

スマートグリッド向け 需給制御技術

古塩正展*

小島康弘***

マルミローリ マルタ**

清水恒夫*

Demand and Supply Control Technology for Smart Grid

Masanobu Koshio, Marta Marmioli, Tsuneo Shimizu, Yasuhiro Kojima

要 旨

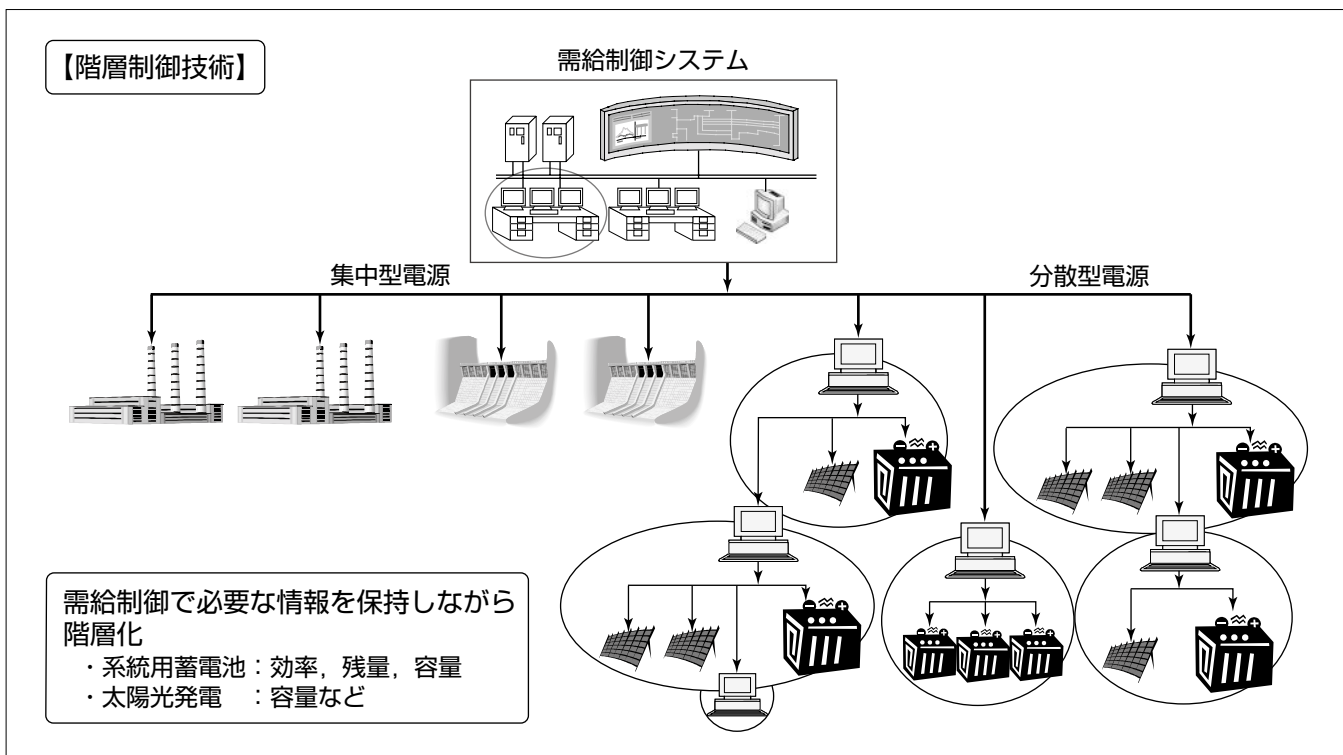
近年の低炭素社会実現に向けた国際的な動きの中で、太陽光発電(PhotoVoltaic：PV)や風力発電(Wind Turbine：WT)を始めとした再生可能エネルギーが注目されているが、これらの電源は天候の変動によって発電量が変動するという特性がある。一方電力系統では、電力の消費される量(需要)と発電する量(供給)を常にバランスさせる必要があり、これが崩れると周波数が変動する。電気機器が安定に動作できる規定の周波数(西日本は60Hz、東日本は50Hz)を維持するために、需要と供給をバランスさせる技術を需給運用・制御(以下“需給制御”という。)技術と呼ぶ。

