

スマートシティを実現する エネルギーマネジメント

Energy Management Systems for Smart Cities

西岡 淳

Nishioka Atsushi

齋藤 有香

Saito Yuka

堀井 博夫

Horii Hiroo

田村 滋

Tamura Shigeru

地球温暖化問題に端を発する世界的な自然エネルギー導入の機運が高まる中、東日本大震災に伴う停電の発生などにより、スマートグリッドの実現がますます強く求められている。

日立グループはスマートグリッド関連システムの開発・提供を進めており、電力品質・信頼度向上ソリューションもその一つである。世界の国・地域によって多様なニーズがあるが、それらに応えるべく、これまで培ってきた発電、電力システムの監視制御技術や、情報通信技術の豊富なノウハウの融合により、「よりグリーンに」、「よりスマートに」、「より強い」グリッドを構築し、スマートグリッドの実現に貢献していく。

1. はじめに

スマートシティの実現において、スマートグリッドは他の社会インフラと同様に重要な要素の一つである。

日立グループのスマートシティコンセプトにおける「人と地球のちょうどいい関係」は、電力分野においては、より環境負荷が少ない電力システムを実現することと言える。

特に電力については、世界的に増加を続けるエネルギー消費とエネルギー資源の枯渇問題、エネルギー安全保障問題、送配電設備の老朽化と先進国、新興国問わず発生する大規模停電とその経済損失、地球温暖化問題、さらには災害時の自立エネルギーの確保問題などを背景に、電力グリッドのスマート化実現の重要性がますます高まっている。

日立グループは長年、発電・送配電機器から、電力システム監視制御システム・配電自動化システムなどの制御システム、電力料金システム・コールセンターシステム・AMI (Advanced Metering Infrastructure) システムなどの情報システムまで、幅広く手がけてきた。今後の高度なスマートグリッドの実現には、日立グループの持つ強みである機器、制御システム、情報システムを活用した統合ソリューションが貢献できると考える。

ここでは、スマートシティを実現するエネルギーマネジメントについて述べる。

2. 世界の国・地域でのスマートグリッド

世界の各国・地域でスマートグリッドのニーズは大きく異なっている。

米国では送配電設備の老朽化と電源不足による供給信頼度の低下が問題となっており、設備の近代化とともに情報通信技術を用いた省エネルギー化、コストダウン、信頼性向上などが求められている。今後も電力需要は伸びると予想されているため、ピーク時の電力消費量をデマンドレスポンスで減らすことは、消費者にとっても、電力事業者にとっても、さらには地球環境にとってもメリットがある。

欧州では2008年12月から、「20-20-20」政策（2020年までに、温暖化ガス排出量を1990年比20%削減すること、エネルギー効率を同比20%改善すること、エネルギー総消費量に占める自然エネルギーの割合を20%にすることの三つをキーワードとした環境政策）が策定され、「フィードインタリフ（固定価格買取制度）」などの各国の政策により、再生可能エネルギーの導入が急速に進んでいる。その結果、風力発電や太陽光発電をはじめとする多くの分散電源導入による電力システムの系統運用面や需給運用面の課題が顕在化しており、これらの対策が急務となっている。

新興国では、経済成長のスピードに対して送配電ネットワークのインフラそのものが十分ではなく、今後の電力需要の伸びに合わせて、大規模発電所、あるいは大規模な再生可能エネルギー発電所の建設とともに、送配電ネットワークの新たな建設も盛んである。新たな送配電網の整備にあたっては、初めからスマートで低炭素な最新鋭の設備の導入をめざしている。また、都市建設についても、ゼロからスマートな大都市を構築する例があり、そこで電力系

統とその制御もスマートで低炭素なものが要求されている。

わが国は停電回数・時間ともに世界で最も少ない国の一つであり、周波数、電圧などの電力品質面においても世界最高レベルを達成している。送配電網のこれからの課題は、この優れた電力品質を維持・向上しながら、再生可能エネルギーをより多く導入していくことと考える。日本政府は2020年までに2005年時点の約20倍である28 GWの太陽光発電を導入する計画を発表しており、その多くは、家庭用の太陽光発電であると予測されている。これは夏のピーク時間帯の電力需要の15%強に相当し、需要が特に少ない年末年始の昼間などではベース供給力と太陽光発電の合計が総需要を上回り、需給バランスの維持が困難になるケースが起り得る。需給バランス以外にも、配電系統の電圧問題、系統事故時の太陽光発電の一斉脱落など、解決しなければならない課題が数多くある。

