

三菱電機技報

6

2025
Vol.99 No.6

持続可能な社会を実現するインフラソリューション



No.6

特集

持続可能な社会を実現するインフラソリューション

Infrastructure Solutions for Realizing Sustainable Society

巻頭言

持続可能な社会の実現に向けた三菱電機への期待…… 林 泰弘	1-01	Expectations of Mitsubishi Electric for a Sustainable Society Yasuhiro Hayashi
熱関連トータルソリューション…… 澤村亮太・野中美緒	2-01	Heat-related Total Solution Ryota Sawamura, Mio Nonaka
電力供給の脱炭素化を実現する 小売電気事業者向け環境価値管理ソリューション…… 今堀光恵・森川史也・高田一輝	3-01	Environmental Value Management Solutions for Energy Suppliers to Achieve Power Supply Decarbonization Mitsue Imahori, Fumiya Morikawa, Ikki Takada
送配電事業者向け デジタルエネルギープラットフォーム…… 加藤直人・倉門浩二・清宮悠生	4-01	Digital Energy Platform for Transmission and Distribution Naoto Kato, Koji Kurakado, Yuki Kiyomiya
総合水力制御所システム…… 石坂 光	5-01	Next Generation Hydroelectric Control System Hikaru Ishisaka
デジタル信号処理を適用した NIS/ICIS後継機種の性能評価…… 田中隆己・小西 遼・東 哲史・笹野 理・卞 哲浩	6-01	Performance Evaluation of Newly Developed NIS/ICIS Utilizing Digital Signal Processing Ryuki Tanaka, Ryo Konishi, Tetsushi Azuma, Makoto Sasano, Cheol Ho Pyeon
変電所のデジタル化と系統運用高度化を実現する データ利活用…… 北山匡史・片柳康孝・佐藤光馬・小田和弘	7-01	Data Utilization to Achieve Digitalization of Substations and Grid Operation Masashi Kitayama, Yasutaka Katayanagi, Koma Sato, Kazuhiro Oda
デジタルデータの多様化・高度化に対応するための 地理情報システムの取組み…… 中島 健・泉 翔太	8-01	GIS Initiatives to Address Diversification and Advancement of Digital Data Ken Nakajima, Shota Izumi
電鉄車載用直流高速度遮断器…… 佐々木 央・仲田知裕・上松航星・松村康平・田中 翔	9-01	DC High-Speed Circuit Breaker for Rolling Stock Hiroshi Sasaki, Tomohiro Nakata, Kosei Uematsu, Kohei Matsumura, Sho Tanaka

執筆者の所属は執筆時のものです。

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標です。

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現するビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」を設定しています。

三菱電機技報ではこのビジネスエリアを中心に特集を紹介しています。

今回の特集ではインフラ領域の“持続可能な社会を実現するインフラソリューション”をご紹介します。

巻頭言

持続可能な社会の実現に向けた 三菱電機への期待

Expectations of Mitsubishi Electric for a Sustainable Society



林 泰弘 Yasuhiro Hayashi

早稲田大学 カーボンニュートラル社会研究教育センター所長／スマート社会技術融合研究機構 会長
理工学術院 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 教授

Director, Waseda Center for a Carbon Neutral Society/Chairman, Advanced Collaborative Research Organization for Smart Society
Professor, Graduate School of Advanced Science and Engineering Major in Electrical Engineering and Bioscience

持続可能な社会の実現に向け、太陽光・風力発電などの再生可能エネルギー電源の導入拡大、電気自動車や蓄電池、ヒートポンプ給湯機や燃料電池など分散型エネルギーリソースの普及が進み、社会インフラである電力システムは変革期を迎えている。これまで電気は、火力・原子力発電や水力発電のような大規模かつ発電出力を制御可能な電源によって供給されてきたが、太陽光発電や風力発電のように天候に依存して発電出力が変化する電源の導入が進んだ電力システムにおいて、電気を高品質かつ高効率に利用していくためには、天気予報に基づいた需要予測に加え、気象状況によって左右される発電量や需要の精緻な予測、情報通信技術による電力システムの状態の監視、分散型エネルギーリソースの集約・運用・制御の枠組みの開発が不可欠とされている。

早稲田大学では、電力システム工学を主軸として、数理工学の機械学習的アプローチによる予測や推定技術に需要家内の機器間や電力設備間の状況を通信する技術を組み合わせることで、高品質かつ高効率な電力供給を実現するエネルギーマネジメント技術の開発に取り組んでおり、その効果を検証するための環境として、デジタルシミュレーション環境に加えて、住宅三軒を模擬したスマートハウスや電力システムの配電システムを模擬した次世代電力ネットワーク模擬実験設備(ANSWER: Active Network Simulator With Energy Resources)を保有している。ANSWERは配電用変電所から需要家までの数kmの配電システムを自由に模擬し、太陽光発電や電気自動車の導入量を任意に設定しながら、電力システムの電圧や電流の挙動の評価が可能である。

一方、三菱電機は、蓄電池やヒートポンプ給湯機、電気自動車への高速充電器等の分散型エネルギーリソースのコンポーネント技術、及び、電力取引や需給制御を総合的に扱う電力市場向けパッケージ型ソフトウェア製品“BLEnDer”シリーズに代表されるエネルギーマネジメント技術を保有し、市場投入している。

このような背景の中、三菱電機と早稲田大学は、2023年11月に“サステナビリティ社会の実現に向けた包括連携に関する基本協定”を締結した。本協定の枠組みのもと、最初の取組みとして両者共通の重要テーマであるカーボンニュートラルに加え、ユーザーにとって大切な快適性や健康などのウェルビーイング視点も取り入れることで、持続可能な社会の実現に貢献するエネルギーソリューションを開発していくことを計画している。具体的な構想として、地域における電力系統側・需要側のエネルギーリソースをデマンドレスポンスによって集約・フル活用したエネルギーマネジメント技術や急激な環境変化があっても快適性を維持する空調機器や電力機器の最適制御技術、ウェルビーイング評価技術などを開発していく計画としている。

早稲田大学が保有する電力系統シミュレーション技術と、これに三菱電機が保有するコンポーネント技術及びエネルギーマネジメント技術を組み合わせ、近郊都市型向けのエネルギーソリューションの早期社会実装に結び付けていきたい。また、学会発表、政策提言、国際標準化活動などを通じて、学術界及び産業界の架け橋として、本学が産学連携の一翼を担うことによって、持続可能な社会の実現に貢献することができるよう、一層の研鑽(けんさん)を積んでいきたい。

熱関連トータルソリューション

Heat-related Total Solution

*E&Fソリューション事業推進部

要 旨

三菱電機は、電力と熱のエネルギーコスト削減と脱炭素化の推進に貢献する“熱関連トータルソリューション”の提供を開始した。このソリューションでは、顧客の課題を明確化するコンサルティングから、データ分析、設備ごとの熱システム設計、電化に寄与する給湯・産業冷熱機器の提供、エネルギーマネジメントシステムによる電力と熱エネルギーの効率的な運用支援までをワンストップで提供する。これによって、製造業やビルオーナー、熱供給事業者の課題を解決し、電力と熱のエネルギーコスト削減と脱炭素化の推進に貢献する。

1. ま え が き

近年、2050年までに温室効果ガス(GreenHouse Gas：GHG)の排出を実質ゼロにするカーボンニュートラルや持続可能な社会の実現に向けて、様々な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進められている。研究開発でも、カーボンフリー燃料として水素・アンモニアを有効活用する技術開発が推進されているほか、CO₂を回収してメタンを生成するメタネーション技術も進展している。また、非化石価値の取引をはじ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。製造業等の需要家サイドでは、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。製造業のGHG排出量の削減では、燃焼系機器の脱炭素化が必要であり、その有力な対策手段としてヒートポンプへの置き換えなど電化への期待が大きい。しかしながら、コスト負担や多種多様な製造プロセスに対応したシステム設計の知見、技術者不足等が障壁になり、電化機器の導入は進んでいない。今後、製造業が持続可能な事業活動を推進していくためには、効率的かつ経済的に脱炭素化を進めることが必要になってくる。

このような背景で、当社は経営戦略として掲げる循環型 デジタル・エンジニアリング事業の一つとして、エネルギー&ファシリティ(E&F)ソリューションの事業創出に取り組んでいる。

本稿では、長年培った空調冷熱機器の設計開発技術をコア技術として、デジタル技術とコンポーネントの両面から顧客のエネルギーコスト削減と脱炭素化の推進に貢献する熱関連トータルソリューションについて述べる。

2. 熱関連トータルソリューション

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。大規模需要家での熱エネルギー利用は、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、ヒートポンプチャラー、エコキュート(注1)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。また、電力と熱を同時に生成するコ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。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、脱炭素社会の推進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。

このような背景から、当社は電力と熱のエネルギーコスト削減と脱炭素化の推進に貢献する熱関連トータルソリューションの提供を開始した。このソリューションのイメージを図1に示す。このソリューションでは、顧客の課題に応じた

コンサルティングからデータ分析に基づく施策提案，導入効果シミュレーションといったデジタルサービスと，熱システム設計・施工等のエンジニアリング，設備導入，さらに電力と熱エネルギーの最適運用をワンストップで実現する。

(注1) エコキュートは，関西電力㈱の登録商標である。

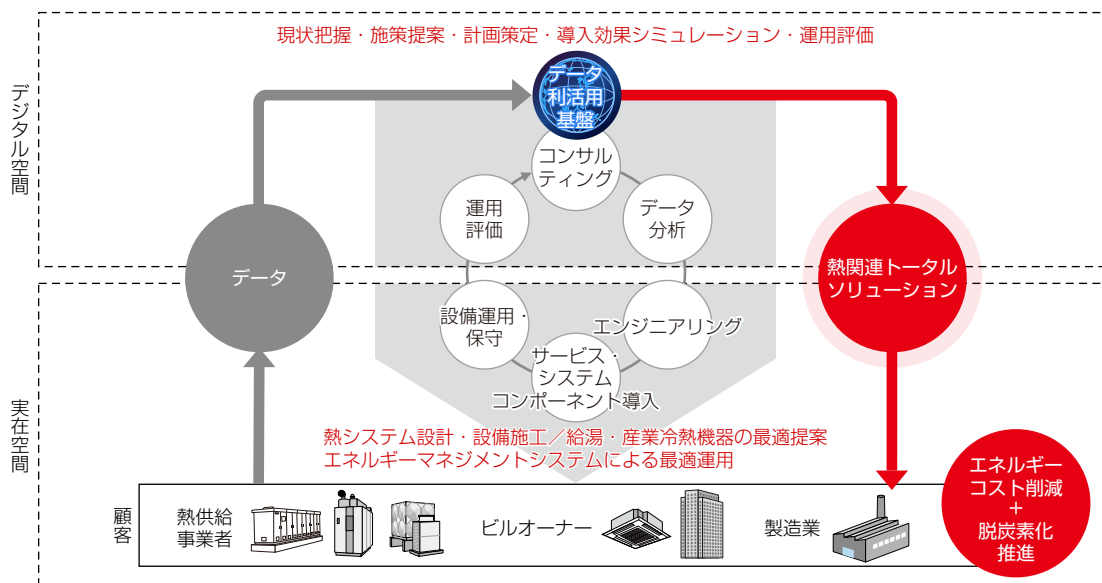
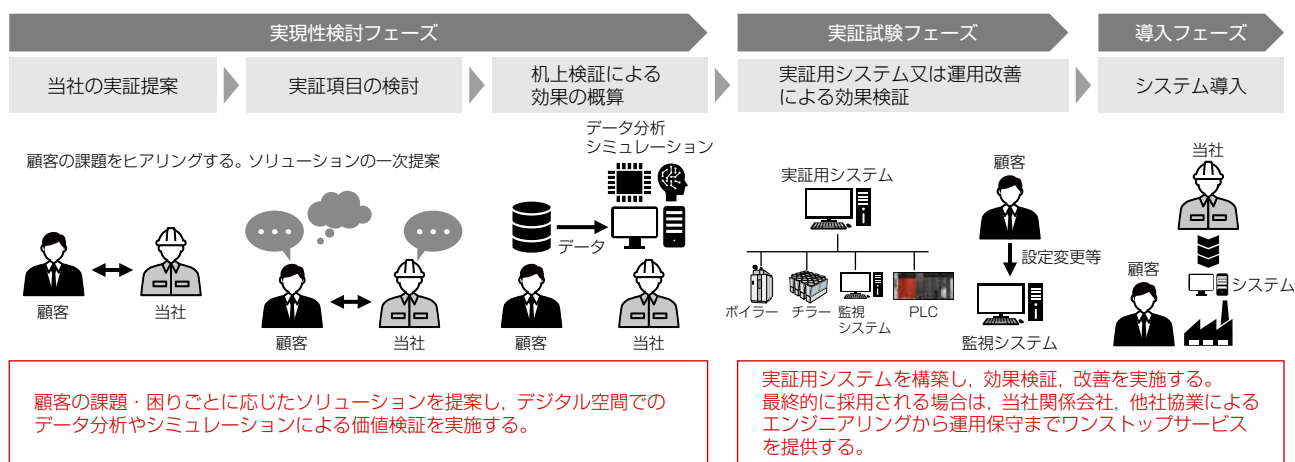


図1ー熱関連トータルソリューションのイメージ

3. 熱関連トータルソリューションの導入までの検討ステップ例

図2にこのソリューションの導入ステップを示す。このソリューションは，まず顧客の課題・困りごとを起点として提案を開始する。そのため，決まった型がある提案ではなく，実証・PoC(Proof of Concept)を通じて顧客の課題を明確化し，まずは既存コンポーネントを最適な組合せで提案するほか，実証実験を経て，導入まで支援する。また，実証実験や導入後に得られたデータ・知見を活用し，更なる改善提案や新規コンポーネント・サービス開発に結び付けることで，循環型 デジタル・エンジニアリングを実現する。



PLC : Programmable Logic Controller

図2ー熱関連トータルソリューションの導入ステップ例

まず実現性検討フェーズでは，顧客とのディスカッションを通じて，設備や運用の課題を共有する。当社はこれまでの事例や社内外の技術，製品を踏まえて，その解決に資するソリューションアイテムの洗い出しを実施する。幾つかの候補の中から，実現性，効果が高いと思われるアイテムを選定し，検証内容を決定する。その際，実際に顧客の運用データや

システムの図面，仕様情報を入手し，現状の運用状況の分析や机上シミュレーションによって効果を概算する。その結果に基づいて，すぐに導入に進むか，顧客のフィールドを利用した実証試験に進むかを判断する。

次に，実証試験フェーズでは，顧客のフィールドでの実証試験によって，机上検証の効果を実システムで検証する。実証に必要なシステムの設計，製作を行い，計測データを基に評価を実施する。評価結果について顧客と議論することで，導入に足る効果が得られているのか，更なる改善点がないかを検討する。必要に応じてシステムの改善を行い，再度実証試験を行う場合もある。

最後に，導入に至る場合は，前ステップまでの検討結果に基づいて，システムを納入する。納入後の試運転調整や，運用改善までサポートする。また，導入後の運用で得られたデータを分析することで，更なる省エネルギーや脱炭素施策の提案を継続的に実施する。

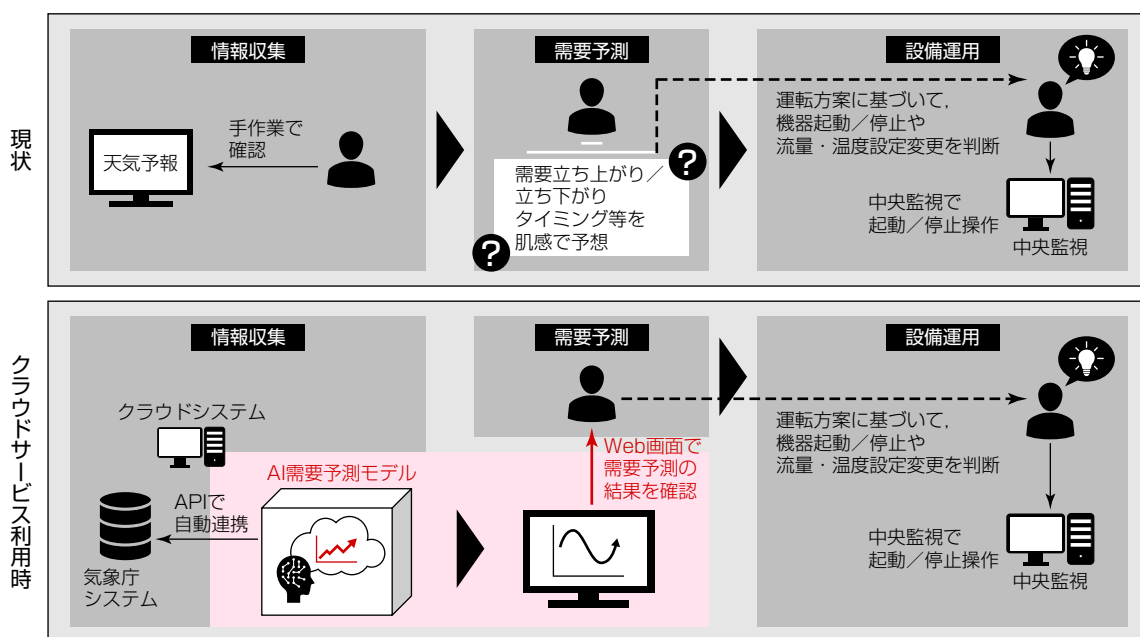
4. 熱関連トータルソリューションの具体例

この章では，これまでに取り組んだこのソリューションの具体例について述べる。4.1節の地域熱供給事業者の事例では，熱需要予測の精度，ノウハウ依存の課題解決のため，当社が提供したAIを用いた需要予測サービスについて述べる。4.2節の当社と建設会社との共同実証実験の事例では，今後のデマンドレスポンス(DR)機能の社会実装や発展に向けて，現在も実ビルでの実証実験を継続中の自動DRシステムについて述べる。

4.1 地域熱供給事業者向け需要予測サービス

地域熱供給とは，冷水や温水，蒸気等を1か所でまとめて製造し，導管を通じて地域にある複数の建物に供給するシステムである。供給された冷水や温水・蒸気は建物の冷暖房用途や給湯用途に使用されている。今回対象とした地域は中国地方の市街地にあるデパートや地下街，バスセンターを含む区域であり，A社が熱を供給している。A社のプラントが持つ熱源は，ターボ冷凍機，小型貫流ボイラー，空冷ヒートポンプチャラー，吸収式冷温水機などである。

地域熱供給プラントでは，省エネルギー運用を目指して，熱需要を予測した上で設備を運用している。図3に情報収集から需要予測，設備運用までの現状のイメージと当社が提供しているクラウドサービス利用時のイメージの比較を示す。現状，熱需要は天気予報を基に運転員の経験やノウハウに基づいて予測しているのに対して，クラウドサービス利用時はAIを活用した需要予測モデルをクラウド上に構築し，需要予測結果を画面に表示することで，運転員の省力化や技術伝承を支援することが可能になった。当社が提供した需要予測には，勾配ブースティング決定木(Gradient Boosting Decision Tree：GBDT)を利用した機械学習手法であるXGBoostを用いた。また，予測対象としたデータは，ターボ冷



API : Application Programming Interface

図3-情報収集から需要予測，設備運用までの現状とクラウドサービス利用時のイメージの比較

凍機等を用いた冷水供給に関する運用改善を目的として、プラント供給端の冷水熱量、冷水流量である。2023年4月から11月までのデータを用いて冷水熱量、冷水流量それぞれのAI予測モデルを構築した。

図4に中間期(春期と秋期)の例として、2024年4月29日～5月6日の予測値と実績値の比較を示す。赤色のハッチングは土日祝日を表す。予測のためにモデルに入力している外気温データは、予報値であるため、入力データ自体の誤差比較のため外気温の予報値と実績値も併せて示す。中間期は夏期に比べて熱需要が少なく、さらに変動が大きい外気温の影響で熱需要も日によっては変動が大きいこともあるため、主として土日祝日で予測が過小評価される傾向も見られたが、一日の需要カーブ形状は一定程度の予測が可能であることが確認できた。また、図は割愛するが、夏期では、冷水熱量がやや低めに予測されるものの、冷水流量はほぼ実績値と一致することを確認した。



