



丹下誠視*

電力システム変革を支えるデジタル技術

Digital Technologies to Realize Changes of Energy Systems

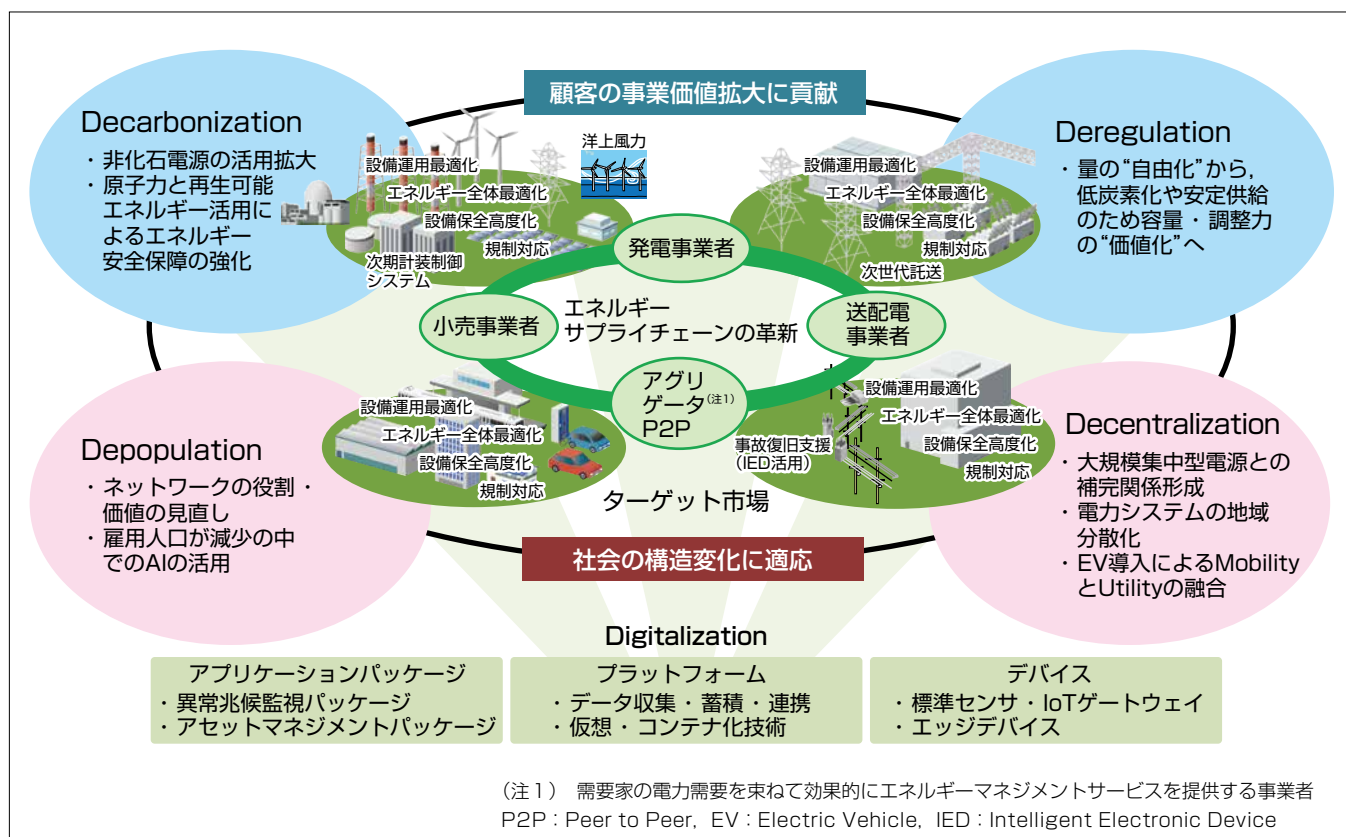
Seiji Tange

要 旨

第4次産業革命の技術革新の核となる“IoT(Internet of Things)技術と人工知能(Artificial Intelligence: AI)”を産業や社会生活に取り入れることによって、様々な社会課題を解決するSociety 5.0の実現に向け、電力システム分野では、安全性の確保を大前提に、安定供給・経済効率性・環境性のバランスを最大限追求する必要がある。

