

審査の結果の要旨

氏名 高橋 雅仁

論文題目 再生可能電源大量連系に対応するデマンドレスポンスの導入可能性に関する研究

1章 序論

固定価格買い取り制度の導入以降、我が国でも、再生可能エネルギー電源（以下再エネ電源）の普及が進んでいる。太陽光発電や風力発電が電力系統に大量連系した場合、周波数調整力の不足など需給運用上の問題が発生する。この課題解決のために、地域間連系線の活用、再エネ電源の出力制御、蓄電池の利用、デマンドレスポンスなど様々な方策の研究開発が行われている。再エネ電源の出力変動に対応して需給バランスを維持するために、どのような調整資源をどの程度確保すればよいかを、コストや調整速度、潜在量を勘案して評価することが重要である。本論文の目的は、調整資源のうち「デマンドレスポンス (DR)」に着目し、需給両面から、再エネ電源大量連系に対応する DR の導入可能性を評価することである。

2章 電力系統の需給運用と再エネ電源大量連系への対応

再エネ電源の出力予測は経済的需給運用を実現する上で重要である。数値気象モデルや衛星画像による予測、統計モデルなど様々な予測手法が研究されており、10分先から1時間先、数時間先、翌日など予測時間に応じて適切な手法を用いる必要がある。しかし完全な予測は不可能であり予測誤差が残る。本研究で取り上げる FastDR は、DR 予告通知から実行までの時間（数分～1時間程度）が短いことが特徴であり、時々刻々と変化する系統側の調整力ニーズに応じて（予測誤差への対応を含む）、再エネ電源大量連系時の系統安定化に寄与することが期待されている。

3章 本研究のアプローチ

本研究では、再エネ電源出力の予測誤差に対応する調整力の使用頻度（確率）を陽に考慮するため、確率モデルとして需給運用計画モデルを定式化した。電力需要と調整力必要量（確率分布）を同時に充足するコスト最小な運用計画を

導出する。

4章 再生可能エネルギー電源出力の予測誤差特性と変動特性

再エネ賦存量が多い東北電力エリアを対象に、1時間先から翌日までのエリア大の風力発電と太陽光発電出力を予測する重回帰分析モデルを構築すると共に、2012年度データを用いて、その予測誤差特性を分析した。本モデルは統計的手法であり、数値気象シミュレーションを実行せず、詳細な地形情報や発電所情報を必要としない。検討結果では、本モデルの再エネ電源出力の翌日予測の平均予測誤差 RMSE (Root mean square error) は、数値気象シミュレーションを用いた先行研究と比べると 2-3 ポイント程度大きかった。説明変数 (気象変数、格子点) の選定の最適化により予測精度を改善することが今後の課題である。また、エリア大の風力発電と太陽光発電出力の予測誤差特性と変動特性を解析し、予測誤差や変動の分布関数は正規分布よりもラプラス分布に適合する可能性が高いことを明らかにした。

5章 再エネ電源大量連系に対応する調整力を考慮した需給運用計画モデル

再エネ電源出力予測誤差に対応する調整力の使用確率 (ラプラス分布) を陽に考慮して、1年間のコスト最適な需給運用計画を求めるモデル分析手法を構築した。本手法の利点は、各調整資源の使用確率とコスト、応答速度を勘案して、コスト最適な調整資源の構成を定量的に分析できる点である。検討例として、太陽光発電・風力発電が大量連系した場合のある電力供給エリアを対象に、①再エネ電源出力の予測誤差、②調整力の供給源を変えた場合の需給運用と供給コストを分析し、以下を明らかにした：再エネ電源大量連系時に、部分負荷運転のガス火力電源を主体となり調整力を供給すると、燃料費が安価なベース電源比率が減少するため、供給コストが上昇する (年間の単価は 9.7 円/kWh)。仮に、再エネ電源出力の予測精度が改善し、予測誤差が現状から半減すると仮定すると、ベース電源比率が上がり、供給単価を削減出来る (9.7 円/kWh→4.8 円/kWh)。一方、長周期調整力の供給源として NAS 電池を、サブアワリー調整力の供給源としてリチウム電池を導入する場合、部分負荷運転のガス火力電源が減り、ベース電源比率が上がるため、蓄電池導入コストを含めても供給単価が減少する可能性がある (9.7 円/kWh→7.4 円/kWh や 5.6 円/kWh)。

6章 デマンドレスポンスの潜在量：産業用自家発と生産プロセス、家庭用ヒートポンプ給湯

産業部門を対象にした郵送調査データを行い、自家発電/生産プロセス・機器/空調機器を用いた予備力供給型 DR ポテンシャル量 (全国大、東北電力エリア)

を推計した。季節・時間帯別に見ると、夏季・昼間だけに限らず、春秋や夜間など軽負荷期にも DR ポテンシャルがあり、例えば、全国大で、春秋・昼間に 79 ± 68 万 kW(需要造成), 78 ± 52 万 kW(需要抑制)のポテンシャルがある (±は 95%信頼区間)。また、家庭部門のヒートポンプ (HP) 給湯機の DR ポテンシャル量 (東北電力エリア) を推計したところ、2030 年度時点で最大 57 万台の HP 給湯機の可制御化が可能であり、これは 86 万 kW の需要造成 DR ポテンシャル (春季休日昼間) に相当する。

7章 調整力を考慮した需給運用計画モデルによるデマンドレスポンスの導入可能性の分析

需給運用計画モデルを用いて、DR 資源 (可制御化した家庭用 HP 給湯機、産業部門の生産プロセスからのネガワット) を調整力に活用するケースを分析した。可制御 HP 給湯機の沸き上げ電力需要の一部を深夜から昼間 (8 時-16 時) にシフトすることで、再エネ余剰電力の吸収と昼間の長周期調整力の一部に HP 給湯機が寄与できる。NAS 電池・リチウム電池に加えて、長周期調整力の供給源として DR 資源を導入する場合、部分負荷運転のガス火力電源が減り、ベース電源比率が上がるため、可制御化するための DR 導入コストを含めても供給単価が減少する可能性がある (9.7 円/kWh→6.3 円/kWh)。

8章 結論

本研究では、調整資源のうち DR に着目し、需給両面から、再エネ電源大量連系に対応する DR の導入可能性を評価した。産業部門と家庭部門 (給湯) の DR ポテンシャル量を推計すると共に、調整力を考慮した需給運用計画モデルを用いて、DR の導入が電力供給コストを抑制できる可能性があることを示した。本研究のモデル手法を用いて、再エネ電源大量連系下において、電力需要と調整力必要量 (確率分布) を同時に満たすコスト最適な調整力の資源構成を定量評価することが可能である。

以上これを要するに、本論文は、再生可能電源の出力の不確実性を定量的に分析し、第三者が利用可能な客観的数値モデルを提示すると共に、再生可能電源大量連系下における、調整力としてのデマンドレスポンスの導入可能性を需給両面から定量的に評価している点で新規性があり、電気工学、特に電力システム工学の発展に資するところが大きい。

よって、本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。