

## 特集論文

# 脱炭素社会実現に向けた エネルギーソリューションへの取組み

Initiatives for Energy Solutions to Realize Decarbonized Society

西都一浩\*

Kazuhiro Saito

富山敦司\*

Atsushi Tomiyama

澤村亮太\*

Ryota Sawamura

山本和矢\*

Tomoya Yamamoto

\*E&Fソリューション事業推進部

## 要 旨

三菱電機では、電力の利用を含めたシステム全体が抱える課題の解決に貢献するため、脱炭素社会実現に向けたエネルギーソリューションに取り組んでいる。再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の創出と省エネルギー、熱源電化と熱エネルギー管理、受配電設備の遠隔監視、異常予兆検知を含めたスマート保安ソリューションなど、社会ニーズに即した技術の探索や新たな製品・サービスの社会実装に向けて社内実証を通じたE&F(Energy and Facility)ソリューションの創出を進めている。

## 1. ま え が き

2050年脱炭素社会を実現するため、各分野で脱炭素社会の実現に向けた取組みが加速している。電力分野では電源の脱炭素化と電力の地産地消、産業・民生・輸送分野ではエネルギーの電化とグリーン電力の利用による脱炭素化が求められている。また、非化石価値の取引を始めとした経済的手法、脱炭素への取組みを投資判断の指標とする金融的手法が導入されるなど、様々な角度からのアプローチが試みられており、産業構造や社会経済の変革を伴う大きな潮流になりつつある。

電力分野だけでなく、製造企業等の電力の需要家サイドでも、温室効果ガス(Green House Gas: GHG)の排出削減に加えて、サプライチェーン全体での脱炭素化達成への要請が高まりつつある。製造企業が引き続き市場での価値を見いだしていくためには、効率的かつ経済的に企業活動の脱炭素社会化を進めることが必要になってくる。

本稿では、脱炭素社会の実現に向けた当社の取組み概要、一般産業やビル向けに当社が取り組んでいる電気と熱のトータルソリューション(E&Fソリューション)とこれらを支える技術の社内実証の取組み概要について述べる。

## 2. 脱炭素社会に向けた当社の取組み

脱炭素社会への取組みは世界的な趨勢(すうせい)になりつつあり、脱炭素化・脱炭素社会を表明する国や企業が続々と増えている。グローバルな取引では、サプライチェーン全体での脱炭素化達成の要請が高まっており、製品購入契約の条件に製造企業での脱炭素の取組みを課す事例も出てきている。また、政府主導で脱炭素社会にいち早く移行するための挑戦を行い、国際ビジネスで勝てる企業群を育成し、産・官・学が一体になって、経済社会システム全体の変革のための議論と取組みを行う場としてGX(グリーントランスフォーメーション)リーグへの参加を表明する企業も増加傾向である。

このような背景の中、当社としてはサステナビリティの実現を経営の根幹に位置付けており、その実現に向けて大きく動き出しているところである。特に、カーボンニュートラルについては当社の強みが発揮できる分野と考えており、その取組みを加速させつつ、自社の脱炭素化の実現を目指した取組みを実施している。

しかしながら、脱炭素社会に向けたGHG排出削減目標を定めても、具体的にどのような対策を打つべきか、より効果的なソリューションの選定や優先順位付けなどで悩んでいる事業者も多いと考えられる。当社も同様の悩みを抱えており、自社工場での実証設備の導入などを手始めに、脱炭素ソリューションの創出に取り組んでいる。

### 2.1 取組み概要

脱炭素社会の実現に向けた当社E&Fソリューションの概要を図1に示す。当社ではGHGプロトコルイニシアティブの定めるスコープ1及びスコープ2に該当する工場・オフィスからのGHG排出量の2030年実質ゼロを目指している。スコープ1は燃料の燃焼や、製品の製造などを通じて、企業等が直接排出することを指しており、スコープ2は他社から購

