

博士論文（要約）

論文題目 大量導入された太陽光発電
の出力変動特性評価手法に関する研究

氏名 名古屋 洋之

低炭素社会の実現に向けて、太陽光発電（以降、PVと呼ぶ）を中心とした再生可能エネルギー（以降、REと呼ぶ）への注目が高まっている。我が国における各種のRE導入量ポテンシャルについては様々な報告例があるが、風力は1.3億kW、PVは住宅・非住宅を合わせて80億kWという報告例もあり、コストや立地といった現実的な制約を考慮しなければPVや風力の持つ可能性は非常に大きいと言えるが、現時点で導入量は賦存量に比して少量に留まっている。しかしREの導入拡大は政策として今後も強力に推進されていくであろうし、電気事業者にとっては真摯にそして前向きに取り組むべき課題である。だがREのように気象条件によって出力が大きく変動する電源が電力系統に大量導入された場合には、需給調整面や電圧管理面において電力系統の運用・計画に大きな影響を与えることが予想されるため、電力系統側では出力変動の影響を緩和する設備対策が必要とされている。

系統影響緩和対策の実施量とコストはREの出力変動特性の評価次第で大きく左右されるが、このREの出力変動特性の評価は“ならし効果”と呼ばれる事象の評価に大きく左右される。“ならし効果”とは、①REが分布する対象地域が広いほど、②REの数が多いほど、③REの出力変動周期が速いほど、REの合計出力変動が穏やかになる事象である。すなわち、ならし効果は出力変動電源であるRE自身が持つ出力変動影響を緩和する因子と言える。よって、出力変動の影響を過大に評価しないためには、REのならし効果を正確に把握・評価する必要がある。なかでも潜在的な総発電可能量が大きいPVの大量導入が電力系統へ与える影響の評価にあたっては、PVの出力変動特性を正確に把握し、ならし効果を評価するための手法を確立することが重要である。

たとえば欧州の風力発電のように既に大量導入されている出力変動電源のならし効果は、現時点で計測可能なデータにより現実に観測される事象として把握できるが、我が国ではPVの大量導入が将来の課題であるため、現時点で手に入る数限られた地点数のデータから将来的な大量導入時のならし効果を評価・把握する必要がある。ならし効果の評価は、これまで多方面で数多く試みられてきたが、いまもってなお、ならし効果を定量的に評価・把握する手法の確立にはいたっていないのが現状である。

また、現時点でも将来のPV大量導入に向けて系統影響緩和対策が提案・検討されているが、これらの検討ではPVのならし効果を陽に考慮していない場合も見受けられる。そのような場合はPV出力変動の影響を過大に評価することになるため、見積もられた系統影響緩和対策の量およびコストが過剰なものとなっている可能性は否定できない。

よって本研究では、ならし効果というPV自身もつ出力変動の影響を緩和する因子を考慮したうえで大量導入されたPVの電力系統への影響を検討することを目指して、PVの出力変動特性（ならし効果）を表現する手法を検討し、さらにならし効果を考慮したうえで数限られたデータからPV大量導入時における出力変動を推定する手法を構築した。また、構築した推定手法の実用的価値を示す例題として負荷周波数制御（以降、LFCと呼ぶ）や日射量予測の検討を行いとりまとめた。具体的には以下のとおりである。

第2章ではまず、現時点で入手可能な限られた日射量データからならし効果を考慮したうえで大量導入されたPVの出力変動を推定する手法を構築した。ここで用いるデータは、経済産業省資源エネルギー庁の補助事業（分散型新エネルギー大量導入促進系統安定対策事業）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15地点の計測データである。

15地点の計測データを分析しPV出力変動特性が遷移仮説法によって表現可能であることを示したうえで、遷移仮説法に基づいて、数限られたデータからPV大量導入時を推定する手法を構築した。さらに構築した推定手法の妥当性の検証として、現在手に入る15地点のデータによる検証を行った。具体的には、15地点から少数地点（3地点）を選択し、少数地点のデータから15地点を推定した結果を15地点の計測値と比較した。3→15地点を推定した結果と15地点の実測値はよく一致していたことから、構築した推定手法の妥当性を確認した。さらに、そうして妥当性を確認した手法により、15地点のデータから北陸地域にPVが大量導入された場合の出力変動を推定した。スペクトルによる推定では、短周期のPV出力変動が需要変動よりもわずかに小さいことがわかった。また、時系列データによる推定では大量導入時には出力変動が穏やかにならされていることがわかった（図1）。

本研究は風力で検討されていた遷移仮説法をはじめてPVに応用したものである。また遷移仮説法に基づいて、限られた地点数のデータからPV大量導入時の出力変動特性を推定する手法を構築し、さらに推定手法の妥当性を計測データにより直接的に検証している。これらは本研究のオリジナルであることをここに述べておく。

