

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・太陽光をはじめとする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、家庭や産業向け施設などに電気を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。デジタルやAIなどの最新技術を活用し、安全かつ効率的に電気を届ける技術を提供して、快適な社会を支えています。

CO₂ 電解装置 C2One™ の検証機完成・実証運転開始及び CO₂ 電解セルスタックの耐久性改善



C2One™ 検証機を設置した実証運転試験設備の全景
Overall view of performance evaluation facility equipped with C2One™ prototype

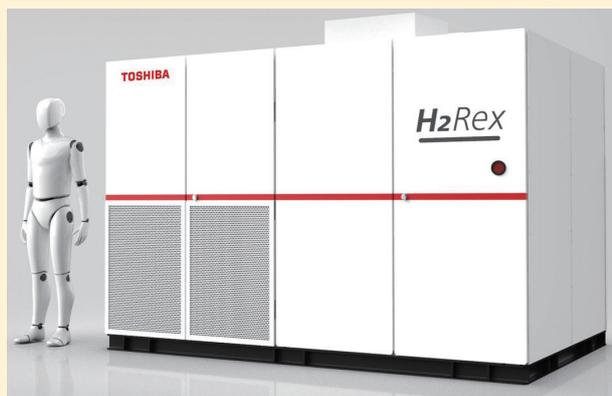
二酸化炭素 (CO₂) を一酸化炭素 (CO) に高効率で変換できる電解技術を基に、年間約 150 t の CO を製造する CO₂ 電解装置 C2One™ の 2026 年度実用化を目指している。

C2One™ 検証機は、装置を構成する機器や配管の調達と CO₂ 電解スタックの製造を経て 2024 年 7 月に組み立てが終了し、並行して完成した実証運転用の試験設備への搬入・据え付けを完了した。C2One™ 検証機へ電力を供給し、電気・制御装置などの個々の動作確認、及び非電解状態での制御機能確認といった調整を行った後、実証運転を開始した。実証運転では、C2One™ の起動停止を円滑かつ安全に行えることの確認や、電解出力を安定させた状態での電解ガスの量・成分などの電解特性の確認、電解出力を短時間で変化させた際の動的応答性の確認などを行っている。これらと併せて、C2One™ 検証機を使って、保守・点検や定期交換部品の交換などを実際に行うことで作業性を確認し、安全管理方法の知見を取得している。

C2One™ の社会実装を実現するには、CO₂ 電解セルスタックの耐久性の更なる向上が必要である。CO₂ 電解セルスタックの劣化を防ぐために、高耐久性部材の選定や劣化を抑制する運転制御方法などの改善技術を開発した。それぞれの改善技術は、小型サイズのセルや実機サイズのセルで検証を完了し、耐久性を強化したセルスタックの仕様を決定した。その仕様に従って実機サイズの単セル 10 枚を積層したセルスタックを複数台試作し、現在は、長期の連続運転や繰り返しの起動停止などの耐久性検証試験を継続している。

この成果の一部は、環境省の委託事業「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。

定置型燃料電池システム H2Rex™ 寒冷地向け仕様の出荷



H2Rex™ 第3世代モデルの標準仕様
Third-generation H2Rex™ stationary pure-hydrogen fuel cell system model with standard specifications



福島再生可能エネルギー研究所に設置した寒冷地向け仕様H2Rex™
Cold climate specification H2Rex™ installed at Fukushima Renewable Energy Laboratory

カーボンニュートラルを実現するためには、水素で高効率に発電できる燃料電池システムの活用が重要である。当社は、定置型燃料電池システムH2Rex™の100 kW機を開発して、2016年度に第1世代モデルの1号機を出荷し、2023年度には第3世代モデルの1号機を出荷した。

第3世代モデルは、高出力密度化を実現した燃料電池スタックの採用とシステム構成の最適化により、静粛性を維持しながら小型化・低コスト化を実現し、総合効率95%LHV^(注)という高い効率と世界最高クラスの耐久性を備えている。第3世代モデル標準仕様のパッケージサイズは、幅2.8 m、奥行き2.0 m、高さ1.9 mであり、質量は約4.5 t、出力当たりの容積は0.1 m³/kWと、定置型燃料電池システムとして世界最小クラスである。メンテナンススペースは正面と背面の1.5 mだけで、側面のメンテナンススペースを不要とすることで、設置場所の周りに必要なスペースを削減した。

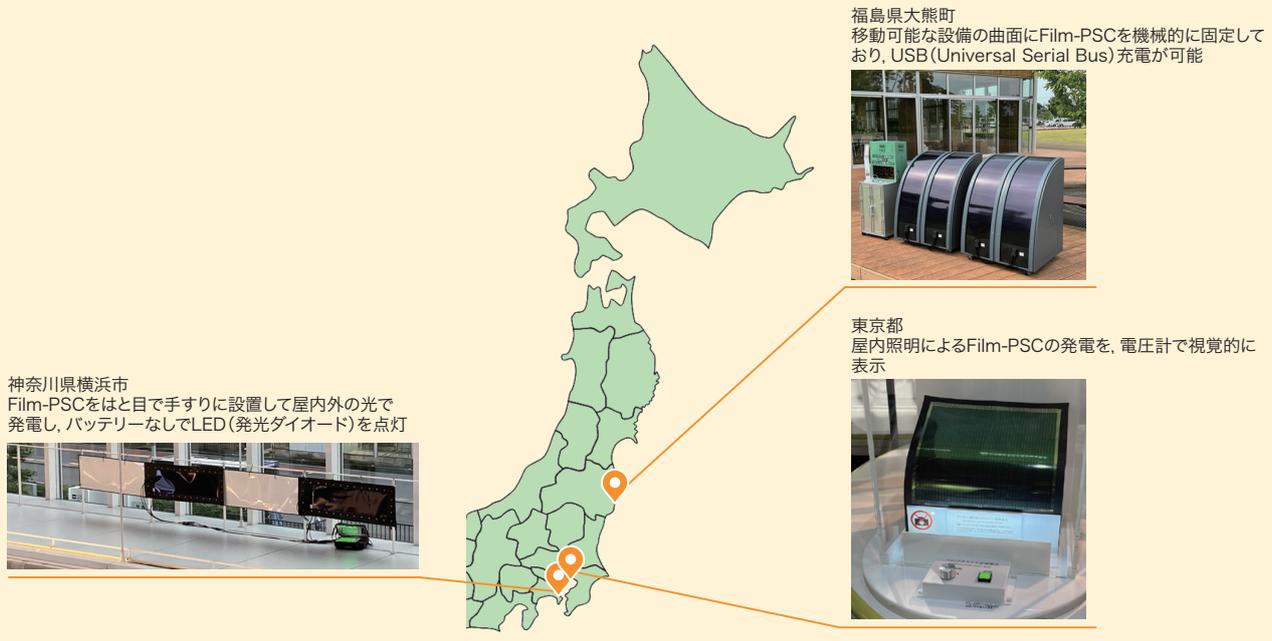
2024年2月には、第3世代モデルの寒冷地向け仕様を、国立研究開発法人 産業技術総合研究所の福島再生可能エネルギー研究所（郡山市）に出荷した。標準仕様の最低環境温度は-5℃であることに對し、寒冷地向け仕様は-30℃でも発電できる仕様とした。幅は3.2 m、質量は約5.5 tと、標準仕様と比較して増えているものの、外気を吸気して暖気する予熱器ユニットを一体化し、パッケージの据え付けを容易とした。燃料電池の電力の一部を使って予熱器ヒーターを作動しており、環境温度に応じてヒーター出力を制御することで、燃料電池運転制御の最適化を実現した。また、吸気口につららなどが発生しないようにフィルターの位置を最適化し、積雪を考慮して吸気口を高い位置に配置した。

今後は、寒冷地向け仕様のH2Rex™を、再エネ水素導入が期待される北海道に拡販していく。

(注) 低位発熱量基準。発熱量に対する発電量の比で発電効率を算出するとき、発熱量に水蒸気の凝縮潜熱を含めない算出条件。

東芝エネルギーシステムズ(株)

ペロブスカイト太陽電池の社会実装に向けた自治体との連携による実証実験の推進



各自治体でのペロブスカイト太陽電池の実証実験
Demonstration experiments of perovskite solar cells for municipalities

再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）の普及に向けて、これまでメガソーラーなどに結晶シリコン太陽電池などが設置されてきた。しかし、急峻な地形が多い国内では適地が少なく、従来技術の延長では、現状以上の普及が難しい。

フィルム型ペロブスカイト太陽電池 (Film-PSC : Film-based Perovskite Solar Cells) は、2009年に基本原理が発表された。結晶シリコン太陽電池と同程度の効率を見込めるポテンシャルと、軽量・柔軟という特長を持つため、従来は困難であった場所への設置が可能で、次世代太陽電池として期待されている。

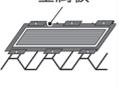
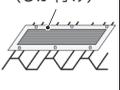
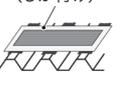
Film-PSCの応用技術は、発表から10年以上たった現在でも確立されていない。発電量や、耐久性、設置方法、電気の利活用法、メンテナンス方法など、数多くの課題に対して技術開発や提案を行っていく必要がある。一方で、各自治体で再エネの導入に向けた制度整備に取り組むために、Film-PSCに関する見識を深めたいという要望がある。今回、再エネの普及に特に力を入れている複数の自治体と連携して、次のような実証実験を開始した。

- (1) 福島県大熊町 役場内のガラスの内側や屋外のひさし周辺などに設置したFilm-PSCによる発電電力の小容量電力への利用可能性検証
- (2) 神奈川県横浜市 はと目を利用した新たなFilm-PSCの設置方法の検証と、市庁舎の周囲環境（時間、天候、影）を考慮した発電量評価
- (3) 東京都 都市部の施設インフラ室内にFilm-PSCを設置した場合の発電継続性（劣化）評価

自治体における実証実験を通じて、課題解決のヒント獲得や新たな用途開拓を行い、応用技術を確認していく。また、Film-PSCを使った新しい発電の形態を示すことで、社会一般を啓発し、本格的な社会実装につなげていく。

東芝エネルギーシステムズ (株)

■ 軽量性・メンテナンス性・安全性を同時に満たす フィルム型ペロブスカイト太陽電池の設置方法

評価項目	透明樹脂板による機械固定	金属板による機械固定(金属フレーム含む)	はと目による機械固定(モジュールじか付け)	接着固定(モジュールじか付け)
メーカー例	東芝エネルギーシステムズ(株)	他社	他社	他社
施工性	◎	○	○	△
軽量性	○	×	○	◎
メンテナンス性(保守交換)	◎	◎	○	×
安全性(風圧・積雪荷重への耐性)	○(見込み)	◎	△	△
設置イメージ				

◎:良好 ○:良 △:少し不良 ×:不良
 :改善が必要な項目

Film-PSCの設置方法の比較

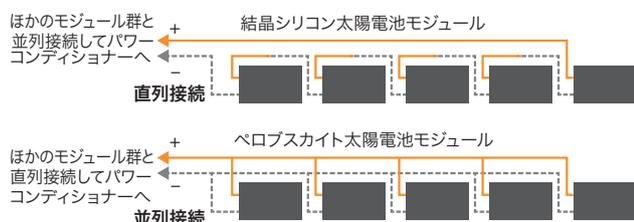
Comparison of installation methods for film-based perovskite solar cells (Film-PSC)

Film-PSCは、軽量で柔軟という特長を持つため、RE100 (Renewable Energy 100%)の実現を目指す企業などから次世代太陽電池として低耐荷重屋根への設置を期待されている。その設置方法として、金属板による機械固定、はと目による機械固定、接着固定(接着剤・両面テープなど)の三つが検討されてきた。これらのうちどの方法も、軽量性・メンテナンス性・安全性を同時に満たすことが難しい。

