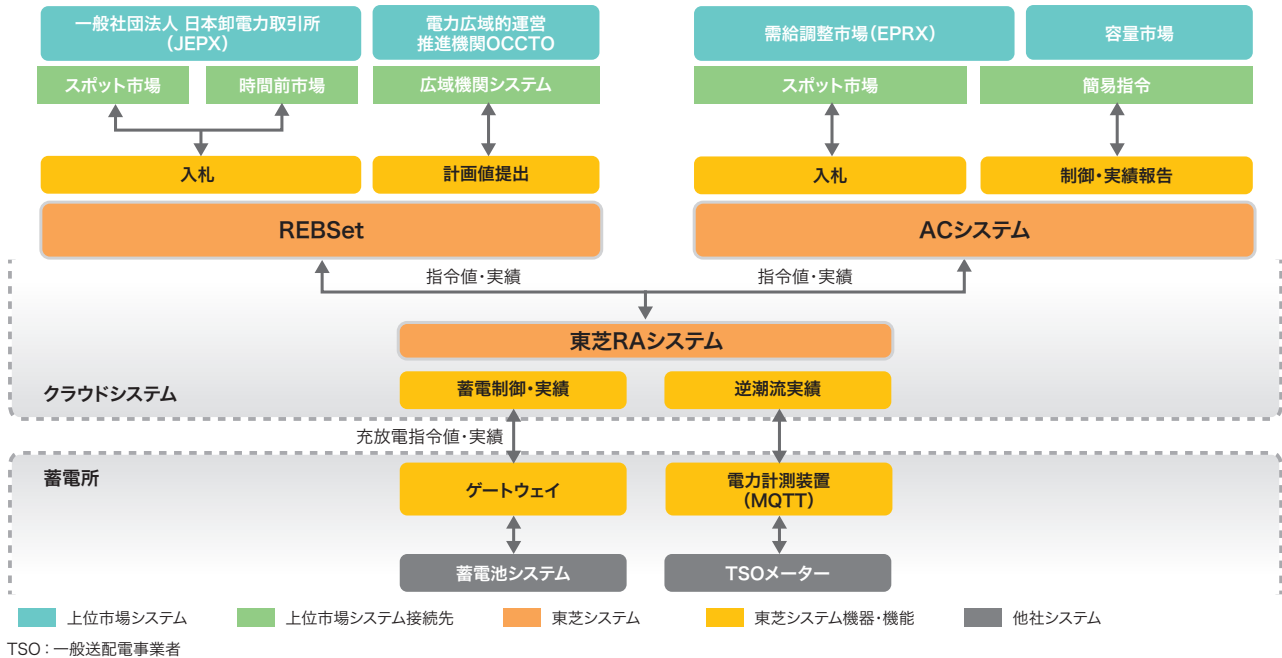
今回、仮想インピーダンス方式によるGFMのFRT制御を提案した。提案方式では、FRT動作時にインバーターの電流の大きさに応じて仮想インピーダンスの値を調整し、インバーターの電圧をベクトルとして制御することで、より確実に過電流を抑制する。従来の方式と比べて二相短絡などの複雑な事故にも対応できるため、系統の一層の安定運用に貢献できる。

提案方式の系統事故時における過電流抑制効果を、瞬時値解析により検証した。系統において二相短絡事故が生じた場合でも、各相の電流がインバーターの保護レベルである1.4 p.u. (per unit) 以内に抑制できることを確認した。また、系統事故が解消して系統電圧が回復した後は、GFMが通常の運転モードにスムーズに復帰することを確認した。

今後は早期の実用化に向けて、実系統におけるGFMの適用検証を進めていく。

東芝エネルギーシステムズ (株)

系統蓄電池向け運用支援システム



系統蓄電池向け運用支援サービスの概要

Overview of operational support system for grid storage batteries

近年、カーボンニュートラル実現のために再エネの導入が進み、その結果、昼間の太陽光発電の出力制御といった課題が発生している。システムの整備や調整力確保への対策として、蓄電池のマルチユースのニーズが高まっていることから、系統用蓄電池の導入が進んでいる。そのため、系統蓄電池向けに、卸売市場・容量市場・需給調整市場などに入札して運用するための支援システムを開発している。

この運用支援システムは、balancing group運用に必要な機能を備えた再エネbalancingシステムREBset (Renewable Energy Balancing System)、需給調整市場とのやり取りやリソースの制御を行う需給調整市場対応システムAC (Aggregation Coordinator) システム、及びRA (Resource Aggregator) システムを連携させて、複数市場対応を実現するものである。今回、既存システムに、新規開発した①、②の機能を追加することにより、太陽光や風力といった再エネ電源だけでなく系統用蓄電池への対応を可能にした。

- ① REBsetシステムの系統用蓄電池向けとしてアービトラージ運転計画作成機能
- ② WebAPI経由でのREBsetシステムとACシステム・RAシステム間の蓄電池指令値・実績値の連携機能

REBset・ACシステム・RAシステムの全てをクラウド環境に構築して顧客にSaaS (Software as a Service) として提供することで、利便性の向上や法制度変更への対応など柔軟に機能拡張できる。今後想定される様々な変化にタイムリーに対応して、系統蓄電池の運用の利便性向上を図り、再エネ導入の拡大に貢献していく。

関係論文：東芝レビュー. 2023. 78, 5, p.33-36.

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。

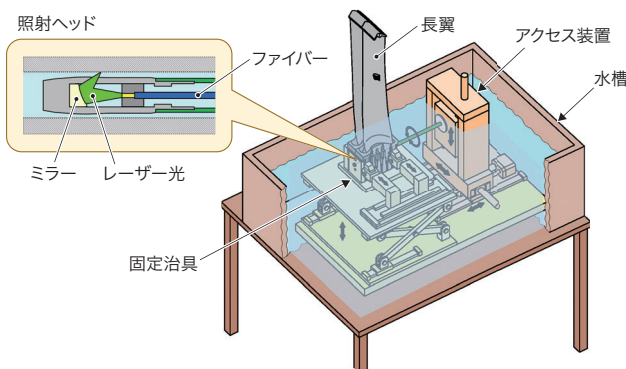
OPC検知にあたり、既存の保護継電器などでは、微小電流の有無を検出するために専用の変流器（CT）の追設工事が必要であった。微小電流検出も可能なアナログ-デジタル変換器を開発・適用することで、専用CTを追設しなくても、既設のCTを用いた微小電流の検出を可能にした。

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。

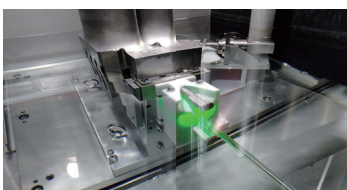
(注) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第33条（保安電源設備）。

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

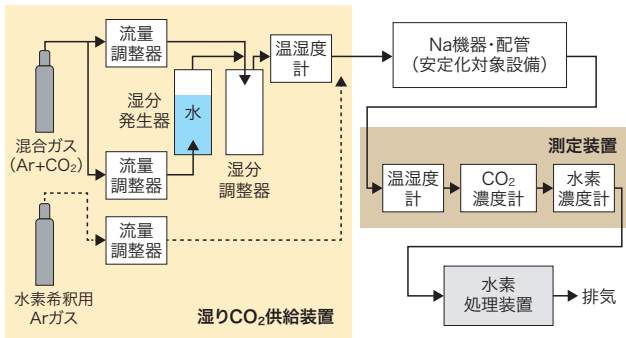
東京電力ホールディングス（株）柏崎刈羽原子力発電所第6，7号機の他社製低圧タービンの長翼植え込み部で、2008年に損傷が確認された。この事象は、低負荷運転時や負荷遮断時に、翼を通過する蒸気の流れが乱れることで翼に振動が発生し、高サイクル疲労で損傷したものと推定された。この事象への対策を行ったタービンへの更新が、計画されている。材料強度を改善するため、従来、翼植え込み部にショットピーニングを適用してきたが、長翼をピンで固定する翼植え込み部のピン穴は狭隘部のため施工が困難であり、ピーニングを施工できなかった。

