

## 持続可能なエネルギーシステムを実現する スマートO&M

Smart O&M Services for Realization of Sustainable Energy Systems

渋谷 真人 SHIBUYA Masato 辻 尚志 TSUJI Hisashi

生活・産業の根幹であるエネルギーシステムは、その堅牢（けんろう）性への要求が高まっており、エネルギー事業者は、サービス品質を維持しつつ将来のビジネス環境へも対応する、持続可能なエネルギーシステムを構築する必要がある。そのためには、従来どおりに機器・設備を使い続け、需要に応じて増設したり、老朽化したものを更新したりするだけでなく、従業員の負担を軽減するとともに、将来のビジネス環境への対応も可能な“スマートO&M (Operation and Maintenance)”が求められている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、スマートO&Mを実現するため、スマートデバイスによるAR（拡張現実）活用や、センサーネットワークの構築、自律走行ロボット、自律飛行ドローンの導入、電力系統設備計画立案時のAI活用などで、①働き方改革と生産性向上、②AIによる匠（たくみ）の技の継承と更なる業務の高度化、を可能とする技術を開発し、提供している。

To strengthen the robustness of energy infrastructure systems, which are of crucial importance for people's daily lives and industrial activities, it is necessary for energy providers to construct sustainable systems with the capability to respond to future business environments while maintaining service quality. Demand has therefore been growing for smart operation and maintenance (O&M) services that make it possible to reduce the burden on workers and flexibly adapt to changing business environments while continuing to use existing equipment and introducing new equipment and renewing aging equipment as needed.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has responded to this situation by developing technologies for smart O&M services through the application of augmented reality (AR) using smart devices, construction of sensor networks, introduction of autonomous mobile robots and drones, and planning of equipment maintenance for electric power systems using artificial intelligence (AI). These services include (1) a service supporting workstyle reforms and productivity improvement, and (2) a service ensuring the inheritance of experts' knowledge and enhancement of maintenance work.

### 1. まえがき

「エネルギーをみんなに そしてクリーンに」は、2015年9月に国連総会で採択された持続可能な開発目標（SDGs）の目標7として掲げられている標語である。電力会社をはじめとする世界中のエネルギー事業者は、その目標実現のために邁進（まいしん）している。しかし、ただ単に、現在の機器・設備を従来どおりに使い続け、需要に応じて増設したり、老朽化したものを更新したりするだけでは、目標達成は困難である。より環境負荷が少ない機器・設備の導入と並行して、従業員の負担を軽減しながら収益を改善し、更に将来のビジネス環境に対応することが必要である。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、これらの課題を解決するため、スマートO&Mの実現に取り組んでいる。ここでは、この取り組みについて述べる。

### 2. CPSとスマートO&Mによるエネルギーシステムのアップデート

エネルギー事業者には、以下の課題が課せられている。

- (1) サービス品質の維持・収益改善 働き方改革と生産性向上で、業務品質を維持しつつコストダウンを図ることによる、利益率の高い事業構造への転換
- (2) 将来のビジネス環境に向けた業務の高度化 新しいビジネス環境（再生可能エネルギーの増大や、電化推進、社会構造の変化、多様化するサービスへのニーズ、規制緩和・電力市場自由化など）への対応

当社は、これらの課題を解決するために、デジタルトランスフォーメーション（DX）の取り組み<sup>(1)</sup>を続けてきた。そして、CPS（サイバーフィジカルシステム）としてのIoT（Internet of Things）サービスを運用するための共通の枠組みである東芝IoTリファレンスアーキテクチャー（Toshiba IoT Ref-

