

第1部 電力システム

電力システムのデジタル化

Power Systems Go Digital



濱本総一*
Soichi Hamamoto

1. ま え が き⁽¹⁾

電力システム改革とともに進展する電力システムのデジタル化、デジタルトランスフォーメーション(DX)によるフィジカル空間からサイバー空間への価値創出の源泉の移行、コロナ禍による個人レベルにまで及んだ意識の転換、及び固定観念の大きな変化によって、電力システムを取り巻く事業環境は加速的に変化している。また、SDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標)への取り組みでは将来にわたる社会的課題解決への貢献が重視されるなど大きな変革期にある。

三菱電機電力システム製作所では、発電機、監視制御システム、情報通信システムなどの電力システムに関連する幅広い製品の開発を進めて、変革を支える製品を提供し続けてきた。近年では、電力システムインフラの高度情報化など長年培ってきた情報通信技術を基盤に変化に適応し、当社創立当時の事業である大容量発電機の生産現場でも様々なデジタル化を積極的に取り入れて進化し続けている。

本稿では、電力システムに活用されてきた情報通信技術の変遷から最新の取り組みを述べて、デジタル活用の将来を展望する。

2. 電力情報制御システム

2.1 計算機の導入と変遷

当社での計算機技術の電力関連情報制御システムへの応用の取り組みは1960年代に遡る。当初データロギング用途であった計算機は、1970年代に入るとマイクロプロセッサの技術革新に伴ってデジタル制御機能を備えた装置としても適用されるようになり、1980年代にはマイクロプロセッサの高性能化とともに、ソフトウェアの生産性向上、高速演算性能とリアルタイム性を実現した工業用計算機“MELCOM350-60”の開発に至る。ソフトウェア開発・保守支援システムを拡充しながら大規模システムへの適用を進めて、自動化による省力化や柔軟な設備運用の実現に貢献した。

1990年代に入ると電力システムでの情報システムの役割が必須になる中、計算機の応用範囲の拡大とともにリソースの有効活用や将来にわたる発展性・継続性が重視されるようになり、ベンダー独自のクローズドシステムからオープンな標準技術の採用と、集中型から汎用計算機採用による分散型への移行が始まった。一方、1995年の電気事業法改正によって、規制緩和、電力自由化への大きな方向転換が行われ、求められるシステムの複雑化が加速した。オープン化・分散システムの採用は拡大し、UNIX^(注1)システムへの移行、エネルギー・情報を統合したネットワーク構築による需要側と供給側の情報連携(自動検針、リアルタイム料金など)、電力設備の監視制御・自動化システムの高度化と業務効率化・業務支援を目的とする業務処理システムとの融合も始まる。

2000年代にはダウンサイジングとオープン化志向の高まりの中で産業用パソコンやLinux^(注2) OSの採用が進んで、エンジニアリング環境の高度化やIP(Internet Protocol)ネットワークの活用など広域分散システムの導入に至る。広域分散の実現では処理性能や信頼性を確保しながら計算機が提供するサービスを確保する大規模仮想化技術やセキュリティを考慮した上での柔軟なデータ連携・配信を可能にしている。さらには、経営情報管理系と制御系のシームレスな結合によってインフラ全体の維持・運用費用の削減に向けた技術開発を推進している。

(注1) UNIXは、X/Open Company, Ltd.の登録商標である。

(注2) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

2.2 オープン分散制御システム

発電プラントでの監視制御システムでは、リアルタイム機能、長期保守、システムの堅牢(けんろう)性、障害解析性を実現した基幹計算機の開発、及び電力系統制御システムではシステムの堅牢性、障害解析性を維持しつつ広域分散対応、監視制御対象の拡大に適応したシステム開発を進めている。

適用分野に応じた性能・機能を提供し、監視・制御の領域でオープン/標準技術の全面採用、既存システムを含む情報の一元管理、場所に依存しない情報取得やエンジニアリングを提供することによってシステム全体のライフサイクルコスト削減に貢献する。

2.2.1 小型モジュール炉“SMR-160”向け計装制御システム

脱炭素社会の実現に向けて、原子力も有力な選択肢の一つとして世界各国で技術開発が行われている。当社は加圧水型原子力発電プラント(PWR)計装制御システムで安全保護系を含めた計装制御設備をデジタル化し、信頼性・安全性を確保した中央監視操作とプラント制御保護を実現することによって大容量原子力の安定運転に貢献している。