従来の需給制御では、需要の動向を予測・監視し、多数の火力・水力、揚水等から経済性を考慮しながら適切な発電機の運転停止や発電出力を決定する需給運用を行ってきた。しかし、電力系統に発電出力が不安定なPVやWTが大量に連系した状況では、需要の予測・監視に加え、PVやWTに対する発電出力の予測・監視、これらの変動に備えた需給運用が必要となる。また近年、可変速揚水発電機

や系統用蓄電池等、PVやWTの発電出力変動の補償を目的とした大規模なエネルギー貯蔵装置の開発、又はCEMS(Community Energy Management System)やBEMS(Building Energy Management System)等、需要家サイドでのデマンドレスポンスを活用した負荷制御に関する検討も進んでおり、従来制御対象としていた発電機と、新たなエネルギー貯蔵装置や需要側との協調を取りながらPVやWTの発電を最大限活用できる、より高度な需給制御の実現が求められている。

このような背景のもと、三菱電機では、尼崎、和歌山、大船の3地区でスマートグリッドを構成する各種要素技術の開発を目的とした実証実験設備を構築して、実証実験を行っている。

本稿では、当社で開発中の需給制御技術と、尼崎地区のスマートグリッド実証設備を活用した実証によって得られた成果の一部について述べる。



当社の階層需給制御イメージ

経済性、環境性を考慮しつつ、再生可能エネルギーの発電出力変動に追従して電力品質を維持できる需給制御技術、及び分散設置される再生可能エネルギー、蓄電池等を最適に管理する階層制御技術の開発を行っている。

1. ま え が き

近年、低炭素社会実現に向けた供給力の1つ、又は我が国のエネルギー安全保障を担う供給力の1つとして、地熱発電、太陽光発電(PV)、風力発電(WT)等の再生可能エネルギーが注目されている。また、2012年7月からは“再生可能エネルギーの固定価格買取制度”が開始され、買取り価格が高く、設備導入のリードタイムが短いPVは、電力系統への連系が加速すると想定される。一方、PVやWTは天候の影響を受けやすく発電量の変動が大きいことから、PVやWTが既存の電力系統に大量に連系された場合、電力品質の低下が懸念されている。

従来の需給制御では、需要の変動に対して火力・水力、揚水等、制御可能な発電機の運転台数を調整し、発電量を追従させることで需要と供給のバランスを取り、周波数の変動を適正範囲に維持してきた。しかしながら、今後PVやWTが電力系統に大量連系された状況でも電力品質を現状程度に維持するためには、需給制御技術の高度化が必要となる。

当社では、既存の発電機と可変速揚水発電機や蓄電池等の新たなエネルギー貯蔵装置やデマンドレスポンス可能な需要側との協調を取り、PVの不確実な発電を補償しながら低炭素なエネルギーを最大限活用できる、より高度な需給制御技術の開発を進めている。

本稿では、開発中の需給制御技術と尼崎地区のスマートグリッド実証設備を活用した需給制御の実証状況について述べる。

2. スマートグリッド向け需給制御

2.1 PV大量連系に対応した階層型需給制御

PVや系統用蓄電池は、数kW程度の小規模な設備から数万kWのメガソーラーや大容量蓄電池まで、異なる特性や容量を持つ電源が分散して多数電力系統へ連系する。これら非常に多くの分散型電源について、運転状態、特性、メンテナンス計画等、様々な情報を個々に全て把握しながら需給制御を行うことは、扱うデータ量が膨大となるため、計算機能力や通信性能の面からみて非現実的である。そこで、複数のPVや系統用蓄電池、又はそれらを含めたCEMSやBEMSについて、発電効率や出力変化速度等、個別の制御特性を継承しながら階層化する。これによって、大量の制御対象機器に対し効率的な需給制御を行うことが可能となる。図1に階層制御のイメージを示す。

