

特 集 論 文

# 電力供給システムのスマート化

Smart Technology of Power Supply System

中 原 良 浩\*  
Y. Nakahara

## 概要

本稿では、多様化・複雑化する電力供給システムをより環境にやさしく、安定的、経済的かつ安全な運用をサポートする電力供給システムのスマート化についての当社の取り組みを紹介する。

## Synopsis

In this paper, we introduce our smart technology of power supply system which is diversifying and complicated, and the system supports more environmentally friendly, stable, economical and safe operation.

## 1. まえがき

東日本大震災の発生、エネルギーの自由化、地球環境負荷問題を背景にわが国ではエネルギーに対する考え方が変化している。電力分野では固定価格買取制度(FIT)により太陽光発電、風力発電など再生可能エネルギーの導入が促進されている。また需要家においても、省エネルギーや省コスト化、環境負荷低減、事業継続計画(BCP)など様々なニーズを実現していくため、コージェネレーションシステム(CGS)のほか、太陽光発電を中心とした再生可能エネルギーや、それらの利用効率を高める蓄電池システムの導入など新しい電力供給システムの検討が進んでいる。

電力供給システムが多様化するとそれらの運用は複雑になり効果的な運用が難しくなる。最適な活用を図るためには、運転員をサポートするスマート化技術が欠かせないものとなっている。

一方これら電力供給システムの安定稼働を支えるベテラン技術者の減少により、事故・障害の未然防止とライフサイクルコストの最適化も大きな課題となっている。

ここではこれらの課題に対し電力供給システムのスマート化により各種分散電源や受変電設備の運用をサ

ポートする当社の様々な製品、取り組みについて紹介する。

## 2. 分散型電源制御のスマート化(予測最適制御)

ここで紹介する「ENERGYMATE-Factory」は、当社が推進するSPSS(Smart Power Supply Systems:スマート電力供給システム)のコア機能を担い、当社の中核製品である受変電設備に太陽光発電システム、CGS、蓄電池などの多様な分散型電源を組み合わせることで最適に自動制御するシステムである。

### 2.1 システム概要

ENERGYMATE-Factoryは「予測」「数理計画による最適化」「リアルタイム制御」の技術を駆使したもので、太陽光発電量や負荷需要を予測し、これらの予測情報と設備稼働状況ならびに目標電力や分散型電源の設備特性など、複雑な運用条件を満足しながら、エネルギーコストが最小となるように分散型電源の運用計画を立案して制御するものである。CGS、蓄電池など、複数の分散型電源を設置するような場合、設備管理者は最適な運用を維持するために、複雑な条件を考慮しながら、設備毎に運用パターンを設定する必

\*電力・環境システム事業本部

要がある。本製品は分散型電源の運用を全て統合管理することで、設備管理者の負担を軽減するとともに、「エネルギーコスト最小運用」「ピークカット運用」「余剰電力活用」「BCP対策」など、状況に合わせた運用に対応することができる。