電力システムを取り巻く環境は、世界レベルで急速に進む脱炭素化(Decarbonization)に向けた再生可能エネルギーの導入と同時進行する分散化(Decentralization)、デジタル化(Digitalization)の“3D”に加え、国内で進行中の自由化(Deregulation)、将来の人口減少(Depopulation)など社会構造変化の“5D”のキーワードで概括できる。日本の電気事業は、電気事業の誕生と急激な発展の時代から

現在、自由化による発電・小売の競争市場と送配電の公平性を確保するための市場創設、安定的な電力供給に対応するシステム導入が急速に進行中であり、今後、電力市場の環境変化を象徴する“5D”を意識した更なる変革を迫られている⁽¹⁾。電力システム改革の進展、原子力再稼働の遅れ、再生可能エネルギーの大量導入に加え、電力需要の減少懸念など直面する課題の解決や競争力の強化に向け、新たなデジタル技術は、大きなポテンシャルを持っており、三菱電機は多様化する電力運用のユースケースと最適なビジネスロジックを創出し、当社が持つ幅広い電力技術と最新のデジタル技術を融合させた先進的なソリューションの開発に取り組んでいく。



電力市場の環境変化を象徴する“5D”

電力システムを取り巻く環境は、世界レベルで急速に進む脱炭素化(Decarbonization)と同時進行する分散化(Decentralization)、デジタル化(Digitalization)に加え、国内で進行中の自由化(Deregulation)、将来の人口減少(Depopulation)など“5D”のキーワードで概括できる。当社は、幅広い電力技術と最新のデジタル技術を融合させた先進的なソリューション開発に取り組む、電力システムの変革に貢献する。

1. ま え が き

電力システムを取り巻く環境は、世界レベルで急速に進む脱炭素化(Decarbonization)に向けた再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の導入と同時進行する分散化(Decentralization)、デジタル化(Digitalization)の“3D”に加え、国内で進行中の自由化(Deregulation)、将来の人口減少(Depopulation)など社会構造変化の“5D”のキーワードで概括できる⁽¹⁾。日本の電気事業は、再エネの拡大はもとより、脱炭素化を追求する原子力発電再稼働に向けた安全対策や、高効率火力の活用等を組み合わせたCO₂排出の長期大幅削減に向かっている。これに伴い、小規模な再エネや燃料電池といった分散型電源の導入が進展し、大規模集中型電源との適切な相互補完関係を形成していくと考えられる。また、AI・IoT・ビッグデータ等の活用が急速に進む中、原子力の超安全対策、発電所の保守高度化、送電線の保守省力化等に加え、電力系統の特性変化によって、需要家間によるP2P型電力取引の実現や、地域単位で需要・供給の両面を管理する高度なエネルギーマネジメントの普及等が起こり得る。

本稿では、多様化する電力運用のユースケースと最適なビジネスロジックを創出し、当社が持つ幅広い電力技術と最新のデジタル技術を融合させた先進的かつ将来を見据えた技術開発への取組みについて述べる。

2. 電力システムのデジタル化

2.1 電力システム変革を支えるソリューション

これまでの電力市場では、発電・電力流通・小売・需要家分野ごとの合理化や最適化が主たる目的であったが、デジタル技術の更なる進化は、データの収集、蓄積、解析、解析結果の電力市場へのフィードバック・融合の一連のサイクルを可能にしていく(図1)。電力システムを取り巻く環境は、太陽光・風力など制御困難な再エネの大量導入による電力系統特性の変化に対応する分散型電源を活用した社会インフラの構築と電力の安定供給(ゾーン1)、

電力取引市場の拡大に対応した発電コスト最適化や、複雑化する送配電ネットワークの電圧・周波数の安定制御、電力取引業務などの連携(ゾーン2)、AI、ビッグデータなど最新のデジタル技術を活用した業務革新であるデジタルトランスフォーメーション分野(ゾーン3)に分類され、これらの技術が融合し、スマートグリッド・スマートシティの実現に向けて更なる変革に向かうものと予想される。

また、デジタル技術の進展とともに、情報システム(IT)と運用制御システム(OT)の融合を実現した高度利用システムは、エネルギー分野だけでなく、交通、公共などの各分野で、相互関係を考慮した統計的な計画の立案と適正な運用を実現し、安全性、安定性、経済性を兼ね備えたシステムとして導入が期待されている⁽²⁾。