図4-2024年4月29日～5月6日(中間期の例)の予測値と実績値の比較

4.2 需要家建物での自動DRシステムの実証

現在実施されているDRは、アグリゲーターから単一の需要家へのDR依頼(電話、メールによる連絡を含む)によって、各需要家の管理者が手動で各設備の停止操作や設定変更、需要家内居住者へのDR依頼の周知を実施してDRに対応する場合が多く、手間がかかっていた。一方、実証レベルでは、アグリゲーターが複数の需要家を束ねて、需要家が持つ蓄エネルギー設備等を自由にコントロールすることで効果を創出する検証がなされているものの、実証された技術の広範な普及には至っておらず、現在の手動実施との乖離(かいり)が大きい。

建設会社B社との議論の中で、今後、DR機能の社会実装や発展を考慮すると、単一の需要家でも複数の調整リソースを柔軟に自動制御することで確実かつ経済合理性のあるDR効果を創出することが重要であるとの認識から、両社共同で実証実験を行うことになった。

この実証はKビル(延べ床面積8,914m²)を対象に実施している。KビルはRC造、地上5階、地下1階建ての研究棟である。事務用途部分の基準階の空調システムは、外気処理系統は外気処理空調機(OHU)と空冷ヒートポンプチラーを用いた中央熱源方式を、インテリア系統及びペリメーター系統は業務用パッケージ空調(PAC)を用いた個別分散方式を採用している。また、DRによる供出電力を安定的に制御するために蓄電池(20kW, 24kWh)を対象建物に新設して、DRの対象とした。

実証のために、建設会社B社と当社の共同で自動DRシステムを開発した。図5に構築した自動DRシステムの機能構成を示す。自動DRシステムはユーザーインターフェース機能、データベース、DR制御機能、外部通信機能から成り、自動でのDR機能を実現する。また、ビル中央監視システムはOHU、PAC、空冷ヒートポンプチラーを、蓄電システムは蓄電池を、それぞれ制御する。この実証では、自動DRシステムでビル中央監視システムと蓄電システムの制御設定を変更することによってDRを実現した。電力計測システムは電力量センサーで各箇所の電力量を計測する。また、インターネットを介して自動DRシステムを当社構内及びクラウドに接続することで、当社構内からの遠隔監視・操作とクラウドへのデータ収集・蓄積を可能にした。

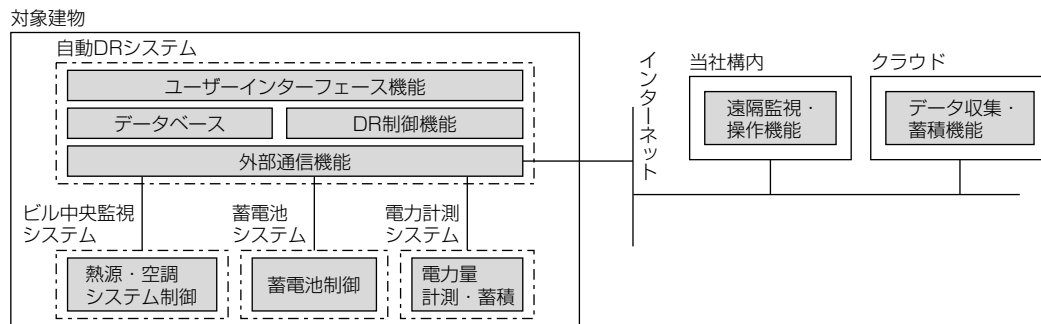


図5 自動DRシステム機能構成図

自動DRの制御対象は、OHUの室内温度設定値、給気温度設定値、CO₂濃度設定値、ファンインバーター回転数設定値、PACのデマンド抑制設定、空冷ヒートポンプチャラーの省エネルギーモード設定、蓄電池の充放電電力とした。図6にOHUに関する実証対象部分の制御システム構成を示す。DRの類型として多く見られる室内温度の設定値の変更だけではなく、室内温度制御の操作量である給気温度設定値やファンインバーター回転数設定値、換気量の制御に用いられるCO₂濃度設定値を制御対象とすることで、様々な条件でのDRを可能にして実証の柔軟性を向上させた。

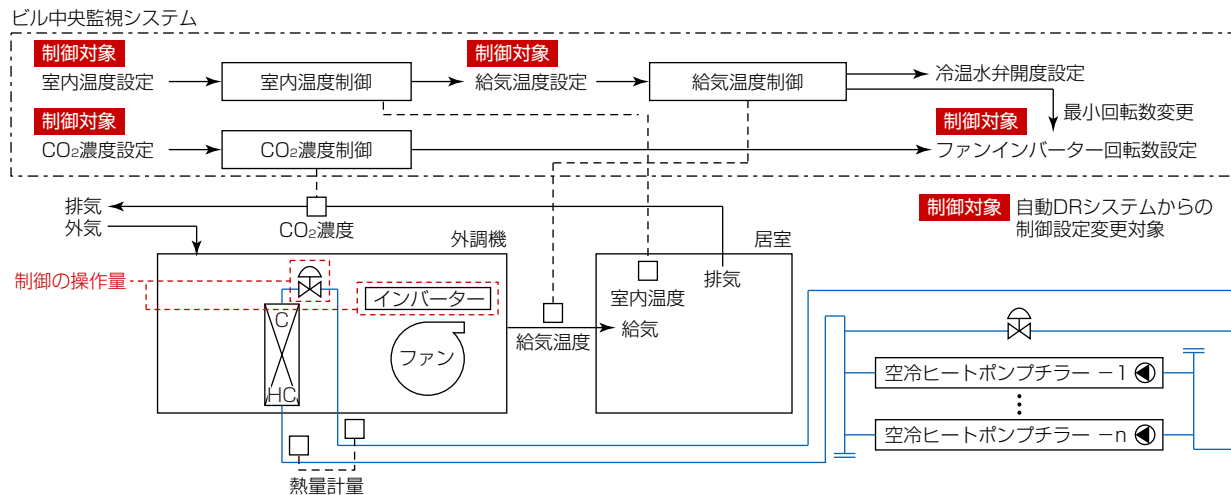


図6 外気処理空調機の制御システム構成

これまで消費電力量の大きい重負荷期である2024年1月、8月及び2025年2月に実証を実施しており、蓄電池と空調システムを応動性の観点から複合的に制御する手法など、自動DR制御手法の確立に向けた知見を得ている。今後も実証を継続し、更なる知見の獲得と早期社会実装の実現を目指していく。

5. む す び

脱炭素社会を巡る世界的な趨勢(すうせい)と、その実現に向けた当社の取組みとしてE&Fソリューションの一翼を担う熱関連トータルソリューションについて述べた。このソリューションの提供を通じて、製造業やビルオーナー、熱供給事業者の課題を解決し、電力・熱のエネルギーコスト削減と脱炭素化の推進に貢献していく。

電力供給の脱炭素化を実現する 小売電気事業者向け環境価値管理ソリューション

Environmental Value Management Solutions for Energy Suppliers to
Achieve Power Supply Decarbonization

*電力システム製作所

要 旨

カーボンニュートラルの実現に向けて、GHG (GreenHouse Gas) プロトコル⁽¹⁾やRE100 (Renewable Energy 100%)⁽²⁾, 24/7 CFE (24/7 Carbon Free Energy)⁽³⁾等が注目されている中、需要家の間で脱炭素化のニーズが急速に高まっている。このニーズに対応するため、小売電気事業者が提供する環境価値付き電力メニューのラインアップは多様化し、販売件数も増加している。その結果、小売電気事業者にとっては、再生可能エネルギー（以下“再エネ”という。）電源と需要家の紐（ひも）付けや非化石証書の管理等、環境価値にまつわる業務の煩雑化が課題になっている。このような状況を踏まえて、三菱電機では“電力取引”及び“需給管理”を総合的に扱う電力市場向け製品“BLEnDer^(注1)”シリーズの一つとして、電力の環境価値を管理する機能を備えたクラウド型SaaS (Software as a Service) 製品“BLEnDer CN for Supplier”（以下“CN for Supplier”という。）を開発し、小売電気事業者の業務負荷削減及びヒューマンエラー防止に貢献するとともに、保有する環境価値を最大限活用できるよう支援するサービスの提供を開始した。

（注1） Bid Liaison and Energy Dispatcherの略称。

1. ま え が き

カーボンニュートラルの実現に向けた取組みが世界的に加速する中、政府や企業等がそれぞれの役割を果たしながら対策を強化している。例えば、各国では温室効果ガス排出抑制に向けた規制強化や炭素税の導入が進んでおり、日本でも、企業に対して、エネルギー供給構造高度化法（以下“高度化法”という。）^(注2)及び地球温暖化対策推進法（以下“温対法”という。）^(注3)に基づいた再エネの導入促進や温室効果ガスの排出削減が法的に義務付けられている。さらに、ESG経営^(注4)の観点からも環境負荷削減に対する取組みが重要視され、サプライチェーン全体での脱炭素化が求められている。これに対応しない場合、ステークホルダーからの評価が下がるだけでなく、取引機会の喪失、市場からの排除といったリスクに直面する可能性がある。したがって、カーボンニュートラルの実現は、社会の一員として果たすべき責務であると同時に、企業が持続可能な成長を図る上で避けられない課題という認識が広がりつつある。

このような状況の中、非化石エネルギーに由来する“環境価値”が、カーボンニュートラルの実現に向けた重要な手段として注目されている。例えば、RE100では“使用電力を100%再エネでまかなう”という目標を提唱している。化石エネルギーである火力発電が主流である日本でこれを達成するには、供給された電力に非化石価値取引市場から調達した環境価値を付加することでCO₂フリー電力であることを主張するという手段がある。このように、企業は環境価値を活用することで、サプライチェーン全体のCO₂排出量削減を推進するとともに、ステークホルダーに対して脱炭素化への積極的な取組みを明確に示すことができる。また、再エネの導入促進を目的とした国際的な基準や取組みにGHGプロトコルやRE100, 24/7 CFE等があり、将来的に、1時間単位でのマッチング^(注5)、同一エリア内での供給、追加性^(注6)のある再エネ電源からの供給が求められる可能性がある。こうした背景の下、小売電気事業者は、環境価値付き電力メニューのラインアップを拡充し、より柔軟で多様な選択肢を企業や環境意識の高い低圧需要家に対して提供することが重要になる。

小売電気事業者は、環境価値付き電力メニューを通じて環境価値を提供する役割を担うようになり、その業務内容も以前から大きく変化しつつある。例えば、再エネ利用の推進を支援するために、企業等の需要家が必要とする環境価値を調達すること、調達した環境価値を需要家のニーズや各種環境基準・制度の要件等に応じて適切に配分すること、継続的な供給を監視するために環境価値の在庫量を管理すること、そして、需要家に対して供給結果を報告するために対外報告向けレポートを作成することなどの新たな業務に取り組む必要がある。現在、多くの小売電気事業者は管理データが少なく、表計算ソフトウェア等で環境価値の供給業務に対応している。しかし、将来的にはメニューの拡充や販売先の増加に伴って、取り扱うデータ量が急速に増加すると予想され、小売電気事業者の業務の煩雑さが一層高まり、効率的な業務支援を

行う仕組みの構築が不可欠になる。

当社では、電力市場向け製品BLENderシリーズを展開している。本稿では、**2章**で小売電気事業者の業務内容を、**3章**では、当社のBLENderシリーズの一つである環境価値付き電力メニューを供給する小売電気事業者向けのSaaS製品CN for Supplierについて、その開発背景、機能及び特長を述べる。

- (注2) 非化石エネルギーを供給する事業者に対して、供給電力量に占める非化石電源比率の向上を求める法律。
 (注3) 事業者や自治体に対して、温室効果ガスの排出削減及び地球温暖化対策の推進を求める法律。
 (注4) Environment(環境), Social(社会), Government(企業統治)の三つの要素を重視する経営手法。
 (注5) 再エネ由来の発電量と消費量を一致させること。
 (注6) 新たな再エネ電源の増加を促す効果。

2. 小売電気事業者の業務

小売電気事業者の環境価値に関連する業務フローを図1に示す。業務は大きく分けて、環境価値付き電力メニューの作成・管理、需給電力量の収集、環境価値の割当て、非化石証書の購入・管理、環境価値の在庫管理、供給結果の対外報告である。

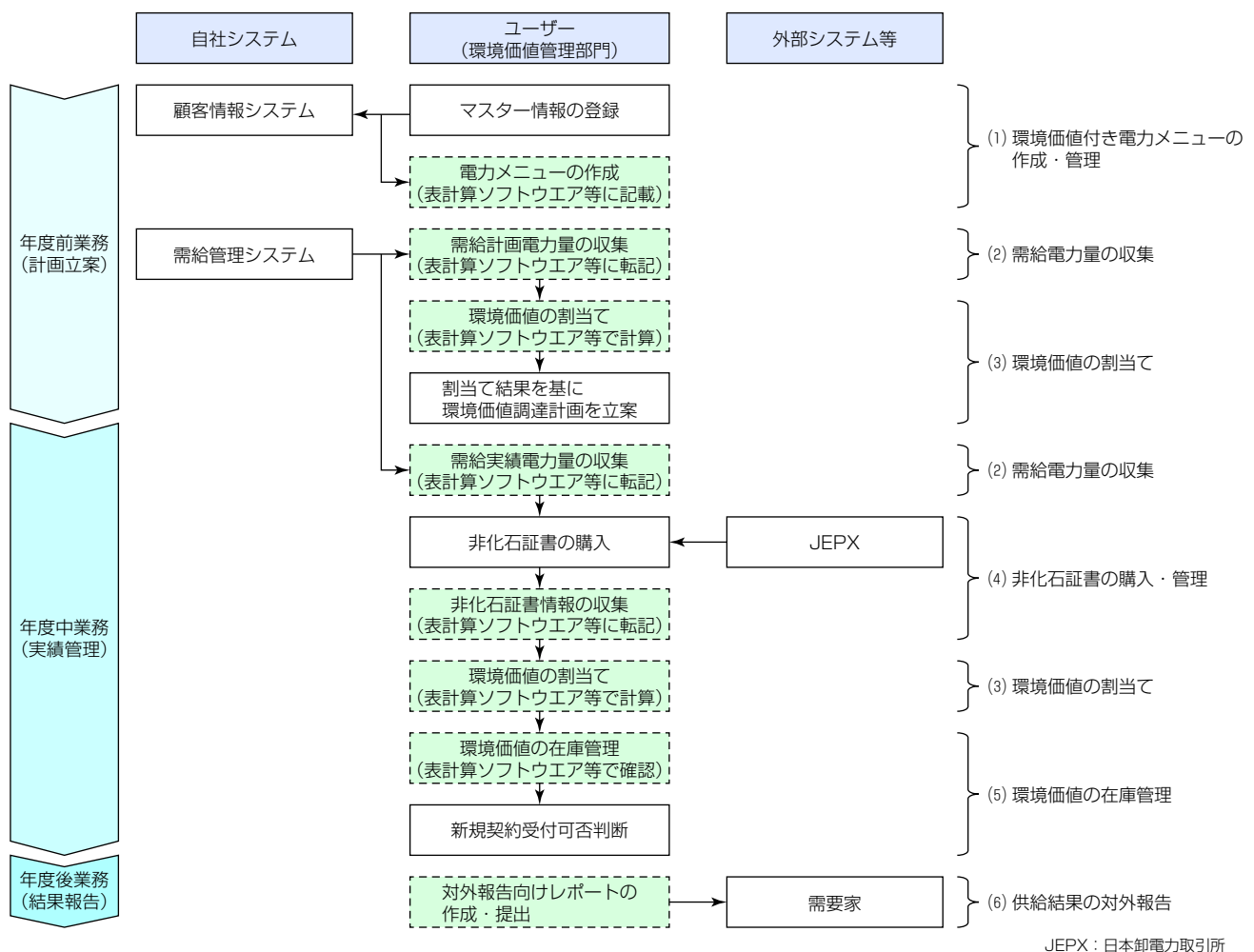


図1-環境価値管理の業務フロー

(1) 環境価値付き電力メニューの作成・管理

調達した環境価値の原資(再エネ電源、非化石証書等)、環境価値付き電力メニュー、需要家といったマスター情報を顧客情報システムに登録する。それらの情報を表計算ソフトウェア等に転記し、各メニューに対して環境価値の原資及び需要家との関係を示す紐付け情報を作成する。

(2) 需給電力量の収集

計画発電量、実績発電量、計画需要量、実績需要量のデータを需給管理システムから出力し、表計算ソフトウェア等へ転記する。特に、24/7 CFEの実現可能性や、非化石証書制度が将来的に国際基準へ追従する可能性を考慮すると、環境価値の割当単位が細分化されるため、取り込むデータ量が増加することが予想される。

(3) 環境価値の割当て

環境価値の原資と需要家との関係を示す紐付け情報及び需給データに基づいて、環境価値の割当先及び割当量を手作業で算出する。例えば、24/7 CFEを実現するためには、環境価値を1時間単位で過不足なく割り当てる必要がある。

(4) 非化石証書の購入・管理

再エネ価値取引市場及び高度化法義務達成市場から購入した非化石証書情報を表計算ソフトウェア等に手作業で転記する。需要家のニーズに適した環境価値の種類と必要量を把握し、適切なタイミングで調達する必要がある。

(5) 環境価値の在庫管理

調達した環境価値の過不足を確認するために、表計算ソフトウェア等を使用して、在庫量を手作業で算出する必要がある。

(6) 供給結果の対外報告

対外報告に必要なデータを収集し、そのデータを基にレポートを作成する。需要家に対しては割当て結果とともに、高度化法では供給電力量に占める非化石比率等、温対法では温室効果ガスの排出量等を報告する。

3. CN for Supplier

環境価値への関心が高まるとともに、需要家の数も拡大する中で、求められる環境価値の種類が増加している。その結果、紐付け情報が増加し、手作業によるメニュー作成・管理の負担は大幅に増大すると予想される。さらに、細かい単位での需給電力量の収集、環境価値の割当てに関しても、手作業によるデータ転記、割当て計算は現実的ではない。

この章では、これらの小売電気事業者の業務を支援するために当社が開発したCN for Supplierの開発背景、機能及び特長について述べる。

3.1 機能とサービス構成

CN for Supplierが具備する機能と、それに関連するSaaS製品について図2に示す。CN for Supplierは、当社が提供する電気事業者向けサービスBLENder BG(電力需給管理サービス)、BLENder DEP(デジタルエネルギープラットフォーム)、BLENder ICE(センサーネットワーク向け電池駆動無線端末)と連携し、環境価値管理SaaSとして提供する。

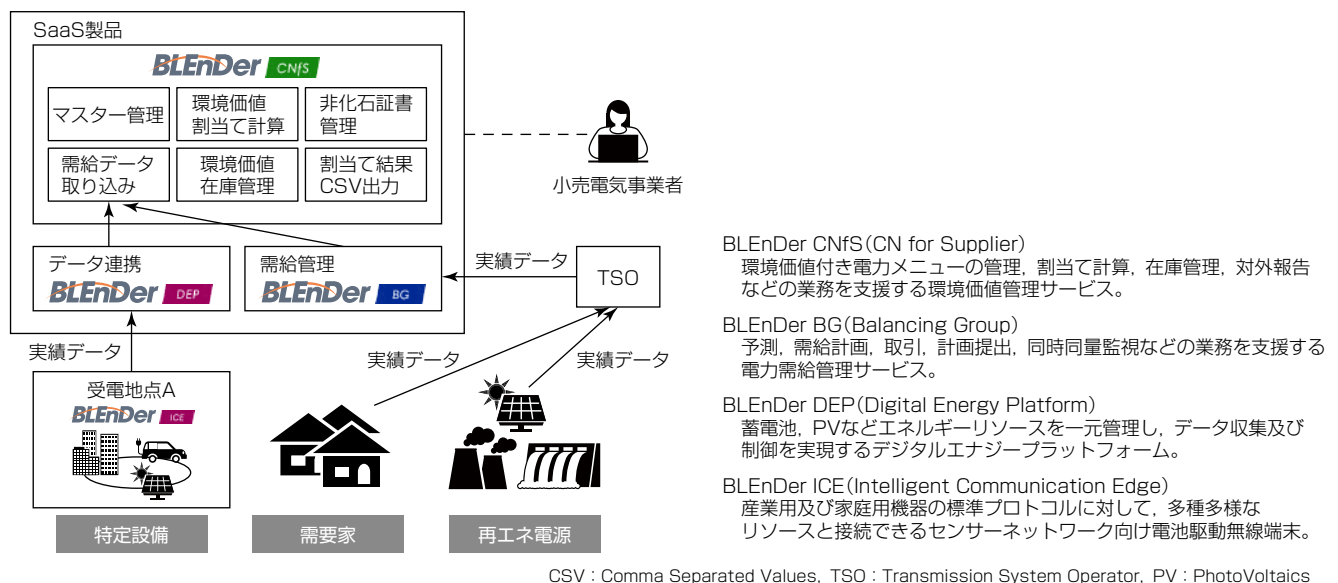


図2-当社が提供する環境価値管理SaaSの構成

(1) マスター管理機能

契約需要家情報、環境価値付き電力メニュー情報、再エネ電源といったマスター情報を一元的に管理する機能である。さらに、メニューごとに、調達した環境価値の原資と需要家の関係を示す紐付け情報も管理する。メニューと環境価値の原資それぞれに、再エネ種別、エリア、追加性といった属性を設定することで、同じ属性同士が結び付いた紐付け情報が自動的に作成され、手作業による紐付けの負担を軽減できる。