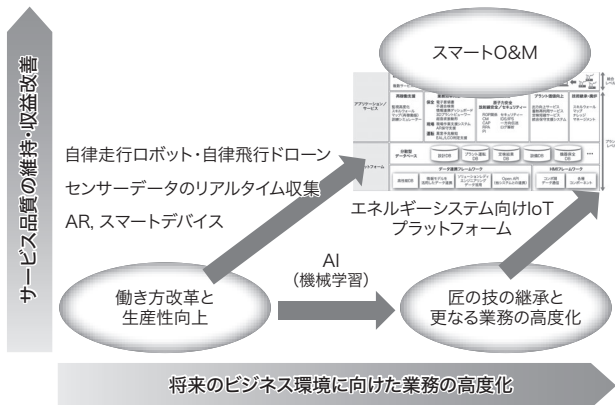


図1. スマートO&Mが解決する課題

様々な課題を解決するため、エネルギーシステム向けIoTプラットフォームは、関連技術やサービスと連携してスマートO&Mを実現する。

Issues encountered by energy providers and solutions provided by smart O&M

erence Architecture, TIRAと略記)に準拠した、エネルギーシステム向けIoTプラットフォーム(この特集のp.7-11参照)の提供を開始した。このプラットフォームは、図1に示すように、O&Mを支援・高度化する各種ソリューションで構成されており、更に関連技術やサービスと連携してスマートO&Mを実現することで、持続可能なエネルギーシステムへのアップデートを可能とする。

### 3. スマートO&Mの技術

ここでは、事業者の直面する課題と、それを解決する技術について説明する。

#### 3.1 働き方改革と生産性向上

人口減少社会においても、生活・産業の根幹であるエネルギーシステムには、堅牢性の確保が強く求められる。したがって、エネルギーシステム事業者は、今後も設備を運用・維持していくために、人材の確保と育成に今まで以上に時間と労力を要することが予想される。当社は、育成した人材が収益性の高い業務に注力できるようにするため、①危険有害業務及び定型作業の代行と、②センサーデータのリアルタイム収集を可能にする技術を提供している。

##### 3.1.1 危険有害業務及び定型作業の代行

大規模な物理現象を扱うエネルギー事業は、危険有害業務を忌避できない。今後も、老朽化した設備の増加や、自然環境が厳しい場所が好適地となることが多い再生可能エネルギー発電設備の増加に伴って、保守業務の難易度・危険度が高まることが確実視される。この対策として、当社は、スマートデバイスの活用と自律型ロボット技術の導入支援を進めている。図2は、スマートフォンで設備状態を把握

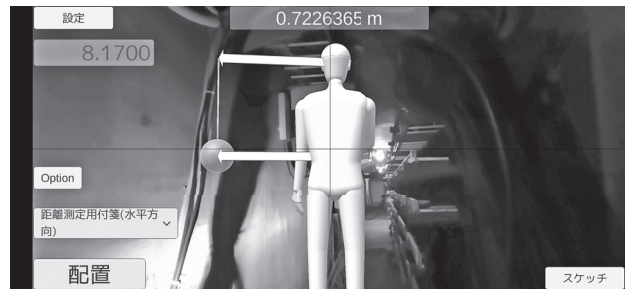


図2. センサーを接続したスマートフォンによる設備状態の把握例

現実の設備映像とバーチャルな3Dモデルが同時に表示され、距離などが計測できる。

Example of perception of equipment conditions using smartphone camera image

する技術である。スマートフォンのカメラで撮影した映像の中で寸法を計測したいポイントを指定すると、スマートフォンに外部接続したレーザーセンサーの距離情報を突き合わせ、実際の設備の寸法や形状を計測できる。これにより、機材を設備が設置されている暗所や閉所へ運搬する必要がなくなり、計測作業が大幅に省力化できる。

また、AR技術によって、現実の設備映像内にバーチャルな3D(3次元)モデルを重ね合わせて表示し、現実の設備と3Dモデルの間の寸法を現地で計測できる。これにより、現地調査での作業者の立ち入りや道具の持ち込みを最小化し、作業を効率化できる。

送電鉄塔や発電所の煙突をはじめとする高所や、有毒ガスや落下物による事故発生のリスクがある危険箇所近傍での作業も必ず発生する。これらの作業環境のように、保守作業者がアクセスする際に高いリスクが伴う設備に対しては、設備を停止した上で、十分な安全確保を行うことが理想的である。しかし、サービスの停止は経済的損失を伴うため、極力無停止での作業が求められている。

