

太陽光発電とエネルギーマネジメント分野への 気象技術の活用

大竹 秀明

太陽光発電システムが大量に導入されてきている中、天候によって出力が変動するなど課題も出てきている。太陽光発電を含めた自然エネルギーの利用には気象技術の活用が不可欠である。また、今後電力・エネルギー分野は大きな変革を迎え、太陽光発電設備とさまざまなシステムが融合した運用も始まってきている。より効率的、最適な運用を行うには太陽光発電出力の把握と発電予測が重要である。本稿では、気象技術の解説と最新技術、太陽光発電を含めたエネルギーマネジメントに関する最近の研究事例を報告する。

キーワード：太陽光発電，気象予報，気象衛星，エネルギーマネジメント

1. はじめに

1.1 太陽光発電の大量導入

日本では2009年11月に固定価格買取制度(FIT)による太陽光発電の余剰電力買取が開始され、2012年7月に全量買取が開始された。太陽光発電システムは2019年6月現在容量で約50GWといった大量導入が進んだ[1]。2018年には全世界でも約500GWの太陽電池が導入されており、その約6割を中国が占めている。一方、国内では電力エリア内で総需要よりも発電が多くなる余剰電力が発生したことも報告されている[2]。また、積雪などの影響で太陽光発電の発電予測が外れるときには複数の電力エリア内で電力の融通を行うことで停電を回避するなどの実態と課題も出ている[3]。

エネルギー基本計画では2030年に向けて、再生可能エネルギーを主力電源化へと位置づけているが、2019年にはFIT終了の事例も出てくるなど、太陽光発電を今後どのようにリプレースしながら、世の中に普及させていくかが課題となっている。そのための道筋の一つには、太陽光発電とさまざまな設備との連携が考えられる。蓄電池や電気自動車(EV)の普及、送電・配電設備を活用したネットワーク管理・制御のほか、電力市場取引なども今後活性化するであろう。

そのような電力の活用側との連携を強め、結果的に太陽光発電を有効に使う環境が整えられれば、太陽光発電をさらに導入し、主力電源化につなげて行くことが可能となろう。

1.2 JST CREST HARPS の取り組み

国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)の研究課題「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」において、HARPSグループ(代表 井村順一東京工業大学教授)[4]では、気象、電力需給計画、需要家、送電、配電、電力市場の専門家のほか、制御理論、数理学とといった電力システムとはこれまで関連が少なかった分野との連携を図った研究が進められている。これからさらに大量に太陽光発電システムが導入されていく中でも安定的でロバストな電力システムを設計する議論を行っている。異分野連携を進めることで、これから起こり得る問題に対する解決の糸口や新しいアイデアを探ることを学術サイドから行っている。2019年3月にHARPSグループで進めている研究開発の成果の一部を一般向けに解説した書籍が出版されているので参照されたい[5]。本稿では、本事業の成果の一部を紹介するとともに、将来の気象技術の活用の在り方について解説を行う。

2. 気象衛星

太陽光発電の出力予測では、数時間先までの比較的短時間先の予測においては気象衛星観測データが活用されている。また、気象予報の高精度化のためにも、気象衛星観測データが活用されている。

現在、ひまわり8号、9号によって衛星観測が行われているが、日本付近では2.5分毎に1kmメッシュという高時間、空間解像度で観測データが送信され、雲やエアロゾルのモニタリングのほか、地上の日射量の推定が行われている。太陽光発電の出力予測や発電推定のためにも気象衛星は欠かせないインフラともな

おおたけ ひであき
国立研究開発法人 産業技術総合研究所
〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2 OSL

てきている。

2029年には現行の気象衛星の寿命を迎えることになる。次世代の気象衛星（ひまわり10号、11号；2030年～）の設計のための仕様策定の準備が行われている[6]。現在搭載されている観測センサーの他、気象庁以外の方野からも意見を集約しながら次世代衛星の仕様について検討が進められている。最近では気象衛星観測データを活用することで地上のモニタリングをすることなく太陽光発電の出力推定が可能となってきたため（第5節参照）、さまざまな太陽光発電のサイトの基礎データとしても利用ニーズが増えてきている。エネルギー分野にとっても気象衛星観測データの価値は高まっている。

3. 気象予報モデル

数時間先や翌日の太陽光発電出力の予測には、気象予報モデルを活用することが多い。気象予報モデルは数値予報モデルともよばれ、大気現象を運動方程式や熱力学の法則で表現し、微分方程式を積分することで将来の予測を行う[7]。大気の力学過程、地表面過程、雲・降水過程（雲物理過程）、放射過程などが含まれている（図1）。大気中には雲があり、水蒸気が凝結して、雨が降り、気温が 0°C 程度以下¹のときには雪が降るプロセスを雲・降水過程の中で表現している。日射量の予測は放射過程の中の短波放射過程で行われ、直達放射、散乱放射を個別に計算している。気温や風（東西、南北成分）、水蒸気などの気象パラメータを同時に扱い予測計算を行う。気象庁現業モデルには週間予報に用いる全球モデル（水平解像度約20km）、日本域を計算領域にして予測計算が行われるメソモデル（MSM、水平解像度5km）、局地モデル（LFM、水平解像度2km）などがある[7]。