そこで、新たに四つめの設置方法として、軽量の透明樹脂板による機械固定を提案・開発している。この方法では、Film-PSCを透明樹脂の架台の裏面に貼り付ける。架台は取り付け金具で低耐荷重屋根に固定されており、Film-PSC全体が機械固定される。これにより、金属板による機械固定に比べ、メンテナンス性を損なわずに30%以上の質量軽減を図り、軽量性・メンテナンス性・安全性を確保していく。

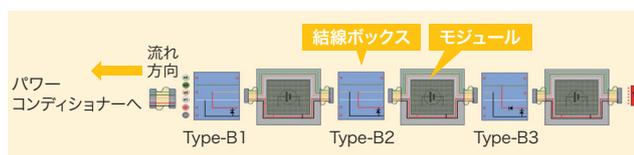
東芝エネルギーシステムズ(株)

■ ペロブスカイト太陽電池の配線接続方法の簡略化



太陽電池モジュールの配線接続方法の比較

Comparison of crystal silicon and perovskite solar module connection methods



開発した配線接続方法

Development of new connecting technology

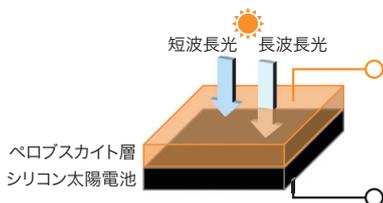
軽量で柔軟なペロブスカイト太陽電池は、従来は設置が困難だった耐荷重の弱い屋根や壁面などへの適用が望まれている。実現のためには、各モジュール間の配線接続方法の簡略化が必要である。結晶シリコン太陽電池はモジュール当たり10Aなど高電流であるため、モジュール間を直列接続することが多い。一方、ペロブスカイト太陽電池は1モジュール当たり1A以下など低電流であるため、モジュール間を並列接続する。配線数は、結晶シリコン太陽電池と比べて数~数十倍で、設置場所に合わせた特注仕様の並列ケーブルが必要になり、作業の複雑化、及び質量・コストの増加の原因となっている。

そこで、隣接する太陽電池モジュールを接続するだけで、自由に並列接続・直列接続を構成できる、モジュール及び結線ボックスを開発した。試作品を使った検証で、太陽電池の正常な動作を確認した。この方法により、設置場所ごとに並列ケーブルを準備する必要がなくなる。

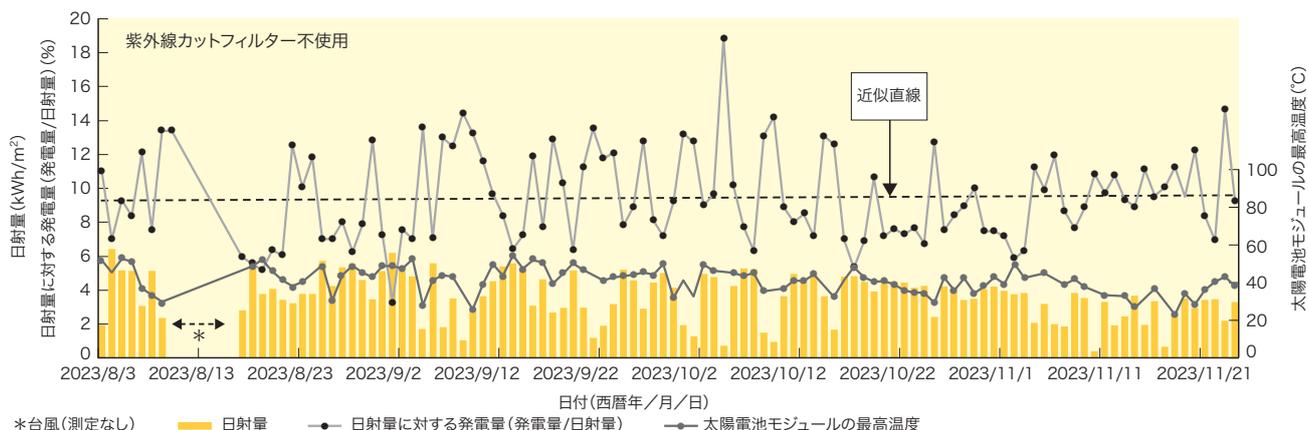
新たな配線接続方法は、モジュールを直線的に接続できるため、幅方向はモジュール幅分のスペースだけで施工可能である。現在、省スペース化、及び防塵(ぼうじん)・防水化を進めている。

東芝エネルギーシステムズ(株)

ペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池の長寿命化



2端子型タンデム太陽電池の模式図
Basic principle of two-terminal perovskite/silicon tandem solar cells



タンデム用シースルーペロブスカイト太陽電池の屋外運転試験の結果
Outdoor test of transparent perovskite solar cell for perovskite/silicon tandem solar cells

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、再エネである太陽電池への期待が高まっている。当社は、次世代太陽電池として、2端子ペロブスカイト／シリコンタンデム太陽電池（以下、タンデム太陽電池と略記）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。タンデム太陽電池は、高いPCEを生かし、従来の太陽電池を置き換えることで、国内の発電量の増強が期待されている。2023年に、PCEが27.5%に向上したことを報告済みである。

一方で、社会実装を実現するためには、シリコン太陽電池と同等の25年程度の寿命が望まれる。タンデム太陽電池では、ペロブスカイトに透明電極をスパッタ成膜する際に、ペロブスカイトにダメージが加わる特有の短寿命化の影響がある。

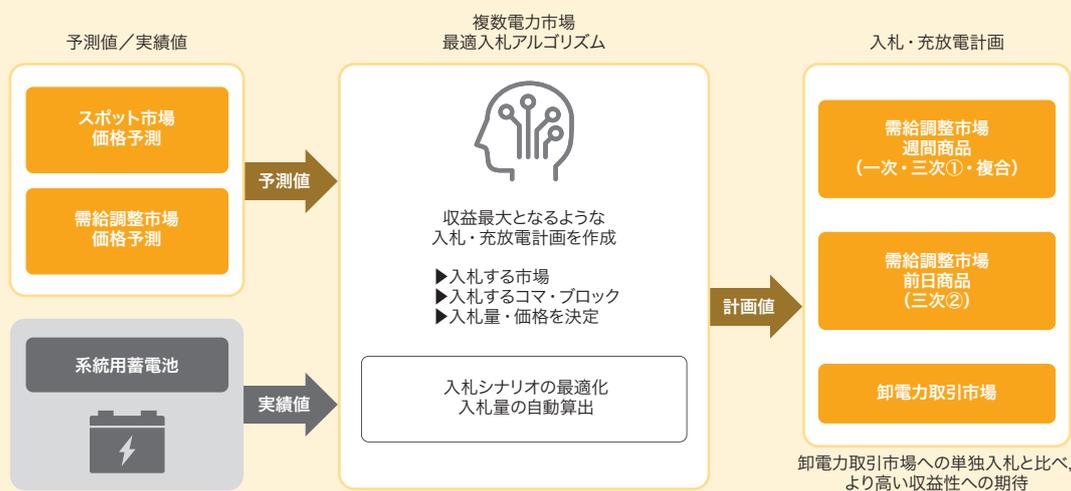
これを解決するために、ペロブスカイトにダメージを与えにくい透明電極成膜条件を適用することで、劣化の原因を抑える技術を開発している。2023年には、従来のタンデム太陽電池で、疑似太陽光を用いた1,000時間の試験を行い、劣化率10%以内の光安定性を確認した。

今回は、寿命のボトルネックであるトップセル部分を、正負両極が透明電極になるようにガラス基板上に成膜したシースルーペロブスカイト太陽電池を作製し、夏季を含む4か月間の屋外運転を行った。1日の日射量は0.39～6.44 kWh/m²、晴天時のモジュール温度は最高59℃に達した。面積当たりの1日の日射量に対する発電量を変換効率として、日射時間（日）と変換効率の関係の近似直線を求めた結果、傾きがほぼゼロであり、経時変化が少ないことが分かった。実環境に近い屋外運転で、タンデム太陽電池の先行研究を上回る安定動作を確認できた実績を元に、2024年9月に環境省の委託事業「令和6年度地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業」に採択された。

長寿命の高効率太陽電池の早期実用化のための開発を進め、再エネの導入拡大に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

系統用蓄電池向け 複数電力市場への最適入札支援機能



複数電力市場への最適入札支援機能の概要

Overview of support functions for optimal bidding in multiple electricity markets

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、天候の変化による発電量の予測外れや、急激な発電出力の変化などに対応するために、調整力の必要性が増している。調整力は主に火力発電所などが担っており、今後不足する懸念がある。その有効な対策として、系統用蓄電池の導入が進んでいる。

系統用蓄電池は、卸電力取引市場や需給調整市場などの複数電力市場の中で、収益性の高い市場と取り引きすることが重要となる。そこで、蓄電池の容量を考慮しながら各市場への入札計画の作成を支援するアルゴリズムを開発した。

このアルゴリズムは、当社独自の気象予測データや市場実績データに基づいて卸電力取引市場や需給調整市場の価格予測を実施し、この価格予測に基づく期待収益がより高い商品を選定して入札計画を導き出す。また、取り引きする商品によって異なる計画を作ることも特長であり、週間商品への入札では、運用者が設定した入札価格の上下限値の範囲で各商品の期待収益を比較することで、最適な入札価格を決定したり、指し値が設定された場合には約定確率などを考慮しながら最適な入札計画を導き出したりできる。

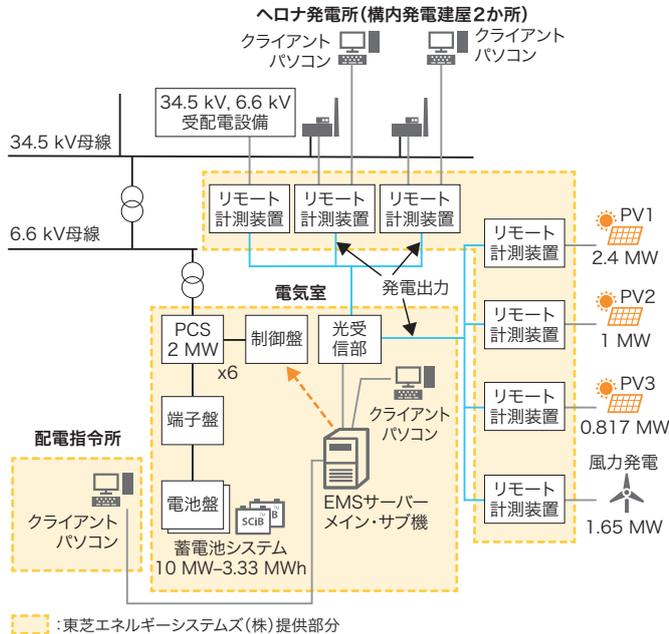
前日商品や卸電力取引市場への入札では、週間商品で利用している蓄電池の容量を考慮して、前日時点で利用できる容量に対して、期待収益が最大となるよう各市場への入札計画を最適に作成する。このアルゴリズムにより、系統用蓄電池を導入する事業者は、投資回収期間をより短くすることも可能となる。

開発したアルゴリズムは、複数電力市場への入札を支援する最適入札支援機能を構成要素として、VPP (Virtual Power Plant) システムへの搭載を完了した。

VPPシステムはクラウド上で実現されているため、制度変更など今後の様々な変化に対応したアルゴリズムに、容易に変更できる。

東芝エネルギーシステムズ(株)

JICA キューバプロジェクト 島嶼向け系統安定化システムの運用開始



EMS・蓄電池システムの概要

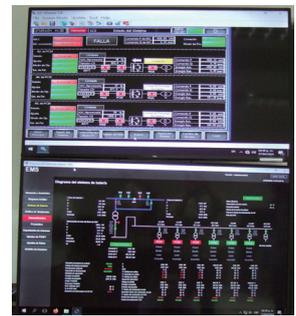
Overview of energy management system (EMS) and battery system at the Union Electrica (UNE) power plant on the Isle of Youth, Cuba