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）

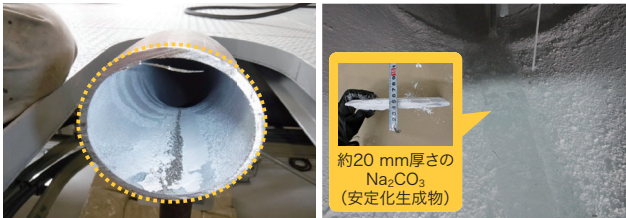
■ 高速炉廃止措置に資するナトリウム安定化処理技術



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

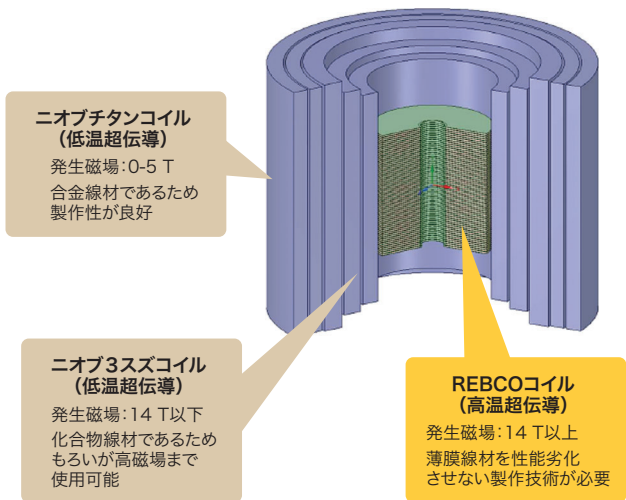
解体前の高速炉の機器・配管内部には、冷却材に使用されたナトリウム (Na) が付着・残留している。Na は空気と反応して燃焼することから、従来、機器・配管の切断などは不活性ガス雰囲気でのプラバグ中に行っているが、工事期間の長期化などの懸念がある。機器・配管を安全に短期間で解体するため、空気と Na の反応を抑制する安定化技術は重要である。

当社は、当社の保有する 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。

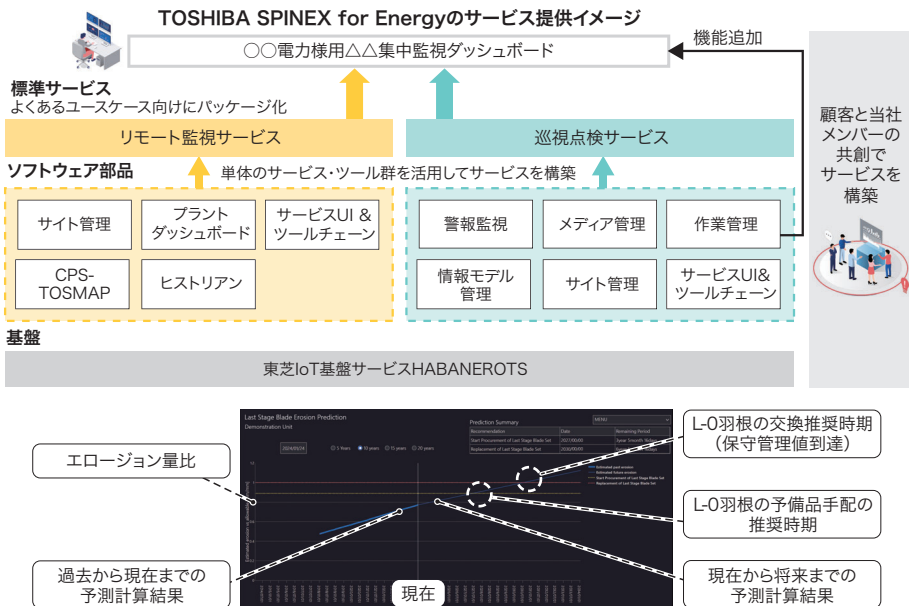
これらREBCO線材の剥離対策を含め、これまでの技術蓄積を結集し、無冷媒磁石として世界最高磁場の達成を目指す。

(注) 2022年3月現在、当社調べ。

東芝エネルギーシステムズ (株)

カーボンニュートラル実現に寄与する火力発電所運用保守向け CPS ソリューション

エネルギーシステム
火力発電



対象機器	アプリケーション
蒸気タービン	L-0羽根の浸食予測
	ノズルダイアフラムの変形予測
	初段羽根の固体粒子減肉予測
	低圧ローター植え込み部の孔食予測
発電機	高温部品の余寿命予測
	固定子コイルオンライン絶縁診断
	RRCA ローターレアショート検出
	ローターアンバランス検出 クーラー性能劣化
復水器	コレクターリング火花監視装置
	冷却管減肉予測
ボイラー	性能回復効果評価
	ボイラー燃焼最適化 スートブロー運用最適化
共通	トラブル要因分析及び 対策提示による運転支援

RRCA : Reverse Root Cause Analysis

TOSHIBA SPINEX for Energyのサービス提供イメージ及び蒸気タービンL-0羽根の浸食予測アプリケーションのユーザーインターフェース (UI) 画面

TOSHIBA SPINEX for Energy concept and application user interface (UI) screen for prediction of steam turbine L-0 blade corrosion

開発した火力発電向けIoTソリューションの例

Examples of new Internet of things (IoT) solutions for thermal power stations

我が国を含む世界各国で、カーボンニュートラル実現に向けて脱炭素化の流れが高まっており、電力分野においても再生可能エネルギーの拡充が進んでいる。一方で、再生可能エネルギーは電力システムの周波数維持・安定化が問題となるため、既設の火力発電所は調整用電源としての役割を求められるが、設計時の想定を超えた運転により機器の機械的負荷が増大し、ベースロード運用時代の保守計画では対応が厳しくなる懸念がある。これを解決するため、当社では、サイバーフィジカルシステム (CPS) 技術を活用した火力発電所の運用保守に関する様々なソリューションを提供している。

当社の火力発電所向けのソリューションは、エネルギー事業向けIoT (Internet of Things) プラットフォームであるTOSHIBA SPINEX for Energyを介して、表に示した例をはじめとする様々なアプリケーションとして提供される。蒸気タービンの低圧最終段 (L-0) 羽根の浸食予測IoTアプリケーションを例に挙げると、L-0羽根の浸食は定格出力付近では緩やかであり、低負荷帯で早く進行することが知られているが、実機の蒸気タービンでは中間負荷帯、低負荷帯の浸食レートを精度良く求めることは実運用上難しい。そこで、実機のデータに加え、数値流体解析 (CFD) 解析などによりL-0付近の流れや水滴の挙動などを評価し、浸食予測モデルを作成して、これをTOSHIBA SPINEX for Energy上で動作するIoTアプリケーションとして開発した。これにより、運用が変わってもタービン機器の開放点検を行うことなく、最終段羽根の現在の浸食量及び将来の浸食量、交換推奨時期などをシステム上で提示し、保守計画の立案に寄与することが可能となる。

今後も発電機器メーカーならではのCPS技術を活用したソリューションの開発・導入を推進し、カーボンニュートラルの実現へ貢献していく。表に示した火力発電向けIoTソリューションは、ボイラー向けIoTソリューションを除き、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) 委託業務「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/次世代火力発電基盤技術開発/石炭火力の負荷変動対応技術開発」の結果得られたものである。

東芝エネルギーシステムズ (株)