(2) 需給データ取り込み機能

BLEnDer BGを所有するユーザーには、BLEnDer BGから30分単位の計画発電量・実績発電量・計画需要量・実績需要量が自動的に連携される機能を提供する。一方、BLEnDer BGを所有していないユーザーには、そのユーザーが所有する需給管理システムからCSV形式で連携された需給データを、CN for Supplier用の様式に変換するツールを提供する。

(3) 環境価値割当て計算機能

CN for Supplier独自のロジックに基づいて需要家へ環境価値を割り当てる機能である。割り当てる際には環境価値付き電力メニューの契約内容や発電の計画値・実績値及び調達した環境価値の属性を考慮する。割当て処理は最短で30分単位でマッチングできる。

(4) 非化石証書管理機能

再エネ価値取引市場及び高度化法義務達成市場から購入した非化石証書情報を管理する機能である。

(5) 環境価値在庫管理機能

小売電気事業者の発電部門が持つFIT(Feed-In Tariff)・非FIT電源ごとの発電量及び環境価値相当量^(注7)、小売部門が調達する環境価値調達量、環境価値割当て計算後の需要家及び電源ごとの環境価値割当量を算定する機能である。電源ごとや需要家ごと、また、年間、月間、30分単位等、様々な単位で算定結果を確認できる画面を提供する。

(6) 割当て結果CSV出力機能

環境価値の割当て結果等、対外報告向けのレポート作成に必要なデータをCSVファイルで出力する機能である。

(注7) 発電量に基づいて算出される非化石電源由来の環境価値量。

3.2 特 長

当社は、電力市場を取り巻く課題を解決することを目的とした様々な製品を提供しており、これらを相互に連携させることで、より効果的な業務支援を実現できる。CN for Supplierの特長は次のとおりである。

(1) 需給データの自動連携による業務効率化と環境価値調達の最適化

BLEnDer BGでは電力の管理を、CN for Supplierでは環境価値の管理を担っており、両機能間のデータ連携によって、需要予測データに基づいて環境価値を調達することが可能になるため、環境価値調達の過不足を回避できる。さらに、データ連携は自動化されているため、データの誤入力といったヒューマンエラーの発生も防ぐことができる。

(2) 割当て結果確認画面の提供による環境価値供給実績の監視の容易化

電源及び需要家ごとの環境価値割当て結果を視覚的に確認できる画面を提供する。図3は、30分単位のマッチングメ

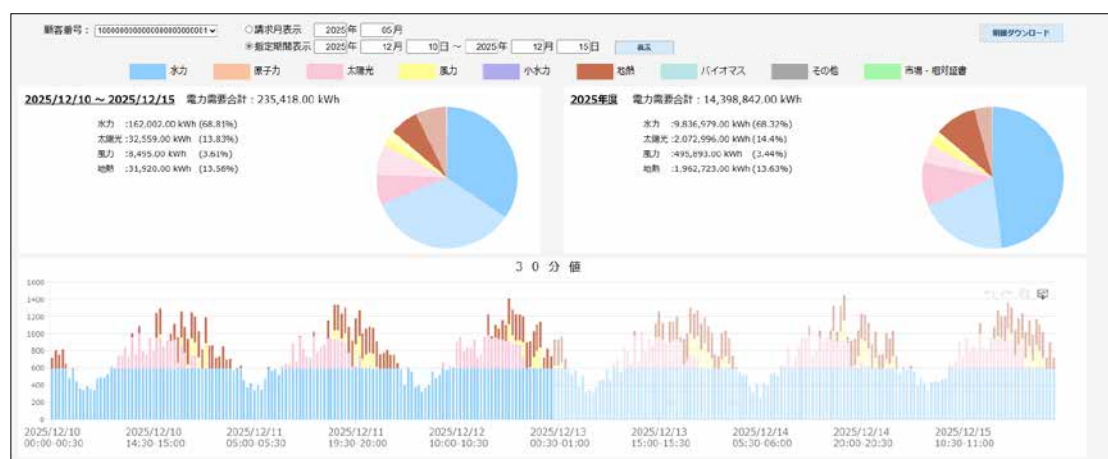


図3-環境価値割当て結果確認画面

ニューを契約する需要家の割当て結果を表示する画面である。この画面では、年間や30分単位で、需要家ごとに割り当てられた環境価値の供給力種別及び供給に過不足がないかを容易に確認できる。

(3) リアルタイムマッチングの実現に向けた要件への対応

BLEnDer BGから30分単位で需給データが連携され、このデータを基に、30分単位での環境価値相当量とのマッチングを実行する。今後、GHGプロトコルやRE100等の要件に1時間単位でのマッチングが含まれる可能性があるが、CN for Supplierでは既にこの思想を実現している。また、拠点内部の各電力消費設備に設置されたBLEnDer ICEから、設備ごとの消費データをBLEnDer DEP経由で収集する仕組みを導入している。これによって、設備単位でのマッチングが可能になる。

4. む す び

当社が提供するCN for Supplierについて述べた。CN for Supplierは、小売電気事業者が新たに担う環境価値の供給業務をサポートするSaaS製品である。具体的にCN for SupplierでのSaaSとは、環境価値付き電力メニューの作成・管理、需給電力量の収集、環境価値の割当て、非化石証書の購入・管理、環境価値の在庫管理及び供給結果の対外報告といった業務を支援する機能を提供することに相当する。これによって、需要家の多様なニーズに柔軟に対応できるとともに、小売電気事業者の業務効率化や事業の成長を実現することが期待される。

今後は、小売電気事業者にとどまらず、再エネ電源を所有する発電事業者や排出量管理が必要な全ての事業者にも導入可能な製品拡張を目指す方針である。これによって、サプライチェーン全体での脱炭素化を更に推進し、カーボンニュートラルの実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) GREENHOUSE GAS PROTOCOL
<https://ghgprotocol.org/standards-guidance>
- (2) RE100 : RE100 TECHNICAL CRITERIA (2025)
<https://www.there100.org/sites/re100/files/2025-04/RE100%20technical%20criteria%20%2B%20appendices%20%2815%20April%202025%29.pdf>
- (3) United Nations : 24/7 Carbon-free Energy Compact
<https://www.un.org/en/energy-compacts/page/compact-247-carbon-free-energy>

送配電事業者向け デジタルエナジープラットフォーム

Digital Energy Platform for Transmission and Distribution

*電力システム製作所

要 旨

三菱電機は、送配電事業者向けに託送料金算定パッケージ(BLEnDerTS^(注1))などの基幹業務システムを提供し、送配電業務の円滑な遂行に貢献している⁽¹⁾。一方、送配電事業は、レベニューキャップ^(注2)への対応や再生可能エネルギーの拡大、サービスレベルの向上など、次世代に向けた業務改善を必要としている。このような送配電事業の課題に対して、従来のようなスクラッチ開発をベースとした製品提供ではなく、サービス提供に向けた、送配電事業者向けデジタルエナジープラットフォーム(以下“送配電デジタルエナジープラットフォーム”という。)の開発を進めている。

(注1) 当社が開発した電力取引と需給制御を総合的に扱う電力市場向けパッケージ型ソフトウェア製品“BLEnDer”(ブレンダー)シリーズの一つ。

(注2) 送配電事業者が国から“収入上限”として承認された事業計画から託送料金を設定し、その範囲内で必要な投資を確保しつつ、コスト効率化を図る仕組み。

1. ま え が き

国内送配電領域は、2000年の電力小売自由化の開始から、2004年の高圧需要家の自由化、2016年の低圧需要家への拡大、2020年の送配電部門の法的分離など、今日に至るまで様々な制度／業務変革が行われた。既存業務への継ぎ足し、システム増改造を繰り返した結果、業務／システムが複雑化・肥大化しており、今後、低圧リソース対応や次期中央給電指令対応、同時市場、ノーダル制^(注3)への移行など、大規模な制度変更への追従に限界を迎えている。一方、託送料金の設定方式が総括原価方式^(注4)からレベニューキャップ方式に変更されたことや、昨今の人材不足の影響による業務及びシステムの企画、開発、保守運用のリソース不足が起きており、抜本的な効率化やコスト削減への取組みが求められる。

本稿では、当社の新たな取組みとして、従来のスクラッチ開発やパッケージ開発による製品提供(モノ売り)から、グローバルソリューションと当社の知見を融合した新しいソリューションによるサービス提供(コト売り)へ転換するために取り組んでいる、送配電デジタルエナジープラットフォームの開発の概要について述べる。

(注3) 各地点(ノード)に送電網の混雑や制約を反映した異なる価格を設定し、電力市場から価格の安い電源から落札していく市場主導型の混雑管理方法の一つ。

(注4) 電気・ガス・水道料金など安定供給が求められる公共性の高いサービス事業に適用される供給原価に適正利潤(適正な事業報酬)を上乗せして料金を決定する方式。

2. 送配電デジタルエナジープラットフォーム

送配電デジタルエナジープラットフォームは“プロセス／フローの共通化”“ワンストップサービスの提供”“共通プラットフォーム化”の三つの軸を中心に新しいサービスを提供する。ソリューションのコンセプトを図1に示す。

2.1 プロセス／フローの共通化

送配電事業の一つである託送業務は、経済産業省が制定した託送供給制度に基づいて各送配電事業者が作成した約款(託送供給約款など)に従って業務を運用している。そのため、料金算定式などの基本的な考えは各社で統一されている。一方、約款の解釈の差異や各地方特有の条件(離島の有無など)、過去からの業務運用の慣習、既存のシステム全体構成の違いによって、実際の業務プロセス／フローには各社差異が発生している。また、システム開発でも個社要件(アドオン開発)が発生し、開発規模の肥大化やリードタイムの長期化が課題になっている。そのため、送配電デジタルエナジープラットフォームでは、プロセス／フローの共通化によって、個社要件の削減と開発規模の適正化を図る。

プロセス／フローの共通化に当たっては、次の四点を取り入れて、国内制度に準拠し、かつ送配電事業者で業務共通化

が可能なシンプルなプロセス／フローを志向した。

- (1) 現行の託送料金算定システムなどの運用から得られた知見
- (2) 送配電事業者が抱える課題(現行運用側で送配電事業者と当社で課題解決に向けて検討した内容)
- (3) グローバルソリューションの標準プロセス／フロー及び業務(データ)モデル
- (4) 送配電事業の次世代に向けた施策

この標準プロセス／フローを活用することによって、先に述べたアドオン開発の削減による開発ボリュームの削減だけでなく、一から送配電事業者で業務要件を検討する必要がなく、送配電業務の要件を満たすシステムを提供でき、システム導入までのリードタイムを改善することが可能になる。表1に託送業務の共通化業務プロセス／フローの対象範囲を示す。

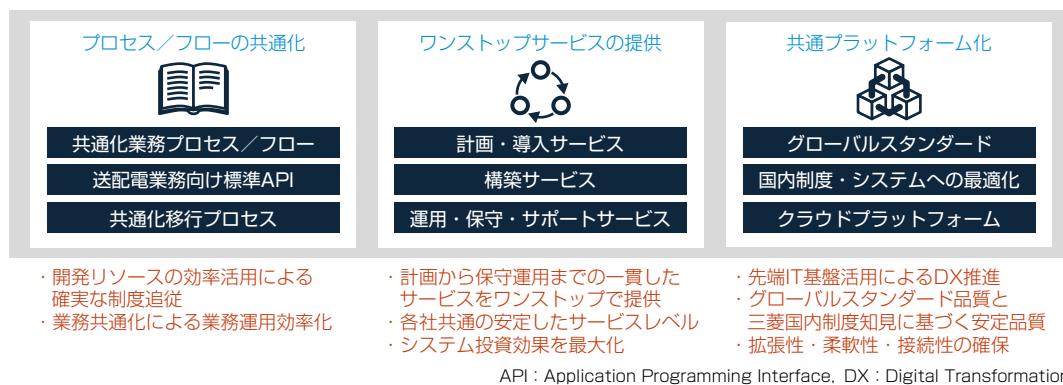


図1-ソリューションのコンセプト

表1-託送業務の共通化業務プロセス／フローの対象範囲

業務領域	シナリオ名称	業務領域	シナリオ名称	業務領域	シナリオ名称
顧客情報管理	地点・契約管理(新規契約・変更)	電力量提供	30分電力量提供	請求・入金	入金(口座振替)
	地点・契約管理(契約終了)		確定使用量通知		入金(クレジットカード)
	事業者管理		発電仕訳後の電力量通知		入金(コンビニエンスストア)
	臨時契約管理(期間超)		同時同量監視		入金(銀行振込)
	臨時契約管理(1年未満)		電力データ活用		返却
	契約電力管理(実量制)		送電サービス・発調系統連系受電サービス料金算定		通知(口座入金催促)
	契約電力管理(協議制)	料金計算	アンシラリー料金算定		通知(請求書支払催促)
	自家発補給実績管理		インバランス料金算定		過収金管理
計器管理・検針	計器取替え		調整力料金算定(対BSP)		督促
	自動検針		調整力料金算定(対TSO)		督促(LR)
	現地検針		事業者間精算		延滞利息
電力量管理	電力量算定		再生可能エネルギー特定卸供給料金算定		保証金(保証金計上)
	電力量協定		再生可能エネルギー任意卸供給料金算定		日次締め処理
	部分供給電力量仕訳		再生可能エネルギー買取受給電力料金算定		外部回収委託
	発電電力量仕訳(地点料金向け)		最終保障料金算定		臨時支払手続
	発電電力量仕訳(発調インバランス向け)		精算額登録		返金(銀行振込)
	総合契約力率算定		週及異動等差額精算・訂正再計算		保証金(返還・支払充当)
	インバランス算定		料金例外訂正再計算	統計	支払管理
	制限中止延べ時間計算		単価改定		社内向け統計・報告
	供給停止・休止期間計算		料金計算保留(個別指定)		規制当局向け統計・報告
	経済的出力制御精算諸元準備				中立機関向け統計・報告
	インバランス料金諸元準備			問合せ	業務品質統計
	調整力料金諸元準備				共通情報検索
	再生可能エネルギー任意卸供給電力量計算				
	事業者間精算P0				

BSP : Balancing Service Provider, TSO : Transmission System Operator, LR : Last Resort

2.2 ワンストップサービスの提供

価値提供の方法についても、次世代に向けて方針を転換する。現行では、託送料金算定パッケージ(BLEnDerTS)などパッケージ製品に対して、個社要求をカスタマイズ及びアドオン開発してソリューションを組んで、客先環境に納める製品提供(モノ売り)の手法で価値を提供している。パッケージでの提供は、1社でのスクラッチ開発と比べて、開発の共通化による開発ボリューム及びコスト削減といった開発面での効果を出してきた。しかしながら、製品提供の形では、制度対応などの要件が決まった新規及び変更開発は可能だが、送配電事業が持つ潜在的なニーズを発掘し、新しい価値を創出することが難しい。そこで、当社では、今までの製品提供の形から、企画から保守運用までをワンストップでサービス提供(コト売り)する方式に転換する。サービス種別は、コンサルティング／導入サービス、開発／構築サービス、保守／運用サービス、技術サポートサービスの4種類に大別される。この4種類のサービスが循環することによって安定的な業務運用及び新しい価値創出を実現する。図2にワンストップサービスのサービスイメージ、図3に各フェーズに対するワンストップサービスの効果を示す。

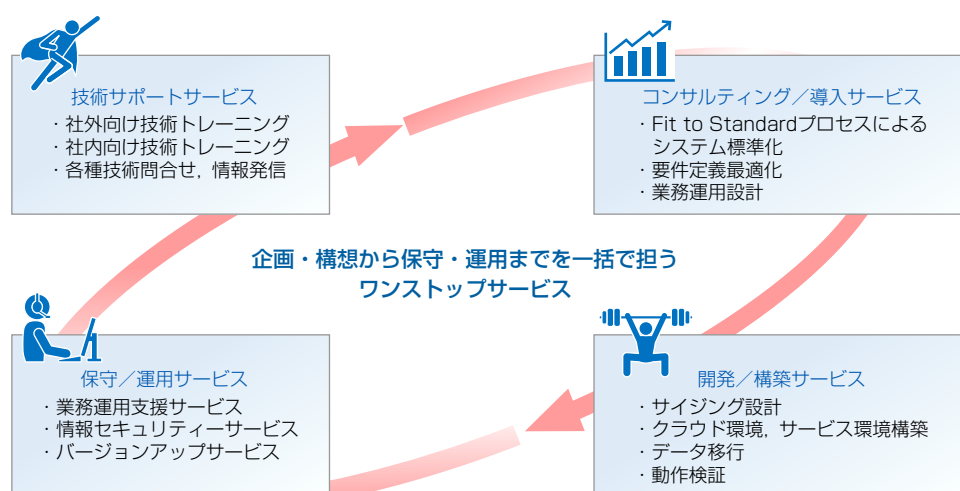
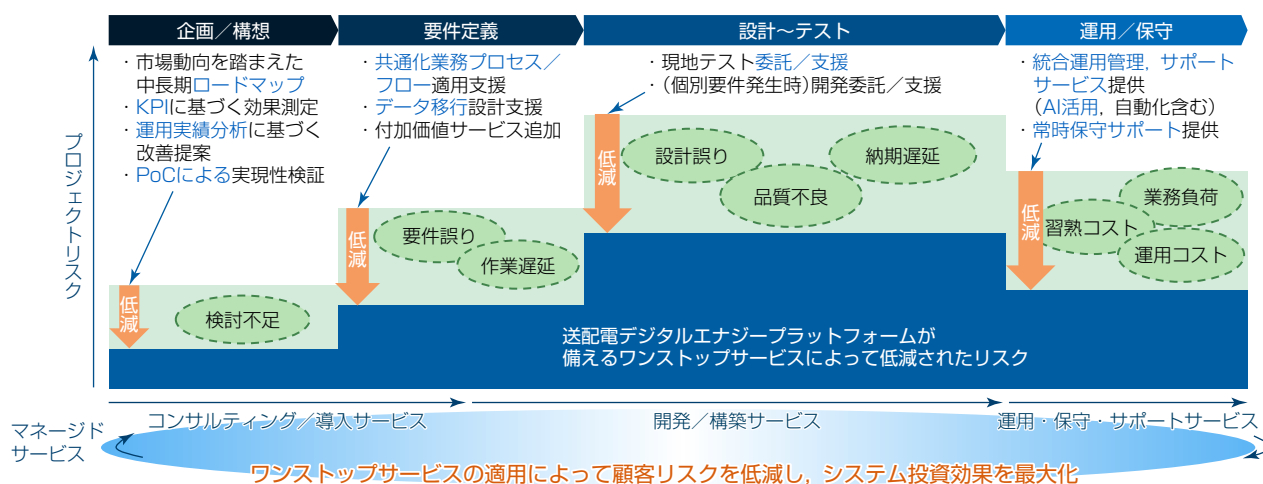


図2-ワンストップサービス



KPI : Key Performance Indicator, PoC : Proof of Concept

図3-各フェーズに対するワンストップサービスの効果

2.2.1 コンサルティング／導入サービス

国の各種委員会及び電力広域運営推進機関からの情報、保守／運用サービスで分析した業務運用課題から、新しいニーズを検討し、価値を創出する。開発ロードマップを作成してサービス提供の計画を立てる。送配電事業者にはロードマップをベースにシステム投資効果が最大になる業務改善・システム導入方針案を提供する。

2.2.2 開発／構築サービス

コンサルティング／導入サービスで要件確定したシステム構築を支援するサービスである。また、要望に応じて個社要求に対しても、システム構築委託を請け負う。ユーザー教育及び環境構築も含めて、サービスを利用できる状態にする。