図1にシステムイメージ、図2に機能概要、図3に機能ブロック図を示す。

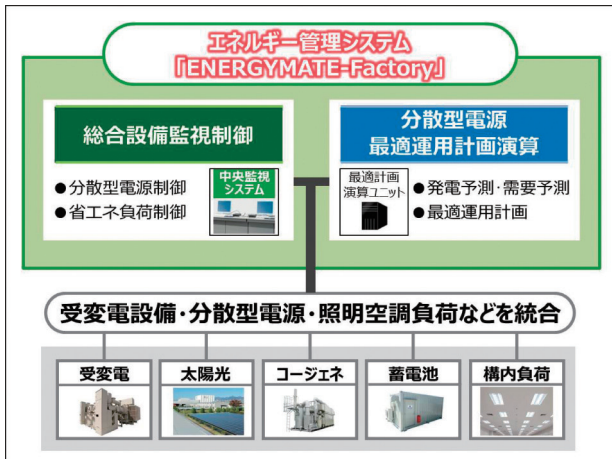


図1 ENERGYMATE-Factoryシステムイメージ

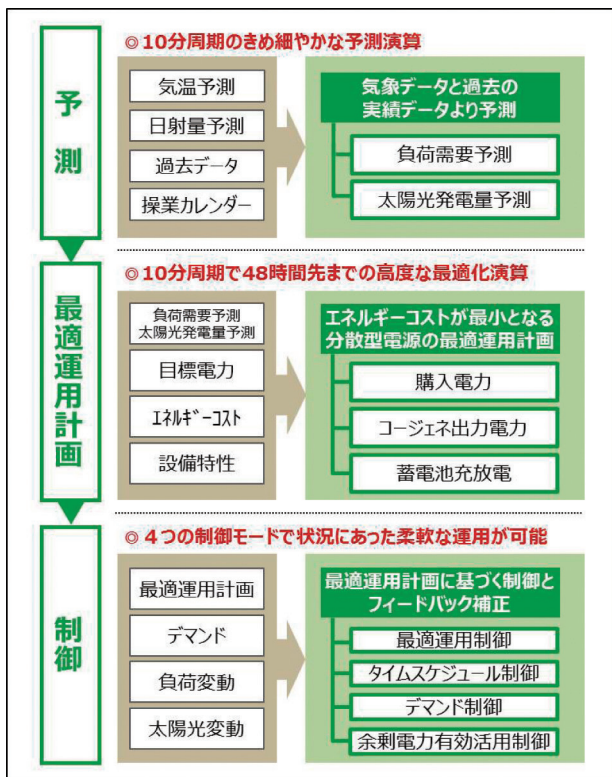


図2 ENERGYMATE-Factory機能概要

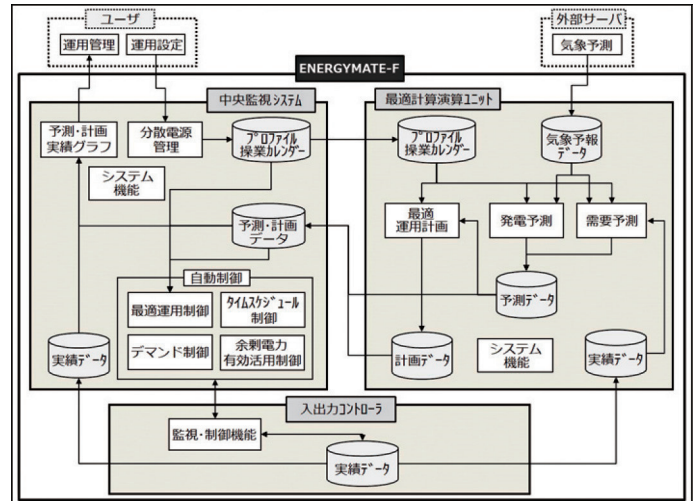


図3 ENERGYMATE-Factory機能ブロック図

## 2.2 太陽光発電量予測

気象予測情報、現在の気象情報、過去の発電電力量実績、パネルの設置条件などから10分周期で48時間先までの太陽光発電量を予測する。

## 2.3 負荷需要予測

気象予測情報、現在の気象情報、過去の負荷需要実績、操業計画などから10分周期で48時間先までの負荷需要を予測する。太陽光発電量予測、負荷需要予測のいずれも、10分周期のきめ細やかな演算を行うことで、予測誤差を低減している。

## 2.4 最適運用計画

太陽光発電量予測、負荷需要予測から、CGS、蓄電池など分散型電源の運用計画を立案する。ここでは電力量料金単価、燃料単価、契約形態、目標電力、分散型電源の設備特性などの運用条件を考慮して、エネルギーコストが最小となる分散型電源の制御指令計画を導く。

この最適運用計画の演算には住友電気工業株式会社の製品であるsEMSA<sup>(注)</sup>(エネルギーマネジメントシステム)を使用している。

(注)「sEMSA」は、住友電気工業株式会社の登録商標です。

## 2.5 制御

最適運用計画にもとづいた制御を実行する。また、リアルタイム制御の機能も兼ね備えており、太陽光発電量、負荷需要の急激な変動などによって計画を逸脱する場合には、制御指令値を補正して出力する。

2. 6 特長

2. 6. 1 最適化演算の高度化

最適運用計画には数理計画法を用いており、複雑な運用条件に対して数学的に最適な計画を導くことができる。さらに、10分毎の短周期で48時間先までという高度な最適化演算を実現している。計画においては、表1に示すような分散型電源の設備特性条件も考慮した最適化演算を行っており、これにより高精度な制御運用を提供できる。