電気室と蓄電池コンテナ



電気室の蓄電池制御盤(手前)とEMSサーバー(奥)



配電指令所の蓄電池制御盤画面(上)とEMS監視操作画面(下)

外観

External view

当社は、JICA (独立行政法人 国際協力機構)「青年の島における電力供給改善計画」のプロジェクトにおいて、キューバ電力公社UNE (Union Electrica) が管轄する青年の島にあるヘロナ発電所の敷地内に、島嶼(とうしょ)向け系統安定化システムとして、EMS (エネルギー管理システム) 及び大型の蓄電池システムを納入した。現地調整試験でシステムの機能・性能を確認して、2024年4月に客先に引き渡しを完了し、運用が開始された。このプロジェクトは、日本政府とキューバ政府の経済協力の一環として、我が国の技術でキューバのエネルギー問題を解決することを目的としており、2国間の友好関係構築という意味でも極めて重要である。

EMSは、蓄電池システムの遠方監視操作機能、リモート計測装置を介した太陽光発電(PV)・風力発電の出力監視機能、天気予報データを使用したPV出力予測機能、 ΔF (周波数変動抑制)制御機能、及び発電機バックアップ機能を持つ。 ΔF 制御機能は、周波数が 60 ± 0.2 Hzから外れた場合に周波数の逸脱を戻すように蓄電池システムに有効電力指令を与える。発電機バックアップ機能は、発電機の出力が脱落した場合に蓄電池の出力で電力をバックアップする。

蓄電池システムは、2 MVAのPCS (Power Conditioning System) と東芝リチウムイオン二次電池SCiB™を搭載(45 Ahモジュール36直列)した蓄電池盤を多並列化した構成であり、定格出力10 MW-3.33 MWhである。この機器構成は、実案件として当社初である。コンテナパッケージに効率良くレイアウトし、省スペース、高出力、応答性に優れた蓄電池システムを実現している。蓄電池システムには、再エネの急峻な出力変動と逆方向の有効電力を出力して、系統の電力変動をなだらかにする ΔP (電力変動抑制)制御機能を実装した。

収めた系統安定化システムは、UNEとして初であり、2030年までに青年の島における総発電量の再エネ比率を5%から30%に引き上げる方針の実現に、貢献していく。

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号機の再稼働を達成



女川原子力発電所
Panoramic view of Onagawa Nuclear Power Plant
*写真提供はいずれも東北電力(株)



燃料装荷作業時の様子
Loading nuclear fuel into reactor



原子炉起動操作の様子
Reactor startup from main control room

当社は、東日本大震災後、女川原子力発電所2号機(定格出力82万5千kW)の安全対策の主要部分を担い工事を進めてきたが、その結果、2024年10月29日に原子炉の起動が行われ、11月15日から発電が開始された。沸騰水型原子炉としては震災後初の再稼働となった。

今回の13年半ぶりの起動にあたり、過去に発電所で発生した問題点の収集や、長期間停止した設備の影響及び新規基準で追加した設備の既存設備への影響の評価などを実施し、起動時に起こり得る事象を想定した。これら事象をプラントメーカーとして、また東北電力(株)の知見を加えて評価し、リスク低減策としてまとめ、必要な予防措置や対策を講じた。

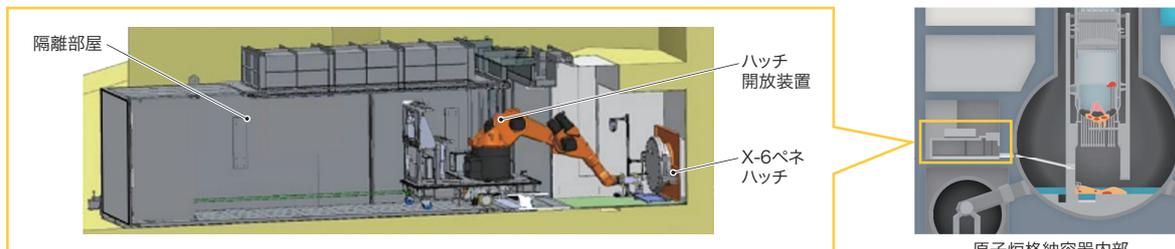
再稼働に向け、想定外のトラブルが発生した際も迅速に対応するため、各分野の専門家450名からなる支援体制を構築した。主要イベント(燃料装荷、原子炉圧力容器耐圧試験、格納容器漏えい検査、原子炉起動、タービン起動と発電機併入、電気出力増加時対応など)に関連した設計・工事・試験の専門家を編成し発電所に駐在させ、当社の本社や工場・協力会社には有識者や設計・調達の関係者からなる支援チームを整えた。また、原子炉起動以降はプラント運転に精通した東芝運転プラントサービス(TOPS)のメンバーが24時間中央制御室に常駐し、運転支援にあたった。

プラント起動時には出力制御装置や計装設備、タービンや発電機などの機器データを採取し、基準値や過去データと比較し、各種機器やプラント性能の健全性をタイムリーに設計評価した。

これらの各種支援策を通して、東北電力(株)とともに日々発生する諸課題を克服して主要イベントのマイルストーンを踏破し、当初の工程どおり、12月26日に営業運転開始を達成した。当社は、引き続き保守業務を担い女川原子力発電所2号機の安定運転に尽力していくとともに、継続して沸騰水型原子炉の再稼働に向けた工事及び起動支援に注力していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

福島第一原子力発電所2号機燃料デブリの試験的取り出しに向けたX-6ペネトレーションハッチ開放の完遂



ハッチ開放装置によるX-6ペネハッチ開放

Opening X-6 penetration hatch using hatch opening equipment for test removal of fuel debris from Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2



フランジ面清掃前後のX-6ペネハッチ（ハッチ蓋開放後）

X-6 penetration hatch with open cover (before and after flange surface cleaning)

福島第一原子力発電所2号機では原子炉格納容器（PCV）内部の詳細調査及び燃料デブリの試験的取り出しに向けて大口径のアクセスルートを確認するため、内径約600 mmのX-6ペネトレーションハッチ（以下、X-6ペネハッチと略記）の開放に必要な装置を開発し、現地作業を完遂した。

X-6ペネハッチを開放する装置には、ハッチ開放によってPCV内の放射性物質を外部に流出させないことや、高線量のハッチ近傍での人による直接作業が不要なことなどの機能が要求された。そこで、X-6ペネハッチ周囲を覆い気密性を維持するための隔離部屋や、隔離部屋内で、ハッチ蓋固定用ボルト・ナット全24本の締結解除、ハッチ蓋（質量約200 kg）の開放、及びフランジ面の清掃を遠隔で行うハッチ開放装置を開発した。ハッチ開放装置は自走式の搬送台車上にマニピュレーターを設け、その先端ツールを交換することで隔離部屋外からの遠隔操作による移動や複数の作業を可能とした。装置の開発では、工場でのモックアップ試験による設計検証と合わせて、作業員に対する作業前訓練を実施した上で、現地に適用した。

現地作業では、ボルト・ナット締結解除の際のボルトのかじりを想定し、ナットを切除してボルトを取り外す工法を適用したが、震災の影響やそれ以降の経年変化によりナット切除だけでは外れないボルトが複数確認された。このため、固着部を切削することでボルトを取り外すドリルツールを新たに開発し、全ボルトを撤去した。また、フランジ面の清掃において、異物の付着を想定し準備していたレーザー清掃装置及びパフツールの二つによる工法では、強固に固着した異物をその後の作業への影響をなくす状態まで除去できなかったため、異物の剥離に有効なタガネツールによる作業を追加することで、要求されるフランジ面性状を達成した。

今回得られた現場経験を、今後の調査やデブリ取り出しに活用し、福島第一原子力発電所の廃炉活動に貢献していく。

（注）ここに記載した内容は、経済産業省の「廃炉・汚染水対策事業費補助金」により得られた成果を含んでおり、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）の一員として実施した。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 島根原子力発電所2号機ブローアウトパネル閉止装置の設置工事の完了



ブローアウトパネル閉止装置
Blowout panel shutter installed at Shimane Nuclear Power Plant Unit 2

原子力発電所再稼働に向けた新規規制対応として、運転員の被ばくリスク低減を目的とした、建屋ブローアウトパネル開放後のバウンダリー再構築のための閉止装置の設置が必要となる。今回、中国電力(株)島根原子力発電所2号機にて、当社としては初の対応となる当該装置を2023年8月に設置完了した。

設計条件として客先購入品の海外製ガンパーを導入する必要があり、我が国の規制に不慣れな海外ベンダーと調整し、耐震性検証、顧客の工事計画認可対応、要求機能の整理の支援を実施した。

電路施工においては、海外ベンダーを含む複数社の設備との複雑な取り合いの調整を図りつつ、施工を完了させた。

更に、当社所掌外の発電所であることに起因した、施工管理ルールの習熟、他社既設設備の可動範囲も含めた干渉物の理解、構内企業の管理、作業員の確保などの様々な課題を、顧客を含む関係者全員で克服し、要求期間内の工事完了を達成した。

今回培った経験を基に、今後、国内のほかの原子力発電所にも適用範囲を拡大し、再稼働・新規建設の推進に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ UAE バラカ原子力発電所4号機の営業運転開始



バラカ原子力発電所
Overview of Barakah Nuclear Power Plant, UAE

当社と斗山エナビリティ社が蒸気タービン・発電機及び付属設備の設計・製造を担当したアラブ首長国連邦(UAE)のアラブ首長国原子力会社(ENEC)バラカ原子力発電所4号機が2024年9月に営業運転を開始した。

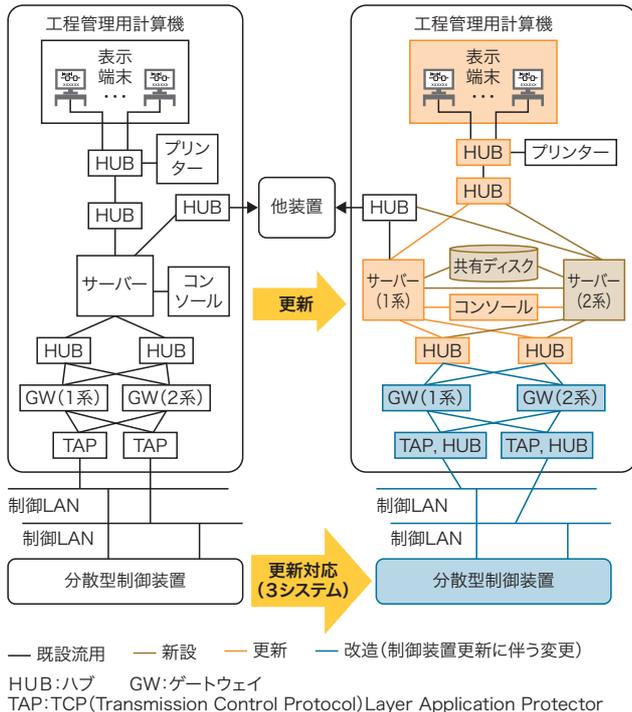
バラカ原子力発電所は、韓国電力公社(KEPCO)をEPC(設計、調達、建設)の主契約者として韓国製の140万kW級加圧水型原子炉APR1400を4基建設するもので、年間約10T(テラ: 10^{12})Whの電力を供給する。当社はタービン・発電機系機器を担当する斗山エナビリティとともに低圧最終段翼長52インチタービン・発電機を納入した。

2021年4月の1号機の営業運転に始まり、今回の4号機の営業運転開始により、バラカ原子力発電所の全4基が稼働した。この4基によりUAEの電力需要量の約25%に相当する電力が供給され、UAEの基幹電源として、エネルギーセキュリティ及び脱炭素に大きく貢献している。