2.2 電力システム市場環境とデジタル化技術

2.2.1 Decarbonization(脱炭素化)

(1) 非化石電源の活用拡大

2020年以降の温暖化対策の国際枠組み“パリ協定”の採択によって、日本は、温室効果ガスを2030年度に2013年度比26%(2050年度に80%)削減する目標を表明した。

経済産業省が2018年7月に策定した第5次エネルギー基本計画では、2030年度にゼロエミッション電源比率を再エネの導入促進や、原子力発電所の再稼働を通じて、44%程度とする高い水準に置いた⁽³⁾。2016年度は16%程度であり、当社は、原子力発電所再稼働に向けた安全対策推進と再エネの急速な拡大の中、原子力発電所の安全対策工事と並行して、発電所のデータを管理し、AI、セキュリティなどデジタル技術を活用した超安全、保守点検高度化、遠隔監視、業務の自動処理、働き方改革など業務変革

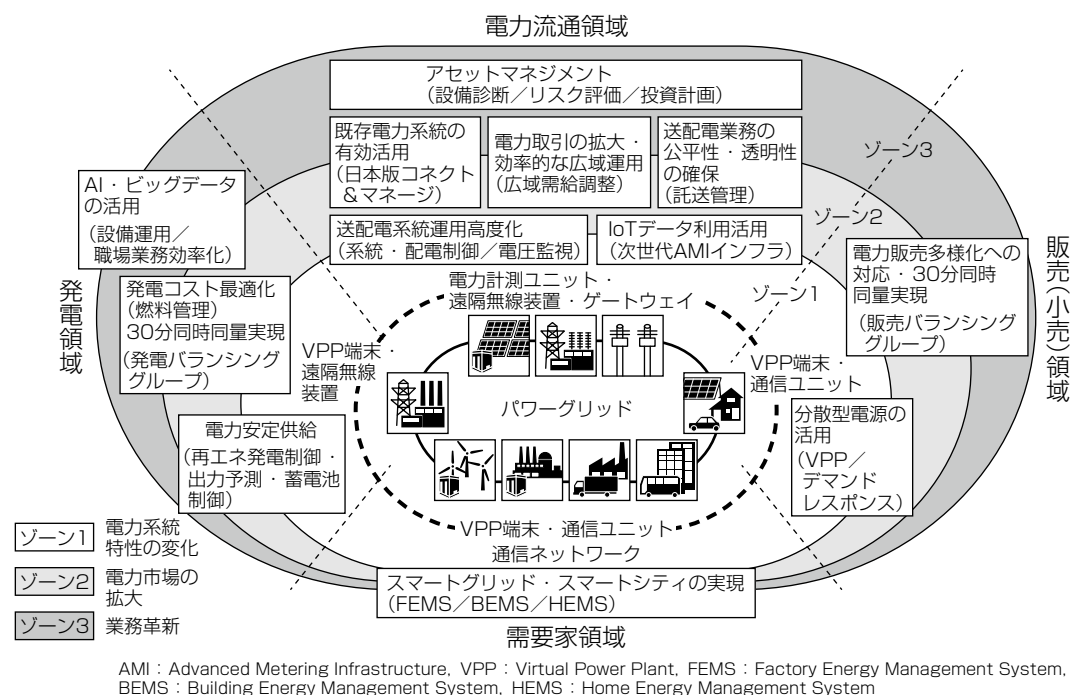


図1. 電力システム変革を支えるソリューション

に貢献するソリューションの開発を進めていく。

また、非化石エネルギー源である核融合エネルギーの早期実現のために国際熱核融合実験炉(ITER)計画と、日本と欧州が共同で実施するプロジェクト(JT-60SA計画)が進行中である。当社は、長年培ってきた超電導マグネットの技術蓄積を生かし、超電導コイルの製作にも取り組んでいる。