表1 設備特性条件の一例

CGS	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力上下限制約</li> <li>出力応答速度</li> <li>起動時間</li> <li>起動回数制約</li> <li>出力コスト特性 など</li> </ul>
蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力応答速度</li> <li>充放電出力限界値</li> <li>充電率特性</li> <li>充放電効率 など</li> </ul>

2. 6. 2 余剰電力の有効活用

計画における受電目標電力として、上限値と下限値を設定することができる。上限目標電力は、いわゆる契約電力を守りながらエネルギーコストミナムの最適計画を導くためのパラメータとして一般に用いられる。一方、下限目標電力は、太陽光発電などで余剰電力を発生させないようにしながらエネルギーコストミナムの最適計画を導くためのものである。今後、太陽光発電の自家消費の増加など、余剰電力を賢く使う、無駄なく使うというニーズが高まってくると予想されるので、このような変化にも対応できるアルゴリズムを組み込んでいる。

2. 6. 3 計画制御とリアルタイム制御の融合

「最適運用制御」「タイムスケジュール制御」「デマンド制御」「余剰電力有効活用制御」という4つの制御モード（図4）で分散型電源の運用を管理し、これらを最適に組み合わせることで、状況に応じた柔軟な運用を実現できる。「最適運用制御」「タイムスケジュール制御」では、計画に基づいて分散型電源を制御するが、計画による制御だけでは太陽光発電量や負荷需要の急変など、計画周期以下の状況変化に対応できない場合がある。一方、「デマンド制御」「余剰電力有効活用制御」では、このような状況変化にリアルタイムに追従し、制御指令値を秒単位で補正することで、常に最適な運用が行える仕組みとしている。

また、これら4つの制御は、それぞれが自律して機能するように設計されているので、いずれかの制御が機能停止に陥っても運用を継続することが可能である。

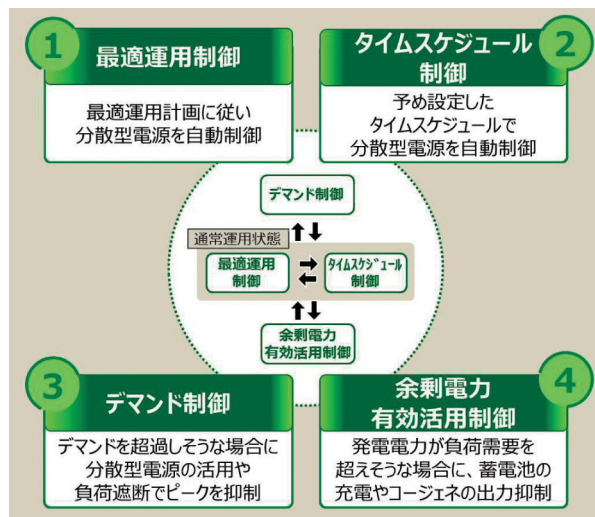


図4 4つの制御モード

2. 6. 4 充実したユーザインタフェース

分散型電源を運用するための「制御運用メイン画面（図5）」の他、「太陽光発電量予測／実績グラフ」「負荷需要予測／実績グラフ」「最適運用計画／実績グラフ」などを備え、平常運用ならびに維持管理運用を快適に行えるように設計している。負荷需要は48時間先まで予測できるので、将来のピーク時間帯とピーク需要量を把握することで、事前のピーク対策立案に活用することができる。電力量料金単価、燃料単価、契約形態、目標電力、分散型電源の設備特性など各種の運用条件は、ユーザの利用環境に応じて、オンラインで簡単に変更することが可能である。



図5 制御運用メイン画面

### 2. 6. 5 突発的な負荷変動への対応

工場などでは大型の試験設備を不定期に稼動するようなケースがある。このような稀に生じる突発的な負荷増加に対しては、操業カレンダー設定機能を使って、平常時よりも増加する電力需要を10分単位で数値設定することができる。負荷需要予測では、ここで設定された数値をオフセット値として予測値に反映することで、より高精度な運用を提供できるようになっている。

### 2. 6. 6 運用事例

前橋製作所に構築した「ENERGYMATE-Factory」による実規模検証設備での運用結果の事例を図7、図8に示す。図7は、買電価格がCGS発電価格よりも安価な場合の事例を示している。安価な買電がベースとなり、受電が上限目標電力を超過する時には、蓄電池の放電とCGSの出力でピークを抑制する運用となっている。蓄電池、CGSのどちらの制御を優先するかは、上限目標を超過する電力の大小に応じて、蓄電池、CGSの出力効率や出力応答速度などの特性を考慮して判断している。反対に受電が下限目標電力を下回る場合には、蓄電池の充電とCGSの出力抑制を行うことで下限目標電力を下回らないようにコントロールしている。