当社は、今後も海外原子力発電所向けの主要機器の供給事業を継続し、電力の安全・安定供給と環境負荷低減の両立に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 再処理工場システムの信頼性向上に寄与する工程管理用計算機更新



更新前後における工程管理用計算機のシステム構成の比較
Configurations of previous and retrofitted process control computers at Rokkasho Reprocessing Plant

日本原燃(株)再処理工場の工程管理用計算機は、建設当初より全10システムのうちの一部を除いてサーバーは単一構成であったが、運用を通じて重要性が高まったことから、2017年度からの7年間で、稼働率向上を目的に全システムのサーバーを二重化構成に更新し、信頼性の向上を図った。

二重化構成の構築には、運転に伴い発生する各種データを稼働系機器と待機系機器の系統切り替え時に正確に引き継げるように、共有ディスク(ディスクアレイ装置)を用いたホットスタンバイ方式を採用した。また、監視周期と並列処理の最適化により、系切り替え発生時のプロセスデータ伝送再開までの所要時間を従来の数分から十数秒程度まで短縮した。

更に、障害発生時や定期点検などの共有ディスク停止時においても、運転データ他装置への伝送を継続する機能(優先モード)を新たに設けるとともに、情報喪失リスク回避のため、プロセスデータの伝送欠測時間を30秒以内とすることで伝送欠測を低減した。また、分散型制御装置から収集するプロセスデータの伝送周期を従来の2秒から1秒に短縮させることで、より高精度なデータ管理も実現した。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ J-PARC COMET 実験用超伝導ディテクターソレノイド電磁石の出荷完了



DSコイル
COMET detector solenoid superconducting magnet

COMET (Coherent Muon to Electron Transition) 実験は、ミュオンを使って新しい物理法則の発見を目指す国際共同実験である。茨城県東海村にあるJ-PARC(大強度陽子加速器施設)のパルスミュオンビームを利用し、当該ビームラインの出口に検出器として超伝導ディテクターソレノイド電磁石(以下、DSコイルと略記)を設置して行われる。DSコイルは、検出器に1T(テスラ)のソレノイド磁場を印加することで電子の運動量を測るスペクトルメーターとしての役割を果たす。

当社は、2015年からDSコイル製造に携わり、2024年9月に出荷を完了した。DSコイルは14個のコイルで構成されており、真空ポア部の直径は1.8m、長さは3.3mであり、液体ヘリウムを使用しない、小型冷凍機直冷型超伝導磁石として、世界最大サイズ^(注)である。

今後も、大型超伝導磁石の開発を通じて素粒子物理学の発展に貢献していく。

(注) 2024年10月現在、液体ヘリウムを使用しない小型冷凍機直冷型超伝導磁石として、当社調べ。

東芝エネルギーシステムズ(株)

環境配慮型サイクル媒体を用いた 低温排熱回収バイナリー発電機の100 kW級実証試験の完了



100 kW級バイナリー発電実証試験機
100 kW-class binary-cycle power generation test unit

一般的に産業・発電の分野では、プロセスに投入された熱エネルギーのうち、低温となったものは利用しきれずに、未利用熱として存在する。持続可能なカーボンニュートラル社会の実現には、この未利用熱を有効利用することが重要となる。日本国内では、200℃以上の未利用熱は省エネ努力により減少しているが、200℃未満の未利用熱はほとんど手付かずである。

そこで当社は、150℃未満の未利用熱を効率的に電気エネルギーへ変換するバイナリー発電機を開発し、100 kW級試験機での実証試験を完了した。この発電機は、産業プロセス・発電プラントの排出ガス・蒸気・温水や、地熱から排出される低温蒸気・温水など、多種多様な低温の未利用熱を想定し、当社のCO₂(二酸化炭素)分離回収技術を応用して、CO₂を含んだアミン水溶液をサイクル媒体とする。

アミン水溶液は、温暖化係数が小さくてオゾン層保護法の規制対象外の持続可能な物質であり、かつ非引火性で取り扱いが容易で、長期間にわたり安全に運用が可能である。低温でCO₂を吸収し、高温でCO₂を放出するアミン水溶液を、閉サイクル内で循環させることが発電サイクルの特徴である。アミン水溶液のCO₂放出時における吸熱反応を活用し、低温熱源から高い熱回収量を実現させることにより、既存技術(有機ランキンサイクル)に対して同一熱源条件で、発電出力が10%以上優位であった。100 kW級試験機の実証試験では、発電システムの最適化と、安全かつ安定した運転方法を確立した。

今後、得られた知見を反映した100 kW級商用機的设计・社会実装により、この技術の普及を推進する。また、将来的には大容量化に取り組み、低温未利用熱の更なる有効活用の拡大を目指し、省エネに貢献する。

この成果は、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)の助成事業「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム」(JPNP21005)の「アミン-CO₂サイクルを使った発電機の開発」(学校法人 早稲田大学との共同実施)で得られたものである。

東芝エネルギーシステムズ(株)

海外火力発電所を建設するEPC事業の工事完了



ベトナム バンフォン1発電所1, 2号機
Van Phong Thermal Power Plant Units 1 and 2, Vietnam



バングラデシュ マタバリ発電所1, 2号機
Matarbari Power Plant Units 1 and 2, Bangladesh

超臨界圧火力発電所であるベトナム バンフォン1発電所1, 2号機は2023年10月, 2024年1月に, 超々臨界圧火力発電所であるバングラデシュ マタバリ発電所1, 2号機は2023年12月, 2024年7月に, 工事を完了し, 商業運転が開始された。

当社は, 各発電所ともにタービンアイランド(蒸気タービン, 発電機など)を担当し, 高反動翼設計を適用した高性能タービンの採用などで高効率化を実現し, CO₂排出量の抑制に貢献している。

バンフォン1発電所は, 当社初のベトナムEPC(設計, 調達, 建設)事業で, IPP(独立系発電事業者)オーナーの住友商事(株)から4社のコンソーシアムで受注した。当社は, コンソーシアムのリーダーとして, ベトナムの法規制に基づく官庁許認可の取得や監査対応も遂行した。また, IPPオーナーには, CMMS(コンピューター化保守管理システム)を提供し, プラント情報を活用した設備運営や保守サポートを行っている。更に, 機械エンジニアリングの海外アウトソーシング活用を採用し, 設計・品質管理の面で据え付け・試運転時に労力は要したが, 無事に工事を完了した。

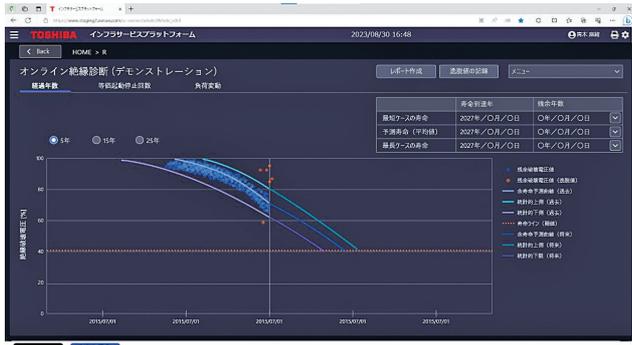
マタバリ発電所は, 先行機での高圧蒸気タービン排気温度上昇を防止するという課題に対し, 新設計の高圧タービン排気エバキュエーション系統で対策し, 試運転までを通して, 効果を検証できた。また, PADOと呼ばれるオンラインのプラント性能分析・異常検知システムを導入し, プラント安定運転の実現を図った。

各発電所とも, 新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響のため入国制限措置や水際対策が取られるなど事業遂行に困難は生じたが, 影響を最小に抑えることができた。エンジニアリングでは, リモートシステムの積極的活用や, 第三者機関を活用したベンダー工場立ち合いなどの代替方法を模索し, 据え付け・試運転では, 感染症対策の徹底及び火力事業移管先の東芝プラントシステム(株)と一体になった合理的体制の構築で, 建設・試運転を完遂した。

今後, これら運転開始済みの火力発電所で, DX(デジタルトランスフォーメーション)を活用した設備運用効率の向上, 脱炭素化の推進に取り組んでいく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

IoTアプリケーションによる発電機異常予兆診断のPoC開始



IoTアプリによる発電機固定子オンライン絶縁診断の評価画面の例
Screenshot of Toshiba Internet of Things (IoT) application for online generator stator insulation diagnosis

再生可能エネルギーの普及によって、火力発電所の運用は調整用電源へと変化しており、発電機の出力変動による経年劣化の加速や運転中の故障リスクの上昇が懸念される。

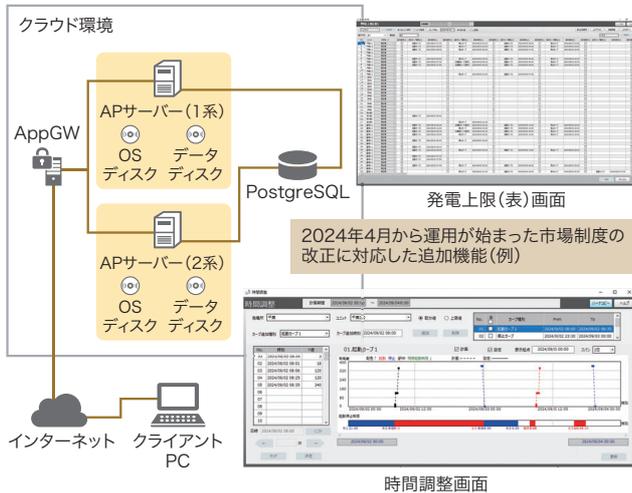
そこで当社は、当社のIoT (Internet of Things) アプリケーション (以下、IoTアプリと略記) を用いた発電機の異常予兆診断として、発電機固定子オンライン絶縁診断の部分放電モニタリングシステムの検出装置を製品化し、初めて中国電力 (株) 新小野田発電所1号機に導入して概念実証 (PoC: Proof of Concept) を開始した。

運転データは、メモリーカードによるデータ授受とし、IoTアプリに入力して、発電機固定子コイル絶縁劣化の予兆診断評価を行う。このアプリの評価画面の例を図に示す。

IoTアプリの発電機異常予兆診断では、上記以外に、ローターの異常検出や、クーラーの性能劣化予測、コレクターの火花監視などを準備している。今後、オンラインによるデータ授受を含め、顧客ニーズに応じたメニューを提供していく。

東芝エネルギーシステムズ (株)

(株) JERA 納入クラウド版最経済運用システムの実運用開始



AppGW: アプリケーションゲートウェイ
AP: アプリケーション
OS: 基本ソフトウェア
PC: パソコン

(株) JERA 納入クラウド版最経済運用システムの構成
Configuration of cloud thermal operation planning system for JERA Co., Inc.