入した電気、熱や蒸気などを間接的に使う間接排出を指している。また2050年には当社としてバリューチェーン全体でのGHG排出量実質ゼロを目指している。製造業でのバリューチェーンは原材料／部材調達・製造・物流・販売・廃棄等一連の流れを指しており、スコープ3と呼んでいる。スコープ1、スコープ2及びスコープ3を含むGHG排出量を非財務情報として公開し、その削減を目指した取組みを推進している。当社では空調・照明などを含む、省エネルギーに関する製品を取り扱っており、各工場でも省エネルギー推進及び敷地内への太陽光発電等の導入を進めている。一方で、工場稼働時間の電力を敷地内に敷設した再エネで全て賄うことは困難であり、外部からの再エネを活用することも重要である。また非稼働日や中間期(春・秋)では太陽光発電量が余剰になる時間帯も発生するため、再エネを余すことなく有効活用することが重要と考えている。これは当社だけでなく社会全体で発生し得る課題であり、電力の需給バランスを乱さないために、太陽光発電等の出力制御が必要になっている。そうした中、当社は2021年に国連主導で創設された国際イニシアティブ“24/7 Carbon Free Energy Compact”に加盟した。このイニシアティブでは、24時間・365日で1時間単位の電力消費に合わせたカーボンフリー電力を100%供給する概念を掲げており、当社としても再エネを余すことなく使い、実態ある脱炭素化社会実現に向けた一歩を踏み出すための活動を推進している。

