

情報と電力の融合したデジタルグリッドとその適用

風力発電・太陽光発電などに代表される再生可能エネルギーを大量導入するためには、従来の基幹電力システムには課題があり、新しい電力供給システムの開発が急務となっています。本稿では、電力と情報を融合した、次世代の送電網の可能性を持つ「デジタルグリッド」構想を紹介します。デジタルグリッドは、分散した非同期電力システムであるセルグリッドをデジタルグリッドルータによって相互接続し、デジタルグリッドコントローラによってセル間の電力融通を可能とします。これにより、大量の再生可能エネルギーを導入することが可能となります。

東京大学大学院
工学系研究科技術経営戦略学専攻
特任教授

阿部 力也

1 はじめに

近年、気候変動問題並びに化石燃料高騰の影響を受け、風力発電・太陽光発電などに代表される再生可能エネルギー電源の導入が加速しています。政府は、2020年に2,800万kW、2030年には5,300万kWの太陽光発電を導入する目標を立てていますが、一方で、2009年7月の「低炭素電力供給システムに関する研究会報告書」¹⁾において、現状の電力システムのままでは、太陽光発電は一定規模の出力抑制を採用しても、2020年度時点で1,300万kW程度しか導入できないと報告しています。

これは、配電網末端に設置された太陽光発電のもたらす逆潮流による系統電圧上昇が主たる制約要因となるためですが、太陽光発電の導入を更に進めれば、余剰電力発生の問題や、周波数調整力不足の問題も顕在化してきます^{2) 3)}。更に根源的な問題は、太陽光発電や風力発電が基本的に系統電源に対する同期化力を持たないという、変動が大きく、予測困難であるといった点にあり、従来型の基幹電力システムには受け入れにくい、課題の多い電源であると言えます。

これらの課題を克服し、再生可能エネルギーを大量に導入す

るためには、新しい電力供給システムの開発が急務であり、さまざまな検討がなされてきました^{4) 5) 6)}。系統連系強化策という提案もありますが、同時に巨大技術の脆弱性や非効率性を指摘する声もあります。

一方、スマートグリッドなどの計画^{7) 8)}により、電力消費サイドを中心に、デジタル情報網を使って電力の流れを双方向に把握し、効率的な電力システム運用を図ろうという計画が米国を中心に進んでいます。しかし、情報がデジタル化され、スマートに電力需給の制御を行ったとしても、電力自体は同期回転機による連続的なアナログであるため、デジタル情報系が意図する通りに電力を融通することには困難が伴います。このため、再生可能エネルギー導入が増大している欧州では、系統の各部をセル化し、セル内での需給バランスを強制するようなコンセプトも現れています。また、新興国や開発途上国では、分散した非同期電力システム（セルグリッド、以下、セルと呼ぶ）が一般的ですが、今後も化石燃料を調達していくことは困難であると予想されます。そこで、再生可能エネルギーの導入量拡大を促進すれば、セルの周波数・電圧維持のため、電力貯蔵装置の導入が必至となります。このため、このようなセル同士の接続は

同期させることが困難であるという課題があります。

そこで、本稿では、上記を解決し、任意の電力機器間、あるいは電力系統間で電力のやりとりを行うことができるよう考案した「デジタルグリッド (Digital Grid : DG)」の概念を紹介します。

2 デジタルグリッド

2.1 構成例

DGとは、既存の電力系統をセルに細分化して、アドレスを持つ電力変換器や貯蔵や発電などの電力機器を順次設置していき、それらを複数同時に動作させることで電力をセル間で自在に制御し、インターネットにおける情報のように電力を扱う電力インフラストラクチャーです。DGは、**図1**に示すように、基幹系統とセル及びセル同士を非同期に接続し、有効電力を融通し合い、必要な無効電力も供給できる多端子型自励式電力変換器「デジタルグリッドルーター (Digital Grid Router : DGR)」と、電力制御装置「デジタルグリッドコントローラ (Digital Grid Controller : DGC)」を組み合わせることで実現します。ここでのセルとは、家庭、商業施設、ビル、市・町・村といった分散型電源・貯蔵装置・負荷を持つ自立運転可能な最小グリッド単位を意味します。大きなセルの例としては、日本の場

合、北海道・東日本・西日本がそれに当たります。米国では、ピーク時に800GWの需要がありますが、日本の例に合わせると、**図2**に示すように、8~130個程度の大容量のセルに分割し、DGRで接続することができます。