最経済運用システムは、オンプレミス版システムを (株) JERA に納入し、運用されてきた。2024年4月の発電販売計画・需給調整市場の制度改正に基づく新たな運用の開始に対応した機能を追加し、かつクラウド上で24時間365日稼働できる高可用性システムとして再構築したクラウド版システムをリリースし、(株) JERA に納入して実運用を開始した。

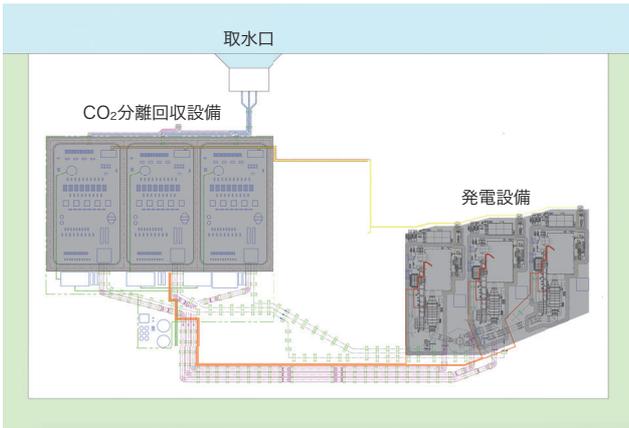
このシステムは、(株) JERA の東日本エリアの全火力発電所への電力需要に対し、各発電所の運用制約条件を全て満たした上で、全体の燃料費を最小に抑えて最も経済的に運用するための高機能最適化ソフトウェアである。また、各発電所の起動・停止・出力変化タイミングを算出する世界最大規模の最適化問題の解を、実運用時間内に算出可能である。

このシステムを顧客のクラウド環境で初めて実現したことにより、計算規模に応じたスケーラビリティの確保と、制度改正などによる機能追加・変更の要請に応じたソフトウェア改修でのメンテナンス性向上を実現した。

今後、(株) JERA の西日本エリアへの適用に加え、他の電力会社にも展開する。

東芝エネルギーシステムズ (株)

■ 大規模 CO₂ 分離回収設備のFS 推進



CO₂ 分離回収設備を発電所に追設するプラントレイアウト
Layout of plant with CO₂ capture facility

CO₂ 分離回収では、吸収液から CO₂ を解離させる際に大量の熱エネルギーを使用する。発電所に設置された場合、熱源に発電所の蒸気を利用できる。

当社は、バイオマス発電所から CO₂ 約 600 t/日の回収設備で建設・運転実績がある。更に大規模な CO₂ 回収の顧客への提供に向け、国内の天然ガスコンバインドサイクル発電所から CO₂ 約 14,000 t/日を低エネルギーで回収する大規模設備のFS（フィジビリティスタディー）を実施し、実現可能と確認した。

当社の蒸気タービンサプライヤーとしての知見から、発電出力の低下を最小限に抑える抽気点を選定した。また、排ガスの一部を再循環させて設備入り口での CO₂ 濃度を高める技術の採用で一層効率良く CO₂ を回収できること、及び低 CO₂ 濃度域で従来より回収エネルギーが低い吸収液の適用により低エネルギーで回収可能なことも確認できた。

大規模火力発電所へのアドオンを含む複数FSを遂行中で、今回の成果も生かし、カーボンニュートラルに貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ オーストラリア カライド発電所 C4 号機の大型改修プロジェクト工事完了



事故発生直後のカライド発電所 C4 号機タービン及び発電機
Turbine and generator at Callide Power Station Unit C4, Australia immediately after incident

オーストラリアのカライド発電所 C4 号機で、2021 年 5 月に電源喪失によるタービン保護システムの機能不全から、タービン及び発電機が大きな損傷を受けて修復困難な状態となった。当社は、大型改修プロジェクトとして、タービン及び発電機の新規製作・供給を行って 2023 年 6 月に据付工事を完了し、2024 年 8 月に営業運転が再開された。

復旧対応では多くの技術課題もあったが、東芝インターナショナル・オーストラリア社との緊密な連携と当社の豊富な経験を生かしてタービンと発電機を短納期で供給し、円滑に据え付け・試運転を完了できた。

また、タービンは、最新技術を用いて信頼性を向上させ、高性能な翼列とシール技術によって効率を高めたことで、CO₂ の排出削減にも貢献している。

プロジェクトの成功で、顧客ニーズに的確に答えて短納期で対応できる能力を示せた結果、顧客の信頼を得て、隣接する 3 号機の発電機補修プロジェクトを受注した。今後もオーストラリアの電力安定供給に貢献していく。



更新後のカライド発電所 C4 号機タービン及び発電機
Upgraded turbine and generator at Callide Power Station Unit C4

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 五井火力発電所 EPC 事業における土木建築工事完了



1号タービン・電気制御建屋
Goi Thermal Power Station Unit 1 turbine and control building



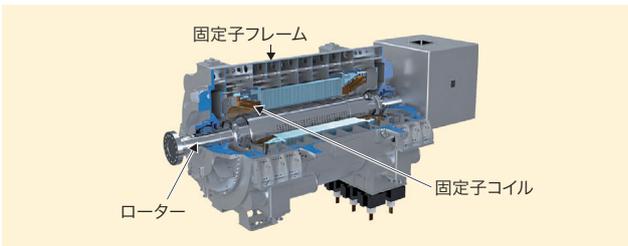
サービスビル
Service building

2024年8月に1号機の営業運転が開始された五井火力発電所の建設工事は、当社が東芝プラントシステム(株)とのJV(ジョイントベンチャー)として共同で、発電設備だけでなく土木建築設備まで一式をEPC事業で受注した最新鋭のコンバインドサイクル火力発電設備である。土木建築工事は、当社が設計施工元請けとなる国内火力発電所としては最大規模であり、2024年7月末に全土木設備の納入、8月には全ての建築完了検査を予定どおり完了した。

土木建築込み元請け事業の価値最大化を目指し、発電設備配置・建屋計画では土木建築工事工程の最適化と、工期短縮に向けた施策を施し、発電設備計画との協調により設計後戻りを抑止した。また、2号機・3号機を含めた発電所全体のデザインコンセプトを策定し、3台の発電設備で構成される発電所の機能性、意匠性の向上を図った。工事に際しては一部、顧客による既設発電所除却工事と当社の新設工事が並行したが、関係者間の綿密な調整、当社JVによる一貫した工事事質・安全管理により、遅れなく推進できた。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ フィリピン カラカ発電所2号機で発電機交換の工事完遂



一般的な蒸気タービン発電機の構造
Typical steam turbine generator structure

フィリピン カラカ発電所は、同国の電力供給において重要な役割を担っている。1995年に運転開始の他社製2号機の発電機は、2020年に一式更新されたが、2度の地絡事故の発生に加え、振動問題があり、定格に対して6割程度の出力しか得られず、顧客から再更新を希望されていた。

当社は、顧客保管中の旧発電機の固定子コイル巻き替え・再利用という競合他社に対して納期・コスト面で優位な提案をして受注し、2024年5月に工事を完遂した。

他社製のため、詳細図面・素材・寸法などの情報が限られ、固定子コイル巻き替え後の旧発電機への交換作業を顧客と当社で分担する中、担当作業の受け渡しが12回発生し、工程遅延につながりやすい作業状況であった。そのため、顧客作業も遅滞がないよう積極的に注意喚起して現地工程の工期を守った。これには、経験豊富な当社京浜事業所技術者の協力確保など、これまでに培った経験を生かした社内・現地体制の構築が大きく寄与した。交換工事後、発電出力は定格の300 MWへ向上し、安定して運転できている。



固定子コイル巻き替え後の旧発電機固定子のつり込み作業
Hoisting old generator stator onto foundation after stator coil rewinding at Calaca Power Station Unit 2, Philippines

東芝エネルギーシステムズ(株)

中国 浙江寧海揚水発電所 新設工事



浙江寧海揚水発電所の全景
Ninghai Pumped-Storage Power Station, China



回転子のつり込み
Rotor installation

中国 浙江寧海揚水発電所のポンプ水車・発電電動機設備の初号機、2号機、3号機の新設工事が完了し、それぞれ、2024年10月、2024年12月、2025年1月に営業運転が始まった。

この発電所は、浙江省の省都である杭州市から約220 km東南に位置する、単機出力350 MWの設備4台、総出力1,400 MWの揚水発電所である。中国政府は、2060年までにカーボンニュートラル実現を目標とするエネルギー政策を掲げ、再生可能エネルギーへの移行を進めている。この中で、特に揚水発電所は調整力の観点からも建設が多数計画されており、そのうちのひとつとして建設された。

東芝水力発電設備（杭州）有限公司（THPC）は、2021年2月にこの発電所への水力発電設備の納入を受注した。THPCの揚水機の受注は、2016年に営業運転が開始された広東省の清遠揚水発電所に続く、中国国内揚水案件の2例目であり、揚水機としての最大容量となる。

ポンプ水車・発電電動機的设计・製造は、当社支援の下、全てTHPCで実施し、ポンプ水車性能模型開発を当社が実施した。ランナは長翼と短翼を組み合わせたスプリッターランナを採用し、水圧脈動の低減、及び部分負荷領域でも振動の少ない安定した運転を実現した。また、発電電動機の回転子には、組立性、及び剛性・強度の向上のために、厚板リム構造を採用した。

最終の4号機は、2025年5月に営業運転開始の予定である。

ポンプ水車と発電電動機の定格は、次のとおりである。

- ・ポンプ水車：351.7 MW, 459/507.6 m, 428.6 min⁻¹
- ・発電電動機：388.9 MVA, 384 MW, 18 kV, 428.6 min⁻¹, 50 Hz

■ 電源開発(株)長山発電所2号機一括更新工事 主要設備の納入及び発電機組立工事完了



発電機の全景
Generator at Electric Power Development Co., Ltd. Nagayama Hydropower Station Unit 2



回転子のつり込み
Installation of generator rotor

電源開発(株)長山発電所は1960年の運転開始から60年以上が経過し、機器の老朽化が進んでいた。長山発電所2号機の一括更新工事に際して、当社は、水車や、発電機、制御装置などの主要設備を納入するとともに、発電機の現地組み立てを担当し、2024年10月に一括更新工事が完了した。

既設埋設部を流用するという制約の中で、模型試験を実施し、流れ解析で最適な流路形状を開発し、T-Blade™ランナを適用することで、水車出力を20 MWから22.1 MWに増加・性能向上させた。また、ガイドベーンハイブリッド制御システムや水潤滑水車軸受を採用することで油量低減を図った。更に、発電機には、運転中に固定子コイル絶縁診断を実施できるIRIS社製の部分放電測定装置を採用した。主要設備と定格を次に示す。

- ・水車：22.1 MW, 115.755 m, 360 min⁻¹
- ・発電機：24.1 MVA, 11 kV, 360 min⁻¹, 60 Hz, 力率0.9
- ・制御装置：调速機・励磁制御盤、監視制御盤
- ・付属装置：主回路IPB (Isolated Phase Bus), 直流電源装置, 部分放電測定装置

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 電源開発(株)尾上郷発電所 一括更新工事向け主要設備の納入



発電機の回転子つり込み
Installation of generator rotor at Electric Power Development Co., Ltd. Ogamigo Hydropower Station

電源開発(株)尾上郷発電所は、1971年の運転開始から50年以上が経過して機器の老朽化が進んでいたため、一括更新工事が行われ、2024年12月に完了した。当社は、水車・発電機・制御装置などの主要設備を納入した。

水車ランナとガイドベーンは、流れ解析を駆使して最適な流路形状を開発し、T-Blade™ランナを適用することで、水車出力を21.2 MWから21.8 MWに増加・性能向上させた。また、電動サーボシステムや水潤滑水車軸受を採用することで、オイルレス化・メンテナンス省力化を図った。既設機は他社製であり、水車埋設部や発電機基礎は既存設備の流用など多くの制約があったものの、既設機分解後の現地寸法測定や、それに基づいた既設流用部品と新規部品の機械加工値の決定、それぞれの機械加工の最短かつタイムリーな実施などの施策を取り入れることで、限定された工期内(豪雪を避けて5~12月上旬に実施)に完了させることができた。設備及び主機の定格を次に示す。

- ・水車：21.8 MW, 198.5 m, 12.1 m³/s, 600 min⁻¹
- ・発電機：23.7 MVA, 6.6 kV, 600 min⁻¹, 60 Hz, 力率0.9
- ・制御装置：调速機・励磁制御盤、軸振動監視盤

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ ホンジュラス カニャベラル発電所用改修用品の工場製造完成



水車ランナ
Turbine runner upgrade
at Canaveral Hydropower
Station, Honduras



ハイブリッドサーボモーター
Hybrid servomotor

ホンジュラス カニャベラル発電所の大規模改修に使用する、2台分の水車・入口弁・制御装置の工場製造が、2024年9月に完成した。この発電所は、1964年の運転開始から60年が経過し、設備の老朽化の兆候が見られることから、設備の近代化と長期運用を目的に大規模改修を実施することになった。