相生バイオマス発電所燃料転換工事に伴うタービン更新工事の完遂



更新後のタービン及び発電機

Refurbished turbine-generator equipment at Aioi Biomass Power Plant

相生バイオマス発電所は、関西電力(株)の相生発電所2号機を相生バイオエナジー(株)へ継承し、ボイラーで使用する燃料を重油から木質バイオマスへ燃料転換したプラントである。定格出力は200 MWと国内最大のバイオマス発電所である。バイオマス発電は、生育過程で大気中の二酸化炭素(CO₂)を吸収しながら成長した植物に由来する燃料を使用しているため、燃焼させても追加でCO₂が発生されないことからカーボンニュートラルな発電方法の一つとされている。

2020年2月に木質バイオマスへの燃料転換工事に着手し、当社ではタービン・発電機及び制御装置の設計・製作・更新工事・試運転の対応を行い、2023年3月に相生バイオマス発電所として本格運転を開始した。

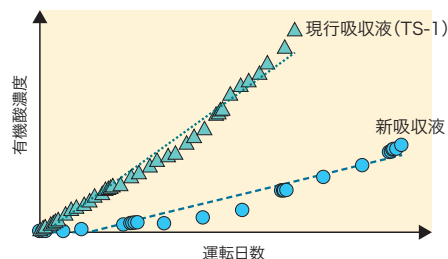
木質バイオマスへの燃料転換工事に伴い、定格出力が375 MWから200 MWに変更になったことを受けて、劣化回復並びに変更後の定格出力に合わせた運転最適点設計で、発電所熱効率を向上させ、燃料使用量低減に寄与した。また、定格出力が200 MWとなったことで復水ポンプの運転台数を2台から1台に減台する試験を実施し、安全・安定した運転ができることを検証し、顧客のニーズに応じた所内電力低減も達成した。このプラントでは既設設備を活用したダウンサイジングや発電効率の向上について、当社所掌のタービンサイクルからも貢献している。この実績を活用し、今後も既設火力発電プラントのカーボンニュートラル化に対応していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

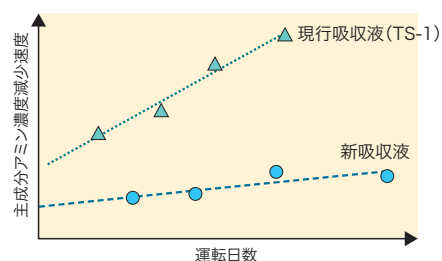
CO₂分離回収設備新吸収液の実運転での検証



佐賀市清掃工場CO₂分離回収設備
Carbon dioxide (CO₂) capture facility at Saga City waste incineration plant



新吸収液と現行吸収液の有機酸蓄積速度の比較
Comparison of organic acid accumulation speed in new and existing CO₂ solvents



新吸収液と現行吸収液の主成分アミン濃度の減少速度の比較
Comparison of decrease in main amine concentration in new and existing CO₂ solvents

カーボンニュートラル社会の実現に向け、CO₂分離回収設備を社会全体に広く普及させるには、設備運用の低コスト化が重要である。CO₂分離回収設備は、排ガスからCO₂を分離する際、CO₂を低温状態で吸収し、高温状態で放出するアミン系のCO₂化学吸収液を使用しているが、CO₂分離回収設備の維持管理費抑制の観点から、吸収液の耐久性向上が課題となっていた。そこで今回、CO₂回収量1単位当たりの必要エネルギーを現行CO₂吸収液と同等に保ちながら、吸収液の劣化が少ない特長を備えた新CO₂吸収液を開発した。

この高耐久性の新吸収液を、当社が2016年に佐賀市清掃工場に納入したCO₂分離回収設備(CO₂回収量：10 t/日)に導入し、連続運転を行い、耐久性について現行吸収液と比較評価した。吸収液の劣化過程は、主成分のアミンが分解しギ酸などの有機酸が生成する。運転時間経過に伴う有機酸蓄積量を従来吸収液と比較した結果、新吸収液の有機酸蓄積速度が約1/3程度に抑制されたことを確認した。また、吸収液中の主成分アミン濃度変化を測定した結果、アミン濃度の減少速度は2/5であることも確認した。このように、実機試験においても耐久性の優位性を確認できた。

2023年10月現在において、耐久試験は5千時間を超えて継続しており、その間CO₂分離回収設備は安定に運転され大きな問題は発生していない。2023年11月には清掃工場の定期検査に伴い、CO₂分離回収設備も約1か月間停止し定期検査を行った。再稼働後は、2023年度末まで耐久試験を引き続き実施し、新吸収液商用化に向けた最終確認を行う予定としている。

■ インドネシア チレボン拡張石炭火力発電プロジェクトが営業運転を開始



チレボン拡張石炭火力発電所
1 000 MW Cirebon2 coal fired power plant, Indonesia

超々臨界石炭火力発電所であるチレボン拡張石炭火力発電プロジェクトが2023年5月に工事完了を迎え、営業運転を開始した。

当社はタービンアイランドを担当し、高性能翼列、高性能最終段を適用するとともに漏洩量低減を図った最新の高性能タービンの採用や、デスーパーヒーター設置による給水温度の高温化などにより高効率化を実現し、炭素排出量の抑制に貢献している。

プロジェクト遂行中に新型コロナウイルス感染症が流行し、一時的に現地体制の縮小を余儀なくされたものの、現地による徹底した感染対策及びリモートシステムを活用した遠隔サポートに積極的に取り組むことで、工程への影響を最小化し建設・試運転を完遂した。

更に、このプロジェクトは1,000 MW標準モデル機の集大成であり、先行機で経験した課題をエンジニアリングから試運転に至るまで徹底的に対策することで、高い信頼性と高品質を達成し、営業運転開始以降も順調に運転を続けている。

今後も、高効率・高品質・高信頼性の発電プラントを納め、カーボンニュートラル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)

■ 富津火力発電所4号系列第3軸ガスタービン更新工事完遂



Source : GE Vernova, pic of 9HA Gas Turbine

第3軸ガスタービンの据え付け
Installation of Unit 4-3 gas turbine at JERA Co., Inc. Futtsu Thermal Power Station Group 4

(株)JERA富津火力発電所4号系列は、全3軸から成るコンバインドサイクルプラントで、2016年より第1軸を皮切りにガスタービン及び関連機器の更新工事を実施してきたが、2023年7月に最終の第3軸に対する更新工事が完遂した。

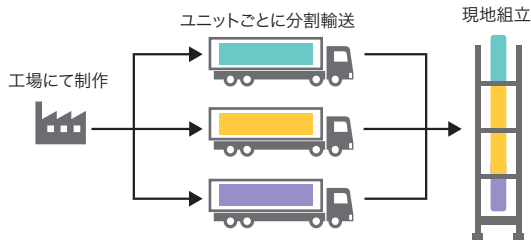
第3軸では、更新前の機器の技術情報が不十分なため、エンジニアリングを確実かつ工期内で進めるには、いかに効率良く実機の状態を把握できるかが課題となった。そこで、機器や配管設備などを3次元(3D)スキャンしデータ化することで、不足情報を補った。

また、工事においても3Dデータを活用し、作業プロセスの事前シミュレーションを実施し、問題点抽出・工法改善・作業最適化を図るなど、エンジニアリング全体を円滑に進めることに努めた。

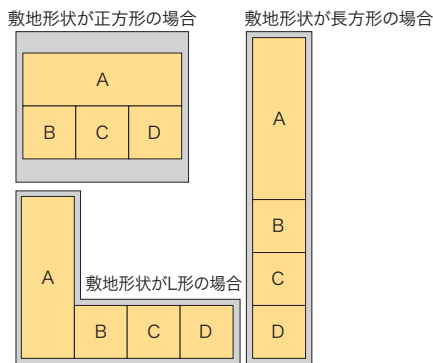
これらの主要な施策により、予定工期を前倒しての運転開始を実現し、夏場の電力安定供給に大きく貢献した。今後も、今回得られた知見や技術を活用し、発電プラントの主要設備更新による高効率化を目指していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