図8は、昼間時間帯は買電価格よりもCGS発電価格が安価、夜間時間帯は買電価格が安価という場合の事例を示している。昼間時間帯は安価なCGSがベースとなるが、負荷需要が減少して余剰電力が生じる可能性がある昼休みの時間帯に向けて、下限目標電力を管理しながら、蓄電池を事前に放電しておき、昼休みの負荷減少に応じて蓄電池の充電とCGSの出力抑制を行うことで余剰電力が生じないようにコントロールしている。夜間時間帯には安価な買電がベースになる運用に移行するが、受電が上限目標電力を超過する時間帯には、CGSからの出力でピークを抑制する運用となっている。

このようにCGSの効率や出力上下限制限、応答速度、蓄電池の充電率などのさまざまな条件を考慮しながら、買電とCGSと蓄電池の中からエネルギーコストが最小になる電源を常に適切に判断して運用することが可能である。

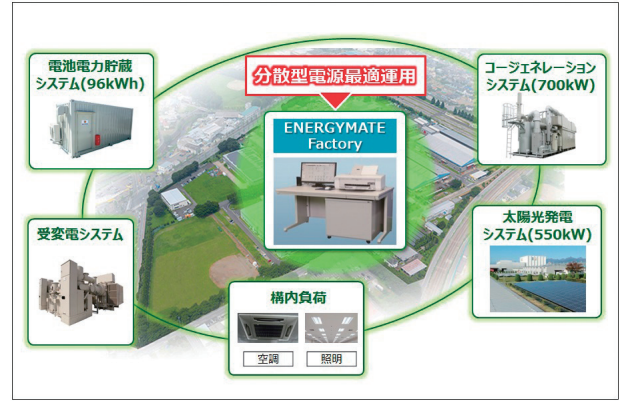


図6 当社前橋製作所 実規模運用モデル工場

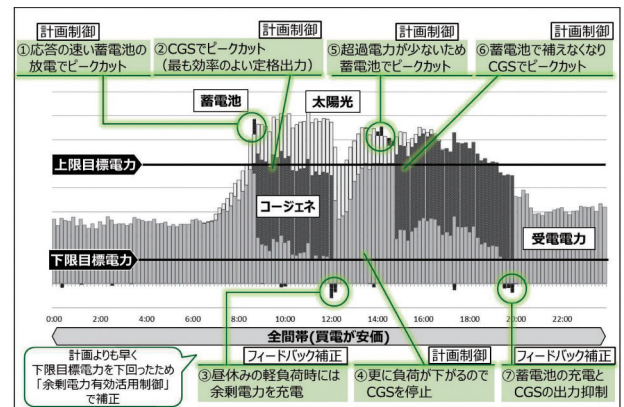


図7 事例1 (買電安価)

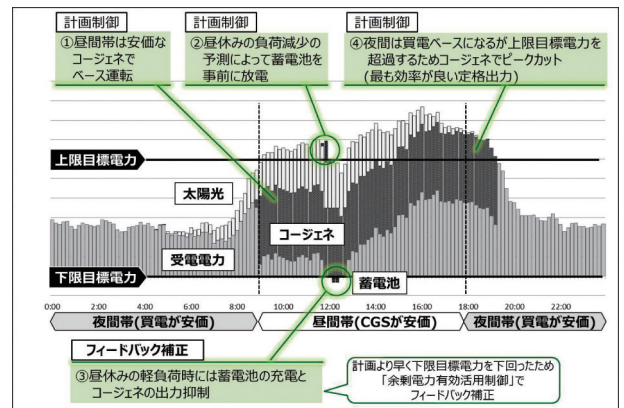


図8 事例2 (時間帯別料金)

図中で“計画制御”となっているところは最適運用計画による制御を示している。“フィードバック補正”となっているところは、計画を逸脱したことで「デマンド制御」や「余剰電力有効活用制御」に変更し、太陽光発電量や負荷需要の変動にリアルタイムに追従して制御したことを示しており、計画周期以下の状況変化に対しても柔軟に対応して運用できていることが分かる。