また、電力は現在、ほとんど電力会社によってのみ供給されているが、今後は各家庭やオフィスの太陽光発電や蓄電池からも電力が供給され、さらには電力を使う側のさまざまな省エネルギー活動が、電力供給システムに大きく関わってくることになる。その意味で、今後は電力会社だけではなく、電力を使う側も電力供給システムに参画する仕組みが構築されるものと予想されている。

このように、日本の電力システムも、新しい供給・需要機器の接続や、需要者と供給者の関係、それらの法制度・運用なども含めて大きく変化し、複雑化していく。そうした変化に際しても電力品質の維持・向上のために、系統安定化のための機器、制御システム、および情報システムの高度化・スマート化や、新たな仕組みやシステムの構築などが必要になっていく。

3. 電力品質・信頼度向上ソリューション

3.1 電力系統解析技術

電力系統に発生するさまざまな複雑な問題の予測と解決には、系統現象の解析技術が欠かせない。太陽光発電や風力発電の大量導入によって発生する現象は多様であり、現象の時定数によって使用される解析技術も瞬時値解析から実効値解析などさまざまである。特に系統事故時における電力系統の挙動は、太陽光発電や風力発電の大量導入によって複雑化することが予想され、すでにいろいろな研究が進んでいる。

日立グループは、案件ごとのさまざまなニーズに応じて、解析サービスを提供し、解析結果を基にした実システムの開発を進めている。

3.2 系統安定化システム

系統解析技術を応用した現有設備を有効活用し、かつ広域停電を防ぐソリューションとして、系統安定化システムがある。例えば、雷撃による系統事故発生時に、発電機の連鎖停止が発生して大停電を起こす可能性がある。これを防ぐためには、系統事故によって送れなくなった電力に見合った電源の制限が必要となるが、系統事故の発生箇所や潮流状態によって、制限すべき発電機は変わってくる。

系統安定化システムは、系統の情報から常にオンライン安定度計算を行い、系統事故発生時の電源遮断や負荷遮断などの適切な対策を変電所にある子局装置へ事前に設定しておくことにより、停電の広域波及を防止する。

今後、分散電源が増加することから、これらの出力の状態をモニタリング、あるいは気象条件などからの推定、さらには系統事故時の分散電源の挙動モデルを組み込んだ系統安定化システムが必要になる。

3.3 自励式無効電力補償装置(STATCOM)

送電電圧を適切に維持することは、需要家の電気機器が正しく動くためだけではなく、送電可能容量、送電効率、電力系統の安定度の面でも重要である。

再生可能エネルギーの変動などによる電力系統の電圧変動を抑制して適切に維持するとともに、現有設備で送電可能容量を増加させるためのソリューションとして、自励式無効電力補償装置であるSTATCOM (Static Synchronous Compensator) がある(図1、図2参照)。

STATCOMはパワーエレクトロニクス技術を利用し、無効電力を連続的に高速制御できる特徴を持つ。今後、太



図1 | STATCOMの外観

STATCOM (Static Synchronous Compensator : 自励式無効電力補償装置) の外観を示す。

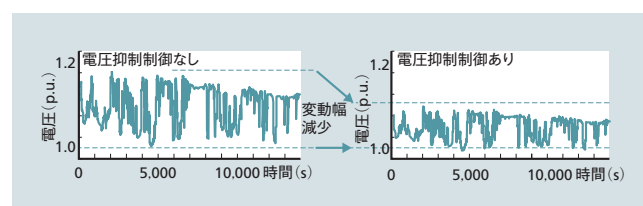


図2 | STATCOM導入による電圧変動抑制効果

自然エネルギーによる電圧変動抑制にSTATCOMを適用したシミュレーション例を示す。

陽光や風力などの急変する電源が増加すると、高速応答を特徴とするSTATCOMの必要性が増加する。

3.4 配電用無効電力補償装置(D-STATCOM)