DGRは、各電力変換器にIPアドレスを付加し、変換動作情報を目的のアドレスに送信し、その後動作開始情報を送信します。つまり、情報と電力が融合し、一体化したものとなります。この働きにより、各セルは大量に再生可能エネルギーを導入することが可能となります。また、DGCはIP通信機能を持ち、セル

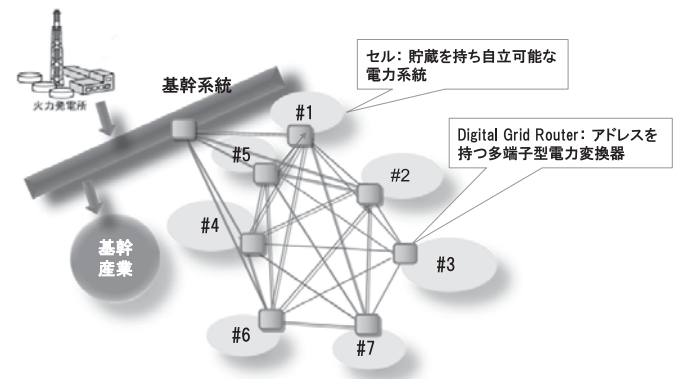


図1 デジタルグリッドの構成例

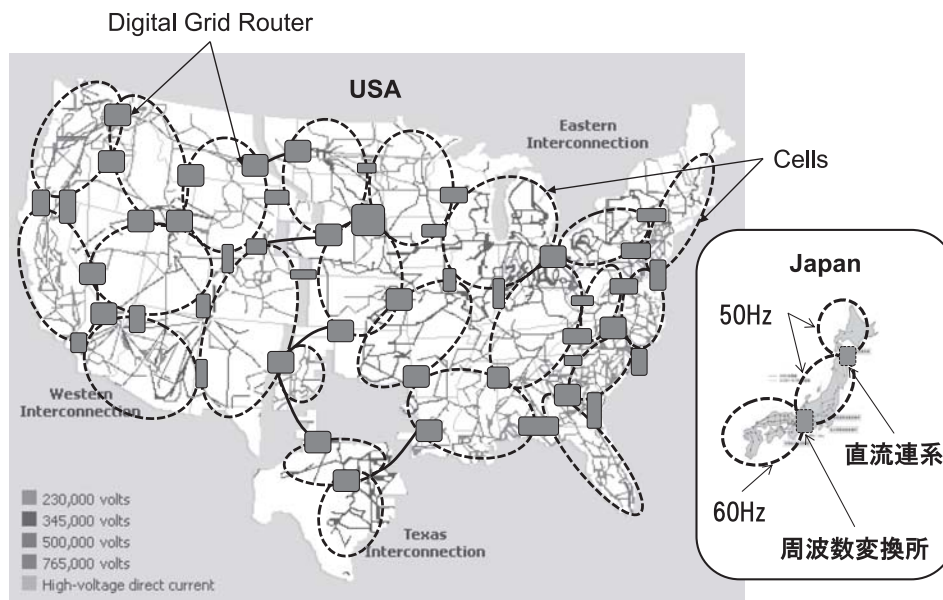


図2 大容量セルの例

の中に配置されDGRと組み合わせることで、電力のやりとりを制御します。

2.2 特徴

DGには次のような特徴があります。

- (1) セルは、各種の分散型発電と負荷を持ち、更に電力貯蔵装置により、太陽光や風力発電の変動を吸収して当該セル内の周波数を一定の範囲内に維持することができます。つまり、セルは、個々に自立しています。
- (2) 周波数や位相の異なる自立したセル同士を、DGRと連系電線路で接続し、電力を選択的に融通できます。
- (3) セル内部は従来の同期系統ですが、通常の中央給電指令の伝達に代えて、DGRが需給制御を行います。具体的には、発電機や電力貯蔵装置などの電力機器を外付けのDGCにより制御し、DGRの指令に基づいてセル内の需給制御を行うことができます。
- (4) DGでは、情報と電力が仮想的に一体化した「デジタル電力」を作り、自在にグリッドの中を融通させることができます。DGR及びDGCに固有のIPアドレスを与えて、電力線通信（Power Line Communications：PLC）や外部データ通信網などを利用することにより、IP通信を行います。ヘッダ情報に含まれる発信元や宛先のアドレスを参照し、指定されたDGRを経由して任意の送付先までデジタル電力を送ることができます。必要な融通量をいく

