

論文の内容の要旨

論文題目 再生可能エネルギーの変動特性を考慮した最適電源構成に関する研究

氏 名 山 岸 良 雄

エネルギーセキュリティ確保や低炭素化等の観点、また 2011 年 3 月の東日本大震災とその後の原子力発電のトラブルなどを背景として、太陽光発電（PV）等を中心とした再生可能エネルギーへの関心が高まっている。我が国における各種再生可能エネルギーの導入ポテンシャルについては、幾つかの検討事例があり、たとえば平成 22 年 2 月に開催された地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討委員会資料においては、PV のポテンシャルは住宅・非住宅を合わせて約 80 億 kW、風力発電は 1.3 億 kW とされており、コストや立地を勘案しない潜在的な値としては、PV や風力発電の可能性は非常に大きい。しかしながら、現時点においては価格競争力が不十分であることや、その出力変動特性が十分に解明されていないことから、再生可能エネルギーの導入量は比較的少量にとどまっている。

今後の技術革新および国家政策により再生可能エネルギーが電力系統に大量導入された場合には、需給面をはじめ電力システムに大きな影響を及ぼすことが予想される。なかでも PV はその潜在的な発電可能量が非常に大きいと考えられ、電力システムへの影響評価にあたっては、その出力の変動特性等を正しく把握して、モデル化することが重要である。また、その年間の変動様相は年ごとにも異なると考えられるため、長期にわたる観測データの蓄積が重要となる。しかしながら、長期にわたる広域・多地点における詳細な日射量の観測の実施は未だ不十分であり、今後更なる実測とあわせた検討が必要とされている。

また一方、将来的な電源構成のあり方についても、特に震災以降、さまざまな立場や前提条件を元に、大きく異なる見解が提示されており、何が正しい選択なのかははっきりしないのが現状である。具体的には、原子力発電への依存度をいつごろまでにどの程度のレベルとするかをはじめ、電力需要が今後どのように変化するか、電源の低炭素化を目指した再生可能エネルギーの導入レベルはどうなるか、また、再生可能エネルギー大量導入に必要な蓄電池などの設備の必要量、各種火力発電用燃料の価格動向など、さまざまな分野について数多くの選択肢が考えられる。

発電から送変電、配電設備を経由して需要家まで電力を供給する、いわゆる電力システムは、これを構成する設備の寿命が数十年から場合によっては百年近くにもなる。このように、いわば非常に時定数の長いシステムの設計にあたっては、短期的・場当たりの対応で方向性を大きく変更することは非常に困難であり、仮にそれが可能であった

としても、大きな損失が発生する危険性がある。反面、現状維持にとらわれていては、世界の情勢や技術進歩の流れからいつの間にか大きく遅れを取ってしまう恐れがある。このため、将来の電力システムの設計にあたっては、さまざまな可能性を俯瞰的に評価し、慎重に議論を重ねた上で長期的な目標を明確化することが不可欠である。

このような長期的な将来の問題を検討する際には、技術面からも経済的な面からも不確実性が非常に大きい。このため、複数のシナリオを想定したり、各種のパラメータを大きく変化させたりしながら、数多くの事例を検討する必要がある。多数の事例を効率的に検討するためには、可能な限りシンプル・かつ現実と乖離しないモデルを用いなければならない。しかしながら、現在議論が行われている、再生可能エネルギーの導入可能量の検討等においては、その地域的な偏在状況、出力変動の状況、季節・時間帯別の発電量を詳細に確認せず、年間の需要と発電電力量の総合計のみで議論が進められる例が見受けられる。また、より詳細な最適電源構成を検討する場合においても、従来は負荷持続曲線や、年間のうち代表的な数日のデータを用いた検討が行われることが一般的であった。これらの検討では再生可能エネルギーの短周期および長周期の出力変動の実態が必ずしも正確に反映されていない恐れがある。

本研究では、これらの問題点を解決し、より実態に近い形で最適電源構成の評価を行うことを目指して、再生可能エネルギーとして潜在的な能力の大きい太陽光発電を主な検討対象とし、これが大量導入された将来断面における最適電源構成を線形計画により実施する手法を提案し、その手法を用いた検討事例として、北陸地域を題材にしてとりまとめた。具体的には以下の通りである。

第2章ではまず、実測されている日射量等、現時点で入手可能な限られたデータを用いて、将来太陽光発電が大量導入された場合にどのような出力変動が発生するであろうかという推定を実施した。具体的には、経済産業省資源エネルギー庁の補助事業として全国約300地点で2009年度より順次計測を実施している全天日射量データのうち、北陸地域20地点の観測データを使用して、PV大量導入時の出力変動の、周波数領域および時系列の変動の大きさを推定した。