D-STATCOM (STATCOM for Distribution Network) は配電用の無効電力補償装置である。

家庭用太陽光発電などの分散電源が配電系統に大量設置されることにより、逆潮流が発生して電圧が上昇する、あるいは天気急変によって太陽光発電の発電量が急激に下がり、電圧が規定範囲外に落ちるなど配電電圧が不安定化する可能性がある。

このような電圧問題への対策には、柱上トランスの分割、配電ケーブルの太線化、配電電圧の高電圧化(6.6 kV → 11 kVまたは22 kVなど)などが考えられるが、対策コスト、急峻(しゅん)な変動への高速応答性や配電自動化システムとの組み合わせによる広範囲での電力品質確保の観点から、D-STATCOMが有効な解決手段と考える。D-STATCOMやSVR (Step Voltage Regulator) などのさまざまな配電用機器を配電ネットワーク全体で管理し、さらに配電系統構成制御なども併用し、ネットワーク全体を最適化するVVC (Volt-Var Control) 機能によって、配電系統全体の電圧プロファイルを適正化することができる。

3.5 次期配電自動化システム

このように分散電源の増加と、その対応機器の設置に伴って変化していく配電系統に対して、配電自動化システムも同様に高度化を求められる。

分散電源のない配電系統では、電圧はほぼ距離に従って一定率で下がり、配電電圧は配電用変電所の変圧器のタップ位置やSVRのタップ位置によって制御される。多

くの分散電源が導入された配電系統では、逆潮流などによって配電電圧の状況は複雑となり、変圧器タップやSVRだけでは規定値内に維持できなくなる場合がある。このため、従来からある配電変圧器タップ、SVRに加え、D-STATCOMや太陽光発電のPCS (Power Conditioning System)、蓄電池システムなどの新しい配電系統内機器に対する電圧最適化制御機能VVCが必要となる。

これらの機器は、それぞれ制御応答特性や制御範囲などが異なり、例えば、急峻な変動に対してはD-STATCOMの高速なローカル電圧制御が用いられ、より長い時定数の事象に対しては、D-STATCOMへのセットポイント設定やSVRへのタップ位置変更、さらには蓄電池の充放電制御などが、1日の太陽光発電量の予測や需要予測に基づいて、あらかじめ行われる。これらの機器を最適に協調制御することによって、分散電源が大量に導入された配電系統でも、配電ネットワーク全体で電圧を適正に維持することができる(図3参照)。

3.6 蓄電池システム

今後の電力系統においては再生エネルギーの導入増加によって、さまざまなレベルで電力貯蔵を増やすことが必要と考えられている。電力貯蔵の一つである蓄電池は、その中でも大きな役割を担っていくと考えられる。

蓄電システムはその目的や使い方によって、最適な容量や電力量が異なる。例えば、送電レベルでのピークシフトを行うには大きな蓄電・放電量が必要であるが、瞬発力はさほど必要としない。逆に配電レベルで太陽光発電の変動を抑制しようとするれば、蓄電・放電量は小さくても瞬発力が必要となる。こうしたさまざまなニーズに合わせ、定置型の鉛蓄電池/リチウムイオン電池/リチウムイオンキャ