2.2.3 保守／運用サービス

提供したシステムやサービスの安定稼働を支援するためのサービスである。システム監視、障害対応、定期メンテナンス、パフォーマンスの最適化などによって、システムのダウンタイムを最小限に抑えて業務の継続性を確保する。また、保守、運用を実施する中で得られる情報(ログなど)を基に、業務を分析し、課題を抽出することで、コンサルティング／導入サービスへ展開し、新しい価値の創出につなげる。

2.2.4 技術サポートサービス

DAP(Digital Adoption Platform)やノーコード／ローコードツール、プロセスマイニングなど、業務運用や自社開発の効率化に資する技術製品の提供、及び各種サービスの設計ガイドラインや学習コンテンツ、教育トレーニングなど利用に向けた各種支援を提供する。

2.3 共通プラットフォーム化

2.1節及び2.2節で述べたプロセス／フローの共通化及びワンストップサービスを提供する基盤として、共通プラットフォームの開発を進めている。送配電デジタルエネルギープラットフォームは、各種業務機能を提供するアプリケーションサービス層、ワンストップサービスを提供するための基盤になるマネージドサービス層、アプリケーションサービス層及びマネージドサービス層の技術基盤になるITサービス基盤層の3層で構成される。図4にプラットフォーム3層構造を示す。

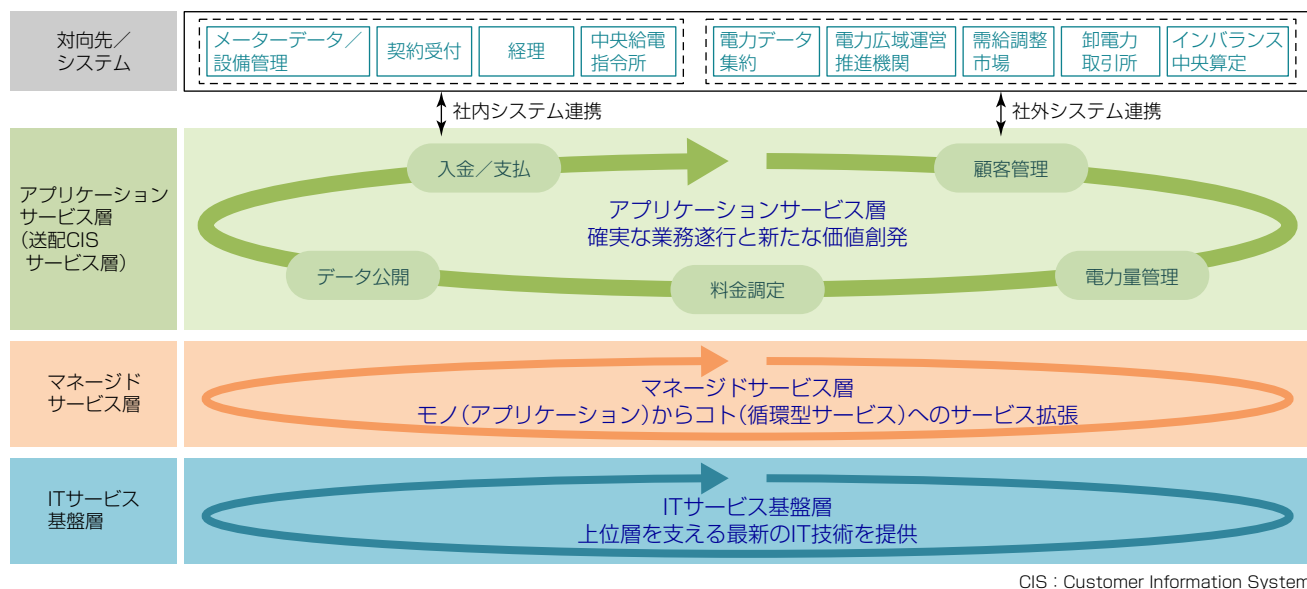


図4-プラットフォーム3層構造

また、送配電デジタルエネルギープラットフォームでは、各種サービス層にグローバルソリューションを積極採用する。昨今のIT技術の進化はクラウド／SaaS(Software as a Service)に世界全体のITサービス投資が集中された結果、加速度的な進歩が生み出されており、全てを自前主義で達成するのは経営観点／投資対効果からも非効率である。そのため、アライアンスを組むなど、複数のソリューションを掛け合わせることで、単独では実現できなかった価値を提供することが必要になる。現時点で対象としている託送業務領域については、グローバルソリューションの最新IT技術を活用した上で、当社が持つ現行運用から得た技術・知見を組み合わせることによって、開発コストを抑制し、開発リードタイ

ムを短縮しつつ、新しい価値を提供する。

将来的には、分散型エネルギーリソース管理システム(DERMS)、監視制御／データ収集システム(SCADA)などの系統関連システムから得られる情報も含めて、送配電事業者の各業務情報を統合し、可視化・高度な分析を実現することで、送配電事業者の新しいビジネスを創造するためのサービス基盤を提供することを目指している。

3. む す び

送配電デジタルエネルギープラットフォームの三つの軸“プロセス／フローの共通化”“ワンストップサービスの提供”“共通プラットフォーム化”について述べた。送配電デジタルエネルギープラットフォームによって、安定的な送配電業務を実現しつつ、新たな価値を創出できる環境を提供し、送配電業務の次世代化に貢献したい。

参 考 文 献

- (1) 電力自由化に対応した電力託送用料金調定パッケージ“BLEnDer TS”，三菱電機技報，80，No.1，56（2006）



総合水力制御所システム

Next Generation Hydroelectric Control System

*電力システム製作所

要 旨

総合水力制御所システムは、水力発電に関わる水力設備の状態を24時間365日常時監視し、水力設備を合理的かつ効率的に運用して、良質な電気を安定的に供給する制御系システムである。システムへの信頼性向上とコスト削減の要求が高まり続けている中、三菱電機は、運用者が業務に当たる複数の運用拠点と監視制御処理を実行するサーバー群の設置拠点を分散配置した広域監視制御分散型システム⁽¹⁾や、更に多重化したサーバー間を高度に広域連携することによって運用拠点とサーバー拠点の縮小を実現した拠点集約型システムなど、これまで培ってきた総合水力制御所システム技術とノウハウ、さらに水力設備の監視制御に特化した新たな機能を開発した。

1. ま え が き

関西電力^(株)では、小水力と呼ばれる小規模な水力発電所と揚水発電所が近畿管内に約80か所、大規模な水力発電所が北陸管内と東海管内合わせて約70か所存在している。これらについて、これまでは各県・地域に存在していた給電制御所システム、水力制御所システム、揚水発電所システム等の複数システムで電力系統とともにそれぞれ監視制御を行っていた。しかし、2020年の発送電分離に伴い、電力系統を監視制御するシステムと、水力発電所を監視制御するシステムを明確に分けることが必要になり、水力発電所の監視制御及びダムの監視に特化した水力制御所システム(図1)を開発することになった。

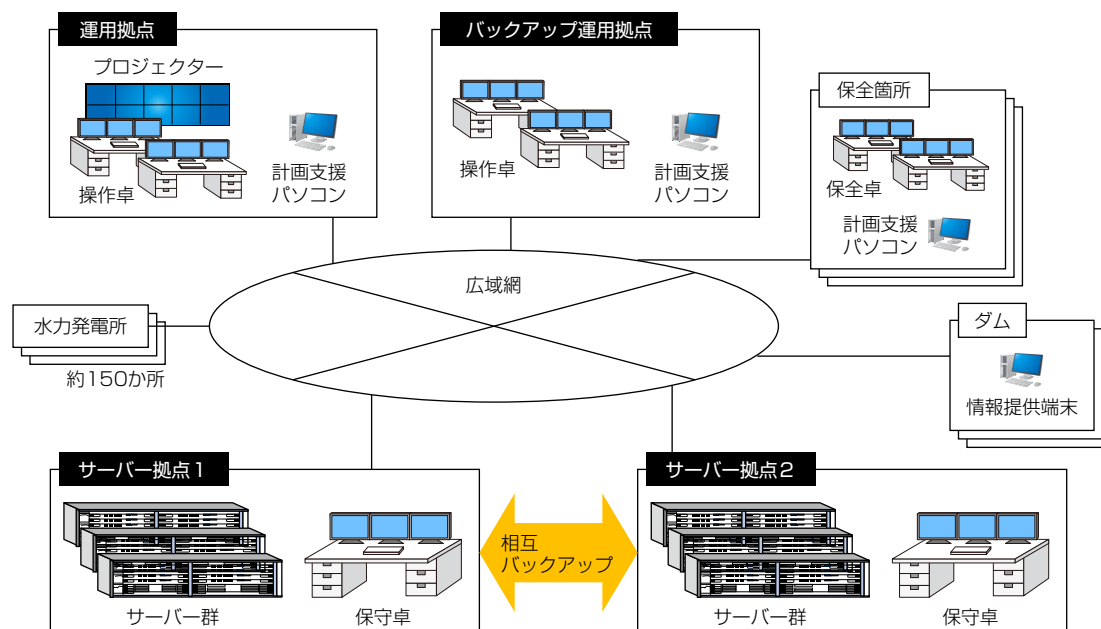


図1-総合水力制御所システム

当社では、サーバー拠点2か所、運用拠点1か所、バックアップ運用拠点1か所といった構成でシステムを一つに統合することをコンセプトとした総合水力制御所システムの開発を打ち出して、2018年から開発に着手した。しかしながら、水力設備の監視制御は電力系統とは異なって水系独自の運用がこれまで行われており、複数ある既設システムでも独自機

能を盛り込んだ個産システムになっていた。これらを一つのシステムに統合するために、標準化すべき機能と、個別機能として残すべき機能に分けた上で、保守性を維持したシステムにすることが大きな課題になっていた。

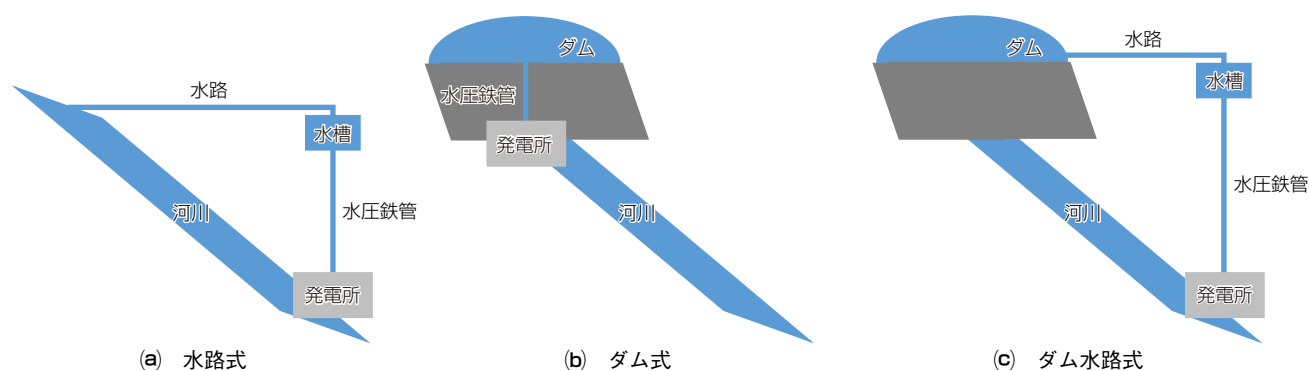
本稿ではこの課題に対する取組みと併せて、総合水力制御所システムの概要について述べる。

2. 水力制御所システム

一般的に、水力制御所システムとは水力発電所の監視制御及びダム監視を行うシステムのことを指す。主に発電機の起動・停止や、ダムの水位・放流量の監視などを24時間365日、遠隔で行っている。

水力発電所の規模、制御方法は河川の規模、水量に依存するところが大きく、例えば河川規模の大きいエリアの発電所では発電機の起動・停止だけでなく出力の変更まで分刻みで制御する一方で、河川規模の小さいエリアの発電所では起動・停止だけを制御するなど、運用方法も様々である。さらに、太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、電力を安定供給するための調整力としても注目されている揚水発電所では、更に複雑な制御を必要としている。また、ダムでもその規模や用途に応じて様々な形態があり、監視すべきパラメーターもそれに応じて変わる(図2)。

このように多種多様な発電所の監視制御及びダムの監視を行っているのが、水力制御所システムである。



3. 総合水力制御所システムの特徴

本稿で述べる総合水力制御所システムでは、これまで各エリア、各河川特化で監視制御を担っていた水力制御所システム等を一つのシステムに集約した。2章で述べたとおり、水力制御所システムでは河川の規模、水量に応じて多種多様な運用が行われており、機能も様々である。総合水力制御所システムの開発では、これまでの運用を維持できるよう一つのシステムに集約しながら、かつ保守性を高めることが大きな課題になっていた。

この章では、特に総合水力制御所システム特化の機能の概要と、課題への取組みについて述べる。

3.1 システム集約の課題

これまで全く別の場所で、別のシステムをそれぞれ運用していた運用者が、一か所に集まり同時に全エリアの水力設備を監視制御するには、当然ながら互いの干渉は避けられない。そこで、可能な限りこれまでどおりの運用を各運用者が集中して継続できるようにするために、総合水力制御所システムでは班と水系という概念を取り入れた。

まず全エリアを大きく2班に分けて、システム上でもこの2班を別サーバー上でそれぞれ処理させることで、UI(User Interface)上、処理上共に互いの干渉を避けるようにした。さらに班の中も5水系に分けて、監視画面などはこの単位で閲覧可能になっている。また、運用者ごとに持つ権限にレイヤーを設けることで、例えば運用者が1班の水系1の監視制御担当である場合、自身のユーザーIDに紐(ひも)付いて、他班の状態変化や異常に伴う画面フリッカーなどは表示されないようにすることが可能である。

さらに、データベース(以下“DB”という。)そのものにもシステムごとの差異があったため、これを統合する必要がある

た。例えば、数値情報(以下“TM”という。)はその種類(水位、放流量、出力等)によってそれぞれ固有の種別を持っており、DBとして定義されているが、これまではシステムごとに自由に種別を定義していた。まずはこれを集約するために全TMの種別を整理した。また、システムの根幹に関わる水系計算機能、発電機制御機能などでは仕様の差異をDBで吸収することで、システムの複雑化を回避し、保守性の高さを維持している。

3.2 水系計算機能

総合水力制御所システムの監視に用いられるTMは、現地機器から直接送られてくる観測値(以下“オンラインTM”という。)のほかに、そのオンラインTMからあらかじめ決められた計算式を用いて算出される計算値(以下“オフラインTM”という。)がある。この算出を行っているのが水系計算機能である。

当然、計算式は発電所、ダムによって異なる上、同じ種類のTMでも発電所によってオンラインTMがあるもの、オフラインTMとして算出が必要なもの、といった違いもある。

このような課題を解消するために、総合水力制御所システムでは次の二点の取組みを実施した。

(1) 計算種別の整理

同じ種別のTMでも、発電所、ダムによって計算式が異なることが多々ある。これを解消するためにパターンを整理し、計算種別としてDB化した。一例として、ダムの水位が挙げられる。まず、全ダムの水位の計算式を洗い出して、これらをパターンに分けて、計算種別としてDBに定義した。水位の計算種別は現在9種別あり、それぞれが別の計算式で値を算出している。例えば、オンラインTMをそのまま使用するパターンや、オンラインTM6点を平均するパターン、オンラインTMからダムの標高を差し引くパターンなどがある。

(2) 変数のDB化

同じ計算種別でもその計算式に使われる変数が異なる場合がある。一例として、水位をオンラインTMからダムの標高を差し引いて算出するパターンでは、ダムごとに差し引くべき標高が異なるため、これを変数としてDBに持たせている。そうすることで、システム内の計算式としては一つにまとめることができ、保守性を維持することが可能になっている。

水系計算機能で算出されたTMは、3.3節で述べる制御機能でも制御条件や制御内容として用いられるため、非常に重要度の高い機能である。これらの取組みによって、このような重要度の高い機能を高品質かつ保守性高く提供することを実現した。

3.3 発電機制御機能

総合水力制御所システムの大きな役割の一つとして、発電機の起動・停止制御が挙げられる。発電機の制御方法は大きく手動制御と自動制御の2種類があるが、ここでは自動制御を担う発電機制御機能について述べる。

発電機制御機能では支援系サーバー又は運用者が監視操作卓から入力した翌日予想、当日補正の変化点情報(時刻、出力(流量))、発電機優先順位に基づいて、発電機ごとの起動、停止、出力変更等のスケジュールを作成、登録し、これに従って発電機の制御を自動で行う。

発電機制御でも、発電所ごとに制御条件や制御方法が異なる。例えば、一般的に発電機制御では発電機の出力を指令値として制御するが、AFR(Automatic Follower Regulator:自動流量調整装置)発電所と呼ばれる発電所では出力の代わりに流量を指令値として制御し、流量と水位から出力を換算する。中には流量が規定されている発電所もあり、発電機制御機能で現在値と規定値の偏差から最終停止時刻を自動算出している。また、一部では発電機ごとの制御ではなく、発電所一括でスケジュールを登録し、制御する発電所も存在する。さらに、揚水発電所では発電方向だけでなく、揚水方向の制御も必要である。

このような様々な制御方法に対応するために、発電機制御機能でもパターンを整理し、計算種別をDB化した。計算種別は大きく16種別、枝番まで含めると27種別存在する。

3.4 ソフトウェア応水機能

発電機の自動制御の中に応水運転と呼ばれる制御方法がある。現地の応水装置がダム(水槽)の水位に応じて、発電機を自動で起動・停止する機能だが、総合水力制御所システムではこれをシステムに取り込んで、新たにソフトウェア応水機能として実装した。

システムに取り込むことで現地に応水装置が設置されていない発電所でも応水運転を可能にするために、あらゆる発電

所に対応できるような機能にすることが課題であった。この課題を解決するために、制御条件となる基準水位などをDB定義可能にして、発電所ごとの差異だけでなく、季節や将来的な運用形態の変化にも対応できる機能になっている。

ソフトウェア応水機能では、DB定義に従って対象のダム水位が発電機起動の規定値を一定時間超えた場合には発電機を自動起動する。これによって水位が基準値を超えた場合に増水し続けて越流することを防ぐ。また、発電機停止の規定値を一定時間超えた場合には発電機を自動停止し、過水を防ぐ(図3)。

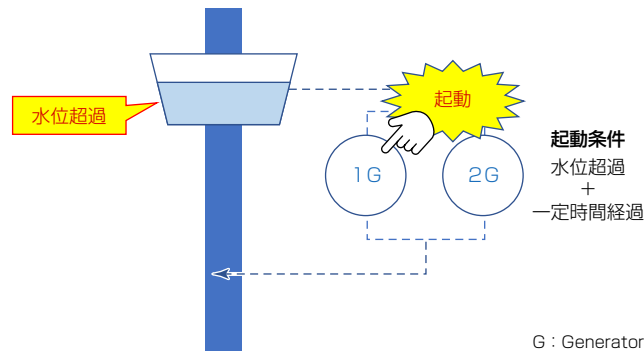


図3-ソフトウェア応水運転

3.5 上流抑制機能

運用者の負担を軽減する要望の高まりを受けて、総合水力制御所システムでは上流抑制機能と呼ばれる新たな機能を実装した。

下流の発電機で事故が発生し、発電機が停止した場合、そのまま上流の発電機で発電をし続けると、下流のダム、水槽に水が溜(た)まり続ける。これを防ぐために上流の発電機の出力を抑制する必要がある。上流抑制機能では、これまで運用者が実施していた、下流の発電機で事故が発生した際に緊急対応として上流の発電機の出力を抑制する、という運用を自動で実施するものである(図4)。

上流抑制機能については、上流下流のつながりや、想定される事故範囲とその影響範囲など、運用者の知見を基に抑制対象発電機を設定する必要があるため、DBではなくシステム上の画面から自由に設定変更が可能になっている。ソフトウェア応水機能や上流抑制機能といった、総合水力制御所システムで新たに実装した機能では、機能の特性に応じて起動条件の設定方法を変えて、また設定内容を可能な限り簡素化することで互換性の高い機能にすることを目指した。