2.2 需給制御を構成する機能

需給制御システムを構成する機能フローを図2に示す。従来の需給制御では、天気や気温、イベント等に影響を受けて変化する需要について予測を行い、その予測結果に基づいて各種発電機の運転計画を立案し、制御を行っていた。

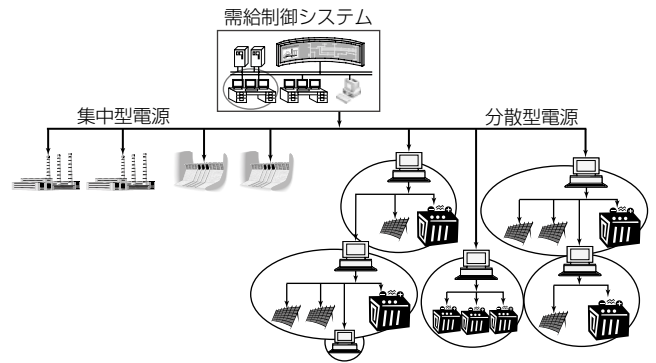


図1. PV・蓄電池大量導入時の階層型需給制御

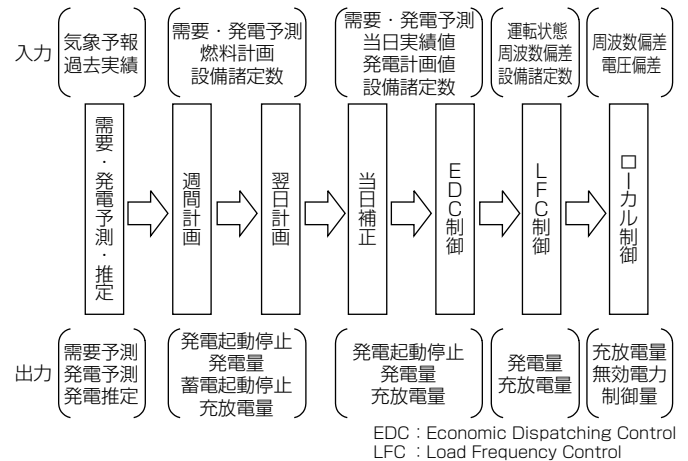


図2. 需給制御の機能フロー

しかし、PVや系統用蓄電池が電力系統へ大量連系された状況下では、需要予測に加え、PV発電の出力予測・変動予測が必要になるとともに、各

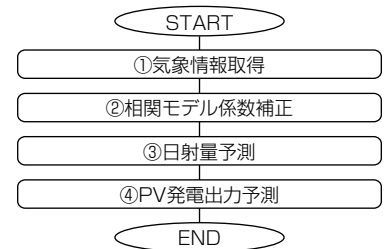


図3. PV発電出力予測フロー

各種発電機や各種系統用蓄電池の容量や特性、設置環境等に応じた協調運用が必要となる。

2.2.1 PV発電出力予測・推定

PV発電出力は日射量と相関が高い。しかし、気象庁数値予報(GPV)では日射量の予測情報は提供されないため、日射量と比較的相関の強い雲量予測情報からPV発電出力予測を行う。図3にPV発電出力予測の処理フローを示す。PV発電出力予測では、まず予測地点の最新の雲量予報データ、実績日射量、実績PV発電量データを取得(図3の①)し、③日射量予測で使用する雲量-日射量モデルと、④PV発電出力予測で使用する日射量-発電量モデルの係数を補正する(図3の②)。次に取得した気象予報データ(雲量)、予測地点の緯度、経度等から予測地点における日射量予測値を算出する(図3の③)。最後に日射量予測値から予測地点のPV発電出力予測値を算出する(図3の④)。

また、ある地域内で、全PV発電量が個別に計測されていることは少ないため、需給運用上はPV発電量の実績推定も必要となる。図3の②の処理で過去の実績データから構築した日射量-発電量モデルに対し、実績日射量を入力することでPV発電出力の推定値を得る。