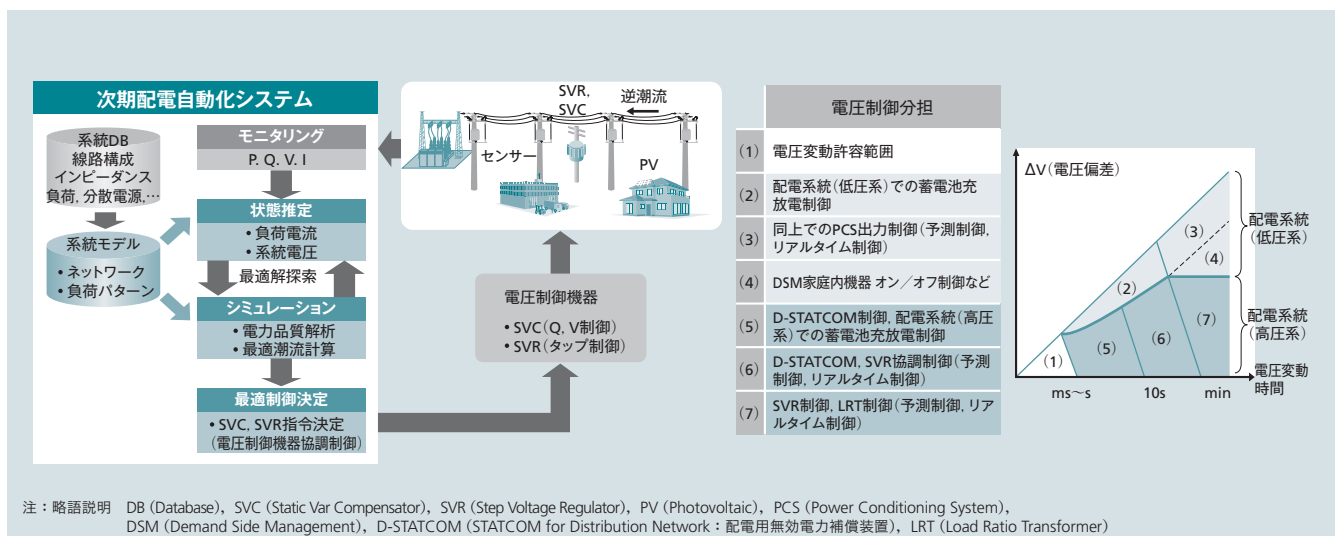


図3 | 次期配電自動化システム
次期配電自動化システムによる配電電圧制御分担の例を示す。

パシタの特徴を生かし、さまざまな異なる用途に合わせて、長期運用可能な信頼性の高い最適なシステムを提供することが可能である。

3.7 異系統連系技術(直流送電, 周波数変換, BTB)

わが国では、経済発展および国民生活向上のために、電力系統の広域運用を電気事業者(電力会社)に義務づけている。東日本大震災以降、中長期的に広域運用の強化が求められるものと思われる。

一方、広域に電力系統を接続すると部分的な崩壊が全体に及ぶ危険がある。これを回避して円滑に広域連系を実現する技術の一つが直流送電や周波数変換技術である。

また、交流送電は安定度による送電距離の限界があるため、世界各地で遠方の大規模電源を消費地へ送る長距離送電にも直流の技術が使われている。

交流を直流に変換するには、パワーエレクトロニクスの技術が用いられる。わが国には現在、直流送電が2,600 MW、周波数変換が1,200 MW(容量ベース)、BTB(Back to Back)が300 MWあり、それぞれ異なる電力会社の系統を連系している。

日立グループはこれらすべての直流案件を担当し、長年にわたって開発を行ってきた。現在は、他励式と呼ばれる従来タイプに対して、より系統安定化に寄与する自励式の直流送電技術を開発している。

3.8 コミュニティでのエネルギー管理(CEMS)

電力系統における需給バランス、つまり周波数を安定に保つ機能は中央のEMS(Energy Management System)である中央給電指令所が担っており、今後もそれは変わらない。しかし、前述したように、配電系統にこれまでにな

かった太陽光などの発電機器、蓄電機器、あるいはEV(Electric Vehicle)といった新しい需要などが導入されると、これらをマネジメントする各レベル(家、ビル、工場、コミュニティなど)でのEMSが必要になる。

これらは中央のEMSと異なり、系統周波数を制御するものではなく、その範囲ごとに需要予測、発電予測を行い、範囲内にある発電、蓄電、さらには需要をコントロールするものである。こうして各レベルで自律分散的にエネルギーマネジメントを行うことにより、再生可能エネルギーの大量導入に対しても電力品質の維持に寄与することができ、また、コミュニティレベルの分散電源、蓄電システムとEMSにより、災害時にも最低限の電力を確保することも可能となる(図4参照)。

コミュニティレベルのEMSであるCEMS(Community Energy Management System)は、前述したような配電系統蓄電池の充放電制御や今後の配電系統に求められる高度な電圧制御であるD-EMS(Distribution Energy Management System)と、負荷平準化のために需要家の機器(ヒートポンプ給湯機やEV充電器など)をコントロールし、ピークシフトなどを行う機能であるDSM(Demand Side Management)と従来からの配電系統のマネジメント機能から構成される。

