

博士論文（要約）

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

37-137059 高橋 雅仁

指導教員 松橋 隆治 教授

2016年12月1日

論文の内容の要旨

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

氏名 高橋 雅仁

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（以下再生可能電源）の普及が進んでいる。再生可能電源が電力系統に大量連系した場合、余剰電力の発生や調整力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、再生可能電源の出力制御、揚水式水力発電や蓄電池の利用、電気自動車やヒートポンプ給湯機などの需要能動化（デマンドレスポンス、以下DR）など様々な方策が検討されている。再生可能電源出力の予測誤差や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位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。本論文では、調整資源のうちDRに着目し、需給両面から再生可能電源の大量連系に対応するDRの導入可能性を評価した（図1）。

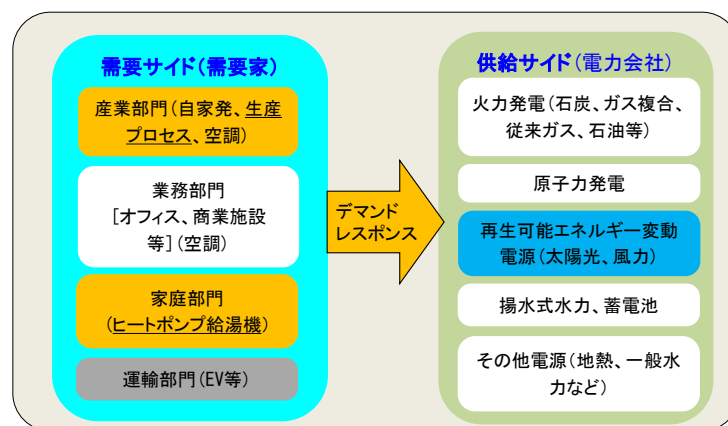


図1 需要能動化を考慮した需給運用計画モデルの模式図

(1) 再生可能電源出力の予測誤差特性と変動特性の解析

再生可能電源の賦存量が多い東北電力供給エリアを対象に、重回帰分析を用いて、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モデルを構築すると共に、同モデルの予測誤差特性を評価した（図2）。本モデルは、統計的手法によってエリア大の発電出力予測を行う。評価結果では、本モデルの翌日出力予測の平均予測誤差（RMSE）は、数値気象モデル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（表1）。説明変数（格子点、気象変数）の選定の最適化による予測精度の改善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と出力変動の特性を解析し、先行研究が示唆した通り、誤差と変動の分布関数は正規分布よりもラプラス分布の適合度が高いことを定量的に明らかにした。

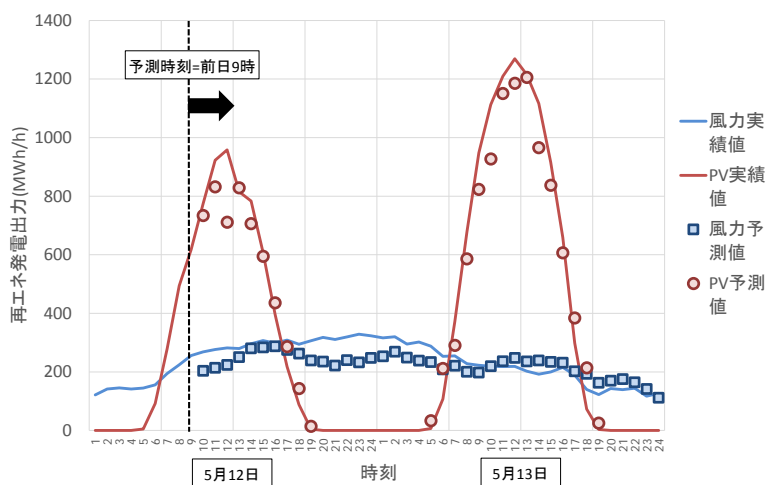


図2 予測値と実績値の比較（再エネ比率が高い日，5月12-13日）

表1 本論文モデルと先行研究の平均予測誤差（RMSE）の比較

		風力発電	太陽光発電
本論文モデル	1時間先	9.4%	9.7%
	16時間～39時間先平均	11.7%	11.4%
先行研究 (数値気象モデル を用いた予測)	1時間先	5%以下	3.9%-7.3%(平均 5.5%)
	翌日	9.5%	6.6%-10.0%(平均 8.4%)

（2）産業部門および家庭用ヒートポンプ給湯機におけるDRポテンシャル量の推定

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，東北地域）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ポテンシャルがある。1時間前予告DRでは、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（±は標本誤差による95%信頼区間）（図3）。制御設備別に見ると、自家発電のDRポテンシャルが最も大きく、生産プロセス・機器は需要抑制ポテンシャルは大きい，需要造成ポテンシャルは小さい。一方，東北地域内の家庭用ヒ-