当社が開発した現場パトロールシステム(図3)は、屋内設備において全方位カメラを搭載した自律走行ロボットで自動巡視を実現する(図4)。

この際、ロボットが構内のどこを走行しているか、そこで何を撮影しているかを把握する必要がある。これに対し、開発したシステムは、走行中のロボットが撮影した全方位映像から特徴点を抽出することで、自身の位置と撮影対象をGPS(全地球測位システム)の情報なしに同定できる。

##### 3.1.2 センサーデータや設備映像のリアルタイム収集

水力発電所や、送電鉄塔、変電所など遠隔地にある屋外無人設備に対しては、省電力無線IoTソリューション(LPIS™)<sup>②</sup>によるセンサーネットワークを構築し、データ収集サービスを提供する(図5)。これらの地域では携帯電話

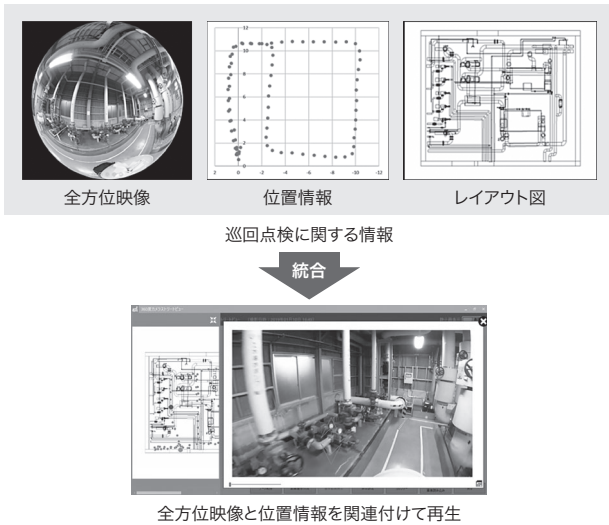


図3. 全方位映像を用いた現場パトロールシステム

全方位映像から特徴点を抽出して位置情報と撮影対象を同定し、設備状態を把握する。

Field patrol system using omnidirectional video data

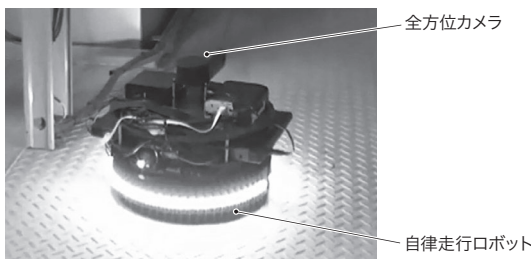
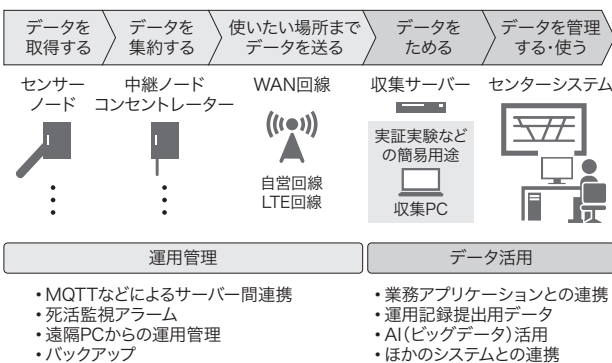


図4. 全方位カメラを搭載した自律走行ロボット

人が立ち入ることができない屋内設備などの状態を把握できる。

Autonomous mobile robot equipped with omnidirectional camera



WAN: Wide Area Network    LTE: Long Term Evolution    PC: パソコン  
MQTT: Message Queuing Telemetry Transport

図5. LPIS™の構成と活用イメージ

920 MHz帯の無線マルチホップ技術によって、携帯電話の圏外地域などでセンシングしたデータを、センターシステムで収集できる。

Configuration and examples of use of LPIS™ low-power wireless network Internet of Things (IoT) solution