一方、特に小型モジュール炉と呼ばれる原子炉は2020年代での商業化を目指して米国で多数のベンチャー企業によって開発が進められている。当社は、米国Holtec International社と小型モジュール炉“SMR(Small Modular Reactor)-160”の共同開発を進めており、計装制御システムの設備設計を担当している。制御・保護システムでは、安全性の向上及び設備小型化の両立のためのデジタル技術の適用範囲最大化や、受動的安全システムでの運転に適した運転監視設備の開発を進めている(図1)。小型モジュール炉は従来の発電用原子炉の1/3~1/6程度の出力の原子炉であり、その特長として小型化による安全性向上と設備合理化、柔軟な負荷追従運転による再生可能エネルギーとの共存等がある。原子力対応の高信頼なデジタル計装制御技術を継承・発展させ、安定に稼働するシステムの提供によって持続可能なエネルギー供給に貢献していく。

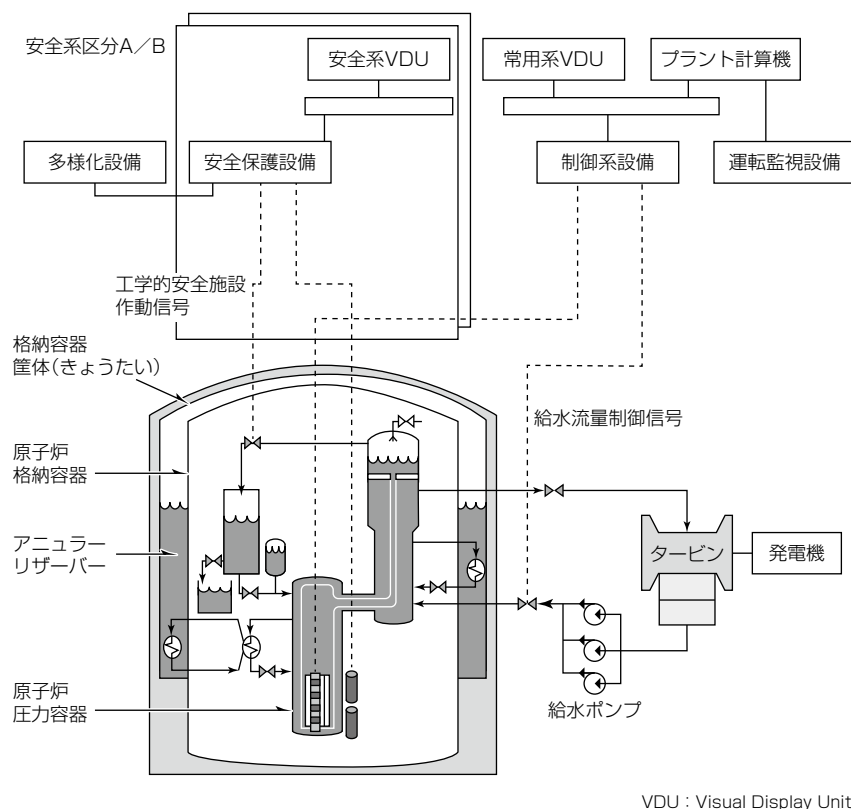


図1. SMR-160向け計装制御システム

VDU : Visual Display Unit

2.2.2 電力系統制御システム⁽²⁾

電力系統制御システムは、需給バランスの指令などを行う中央給電指令所、高圧の送電網や変電所などの監視制御を行う基幹給電制御所、各地域にある給電所・制御所などのシステムで構成され、広域に拡大する監視制御対象を束ねて、合理的かつ効率的な系統運用を支えている。従来のシステム構成は、監視制御処理を実行するサーバ群と運転員が用いる監視制御端末が同一拠点内に設置される形態が主流であったが、2000年代に入ってサーバ拠点と運用拠点を分離して広域IP網を介して接続する広域分散型システムが採用されている。近年、電力システム改革に伴う運用業務の変化に合わせた管轄範囲の変更や機能高度化への柔軟な対応、拠点被災時にも運用継続を可能にする広域バックアップ(BCP: Business Continuity Plan)機能が必要になり、さらに、大量データを活用した高付加価値サービスを提供する情報基盤としてのニーズが高まっている(図2)。

次世代電力系統制御システム向けプラットフォームでは当社独自の大規模・高密度仮想化技術を適用して、仮想計算機の独立性を確保し、物理計算機のハードウェアを有効に活用した効率的な動作を可能にしている。計算機仮想化技術の適用によってリソースの有効活用による計算機台数の削減と更新時のハードウェア差異隠蔽によるソフト