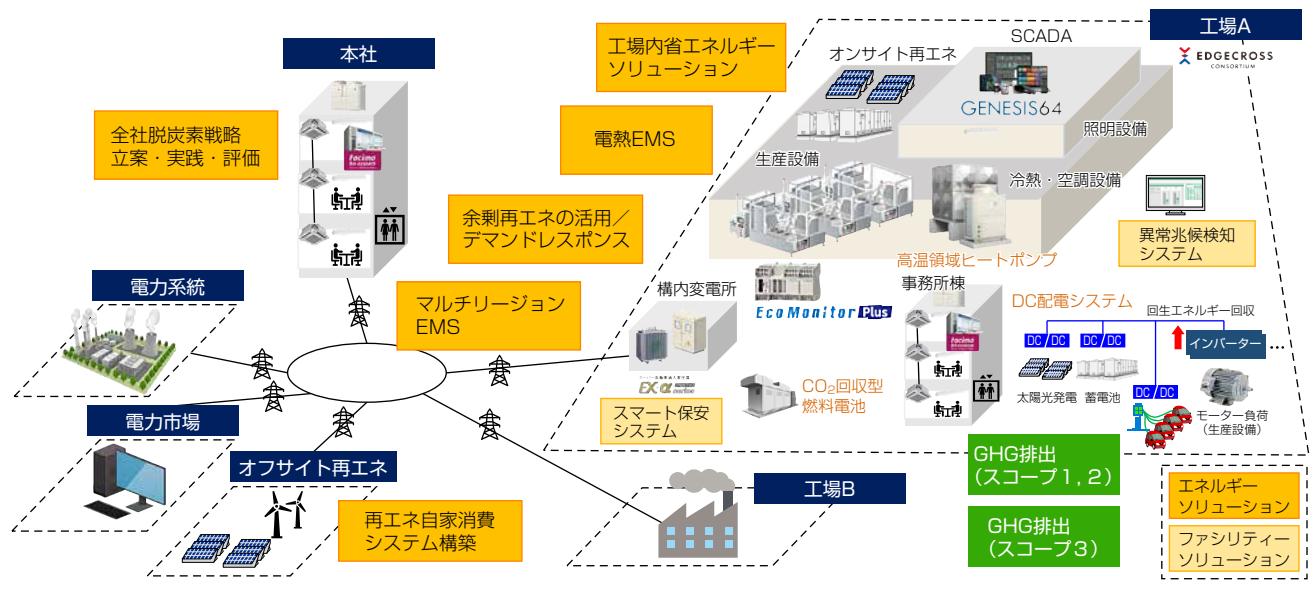


図1-E &amp; Fソリューション

## 2.2 再エネの導入促進

脱炭素化社会を目指す電力需要家で再エネを導入する機運が高まっている。実現手法は、図2に示すとおり、大きく分けて、①電力会社の再エネメニューを購入、②ユーザー企業で環境証書の購入、③ユーザー企業で再エネ電源に関与、の三つがあり、これらの手法を組み合わせて実現することが求められる。なお、気候変動の抑止観点からは追加性を確保した③が電力需要家として望ましい。当社では省エネルギー施策だけでなく、様々な電源種や導入方法などを組み合わせて再エネ調達量を増やすことで、工場・オフィスからのGHG排出量の2030年実質ゼロの実現に向けた活動を推進中である。

## 2.3 電力需要家としてのデマンド調整

再エネの普及が進むと電力需給バランス調整のため、発電設備の出力制御が日本各地で必要になる可能性が高まってくる。電力会社では出力制御時の火力発電等の最低出力引下げや、系統増強などに取り組んでいる一方で、当社では電力需要家として電力を有効活用することで出力制御量の減少に寄与することを検討中である。蓄電池やヒートポンプ等を活用したデマンドシフト等の有効活用を検討しているが、一方で、現在は卸電力市場での約定価格は昼間が相対的に安く、朝夕・夜間は高くなる傾向がある。小売電気事業者が提供する電力料金メニューの活用や、市場連動型電気契約メニュー等、経済性DR(デマンドレスポンス)を組み合わせた経済合理性の確保も重要な要素である。