つかの電力に分割し、別のヘッダを付与すれば、異なるルートを経由させることもできます。ヘッダ情報に、デジタル電力の大きさや継続時間などの電力プロファイルデータを含め、フッタ情報で、電力送信の終了を確認し、電力取引の証拠として記録することが可能になります。

2.3 DGR

DGRは、電力を双方向に変換する自励式電力変換装置を有する電力変換器付き接続端子と、電力変換器がなく、遮断器や断路器からのみ構成される接続端子の両方、あるいはどちらか一方を備えています。電力変換器のない端子は接続先で電力変換のある端子と対になり、これにより二重の電力変換を防ぐ仕組みになっています（図3）。電力変換を行う接続端子では、接続先のセルの電力を直流に順変換した後、残りの接続端子の接続先のセルの電圧・位相・周波数に同期させて電力を逆変換して送出し、流入する電力と送出する電力の総和がゼロとなるよう制御します。自励式電力変換器の採用により、DGRは、系統連系モードの場合、電力と位相を独立に制御できるため、任意の有効電力を任意の方向に送れるとともに、独立して任意の無効電力を任意の大きさで発生できるので、電圧制御も可能となります。また、自励式であることから、接続先電力系統が無電圧になった場合には、電圧源となって電力を供給することもできます。

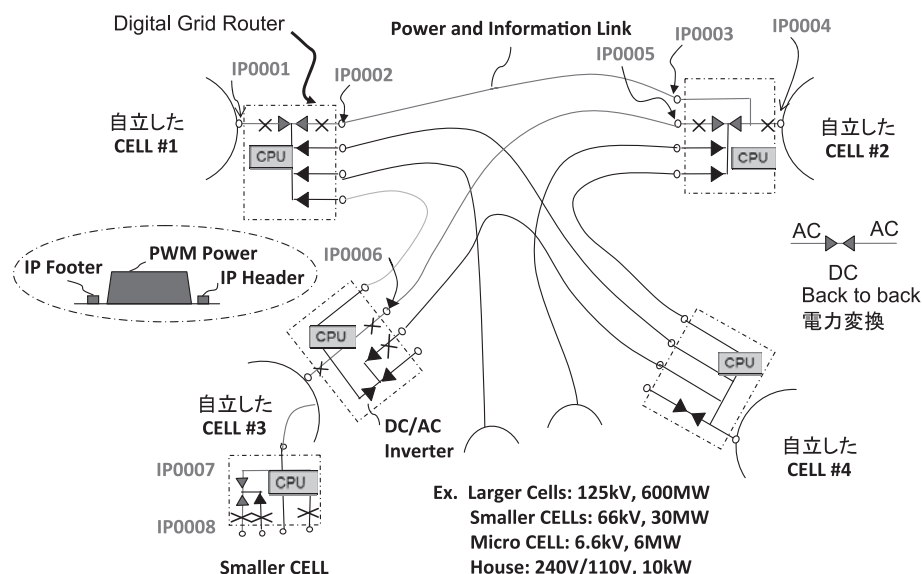


図3 DGR間の接続例

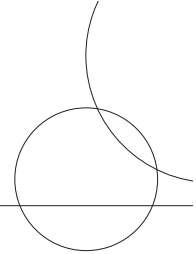


図3は、DGR間の接続例を示しています。図3のようにDGRを配置することにより、任意の2つのセルを接続するなどの連系電線路も途中に分岐がなく、連系電線路のどちらか一端にのみ電力変換器がある非同期連系ネットワークを構築することができます。

2.4 DGC

DGCは、太陽光発電・風力発電などの比較的変動の激しい電源の発電量を測定して外部通信回路を通じた情報のやりとり、ディーゼル発電機やガスエンジン発電機など出力調整が容易な発電機の出力増減制御、電力貯蔵装置の充電量（State of Charge：SOC）の監視・充放電制御、電力消費をする電力機器の監視を行うことができます。電力機器の制御方法によっては電力融通にかかわる情報を予測し、前もって融通予約を行うことも可能です。また、その時点の情報により、一定時間後の電力融通予約をしておくこともセルの自立には有効な手段です。電力の予測制御としては、セルの特徴ごとにさまざまな手法が考えられますが、一般的には電力貯蔵装置のSOCを50%前後に維持し、太陽光発電や風力発電の出力増加が予想される際には、その出力を吸収するために50%より低めに、出力減少が予想される際には電池から出力するために50%より高めに維持しておく予測制御が良いと考えられます。

