

称号及び氏名 博士（工学） 根岸 信太郎

学位授与の日付 平成 30 年 3 月 31 日

論 文 名 「ネット電力需要の短期予測および長期推計に関する研究」

論文審査委員 主査 石亀 篤司

副査 小西 啓治

副査 森澤 和子

論文要旨

2011 年に発生した東日本大震災に端を発して、大規模集中電源の停止に伴う供給力不足による計画停電や節電要請といった需要抑制を行わなければいけないような厳しい電力需給状況が続き、当時の電気事業の在り方について批判が集まった。加えて、2008 年の第 4 次電気事業制度改革が当初から 5 年程度で見直す予定だったこともあり、2015 年から 2020 年にかけて第 5 次電気事業制度改革となる「電力システム改革」が段階的に実施されている。

この電力システム改革に伴い、2016 年 4 月に電気事業の事業類型が変更となり、電力の小売を行う小売電気事業者が登場した。新規参入した小売電気事業者は、旧一般電気事業者と比較して契約している需要家数が非常に少ない。そのため、電力需要予測・需要計画を作成するにあたって、小売電気事業者は需要家数の変動の影響を無視できない。

電力需要の短期予測に関する先行研究は、いずれも旧一般電気事業者のようなすでに多くの需要家と契約し、過去数年分の需要実績データを持つような状況での利用が想定されている。予測モデルを構築する際に用いる学習データのサンプルサイズが十分に確保されていれば、先行研究で提案されて

いる手法を用いることで良好な予測精度を得ることができる。しかし、新規契約した需要家については過去 13 か月分の需要実績データしか得られない。そのため、これまで提案されてきた短期予測手法では、サンプルサイズが小さいため良好な予測精度が得られない。

そのため、スイッチングによる需要家数の変化や各需要家の特性に対して順応的に需要を予測することができる手法が必要となっている。

また、我が国では 2012 年より現在に至るまで固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tariff) と呼ばれる再生可能エネルギー普及政策を実施してきた。FIT により、再生可能エネルギーの中でも太陽光発電 (PV) については、特に導入が進んでいる。

需要家の電力需要から再生可能エネルギー発電出力を引いた残りの電力需要をネット電力需要という。以前より設置されている電源である火力・水力・原子力といった電源を持つ発電事業者および一般送配電事業者は、ネット電力需要に対して発電計画を立て運用を行うことになる。また、小売電気事業者の場合、供給対象である需要家の中に PV をはじめとした再生可能エネルギー電源を用いて自家消費を行う需要家が数多く現れることも十分に想定される。

そこで本論文では、電力システム改革に伴う小売電気事業者の登場と再生可能エネルギー電源の急速な普及という環境変化に対応することを背景として、ネット電力需要に関する短期予測手法の提案および長期推計を行う。

具体的には、小サンプルでも良好な予測精度を得ることのできる短期予測手法を提案する。品質工学分野で提案されたタグチの T 法と呼ばれる回帰手法を援用して、スイッチングによる需要家数の頻繁な増減および新規契約した需要家の需要実績データの不足といった小売電気事業者の環境に対応できる翌日の日負荷曲線を予測する手法を提案する。日負荷曲線については、PV の導入の有無も考慮して検討する。

また、将来広域的に PV の普及が進んだ場合に生じるネット電力需要の日負荷曲線の特徴 (ダックカーブ) について、現在の日負荷曲線が持つ特徴からどのように変化していくのか動的な評価を行うことは電力システムの中長期的な設備構成を考えるうえで重要である。そのため、PV の普及が進む電力システムにおけるネット電力需要の日負荷曲線に関する長期推計と長周期変動の分析を行う。

前者で対象とするネット電力需要は、小売電気事業者の供給対象である需要家という比較的ローカルかつスイッチングによる流動性を持つような需要である。一方で、後者で対象とするネット電力需要は、旧一般電気事業者が供給対象としていた広域なエリアの議論であり、数年～数十年先という中長期的な需要である。

本論文の構成は以下のとおりである。

第 1 章では、本論文で実施した研究の背景である電力システム改革と固定価格買取制度の実施に伴う再生可能エネルギーの普及について解説し、本論文全体を通じた研究の意義とともに概要について述べた。

第 2 章では、一般的な電力需要の分類や本論文で主題とするネット電力需要について述べるとともに、電力需要の短期予測および長期推計に関する先行研究について述べた。また、先行研究との対比から、本研究で提案する短期予測手法および長期推計の立ち位置について述べた。

第 3 章では、スイッチングによる需要家数の頻繁な増減および新規契約した需要家の需要実績データの不足により、予測モデルのパラメータ推定に用いる学習サンプルが短期間・小サンプルになると