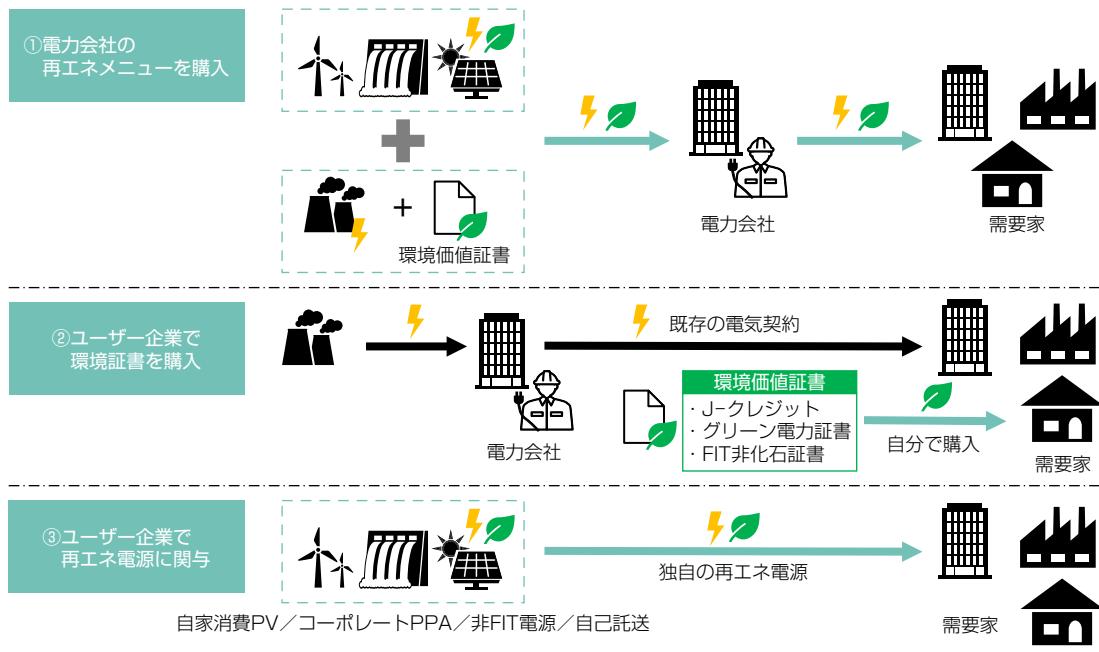


図2-再エネ調達スキーム

### 3. 電気と熱の一体的なエネルギー管理

一般家庭と異なり製造業分野やビル分野等の大規模需要家のエネルギー利用では、電力だけでなく熱(蒸気、温水、冷水等)も広く利用されている。大規模需要家の熱エネルギー利用用途は、ビル分野では空調・給湯用途が多く、製造業分野では空調・給湯用途に加えて生産工程での利用も多い。さらに製造業の生産工程は多種多様であり、生産工程に応じて求められる熱の温度、圧力、容量、性質が全く異なる。それらの熱エネルギーを生成するために、パッケージエアコンやビル用マルチエアコン等の冷媒を利用した空調設備のほかに、ボイラー、冷凍機、ヒートポンプチラー、エコキュート等の蒸気、温水、冷水を生成する熱源設備や、バーナーなどで直接加熱する工業炉が用いられている。さらに、電力と熱を同時に生成するコージェネレーションシステムや、電力や熱のエネルギーを蓄積する蓄電池、蓄熱槽等の設備も広く用いられている。また、熱源設備には化石燃料の燃焼によって熱を得る設備が多いが、脱炭素社会の実現には化石燃料からの転換が必要であり、既存の熱源設備を電化する取組みやカーボンフリー燃料の活用検討も活発になってきている。このように、先に述べた熱源設備では蒸気ボイラー等の化石燃料を用いる設備と、ヒートポンプチラーなど電力を用いる設備のそれまで対応可能な温度範囲や負荷変動への追従性等の設備特性が異なる。そのため製造業の工場や大規模ビルでは多種多様な機器を組み合わせて電力・熱エネルギーを作り出すエネルギー生成システムが構築されている場合が多く、製造業分野やビル分野の大規模需要家では電力と熱を一体的に捉えたエネルギー管理システムが必要である。エネルギー生成システム全体でGHG排出量を削減するにはエネルギー生成効率を最大化するとともにシステムへの供給電力と燃料バランスの最適化、さらに供給電力の非化石価値調達等、総合的なエネルギー管理システムが必要である。

#### 3.1 当社のエネルギー管理システム

通常のエネルギー生成システムでは現在のエネルギー消費量に追従して自動で出力を制御する自動制御システムを構築している場合が多い。しかしながら自動制御システムによる出力制御には、①現在の状態値に応じたフィードバック制御が主であり将来の変動を見越した制御になっていないこと、②対象が機器単体だけでシステム全体の効率を考慮していない場合が多いこと、③設定値に応じた制御になっているため設定値を人手で検討する必要があること、の課題があった。

当社のエネルギー管理システムはこれらの課題を解決するシステムであり、以下の三つで構成している。

##### (1) 将来の需要を予測する需要予測機能

需要予測機能では、AIを用いた高精度な電力・熱のエネルギー需要予測を実現しており、当社の電力需給管理システムで培った需要予測手法に加えてOSS(オープンソースソフトウェア)の活用も可能にしているため、柔軟かつオープン

な予測機能の構築が可能になっている。

### (2) システム全体の最高効率運用を計算する最適化機能

最適化機能では、システム全体の特性を数式化することで数学的に最適解を導出する数理最適化手法を用いている。数理最適化手法では数学的に最適解が保証されている安定的な解の導出が可能である一方、最適解が運転の実態に即していないため運転に用いることが難しいという課題が挙げられる場合がある。そこで、当社は独自の数式化ノウハウによって制約条件や運用条件を適切に数式化することで運転の実態に即した最適解の導出を可能にしている。