2.2.2 週間計画

従来の大規模電源を対象とした週間計画では、年間・月間の長期運用計画で決定される燃料消費量や貯水池水位を遵守するよう火力・水力発電機の運転停止計画を立案している。PV・蓄電池の大量連系時の需給制御では、(1)出力が不確定なPVのkW価値、及び(2)電力貯蔵設備として(可変速)揚水発電と系統用蓄電池の特性差を考慮して、需給運用計画を立案する。特に自然エネルギーの不確定さに対応するためには、系統用蓄電池は1週間程度先まで考慮した蓄電量(State of Charge: SOC)の最適運用が重要で、後段の翌日計画・当日補正やEDCにおける蓄電池の運用指針となる。

2.2.3 翌日計画・当日補正

翌日計画・当日補正では、発電機ごとの特性データ、及び最新の気象予報データと各種実績データに基づく需要予測、PV発電出力予測データ等を入力データとし、経済性・環境性で最適な発電機の起動停止計画を立案する。翌日計画・当日補正における需給制御問題の定式化イメージを図4に示す。翌日計画・当日補正は、30分間刻みごとの発電機や系統用蓄電池運転停止状態を決定する分散系最適化問題の中に、運転が選択された時間帯について発電機の発電出力、又は系統用蓄電池の充放電出力を決定する連続系最適化問題を包含する二重の最適化問題を解くことで計画を立案する。

2.2.4 EDC

EDC(経済負荷配分制御)では、至近の需要実績から需要予測の補正を行った上で制御指令値を計算する。EDCで扱う最適化問題の構造は翌日計画、当日補正と同様となるが、最適化計算の対象範囲がより詳細となる。ここで、制御対象外のPV発電出力に関しては予測値をベースとするが、数分~数10分程度先の出力変動を高精度で予測することは現実には困難である。このためPVの短周期出力変動・予測誤差が発生することを前提に、誤差が生じた場合でも需給バランスを維持できるよう適切な運転予備力/下げ代を確保しつつ、経済性・環境性を最適化した負荷配分を行うことが重要となる。

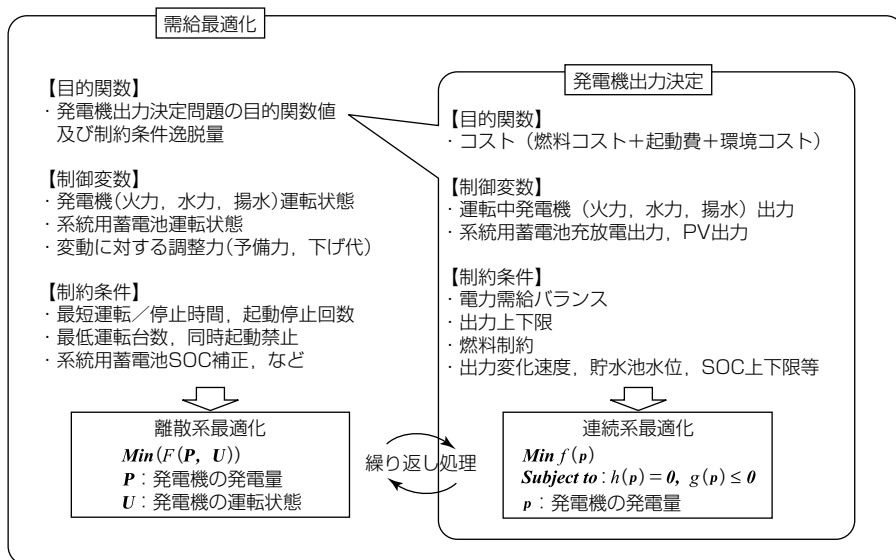


図4. 需給制御問題の定式化

2.2.5 LFC・ローカル制御

LFC(負荷周波数制御)では、秒オーダーの短周期変動は高速に充放電可能な系統用蓄電池が分担し、中長周期の変動は発電機で分担するなど、火力・水力、揚水等の各種発電機や各所に配置された各種の系統用蓄電池の特性に応じた出力配分を行う。

