



福井伸太\*

# 電力流通の進化を支えるシステム技術

System Technologies for Evolving Power Transmission and Distribution

Shinta Fukui

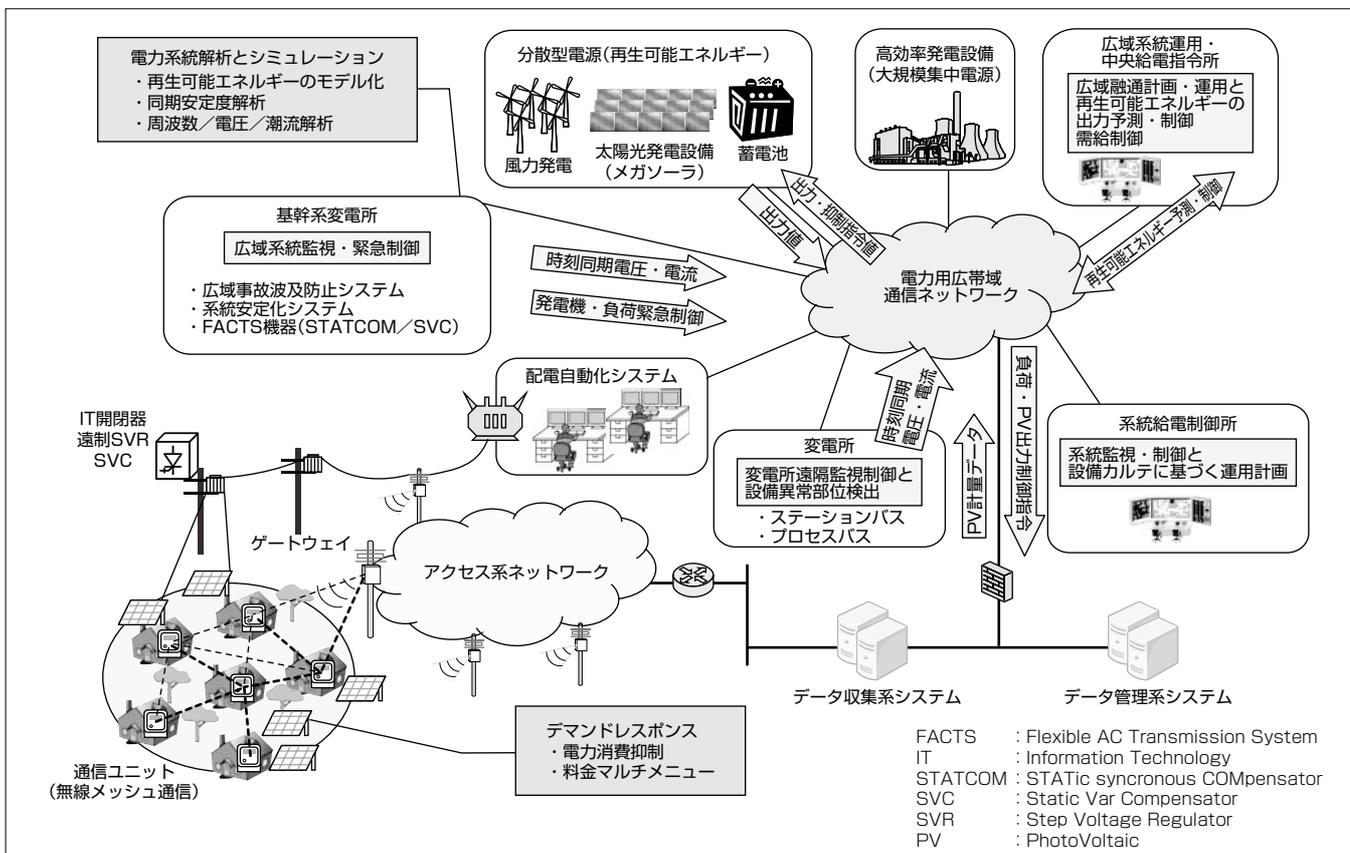
## 要旨

昨年の東日本大震災以降、我が国の電力エネルギーを取り巻く環境は激変した。震災以前のエネルギーセキュリティ、経済効率性、環境負荷低減に加えて、安全及びその感受性から求められる安心が最優先されるというパラダイムシフトである。これは電力系統の特性を決める発電サイドと需要サイドで顕著となっている。具体的には、次の3点に集約される。①原子力依存低減による火力発電の更なる高効率化、②再生可能エネルギー電源の大量連系加速、③計画停電回避のための自発的な需要制御である。これらの大きな変化を吸収して電力の供給を従来と変わらない信頼性で実現する使命を負っているのが電力流通である。送電、変電、配電を行う電力設備群と、それらの計画、運用、制御、保守を行う人間系とシステム群から実現される。

電力設備面では高度経済成長時代に建設された機器の高

経年化が進んでおり、延命対策や期待寿命に基づく更新が計画されている。システム面では、運用と制御へのIP(Internet Protocol)ネットワークの積極導入によって、運用階層の圧縮や保守拠点の集約と変電所の情報化に加えて、デマンドレスポンスによる電力需要管理が進行すると期待されている。一方で、ここ数年に発生した大規模地震での経験から、事故発生時における大停電の波及防止にはシステム群が確実に機能している。

本稿では、これらの電力流通の進化を支えるシステム技術として、情報化する変電所システムと電力系統の計画、運用、制御、保守を行うシステムの広帯域ネットワーク上での情報連携、需要サイドでのデマンドレスポンスに焦点をあてる。



## 次世代の電力流通を支えるシステム技術

変電所設備の運用と保全情報、需要家の電力消費情報を活用することによって、平常時・被災時・緊急時における系統運用の信頼性とロバスト性の維持、さらには流通設備のトータルアセットマネジメントを実現していくための計算機システム、機器、通信ネットワークからなるシステム技術の全体像を示す。