### 3. 受変電設備のデジタル化

受変電設備を構成する機器はデジタル化により操作性・保守性の向上や高機能化を図っており、あらゆる場面での運用のサポートに役立っている。ここでは、計測装置、保護リレー、および特高受電設備を監視制御する特高監視盤の最新技術について紹介する。

#### 3. 1 デジタル制御ユニット (DCU)

保護リレー機能、計測機能、遮断器制御機能、故障表示機能、各種信号出力機能を併せ持つデジタル制御ユニット (DCU) の新型タイプを紹介する。

##### 3. 1. 1 特長

従来品との外形互換を保ちながら、液晶表示器を採用する事で操作性・視認性を向上させ、CPU・アナログ回路の二重化、豊富な自己診断機能により信頼性を向上している。図9に本ユニットの外観を示す。



図9 装置外観

##### 3. 1. 2 保護・計測仕様

過電流リレーの限時特性についてはソフトウェア演算で実現しており、反限時4種類と定限時から選択可能となっている。地絡方向リレーは、中性点不安定現象による誤動作対策として低周波振動対策機能を内蔵し、地絡過電流リレーは、しゃ断器の励磁突入電流による不要動作を防止するため高調波抑制機能を備えている。

計測表示は、バーグラフ表示を可能とし、メイン画面には任意の4項目を表示する事が可能となっている。また設定により、必要な計測要素だけを表示する事ができる。

##### 3. 1. 3 トランスデューサ仕様

アナログ出力は、計測項目のうち任意の6出力が選択でき、W (電力) ・ var (無効電力) ・  $\cos \phi$  (力

率) はスケール設定も可能としている。また出力補正機能により出力を調整する事ができる。

パルス出力は任意の2出力を選択でき、パルス乗率は10、1、0.1、0.01から選択可能である。

##### 3. 1. 4 監視制御機能

リレー動作・外部故障出力は、出力要素ごとに設定可能なシーケンス機能を内蔵している。(設定: 自動復帰/手動復帰、重故障/軽故障、投入ロック有無、トリップ有無)

停電時の順序遮断、復電時の順序投入のタイマーを内蔵し停復電制御シーケンスを構築する事が可能である。また、遮断器制御時の応動を監視する渋滞監視機能も内蔵している。

##### 3. 1. 5 通信機能

CC-Link通信機能 (オプション) により、各種情報の読出しやマスタからの指令で機器を制御する事ができる。(計測値読出し、整定値読み書き、接点入力状態モニタ、表示復帰強制動作、機器制御、時刻読み書き、各種履歴データ読出し)

##### 3. 1. 6 信頼性

CPU・アナログ回路・トリップ出力ドライブ回路二重化によるフェイルセーフ設計としている。

豊富な自己診断機能 (常時監視、自動点検機能) により、装置に生ずる不良を速やかに検出し装置異常警報を出力する。また保護機能に関係ない部分の故障などの場合は、保護機能の運転は継続するようにしている。

##### 3. 1. 7 その他の機能

###### (1) 波形記録機能

保護リレー動作時の波形データを5回分保存。(保存データは1回あたり250サイクル分)

###### (2) 保護リレー動作履歴

動作時の電流・電圧データを、装置本体で確認でき、パソコンを接続すれば動作前後のデータも表示する事が可能である。

###### (3) 機器動作時間監視機能

投入および引き外しの時間を監視し、それぞれ10回分の動作履歴を確認する事ができる。

###### (4) ログ表示機能

保護リレー動作/復帰、装置異常発生/復帰などのログを100件分保存し、装置本体で確認する事ができる。

### 3. 2 次世代特高監視盤

監視盤中央部に搭載した15インチタッチパネルに機能を集約させ、高機能化を図った次世代特高監視盤を紹介する。

#### 3. 2. 1 特長

##### (1) 操作部のタッチパネル化

操作部をタッチパネル化し、タッチパネルには状態監視、機器操作、故障表示、自動制御（受電切替・コンデンサ制御・変圧器タップ制御）等の機能を集約し、操作性とシンプル性を考慮した。