CO₂分離回収システムの現地搬入・組み立てが可能なモジュール型設備



CO₂分離回収システムのモジュール型設備のイメージ図
Concept of modularized CO₂ capture system



敷地形状に合わせた設備配置の模式図
Equipment layout according to shape of land

CO₂分離回収システムは、工場や発電所などから排出されるCO₂が含まれる排ガスからCO₂を選択的に分離・回収するシステムである。

当社は、1日当たり数kg～600 tonのCO₂の回収が可能な設備を、発電分野と産業分野に導入してきた。

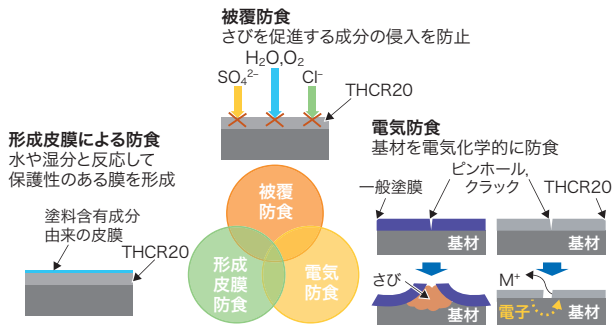
一方、更なる普及には分離回収コストの削減が必要であり、そのためには設備に係る費用の低減が有効である。

そこで、現地でプラント施工する従来工法とは異なり、工場で作成したユニットを現地搬入して組み立てる新工法を特徴とするモジュール型の設備を開発した。この設備は車両輸送し、様々な形状の敷地に合わせて配置を柔軟に変えることができる。また、設計エンジニアリングの標準化を行った。顧客により要求は異なるが、様々なオプション設備を設けることで対応可能とした。これらの取り組みにより、従来比で約20%の設備費低減を達成した。

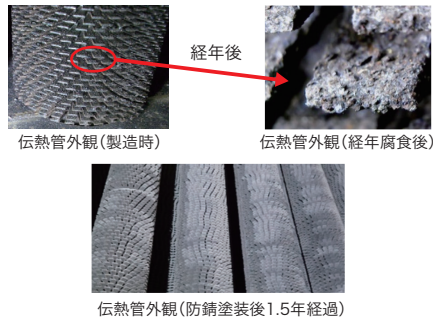
この開発成果は、現地工事工程短縮及びユニット化による品質の安定にもつながる。今後も、より高品質かつ低価格の製品を迅速に顧客へ届けることで、カーボンニュートラルの実現に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

発電プラントの安定運転・寿命延長に寄与する熱交換器伝熱管の防錆塗装技術



防錆塗装(THCR20)の耐腐食メカニズム



H₂O: 水 O₂: 酸素 SO₄²⁻: 硫酸イオン Cl⁻: 塩素イオン M⁺: 金属イオン

防錆塗装メカニズム及びHRSGへの適用状態

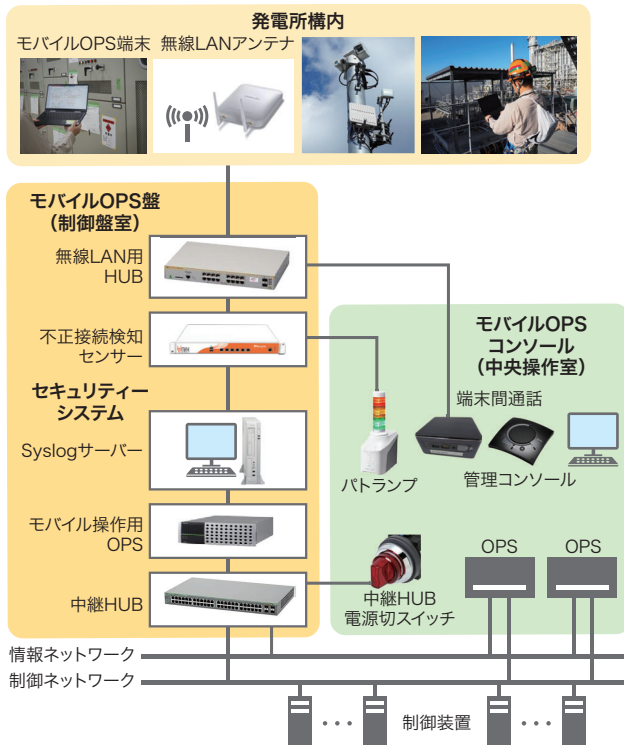
Mechanism of anti-rust painting system and application to heat recovery steam generator (HRSG)

東芝エネルギーシステムズ(株)

コンバインドサイクル発電プラント向け排熱回収ボイラー(HRSG)の伝熱管外表面には、ガスタービン排ガス中に含まれる腐食成分が運転中に付着し、運転中及び停止時に生じる結露水により経年的に腐食損傷する事象が生じ得る。近年のコンバインドサイクル発電においては、頻繁な起動停止や発電出力変動への対応が必要であり、腐食のリスクも高くなる。

当社では、発電プラントの安定運転及び寿命延長のために伝熱管腐食事象対策として、防錆(ぼうせい)塗料“THCR20”を開発した。この製品は、形成皮膜防食、被覆防食及び電気防食により伝熱管を保護でき、かつ熱伝導性に優れているので、伝熱管本来の機能を完全に維持できる。運転開始後9年が経過したHRSGに開発した製品の塗装を施し、その後1.5年が経過した2023年に状況確認を行った結果、塗膜が残存し発錆(はっせい)がないことから、塗装箇所の腐食抑制効果が確認できた。この製品は新製・経年の機種を問わず、腐食環境下の熱交換器伝熱管に広く適用することが可能である。

■ モバイルOPSを適用した火力発電所分散型制御システム



モバイルOPSの概要
Overview of mobile operators station (OPS)

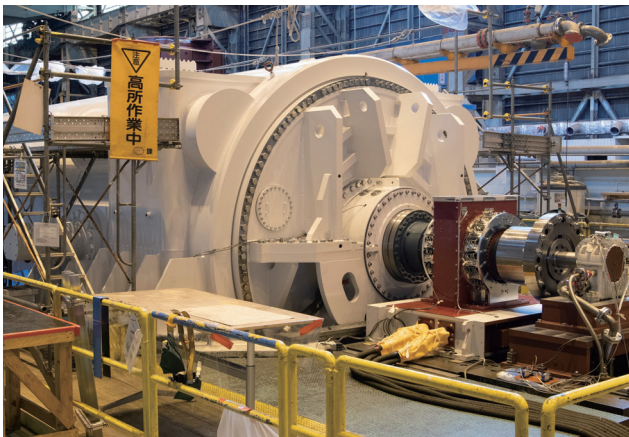
発電プラントでは、従来、中央操作室で運転監視操作を集中的に行っていたが、モバイルOPS (Mobile Operators Station) の導入により、中央操作室に限定することなく現場や事務所からリアルタイムに監視操作ができる分散型制御システム (DCS) を開発した。モバイルOPS導入により、以下の効果が期待できる。

- (1) 監視操作の分散化及び遠隔化による三密 (密閉, 密集, 密接) の回避及び働き方改革の実現
- (2) 日常点検の少人数作業範囲を拡張し現場作業を省力化
- (3) 点検時に現場で運転状態の把握及び危険の検知ができるようにしたことで作業員の安全を確保
- (4) 有識者遠隔支援による問題発生時の解決時間の短縮