も圏外となることが多く、有線配線や従来のテレメーター装置を導入するために大きなコストが掛かっていた。LPIS™では、920 MHz帯の無線マルチホップ技術を使い、携帯電話の圏外地域でセンシングしたデータを収集し、事業所などの遠隔地に伝送できる。LPIS™の特長を、以下に示す。

- (1) 各種センサー・インターフェースに対応    RS-485をはじめとする標準的なインターフェースを搭載し、様々なセンサーデバイスに対応可能
- (2) 広範囲をカバーするマルチホップ方式    地形の制約を受けにくい無線メッシュ方式の採用で、Wi-Fiよりも高い到達性
- (3) 様々な設置環境に対応    設置環境や搭載するセンサーの種類に合わせて各種電源を選択でき、かつ乾電池では最大10年間の稼働が可能
- (4) 運用監視機能でデータを安定的に収集    基地局や中継局の電池電圧やネットワークの通信状態・構成情報を遠隔から監視可能

LPIS™により収集されたセンサーデータは、エネルギーシステム向けIoTプラットフォームに格納され、様々なマイクロサービスと連携して監視対象の状態把握や分析ができる。

屋外の大規模設備に対しては、自律飛行が可能なドローンを適用する(図6)。設備の形状に沿って飛行ルートを設定して撮影した映像から画像処理で錆(さび)などの劣化箇所を抽出し、高所作業を代行させることが可能となる。

### 3.2 AIによる匠の技の継承と更なる業務の高度化

エネルギーシステムは、大規模かつ多数の機器・設備で構成され、それらを適切に連携動作させて無停止でのサービス提供を行っている。やむを得ない事情で計画停止を行う場合も、影響を最小限にとどめるために様々な努力が行われるが、その最も複雑な事例として、電力システムの構築と運用業務が挙げられる。

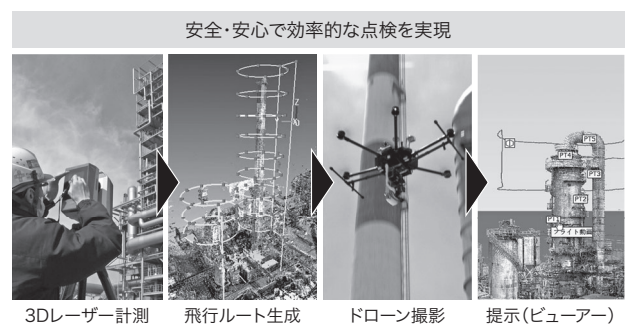


図6. 自律飛行が可能なドローンによる巡視点検

屋外の大規模設備などで、設備の形状に沿った飛行ルートでドローンが撮影した映像から劣化箇所などを抽出する。

Patrol inspection using autonomous drone

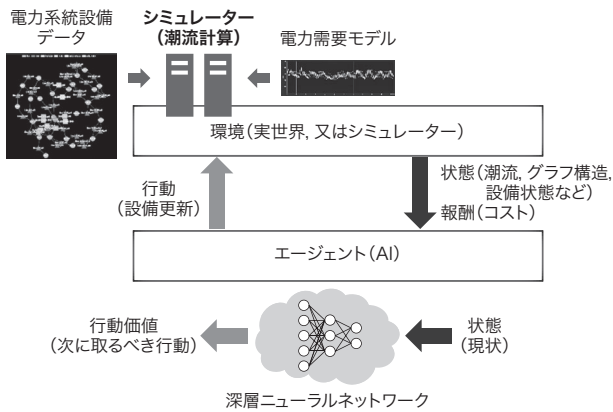


図7. 深層強化学習による設備計画生成

深層学習による報酬の評価と、シミュレーターなどで価値関数を評価しながら深層強化学習を行うことで、最適な設備計画を推論できる。

Flow of processes for equipment maintenance planning using deep reinforcement learning