ウェア資産(OS, ミドルウェア, アプリケーション)の継承などライフサイクルコストの低減を実現している。それに加えて、従来は個々の端末に実装されていたHMI(Human Machine Interface)機能を仮想計算機として実装し、サーバ計算機上に集約したシンクライアント方式を採用している。ソフトウェアの保守性向上とセキュリティ強化が実現され、クライアント装置としてタブレット端末や、スレートパソコンも使用可能にしており、BYOD(Bring Your Own Device)に対応することで業務効率化にも広く寄与することが期待される。また、広域IP網を使用することから、暗号化、侵入防止システムなどのセキュリティ対策に加えて、OS上であらかじめ許可されたプログラム以外の実行を禁止するOSホワイトリスト機構を開発し、従来のパターンマッチングによるウイルス対策ソフトウェアに比べて未知の脅威への対策も進めている。

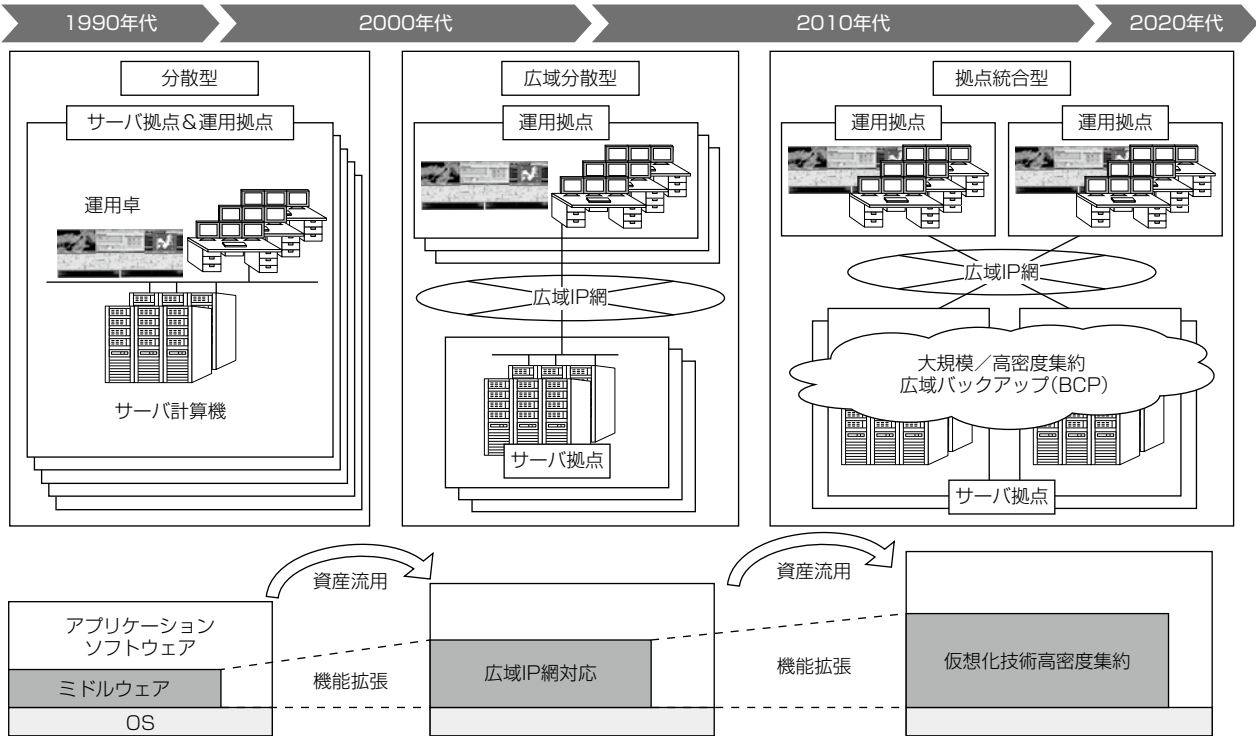


図2. 監視制御でのコンピュータシステム

2.2.3 次世代配電制御

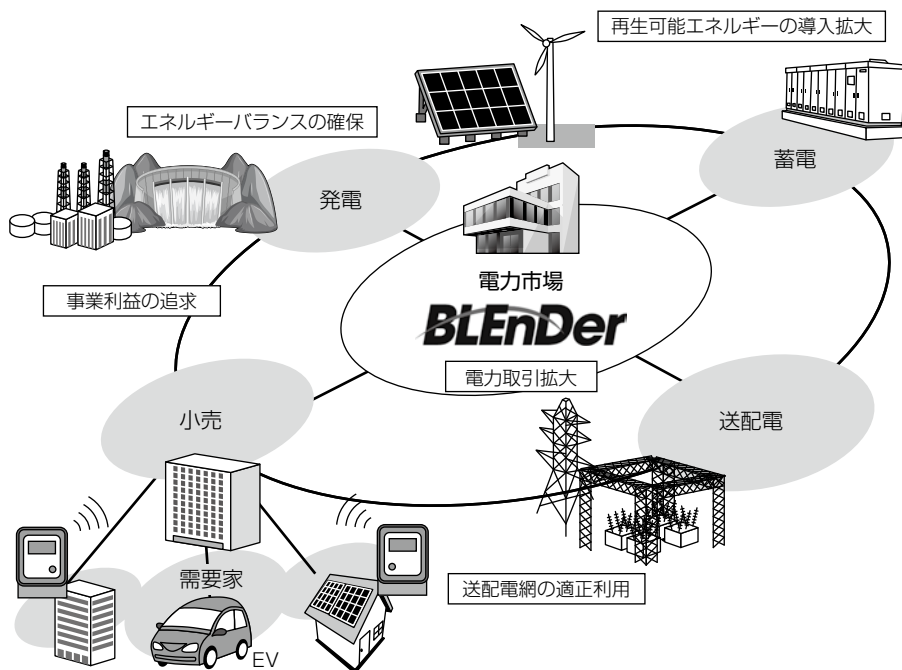
近年、自然災害や設備老朽化に伴う電力安定供給に関連した課題や配電系統での分散電源の導入拡大に伴う電力品質の向上が注目されている。当社ではこれら課題に対してエッジコンピューティング技術に着目し、これまで培った計装制御技術の応用として、拡張性が高く柔軟性のあるエッジ端末装置(Intelligent Electronic Device : IED)を活用したソリューションの技術開発に取り組んでいる。配電設備の大容量化や日常生活での電化の拡大に伴う電力供給信頼度の向上と設備運用の効率化に対応して1980年代から順次導入された配電自動化システム(Distribution Automation System : DAS)や複雑化する配電運用に対応した次世代配電系統管理システム(Advanced Distribution Management System : ADMS)など、配電系統の運用ニーズに関する知見に加えて、保護継電器や光通信/無線通信、人工知能(AI)などの関連技術を組み合わせることによって配電分野での新たな価値の創造を目指している。