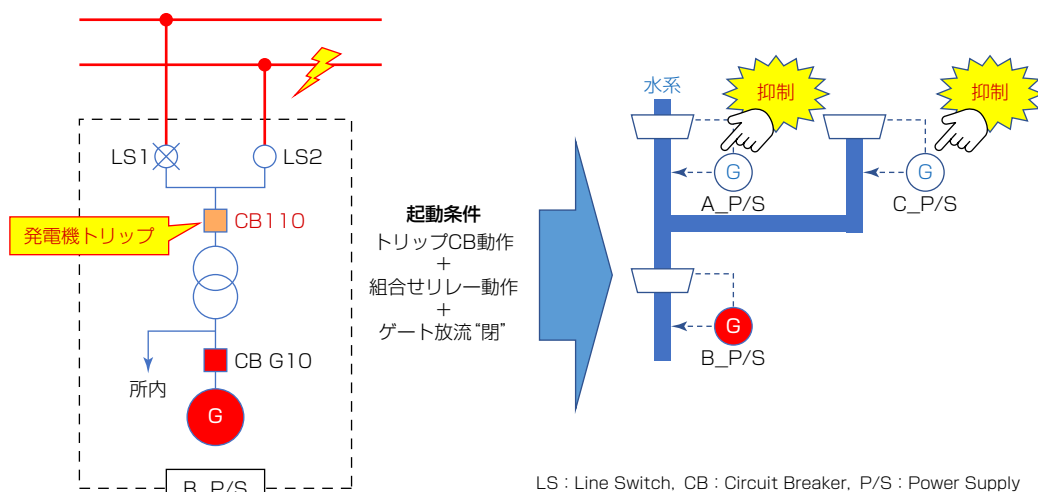


図4-上流抑制機能

4. む す び

今後も太陽光発電などの再生可能エネルギーの更なる増加や、連携先システムの形態の変化など、総合水力制御所システムを取り巻く環境は、刻々と変わっていくことが想定されている。当然それに合わせてニーズも変化していくが、当社ではその環境変化をいち早く捉えて、開発にも取り組んでいく。

また、拠点集約型システムという考え方は、他システムでも広がりを見せており、連携先システムが集約されていく計画などもある。

さらに、運用者の負担軽減という課題は尽きることがなく、良質な電気を安定的に供給し続けるための助力となるため、総合水力制御所システムでも新たな機能の拡充を図っている。