### (3) 自動制御システムに適切に設定値を出力する自動制御機能

自動制御機能では、一般的にエネルギー生成システムの安定稼働は自動制御システムが担っている場合が多いため、自動制御システムで安全・安定な稼働を担保しつつ、最適な運用が実現できるような設定値変更方法の設計が必要である。当社は製造業分野、ビル分野で培った自動制御システム構築ノウハウを活用することで既存の自動制御システムと親和性の高いシステム構築が可能である。

## 3.2 導入メリット

当社のエネルギーマネージメントシステムの導入メリットの代表例を示す。

製造業分野での代表的な例として工場併設の大規模自家用発電設備での電力・熱エネルギー生成の最適化が実現できる。自家用発電設備は主にボイラー・タービン・発電機で構成されるが、発電用途だけの事業用火力発電所とは異なり、蒸気を生産工程へ送って活用するという特徴がある。蒸気はボイラーで生成するだけでなくタービンから蒸気を抽気して使用する場合もあり、蒸気系統も要求圧力に応じて複数必要になるため、システム全体の系統が複雑になる場合が多い。当社のエネルギーマネージメントシステムでは、それぞれのボイラー出力配分やタービンからの抽気量等を最適化することで蒸気生成コストやGHG排出量低減を可能にしている。一般的に自家用発電設備の制御には分散制御システム(Distributed Control System: DCS)が用いられており、主となる制御はDCSで実施して蒸気供給の安定性を担保しつつ、一部の流量調節弁の制御設定値をエネルギーマネージメントシステムから指示することで、間接的に設備全体の稼働バランスを調整して最適運転を行うことが可能である。大規模自家用発電設備以外にも生産工程で必要になる冷温水供給系統の稼働の最適化など、幅広く適用可能である。

ビル分野の代表例として地域熱供給事業者の保有する熱供給プラントでの蒸気・冷水・温水生成の最適化が期待できる。地域熱供給事業者は、熱供給プラントで蒸気・冷水・温水を生成し、周辺のビルに対してエネルギーを供給している。スケールメリットを活用して高効率なエネルギー生成が可能なほか、レジリエンス向上にも寄与している。熱供給プラントはボイラー、ターボ冷凍機、吸収式冷凍機、蓄熱槽、コーチェネレーションシステム等の熱源設備で構成される。従来は熱の使用先であるビル側の需要変動への追従と、需要量に応じた最適な熱源設備稼働の調整が課題であったが、当社のエネルギーマネージメントシステムで需要を予測し、需要に応じた各熱源設備の出力を最適化することで、更なる安定稼働への寄与とプラント稼働コストやGHG排出量の低減が可能になる。一般的に熱供給プラントの制御は中央監視システムで供給温度や供給差圧が規定内に収まるよう管理されている場合が多い。そこで、供給バイパス弁制御など安定供給に必要な制御は中央監視システムで実施して供給の安定性を担保しつつ、一部熱源設備の個別ポンプの流量設定をエネルギーマネージメントシステムから指示することで、間接的に設備全体の稼働バランスを調整して最適運転を行う。熱供給プラント以外にも大規模ビルのセントラル空調の最適化や空調設定値の最適化等、幅広く適用可能である。当社のエネルギーマネージメントシステムを図3に示す。

## 4. E&Fソリューション実現に向けた社内実証

製造事業者視点の脱炭素化に焦点を当てると、再エネの調達・省エネルギーを含むエネルギーの最適運用・設備運用の効率化が重要課題と考える。当社ではこれらの課題解決に向けてE&Fソリューションと名付けた価値を提供するため、導入効果の検証と当社自らの脱炭素化への取組みを兼ねて、受配電システム製作所(香川県丸亀市)で実証試験を開始した。社内実証の全体システム構成を図4に示す。社内実証は、再エネの導入拡大に向けた需給調整や電力供給エリアをまたいだ自己託送による余剰電力の有効活用を目的に広域的な環境価値管理を実現するマルチリージョンEMSを主体とした電力基幹ソリューションと、配電ロス削減に向けた直流配電網の導入、脱炭素社会を見据えた熱源の電化、及び経済産業省が推進するスマート保安技術等の構築を目的に工場内の機器制御を行う受配電ソリューションに分かれる。