配電事業での制度改正でも、レジリエンス性の向上や地域サービスの活性化などを目的にした議論が活発化しており、配電事業ライセンス制の導入によって、一般送配電事業者以外の事業者による配電系統の運用が可能になる。市場動向や社会情勢を鑑みて、次世代配電系統を見据えた配電技術の高度化を目指し、マイクログリッドやオフグリッドといった従来の電力系統とは独立して運用される分散型グリッドでの課題解決に向けた検討を進めている。

3. 電力需給管理システム

電力システム改革に伴う制度改正は継続しており、2021年4月には需給調整市場の運用が開始された。これまで各エリアの送配電事業者が個別に調達していた実需給断面で必要になる調整力を全国規模の市場で取引することになる。調整力制度が先行している欧米では各国の電力事情に応じた複数の調整力商品が展開されており、これを参考にしながら国内でも順次調整力商品の拡充が行われていく予定である。

当社は電力調整の基盤データを取得する電力メータ(スマートメータ)の国内導入から自動検針システムの構築、需給計画や取引情報を統合する需給管理アプリケーションの拡充開発を推進してきた。需給管理システムは同時同量監視を中核にしながら電力小売管理システムとして制度変更への対応、中央給電指令システム、広域機関システムなど外部システムとの関係を拡充し、制度改正を逐次反映しながら多様化する市場対応の複雑な計算や業務を支援する電力事業向け業務支援パッケージアプリケーションを“BLEnDerシリーズ”として提供している(図3)。これらのアプリケーションは大規模電源に加えて分散電源も活用した調整力市場の拡大、再生可能エネルギー適用拡大など新たな電力システムの構築に対応した統合監視・制御、需給調整の高度化に貢献する。