##### (2) CPUの集約

中央監視側のリモート部CPUと特高監視盤側のローカル部CPUの機器を集約して、機能の集約化を図った。

##### (3) コンパクト化

タッチパネル化により盤幅の縮小化を図った。

##### (4) 配線省力化

特高監視盤－高圧スイッチギヤ間の制御配線は、CC-Linkにより省力化を図った。

##### (5) 信頼性維持

機器制御出力は、機器選択＋制御出力（マスタ出力）に加えて多重選択防止回路（ハード）により信頼性維持を図った。



図11 次世代特高監視盤外観

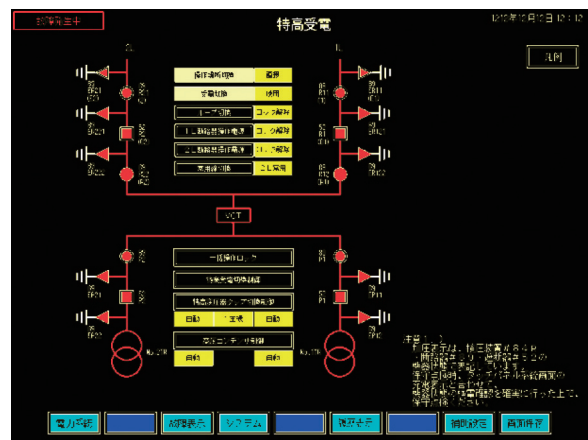


図12 次世代特高監視盤画面例（電力系統図）

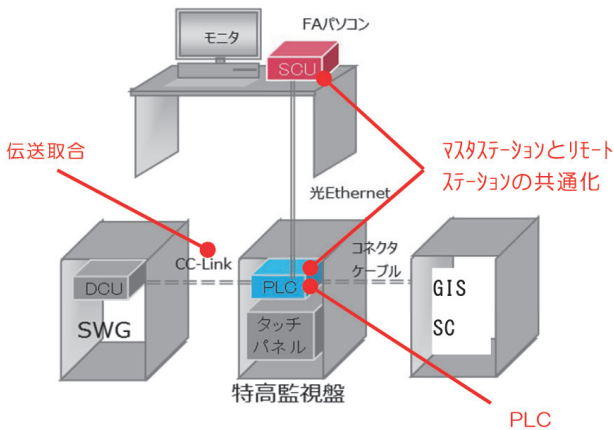


図10 次世代特高監視盤のシステムイメージ

これらの機器の有する多彩な機能により、保守の高度化、省力化が期待できる。

次世代監視盤はタッチパネルを有効利用し、さらにサポート機能を充実させていく予定である。

## 4. 保守のスマート化

近年、受変電設備の高経年化や設備の安定稼働を支える技術者の減少により、事故・障害の未然防止とライフサイクルコストの最適化が大きな課題となっている。このため従来よりも高度化した設備保全・診断技術や効率化された保全業務などの提供ニーズが高まっている。

ここでは、太陽光発電所の現場監視サービス、特高変電設備診断サービスによるスマート化について紹介する。

### 4. 1 太陽光発電用パワーコンディショナのリモート監視サービス

当社は、クラウドを活用しパワーコンディショナ（PCS）の運用状況を遠隔から監視できるリモート監視サービスを2018年4月から開始した。本サービスは、設備の遠隔監視による見える化サービスと異常発生時に対応を行う見守りサービスにより、保守の負担を軽減し、お客様に安心して使用して頂けるためのものである。

### 4. 1. 1 開発背景

一般的な太陽光発電設備のリモート監視システムでは、異常発生時の通知をきっかけに主任技術者が現場に駆け付け、異常状態を確認してからメーカーへ連絡し、メーカーが調査を実施するまで時間と手間が掛かる。復旧までの期間は発電停止となり発電損失が発生するため、早期の復旧が望まれている。

本サービスは、PCSメーカーである当社がリモート監視を実施することにより、異常発生時に早期対応が可能となり、復旧までの期間の短縮・発電損失の最小化につながる。また、当社より連系設備を納入した場合、PCSだけでなく発電設備全体でのサポートが可能となり、トータルでリモート監視が可能となる(図13)。