また、電力制御システムセキュリティガイドラインに準拠したシステムとするため、外部端末接続による不正操作防止のための認証用サーバー、不正接続検知センサー、Syslogサーバーを構築するとともに、外部アクセス検知時に中央操作室に設置したパトランプを点灯させセキュリティ異常検知を告知し、必要に応じてネットワークを物理的に遮断するスイッチを設けた。このシステムを、今後の新設火力発電プラントに導入提案していく。

東芝エネルギーシステムズ (株)

■ 両軸駆動向け870 MVA水素間接冷却タービン発電機



五井火力発電所リプレース用870 MVAタービン発電機 (工場試験時)
870 MVA turbine generator for Goi Thermal Power Station (shop test)

五井火力発電所リプレースへ納入した870 MVAタービン発電機は、両軸駆動方式あるいは固定子水素間接冷却方式のいずれにおいても世界最大容量^(注)のタービン発電機である。両軸駆動方式は運用特性の面で優れた利点を備える一方で、発電機軸は両端部からトルク伝達を受ける構造となっているため、コレクター軸強度の向上が課題となっていた。

この発電機は、2017年に出荷した650 MVA両軸駆動機をベースとしてコレクター軸を新たに開発して、トルク伝達容量の向上を実現すると同時に、高熱伝導絶縁の採用及び冷却構造最適化により、従来は水冷却方式であった容量帯の固定子巻線への水素間接冷却方式の適用を可能とした。

2023年に回転電気試験を実施し、仕様及び規格を満足するとともに、発電機効率に関しては99.2%を達成するといった非常に優れた結果が得られている。

今後、発電所の運用開始に向けて据え付け及び試運転調整を進めていく。

(注) 2023年11月現在、当社調べ。

東芝エネルギーシステムズ (株)

電源開発(株)奥清津第二発電所 2号発電電動機用二次励磁装置の更新工事を完了



更新後の二次励磁装置用変換器
New power converter for secondary excitation device at Electric Power Development Co., Ltd. Okukiyotsu No. 2 Power Station



二次励磁装置用変換器のIEGTモジュール
Injection enhanced gate transistor (IEGT) module of power converter for secondary excitation device

奥清津第二発電所 2号可变速揚水発電システムは、2023年10月に二次励磁装置の更新工事を完了し、営業運転を再開した。

可变速揚水発電システムは、発電電動機の二次巻線を二次励磁装置により交流励磁することで、一定の範囲において、任意の回転速度での発電及び揚水運転を可能としている。

二次励磁装置の従来機は、1996年の運転開始から25年以上が経過し、老朽化に伴う部品交換や点検の頻度が増加していたことから、信頼性の回復、保守性の向上を目的として、二次励磁装置用変換器、可变速制御装置、運転制御装置の更新を行った。

二次励磁装置用変換器は、パワー半導体を用いて、50 Hzの周波数を一度直流にし、任意の周波数の交流に変換する電力変換装置である。更新前はパワー半導体素子としてGTO^(注1)素子を用いていたが、更新後はIEGT^(注2)素子を用いることで、二次励磁装置用変換器の低損失化及び小型化を実現するとともに、回路構成の見直しにより部品点数を削減した。

可变速制御装置及び運転制御装置には、当社の最新コントローラーであるTOSMAP-LXシリーズを採用した。TOSMAP-LXシリーズは、コントローラーをモジュール化し、小型化できたことで制御装置の製造性向上を実現するとともに、システム更新やコントローラーの故障時もモジュールの交換だけで対応できるといった保守性向上も実現した。

製造中、コロナ禍による半導体不足の影響に見舞われたが、資材調達の工夫や工場・現地の全体工程調整を図ることに加え、工場試験でリアルタイムシミュレーターによる事前検証を行って現地での調整範囲を最少化したことにより、予定どおりの工期で工事を完遂できた。

(注1) Gate Turn-off Thyristorの略。

(注2) Injection Enhanced Gate Transistorの略。

関西電力(株)奥吉野発電所 監視制御装置の更新工事を完了



TOSMAP-LXコントローラー及び制御室

TOSMAP-LX controller and control room at The Kansai Electric Power Co., Inc. Okuyoshino Power Station

関西電力(株)奥吉野発電所 監視制御装置の更新工事が完了し、2023年7月に営業運転を再開した。今回の更新は、2004年の前回更新から20年近くが経過し、部品劣化が安定した電力供給に支障を来すことがないように実施したものである。

この発電所は、奈良県吉野郡十津川村に位置し、ポンプ水車・発電電動機6台により1,206 MWを出力する純揚水発電所である。

制御装置間をつなぐネットワークの通信プロトコルには、国際電気標準会議(IEC)規格のIEC 61850-7-410を採用した。IEC 61850は機器間の情報交換を、論理ノードと呼ばれる保護、制御、計測などの機能単位に定義したオープンネットワーク規格である。変電所向けが先行して規格化され、既に採用が広まっているが、水力発電所向けも規格化され、採用が広まりつつあり、当社も対応可能である。

監視制御装置のコントローラーには、ファンレス化を図った最新のTOSMAP-LXシリーズを採用した。今回は、一部の号機制御装置の更新を行わなかったため、旧ネットワークと新ネットワークが共存するシステムとなっている。そこで、TOSMAP-LXをゲートウェイとして用い、プロトコル変換をすることで、大きな改造を加えることなく接続することを可能にした。そして、将来、更新する際の改造範囲を最小限とするように構築した。

また、監視制御装置のネットワーク内に操作端末を設置し、複数の制御装置の動作状況を1か所で同時に確認できるようにしたことで、現地試験時の状況把握やメンテナンス時の作業性を向上させた。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 中国 湖北新集水力発電所の初号機が営業運転を開始



湖北新集水力発電所
Hubei Xinji Hydropower Plant, China

中国 湖北新集水力発電所の初号機は、2023年9月に営業運転を開始した。この案件は当社関係会社の東芝水電設備（杭州）有限公司（THPC）が2020年12月に受注したもので、THPCが設計・製造を担当し、当社は水車性能開発及び模型試験を担当した。

当社はこれまでに、バルブ水車開発の豊富な実績を持っており、類似の水車模型データを保有していたため、保証値を満足する性能を短時間で実現し、納期短縮に貢献した。

初号機は、水車ランナの外径6.9 m、発電機回転子の外径約7.1 mと中国国内でも大型のバルブ水車・発電機である。また、保守性を高めるために水車マシンハッチの開閉を電動化し、ピット内へのアクセス用に電動昇降機を採用した。

現在、後続の号機を据え付け・試験中であり、2024年5月までに全4台が営業運転を開始する予定である。

初号機の定格は、以下のとおりである。

- ・ 水 車：30.77 MW, 8.6 m, 78.95 min⁻¹
- ・ 発 電 機：33.333 MVA, 10.5 kV, 50 Hz, 力率0.95, 78.95 min⁻¹

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ ラオス人民民主共和国 ナムグム2水力発電所 3号機制御装置の更新を完了



発電機制御盤
Control panel for Nam Ngum 2 Hydroelectric Power Station Unit 3, Laos

ラオスのナムグム2水力発電所は、制御装置一式更新工事の全3期中、1期目となる3号機の更新が2023年12月に完了し、運転を再開した。この発電所は、2010年に当社が水車・発電機・制御装置を納め、営業運転を開始したが、既設制御装置が廃型となり保守ができなくなったため、今回制御装置を一式更新することになったものである。この発電所の売電契約上、年間で主機を停止できる期間が50日程度と制限されていることから、更新工事は、2023年から2025年にかけて設備運用を続けながら3期に分けて1台ずつ行う計画とし、今回、その1期目を43日の停止期間で完遂した。