(2) 原子力と再エネ活用によるエネルギー安全保障の強化

天候などによって発電出力が変動しやすい太陽光発電や風力発電などの再エネ発電が拡大する中、環境への影響を考慮し、必要な量のエネルギーを、受容可能な価格で安定供給するためには、原子力発電をベース電源としつつ、電力の需給安定を担う予測技術の開発が一層重要となる。この再エネ発電出力予測は、気象予報情報を取り込み、再エネ発電所、又は、エリアごとに発電出力を予測するものであり、過去の予測値と実績値との関係を学習し、自動的に精度を改善するとともに、複数の予測モデル合成によって予測精度向上が可能である。また、再エネ発電出力変化量を推定して、それを相殺するように蓄電池の充放電を制御することで、電力の需給バランスを保ち、安定した周波数の電力を供給できる蓄電池制御技術も重要性を増している(図2)。当社は、これら技術を結集し、再エネの大量導入時でも安定な電力品質を確保し、再エネの導入拡大に貢献していく。

2.2.2 Deregulation(自由化)

(1) 量の“自由化”から低炭素化や安定供給のため容量・調整力の“価値化”へ

現在の電力市場では、計画値に対して不足する“量”(電力量: kWh)を取引するベースロード市場が開設されている。これに加え今後は、国全体で必要となる容量(kW)を取引する容量市場と、需給ギャップの補填や需給変動への対応、周波数維持等のための調整力($\Delta kW + kWh$)を取引

する需給調整市場が新たに創設される。一般送配電事業者は、発電事業者等から調達した調整力によって、電力供給区域の周波数制御、需給バランス調整を行う。2021年4月には、一般送配電事業者が調整力を広域調達するための仕組みとして需給調整市場(需給調整市場システム)の導入が予定されている。また各一般送配電事業者が確保した調整力を、その価格に基づきリアルタイムで広域的に運用する広域需給調整システムの開発が進められており、中給システムでは、調達した調整力の活用によって供給エリアの需給バランス調整と周波数制御を行う。今後、調整力のリソースとして、従来の大型電源に加え、需要家の受電点以下に接続されている分散型エネルギーリソースを用いたDR(Demand Response)や、それに系統接続の発電設備と蓄電設備を加えたVPPが需給調整市場に参入することで市場が活性化することが期待されている。

2.2.3 Depopulation(人口減少)

(1) ネットワークの役割・価値の見直し

臨海部に立地する大型発電所を前提とした従来型の送電ネットワークは、大規模再エネの適地からの送電に適したものとし、配電ネットワークは、小規模再エネやEVを含む蓄電池を始めとした分散型リソースとの最適構成が形成されていく。一方で、小売電気事業者は、電力会社が構築した送配電設備を利用して需要家に電気を供給しており、送電線の設備利用料金(託送料金)を送配電事業者に支払う必要がある。現行の託送料金制度は、送配電事業者の人件費、設備投資、経費等を見通した原価によって算定されており、将来の人口減少など電力需要の拡大が不透明な中、送配電インフラ設備のスリム化、設備のコンパクト化が求められてくるものと想定される。このような社会環境変化の中、電力ネットワークを含む公共インフラへの無線技術の活用が期待される。当社では、各電力会社管内のスマートメータシステムで構築された広域・大規模ネットワーク

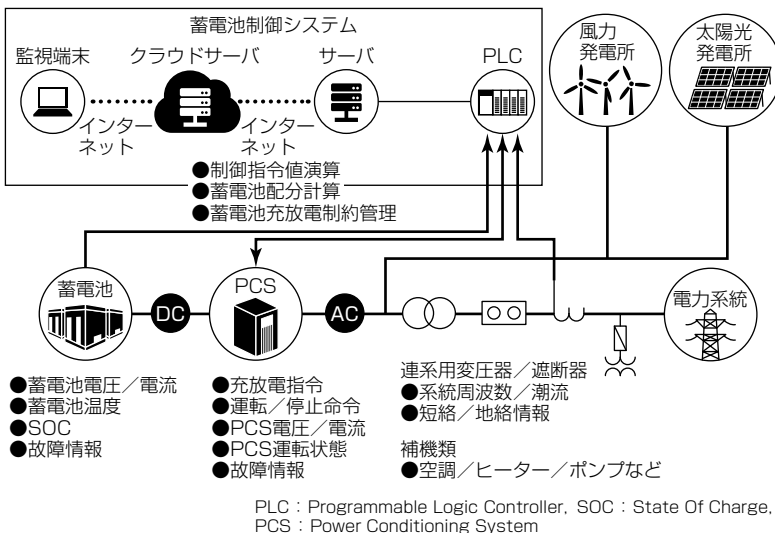


図2. 蓄電池制御システム構成

を電力システムだけでなく、社会インフラとして活用するためのIoT無線端末、及びIoT通信基盤システムを開発している。ガス・水道メータ向けの自動検針サービスやインフラ設備向けのセンサ情報を用いた監視・制御、各種データを収集・蓄積・分析することによる業務効率化、設備投入計画への適用といった様々なビジネス活用に貢献できるものと考えます。