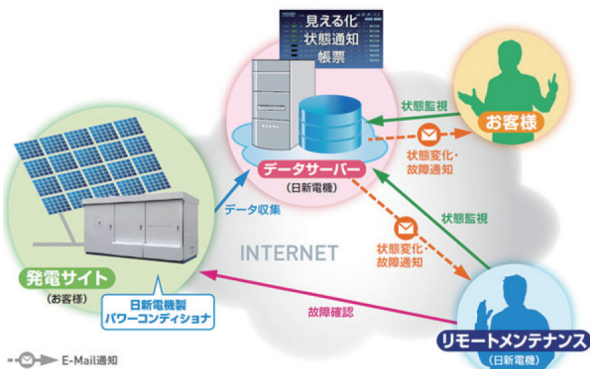


図13 リモート監視サービスの概要

### 4. 1. 2 サービス概要

#### (1) 見える化サービス

太陽光発電設備の発電状況、PCSの運転・異常発生状況、計測・受電設備やサブ変電所などの機器の運転・異常発生状況データを、インターネット回線を経由してクラウド上のデータサーバーに転送・蓄積する。

データサーバーに蓄積されたデータは、ユーザのパソコンから常時閲覧することができ、遠隔での運転状況の見える化を実現する。

異常発生時は、システムから自動発信されるメール通知で迅速な故障内容把握が可能となる。

当社からもユーザの運転状況を把握できるため、異常発生時にはユーザからの連絡を受け、遠隔から現地状況を確認し的確なアドバイスが可能となる。

#### (2) 見守りサービス

当社でも遠隔監視を行い、異常発生時には通知に

対して当社側で交換部品の手配から現地出荷まで迅速な復旧をサポートする。発電損失に直結するPCSの停止期間を最短とし発電損失の軽減を図る。

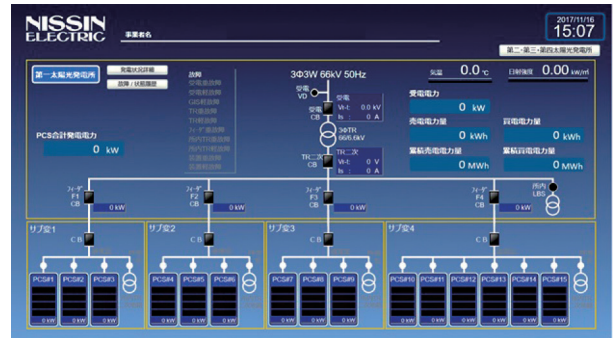


図14 システム画面

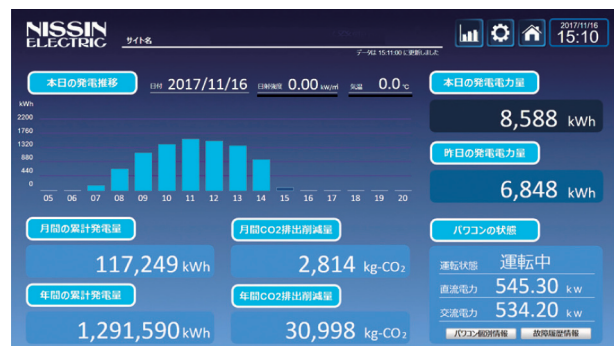


図15 発電状況画面

図16は、PCS一覧監視画面のスクリーンショットです。画面には、PCS01からPCS08までの各PCSの稼働状況が一覧で表示されています。

PCS#	稼働状況	直流電圧(V)	交流電圧(V)	直流電力(kW)	交流電力(kW)	直流電流(A)	交流電流(A)	温度(℃)	詳細情報			
PCS#01	停止中	0080	0000	0000	0000	497.1	229.5	+114.10	223.2	302.6	+112.10	
PCS#02	停止中	0080	0000	0000	0000	503.8	287.1	+144.60	222.5	376.9	+141.90	
PCS#03	停止中	0080	0000	0000	0000	503.4	222.8	+112.10	223.1	292.1	+108.70	
PCS#04	停止中	0080	0000	0000	0000	513.4	110.2	+56.50	223.2	147.7	+54.40	
PCS#05	停止中	0000	0000	0000	0000	0.0	0.0	+0.00	0.0	0.0	+0.00	
PCS#06	停止中	0000	0000	0000	0000	0.0	0.0	+0.00	0.0	0.0	+0.00	
PCS#07	停止中	0000	0000	0000	0000	0.0	0.0	+0.00	0.0	0.0	+0.00	
PCS#08	停止中	0000	0000	0000	0000	0.0	0.0	+0.00	0.0	0.0	+0.00	