例えば、太陽光の発電量が多い時間帯に、ヒートポンプ給湯機でお湯を沸かししたり、洗濯乾燥機をその時間帯に起動するなど、電力余剰時に需要を創出したり、EVの充電が夕方に一斉に始まらないよう、地域で時間をシフトしながら充電して電力消費を平準化するピークシフトを行う。これらの需要家機器の制御は、後述するHEMS(Home Energy Management System)を介して行われ、人々の快適な生活を損なわないよう、生活パターンに合わせて行われる。

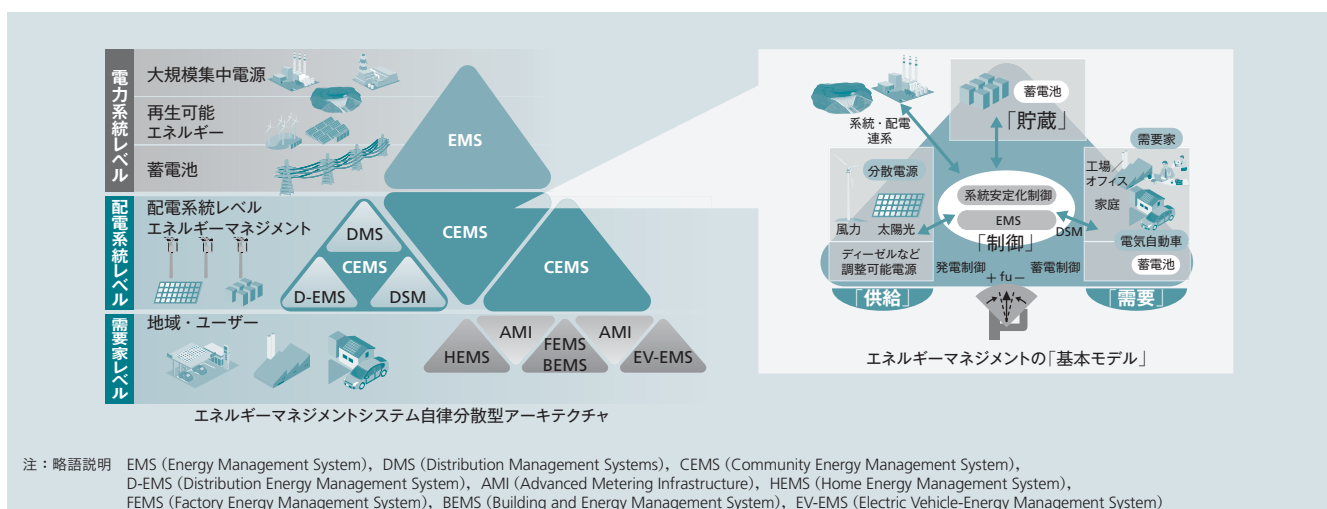


図4 | エネルギーマネジメントの「基本モデル」

各レベルのエネルギーマネジメントシステムが自律分散的にそれぞれのセグメントを制御することにより、電力系統の安定化に寄与するとともに、拡張可能な構成を可能とする。

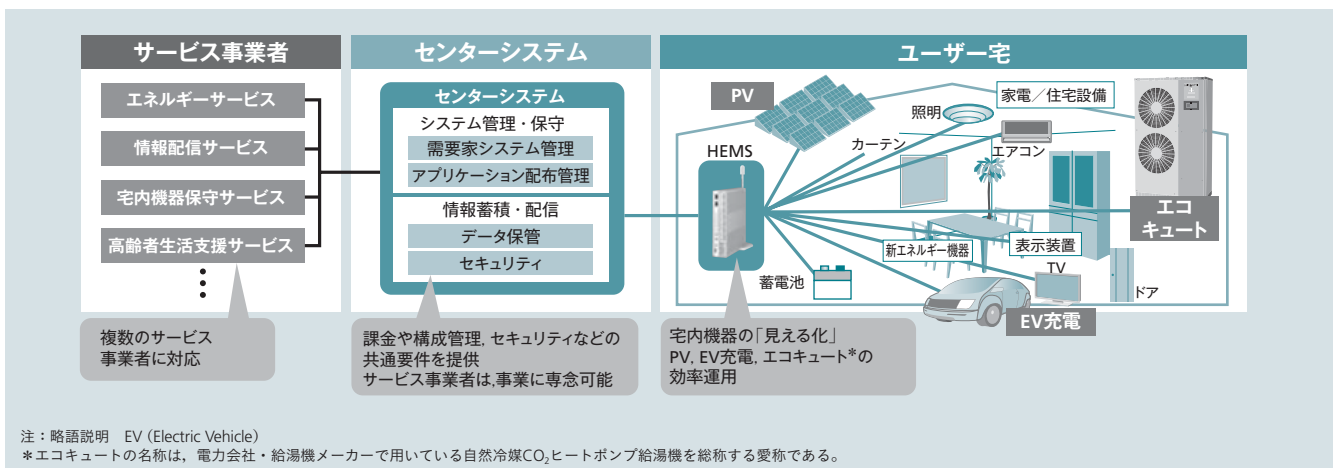


図5 | HEMSのシステム構成

宅内機器の「見える化」を実行するとともに、太陽光発電、エコキュート、EV充電を生活パターンに合わせて最適に動作させる。センターシステムは、課金やシステム構成管理、セキュリティなどの共通機能と、さまざまな需要家向けサービスを提供する。

3.9 需要家ソリューション(HEMS, xEMS)

HEMS, BEMS (Building Energy Management System), FEMS (Factory Energy Management System) は、それぞれ需要家レベルにおけるEMSである。これらを総称し xEMS とする。

HEMS は家庭におけるエネルギー消費の「見える化」をするとともに、快適な生活を保ちながら家庭内電気機器を制御してエネルギー消費を最適化する機能を持ち、さらに情報システムとの連携により、さまざまなサービスを実現するものである。

BEMS, FEMS もそれぞれビル内、あるいは工場内の電力消費の「見える化」、最適化(省エネルギー化)、そのほかのエネルギーサービスを提供するものであり、エネルギーには電力だけではなく、ガスなどを含む場合もある。