また、将来の送電・配電ネットワークの整備や、発電所設備を含む電力設備の高経年化に伴う保守・更新投資を見据えた最適な設備保全投資など経済合理性の追求での収益最大化が一層重要度を増すものになる。設備資産そのもの、関連する業務、運用・保守に見える化し、設備の状態・リスクに基づく設備保全投資計画と運

用計画など経営支援としてのアセットマネジメントシステムの導入によって、一層の業務革新が期待される。

(2) 雇用人口が減少の中でのAIの活用

デジタル技術の発展や少子高齢化を背景とした人手不足などの影響によって、あらゆる産業で自動化が進んでいる。しかし、新たな設備やシステムは費用対効果の面で円滑に導入が進まない状況が生じやすい。運用設備の重要度に加え、熟練技術者からの技術継承問題への対応、経済活動での必須の価値としての認識が広がることと、標準化や測定機器設置コストの低減とともに付加価値の高いサービスを伴いその設備活用と運用の高度化が両輪となって進展することが期待される⁽²⁾。従来の大型火力発電所でも、その役割を電力量供給源から調整力供給源にシフトさせているため、電力安定供給とともに運用の合理化、保全コストの最小化が求められており、AIを活用した設備状態の把握と予測を効率的かつ正確なものにすることが重要になる。

2.2.4 Decentralization(分散化)

(1) 大規模集中型電源との補完関係形成

小規模な再エネや燃料電池などの分散型電源の導入が進展し、今後、大規模集中型電源との適切な相互補完関係を形成していくと考えられる。火力発電には自然変動電源の補完等、電力安定供給への貢献が求められており、高効率化・低炭素化と並んで発電設備の安定稼働が重要な課題となっている。これに応じるため火力発電プラントは運転体系を多様化させており、発電機を長期間連続運転せずに一日の中で必要な時間だけ運転(Daily Start and Stop : DSS)させる運用になるため、起動停止回数は従来と比べて確実に増加することが見込まれ、特に回転子強度の点での信頼性向上が不可欠となっている。大規模三次元解析技術の導入によって、起動停止に対する低サイクル疲労強度評価の高精度化が実現され、通常のベースロード運用で想定している起動停止回数を大きく上回る起動停止による繰り返し負荷に対して、より信頼性の高い構造を適用することが可能になった。また、発電設備稼働率の維持・向上に貢献する予防保全技術開発として、タービン発電機の点検ロボット及び発電機の異常兆候早期検出を目的としたオンライン部分放電監視システムを開発し、更なるアフターサービス事業拡大を目指す。

(2) 電力システムの地域分散化

再エネの普及加速を目的として2012年に制定された固定価格買取制度(FIT)によって、住宅用太陽光発電パネルの設置や数多くの太陽光発電所が建設されたが、2019年末から太陽光発電の余剰電力を売電してきた一般家庭の買取期間が順次終了し、買取期間を終えたユーザーは、蓄電池などと組み合わせた“電力の自家消費”又は自らの電

気の売り先や価格決定による“余剰電力の売電”のどちらかを選ぶ必要がある。今後も分散電源の更なる導入拡大が加速する中で、発電・送配電システムと需要家エリアに新たに発生する分散エネルギーが各電力市場で有機的に連携する電力システム地域分散化(図3)での対応力への期待が高まっている。当社は、VPPソリューションを通して、電力網に分散している電源を統合制御した最適運用を実現していく。

