

(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.

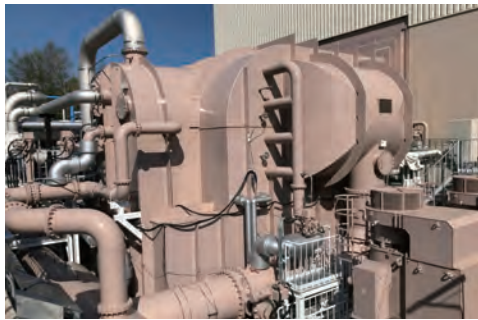
湯沢地熱（株）山葵沢地熱発電所が、2019年5月から営業運転を開始した。この発電所は、生産井から供給される二相流を汽水分離機で1次蒸気と1次熱水に分離し、1次熱水は減圧気化器で減圧沸騰させて低圧の2次蒸気を取り出す、ダブルフラッシュ方式を採用している。蒸気タービン発電機の出力46.199 MWは、設備容量ベースで国内地熱発電所の中で4番目の大きさであり、10 MWを超える大規模地熱発電所としては国内で23年振りの稼働となる。

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。

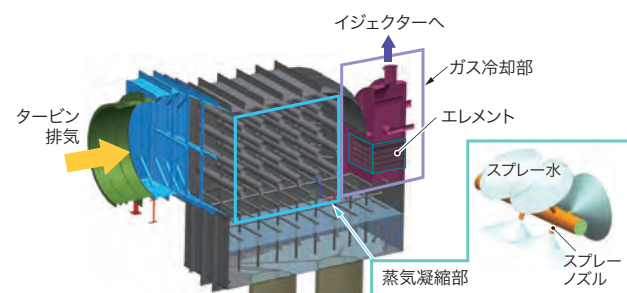
東芝エネルギーシステムズ（株）

■ 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.



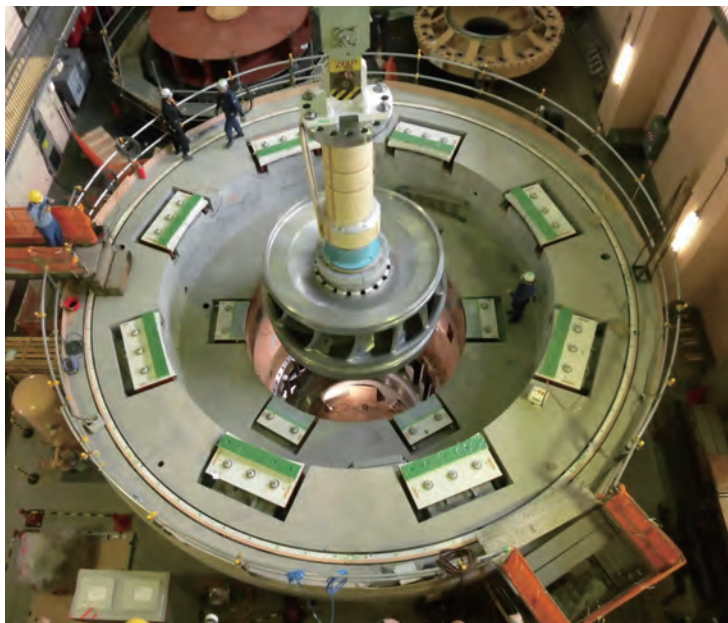
ブルームサ発電所 1 台目発電機固定子のつり込み
Installation of first generator stator at Blue Mesa Hydro Power Plant, U.S.A.

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

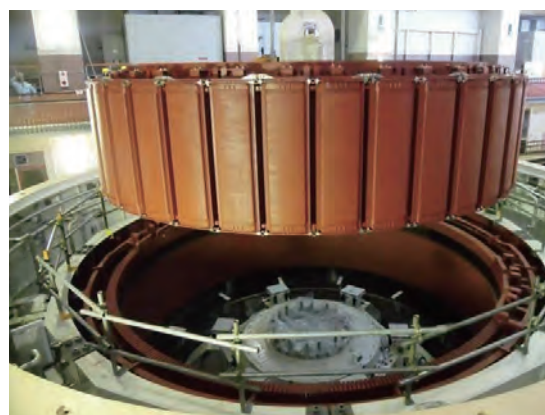
東芝エネルギーシステムズ（株）

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