水車は、既存の埋設部以外の用品一式を新たに製作し、ランナの流れ解析による性能向上、及び従来比で12%の出力アップを図った。ガイドベーン操作機構は、ハイブリッドサーボシステムを採用し、保守の省力化と圧油装置レス化を実現した。発電機は、前回コイル更新を実施済みのため、今回は軸受とエアクーラーを更新する。

現地改修工事は2025年12月に開始し、2027年3月に完了の予定である。

更新後の水車と発電機の定格は、次のとおりである。

水車：16,500 kW, 145 m, 514 min⁻¹ 2台

発電機：17,000 kVA, 13.8 kV, 60 Hz, 力率0.95 2台

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ セルビア バйнаバシュタ揚水発電所1号機 改修工事の完了



発電ユニットにつり込み中のポンプ水車ランナ
Installation of Unit 1 pump-turbine runner at Bajina Basta Pumped
Storage Hydropower Plant, Serbia

セルビア バйнаバシュタ揚水発電所1号機の改修工事並びに現地試験が2025年1月に完了し、営業運転が再開された。

この発電所は、総出力620 MW (310 MW×2台)の揚水発電所である。これは、セルビア電力産業公社 (EPS) が所有する発電設備の総出力の約8%を占め、セルビア国内のピーク需要に対応する重要な役割を担っている。また、揚程614 mは、1982年の運転開始当時、単段ポンプ水車として世界最高を誇った。運転開始から42年が経過し、2003年に次ぐ2回目の改修工事が必要になった。

工事では、消耗部品を交換して設備の延命を図るとともに、ランナ及びガイドベーンに最新設計技術を適用することで、ポンプ及び水車の運転効率を約1%向上させた。

2号機の改修工事は、2025年3月から実施の予定である。

発電ユニットを構成する主機の定格は、次のとおりである。

・ポンプ水車：296/314 MW, 614/610 m, 428.6 min⁻¹

・発電電動機：315 MVA/310 MW, 11 kV, 50 Hz,

428.6 min⁻¹

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 中部電力（株）二股発電所 一式更新の完了



水車本体
Hydroelectric equipment for Chubu Electric Company, Inc. Futamata Hydroelectric Power Station



入口弁
Inlet valve

中部電力（株）二股発電所の水車・発電機及び付属装置更新工事を行い、2023年12月に全2台の営業運転が開始され、2024年1月に工事が完了した。

この工事は、2019年6月に（株）明電舎と共同で受注したもので、当社は水車機器の設計・製造を担当した。

水車は、T-Blade™ランナを採用し、過去の流況において発生電力量が最大となるように設計した。横軸機は、ケーシング入口短管が異例の長さであったが、スピードリング・側板・入口短管を一体で輸送、搬入、据え付けできるように、設計及び輸送荷姿を工夫し、現地作業を簡略化した。ガイドベーンサーボモーター、入口弁、及び側路弁を全て電動化することにより、設備の簡素化や保守の省力化を図った。

更新後の水車の定格は、次のとおりである。

- ・水車：横軸フランシス水車2台
 - 1号機：3,588 kW, 160.40 m, 720 min⁻¹
 - 2号機：3,583 kW, 160.35 m, 720 min⁻¹

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 東北電力（株）大所川第二発電所 水車・発電機改修工事完了



水車水潤滑軸受組立
Water-lubricated water turbine bearing assembly at Tohoku Electric Power Co. Inc. Odokorogawa No.2 Water Power Station



発電機上部軸受組立
Generator upper bearing assembly

東北電力（株）大所川第二発電所の水車・発電機改修工事が完了し、2024年12月に営業運転が始まった。この発電所は、大型の立軸4射ペルトン水車で、1958年の運転開始から60年以上が経過しており、定期的に改修工事が行われてきた。

今回の改修工事では、水車の油潤滑式軸受を水潤滑軸受に改造し、また、発電機の油圧式ブレーキを電磁ブレーキに更新することで、環境へ配慮したオイルレス化を実現した。更に、発電機の上部軸受及び下部軸受を水冷式から空冷式へ改造して冷却水レス化し、補機を削減して保守性を向上させた。2008年に納入した既設励磁制御盤は主要部品が廃型となったため、現行標準型の励磁制御盤に更新した。

大所川第二発電所は、積雪により冬期は発電所に入れないため、2023年6月に現地分解作業を開始し、10月に工場で修理する部品を搬出した。冬期に工場で修理を行った後、2024年5月に現地組立作業を再開し、予定どおり2024年12月に工事完了した。水車と発電機の定格は、次のとおりである。

- ・水車：26,500 kW, 318.150 m, 333 min⁻¹
- ・発電機：32,000 kVA, 11 kV, 50 Hz

東芝エネルギーシステムズ（株）

系統安定度向上に貢献する新形 STATCOM の初号器納入



四国電力送配電（株）中村変電所に設置された STATCOM

STATCOM at Shikoku Electric Power Transmission & Distribution Company, Inc. Nakamura Substation (view inside valve hall)

再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）の導入による電力系統の送電量増加や送電方向（潮流）の変化に対応可能な、電力系統安定化の方策が求められている。このような課題に対し、STATCOM（Static Synchronous Compensator）は、系統電圧の変動を瞬時に抑制することで系統安定度向上に寄与できる。当社は、新形の MMC（Modular Multilevel Converter）方式の STATCOM を開発し、2024 年 8 月に四国電力送配電（株）中村変電所に初納入した。STATCOM の系統接続電圧は 66 kV、無効電力の出力範囲は ± 40 Mvar である。

この変電所では限られた敷地スペースに設置する必要があるため、STATCOM 用変圧器の結線を工夫することでアームリアクトルを省略し、省スペースな機器配置を実現した。また、大容量かつ低損失な当社独自の半導体素子 IEGT（Injection Enhanced Gate Transistor）や電力系統の安定度を向上する PSS（Power System Stabilizer）制御を採用したことに加え、中村変電所に併設された電力用コンデンサーとの協調運転制御も対応可能という特長を備えている。運用開始に先立ち、開発した STATCOM を電力系統に接続して各種試験を実施し、適切な制御により電力系統の安定度が向上することを確認した。

再エネや新たな電力需要の増加に伴って電力系統が変化中、系統安定化の需要は一層高まることが予想される。当社は、今回開発した新形 STATCOM の活用で、電力レジリエンスの強化並びに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）

中国電力ネットワーク(株) 基幹系統合型レジリエンスシステムの運用開始



制御用計算機
Control computer at Chugoku Electric Power Transmission & Distribution Co., Inc.



親局装置(デジタルリレー)
Master station (digital protective relays)

2018年9月の北海道胆振東部地震に伴う北海道エリアの全域停電以降、電力システムのレジリエンス強化が求められており、国の審議会^(注1)で、基幹送電線4回線同時事故(N-4事故)時に大規模停電に至るリスクに対しても、対策を実施することが決定された。一方、周波数低下時に太陽光発電や自家発電などが不必要に解列することで、想定以上に周波数が低下するリスクが顕在化しており、周波数維持に対するレジリエンス強化も求められている。

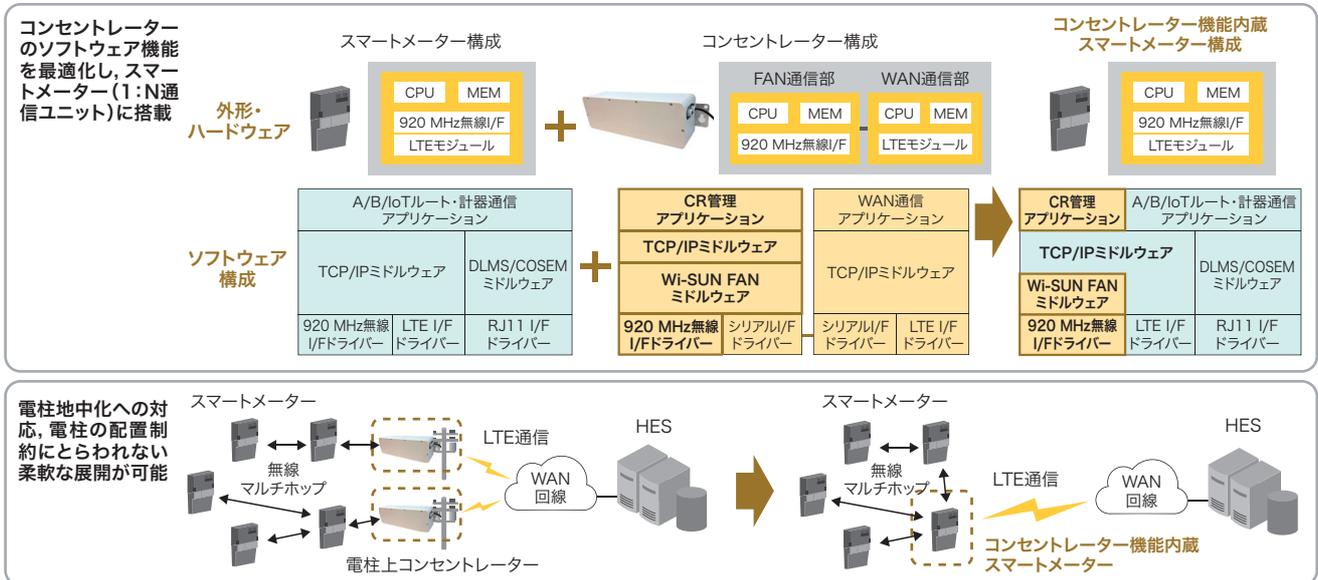
そこで当社は、中国エリアにおける同期安定度の改善、過負荷の抑制、周波数の維持及び電圧の安定性向上の複数課題に対し、電力システムの安定化を実現する基幹系統合型レジリエンスシステム(IRS: Integrated Resilience System)を開発した。基幹系IRSは、制御用計算機と、デジタルリレーである親局装置、事故検出端末、系統制御端末、電源制御端末、揚水制御端末、及び負荷制御端末で構成され、主にN-4事故時の同期安定度対策、及び周波数対策の機能を備えている。N-4事故時の同期安定度対策機能は、制御用計算機にてオンラインデータを基に定周期(最短30秒)で同期安定度計算(1,000ケース程度)を行い、想定事故発生時の最適制御量(制御テーブル)を親局装置に伝送する。事故検出端末にて事故発生を検出すると、制御テーブルに基づき親局装置から各制御端末へ制御指令を出力する。制御対象は、中国エリア内の電源(電源線を含む)、揚水機及び地域間連系線(関門連系線)である。周波数対策機能は、親局装置にて事前演算を行い、電源脱落や地域間連系線分離などにより周波数が異常に低下又は上昇した場合に、中国エリア内の揚水動力、負荷回線及び電源(電源線を含む)を遮断して周波数を許容値以内に維持する、又は一部系統を分離して中国エリア全域停電を回避する。

基幹系IRSは、エリア全域を対象としたN-4事故に対応可能な国内初^(注2)のシステムとして2024年3月に運用を開始し、中国エリアの電力システムのレジリエンス向上に寄与している。

(注1) 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会

(注2) 2024年3月時点、エリア全域を対象とした基幹送電線2回線同時事故(N-2事故)を超えるオンライン事前演算型系統安定化装置として、当社調べ。

コンセントレーター機能内蔵スマートメーターによる新通信方式



MEM:メモリー I/F:インターフェース IoT:Internet of Things TCP/IP:Transmission Control Protocol/Internet Protocol
 DLMS/COSEM:Device Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering RJ11:Registered Jack 11
 CR管理:コンセントレーター管理 WAN:Wide Area Network

コンセントレーター機能内蔵スマートメーターを用いた通信方式 Smart metering solution with built-in concentrator function