将来は、これら xEMS は単なる「見える化」や省エネルギーだけではなく、前述した CEMS の DSM 機能と連携し、負荷平準化・ピークシフトなどの系統の安定化を助けることができると考える。

また、需要家に能動的に需要抑制などの系統安定化に寄与してもらう仕組みを DR (Demand Response) と呼ぶが、xEMS は DR のためのユーザーとのインターフェースになる。AMI や他の情報システムと連携し、時間帯による電気料金を有効利用するようになったときや、需要抑制に参加した場合のインセンティブが設けられた際など、さまざまな状況に応じた電力消費の最適化を推奨し、需要家の行動を促す。

さらに、こうした仕組みによって需要家と情報システムがつながることにより、さまざまな情報配信サービス、保守管理サービスや高齢者の生活支援サービスなどの提供も考えられている (図5 参照)。

4. おわりに

ここでは、スマートシティを実現するエネルギーマネジメントについて述べた。

日立グループは、国内、海外のさまざまなスマートグリッド実証プロジェクトや各種研究に参画し、前述したような機器、制御、情報の統合システムを開発・提供していくことにより、電力系統の高度化、スマートグリッドの実現に貢献していく。

執筆者紹介



西岡 淳
1991年日立製作所入社、情報制御システム社 電力流通エンジニアリング部 所属
現在、電力・流通システム事業の取りまとめに従事
電気学会会員



堀井 博夫
2004年日立製作所入社、情報制御システム社 電力流通エンジニアリング部 所属
現在、電力・流通システム事業の取りまとめに従事
技術士



齋藤 有香
2005年日立製作所入社、情報制御システム社 電力流通エンジニアリング部 所属
現在、電力・流通システム事業の取りまとめに従事



田村 滋
1983年日立製作所入社、情報制御システム社 電力流通エンジニアリング部 所属
現在、電力・流通システム事業の取りまとめに従事
工学博士
電気学会上級会員