図3. BLEnDerシリーズ⁽³⁾

て、電力会社の管轄エリアを越えて広域的な調達・運用を行い、新規事業者の市場参加拡大によって効率的で柔軟な需給運用の実現を目指している。また、発電事業者は従来の“kWh価値”での電力需給管理に加えて、調整力として提供される“ΔkW価値”も同時に評価しながら、入札市場の選択、及び最経済発電計画の策定を進めるなど運用の選択肢が拡大している。

需給調整の高度化の一つに、需要家側に分散配置される小規模な分散電源（太陽光発電や蓄電池、EV(Electric Vehicle)など)を統合制御し、“仮想発電所(VPP: Virtual Power Plant)”としてあたかも一つの発電所として運用する概念がある。当社は分散電源の統合監視・

制御に対応したプラットフォーム“BLEnDer DEP(Digital Energy Platform)”を開発しており、BLEnDerシリーズとも連携し、分散電源を活用した需給制御、電力取引サービスの提供推進、そして再生可能エネルギーの導入加速に貢献する。BLEnDer DEPは、分散電源からデータを収集・蓄積し、データ活用基盤の提供機能と分散電源の制御機能を持っている。DEP標準のゲートウェイとして提供するDEP端末は、産業用及び家庭用機器との標準プロトコルに対応しており、また接続機器とのセキュアなネットワーク構築を実現している。さらに、他社のゲートウェイやプラットフォームとの連携を想定した開発も進めており、既存の設備とシステムを有効活用した分散電源向けプラットフォームの構築を目指している。

4. 発電機生産現場のデジタル化

火力発電プラントでは、再生可能エネルギー導入拡大に伴う調整力の向上や稼働率向上による低コスト化の取組みが活発になっており、タービン発電機では、単機大容量化・高出力密度化、既設機の増出力化・稼働率向上の要求が高まっている。また、継続的に取り組む品質向上、総合L/T(Lead Time)短縮、製品価値向上施策として、工程・リソース計画の高精度化、調達安定化、市場対応生産方式、保守・サービス力強化及びこれらを統合したSCM(Supply Chain Management)強化を基軸に、標準化、新工法開発、生産設計などのECM(Engineering Chain Management)基軸の活動を融合させたモノづくり力の強化を推進して

3.1 次世代スマートメータへの取組み

国内の各電力会社では2014年から通信機能を搭載したスマートメータを順次導入しており、2024年度末頃に全国展開が完了する見込みである。スマートメータによって電力会社管内をカバーする広域・大規模ネットワークが形成・運用されており、近年では再生可能エネルギーの普及等の社会環境変化を背景に、新たな配電事業の創出と配電事業以外でのスマートメータネットワークの高度利用の議論が活発化している。当社はこれら市場動向及び社会的ニーズを見据えて、次世代に向けたスマートメータシステムの高度化開発を進めている。次世代スマートメータシステムの開発では、高度な配電システムの運用に対応した検針の高頻度化・高粒度化や災害に対するレジリエンス性の強化に取り組んでいる。また既存スマートメータ網に接続可能なIoT(Internet of Things)無線端末の開発、エッジコンピューティング技術等の適用によって、ネットワークの利便性・拡張性強化、スマートメータ網を活用した電力事業以外によるサービス提供の実現に向けた開発も進める。電力システムだけではなく社会インフラとして幅広く活用できる次世代スマートメータネットワークの提供を目指している。

3.2 需給調整の拡大

需給調整市場は、分散電源など需要家側に配置されているリソースの有効活用、太陽光や風力などの変動する再生可能エネルギーの導入拡大に見合った調整力の確保に向け

いる。大容量発電機の生産現場でも、デジタル化を促進し、工場ICT (Information and Communication Technology) 化活動として次世代のモノづくり現場の実現と顧客接点のデジタル化の両面からの取組みを進めている。

4.1 発電機生産現場のデジタル化

タービン発電機の大容量化と出力密度増大は、発電機を構成する機械構造物の振動モードの複雑化と電磁加振力の増加につながるため、発電機の長期運用信頼性確保には、負荷運転時の各部品での固有振動数や振動応答・振動モードなどの挙動を正確に把握し、機械的信頼性を高めることが重要になる。当社では大規模構造解析技術によって(図4)、発電機固定子全体をモデル化して各部の連成を考慮した振動モード解析を可能にするなどの高精度な評価技術開発に加えて、3D CAD導入による開発期間の短縮と設計効率向上を目的とする生産技術のデジタル化を積極的に取り入れている。設計から製造までのシームレス化、ヒューマンエラー防止、安全確保や技術継承への適用を目指して、3Dモデル利用環境の構築、加工プログラムの自動作成、3Dモデルを利用した現地組立て・分解作業の遠隔支援、VR (Virtual Reality) 技術による作業性確認などの取組みを推進する。また、生産性向上施策の一環として、作業進捗実績をデジタルデータとして収集し、部材の入着状況、工程の遅れや停滞の把握、生産性指標分析、生産ロス発生状況といった情報を集約したBI (Business Intelligence) ツールを用いて工場管理情報を一元化し、各種改善活動へ展開している。