3 デジタルグリッドの効用

前述のようなDGには、主として、次のような7つの効用があります。

(1) 再生可能エネルギーの大量導入

従来の電力系統では、ローカルな需給アンバランスを補償し、同期を維持するための電力潮流がその大きさ・方向を変えながら系統内を常に往来しています。大量の再生可能エネルギーが電力系統に接続されると、その変動に伴い、潮流の変動も更に大きくならざるを得ません。DGでは、この変動をそれぞれのセル内の周波数の変動で吸収し、それぞれの周波数が異なっても安定し、共存できるため、同期維持のための電力潮流が不要となります。また、潮流に伴う電力損失も低減されます。この結果、再生可能エネルギーの導入が拡大してもDGの安定を維持できます。

(2) グリッドの冗長性と堅牢性

従来の電力系統では、送電ルートが事故などにより使用不能になると、下流の電力系統の停電や瞬低が発生しま

す。DGでは、セル数の2乗に比例した電力融通ルートができるため、いくつかのルートが使用できなくなっても他のルートを使って電力融通ができるようになります。この結果、電力融通の冗長性が飛躍的に高まるとともに、DG全体の堅牢性も向上します。

(3) 電力貯蔵装置の共有

セルが他との連系がない状態で自立する場合、需給アンバランスのボラティリティが高くなるため、余裕のある大きな電力貯蔵容量が必要となります。DGでは、複数セル間で自在に電力融通できるので、全体で1つのセルと同じ状態になり、需給アンバランスのボラティリティを下げることができます。この結果、複数セル間で電力貯蔵設備を共有していることになり、全体としての容量は個々に単独設置するよりも低減できます。

(4) 共同負担

1つのセルにおいて、電力貯蔵装置の残量が少なくなり、周波数維持に支障が出ると判断されると、近隣のセルに電力融通を依頼し、複数のセルから複数のルートを通じて少しずつ電力融通を受けることができます。逆に、電力貯蔵装置の残量が多いときに風力発電が立ち上がって来た場合、近隣の複数のセルに少しずつ余剰電力を受け取ってもらうこともできます。この結果、個々のセルや連系線の負担は小さくなります。

(5) 電力取引

従来の同期系統では需給バランスの確保のために、特定規模電気事業者などに対し、30分同時同量の原則を課してきました。DGにおいては、個々のセルが非同期であるので、需給バランス調整のうち、短い周期を電力貯蔵装置が、長めの周期を化石燃料系の分散電源が負担するものの、負担しきれない部分は回転機の回転エネルギー吸放出、つまり、周波数の上下降で負担することが可能になります。したがって、電力融通のやりとりに際して、緊急性や30分同時同量などの制限が大幅に緩和され、事前交渉・予約・確定・納品をベースとした商取引になじんだ取引形態が採用できます。これにより、新しい電力取引ビジネスのプラットフォームを形成することができます。

(6) 基幹系統との共存

従来の電力系統は、産業需要に応じて経済性を追求したため、規模の経済に基づく大規模集中電源+広域系統連系になってきました。一方、民生需要は、医療や食品などのライフラインを支える重要なものとなっています。

DGは、インターネットライクな柔軟性と堅牢性を兼ね備え、民生需要のセキュリティを高めるものとなります。基幹系統とDGのハイブリッドな構成が、新しい電力系統の姿になる可能性があります。

(7) セキュリティ確保

セルは、自立電力系統であることが前提であるため、他のセルで事故が起きた場合、連系点を速やかにゲートブロックし、自己の電力セキュリティを確保することができます。

4 おわりに

従来、電力と情報の融合という概念はありましたが、同期系統の中では電力を個々に識別することができないという技術的困難を伴っていました。本稿で紹介したDGは、DGRやDGCを使用することで電力に情報を付加し、電力の識別が可能になります。このことは、従来の電力システムに大きな変革をもたらす可能性があります。将来、分散型の再生可能エネルギー発電や電力貯蔵装置が十分に行き渡った場合、セルは自立可能なものとなり、複数の電力融通取引が発生しても実際にはそれらを圧縮相殺した最終需要のみが取引されるようになると考えられます。これらの実施アルゴリズムは、経済的金融取引に似たところがあり、セル内は従来の同期系統ですが、連系線は経済取引のためのネットワークになっていくと考えられます。