## 1. ま え が き

東日本大震災以降、電力系統では発電サイト喪失時における供給力の確保とデマンドレスポンスによる消費抑制、そして耐震の強化や復旧の迅速化等の防災対策の強化が議論されている。自然災害時での供給力確保策としては、全国レベルでの広域融通拡大及び再生可能エネルギー電源の大量連系を加速する方向で進められている。このような電力供給の変化の中で、電力流通の要となる変電所機能が一部又は全喪失した場合には全系への停電波及防止能力の更なる強化が必要になる。

本稿では、これらの新たな要請に応えるための電力流通における対策として、電力流通状態の情報発信元となる変電所の情報化と電力系統の計画、運用、制御、保守を行うシステム群との情報連携について述べる。次に、平常時及び災害時での需給逼迫(ひっばく)時に需給バランスを維持するために自発的な消費抑制が期待できるデマンドレスポンスの社会実証システムの取組みについて述べる。これらのシステムの構築と検証には計画や制御の対象となる電力系統の特性を目的に応じて忠実に再現できなければならない。最後に、三菱電機の系統解析技術を駆使した電力系統解析とシミュレーションについて述べる。

## 2. 広域融通と再生可能エネルギーの大量連系による供給力拡大

原子力発電依存度の減少によって、長距離大容量送電は少なくなり、代替電源である都市部近郊の火力発電所からの送電が増加してきており、同期安定度は向上してくる方向になる。しかしながら、風力発電の連系量拡大や自然災害によって発電サイトが消失し、複数の電力会社間の連系線を跨(またが)って緊急融通する場合には長距離化によって、送電ルート区間でのきめ細かい同期安定度の監視とその改善のための発電機と系統の制御を考える必要がある。家庭用太陽光発電及びメガソーラーが大量に系統に連系されてくると太陽光を遮る雲の発生・移動状況が結果として日射量の変動による発電変動となり多地点での需要変動に重畳される。日射変動合計の地域内平滑化効果が期待できる一方で、地点ごとでみれば一定時間での需要変化率がより大きくなる場合が想定される。需給面での解決策としては、気象予報に基づく予想では困難な雲の急激な変化もあり周波数調整のための更なる予備力が必要である。出力変化速度の大きい系統用蓄電池又は定格付近を含めた一定範囲での高効率なガスタービン等が周波数調整用電源として必要になってくる。