当社では、この総合水力制御所システムで得た技術とノウハウを糧に、今後も更なる水系運用の高度化に向けた技術開発を推進する。

参 考 文 献

- (1) 藤田淳文，ほか：次世代電力系統制御システム，三菱電機技報，**86**，No.9，498～501（2012）

~~~~~

# デジタル信号処理を適用した NIS／ICIS後継機種のパフォーマンス評価

Performance Evaluation of Newly Developed NIS/ICIS Utilizing  
Digital Signal Processing

田中隆己\*  
Ryuki Tanaka  
小西 遼\*  
Ryo Konishi  
東 哲史†  
Tetsushi Azuma

笹野 理†  
Makoto Sasano  
卞 哲浩§  
Cheol Ho Pyeon

\*三菱電機㈱ 電力システム製作所  
†同社 先端技術総合研究所  
‡同研究所(博士(理学))  
§京都大学

## 要 旨

カーボンニュートラル社会の実現に向けて原子力発電が注目される中、三菱電機では今後の原子力事業の持続的な発展を目指して、新たな取組みとしてデジタル信号処理技術を積極的に導入した加圧水型原子炉(Pressurized Water Reactor：PWR)向け核計装設備の後継機種を開発している。

炉外核計装設備(Neutron Instrumentation System：NIS)では、中性子検出器からの信号に対して特有の処理方法を適用するため、アナログ回路での信号処理が主流である中、世界的にも例の少ないデジタル化を実現した。

炉内核計装設備(InCore Instrumentation System：ICIS)では、国内既設PWRで適用実績のない自己出力型中性子検出器(Self Powered Neutron Detector：SPND)に対応した信号処理部を開発し、所定の性能が得られることを確認した。

## 1. ま え が き

近年、脱炭素電源としての需要増加によって、原子力発電の中でも小型炉を代表とする新型炉の新設に対する世界的な期待が高まっている。三菱電機では米国Holtec International社が進める小型炉“SMR-300”の開発に参画し、原子炉の制御や運転操作の自動化を担う計装制御(Instrumentation and Control：I&C)システムの設備設計を担当している<sup>(1)</sup>。小型炉市場では、従来の大型炉との差別化要素として建設時の経済的メリットを創出することが重要である。そのため、初期コストと保守コストの低減を目指して、デジタル技術を積極的に導入したI&Cシステムの開発を推進している。

I&Cシステムの中でも、炉心の状態監視機能を持つNIS及びICISは主要な計装設備の一つである(図1)。NISは、原子炉の外周に設置した中性子検出器を用いて炉外に漏洩(ろうえい)する中性子を計測することで、原子炉の保護・監視・制御に寄与する。ICISは炉心の内部に設置した中性子検出器を用いて炉内の中性子を計測することで、炉心の詳細な状態の監視を可能にする。

海外の小型炉では、三菱電機が設備を供給してきた国内既設PWRと異なる中性子検出器や検出方式を適用する可能性がある。それに加えて、国内既設PWRや新型炉を含めて建設・保守コスト低減のニーズがあり、これらに対応するため、デジタル技術を活用したNIS／ICIS後継機種の開発を進めている<sup>(2)</sup>。

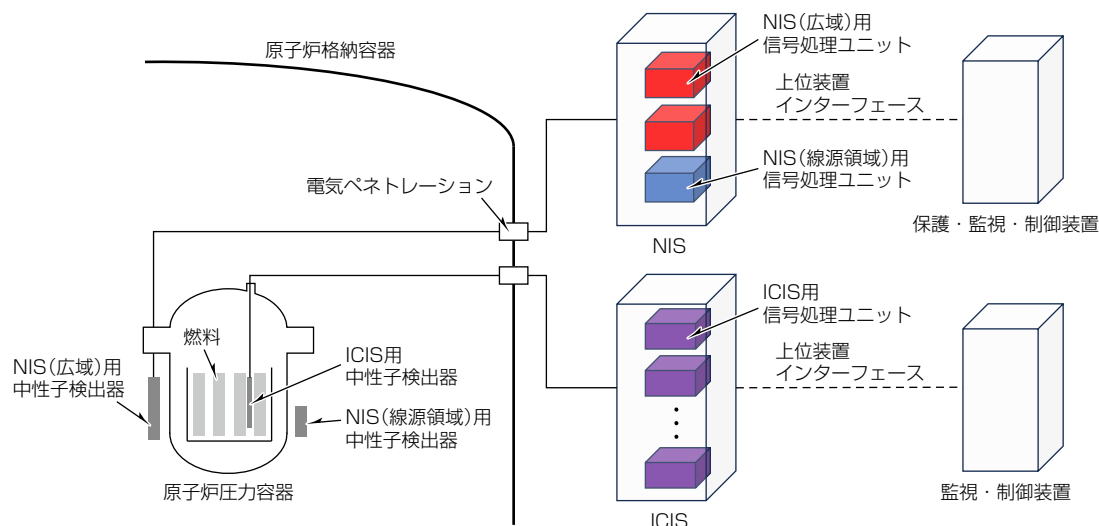


図1 - NIS及びICISのシステム構成

## 2. 核計装での信号処理とデジタル化

原子炉の出力や状態を監視する核計装では、原子炉内又は原子炉外に設置した中性子検出器に入射する中性子量を測定するため、中性子検出器から出力される信号に対する信号処理が必要になる。

### 2.1 信号処理手法のデジタル化と課題

核計装向けに開発した信号処理手法と課題の概念図を図2及び図3にそれぞれ示す。

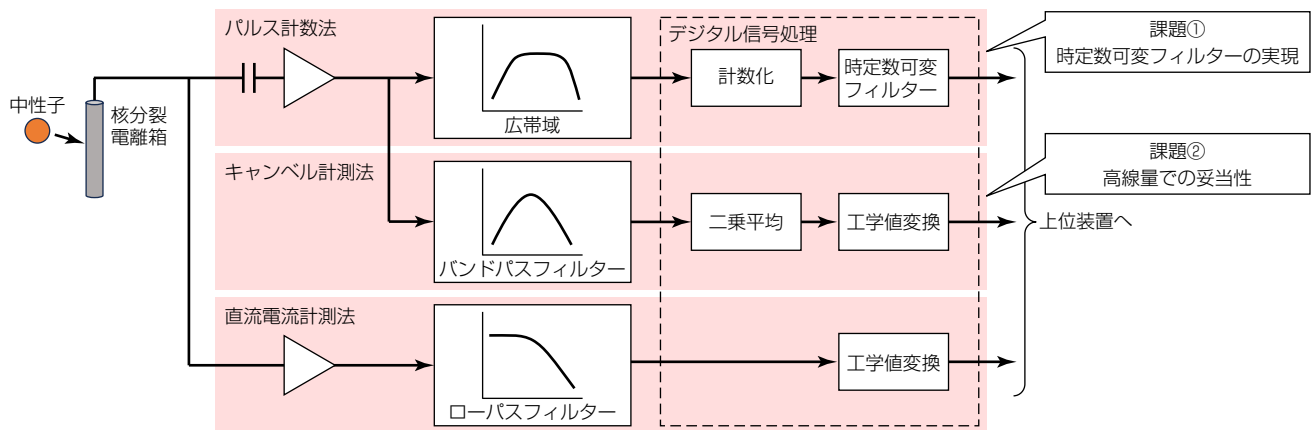


図2-NISの信号処理手法と課題の概念図

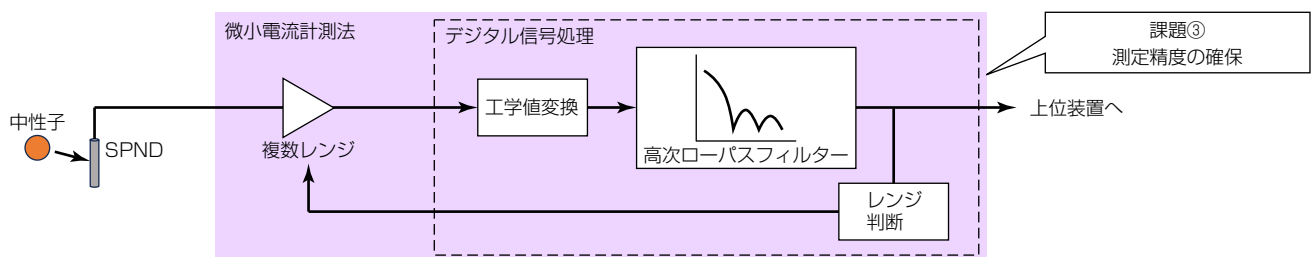


図3-ICISの信号処理手法と課題の概念図

NIS向けの中性子検出器にはBF3比例計数管、核分裂電離箱、非補償型電離箱などがある。中性子量や検出器の特性に応じて、パルス計数法、キャンベル計測法、直流電流計測法の三つの異なる計測手法が適用される。これらのうち、NIS後継機種向けに核分裂電離箱に対応したパルス計数法及びキャンベル計測法のデジタル信号処理技術を新たに開発した。両者の計測手法に適したデジタル信号処理技術の実現に当たっては、それぞれ次の課題がある。

課題①(パルス計数法) : 計数率にかかわらず要求精度を満たすデジタルフィルタ(時定数可変フィルタ)の実現

課題②(キャンベル計測法) : 中性子検出器による出力信号、かつ高線量での妥当性確認

ICIS向けの中性子検出器としては、安全性向上のために原子炉上部からSPNDを挿入する固定式ICIS方式が近年新設PWRでは主流になっている。SPNDの出力信号の範囲は1 nA～1 μA程度と小さくかつ広いダイナミックレンジで精度の確保が必要であることが特徴である。このことから、SPNDに対応するICISでは次の課題がある。

課題③(微小電流計測法) : 微小電流、かつ要求されるダイナミックレンジに応じた測定精度の確保

これらの課題とその対応方法について、2.2節、2.3節及び2.4節で詳しく述べる。

### 2.2 課題①(パルス計数法)へのアプローチ：アナログ回路のモデル化と漸化式表現

パルス計数法では、中性子が検出器に入射した際に発生するパルス信号の数を求めることで、炉出力に比例する計数率を得られる。しかし、信号が確率的に発生するため、信号の発生頻度が低い場合、短時間の測定では計数率の変動が大き

くなり、原子炉の保護・監視には適さない。そこで、NISでの典型的なパルス計数法では計数率の大小にかかわらず標準偏差が要求精度を満たすように、時定数を変化させて処理している。三菱電機では、以前からトランジスタの指数特性を利用した専用のアナログ回路(ログアンプ)によってこの処理を実現しており、低計数率から高計数率に変化した際の応答が早いという特長も持っている。

パルス計数法をデジタル化する場合、先に述べたログアンプのような特性をデジタル信号処理で再現することが課題であった。そこで、理想トランジスタを使ったログアンプのアナログ回路をモデル化し、入力と出力の関係を微小ステップに対する漸化式で表現することでデジタル化を実現した(図4)<sup>(3)</sup>。

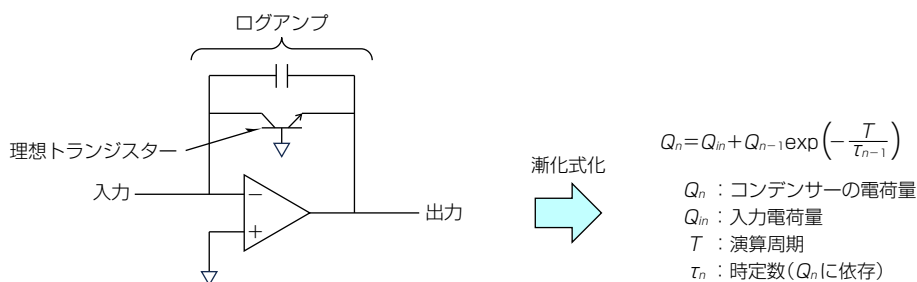


図4-ログアンプのアナログ回路のモデル化

## 2.3 課題②(キャンベル計測法)へのアプローチ：システム検証まで可能なモデルベースデザイン

NIS及びICISの開発では、高い中性子照射場での測定が容易に実施できないことから、実信号を用いた評価が難しい。また、中性子検出器が出力する信号も複雑なため、特にNISのデジタル化設計の妥当性は従来の手法では通常の試験環境や模擬信号による静的な確認しかできず、信号処理手法の開発検証のハードルになっていた。

そこで、中性子検出器やアナログ回路、デジタル信号処理、上位の制御・監視装置までをデジタル空間上(MATLAB／Simulink<sup>(注1)</sup>)で再現するモデルベースデザインを適用した(図5)。これによって、デジタル信号処理手法の実装設計や開発プロセスの効率化だけでなく、システムレベルでの妥当性評価も可能になった。実機段階まで確認できなかったダイナミックかつ高線量を模擬した信号の確認まで設計段階で実施し、これまで課題であったNISのキャンベル計測法を含む信号処理ロジックの妥当性を確認した。

(注1) MATLAB, Simulinkは、The MathWorks, Inc.の登録商標である。

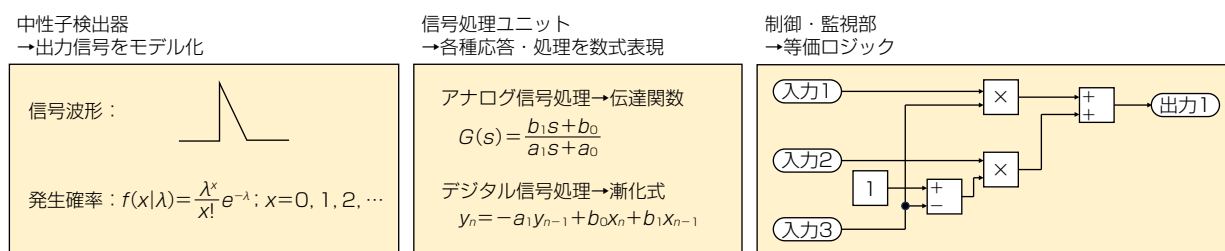


図5-モデルベースデザインの適用

## 2.4 課題③(微小電流計測法)へのアプローチ：自動レンジ切替え手法の適用

微小電流を測定対象としながら、要求されるダイナミックレンジに応じた測定精度を確保するため、初段の増幅回路の増幅率を適切に切り替えながら連続的に計測する自動レンジ切替え手法を開発した。

一般的に高精度を確保する微小電流計測用の回路では、初段の増幅回路の増幅率を切り替えると、出力電圧が静定するまでに計測上無視できないほど長い時間を要する。開発した手法では、アナログ回路の工夫によってこの静定時間を大幅に短縮し、デジタル信号処理によって切替え直後の短時間のデータに対してフィルターすることで連続的な計測を実現した<sup>(4)</sup>。

### 3. デジタル化による核計装装置の小型化の実現

2. 3節に述べたデジタル信号処理ロジックを適用したNIS用及びICIS用の信号処理ユニットをそれぞれ試作した(図6, 図7)。信号処理ロジックを一つの演算素子(Field Programmable Gate Array : FPGA)に実装することで、信号処理回路に必要な基板面積が大幅に縮小された。これによって、核計装装置の主要な要素である信号処理回路が1台のユニットへ集約可能になり、核計装装置の小型化を実現した。



図6-NIS用信号処理ユニット試作機



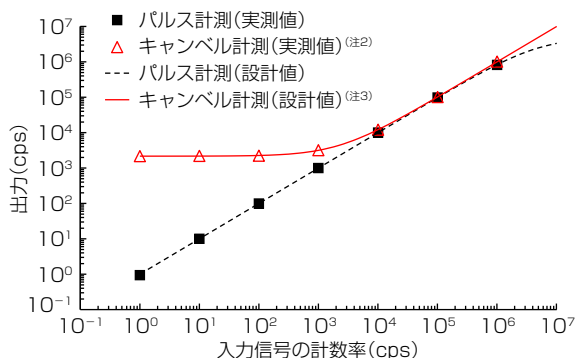
図7-ICIS用信号処理ユニット試作機

### 4. 性能評価と妥当性確認

模擬信号を試作機に入力し、信号処理ユニットの性能評価を実施した。その結果、4. 2節に述べるとおり、実測値と設計値がよく一致する結果が得られた。これによって、デジタル信号処理ロジックの妥当性及び製品としての実現性が確認できた。

#### 4. 1 NIS用信号処理ユニットの評価結果

パルス計数法とキャンベル計測法の入出力特性を図8に、パルス計数法での時定数の評価結果を図9に示す。入力信号の発生確率は計数率が1 cps(count per second), 10cps, ..., 10<sup>6</sup>cpsになるポアソン分布とした。その結果、入出力特性は期待する範囲で線形性が得られて、応答時間は設計どおり計数率の逆数に比例する応答が確認できた。



(注2) 入力信号が  $1 \times 10^6$  cps の場合に基準に補正  
(注3) オフセットとして実測値(1 cps 入力時)を加算

図8-入出力特性の評価結果

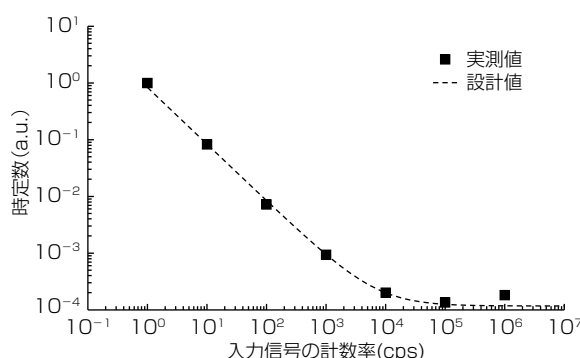


図9-パルス計数法の応答時間の評価結果

## 4.2 ICIS用信号処理ユニットの評価結果

デジタル信号処理で実装した自動レンジ切替え機能の評価のため、模擬電流を入力し、レンジ切替えによってアナログ回路の増幅率が高いレンジから低いレンジに切り替わる際のユニット内部の演算結果を記録した(図10)。レンジ切替え前後の出力はシームレスになっており、自動レンジ切替え機能の有効性を確認した。

また、高次ローパスフィルターのノイズ除去性能の評価として、5～25Hzの交流信号に対するフィルター効果を表す減衰量を評価した(図11)。測定した周波数で減衰量はアナログ回路のローパスフィルターの特性を含めた設計値とよく一致しており、ノイズ除去性能の高いフィルターが設計想定どおりに機能していることを確認した。

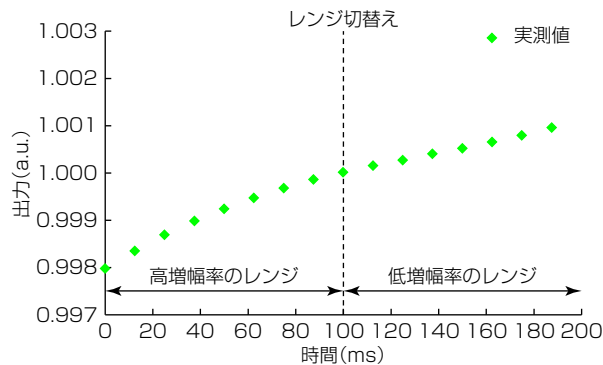


図10-自動レンジ切替え機能の評価結果

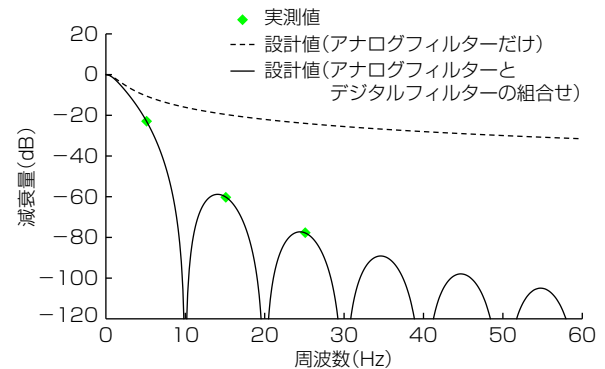


図11-高次ローパスフィルターの評価結果

## 5. む す び

核計装設備の後継機種に向けた性能評価として、開発した信号処理技術とその評価結果を述べた。新たに開発したデジタル信号処理技術の適用によって、新型炉に適した装置を実現可能になる。基本性能について妥当性が確認できたため、今後は環境試験や米国認証取得対応を進めていき、製品化に向けた開発を進めていく。

また、ICISに使用する中性子検出器の特性評価を目的として、京都大学との共同研究の下、京都大学研究用原子炉を利用した中性子照射試験<sup>(5)</sup>を実施しており、本稿で述べた信号処理ユニットを使用して評価を行っている。同様に、NISでの計測手法の評価を目的として、同原子炉を利用した実験も予定している。これらの結果は別途論文で述べる予定である。

本稿で述べたICISに関する成果の一部は、経済産業省“原子力産業基盤強化事業”の結果得られたものである。

## 参 考 文 献

- (1) 濱谷陽一郎, ほか: 小型モジュール炉“SMR-160”向け計装制御システム, 三菱電機技報, **95**, No.11, 686~689 (2021)
- (2) 小型炉への適用に向けた現場型デジタル炉外核計装システム, 三菱電機技報, **99**, No.1, 1-1-03 (2025)
- (3) 国際出願番号: PCT/JP2024/040975 (出願日: 2024年11月19日)
- (4) 国際公開番号: WO2024/150353 (公開日: 2024年7月18日)
- (5) Pyeon, C. H., et al.: Development of Compensation Method for Faster Measurement with SPND, KURNS Prog. Reports 2022, CO12-8, 242 (2023)  
<https://www.rr.kyoto-u.ac.jp/PUB/report/PR/ProgRep2022/CO12.pdf>

# 変電所のデジタル化と系統運用高度化を実現するデータ利活用

*Data Utilization to Achieve Digitalization of Substations and Grid Operation*

北山匡史\*  
Masashi Kitayama  
片柳康孝†  
Yasutaka Katayanagi  
佐藤光馬‡  
Koma Sato

小田和弘‡  
Kazuhiro Oda

\*電力システム製作所(博士(工学))  
†系統変電システム製作所  
‡電力システム製作所

## 要 旨

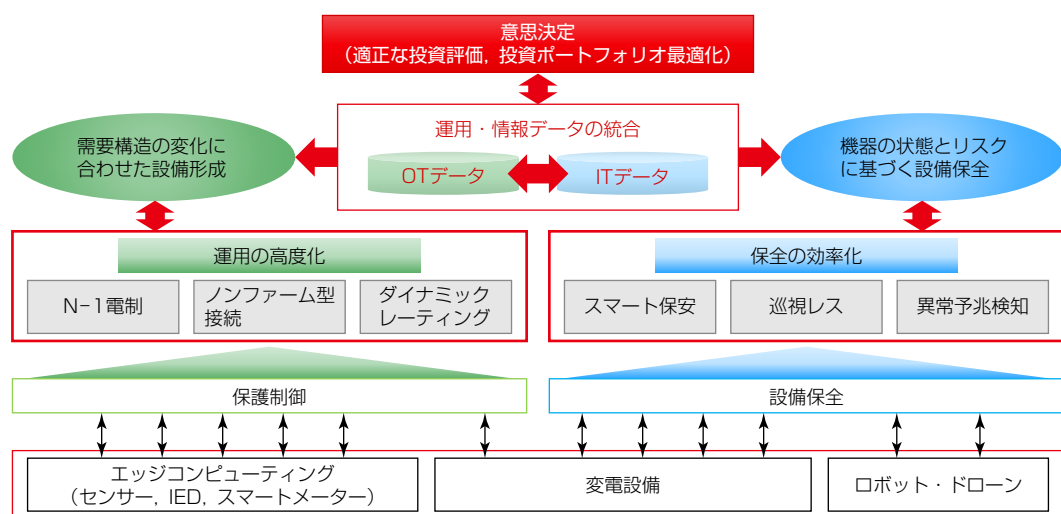
2050年カーボンニュートラルの実現に向けてGX2040ビジョンの下で脱炭素化を推進する中で、再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の大量導入に加えて、再エネの大量導入を支えるための送配電網の整備や調整力の確保など系統安定性の確保が重要である。変電設備の効率的な運用や高経年化への対応のため、系統運用データ及び設備保全データを収集し、設備・系統運用について人手をかけずに監視し、異常時の迅速な対応が求められる。そのためには、収集したデータの分析と活用による運用者の判断支援がますます重要になる。

## 1. ま え が き

人口減少等によって電力需要が伸び悩む中、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、再エネ電源の導入拡大に対応するための送配電網の増強や調整力の確保、高度経済成長期に整備した送配電設備の計画的な更新、自然災害時の早期復旧が望まれている。系統運用では、再エネ電源出力や需要の変動に合わせて系統の空き容量を活用する新規電源のノンファーム型接続やN-1電制、送電線や変圧器の空き容量をリアルタイムで把握するダイナミックレーティングなど、柔軟な系統運用の課題に対して様々な取組みがなされている。また、設備保全では効果的・効率的な保守を行うスマート保安の実現に向けた取組みがなされている。

電力供給の要である変電設備の計画、運用で、コストを抑制しつつ必要な投資を着実に遂行していくためには、図1のように、変電所保護制御システム(以下“OTシステム”という。)から得られるデータ(以下“OTデータ”という。)と変電所設備保全システム(以下“ITシステム”という。)から得られるデータ(以下“ITデータ”という。)を統合することによって既存系統及び設備を有効に活用しながら、運用の高度化と保全の効率化を両立させることが必要である。OTシステム、ITシステムは変電設備と連携するための“ハブ”としての役割を果たす。

本稿では、変電所における運用・保全データを収集するシステム及び装置、データ分析システムについて述べて、循環型 デジタル・エンジニアリングへ向けた方向性について述べる。



IED : Intelligent Electronic Device

図1-運用・情報データの統合イメージ

## 2. デジタル変電所の構成と機能

電力系統は、電気を作る発電所、電気を送る変電所、電気を使う需要家で構成されて、電力系統の状態を監視・操作するために制御所が設置されている。発電所や変電所の情報を制御所に集約することで、電気の流れを監視・操作している。電気を需要家へ24時間365日安定的に供給し、需要に合わせて所定の品質の電気を需要家に届けるためには、制御所での変電設備の運用制御及び保守を適切に実施することが必要であり、変電所の設備には高い信頼性が求められる。

変電所は、主として電気を流す・止めるための遮断器、系統切替えなどのためのガス絶縁開閉装置(GIS)、送電電圧を昇圧・降圧する変圧器とそれらを監視するOTシステムから構成される。OTシステムのうち、制御機能としては、電圧、電流、周波数などのリアルタイムデータを収集し、異常値を検出した際に警報を発する機能、また、遮断器やGISの遠隔操作による系統操作、調相設備などによる電圧の自動制御などの系統監視制御の機能がある。保護機能は、系統事故時にリレー動作による設備の保護や、事故の拡大を防ぐ事故波及防止を目的として設置されている。このように、変電所は電力供給での系統運用・制御の要になるグリッドエッジとして重要な役割を果たしているが、人員不足などによって将来的に運用に支障が発生する可能性があることから、GISや変圧器など変電設備の経年による機器状態をセンサーによって監視するITシステムの導入も進みつつある。

変電所では、分散型電源の大量連系による電圧変動抑制、周波数調整、系統事故時の一斉解列による需給アンバランスなどの系統要因によるOTシステムの高度化のため、系統データや保全データを大量に収集することが求められる。また、設備構成の簡素化、メタルケーブルの省配線化や工事の簡素化などを目的にデジタルデータでの流通が進みつつあり、国際標準であるIEC 61850に準拠してステーションバス、プロセスバスと変電所上位からデジタル化、システムのネットワーク化によるデジタル変電所の導入が世界的に進んでいる<sup>(1)</sup>。

デジタル変電所の全体構成イメージを図2に示す。デジタル変電所は、電力系統の運転監視のためのOTシステム、設備の状態監視のためのITシステムから構成される。変圧器やGIS・遮断器などの変電設備から情報を収集し、データを集約する機能を持つが、データ種別、リアルタイム性やデータ同期などの通信性能要件、信頼性やコストなどのシステム要件、標準化の取り入れの相違から国内ではそれぞれ別システムとして構築されることが多い。機器近傍に設置する装置として、計器用変成器や変流器で計測した瞬時値波形のサンプリングデータ、リレー情報などを収集するマーシングユニット、GISのガス圧、遮断器の動作特性、変圧器の油面や油温を計測するセンサーデータを収集するMEDがある。これらのデータを先に述べた変電所内システムを介して集約する。

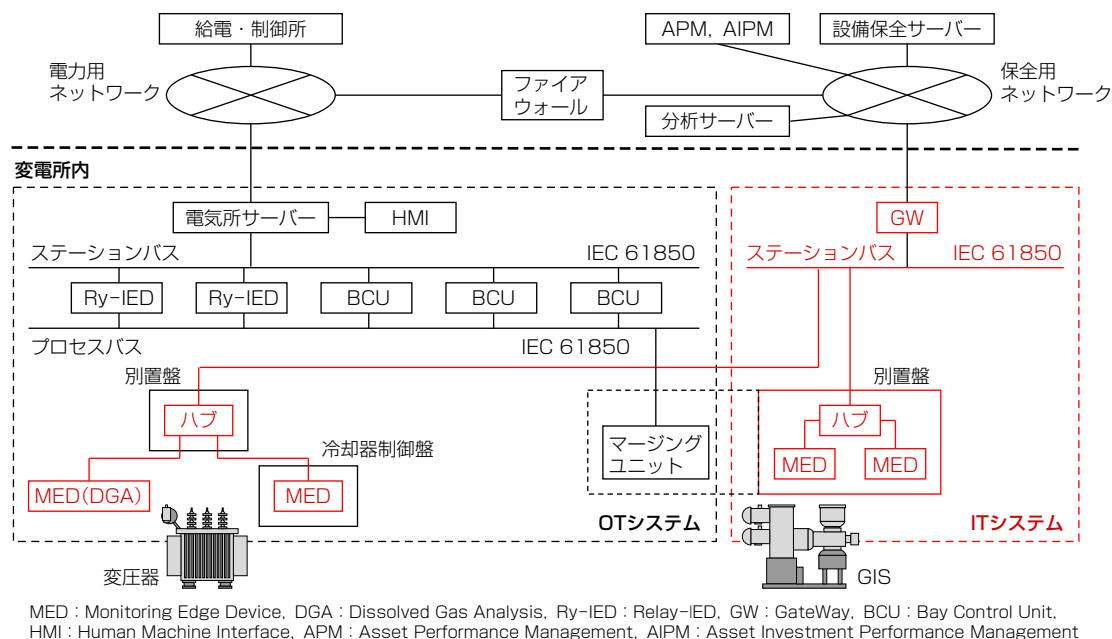


図2-デジタル変電所の構成イメージ

収集したデータは、OTシステムでは電力用ネットワークを介して給電所や制御所にITデータとして集約し、ITシステムでは保全用ネットワークを介して設備保全サーバーなどにOTデータとして集約する。電力用ネットワークと保全用ネットワークはファイアウォールによって連携しており、系統計画、系統運用を包括して取り扱うためには、OTデータとITデータを相互利用することが有効である。

### 3. 運用・保全データの活用

運用・保全業務の効率向上には、三菱電機が開発したIoT(Internet of Things)とAI技術を採用したIoTプラットフォーム“INFOPRISM”の適用が有効である<sup>(2)</sup>。INFOPRISMは様々なインフラ設備からのデータ収集・蓄積を行い、設備診断・異常兆候を検知するソリューションを提供する。設備診断・異常兆候検知は、適用するケースによって、センサーからデータを収集したフィールドでの分析処理、集約したデータのサーバーでの分析処理を実装することが可能であり、波形分析や画像解析などのデータ分析機能が実現できる。

#### 3.1 運用データの活用

この節では図2でのOTシステムに適用するデータの活用例について述べる。電力系統の保護に用いられる保護リレーは系統の電流、電圧や遮断器、変圧器の接点の開閉状態などの情報を常時取り込んでいるが、これらの情報はリレー演算だけに利用されて、リレー動作時の故障解析用途以外には活用されていない。一方、保護リレー装置は電力系統のあらゆる場所に設置されているという特性からデータの利活用との相性は大変良いと考えられる。そこでこれらのデータを有効に活用することで、事故波形解析の高度化や事故波形データから異常原因を推定するAI技術の開発などが期待できる。図3に原因別の異常波形の例を示す。異常原因によって、電圧や周波数といった波形が変わるため、異常原因の推定が可能になる<sup>(3)</sup>。

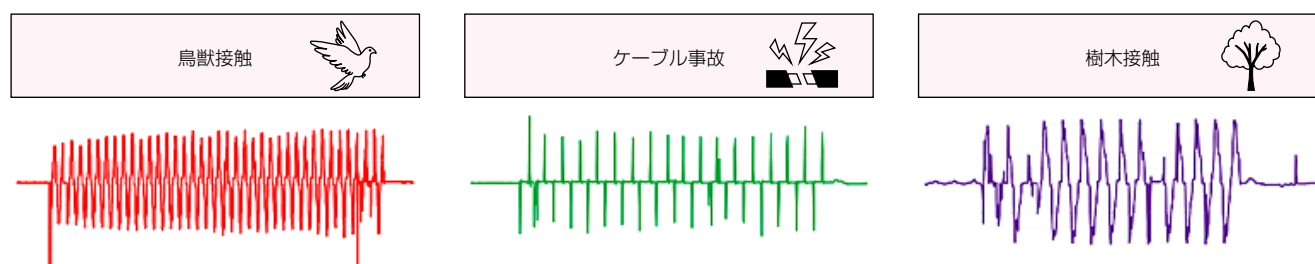


図3-原因別の故障波形(例)

推定には学習用の多数の異常データが必要であること、特徴を抽出し決定するためのアルゴリズムを開発することなど、幾つかの課題が考えられるが、このうちアルゴリズムについては当社製AIを用いることで対応可能であり、これを当社製IEDである“MELPRO-i”に適用している<sup>(4)</sup>。MELPRO-iでは3.2節で述べるITシステムに適用する異常兆候検知についてINFOPRISMを用いて実現している(図4)。今後はそれに加えて、異常原因分析の実現に向けて、ユーザーから異常データを入手することで学習データの構築を行うことを予定している<sup>(5)</sup>。

現状は技術者が波形を分析し、経験によって原因を推定しているため、原因の特定に時間を要する場合や、現地で直接確認しなければ特定に至らない場合があり、復旧作業に時間を要する一因になっている。AIによる異常原因分析を実現することによって技術者のスキルによらず異常原因の特定が瞬時に可能になり、現地に赴く前に原因に応じた復旧作業の準備を整えることが可能になることから、従来よりも早期の復旧が見込める。

#### 3.2 保全データの活用

この節では図2に示したITシステムに適用するデータの活用例について述べる。近年、運用開始から30～40年を超える高経年の受変電設備が増加しており、経年劣化による故障リスクやメンテナンスコストの増加が懸念されている。この課題に対して、設備異常の早期発見と保全業務の省力化を目指した高精度かつ効率的な保全高度化技術として、セン

サーを活用した異常兆候検知システムの導入が期待されている。これまでの異常判定は、GISでのガス圧、油入変圧器での油温や油面など、運用中の設備のセンサーデータ又はそれらの演算処理から得られる特徴量のしきい値判定によるものであった。そのため、しきい値以下の異常挙動を捉えることはできなかった。これに対しては、INFOPRISMでのAIによるデータ分析機能として、波形分析と相関分析のハイブリッド検知を行う機能を適用することで判定が可能になった<sup>(6)</sup>。この機能は学習判定機能を備えており、健全状態の設備の電流波形や特徴量の時系列データをベースとして正常な波形パターンを学習し、生成した学習モデルと実測データの波形パターンの類似度から異常兆候を判定するものである。この機能を活用して特定の異常パターンを学習させることで、異常原因の識別判定にも応用可能であり、設備復旧工事の適正化、工期短縮の効果も期待される。

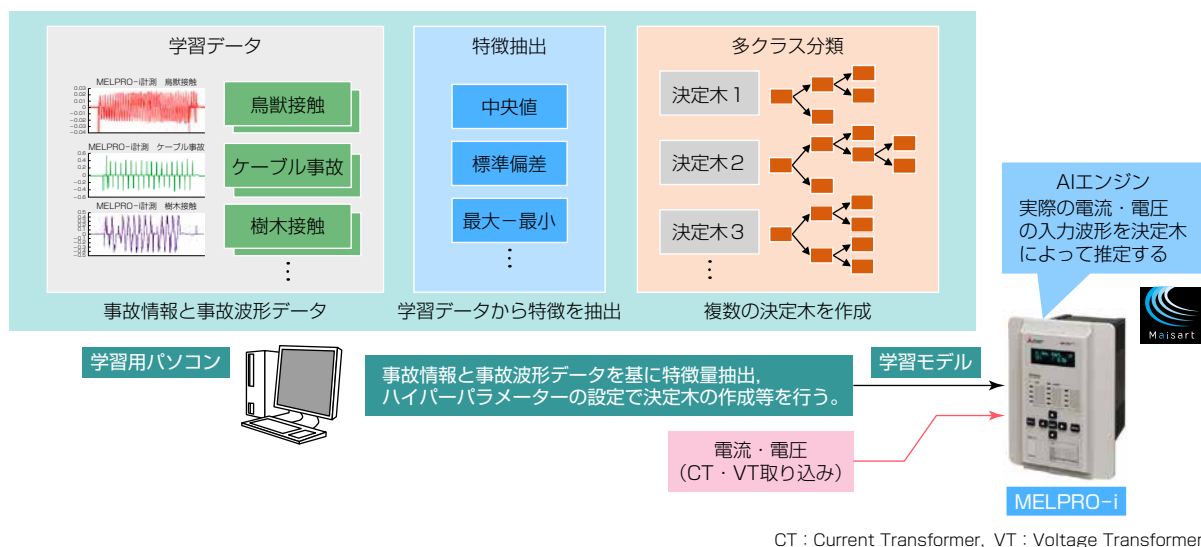


図4-故障波形の異常原因分析

図5に電力用GISを例にとり、異常兆候検知の概念図を示す<sup>(7)</sup>。設備運転開始前の学習に加えて、運転開始後の運用中の保全データを学習モデルにフィードバックさせることで、検知精度を向上することが可能である。

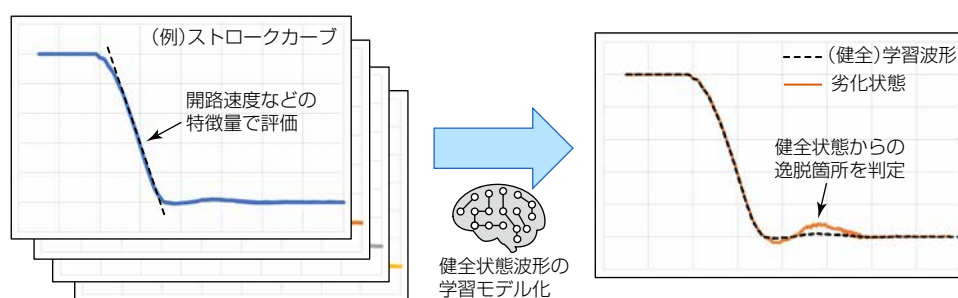


図5-保全データを用いた異常兆候検知の概念図

## 4. 今後の取組み

収集した各種データを活用した系統や設備の効率的な運用の考え方は、当社が目指す循環型 デジタル・エンジニアリングによる課題解決の考え方に基づいている。循環型 デジタル・エンジニアリングは、顧客から得られたデータをデジタル空間に集約し、分析した結果によって顧客の潜在課題を抽出してコンポーネント、システム、統合ソリューションを進化させた新たな価値を創出する。その新たな価値を更に幅広い顧客へ還元することによって、顧客とともに課題解決に貢献することを目指している。

この考え方を系統・変電設備の制御及び運用に適用すると、図6に示したように、変電所から収集した電流・電圧波形、センサー情報を集約・蓄積し、収集したデータをAIモデルで分析することによって、系統状態の変動、設備の劣化状態をリアルタイムに把握できる。それと並行して、収集データによるAIモデルを学習によって更新し、更新したソフトウェアやそれを実装した計測・監視装置を顧客に提供することで、系統・設備運用の高度化に貢献することが期待される。

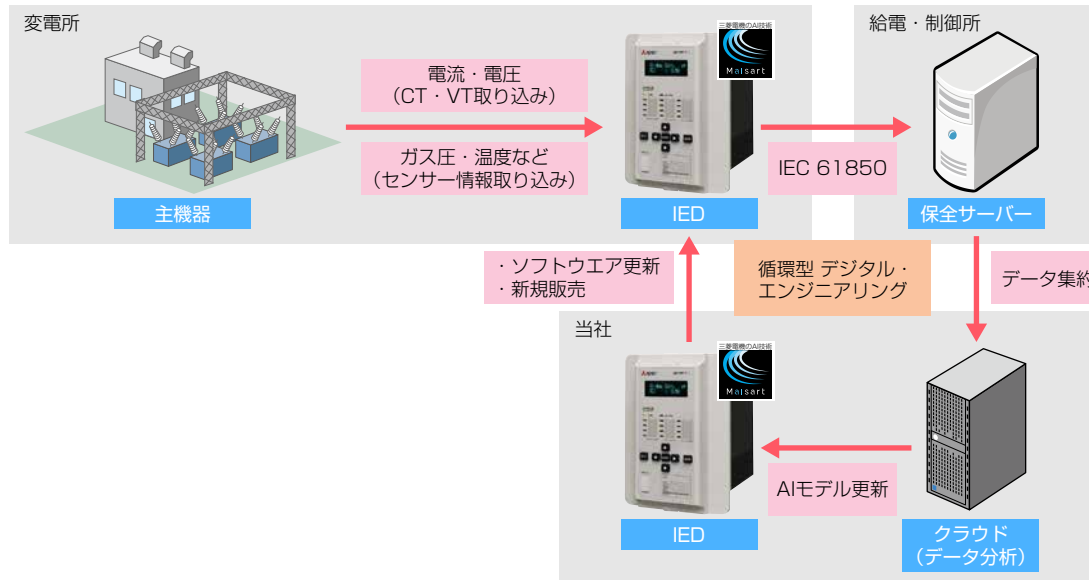


図6-デジタルデータ活用による循環型 デジタル・エンジニアリング

## 5. む す び

系統・設備計画のための変電所システムを起点としたデータ収集・分析の考え方、システム構成及びデータ分析に関する検討事例を述べた。系統・設備計画、運用の効率化と省人化を目的に、DX(Digital Transformation)の活用が今後加速するものと考えられる。また、目覚ましく発展している生成AIなどのデータ分析技術の活用も進むものと考えられる。今後ともこれらに向けて循環型 デジタル・エンジニアリングの実現に向けた技術開発を鋭意進めていく。

## 参 考 文 献

- (1) 天雨 徹，ほか：IEC 61850を適用した電力ネットワーク ースマートグリッドを支える変電所自動化システムー，コロナ社 (2020)
- (2) 廣岡俊彦：社会・電力インフラIoTプラットフォーム“INFOPRISM”，三菱電機技報，**93**，No.7，397～400 (2019)
- (3) 田中靖之，ほか：新型デジタルリレーMELPRO-CHARGE3/HB，三菱電機技報，**98**，No.6，7-01～7-04 (2024)
- (4) 匹田猛雄，ほか：監視・制御の高度化を図るエッジデバイス“MELPRO-i”シリーズ，三菱電機技報，**96**，No.6，235～238 (2022)
- (5) 藤井和希，ほか：需要家向け受変電設備の異常兆候検知，三菱電機技報，**98**，No.6，3-01～3-05 (2024)
- (6) 小田和弘，ほか：火力発電プラントの異常兆候検知システム，三菱電機技報，**93**，No.11，626～629 (2019)
- (7) 高原 優，ほか：ガス絶縁開閉装置への異常兆候検知適用検討，令和7年電気学会全国大会，No.6-001 (2025)

# デジタルデータの多様化・高度化に対応するための地理情報システムの取組み

GIS Initiatives to Address Diversification and Advancement of Digital Data

\*電力システム製作所

## 要 旨

設備の老朽化、自然災害の激甚化、グリッドの複雑化等の社会インフラを取り巻く課題に対して、デジタル地図上で位置情報や空間情報(位置情報の時間的な変化に関連した情報)を統合的に分析・可視化し、設備保全、レジリエンス対応、系統設計等を効率的に高度化することが求められている。これらに加えて、三菱電機では、3Dや点群データ等の新たなデータタイプに対応するための地理情報システム(Geographic Information System: GIS)を提供している。

## 1. ま え が き

電力会社の送配電事業は、カーボンニュートラルを見据えた環境変化に直面しており、再生可能エネルギーの普及や電力データの活用によって多様なプレーヤーへのサービス展開が求められている。直面している課題としては、再生可能エネルギーの普及に伴う契約とリソース管理の増加や高度化、災害時の迅速な対応、現場技術者の減少等が挙げられる。

これらの課題に対して、当社では、IoT(Internet of Things)技術やスマートデバイスの活用、災害時に迅速な対応を支援するための衛星画像やドローンを活用した初動支援システムの導入、それらの情報を可視化して管理するシステムの開発等、社会課題解決のためのソリューションを展開している。

そこで、これらのソリューションを効果的にサポートするため、地理情報システムであるGISの役割がますます重要になっている。GISは、様々なデータの加工や管理、地図作成、分析が可能であり、それらのデータを重ね合わせて可視化することで、現場業務の効率化や災害対応の迅速化を実現する(図1)。また、IoT技術やスマートデバイス等との連携によって、リアルタイムでのデータ共有、可視化が可能になり、作業効率化に大きく貢献することが期待されている。こ



DER: Distributed Energy Resources, T-DEP: Transmission and Distribution-Digital Energy Platform

図1-GIS活用領域

した取組みを進める上で、今後より一層、多様なデジタルデータや、他システムとの連携容易性が求められる。

本稿では、今後拡張が必要な次期GISについて、技術課題と解決方法、及び将来の展望について述べる。

## 2. GIS

GISとは、位置に関する様々な情報を持ったデータを電子的な地図上で扱う情報システム技術のことである。近年この分野では、データタイプの多様化・高度化対応が求められている。その中でも特に、3Dデータや点群データの利活用が注目されており、設備保全や災害対応、系統管理の効率化が期待されている。

この章では、電力会社の地図利用業務の効率化を目的として当社が開発しているGISである“PreSerV-X”について、これまでの開発状況と今後の取組みについて述べる。

### 2.1 PreSerV-Xの概要

PreSerV<sup>(1)</sup>は、当社が開発しているGIS製品であり、電力会社や官公庁を中心とした社会インフラ関連企業や自治体へ導入されている。初期リリースから30年が経過した歴史のある製品であり、様々な技術や標準化に対応しながら、進化を遂げてきた。現在の最新機種であるPreSerV-Xでは、これまでの開発実績を生かして、現場業務の生産性向上やシステム開発効率向上のため、配電分野に特化した機能を提供している(図2)。



WMS : Web Map Service, WFS : Web Feature Service, API : Application Programming Interface, UI : User Interface

(注1) ESRIは、Environmental Systems Research Institute, Inc.の登録商標である。

(注2) Zmap-TOWNは、㈱ゼンリンの登録商標である。

(注3) Google, ストリートビューは、Google LLCの登録商標である。

図2 - PreSerV-Xの製品コンセプト

PreSerV-Xは他社製品との差別化を図るため、最新のGISとして新規機能の拡充に取り組んできた。近年開発した機能の一つにオフライン機能がある。オフライン機能とは、通信を用いずにオンライン環境と同等の機能を実現するもので

ある。送配電業務では、通信が困難な山岳地帯などで作業が行われるため、通信を必要としないこの機能が重要になる。

当社が開発したオフライン機能では、WHATWG(Web Hypertext Application Technology Working Group)という組織が策定したHTML(Hyper Text Markup Language)の仕様であるHTML Living Standard準拠の技術を活用して、Webブラウザだけでオンラインと同等の機能実現、性能担保を可能にした。この機能によって現場業務の更なる効率化が期待できる。システム構成を図3に示す。

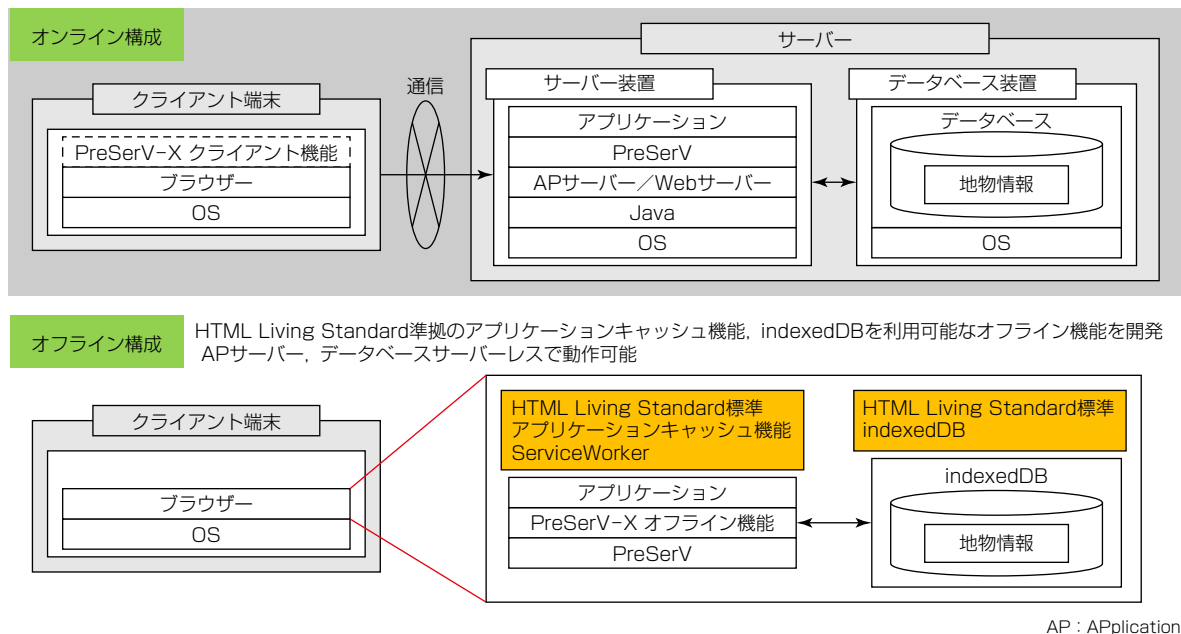


図3-オフライン機能のシステム構成

## 2.2 PreSerV-X拡張領域

現状のPreSerV-Xは、2Dの設備データやベクターデータ（点、線、面の組合せで地図情報を表現するデータの形式）、ラスターデータ（ピクセル単位の情報を持つ地図データの形式）に対応している。対応可能なデータタイプの拡張が求められる中、PreSerV-Xの開発では、国際標準インターフェース対応や、他社製GIS連携の開発を進めている。これらの機能を開発することで、オープンデータや、リアルタイムデータの取得、3D、点群表示などAPIの拡充を可能にする。また、配電業務特化のAPIを保持しつつ、不足領域は他社製GISとの連携で補うことで、開発効率化を実現する。さらに、データ多様化への対応や、APIの拡充を実現することで、“BLENder”（ブレンダー）や“INFOPRISM”等、当社製他パッケージとの連携も見据えていく。なお、BLENderとは当社の電力ICT(Information and Communication Technology)ソリューションパッケージBLENderシリーズであり、INFOPRISMとは当社の電力・社会インフラ向けIoTプラットフォームであり、IoT活用ソリューションを容易かつ短期間で構築するためのハードウェア及び分析機能などのソフトウェア群のことを指す。

### 2.2.1 国際標準インターフェース対応

この開発では、国際標準インターフェース対応として、WFS/WMSのサポートを実現した。WFSとは、OGC(Open Geospatial Consortium)が定めた、Web経由で地理的なフィーチャーデータ（地物データ：地図上に現れる鉄道・道路・街路樹のように物理的に存在するものや、境界線・地名・バスルートのように物理的に存在しない全てのもの）を提供するための国際標準規格である。他社製GIS等から地物データを受信し、PreSerV-X管理の地物データと合わせて管理する機能を開発し、他社製GISが管理する地物データを重ね合わせて地図上に表示することを可能にした。

WMSは、OGCが定めた、Web経由で地図画像を提供するための国際標準規格である。Googleマップ連携では、WMSを介してGoogleサーバーにアクセスし、取得したラスターデータで構成されるマップを表示する機能を開発しており、道路地図や衛星写真をサポートする。Google Maps APIでは様々な形態で地図データを取得することが可能である。過

年度の国土地理院地図対応の開発実績を活用することで、Google Maps APIを整理し、連携実現性を確保した。

これらの国際標準に対応することで、多様なデータタイプの地図データ、地物データの取得方法を拡張した。

## 2.2.2 他社製GISとの連携検討

昨今の3Dや点群のような高度な表示や、それらのデータを活用した分析のニーズの高まりに対して、高度な表示やデータ分析機能を持つ他社製GISでミッシングパーツを補って、ニーズに応えていく必要がある。そのため、PreSerV-Xは多様なデータの管理や他社製GISとの連携強化によって、既存機能と他社製品の機能との組合せで新たな価値提供の実現を目指している。

他社製GISとの連携を検討する上ではデータ連携が重要なポイントになる。データ連携を実現することで、データの共有や統合・活用が可能になり、データの情報量強化や、データの管理容易性向上、API連携が期待できる。

一方で、データ連携には技術的な課題が伴う。システム間でデータベースの管理構成やセキュリティ対策が異なるため、データ管理キーの連携手法や、データ受渡し方式の検討が必要になる。また、取り扱うデータが大量である場合、非機能的な課題も顕在化してくる。さらに、セキュリティリスクの増大も懸念される。

これらの課題に対してPreSerV-Xでは、主要なミドルウェアへの対応や、Webサービスの活用による実現性の確保に取り組んでいる。今後は機能的な課題だけではなく、品質や性能に関する非機能的な課題への対応策についても検討を深めて、連携を実現していく。

## 3. 今後の展望

送配電業務の高度化が進む中で設備計画のための分析機能や災害対応のため、GIS利活用の需要が高まることが予想される。そこでPreSerV-Xでは、これまでの開発で培ってきた他社との差別化になる配電業務特化のAPIやデータを効率的に管理する仕組みと、他社製GISが持つ高度な表示・分析APIの共存を検討している。これらを実現するためには、データベース連携や直接データを参照可能にするインターフェースの開発、APIの連携方式を検討する必要がある。

また、多様なデータタイプに対応するため、国際標準や主要なサービスに対応可能なインターフェースの開発も継続している。近年では、公共機関や大学等の研究機関、民間企業等でのオープンデータの利活用、提供が積極化している。これらをシームレスに取り込める汎用性の高いGISプラットフォームとして充実化を図っていく(図4)。

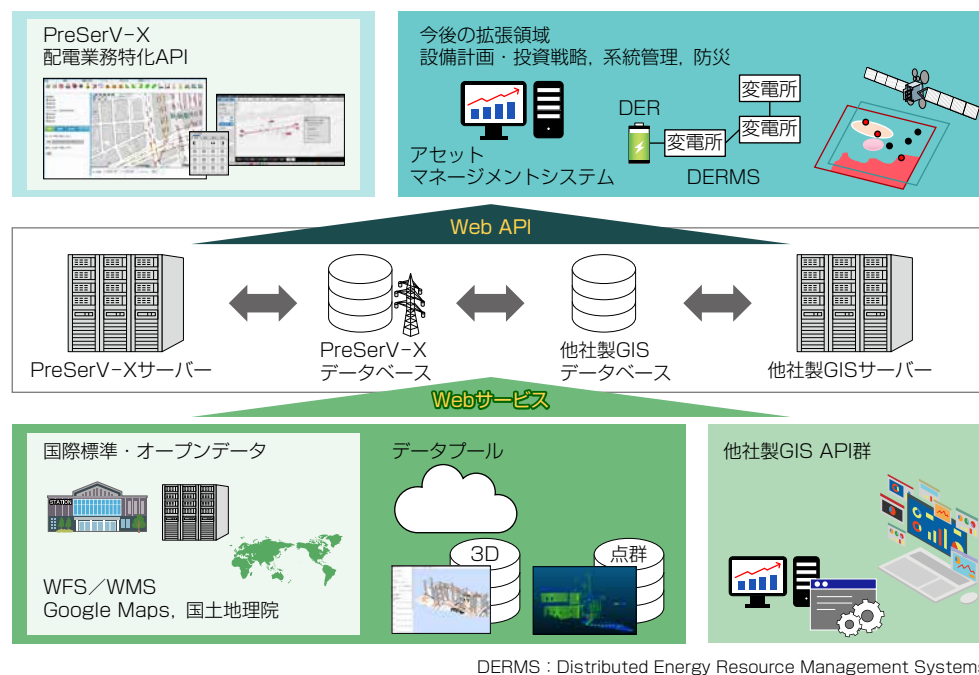


図4-今後の展望

## 4. む す び

当社が提供するGISであるPreSerV-Xについての全体像及び今後の展望について述べた。国際標準対応や他社製GISと連携したインターフェースを開発することで、他システムとの連携容易性を高めて、多様なデジタルデータを扱うことができるよう機能拡充を行い、グローバル展開及びソリューションビジネスへの発展を見据えていく。

また、この取組みは、当社グループが推進している循環型デジタルエンジニアリングへの変革に追従する内容である。当社のデジタル基盤である“Serendie”（セレンディ）との連携を見据えて、データ集約と利活用に適応できるよう、一コンポーネントとして汎用性の向上に対応していく。

## 参 考 文 献

- (1) 中村信夫, ほか: 大量設備データ対応機能を強化した地理情報ソフトウェア“PreSerV”, 三菱電機技報, **85**, No.10, 564~568 (2011)