今回の更新では、コントローラーに当社最新のTOSMAP-LXを採用して、SCADA（総合管理システム）機能、自動制御、ガバナー機能をLAN接続し、号機間も含めた統合制御システムを構築した。制御装置の設計・製造にはインドの当社関連会社である東芝ジェイエスダブリュー・パワーシステム社（TJPS）を活用し、当社は技術支援を担った。また、1号機は2024年2月、2号機と共通部は2025年12月に完成予定であり、引き続き東芝グループの総合力で対応していく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 中部電力（株）飯島水力発電所が営業運転を再開



水車発電機

Hydraulic turbine generator for Chubu Electric Power Co., Inc. Iijima Hydroelectric Power Station

中部電力（株）飯島水力発電所の一式更新工事が完了し、2023年4月に営業運転を再開した。この発電所は、1947年の運転開始から75年が経過し、設備の老朽化が著しいため、更新を行うことになったものである。

水車は、流れ解析（CFD）による性能開発で高効率化を図り、発電所最大出力を900 kW向上させた。また、ガイドベーンサーボを油圧操作から電動とし、加えて電動入口弁を採用することでオイルレス化を図るとともに、水車及び発電機の両方も空冷軸受けを採用することで冷却水レス化し、保守の省力化と環境負荷の低減を実現した。更に、オーバーホール時の現地修理の省力化のため、下カバーシートライナーをボトムリング方式とし、工場持ち込み修理が可能な構造とした。この発電所は土砂の流入量が多く、既設機は土砂による流水部の摩耗が顕著だったことから、ランナ羽根根部やシール部、ガイドベーンなどの流水部に溶射を施し、用品取り替え周期の延伸を図った。

納入した水車・発電機の定格は、以下のとおりである。

- ・ 水車：13,688 kW, 153.17 m, 600 min⁻¹
- ・ 発電機：14,500 kVA, 11 kV, 60 Hz, 力率0.95

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 東京電力リニューアブルパワー（株）西窪発電所の一式更新工事を完了



西窪発電所の水車

Hydraulic turbine for TEPCO Renewable Power, Inc. Saikubo Hydroelectric Power Station

東京電力リニューアブルパワー（株）西窪発電所は更新工事を完了し、2023年12月に営業運転を開始した。この発電所は運転開始から、90年以上が経過しているため、機能維持と設備信頼度の向上を図る目的で一式更新を行った。（株）明電舎と共同で受注し、当社は水車の設計・製造を担当した。

この発電所が取水する利根川水系吾妻川・万座川は酸性河川であるため、吸い出し管やケーシングを含む流水部は全てステンレス製の部品を採用した。ステンレス材は通常使用している一般鋼材に比べて溶接・加工の難易度が高くなる。部品及び仮組立後の寸法検査において十分な寸法精度があることを確認し、現地据付は滞りなく完了した。

また、水車の性能開発では、流体解析及び水車模型試験を実施し、流路形状を最適化するとともに、安定運転に必要なこととして水圧脈動やキャピテーションの抑制を図った。

水車の形式と定格は、次のとおりである。

- ・ 水車：立軸フランシス水車, 12,960 kW, 195.52 m, 600 min⁻¹

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 宮崎県企業局 渡川発電所 1, 2号機一式更新を完了



宮崎県企業局 渡川発電所の水車発電機
Hydraulic turbine generator for Miyazaki Prefecture Enterprise Bureau
Dogawa Hydroelectric Power Station



宮崎県企業局 渡川発電所の水車
Hydraulic turbine for Miyazaki Prefecture Enterprise Bureau Dogawa
Hydroelectric Power Station

宮崎県企業局 渡川発電所は、水車・発電機及び制御装置の更新工事が完了し、2023年11月に全2台の営業運転を再開した。更新工事は、(株)明電舎が受注し、当社は水車・発電機的设计・製造及び据付調整を担当した。

この発電所は1955年に建設されて60年以上経過しており、老朽化のため、設備の一式更新を行うことになったものである。

水車は、T-Bladeランナを採用し、CFDによる性能開発を実施し、年間発生電力量が最大となるように水車性能の最適化を図った。

更新後の当社納入機器の台数と定格は、以下のとおりである。

- ・ 水車：縦軸単輪単流渦巻フランシス水車 (VF-1RS) 2台
6,570 kW, 90.70 m, 8.0 m³/s, 514 min⁻¹
- ・ 入口弁：電動操作式複葉弁 2台
- ・ 调速機：ガイドベーンハイブリッドサーボモーター 2台
- ・ 発電機：三相同期発電機 2台
14P, 6,700 kVA, 11 kV, 352 A, 60 Hz,
力率0.95
- ・ 调速機制御盤：2面

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 北陸電力(株)有峰第一発電所 配電盤の更新工事を完了



配電盤
Control panel for Hokuriku Electric Power Company Arimine Daiichi
Power Station

北陸電力(株)有峰第一発電所は、配電盤の更新工事が完了し、2023年9月に営業運転を再開した。この発電所は1981年に運転を開始し、単機出力が発電専用機として国内最大^(注)である265 MWの発電設備1台を保有する。今回の更新は、前回の2001年から20年以上が経過し、老朽化が進行していることから、設備の安全性、信頼性を高め、電力の安定供給を図るために、実施したものである。

有峰第一発電所で発電に使用した放流水は、全て下流の有峰第二発電所が取水して発電に使用する。このため、両発電所は同時に始動し、同流量で運転する必要があり、有峰第二発電所との連携運転を担う直列運転制御装置も更新した。直列運転制御装置と遠方監視制御装置、自動運転制御装置間のケーブルは、二重化LAN伝送を採用し、ハードケーブルの本数を大幅に削減し、信頼性の高いシステムを構築した。また、入口弁もオーバーホールした。口径約2.3 m、重量85 tのロータリー弁で、前回修理から23年経過して各部の摩耗や消耗品の劣化が進行しているため、分解点検手入れ、パッキン類の交換と摺動(しゅうどう)部の修理を実施した。

(注) 2023年11月現在、当社調べ。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 新形 300 kV GIS の東京電力パワーグリッド（株）・北陸電力送配電（株）での商用運転開始



東京電力パワーグリッド（株）北多摩変電所 300 kV GIS
300 kV gas-insulated switchgear (GIS) for TEPCO Power Grid, Inc. Kita-Tama Substation



北陸電力送配電（株）加賀変電所 300 kV GIS
300 kV GIS for Hokuriku Electric Power Transmission & Distribution Company Kaga Substation

当社が開発した新形 300 kV ガス絶縁開閉装置 (GIS) を東京電力パワーグリッド (株) の北多摩変電所及び北陸電力送配電 (株) の加賀変電所に納入し、それぞれ 2023 年 3 月までに商用運転を開始した。

この製品は、設計の最適化や機器全体のコンパクト化などにより、従来機種より SF₆ (六フッ化硫黄) ガスの使用量を約 20% 削減したほか、300 kV GIS としては当社として初めて、現地までの 1 回線単位での完全一体輸送を可能とした。また、デジタル化の一環として、GIS に実装した各種センサー情報を組み合わせたオンラインの機器監視機能を備え、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。センサー情報や診断結果は IEC 61850 (国際電気標準会議規格 61850) に準拠した通信プロトコルで遠隔地にも伝送でき、データの利活用を容易にしている。

今後も、コンパクトかつ、デジタル技術を活用した当社の機器を用いて、経年開閉設備の更新需要に対応したソリューションを提供し、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)

■ 四国電力送配電（株）次期系統制御所システム 初号機の運用開始



愛媛系制システム指令室
Control room at Ehime Grid Control Center of Shikoku Electric Power Transmission & Distribution Co., Inc.