第3章では、第2章で構築した推定手法における遷移周期と呼ぶパラメータがPV大量導入時の推定結果に与える影響について検討した。推定手法においてならし効果を表現するために重要である遷移周期について、第2章と同じ15地点における2年間分のデータについて季節別・月別、および日射変動の激しい日に関する日射量変動特性の分析を行い、各ケースで遷移周期を算出したところ最小：6.5時間、最大：11.5時間であった。

そして、第2章における15地点データによるPV大量導入時の出力変動推定（遷移周期7.5時間を使用）において、遷移周期の最小値・最大値（6.5時間・11.5時間）を用いた場合に推定結果にどのような差異があるかを検討することで、遷移周期が推定結果に与える影響を考察した。スペクトルおよび時系列データの推定について、いずれの遷移周期を用いても推定結果に極端な差異のないことがわかった（図2）。

第4章においては、第2章で構築した推定手法について、一つの配電線が供給するエリア程度の狭い範囲での適用を検討した。ここでは北陸地域で実際に運用されている1つの配電線が供給するエリア（約4km四方）の17地点で計測した全天日射量データを用いて検討した。17地点のデータを分析したところ、遅い変動は同期し、速い変動はランダムである傾向を示しており、変動特性は遷移仮説法によって説明可能であった。また、同期が崩れ始める遷移周期を求めると16分と、北陸地域全体を対象としたとき（7.5時間）よりも短くなり、同期傾向がより速い周期にまで及んでおり定性的に説明のつく結果となった。

そして、17地点の計測データから対象とした配電線にPVが大量導入されたときの出力変動を時系列データで推定したところ、速い変動がならされることを確認した（図3）。図3は今回対象とした1つの配電線におけるPV大量導入時の出力合計に関するものであるが、同じ配電バンクから引き出されている他の配電線についても同様の推定

手法により、配電線ごとに PV 大量導入時の出力合計をそれぞれに求めることができる。これらの配電線ごとの PV 大量導入時の出力合計は、配変バンク単位での配電線電圧上昇抑制対策の電圧シミュレーションによる検討に活用できるものと期待できる。

第 5 章では、第 2 章で提案した推定手法の実用的価値を示す例として、PV が大量導入された電力系統における LFC について検討した。具体的には、第 2 章で構築した手法によりならし効果を考慮したうえで推定した PV 大量導入時の出力カーブを用いて、PV が大量導入された電力系統において LFC への影響を検討した。

現在手に入る少数地点のデータでみたときに出力変動の激しい日(晴れ曇りの日)は、PV 大量導入時には総出力変動は穏やかにならされるため、連系線潮流偏差が増大することはないが、少数地点のデータでみたときに出力変動は激しくないが PV が大量に発電する場合(エリア全域で快晴の日)は、可変電源が抑制され LFC 調整力(可変電源出力)が不足し、連系線潮流偏差が増大することがわかった(図 4)。

第 6 章では、第 2 章で提案した推定手法の実用的価値を示すもう一つの例として、日射量の予測精度を PV 大量導入時に相当する地点数で検討した。具体的には、第 2 章で構築した推定手法を用いて、現在手に入る 20 地点データから、地点数が PV 大量導入時にまで増大したと推定した値を“仮の真値(リファレンス)”として用いることで、PV 大量導入時に相当する地点数での日射量予測(エリア日射量予測と呼ぶことにする)の精度検討を行った。その結果、1 時間という時間間隔の予測では、北陸地域の 20 地点でのポイント日射量予測値合計の精度と、エリア日射量予測の精度に大きな差はみられなかった。よって、同地域で 1 時間間隔でのエリア日射量予測精度を検討する場合は、20 地点の計測データによる検証で代表できる可能性があることがわかった(図 5)。