~~~~~

電鉄車載用直流高速度遮断器

DC High-Speed Circuit Breaker for Rolling Stock

*受配電システム製作所

要 旨

直流電流を動力源とする電鉄車両には、短絡故障や過電流から電気設備を保護するための直流高速度遮断器が搭載されている。三菱電機は、2016年度に開発した電鉄変電所向け直流高速度遮断器⁽¹⁾⁽²⁾で培った“気中遮断器による直流電流の高速遮断技術”を基に、高速遮断性能とメンテナンス性能に優れて、軽量化を実現した、電鉄車両に向けた電鉄車載用直流高速度遮断器を開発・製品化した。

1. ま え が き

電鉄車両の動力源になる電流は、き電の系統によって交流又は直流の一方が採用される。直流は交流と比較して変電所の設置数が多くなり建設コストが高価になるが、車載用電力機器を簡素化して車両コストを安価にできることから、地域当たりの車両本数の多い都市部では、直流のき電方式が数多く採用されている。一方、電鉄以外の電力網では世の中の大部分が交流で構成されており、その理由の一つとして、直流は電流遮断が難しいことが挙げられる。直流回路で短絡等の事故が発生すると、時間とともに電流が増加して遮断に必要な電流ゼロ点が自然に発生しないため、電流遮断が時間経過に比例して困難になる。そこで、直流電流を遮断するには高速に遮断することが重要であり、限流効果によって電流ゼロ点を強制的に作り出す直流高速度遮断器(DC High-Speed Circuit Breaker, 以下“HB”という。)がその役割を担っている。当社は、2016年度に電鉄変電所向け直流高速度遮断器(最大遮断容量100kA)を開発しており⁽¹⁾⁽²⁾、このたび、同じ電力系統で運用される電鉄車両に向けた電鉄車載用直流高速度遮断器(以下“TC形HB”という。最大遮断容量30kA)を開発した。これら二つの遮断器を製品展開することで、電鉄用直流回路全体の事故電流保護に対応可能になった。TC形HBの製品コンセプトを図1に示す。