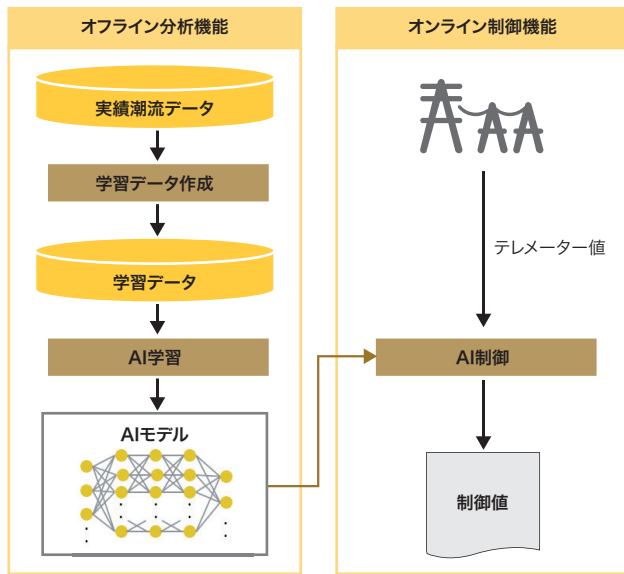
四国電力送配電 (株) 用に、経年に伴う系統制御所 (以下、系制と略記) システムの全面更新を行っており、その初号機となる愛媛系制システムが運用を開始した。

この更新においては、愛媛県内の愛媛系制・東予系制を統合したシステムを構築するとともに、愛媛系制システムと 2023 年度末に運用を開始する高知系制システムをペアとして両システム間を広域ネットワークで接続し、相互にバックアップ可能なシステムを構築することで、大規模災害時でも運用を継続できるようにレジリエンス強化を図った。

また、設備の停止復旧操作に関して、操作直前の系統状況に基づいて操作手順の妥当性を高速に判定する機能の導入により、従来二人一組で実施してきた系統操作の一人操作実現に向けた支援強化を図るなど、今後ますます複雑化する電力システムの運用に対する、システム面からのサポート強化を図った。

東芝エネルギーシステムズ (株)

■ AI活用の平常時電圧制御機能を備えた系統安定化システム親局装置



AIを活用した電圧制御方式の処理フロー
Overview of power system control method using artificial intelligence (AI)

中部電力パワーグリッド(株)の長野方面系統安定化システム親局装置はリプレースが完了し、2023年5月に運用を開始した。このシステムは、故障時過渡安定度維持や、平常時及び故障時電圧維持のための安定化制御を行うことで、送電容量の拡大や大規模停電を防止するなどの電力の安定運用に貢献する。システムの故障に備えた冗長性を確保するため、異論理の二重系構成を採用しており、当社は1系列と共通部を担当した。

今回のリプレースでは、太陽光発電の導入拡大に伴う系統の過酷化に対応するため、定態安定度や過渡過電圧などを複合的に考慮し、AIを活用した平常時の電圧制御機能を新規開発した。

平常時の電圧制御では、事前にオフライン環境で、最適制御の探索結果から学習データ及びAIモデルを構築する。その後オンライン環境で、実際の系統状態に応じた制御値をAIモデルにより導出し、適切な電圧制御を実現する。

今後も再生可能エネルギーの導入拡大に対応し、電力レジリエンスの強化に貢献していく。

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)千葉印西変電所にIEC 61850適用の保護リレーシステムの出荷を完了



保護リレー装置
Protection relay equipment for Chiba-Inzai Substation of TEPCO Power Grid, Inc.

近年、変電所構内における大量の制御ケーブルの削減に伴うコスト低減や、保護制御装置及び現場機器における運用保守情報のデジタル化による事故・障害からの復旧迅速化などを目的として、デジタル変電所システムの開発が進められている。デジタル化に伴い、国内の電力会社においても国際標準規格であるIEC 61850に準拠した新しい変電所システムの適用検討が進められている。今回、新設変電所向けとしてステーションバス及びプロセスバスに伝送接続できる保護リレー装置、電圧-無効電力制御装置、及び機器近傍の制御盤内に実装するプロセスインターフェースユニットを開発し、2023年6月に工場形式試験を終え、東京電力パワーグリッド(株)千葉印西変電所への現地搬入を完了した。

今回実用化したシステムでは、プロセスバスの一部として、アナログ入力情報や遮断器のトリップ制御の情報を除いてIEC 61850を適用した構成としており、今後はこれらの情報も含むフルデジタル変電所システムの構築に向けて開発を進めていく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 中部電力パワーグリッド（株）下石変電所で IEC 61850 適用の変電所監視制御システムが運用を開始



IEC 61850 適用の制御装置

Control device for Oroshi Substation of Chubu Electric Power Grid Co., Inc., compliant with International Electrotechnical Commission (IEC) 61850 standards

これまで、国内電力会社とともに 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きた。IEC 61850 は変電所構内の通信用に制定された国際標準規格であり、マルチベンダーに対応している。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められており、国内でも適用が進む見込みである。

今回、国内では先駆けとなる IEC 61850 を適用した変電所監視制御システムを中部電力パワーグリッド（株）下石変電所へ納入し、2023年3月に実運用を開始した。

今後、IEC 61850 を適用した変電所監視制御システムは、制御装置間だけでなく、保護装置への適用や、従来メタルケーブルで接続している屋外機器と制御・保護装置間への適用も期待される。今回の成果を基に変電所構内における適用範囲を広げ、更なる開発を推進していく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 韓国電力公社 765 kV 変圧器保護リレーの認証取得



GR-200 シリーズ

GR-200 Series 765 kV transformer protection relay

韓国電力公社（以下、KEPCOと略記）の送電線や母線、変圧器などの電力系統・機器保護用に各種リレーをGR-200シリーズで納入しているが、このうちUHV（765 kVクラスの超々高圧系）変圧器保護は旧世代のGR-100シリーズを適用していた。

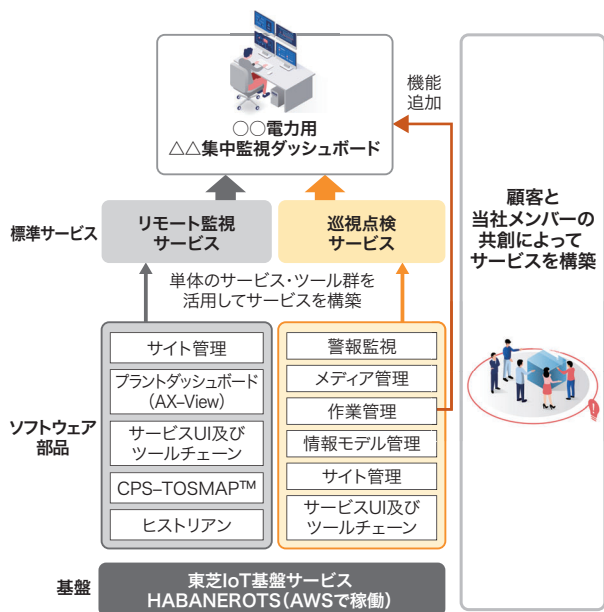
旧機種がGR-100シリーズは廃型を通知したため、2023年にGR-200シリーズでのKEPCOの認証取得を進め、無事合格した。

認証試験は2か所で実施され、リレー特性・計測要素試験やEMS（電磁感受性）性能を含めた各種耐環境性能試験は、韓国電気研究院（KERI）で実施され、リレーの保護機能の試験は、当社府中工場において、RTDS（リアルタイム・デジタル・シミュレーター）を用いて実運用されるUHV変圧器を模擬し、KEPCOメンバーの立会いの下、実施された。これらの試験結果が良好なことをKEPCOが確認し、2023年10月にGR-200シリーズの変圧器保護リレーのKEPCO認証・登録を獲得した。