(3) EV導入によるMobilityとUtilityの融合

EVの普及も世界規模で確実に進んでおり、電力貯蔵装置を抱えるEVは、従来型の電力供給システムを大きく変貌させるポテンシャルを持っており、その有効活用が求められている(図4)。また、太陽光発電、蓄電池、EVが普及すると、需要家が電気を売る側にもなる“プロシューマー”が出現すると予想され、ブロックチェーン技術によって、電力の利用状況が瞬時に分かり、需要家同士が電力を取引する新しい市場が期待されている。

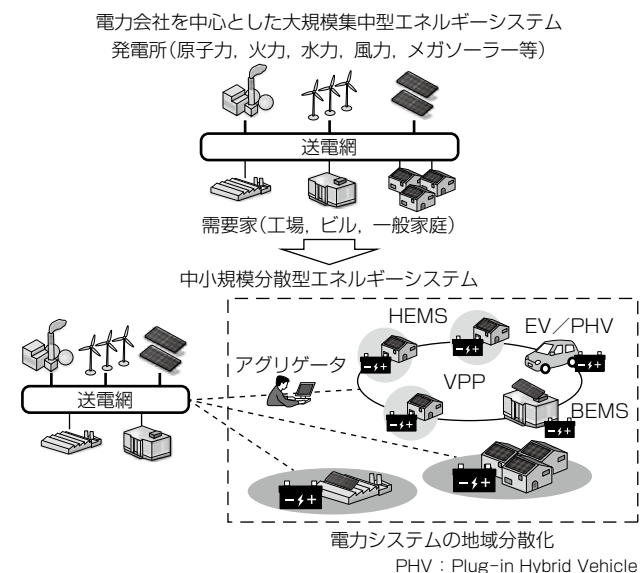


図3. 電力システムの地域分散化

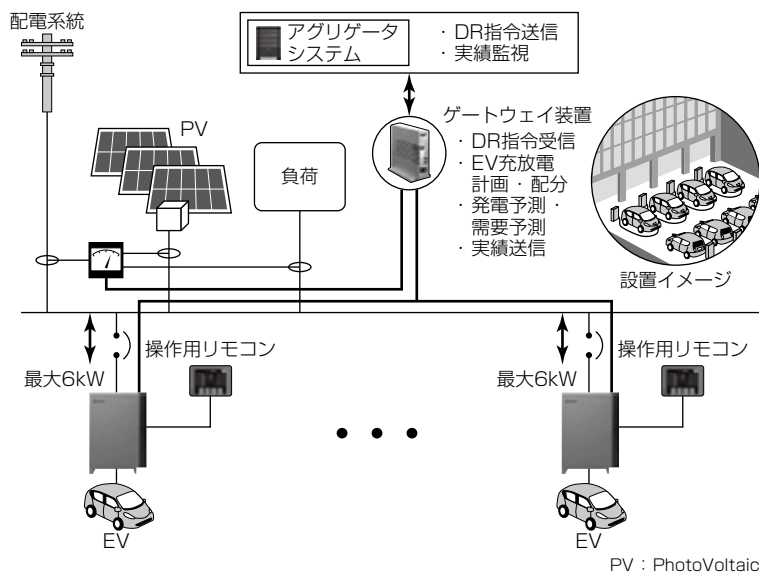


図4. V2G(Vehicle to Grid)実証例

3. Digitalization(デジタル化)

3.1 デジタルトランスフォーメーション(DX)

経済産業省のDXレポートでは、あらゆる産業で、新たなデジタル技術を活用してこれまでにないビジネス・モデルを展開する新規参入者が登場し、デジタル・ディスラプションと呼ばれるゲームチェンジが起き、どのようにビジネスを変革していくかの経営戦略そのものが不可欠であると提唱している⁽⁴⁾。電力システムへのDXの目的は、新規事業創出と、デジタル技術による設備運用の経済合理性追求や省人化・高効率化による収益最大化である。近年、電力各分野の情報を広域に収集し、ビッグデータ解析を行った上で、設備状態の見える化・予測・最適化や業務省力化にAIが急速に実用化されつつあり、当社AI技術ブランド“Maisart(マイサート)”を適用した新規事業創出と収益最大化に資する運用高度化を実現する。