また系統用蓄電池は、周波数や電圧等、自端でのローカルな計測情報に基づき有効電力、無効電力の制御を高速に行うことが可能である。ただし、周波数情報を用いたローカル制御を行う場合、周波数偏差に対する制御感度(系統定数)の情報について、全系統を管理するLFC制御との協調が必要となる。

3. 実証実験の事例

3.1 PV発電出力予測・推定に関する実証事例

尼崎地区のスマートグリッド実証設備で収集したPV発電実績データを活用し、PV発電出力予測・推定に関する検証を実施中である。次に結果の一例について述べる。

2012年3月27日の快晴日におけるPVの発電出力予測値、発電実績値、及び発電推定値を図5に、当日の上層雲量、中層雲量、下層雲量に関する3:00, 9:00, 15:00, 21:00時点の雲量予報値を図6に示す。ここで発電推定値とは、最至近の日射量実績と、日射量-発電量モデルに現在の日射量を入力して算出したPV発電出力推定値である。また発電出力予測値は3時間ごとに配信される気象庁GPVに含まれる雲量データから、雲量-日射量モデルと日射量-発電量モデルを用いて算出している。

図5から、PV発電実績値とPV発電推定値は非常に近いことが分かる。これは、将来の日射量が正確に予測できれば、PV発電出力予測の精度が高いことを意味する。一方、実際のPV発電出力予測精度は特に昼間の時間帯では約

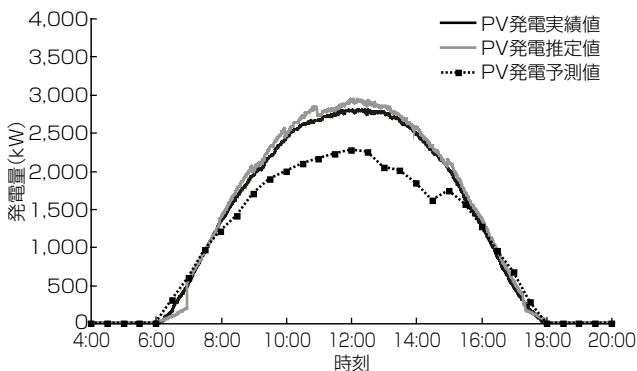
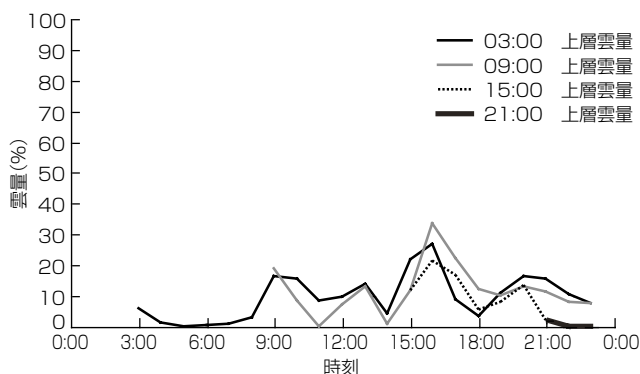
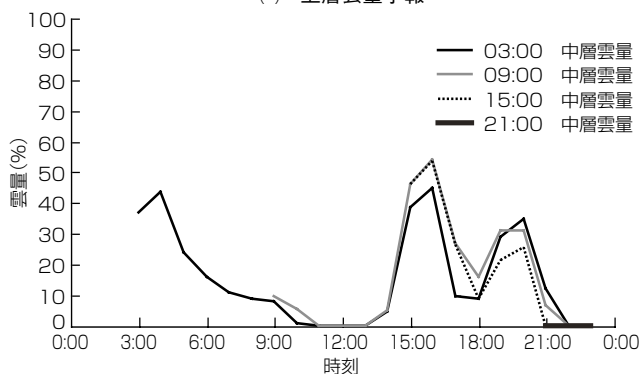