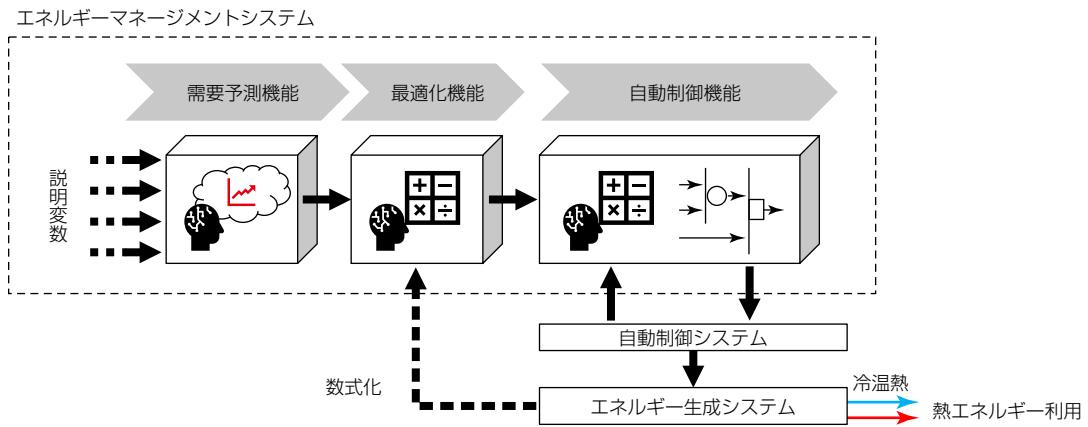


図3-エネルギー管理システムの機能構成

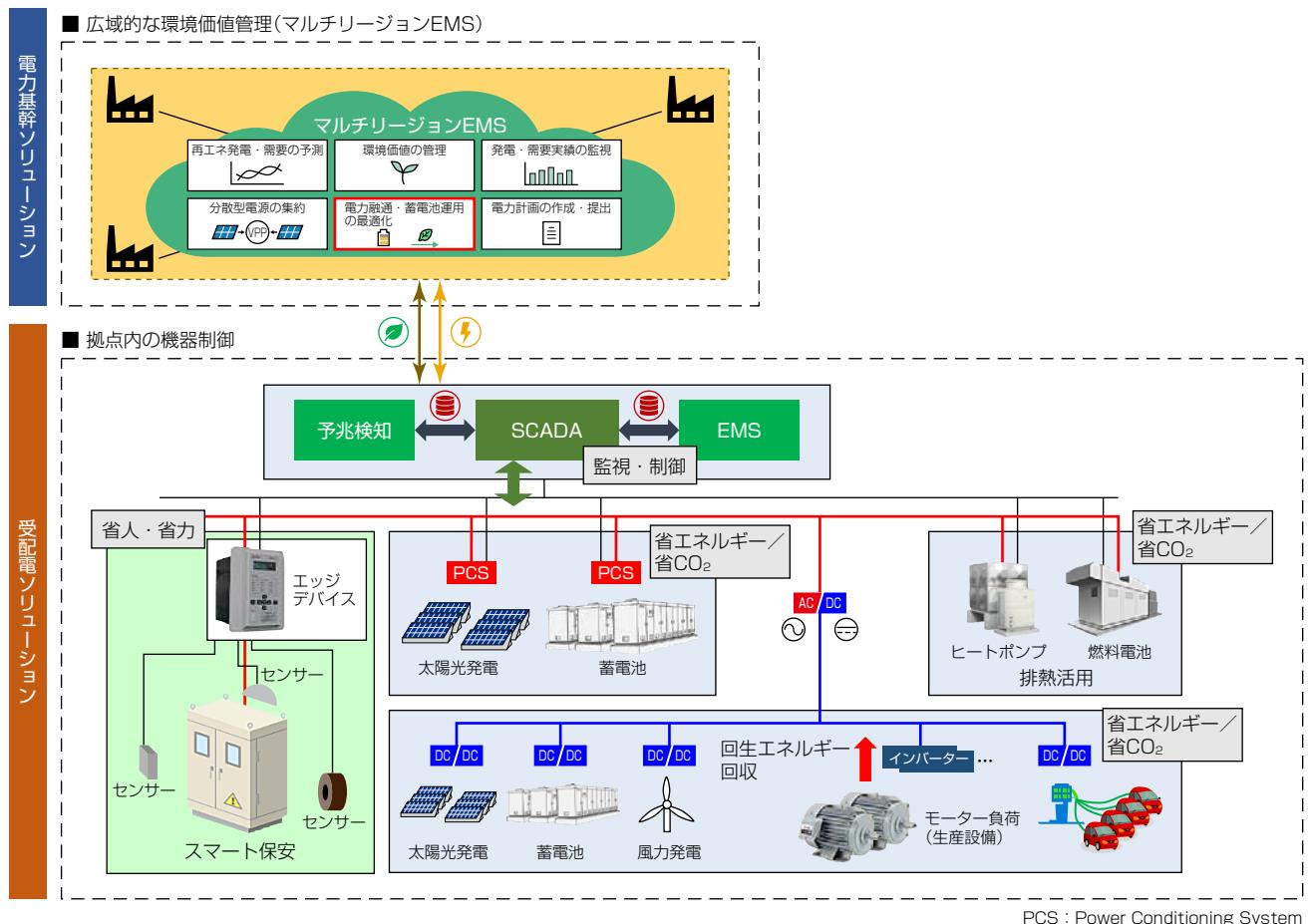


図4-社内実証全体システム構成

脱炭素化社会を実現する上で重要なことが、電力・熱の最適化と再エネ調達量のバランスを取ることである。この実現のため、自己託送制度を活用し自社内の複数の工場間で再エネを融通する実証試験を開始した。特に余剰再エネが発生している一般送配電事業者の電力供給エリアに属する工場から、再エネが不足している別の一般送配電事業者の電力供給エリアに属する工場に対して再エネを供給することで、再エネの出力制限を行わずに、発電電力を余すことなく利用できることを検証していく予定である。自己託送制度では厳格な需給管理が求められ、30分単位での太陽光発電の発電計画作成や、製作所の電力負荷を正確に予測する必要があるため、今まで培ってきた当社のエネルギー管理のノウハウを活用し、脱炭素化社会実現に向けた活動を推進している。