図16 PCS一覧監視画面



図17 PCS単体詳細監視画面

#### 4. 2 受変電診断システム「電気設備DOCTOR」

IT技術の発展により設備に搭載したセンサからのデータを容易に収集する事が可能になっている。当社においてもSPSS（スマート電力供給システム）の機能の一つとして、当社前橋製作所内でIoT常時監視システムの実証検証を行い、異常模擬装置から収集したデータの統計的分析（マハラノビス・タグチ法（MT法））により設備異常の予兆が良好に検知されることを確認している。図19は、過去の正常な複数のセンサデータから正常モデルを学習した後、その相関性からのズレの大きさを異常の度合いとして示した結果である。従来のような異常判定値を設けなくても、異常の予兆を早期に検知する事が可能なため、設備運用者に気づきを与えられるなど、設備の安定稼働に大きな効果をもたらす事が期待される。

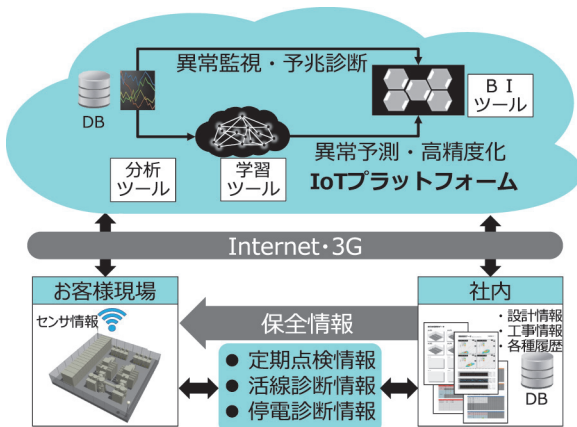


図18 設備保全・診断技術の高度化の取り組み

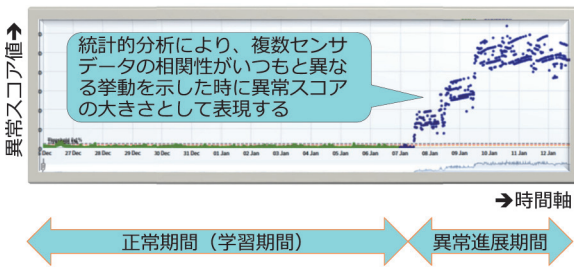


図19 統計的分布に基づく異常検知例

これらの研究・検証を経て当社は、当社製の部分放電センサや複合環境センサなどの診断機器とIoT・クラウドなどを活用し、受変電設備全体の環境データを常に収集することで、各機器の故障予兆を検出し、お客様の受変電設備を停電・故障などの急なトラブルから守る受変電設備診断システム「電気設備DOCTOR（ドクター）」（図20）を開発した。本シス

テムを使用することで設備の保守・メンテナンスにかかる労力を省力化でき、効率的な設備運用が可能となる。

当社前橋製作所のSPSS実運用設備などにおいて、現在収集している実証データや蓄積した機器劣化・故障データを基に、今後は人工知能（AI）も活用した故障予兆検出技術の確立と2018年度中の実用化を目指す。



図20 「電気設備DOCTOR」システムイメージ

#### 5. まとめ

電力供給システムのスマート化を実現する分散電源の自動最適制御、PCSの遠隔監視サービス、特高変電所の常時監視による予兆検知サービスなどと、それらを支えるデジタル機器、センシング技術を中心に、人や環境にやさしくサポートする当社のスマート化製品やサービスを紹介した。

今後さらに要求されるであろう高度な3E+S（安定供給・経済性・環境+安全）のニーズに対応していくため、スマート化の充実を図っていく予定である。これらの製品・サービスにより、より快適なシステムの運用に役立てて頂けるよう広く提案していく。



参考文献

- (1) 藤原基伸：「多様な分散電源を最適に制御するエネルギー管理システム」技術雑誌スマートグリッド
- (2) 一井勉 他：「24kV・7.2kV縮小形スイッチギヤ」日新電機技報 Vol.60 No.1 (2015.4)
- (3) 「2016年の技術と成果〔1〕研究・開発」日新電機技報 Vol.62 No.2 (2017.5)
- (4) 太陽光発電用パワーコンディショナ リモート監視サービスを開始～保守負担軽減、不具合時の発電損失を最小化～日新電機ニュースリリース 2018.05.17
- (5) 受変電設備診断システム『電気設備DOCTOR』を開発 日新電機ニュースリリース 2018.04.13

---

執筆者紹介

---



中原 良浩 Yoshihiro Nakahara  
電力・環境システム事業本部  
システムエンジニアリング  
東部産業技術部長