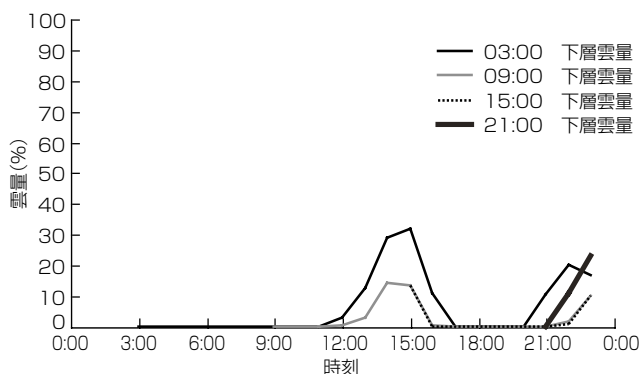
図5. 快晴日(2012年3月27日)のPV発電出力予測・推定・実績



(a) 上層雲量予報



(b) 中層雲量予報



(c) 下層雲量予報

図6. 快晴日の雲量予報値

20%低めに予測している。この時間帯の雲量予報値(図6)を見ると、どの時点の予報でも上層雲が発生している。このためPVは出力が低下すると予測されていることが分かる。

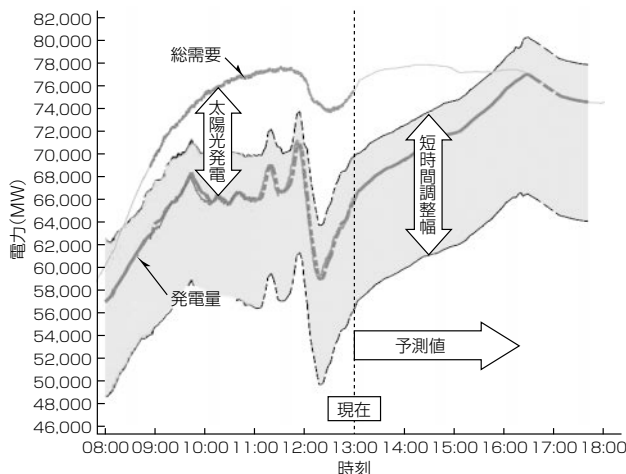


図7. PV発電出力変動を考慮した需給制御

3.2 最適需給制御に関する実証事例

3.1節で述べたように、PV発電出力予測は気象予報に依存するため大幅な精度向上は困難である。一方、需給制御ではどのような状況でも需要と供給のバランスを保つ必要がある。このため、開発した需給制御機能では、短周期の出力変動や中周期～長周期の予測誤差の範囲を想定しつつ制御を行う方式としている。図7に検証結果の一例を示す。

図7で総需要から制御対象外の太陽光発電分を除いた値が制御対象発電機の出力合計となる。需給制御では、現状の需要・PV発電出力実績から、需要変動・PV発電出力の予測と変動範囲を想定し、予測誤差・変動が発生した場合にも需給バランスの調整が可能のように短時間(5分程度)の調整幅(図中グレーのハッチング部分)を確保する条件下で発電機出力の最適化を行っている。

4. むすび

当社で開発中のスマートグリッド向け階層型需給制御と需給制御を構成する機能、及び尼崎の実証実験環境で実証中の事例について述べた。

PVや系統用蓄電池等、系統連系する分散型電源の急速な増加が見込まれる中、当社では、本稿で述べたPV発電出力予測・推定技術を始めたとして、環境に優しく、安定した電力品質を確保でき、効率的な運用を実現可能な需給制御技術の実現に向け技術開発を継続する予定である。

参考文献

- (1) マルミローリ マルタ, ほか: スマートグリッド実証実験, 三菱電機技報, **86**, No. 2, 105~108 (2012)
- (2) 塚本幸辰, ほか: スマートグリッド実証実験の紹介, エネルギーと動力, **279**, 秋季号 (2012) (掲載予定)
- (3) 古塩正展, ほか: スマートグリッド実証実験(その1) —実証実験設備構築—, 電気学会B部門大会論文II (2012) (掲載予定)