推定手法としては、主に遷移仮説法を用いた。本論文の中では、この遷移仮説法におけるPVの地域偏在の取り扱い方法に関する検討を実施し、一つの手法を提案した。提案手法を用いて検討を実施した結果、偏在を考慮した場合にはこれを考慮しない場合に比べて短周期変動が若干大きくなる傾向があるものの、検討の一例によれば20分間の最大出力変動幅で評価した場合でたかだか20~30%程度の増加であり、その影響は限定的であることが明らかとなった(図1)。

地点数が多くなった場合には、短周期の変動は相対的に小さくなることから、最適電源計画の検討などには、時間的な解像度が低くても、空間的な解像度が高い気象庁の地域気象観測システム(いわゆるアメダス)データなどの既存データを活用した検討の有効性が期待されることがわかった。

第3章においては、第2章の結果を踏まえた上で、我が国でこれまでに長期間のデータ蓄積のある気象庁のアメダスデータを用いて、複数年度の時系列の日射量推定データを作成する手法を提唱し、実測日射量との対比によりその推定精度の検証を実施した³⁾。

アメダスデータを用いて日射量を推定するにあたっては、基準となる日射量の計測データが必要となるが、今回は第2章で利用した日射量データを用いることとした。この

場合、アメダスの観測地点と異なる地点での推定となることから、まずこれを補正するための重みづけ手法について検討を実施した。複数の観測点から、特定の1点の日射量を推定する場合には、観測点と推定点の距離に反比例するような重みづけを行うと精度が高いことが分かった。この方法を用いて、北陸地域の26地点のアメダスデータから、水平面全天日射量を計測している20地点の平均の推定値を求めた(図2)ところ、相関係数0.98以上の精度であった。このことから、アメダスデータを利用したエリア日射量の推定は、最適電源計画等においても十分活用可能な精度を持つと考えられ、過去のアメダス観測データを活用した諸検討の有効性が示された。

第4章においては、現時点における日射量および発電予測の精度把握と複数の評価指標による評価を試みた。具体的には、気象庁の数値気象予報データを用いた日射量予測手法により、当日から2日先までについて1年間の日射および発電量予測を実施し(図3)、その精度を評価するとともに、評価指標の前提条件を変更することにより、どの程度評価値が変化するかについて考察を実施した。

今回の予測手法評価においてはエリア合計ではなく、気象官署1地点ごとの予測を実施していることや、観測データを用いた補正等を実施していないため、翌日予測の二乗平均平方根誤差率(%RMSE: %Root Mean Square Error)が40%前後と高目の数値となっているが、複数地点において、多数の指標と条件による精度を提示することにより、これまでに公表されている予測の精度との相対的比較の目安としての活用等が期待できる。

またPVの定格出力を基準値としたPVの発電出力予測誤差という観点で考えると、当日1時間値の二乗平均平方根誤差(RMSE:Root Mean Square Error)が12~15%台、2日先で13~16%台の値となった。また、5つのPVサイトの合計値では、当日9.3%、2日先で11.1%程度の誤差となった。

第5章においては、長期的な将来時点における電源構成を検討するための最適電源計画モデルを作成し、各種文献調査により得られた前提条件や、第3章で提案された手法を元に作成されたPV出力想定データなどを用いて、CO₂排出量制約などの各種の制約条件や、燃料価格、PV設備並びに蓄電設備の費用等をパラメータとした分析を実施した(図4)。

いずれのシナリオにおいても最適解がない状況とはならなかったが、再生可能エネルギー主体で低炭素化を極端に推進した場合には、将来的な価格低下を織り込んだうえでも発電単価の上昇や余剰電力の発生が想定され、今後この方面での技術開発が必要と考えられる。

また再生可能エネルギー比率が大きい状態で最適電源構成の計算を実施した場合、年度によって最適化の結果にかなり差が出る場合があることがわかった。このことから再生可能エネルギーの導入が進んだ場合には、その出力を正確に予測する技術が重要になると考えられる。

複数年のPV平均値により最適電源構成の計算を実施した場合には必要な蓄電池容量が少なめとなる傾向が見られた。今後、複数のケースでこの傾向が見られるかどうかさらに検証する必要があるが、このような傾向がある場合には、複数年度のデータを使用して計算を実施するなどの対策が必要と考えられる。