系統の運用や制御面からは、この需要変動に応じて、特定の送電ルートでの潮流変動や変電所での電圧変動が短時間に発生し、運用目標値の上下限を超えてしまう可能性が

ある。変電所で計測される潮流値や電圧値の同一時刻断面における高精度化と広域化によって、運用マージンを少なくすることで運用目標上限値を引き上げることが可能になる。

図1はGPS(Global Positioning System)とPMU(Phasor Measurement Unit)で計測された同期時刻情報付き電圧と電流のベクトル値情報、GIS(Gas Insulated Switchgear)や変圧器の機器センサによる設備の状況・不具合状況等の運用及び保全情報を発信する次世代変電所の監視制御システムである。

ある時刻断面での各変電所の母線電圧と送電線又は変圧器電流のベクトル値からその大きさと位相、さらにはその変化量が分かるので、時々刻々における電力系統の潮流状態や同期安定度そして周波数を正確に把握することができる。現在は電力会社ごとで構築されている周波数安定化、電圧安定化、過渡安定度維持等の事故波及防止システムでも、同期時刻情報付きの電圧・電流ベクトル計測値を用いれば他社系統を含む広範囲での系統状態の監視が可能となる。このように広域系統の状態把握が正確にできれば、図2に示すように平常時に加えて、災害時の緊急制御として、潮流調整や電圧調整、負荷制限、系統分離を行う機器に対して制御信号を送るシステムを構築していくことができる。