3.2 電力システムへのAI適用

3.2.1 時系列データ分析技術

原子力発電所の超安全運用や火力発電の環境問題に対応するための運転最適化や省エネルギー化への対応、保安技術の向上などの課題を解決するため、デジタル技術の導入による設備稼働率向上や運転最適化が進められている。当社のビッグデータ分析技術の一つとして、時系列比較計算量を削減し、検知対象データからの外れ値検知をリアルタイムに実現する類似波形認識技術がある⁽⁵⁾。これまでのようにセンサの波形データの全てを見比べて異常兆候を見つけるのではなく、波形データを幾つかの典型的なパターン(クラスタ)に分類・学習し、そのパターンとの違い(外れ度合い)だけを抽出することで、少ない演算回数で素早く異常兆候を見つけだすことが可能な技術であり、発電機の稼働中の運用データに対して診断技術を高度活用した予防保全に適用している(図5)。

3.2.2 画像解析技術

送配電設備の“低廉で良質な電気を安定的に届ける”を将来にわたって維持するため、保全業務の更なる安全と業務効率化・高度化を図る必要がある。画像解析技術は“現場

業務高度化”と“データ見える化”に位置付けられ、ヘリコプタ、ドローン、車両巡視など情報収集手段が多様化する中、少ない演算量、メモリ量で学習用画像生成を効率化したコンパクトなAIが求められている。また、特徴量抽出(設備の特徴を数値化して異常を抽出)と深層学習(設備の正常・異常画像を学習させて異常を抽出)をする複数のAI技術を組み合わせたハイブリッドな画像解析による精度の高い電力設備の異常抽出によって、保全業務の効率化を実現する。

3.2.3 エッジコンピューティング

コンパクトな波形解析や画像解析AIを現場のエッジ領域に適用することによって、事故予兆検知や、災害現場等のリアルタイム解析への広がり期待できる。設備の最適運用や異常兆候検知を目的とした波形解析AI・画像解析AIを発電プラントの発電機、ボイラなどの現場設備(エッジ端末)や送配電設備の変電所・配電線情報を収集するIED(Intelligent Electronic Device)に搭載することによって、収集された多数の運用データをリアルタイムに処理し、運転効率向上や故障予知など経済合理性を追求する支援機能を情報システム(IT)で分析・予測するなど、運用制御システム(OT)と融合した電力システムによって、設備運用の経済合理性追求や省人化・高効率化による収益最大化が期待できる。

4. む す び

当社は、発電機や発電プラント監視制御システムなど、発電所の中核となる設備や、電力系統を監視・制御する機器やシステム、及び電力市場の変革と効率的運用をサポートするシステムなど、発電から送変電、配電に至る全てのフェーズで、電力インフラの発展に大きな役割を果たしてきた。さらに、エネルギーに関連する技術を高度に発達させた加速器や超電導の分野でも、豊富な経験と先端技術を持っている。クリーンエネルギーの需要が高まる中、デジタル技術を活用した電力システムの変革に向け、当社が持つ幅広い電力技術とデジタル技術を融合させた先進的なソリューションを提供していく。

参 考 文 献

- (1) 竹内純子、ほか：エネルギー産業の2050年 Utility 3.0へのゲームチェンジ、日本経済新聞出版社(2017)
- (2) 濱本総一：インフラの変革を支える技術、三菱電機技報、90, No.11, 604~608(2016)
- (3) 経済産業省：第5次エネルギー基本計画(2018)
- (4) 経済産業省：DXレポート～ITシステム「2025年の崖」の克服とDXの本格的な展開～(2018)
- (5) 中川路哲夫：“Connected Industries”の実現に向けたFA分野へのAI技術適用、三菱電機技報、92, No.4, 216~220(2018)

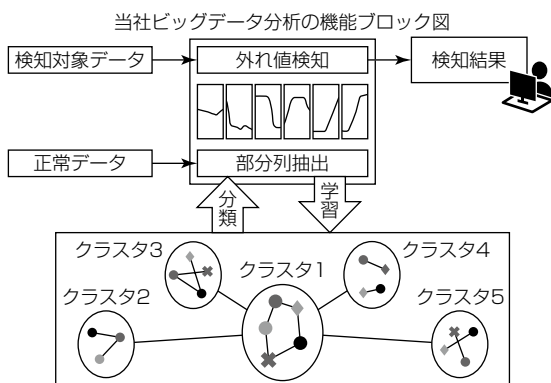


図5. 波形の類似度を算出する時系列データ分析