電力システムの構築には長い年月を要し、構築後も絶えず更新が発生する。設備の更新によってサービスに支障が出ることは許されないため、細心の注意を払いながら計画及び設計を行っている。したがって、その際には、電力需要や発電量がいつどこでどのくらい変化するかという予測に加え、既設機器・設備の劣化や交換時期なども考慮する。更に、事故・災害の発生頻度や、設備更新・改修予算に影響する財務状況といった外部要因も考慮する必要がある。このため、これら相互に影響を与える要因を全て考慮した計画策定を行うには、マニュアル化できない高度なノウハウ、いわゆる“匠の経験”が必要とされている。

当社が開発した東芝アナリティクスAI“SATLYS™”を用いた設備計画立案技術は、独自のグラフニューラルネットワークと強化学習で、複雑な電力システムの設備計画問題に対し、最適案を策定できる。図7に機械学習(深層強化学習)の概要を示す。停電発生を回避してコストも最小限に抑えるなど、何をすればより価値の高い計画となるかといった行動価値は人間が定義する。開発した技術では、行動案、すなわち設備変更案に対し、シミュレーターなどのシステムで価値関数を評価しながら最適変更案を生成するプロセスを繰り返して学習する。その結果、検討対象のシステムに対する最適な設備計画を予測して提示できるようになる。

更に将来的には、過去に経験したことのない要因も考慮して、サービス品質の低下を伴わない設備計画の立案が求められる。深層強化学習を取り入れたAIは、シミュレーションによって、このような“未知の事業環境”に対する計画立案にも適用できることが大きな特長である(図8)。

当社は、人のためのエネルギーシステムを、将来も維持し

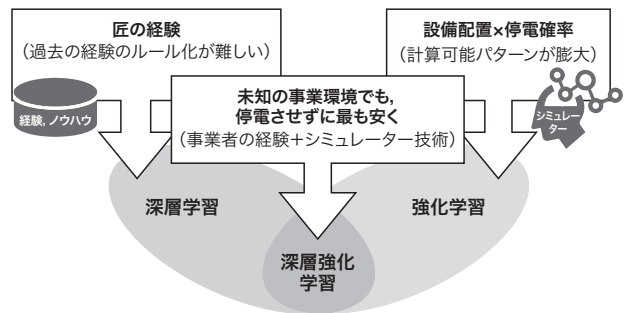


図8. 過去に経験したことのない事業環境への対応

深層強化学習を取り入れたAIによって、過去に経験したことのない未知の事業環境への対応も可能になる。

Adaptation of smart O&M service to unfamiliar business environment

アップデートするため、既存設備向けにはリアルとバーチャルの融合による作業支援と自律型ロボット技術の導入などを進めていく。また、設備データの収集には、安価で信頼性の高い省電力無線技術によるセンサーネットワークを提供していく。

更に、過去に経験のない環境に対応するためには、深層強化学習によるAIの開発と導入を実現していく。

#### 4. あとがき

スマートO&Mにより、人のためのエネルギーシステムの維持と持続可能なエネルギーシステムへのアップデートを可能にする当社の取り組みについて述べた。全ての技術は、CPSとしてのIoTサービスのアプリケーションである。今後も、有益な技術を導入し、エネルギー事業に関する課題を解決していく。

#### 文献

- 東芝エネルギーシステムズ, “Digital Transformation”. デジタルトランスフォーメーション. <[https://www.toshiba-energy.com/digital-transformation/index\\_j.htm](https://www.toshiba-energy.com/digital-transformation/index_j.htm)>, (参照 2020-01-15).
- 東芝エネルギーシステムズ, “LPWA技術を用いた溪流取水設備水位監視の実用化に向けた実証実験を実施”. プレスリリース&ニュース. <[https://www.toshiba-energy.com/info/info2019\\_0312.htm](https://www.toshiba-energy.com/info/info2019_0312.htm)>, (参照 2020-01-15).



渋谷 真人 SHIBUYA Masato  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
DX統括部 グリッドDX推進部  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



辻 尚志 TSUJI Hisashi  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
DX統括部 グリッドDX推進部  
電気学会会員  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.