今後、高経年の変電機器が増加していく中で運用保全情報に基づく機器の事故発生確率を考慮した設備計画が求め

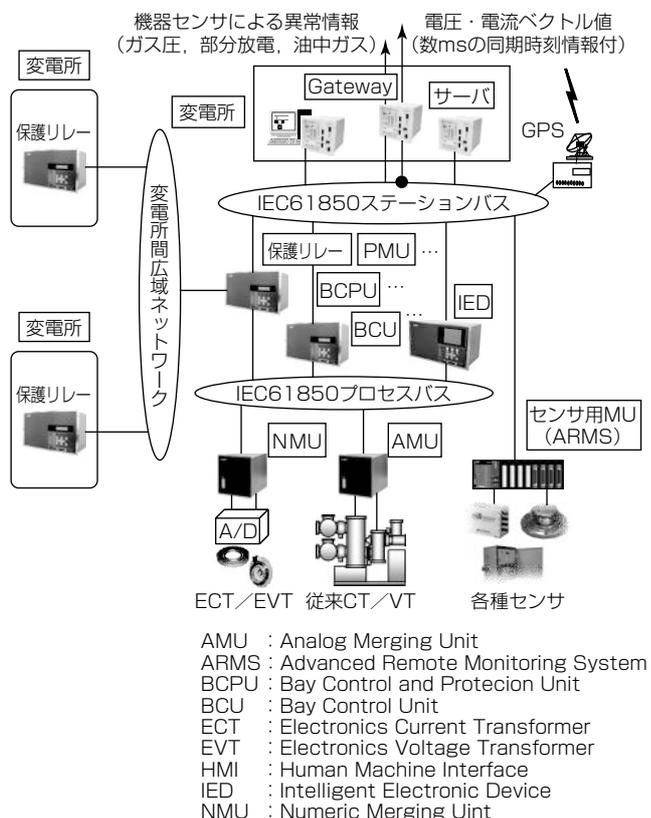


図1. 次世代変電所の監視制御システム

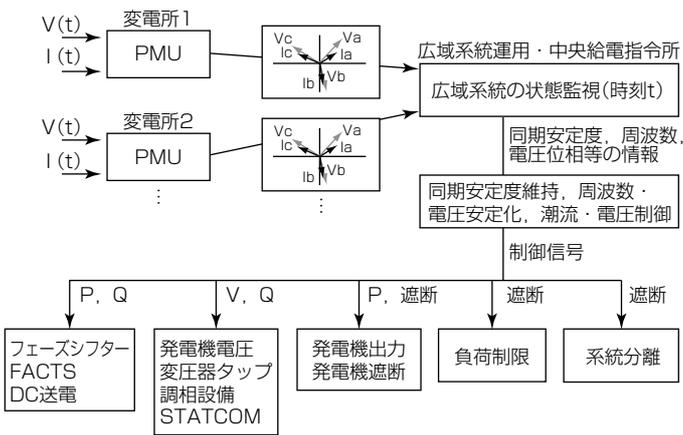


図2. 広域システムの緊急制御システム

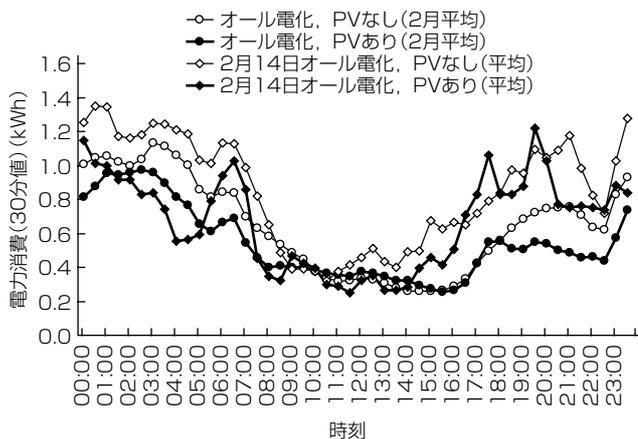


図3. オール電化住宅の電力消費量比較<sup>(2)</sup>

特集  
I

られる。運用及び保全情報のデータベースに格納された機器の動作履歴や異常履歴(設備カルテ)から事故発生確率を計算する。事故時及び復旧操作時の系統様相を忠実に再現できる訓練シミュレータを活用し、事故時における復旧時間や重要負荷停電の影響度も考慮して、高経年設備の更新又は延命の判断を行う。需給運用計画や系統運用計画、作業停止計画では、機器の劣化レベルに応じた負荷電流や短絡電流の上限値、設備の電圧上下限値を運用制約として計画を立案する。

自然災害による変電所機能の一部喪失又は全喪失時にも、先に述べた劣化レベルに応じた運用制約のもとで同期安定度を維持する適正な送電可能量をオンラインで計算する。これによって緊急時における一定時間内の安全な送電を実現する。さらに、積極的に送電可能量を増加させるためには送電ルートの上昇圧や多回線化が必要である。費用メリットの観点からは、長距離送電ルートの中地点の電圧を維持する無効電力を注入できる自励式変換器を適用したSTATCOMの設置が有効である。系統構成にもよるが、送電ルートでの一回線事故時には、事故除去後での電圧回復を加速化させることによって、発電機の過渡安定度の改善を図ることも可能になる。

### 3. デマンドレスポンスによる需要管理

東日本大震災による電源構成の大きな変化に対して、今後の需給バランスを維持していくための新たな方向性として、①高効率火力発電の増加、②再生可能エネルギーの大量連系加速、③電力消費の抑制が経産省で検討されている<sup>(1)</sup>。震災前は、需要管理(Demand Side Management: DSM)は、需要サイドでの特定期間に発生する太陽光発電による余剰電力をいかに少なくするかに焦点がおかれていたため、蓄電池充放電によるピークシフトや需要創出が目的であった。現在では供給力不足時の需要家へのインセンティブ付与によってピークカットを誘導する、つまり需要家への消費抑制指示によって需要家反応に期待するデマンドレスポ