東芝エネルギーシステムズ（株）

幅広いサービスの共創に適用可能な TOSHIBA SPINEX for Energy 標準サービス

今回リリースした標準サービス群



AWS: Amazon Web Services
CPS: サイバーフィジカルシステム

UI: ユーザーインターフェース

標準サービス	リモート監視サービス	巡視点検サービス	点検画像AI分析サービス	インシデント対応サービス
	EtaPRO™ VirtualPlant 性能評価・異常検知	EtaPRO™ APR 故障予兆検知	トポロジー最適化ツール	CO ₂ 見える化シミュレーションツール
ソフトウェア部品	巡視点検支援	作業支援	予測・診断	アセット管理連携
	作業管理	人数カウント	気象予測	情報モデル管理
	メディア管理	個人認証	異常予兆検知 (2段階AE)	サイト管理
	ドローン・ロボット自動巡視点検	動作認識	特定変状検知 (ひび・さび)	設備管理
メーター読み取り	図面管理	不特定変状検知	履歴ア	エッジ
360°ビュー点検記録	Webチャット	異常波形検知 (OCLTS)	タスク管理	CPS-TOSMAP™
イベント(インシデント管理)	タスク管理	奥行き推定	警告監視	LPIS™
		蓄電池劣化診断		Multi-GW Agent
				匂いセンサー
				ミリ波レーダー (振動可視化)

CO₂: 二酸化炭素 AE: オートエンコーダー GW: ゲートウェイ

TOSHIBA SPINEX for Energyのサービス提供イメージ
Development of services using TOSHIBA SPINEX for Energy

TOSHIBA SPINEX for Energyのラインアップ
Lineup of services provided by TOSHIBA SPINEX for Energy

エネルギー関連の課題を共創により解決するデジタルサービスとして、TOSHIBA SPINEX for Energyの開発・提供を進めている。東芝グループの知見が生かされたソフトウェア部品をあらかじめラインアップし、それらを活用することで、顧客ごとのニーズに合わせたサービスを、共創で素早く実現することを目指している。

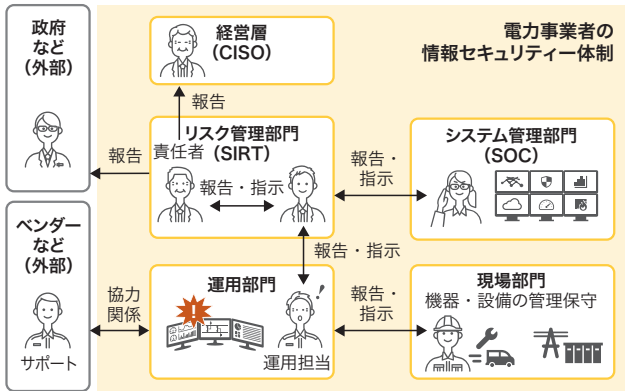
今回、エネルギー業界のよくあるユースケースを考慮し、幾つかのソフトウェア部品を組み合わせ、ユーザーが使いやすいようにパッケージ化した、以下の4種類の標準サービスを定義し、リリースした。

- (1) リモート監視サービス エッジ端末を現場に置くだけですぐにリモートで監視が可能である。また、温度、湿度といった情報や画像情報を取得でき、データ活用が可能となる。
- (2) 巡視点検サービス モバイル端末で巡視点検を実施することで、日々の点検業務を効率化するとともに、点検結果のデータ活用(分析・監視など)を可能にする。
- (3) 点検画像AI分析サービス 現場の点検画像をAIによって分析し、異常箇所を自動検出することで点検をサポートする。目視では見逃しがちな異常を検出でき、点検業務ノウハウの属人化を防ぎ、経験が少ない巡視員でも安心して業務の遂行が可能となる。
- (4) インシデント対応サービス 現場で対応が必要な事象をタスク化し、対応までの作業計画・依頼・実施・結果報告のサイクルをサポートする。デジタル上で管理することで、管理を含めた業務や情報共有の効率化を図ることができる。

開発した標準サービスは、遠隔での集中監視や運用・メンテナンス支援といったユースケースに幅広く適用できる。これらがラインアップされたTOSHIBA SPINEX for Energyを活用して共創することで、顧客の課題解決に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ エネルギー事業者向けサイバーセキュリティ訓練サービス



CISO : Chief Information Security Officer
SIRT : Security Incident Response Team
SOC : Security Operation Center



サイバー攻撃時における組織的対応の模擬体験が可能なセキュリティ訓練システム

Cybersecurity training system for simulating organizational responses in event of cyberattack

近年、重要インフラ事業者の設備に対するサイバー攻撃の脅威が高まっており、このようなサイバーセキュリティ上のインシデントに対する備えが求められている。

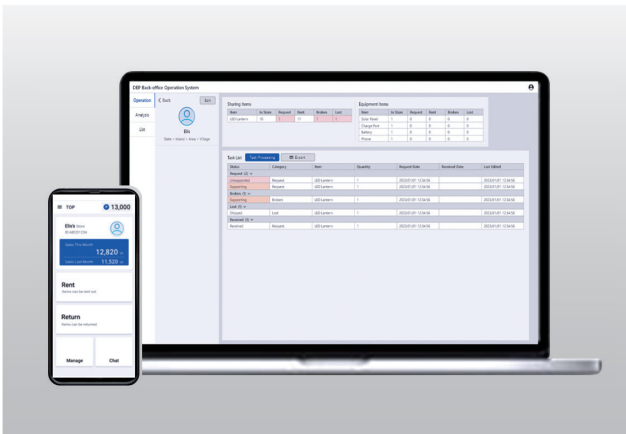
そこで、エネルギー事業の制御システム領域における深い知識と豊富な経験を生かし、送配電事業者向けのサイバーセキュリティ訓練サービスを開発した。

このサービスでは、電力系統の電氣的事象と制御機器の応動を模擬できる系統運用訓練シミュレーターを用いて、サイバー攻撃を模擬体験できるリアルな環境を提供している。また、組織ごとのロールプレー形式のハンズオン演習を通じて、インシデントへの迅速かつ組織的な対応方法を身に付けられる。

現在、配電事業者や火力・原子力発電事業者などのエネルギー事業者に対しても、訓練サービスの展開を進めている。今後は、訓練シナリオを豊富に取りそろえることで、重要インフラ事業者の課題とニーズに応じた訓練サービスを提供するとともに、セキュリティ知識の向上やインシデント対応能力の強化を通じて、エネルギー領域以外の重要インフラ事業者の人材育成にも継続的に貢献することを目指している。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 未電化地域での電気製品の利用を可能とするシェアリングサービス決済システム



DEPにおけるシェアリングサービス決済システム

Payment system for shared services in Delighting Everyone Project (DEP)

世界の未電化人口は約7.5億人といわれているが、バヌアツ共和国をはじめとする太平洋の島しょ国では、人口が分散し、かつ低所得なことから、送電線による電化が経済的に成立せず、電化が進まない。

このような問題に対して、当社は、太陽光発電パネル、バッテリーといった発電・充電機器や充電式LED(発光ダイオード)ランタンなどの電気製品の利用を可能にする、現地小売店を起点としたシェアリングサービス事業(DEP: Delighting Everyone Project)に取り組んでいる。

このサービスが提供する商材には通常ロックが掛かっており、ロック解錠には、当社が開発した決済システム及び専用のポイントを用いる。ポイントは小売店店主からの送金情報を基に、バックオフィスシステムを介し、決済システム上に送付される仕組みとなっている。ポイントを用いて認証された製品は、決済システム上のロック解錠ボタンを押下することで、無線通信(BLE(Bluetooth Low Energy)通信)によりロック解錠できる。

この事業を通じ、未電化地域に誰もが享受できるインフラを構築していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)