LTE (Long Term Evolution) 通信方式のAルート^(注)通信機能に対応したスマートメーターユニットに、無線マルチホップ通信方式のコンセントレーター機能を内蔵させて行う通信方式を開発し、試作機によりその実現性を確認した。

従来のスマートメーターシステムでは、電柱上に設置したコンセントレーター装置が、無線マルチホップネットワークを構成するスマートメーター群を収容し、携帯電話回線などの広域通信網を使用してHES (Head End System) との通信を中継していた。今回開発した通信方式では、LTE通信方式に対応したスマートメーターが、内蔵したコンセントレーター機能によって無線マルチホップ方式のスマートメーター群を収容し、HESとの通信を中継する。コンセントレーター機能の試作開発では、無線マルチホップ通信機能を実装した自社製Wi-SUN FAN (Wireless Smart Utility Network for Field Area Network) ミドルウェアをコンセントレーター用に最適化し、スマートメーターユニットの標準的なハードウェア資源で実現可能な水準に到達できることを確認した。コンセントレーター装置は電柱などへの設置工事を必要としてきたが、開発した通信方式の適用により需要家宅に設置展開するスマートメーターで代用可能となる。また、コンセントレーター装置を設置できない電柱地中化地域においても、配置計画の選択肢としてLTE通信方式のスマートメーターだけでなく、無線マルチホップ方式と柔軟に組み合わせる開発方式が選択可能となる。この通信方式は、次世代システムへの移行初期において、スマートメーターのネットワーク接続率が低く、サービスレベルの維持が困難となる問題への対策にも活用できる。コンセントレーター装置は設置可能な場所や工事能力が限られており、移行初期の段階から大規模に設置展開し広域をカバーすることが難しい。一方で、設置数の多いスマートメーターは大量に広域配備する設置展開ができ、広範囲に広がるスマートメーターネットワークの全域を初期段階からカバーし、接続率の飛躍的向上が可能となる。今後、開発した通信方式の有効性について、フィールドでの評価、及び設置展開計画を踏まえた接続率シミュレーションを通して検証を進めていく。

(注) スマートメーターと電力会社をつなぐネットワーク

東京電力パワーグリッド(株)千葉印西変電所用 GIT 及び GIS の商用運転開始



千葉印西変電所
TEPCO Power Grid, Inc. Chiba Inzai Substation

東京電力パワーグリッド(株)の千葉印西変電所新設工事に、主要機器である275 kVガス絶縁変圧器(GIT)、300 kVガス絶縁開閉装置(GIS)、72 kV GISを納入し、2024年8月に運転を開始した。同変電所は、千葉県印西エリアに建設されたデータセンターの電力需要に対応するために新設された変電所である。納入した主要機器にはセンサーによる状態監視や、デジタル信号による機器制御など最新のシステムが採用され、超高压変電所として国内初^(注)のデジタル変電所としても注目されている。変電所のデジタル化は、昨今の保守作業員の人員減少、更なる信頼性向上の要求、停止機会確保の困難化といった問題の解決に寄与しており、今後も適用が拡大される見込みである。また、新形300 kV GISを採用したことで、機器の一体輸送構造の実現による輸送コストと現地据付工数の低減、及びGITと組み合わせて据付面積を更に縮小したことによる基礎工事の合理化が図られ、大幅に工期を短縮した。

今後も、データセンター関連需要による変電所の新增設案件やデジタル変電所の増加が想定されることから、今回のプロジェクトをモデルケースとして次世代電力システムの構築に貢献していく。

(注) 2024年11月時点、超高压変電所として、当社調べ。

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)東栄変電所 500 kV-1,500 MVA 変圧器及び 300 kV GIS の運用開始



500 kV-1,500 MVA 変圧器
500 kV-1 500 MVA transformer installed at Chubu Electric Power Grid Co., Inc. Toei Substation



300 kV GIS
300 kV GIS

中部電力パワーグリッド(株)東栄変電所での500 kV-1,500 MVA 2号主要変圧器及び300 kV GISの据え付けが完了し、2024年10月に運用を開始した。この案件は、東京中部間連系設備としての直流送電設備増強、並びに再エネ導入による負荷対策を背景に、既設の800 MVA器から、送電用変圧器としては国内最大^(注)の500 kV-1,500 MVA器へと、大幅容量増の更新を行ったものであり、変圧器二次側の300 kV GIS、三次側の84 kV GISも当社製品により更新した。

類似定格の変圧器では、容量上の制約から従来は負荷時タップ切換器(LTC)として油中切換式を用いていたが、今回は真空バルブ式を2台並列適用し、活線浄油機の省略などでメンテナンス性の向上を図った。300 kV GISは、6,000 A仕様に対し、4,000 A器をベースに、最新のJEC規格に定める温度上昇限度、ループ電流開閉の仕様を満たすように小改造して格上げ適用を図ったことで、コンパクト化を実現した。

(注) 2024年11月現在、送電用変圧器として、当社調べ。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 東北電力ネットワーク（株）越後開閉所 300 kV GIS の据え付けを完了



新形 300 kV GIS
New 300 kV gas-insulated switchgear (GIS) installed at Echigo Switching Station

東北電力ネットワーク（株）越後開閉所用 300 kV GIS の据え付けを完了した。新形 300 kV GIS 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、現地までの 1 回線単位での完全一体輸送を可能とした機種である。併せて、3 次元（3D）CAD 図を活用した現地据付も実施した。

東北電力ネットワーク（株）の案件では、越後開閉所用が新形 300 kV GIS の初号器となるため、技術審査を経て納入した。

東北エリアの再エネ電源の増加に伴う送電容量確保のための東北北部電源接続募集プロセスにより、越後開閉所は、将来的に 500 kV の変電所となる。今回据え付けを完了した 300 kV GIS は、今後の変電所化を見据えて既設の 300 kV 気中開閉設備の一部を GIS 化したものであり、最終的には 500 kV 変圧器の二次側と接続されて運用される。

今回の納入分は、2025 年 5 月に運用開始され、開閉所の 500 kV 変電所化は 2030 年度以降に完了する予定である。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 九州電力送配電（株）に新形 240 kV GIS 及び 220 kV-250 MVA 主変圧器を増設し商用運転を開始



240 kV GIS
240 kV GIS installed at Kyushu Electric Power Transmission and Distribution Co., Inc. Wakamatsu Substation

九州電力送配電（株）の若松変電所に、新形 240 kV GIS 3 回線（送電線 2 回線、変圧器 1 回線）と、220 kV-250 MVA 主要変圧器 1 台を納入し、商用運転を開始した。

若松変電所は、北九州市若松響灘エリアで建設が進められている火力、太陽光、風力発電などの多数の電源接続が予定されている一次変電所で、今後の新規電源の連系拡大のため、今回、設備増強が必要となった。

納入した新形 240 kV GIS は相分離で構成され、ガス遮断器は電動ばね操作形を採用している。この GIS は、制御盤を含め三相一体で輸送可能なコンパクトな機器であり、現地でのドッキング箇所が少ない上、主要機器から制御盤までは工場であらかじめ配線されているので、現地作業を大幅に削減でき、工程短縮を実現している。



220 kV-250 MVA 主要変圧器
220 kV-250 MVA main transformer

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ IEC 61850のプロセスバスに対応した GR200リレーとマーキングユニットの海外初適用



GMU200 マーキングユニット
GMU200 merging unit compliant International Electrotechnical Commission (IEC) 61850 process bus standard

東芝電力流通システムインド社が受注したインドムンバイにあるTATA Power社の110 kVパレル変電所フルターンキー案件のシステムに、IEC 61850（国際電気標準会議規格61850）のプロセスバス^{（注）}（PB）に対応したGR200リレーとGMU200マーキングユニット（MU）を適用し、工場立ち会い試験を無事完了して納入した。当社としては初の海外案件であり、TATA Power社にとっても実変電所へのPB技術の初適用となった。

パレル変電所では、変成器と変流器からアナログ信号を直接取り込む従来型保護リレーと、MUからのサンプル値をストリーム受信するPB対応の保護リレーを組み合わせ、ハイブリッド型保護システムを適用した。ハイブリッド型保護システムにより、従来システムと比較したPB対応システム適用の効果を評価できた。PBを導入した変電所は世界中で増加しており、当社は、この技術により、銅配線の削減、情報のデジタル化、工事の効率化、安全性向上、及びシステム全体の運用強化を目指す。

（注）主機器の監視や電流・電圧の計測を行う装置と制御や保護演算を行う装置との間の通信網。

東芝エネルギーシステムズ（株）

■ マレーシア テナガナショナル社用 GRB200低インピーダンス母線保護リレーの認証取得



GRB200低インピーダンス母線保護リレー
GRB200 low-impedance busbar protection relay

マレーシアの電力会社であるテナガナショナル社（TNB：Tenaga Nasional Berhad）用GRB200低インピーダンス母線保護リレーの認証試験が、2024年5月に無事完了し、正式に認証を取得した。GRL200送電線保護リレーに続き、GR200シリーズのTNBへの適用が更に拡大した。この認証により、TNBの厳しい要件を満たし、高品質で信頼性の高いソリューションを提供する当社の取り組みを示すことができた。

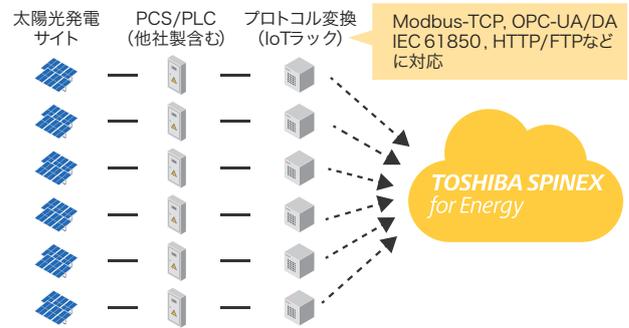
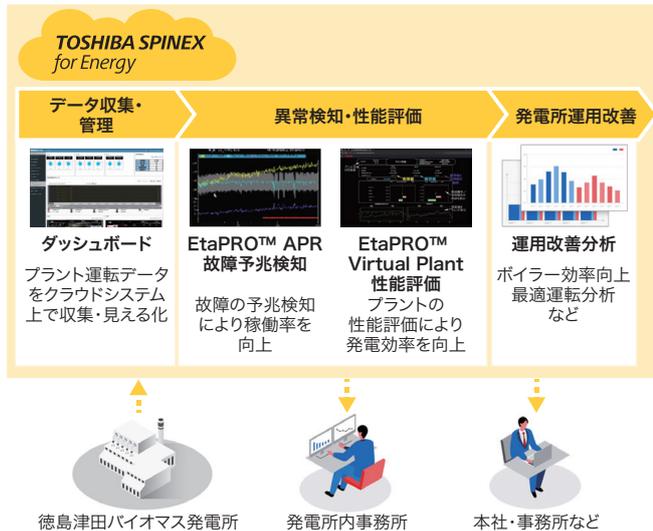
認証は、GRB200の仕様・性能についてのTNBへの説明、TNB側の書類精査を経て、製品の要求仕様の適合性確認が実施された。

機能試験は2か所で実施され、リレーの特性試験は東芝電力流通システムアジア社のマレーシア工場で行い、当社府中工場では、TNBメンバーの立ち会いの下、リアルタイムデジタルシミュレーターを用いて様々な母線構成を模擬し、性能を検証した。

更に、TNB研究所で、TNBの既設システムとIEC 61850に対応した通信で接続可能であることを確認した。

東芝エネルギーシステムズ（株）

TOSHIBA SPINEX for Energyの適用拡大



サービス提供画面の例



PCS:パワーコンディショナー PLC:Programmable Logic Controller
 IoT:Internet of Things TCP:Transmission Control Protocol
 OPC:OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control
 UA:Unified Architecture DA:Data Access IEC:国際電気標準会議規格
 HTTP:Hypertext Transfer Protocol FTP:File Transfer Protocol