ンスに関心が高まっている。

ここでは、電力需要の約3割を占める一般家庭を対象にしたデマンドレスポンスの試みについて述べる。生活の快適性(Quality Of Life: QOL)を維持しながら電力の消費抑制をいかに実現するかが家庭への普及につながる。米国の一部地域で試行されている家電機器の直接OFF制御に加えて、電力消費の調整ができる高機能な日本製家電機器に合わせたきめ細かな制御が快適性には必須となる。ピークカットについては、ヒートポンプ給湯機や家庭用蓄電池、電気自動車等の蓄電機能と太陽光発電や燃料電池による家庭用発電機器による組合せで実現できる可能性がある。

図3は、経産省“次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト”のけいはんな学研都市実証事業で、オール電化住宅33軒で太陽光発電(PV)の有無、つまり環境負荷低減への関心度の違いによる冬季電力消費量をモニタリングした結果である。例えば9時から18時の昼間で空調などの家電機器を必ず使用する時間帯では、電力使用量の差は少ないが、朝晩に違いが現れることが分かる。デマンドレスポンスのベースとなる電力消費抑制のシナリオ立案には、このように居住者の時間帯の違いによる省エネルギー感度の変化を的確に捉えることもQOLの維持には不可欠となる。ピークカットを実現するためには、発電機器や蓄電機器の使用組合せが必須となる場合もある。けいはんな学研都市実証事業では、このような機器設置の提案や省エネルギーなどのコンサルテーション有無、世帯構成の違いによるデマンドレスポンスへの対応有無を想定して、無作為に各世帯を4つのグループに分け、約700軒を対象にした大規模社会実証を2012年度の夏から開始する。図4に、デマンドレスポンス実証に使用する情報システムの構成例を示す<sup>(2)</sup>。

自然災害などの非常時から平常状態に戻るまでは、地域単位での需要抑制を電力系統側の供給力不足に応じて一定期間は協調して行う必要がある。30分ごとの電力量検針値を2章で述べた需給計画、系統運用における各システムと情報連携することによって可能となる。