いう小売電気事業者における電力需要予測の短期予測の課題に対して、タグチの T 法と Peculiarity Factor を援用した翌日日負荷曲線予測手法を提案した。また、関西電力管内の電力需要実績データと気象庁の地上気象観測データを用いた数値実験により、提案手法と従来手法として重回帰分析を用いた予測手法との比較を行った。その結果、10 週（約 2 か月）以下という短期間・小サンプルの学習データによって予測モデルのパラメータ推定を行わなければならない場合には、タグチの T 法を予測モデルに用いる方がよい予測精度を得られることを確認した。また、数値実験結果に対して極値理論を援用し、提案手法および比較手法の予測が大きく外れる確率の評価を行った。その結果、提案手法を用いることで予測値が大外れする確率を低減できることを確認した。また、提案手法を PV が導入されているネット電力需要の日負荷曲線予測に拡張した。需要規模に対して PV の導入率を変化させながら、PV 出力と需要家の電力需要を個別に予測した上でネット電力需要の予測を行う場合（2 モデル予測）と、両者を差し引きしたネット電力需要を直接予測する場合（1 モデル予測）のどちらの場合が予測精度を向上させるのかについて検討を行った。その結果、一定の導入率までは 1 モデル予測を行うことによって、2 モデル予測を行う場合より予測モデルの回帰に対するデータの当てはまりがよくなり、予測精度が向上することを確認した。その一方で、PV の導入率が増加するにつれて回帰に対する分散が増加し、2 次関数的に予測精度が悪化する傾向が確認された。

第 4 章では、PV の普及が進む関西電力管内を対象として、エリア内日射量分布と各市町村の PV 導入容量データから動的に推計した中長期的なエリア PV 出力の時系列データおよびネット電力需要の日負荷曲線を用いて、ネット電力需要の日負荷曲線の分布および長周期的（30 分～数時間）な変動特性について評価を行った。また、ネット電力需要の長周期的な変動特性に関する年次変化についても確認し、現在の電力需要の日負荷曲線から将来のネット電力需要の日負荷曲線、いわゆるダックカーブへどのように移行していくのかについて検討を行った。その結果、PV 導入容量の増加とともに日中のネット電力需要の分布が下方へシフトすることと、その分散が 2014 年を基準として 2018 年には 1.16 倍、2023 年には 2.16 倍、2028 年には 3.60 倍に増加していることが確認された。加えて、PV 導入容量の増加に伴い、ネット電力需要の増加・減少方向の両方について段階的に変動幅が増加し、増加傾向・減少傾向ともに最大 480 分（8 時間）の変動が確認された。長時間にわたる増加方向の変動は 2014 年時点にはない変動であるため、PV の普及が進むネット電力需要の日負荷曲線にとって特徴的な変動といえる。さらに、増加傾向の変動幅と減少傾向の変動幅を比較すると、増加傾向の方が 2 割程度大きくなることを確認した。これは、午前中において PV 出力が増加するとともに需要家の電力需要も増加するため、ネット電力需要の減少傾向の変動トレンドが緩和されているということと、午後に PV 出力が減少するとともに日没時刻に向けた需要家の電灯需要の増加が同時に生じることでネット電力需要の増加傾向の変動トレンドが強められていることによって生じるものである。

第 5 章では、本論文で述べたネット電力需要の短期予測手法および長期推計で得られた知見についてまとめ、今後の将来的な発展について述べた。

審査結果の要旨

本論文は、電力システム改革に伴う小売電気事業者の登場と FIT に伴う再生可能エネルギー電源の急速な普及という環境変化に対応できる、ネット電力需要の短期予測手法の提案と長期推計について研究したものであり、以下の成果を得ている。

- (1) 需要家数の頻繁な増減により、予測モデルのパラメータ推定に用いる学習サンプルが短期間・小サンプルになるという小売電気事業者における電力需要短期予測の課題に対して、タグチの T 法を援用した翌日日負荷曲線予測手法を提案した。また、電力需要実績データと気象庁の地上気象観測データを用いた数値実験により、提案手法と重回帰分析を用いた従来予測手法との比較を行った。その結果、10 週以下という学習データによって予測モデルのパラメータ推定を行わなければならない場合には、タグチの T 法を予測モデルに用いる方がよい予測精度を得られることを確認した。また、数値実験結果に対して極値理論を援用し、予測が大きく外れる確率の評価を行い、提案手法を用いることで予測値が大外れする確率を低減できることを確認した。
- (2) 提案手法をネット電力需要の日負荷曲線予測に拡張した。太陽光発電設備の導入率を変化させながら、太陽光発電出力と需要家の電力需要を個別に予測した上でネット電力需要の予測を行う場合（2 モデル予測）と、両者を差し引きしたネット電力需要を直接予測する場合（1 モデル予測）のどちらの予測精度が高いかについて検討を行った。その結果、一定の導入率までは 1 モデル予測の方がモデルの回帰に対するデータの当てはまりがよくなり、予測精度が向上することを確認した。一方で、PV の導入率が増加するにつれて回帰に対する分散が増加し、2 次関数的に予測精度が悪化する傾向が確認された。
- (3) PV の普及が進む地域を対象として、エリア内日射量分布と各市町村の PV 導入容量データから動的に推計した中長期的なエリア PV 出力の時系列データおよびネット電力需要の日負荷曲線を用いて、その分布および長周期的な変動特性について検討を行った。その結果、PV 導入容量の増加とともに日中のネット電力需要の分布が下方へシフトすることと、分散が増加することを確認した。加えて、ネット電力需要の長周期的な変動特性に関する年次変化についても確認し、現在の電力需要の日負荷曲線から将来のネット電力需要の日負荷曲線がダックカーブへどのように移行していくのかを明らかにした。

以上の諸成果は、再生可能エネルギーの大量連系を促進する将来の電力システム構築のための知見を与え、電力安定供給に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。