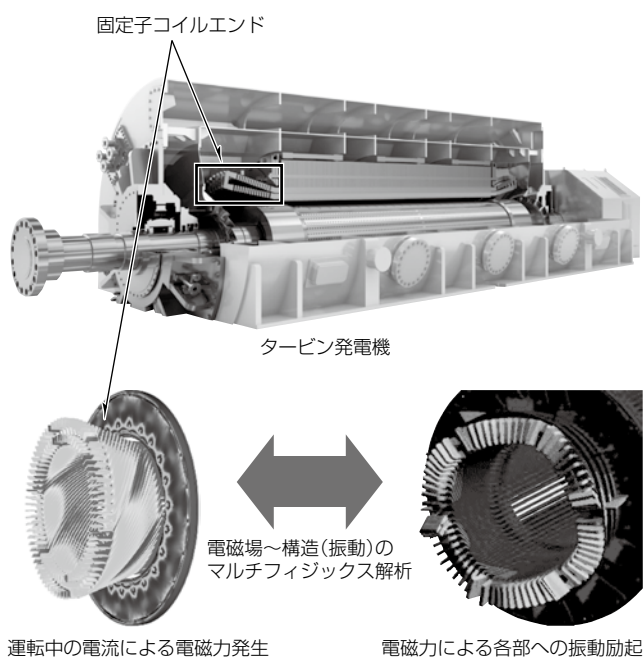


図4. 発電機の大規模構造解析

4.2 顧客接点のデジタル化

コロナ禍の影響を受けて、顧客とのコミュニケーションのあり方も大きく加速的に変化している。これまで対面で補完していた製品の訴求や理解の醸成についても情報共有のためのオンラインを活用した顧客接点の充実化を図り、ソリューション提供による顧客満足から当社製品採用への安心感につながるような取組みを進めている。顧客とWeb上で、定期点検の計画に必要な図面や部品リスト、生産中止品、不具合情報の横展開等の保全情報全般を共有するだけでなく、安定運用に寄与する予防保全改善メニューの概要、履歴、納期(工期)、未履行でのリスクレベル等を長期メンテナンス計画表に集約した“発電所カルテ”を導入して対面でなくとも顧客の理解度を高める情報を質・量共に充実させている。デジタル技術を最大限に活用し、より具体的かつ継続的な情報の共有を図り、設備の長期安定運用に貢献する。

5. むすび

当社電力システム製作所(神戸)は、大容量発電機を始め監視制御システムなど電力インフラ向け基幹製品の生産を通じて、電力の安定供給に貢献してきた。タービン発電機は全世界に向けて2,200台以上を供給しており、長年にわたってユーザーとの信頼関係を構築し、時々の要請に応じた適切なアフターサービスの提供によって安定運転を支え続けている。電力自由化市場の拡大と同期して2016年に電力ICTセンター(横浜)を開設するなど、生産設備も長い歴史の中で様々な技術革新と市場変化に適応し続けてきた。特に、近年加速的に拡大するデジタル化対応では、サイバー、フィジカルのセキュリティ技術、当社AI技術“Maisart”などのソリューション基盤としてIoT基盤“INFOPRISM”の適用を進めており、最先端の情報通信技術を導入し、オープンなシステムで多様性を吸収しながら製品へのフィードバック、質の高いエンジニアリングを組み合わせた新たな価値提供とサービス創出を推進する。今後も電力システムを支える製品・サービスの提供を通じて、社会課題の解決に貢献していく。

参考文献

- (1) 経済産業省：デジタルトランスフォーメーションの加速に向けた研究会
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/digital_transformation_kasoku/index.html
- (2) 菅井尚人、ほか：次世代電力系統制御システム向けプラットフォーム技術、三菱電機技報、89, No.11, 600~604 (2015)
- (3) 三菱電機：電力ICTソリューションパッケージBLEnDer(プレnder)シリーズ
<https://www.MitsubishiElectric.co.jp/ictpowersystem/business/solution1.html>