徳島津田バイオマス発電所合同会社 運転高度化システム

Advanced power plant operation system for Tokushima-Tsuda biomass power plant

PV統合管理サービス

Integrated management services for photovoltaic (PV) power plant

2024年2月のSaaS (Software as a Service) 版TOSHIBA SPINEX for Energyの提供開始後、顧客ニーズに沿ったサービスの提供を継続している。主な適用事例としては、下記が挙げられる。

- 徳島津田バイオマス発電所合同会社 ((株)レノバなどが出資) の運転高度化システムの運用を開始 (2024年11月) 発電事業者向けプラント監視ソフトウェアEtaPRO™を活用した異常予兆検知と性能診断を主な機能として持つシステムである。クラウドサービスの特長を生かし、今後、同社の複数拠点間でのデータ活用も期待される。
- 太陽光発電 (PV) 事業者向け“PV統合管理サービス”の提供開始 (2024年11月) 運用保守業務を支援する目的を持つPV事業者向けクラウドサービスである。複数のPV発電所を一元管理し、一つの画面上で稼働状況をリアルタイムに集中監視できる。発電所ごとに異なる監視システムを使用しているケースにも対応している。当社独自技術を用いて、発電所の発電性能や発電量、稼働率を1日に1回、定期的にモニタリングする発電所診断機能も実装している。

上記以外にも、TOSHIBA SPINEX for Energyが提供するツールを適用した当社関連事業所での実例として、燃料費20%削減や、二酸化炭素 (CO₂) 排出量2,400 t-CO₂/年削減などの効果が見込めるに至った事例もあり、大規模な工場やプラント全体の省エネ施策立案・検証に代表されるGX (グリーントランスフォーメーション) エンジニアリング分野での活用事例も広がっている。

TOSHIBA SPINEX for Energyが扱うサービスラインアップは継続的に拡大中である。今後も、当社が長年培ってきたエネルギー分野の知見を強みとして、クラウドサービスの特長を活用しながら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)

■ 京浜事業所のスマートファクトリー化に向けた取り組み

スマートファクトリーの4領域	インフラ	リソース	生産	計数
レベル5: 最適化	設備自身が自律制御	工場・サイトの全体最適となるリソース計画を立案	生産進捗と連動し、異常値を補正	競争力強化施策と全体最適ポートフォリオを立案
レベル4: 予知・予測	工場インフラ異常を事前に警告、保全計画を立案	人・設備・エリアの需給予測を提示できる仕組み	高精度な計画策定・実績予測ができる仕組み	高精度な地見込み異常予測ができる仕組み
レベル3: 原因分析	工場インフラ異常と原因が特定できる仕組み	人・設備・エリアの需給差異が見える仕組み	生産進捗異常が特定できる仕組み	予算と実績の乖離(かいり)と内訳が見える仕組み
レベル2: 見える化	工場インフラ稼働状況がリアルタイムで見える仕組み	人と設備・エリアの余力が見える仕組み	生産進捗をリアルタイムで可視化する仕組み	製番損益、部門経営の異常が見える仕組み
レベル1: データ収集	工場インフラ稼働状況データ収集の仕組み	人と設備・エリアをアサインする仕組み	生産ラインの予実管理をする仕組み	製番損益、部門経営のデータ接続の仕組み

京浜事業所のスマートファクトリー構想
Smart factory concept for Keihin Operations

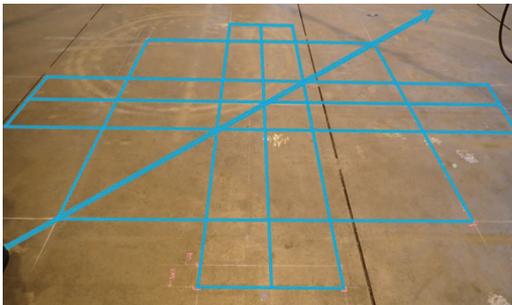
競争力強化の一環として、デジタルトランスフォーメーション(DX)を全社大で推進している。京浜事業所においてもモノづくりを継続し、工場存続のためにDXを推進し、工場オペレーションに関わるあらゆる業務のデジタル化・効率化を行う必要がある。最終的には、工場オペレーションが自律化・自動化されたスマートファクトリーを目指す構想を掲げている。

その実現に向けて、京浜事業所のオペレーションに関わるインフラ、リソース、生産、計数の4領域における現状の問題を2030年にありたい姿との差異から洗い出し、取り組むべき課題を5段階のレベルに分類して明確化した。

京浜事業所では、このように領域ごとに設定された課題への取り組みを体系的に進めた結果、レーザートラッカーを用いた組立基準ケガキ作業の技能レス化や、機械加工設備の稼働状況の見える化、製造現場における危険予知活動のデジタル化などのDX化が達成された。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ レーザートラッカーを用いた組立基準ケガキ作業の技能レス化

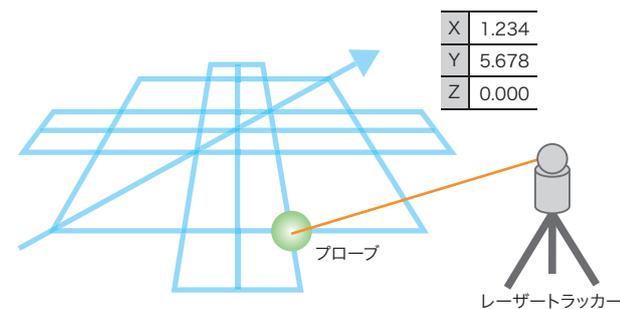


床面に描かれた製品形状の組立基準
Product shape markings on floor

製造現場では、特定の個人の経験や技能に依存せずに常に高い品質を維持できるモノづくりが求められている。特に、大型機器の製造開始時には、部品の位置を決めるために床面に組立基準を描く“ケガキ作業”が必要である。

従来、このケガキ作業は、図面から基準となる線や点の寸法及び角度を読み取り、相対位置の計算をしながら巻き尺やトランシットを用いて行っていた。複雑な構造の図面の場合、正確に数値を読み取り、計算しながら床面に転写する作業は非常に高度な知識と技能を要していた。また、転写後の確認作業にも多くの時間が掛かっていた。

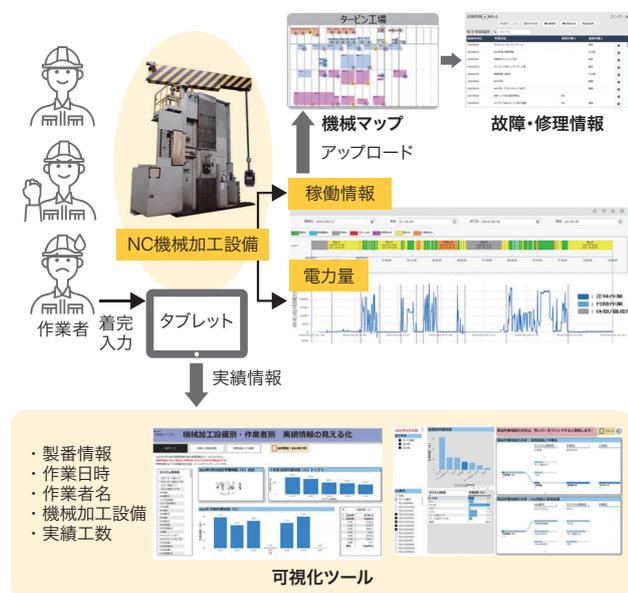
一方、組立基準の絶対位置は、CADから直接読み取ることが可能である。そこで今回、3次元計測器であるレーザートラッカーを使用し、CADから得た値に基づいて組立基準を直接床面に描く方法を京浜事業所において採用した。レーザートラッカーが観測するプローブの位置にポンチ穴を打つことで、組立基準を床面に転写できる。これにより、技能に依存しないケガキ作業を実現した。



レーザートラッカーを用いた組立基準のケガキ作業
Floor marking image using laser tracker

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 京浜事業所における機械加工設備稼働情報収集システムの機能拡張



機械加工設備の稼働情報と関連情報の可視化
 Visualization of operational information and related data for machining equipment

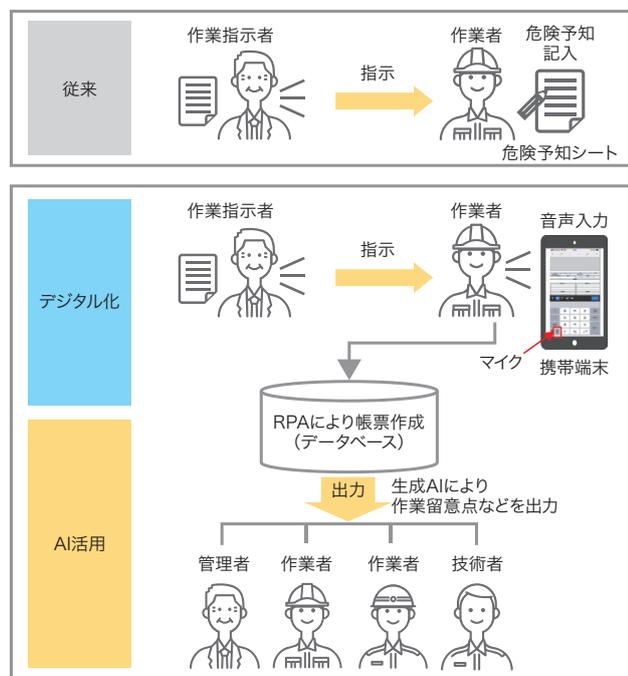
京浜事業所では2012年に主要なNC（数値制御）機械加工設備に対して稼働情報収集システムを導入し、過去や現在の稼働実績の可視化、及び現場作業分析に活用している。また、事業所向けホームページ上に“機械マップ”として工場全体の設備の運転・停止・アラーム状況を表示し、瞬時に確認できる。

今回、システム拡張として設備の故障・修理情報を連携した。また、製造実績情報と作業者情報を連携させ、可視化ツールによって閲覧を容易にした。これにより作業者が、どの設備を操作し、どの工程を行ったか把握でき、作業者間の工数ばらつき評価や多様な設備を操作できるマルチ技能者への育成計画に利用できる。加工機操作盤に人感センサーを付属し、無人運転作業比率を把握できることも確認した。

今後、電力量計と設備稼働情報を連携し、待機電力の削減につなげるなど、各種情報の連携を図り、京浜事業所のスマートファクトリー構想の実現に貢献していく。

東芝エネルギーシステムズ(株)

■ 製造現場における危険予知活動のデジタル化とAI活用



デジタル化・AI活用された危険予知活動のフロー
 Digitalization of hazard prediction activities and artificial intelligence (AI) utilization process

近年、デジタル化、生成AIの活用が進展する中、製造現場においても、これらを取り入れた安全・品質の危険予知活動が導入されつつある。従来の危険予知活動では、作業指示者が当日の作業内容や重点ポイントを作業者に口頭で伝達し、作業者は安全・品質に関する留意点を紙の“危険予知シート”に記入し、作業指示者がその内容を確認・補足する形で実施されていた。

今回、これらのプロセスにデジタルツールを、京浜事業所の溶接ショップにおいて採用した。作業者は留意点を携帯端末に入力し、電子化情報をRPA (Robotic Process Automation) で帳票としてまとめて自動出力することで、紙媒体の削減及び管理が容易になった。また、管理者が作業現場に掲示されたQRコードを用いて危険予知の内容を確認できる仕組みを整備した。更に生成AIのCopilotを活用し、1週間分の安全・品質上の要点や翌週の作業留意点を帳票から自動生成し、様々な視点も加えて、管理者と作業者へフィードバックが行われている。今後は品質不適合・事故災害・ヒヤリハット事例のデータベースと連携することで、危険予知の精度を向上させていく。

東芝エネルギーシステムズ(株)