他方で、製造事業者の付帯設備では設備の高経年化、保守人材の高齢化と人材不足、保守技術・技能伝承の課題だけでなく、再エネを含む分散電源の増加に伴い、設備の保守・運用が困難になることが予想されている。このため、需要地の受配電設備に対するスマート保安と呼ばれる、各種センサーや監視カメラ・IoT(Internet of Things)技術を利用した遠隔監視や状態監視の推進、ドローン等を用いたアクセス困難設備への映像等による保守保安の推進、AI等によるデータ解析を用いた予兆診断・予防保全の推進等の電気保安の先進化等、将来に向けた取組みが求められている。当社受配電システム製作所では工場内の受配電設備の遠隔監視・異常検知を実証するとともに、この実証で得られるデータを活用し余寿命診断に向けた技術開発等を行っている。

## 5. む す び

脱炭素社会実現に向けた世界的な趨勢と、実現に向けた当社の取組みについてE&Fソリューションを中心に述べた。受配電システム製作所でのスマート保安に関する社内実証内容については、以下の論文で詳細を述べている。(本号“受配電設備向けスマート保安実現への取組み”<https://www.giho.MitsubishiElectric.co.jp/giho/pdf/2024/2406104.pdf> 参照)

各社の置かれている状況や方針は様々であるが、今回述べた当社の取組みが各社の検討の一助になれば幸いである。