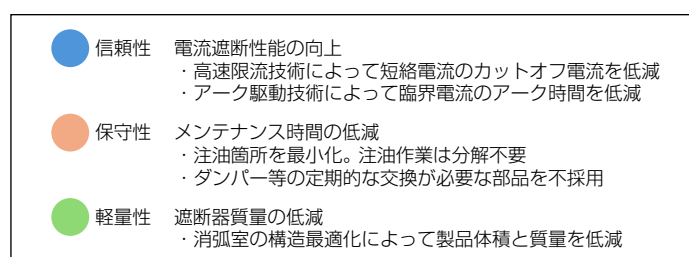


図1-TC形HBの製品コンセプト

TC形HBは“信頼性”“保守性”“軽量性”の向上をコンセプトとして製品を開発した。直流回路の短絡電流は時間経過とともに増加するため、電氣的に接続された機器への負担を低減させるためには、短絡電流が増加する前に迅速に電流を遮断することが重要になる。TC形HBは高速遮断性能を追求することで、短絡電流のカットオフ電流(電流ピーク値)を低く抑える性能を持っており、信頼性の高い遮断器になっている。また、構造最適化や無給油軸受の採用によって、メンテナンス時の注油箇所を減らすとともに、構造設計によって分解不要で注油可能にしたことで保守性能を向上させた。さらに、電流遮断時に気中アークを消滅させる消弧室の構造最適化を行うことで、製品体積の低減と軽量化を実現した。

本稿では高速遮断技術を中心に、TC形HBの特徴及び適用技術について述べる。

2. 定格事項と構造

TC形HBの定格事項を表1に示す。定格動作電圧は直流1,800V、定格動作電流は1,000A、定格短絡投入及び遮断容量は最大30kAまで対応している。主回路に過電流が流れたときに主接点を開放して電流遮断を開始させる過電流引き外し機構は、復帰荷重を変更可能にすることで製品出荷後も過電流設定値を600～3,200Aの範囲で任意に設定可能にした。

表1-TC形HBの定格事項	
項目	仕様
形名	18-TC-10
定格動作電圧(V _{DC})	1,800
定格動作電流(A)	1,000
無通電動作(回)	200,000
通電動作(回)	800
定格短絡投入及び遮断容量/時定数(kA/ms)	18/0 ^(注1)
	30/15
	30/40
	30/100
過電流引き外し機構の電流設定値(最小～最大)(A)	600～3,200
定格インパルス耐電圧(kV)	18

(注1) 時定数0は回路にリアクトルを接続しない条件

TC形HBは、遮断器を格納する保護筐体(きょうたい)をオプションでラインアップしている。図2(a)に保護筐体なし仕様、図2(b)に保護筐体あり仕様の構造図を示す。保護筐体や本体モールドフレームの材料は不飽和ポリエステルを採用しており、難燃性の評価として鉄道車両用材料燃焼性試験の不燃性と、欧州鉄道規格EN45545-2：2013のR23/HL3に適合している。保護筐体あり仕様のTC形HBは、電鉄車両の床下や天井上部に積載して電気回路に接続されることを想定しており、外部からTC形HBへの異物の衝突・混入の防止と、電流遮断時に発生するアークガスからの周辺設備の保護を行う。

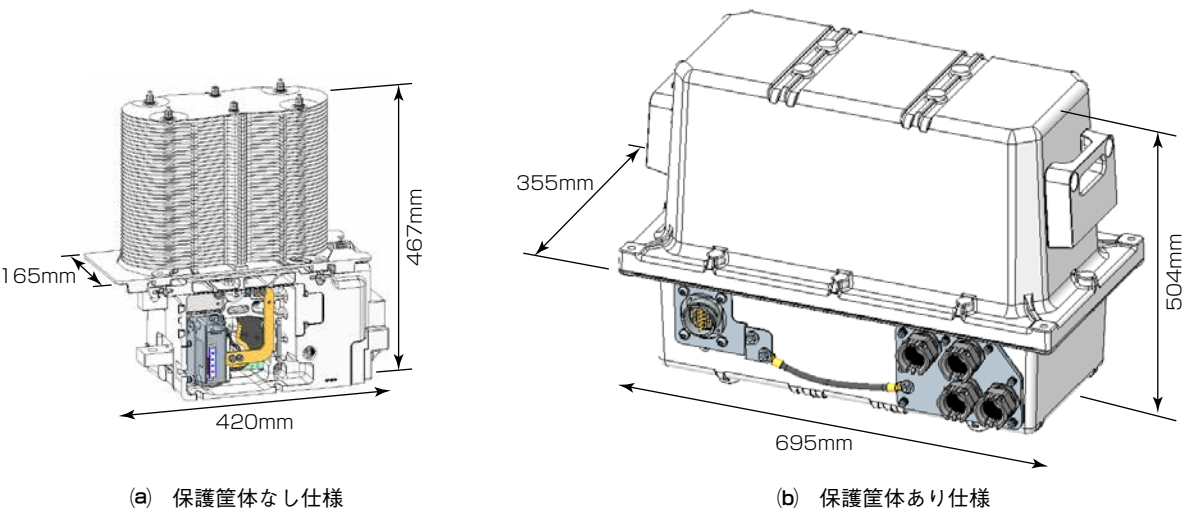


図2-TC形HB構造図

3. TC形HBの遮断技術

TC形HBが直流電流を遮断するための原理と適用技術、及び短絡電流と臨界電流に対する遮断性能について述べる。

3.1 直流電流遮断原理と適用技術

TC形HBは、限流作用によって直流電流を遮断する気中遮断器である。遮断原理説明のために、図3(a)に短絡試験回路図、図3(b)に電流遮断特性図を示す。短絡試験回路には試験電圧の直流1,800Vが印加されており、HB閉極と同時に短絡電流が通電される。通電中にHBの主接点を開極すると、主接点間に気中アークが生じる。気中アークは、放電経路の長さ、放電電極の数・物性に応じて、HBの主接点間に電圧源と逆方向(短絡電流が減衰する方向)のアーク電圧を発生させる。試験電圧よりも高いアーク電圧を維持することで、直流電流を限流させて遮断できる。TC形HBは、短絡発生から遮断完了のプロセスを高速に行うことで、短絡電流の最大値と通電時間を小さく抑えた。

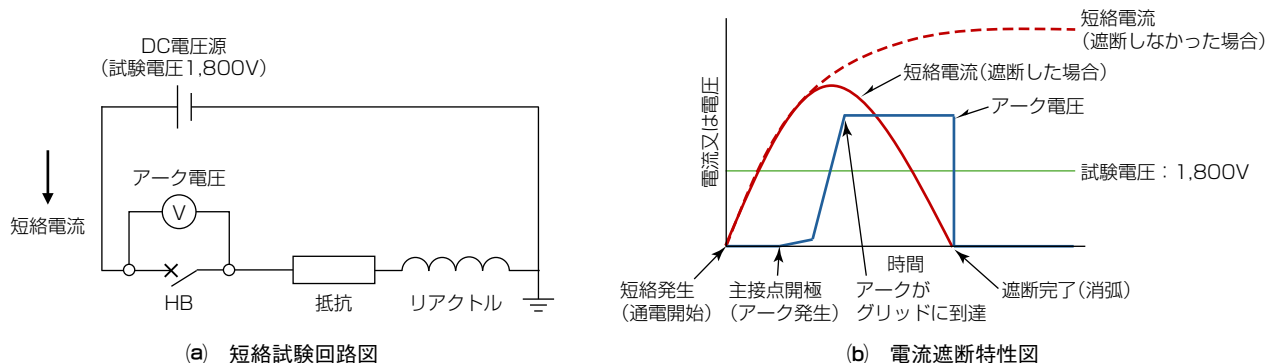


図3-直流遮断器の遮断原理図

図4(a)はTC形HB全体の詳細図である。TC形HBは(1)事故検出、(2)主接点开極、(3)アーク走行、(4)消弧の四つの工程によって短絡電流を遮断している。ここでは短絡電流の遮断プロセスと、遮断技術について述べる。

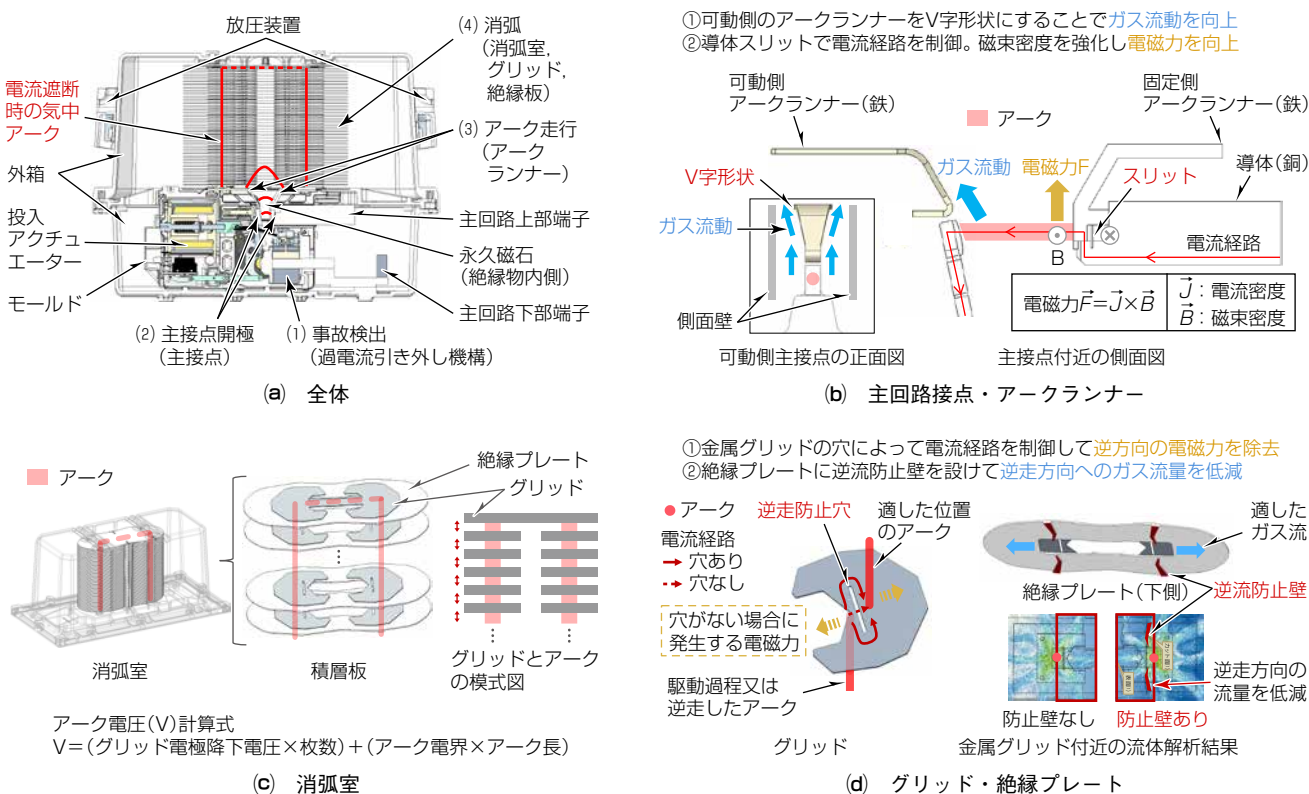


図4-TC形HB詳細図

(1) 事故検出

HBには過電流引き外し機構が内蔵されており、主回路電流が事前に設定した電流値を超えると、電磁石として構成された引き外し装置が動作して、遮断器を開放状態に移行させる。TC形HBでは、電磁石の磁気駆動力の最適化と、可動部質量の軽量化を行うことで、開極動作の高速化を実現した。

(2) 主接点開極

主回路電圧印加状態で開閉を行う場合、主接点間に生じるアークによって接点が溶着するリスクがある。TC形HBは、主接点の可動側と固定側で異なる接点材料を用いることで溶着を防止できることを証明し、溶着防止による開極時間の高速化を実現した。

(3) アーク走行

接点間に発生したアークは、発弧点をアークランナーに移行させてアークランナーを先端に移動しながら消弧室に伸展する。高速遮断のためにはアークを迅速に消弧室に導く必要があり、TC形HBは主回路導体へのスリット加工による電磁力増加と、V字形状アークランナーによるガス流動増加によってアーク駆動の高速化を実現した(図4(b))。

(4) 消弧

消弧室に到達したアークをグリッドにとどめることでアーク電圧が最大になり、限流作用によって電流が遮断される(図4(c))。TC形HBでは、グリッドに逆流防止穴を設けてグリッド内の電流経路を制御し、アークの伸展を妨げる電磁力の発生を防止した(図4(d))。また、絶縁プレートにガス流動経路を制御する防止壁を設けて、アークの伸展を妨げる方向のガス流動を低減し、アーク電圧安定化による電流遮断の高速化を実現した。

3.2 短絡電流遮断性能

TC形HBの短絡試験結果の遮断電流波形を図5(a)に、各試験条件の遮断試験結果からカットオフ電流を抽出した結果を図5(b)に示す。遮断電流波形から、主回路電流が増加する過程でHBのアーク電圧が急峻(きゅうしゅん)に立ち上がり、アーク電圧が電源電圧1,800Vよりも高い状態を維持しているため、主回路電流が遮断容量30kAに到達する前に遮断が完了している。アーク電圧波形は滑らかで急な電圧低下がないことから、気中アークが電流遮断に適した状態に制御されており、安定した遮断性能が確保されている。また、カットオフ電流特性から、回路時定数0～100msの電流が遮断可能であることが示されている。

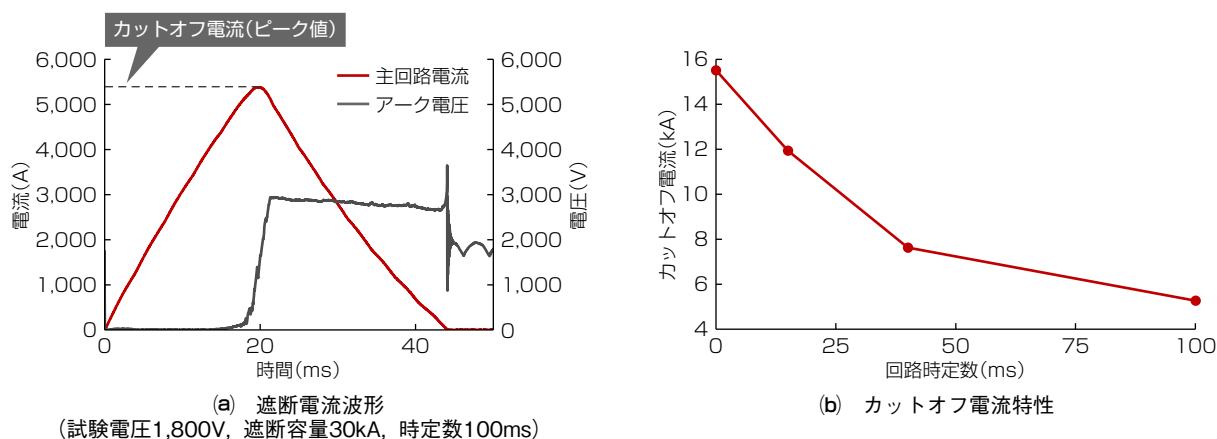


図5-TC形HBの短絡試験結果

3.3 臨界電流遮断性能

HBはアークを伸展させてアーク電圧を電源電圧よりも高めることで電流を遮断する。アークを伸展させる主な駆動力は電磁力であるが、臨界電流(100～1,000A)では電流が小さいため、発生する電磁力も小さくなり、アークが十分に伸展せず遮断が困難になる。TC形HBでは、接点側面のモールド内部に永久磁石を設けることによって、正方向(上端子から下端子への電流方向)の臨界電流遮断に必要な電磁力を確保し、臨界電流遮断でも高速遮断を実現した。正方向の臨界電

流遮断試験結果を図6に示す。逆方向(下端子から上端子への電流方向)の臨界電流遮断で永久磁石は不利に働くが、製品仕様の逆方向臨界電流(600~1,000A)に対して十分な遮断性能を確保した。

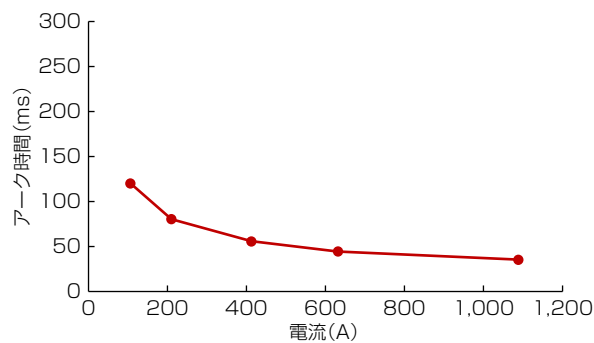


図6-TC形HBの臨界電流遮断試験結果(正方向)

4. 市場要求への適合

市場要求に対応したTC形HBの特長について述べる。

4.1 メンテナンス性能の向上

一般的なHBは、定期点検時に複数箇所の注油が必要であり、分解作業を伴うためメンテナンスに多くの時間を要している。TC形HBは、機構部摺動(しゅうどう)部に無給油軸受を採用することで注油箇所を少なく設けて、分解不要で注油可能にした。また、ダンパー等の定期交換が必要な部品を採用せず、交換作業をなくすことでメンテナンス性能の向上を実現した。

4.2 軽量化

TC形HBは、電流遮断に必要な構造の最適化を行うことで、消弧室を構成するグリッドと絶縁プレートの質量を軽量化することに成功した。図7(a)にTC形HBの消弧室積層板と消弧室の構造図を、図7(b)に一般的なHBの消弧室積層板と消弧室の構造図を示す。TC形HBは、一般的なHBと比較してグリッドと絶縁プレートの体積を削減している(図中赤枠部)。その結果、HB質量の開発目標40kg(市場流通品参照)に対してTC形HBは32kgであり、20%の軽量化を達成した。HBの軽量化は施工性の向上と車両運行の省エネルギー化に貢献する。

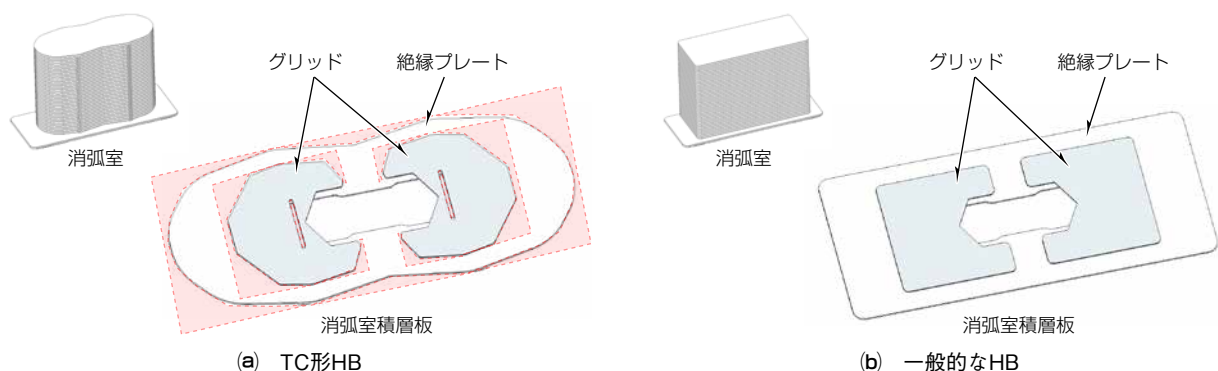


図7-消弧室積層板と消弧室の構造図

5. む す び

高速遮断性能とメンテナンス性能に優れて、軽量化を実現した、電鉄車載用直流高速度遮断器を開発・製品化した。近年、直流電流の優れた送電効率を活用した高圧直流送電(HVDC)や直流マイクログリッドなどが実現されており、送配電での直流電流の適用が拡大している。TC形HB開発で確立した直流遮断技術を基に、今後もニーズが高まる直流送配電に適合した製品を供給することで、広く社会に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 遠矢将大, ほか: 電鉄変電所向け直流高速度遮断器, 三菱電機技報, **91**, No.11, 629~633 (2017)
- (2) Sasaki, H., et al.: Development of a High-Speed Circuit Breaker for DC Railway Substations, 2019 IEEE Third International Conference on DC Microgrids, 4-A-4 (2019)

~~~~~

三菱電機株式会社