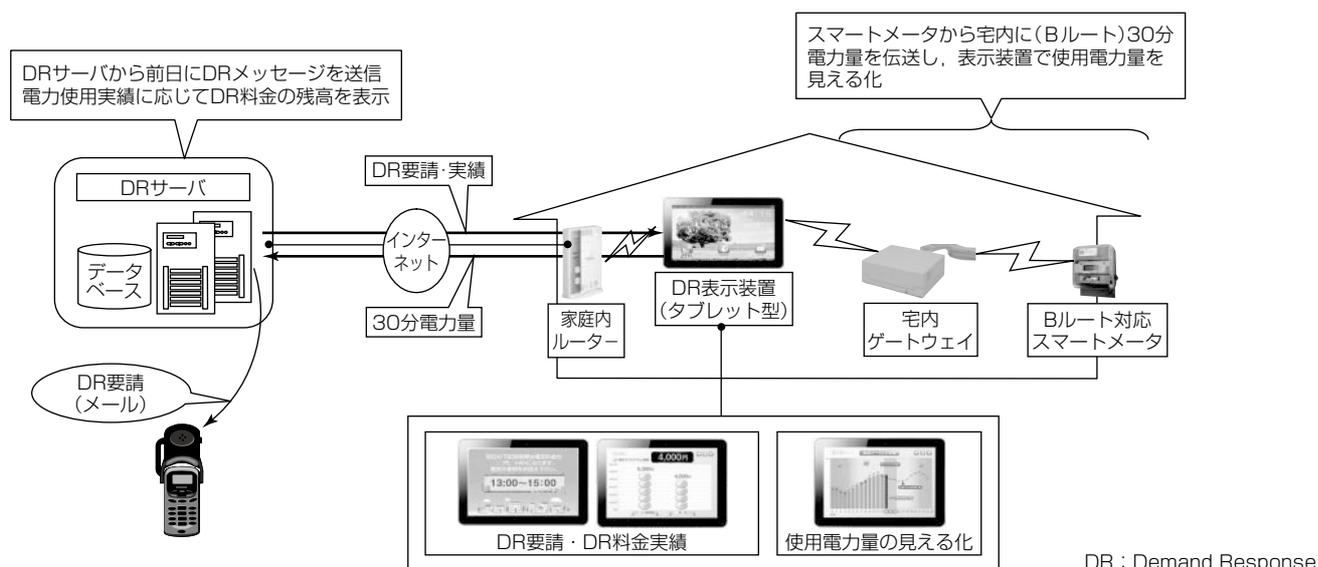


図4. デマンドレスポンスのシステム構成例<sup>(2)</sup>

#### 4. 電力系統解析とシミュレーション

当社ではSTATCOMなどのパワーエレクトロニクス技術を応用した新しい電力機器、事故波及防止システムの制御特性の検討や動作試験、既設系統での事故・不具合発生時の現象解明には、電力系統解析用のシミュレータを使用している。電力系統の規模と時間精度による適用範囲を図5に示す。アナログシミュレータは、電力系統の変圧器・送電線・変換器・負荷の縮小モデルと発電機は計算機によるモデルを組み合わせた模擬装置で、各構成要素の容量及び電圧をスケールダウンして実際に近い現象の再現ができる。デジタルシミュレータは電力系統の各構成要素を数式で表し、計算機で数値計算することによって電力系統の挙動を模擬するものであり、時間精度が数十ms以上であれば大規模な系統にも適用可能である。大規模風力発電や太陽光発電のモデルも用意している。複数のCPUでの並列処理などによって実現現象と同じタイムスケールで現象を再現でき、入出力用のインタフェースを介することによって製品検証を行っており、現在では不平衡事故が扱える発電機数はアナログシミュレータに近づいている。

一方、通常のパソコンなどでノンリアルタイムで実行する解析プログラムでは、大規模系統の数秒から数時間にわたる現象を対象とした実効値プログラムと数μ秒から数十秒の現象を対象とした瞬時値プログラムがある。当社独自の実効値プログラムは数十年にわたる技術蓄積に基づいて改良を重ねている。現在では再生可能エネルギーなどの新規モデルの迅速な組み込みを可能としている。

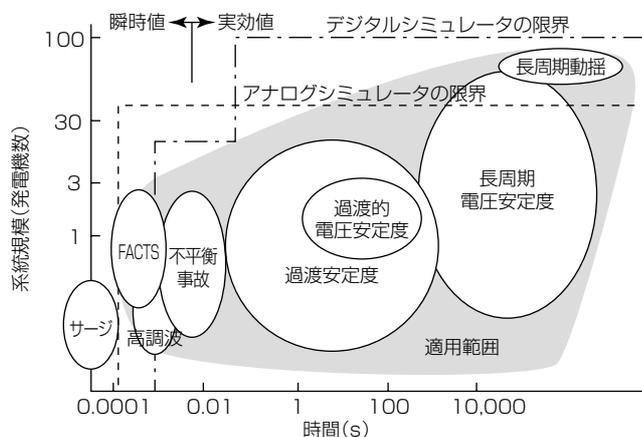


図5. 電力系統解析シミュレータの適用範囲

#### 5. む す び

東日本大震災以降における電力の供給サイドと消費サイドでの大きな変化、それらに対応しながら進化していく電力流通の実現に向けたシステム技術について述べた。

当社では、電力流通におけるシステム技術は長年にわたる絶え間ない技術開発と顧客へのシステムの導入と運用実績を通じて集大成されている。計画、運用、制御面での新たなニーズに対するシステム技術は、実績ある要素技術を組み合わせながらブラックボックス化させないことが、現在の社会に必要とされている安全で安心なシステムの実現につながる。今後の技術開発においても、時代の変化に適應する製品供給に邁進(まいしん)していく。

#### 参考文献

- (1) 経産省：電力システム改革専門委員会(第1回～第7回)配布資料，経済産業省(2012)
- (2) 半谷陽一：けいはんな実証事業におけるDRの取組，けいはんな実証事業シンポジウム(2012)