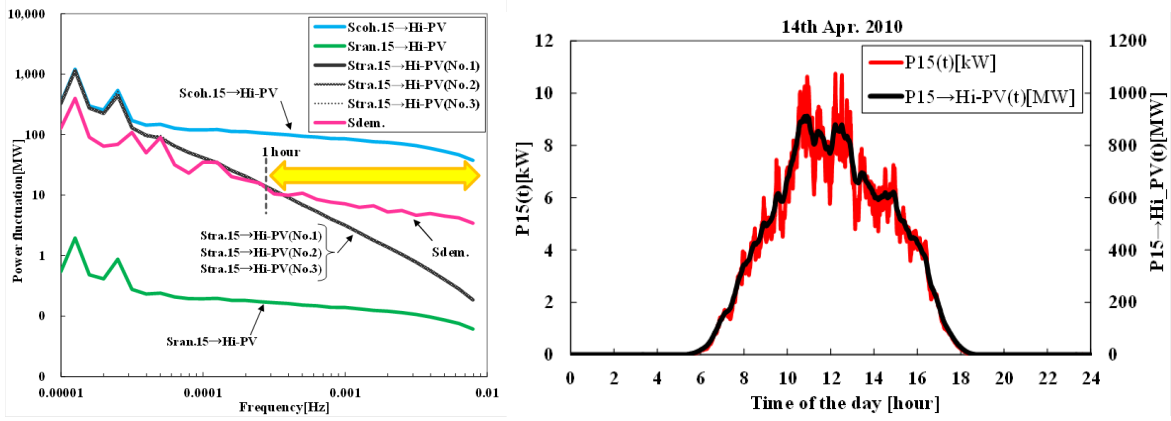


図1 PV大量導入時の出力変動推定結果

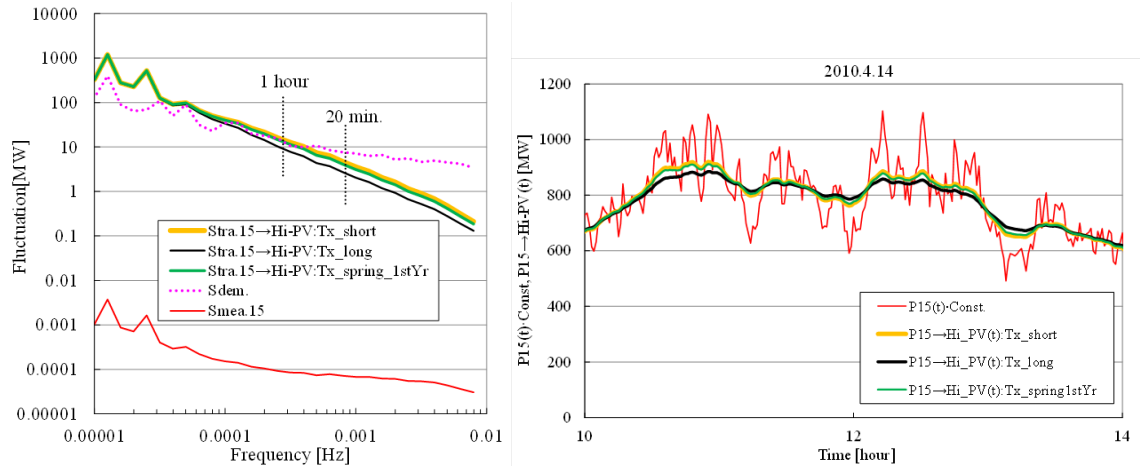


図2 遷移周期がPV大量導入時の出力変動推定結果に与える影響検討

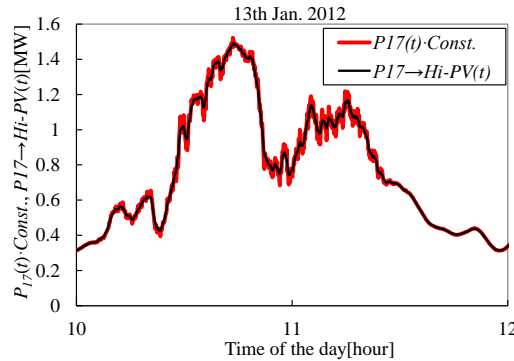


図3 配電線エリアにおけるPV大量導入時の出力変動推定結果

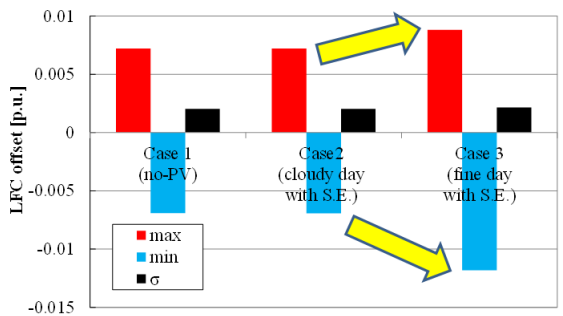


図4 PV大量導入時のLFCへの影響検討

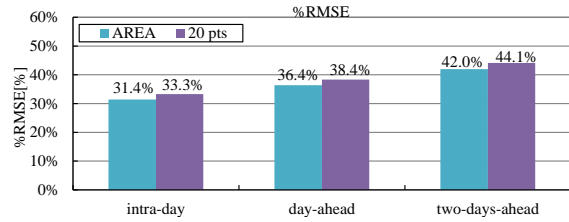


図5 エリア日射量予測精度の精度検討結果