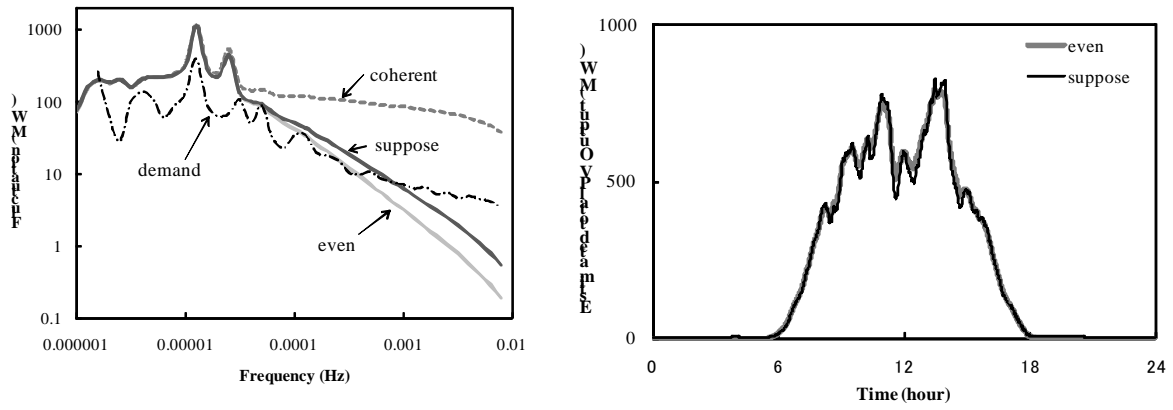


図1 PV偏在考慮の有無による出力変動の差異

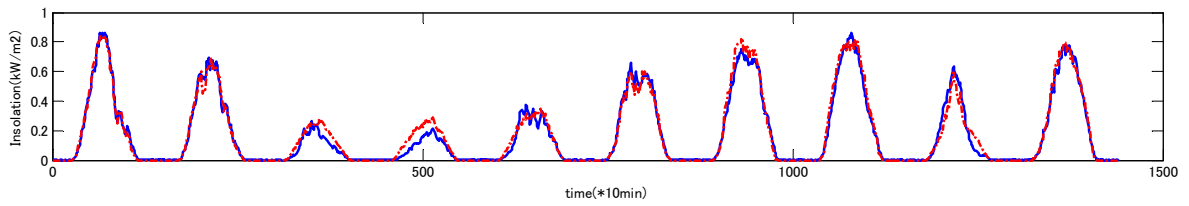


図2 エリア平均日射量の推定結果 (2010年7月)

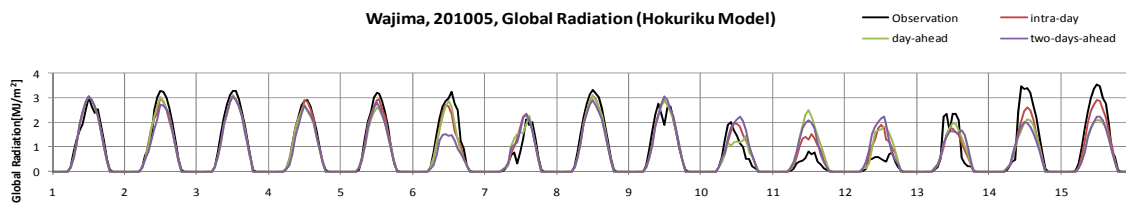


図3 輪島地点における水平面全天日射量の予測結果 (2010年5月上旬)

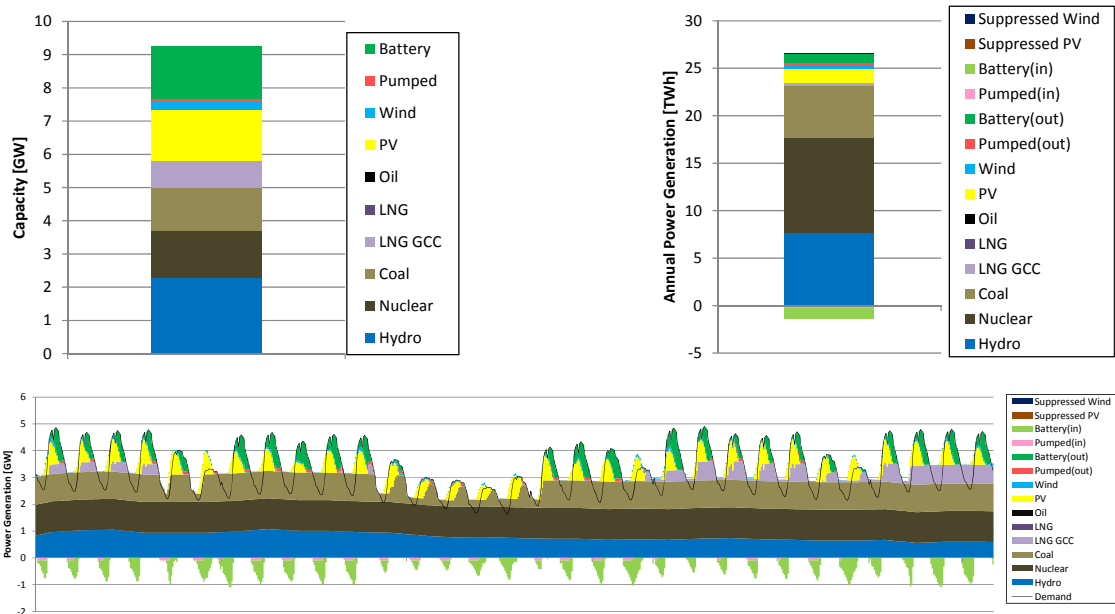


図4 最適電源構成の計算例