DGへの移行は、既存の変電所や変電設備以下の電力系統の主要な電力機器にのみDGCを導入し、その他は現状を維持しつつ、自立したセルとし、変電所間を接続する従来の送電線と変電所母線との間にDGRを設置して、他のセルや基幹電力系統と非同期連系していくという手順になります。これは、先進国においても柔軟で現実的なステップで構築できると言えます。途上国においても、隣接したグリッドを必要度に応じて非同期連系していくので柔軟なグリッド構築が可能となります。

*デジタルグリッドは、一般社団法人デジタルグリッドコンソーシアムの登録商標です。

参考文献

- 1) 経済産業省「低炭素電力供給システムに関する研究会報告書(3)」、pp.19/27、2009.7
- 2) 七原 俊也「風力発電に併設する蓄電池の所要容量に関する検討」、電気学会論文誌B Vol.129 No.5、pp.645-652、2009.5
- 3) 嶋田 尊衛ほか「集中連系型太陽光発電システムにおける翌日連系点電力の計画・制御を可能とする蓄電池容量の検討」、電気学会論文誌B Vol.129 No.5、pp.696-704、2009.5
- 4) 横山 明彦ほか「特集：新たな電力供給システムの動向と将来展望1-5」、電気学会誌 Vol.125 No.3、pp.145-164、2005.3
- 5) 林 泰弘ほか「分散型電源の導入拡大に対応した配電系統の協調運用形態」、電気学会論文誌B Vol.127 No.1、pp.41-52、2007.1
- 6) 志岐 明ほか「単独マイクログリッドにおけるインバータを用いた分散型電源群による自律分散型需給制御」、電気学会論文誌B Vol.127 No.1、pp.95-103、2007.1
- 7) 鈴木 浩「スマートメータを用いた電力流通インフラの海外動向」、電気学会論文誌B Vol.127 No.9、pp.977-980、2007.9
- 8) Gary Locke et al., "NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards Release 1.0 (Draft)", NIST Draft Publication, 2009.9

NEC 技報のご案内

NEC技報の論文をご覧くださいありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご覧ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

Vol.65 No.1 スマートエネルギー特集

スマートエネルギー特集によせて
NECのスマートエネルギー事業
特別寄稿：情報と電力の融合したデジタルグリッドとその適用

◇ 特集論文

EV充電インフラ

電気自動車向け充電インフラ整備を支える技術開発
蓄電・充電統合システム(BCIS)の開発
電気パワートレインを試験評価するEV開発試験装置
充電インフラを形成する大容量急速充電器「TQVC500M3」とCHAdeMOプロトコル
EV充電サービス用充電コントローラの開発

蓄電システム

効率的な電力管理と環境対応を実現した家庭用蓄電システム
大規模蓄電システムの開発とグローバル展開の戦略
高い安全性と長寿命を実現したリチウムイオン二次電池技術とその応用
リチウムイオン二次電池の長寿命化技術
多様なエネルギーを高効率で活用するマルチソースパワーコンディショナー

エネルギーマネジメントシステム(EMS)

HEMSソリューションへの取り組み
業務改善につなげるエネルギー見える化の推進
オフィスの省エネを支援する「エネパル Office」
エネルギー需要を最適に制御するBEMS「スマートビル」
ICTを活用したエネルギーマネジメントシステム
電力検針自動化に向けた取り組み

エネルギーデバイス

表面実装対応焦電型赤外線センサ
有機ラジカル電池の開発
待機電力ゼロの電子機器を目指す不揮発ロジック技術の開発

◇ 普通論文

省エネに貢献するLEDシーリングライト連続調光・調色照明器具
低損失金属磁性材“センティクス”を用いた大電流用チョークコイル「MPCG」

◇ NEC Information

C&Cユーザーフォーラム& iEXPO2011

人と地球にやさしい情報社会へ～みんなの想いが、未来をつくる～
NEC講演
展示会報告

NEWS

2011年C&C賞表彰式開催

NECグループ会社紹介

電気自動車から蓄電システムまで広がる用途独自技術で高い安全性と高出力を両立



Vol.65 No.1
(2012年2月)

特集TOP