トポンプ給湯機のDRポテンシャル量を推計したところ、2030年度時点で最大57万台のECONET Lite接続可能な家庭用ヒートポンプ給湯機が導入可能であり、これは86万kWの需要造成DRポテンシャル（夏季平日昼間）に相当する。

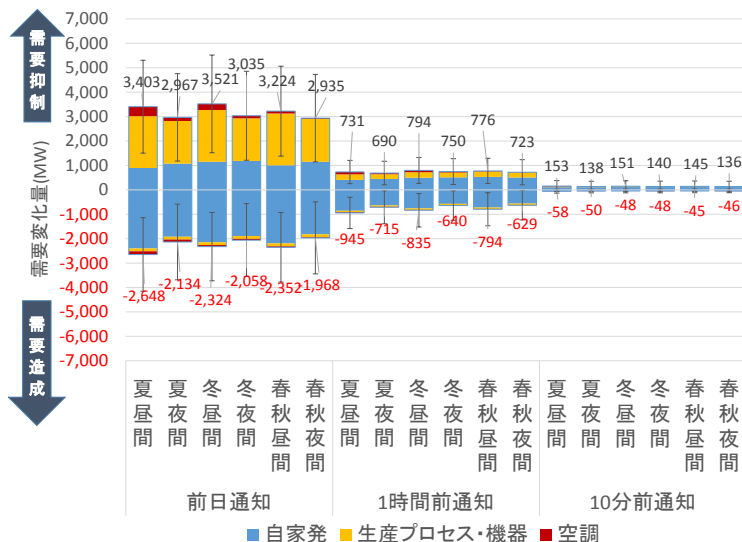
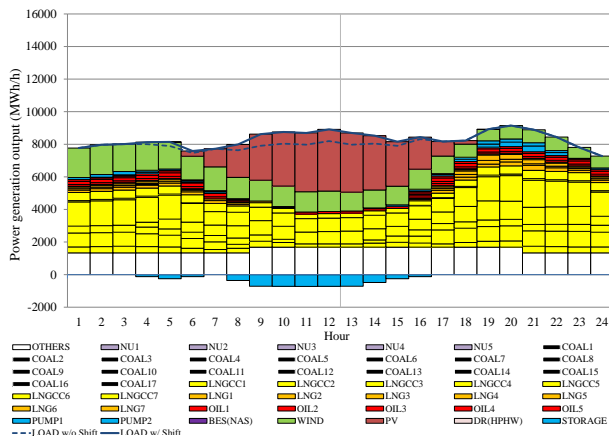


図3 季別・通知時間別の予備力供給型 DR ポテンシャルの推定値（全国大）

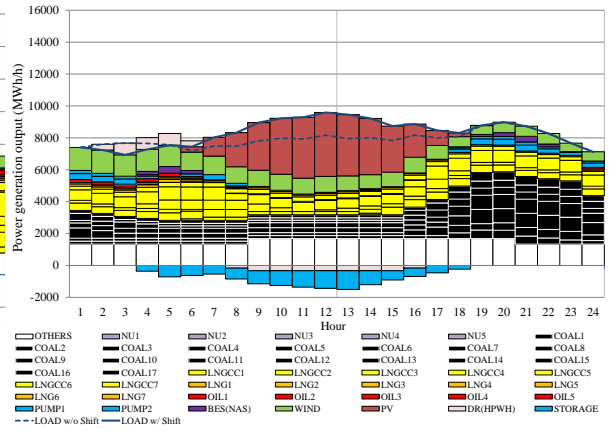
(3) 再生可能電源大量連系に対応する調整力を考慮した需給運用計画モデルの構築

再生可能電源の予測誤差分布を陽に考慮し、調整力を含めた1年間のコスト最適な需給運用を求めるモデル分析手法を構築した。本手法により、各調整電源の調整速度や年間使用確率、コストを勘案して、最適な調整資源構成を定量的に分析出来る。検討例として、再生可能電源の賦存量が多いある電力供給エリアを対象に、太陽光発電・風力発電が大量連系した場合を考え、①再生可能電源出力の予測誤差、②調整力の供給源を変えた場合の調整資源構成とコストを求め、以下を示した(図4-図6)。

- ◇ 再生可能電源が大量連系する場合、部分負荷運転のガス火力によって調整力を供給すると、原子力発電など燃料費が安価なベース電源比率が減少するため、発電単価が4.3円/kWhから9.7円/kWhへ上昇する(図6のCase2)。再生可能電源の予測誤差が改善するとベース電源比率が上がるため、単価を削減出来る(図6のCase3)。
- ◇ 調整力として蓄電池(NAS電池, Li電池)やDR(家庭用ヒートポンプ給湯機の可制御化, 産業部門の生産プロセス需要からのネガワット)を導入する場合、調整力必要量の一部を蓄電池(BES)やDRが担うため(図5)、調整力を供給するガス火力が減少しベース電源比率が上がり(図4のCase6)、蓄電池やDRの導入コストを上乗せしてもシステム全体の供給単価が減少する可能性がある。例えば、NAS電池・Li電池各0.5GW, 各1GWを導入するCase4とCase7は7.4円/kWh-5.6円/kWh, NAS電池・Li電池各0.5GWとDRを導入するCase6は6.3円/kWhとなり、蓄電池やDRを導入しない場合(9.7円/kWh)と比べてコスト削減できる(図6のCase4, Case6-7)。



(a) Case2: 調整資源が火力電源と揚水式発電

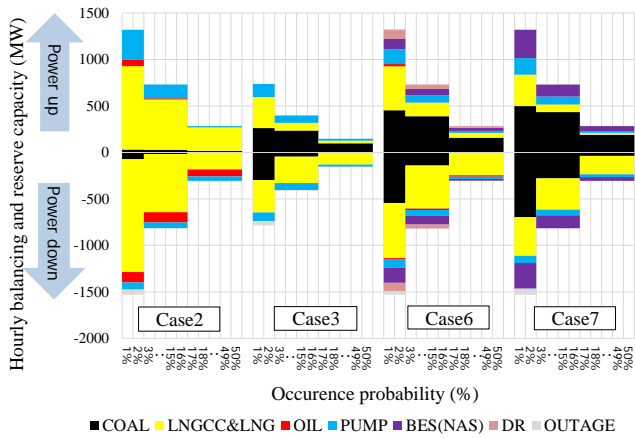


(b) Case6: 調整資源が火力電源と揚水式発電、

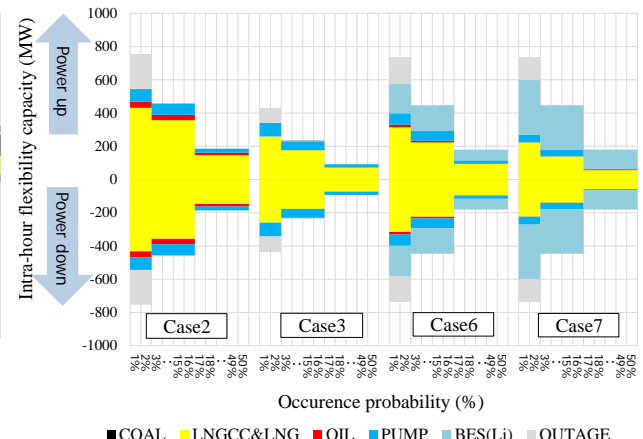
の場合

蓄電池、DR 資源の場合

図4 春季休日（再エネ比率：高い）の電力需給カーブ



(a) 長周期調整力



(b) サブアワリー調整力

図5 各ケースの調整力の資源構成

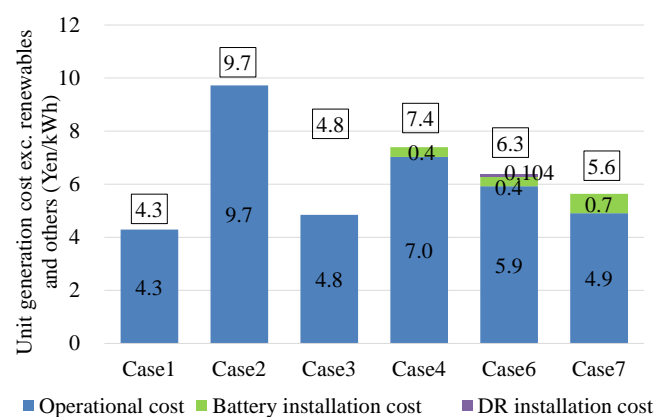
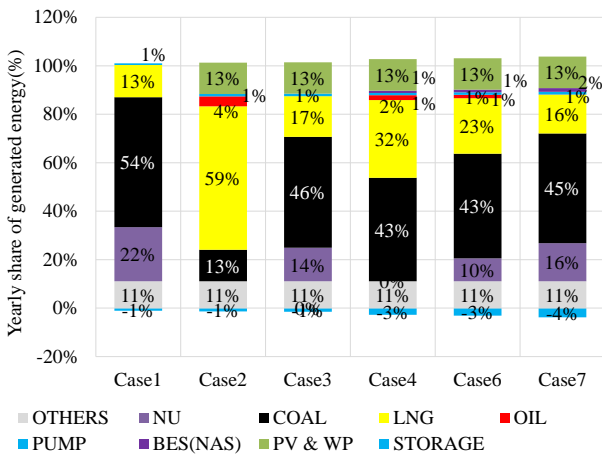


図6 各ケースの年間発電電力量シェアと供給単価（再生可能電源・その他電源コストを除く）