2017年12月からは日射量の予測データも気象庁から一般に公開されており、気象業務支援センターより取得が可能である。計算には高速かつ高精度な計算機を必要とするためスーパーコンピュータを用いて行い、現業の予報業務に活用している。2018年6月には気象庁のスーパーコンピュータの更新が行われ、計算機能力が大きく向上した[8]。気象庁MSMの複数の予測を行うメソアンサンブル予報[9]（第4節参照）の現業利用も開始されている。図2はアンサンブル予報の活用例であり、台風の進路予報についての事例である。

¹ 実際には過冷却の状態になるため、さらに温度が低いときに氷に相変化。

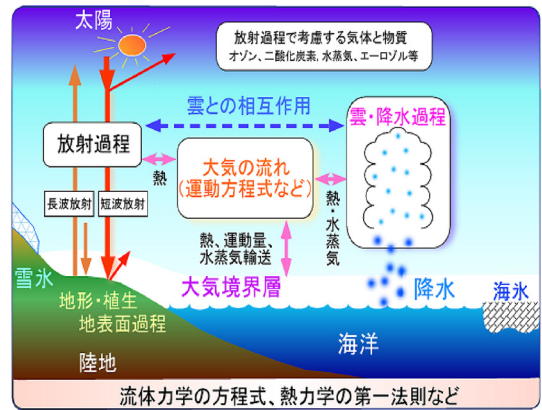


図1 数値予報のイメージ（気象庁ホームページ「数値予報とは」<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>より引用）

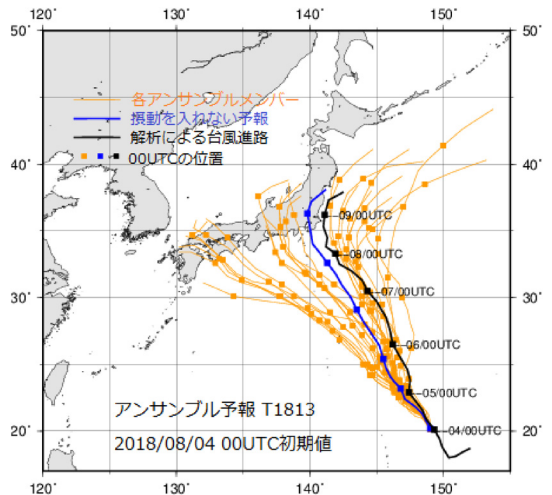


図2 アンサンブル予報のイメージ（気象庁ホームページ「アンサンブル予報」<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-8.html>より引用）

また、将来の平均的な気候状態の予測計算を行う気候モデルなどもある。

4. メソアンサンブル予報

気象庁ではこれまで前日に翌日の予測を行うにあたって、3時間毎に39時間先（一部は51時間先）までの予測を1度だけ実施し、情報を提供してきた。しかし、単発の予測では予測の信頼度がどの程度かを提供することはできなかった。スーパーコンピュータを更新し、計算能力、データストレージの容量の拡大を図ると同時に、メソアンサンブル予報の実用化に踏み込んでおり[9]、気象業務支援センターから日射量データを含む気象パラメータの格子点データも公開されている[10]。

このメソアンサンブル予報は従来のメソモデルの予測に初期値条件を変えて20個の異なる予報を提供する。それぞれは予測情報にばらつきがあることから、どの程度予測に信頼度があるのか、外れる場合にはどのようなことが想定されるのかといった情報が提供可能となる。

太陽光発電の発電予測でもこのデータの利用は可能であり、翌日の太陽光発電の出力について、予測値に対する信頼度情報の付加もできる。データの利用者側は、予測値がどの程度の幅で外れる可能性があるのかを把握しながら運用することもできよう。また、予測のシナリオの幅が広ければ、予測が大きく外れる可能性があることから、予測の大小の指標としても利用することが可能であろう。

5. 太陽光発電出力推定と予測

太陽光発電の出力の情報については、現在の電力会社でも電力エリア全体の状況についてはすべてをモニタリングできているわけではない。メガソーラーなどの大規模な発電設備についてはテレメータによるデータの取得がなされているが、住宅などの低圧の設備については、現在スマートメータが導入されている中で一部の情報のみしかわかっている状況である。観測される日射量やメガソーラーなどで取得されるデータをエリア全体にアップスケールして、推定しているのが現状である [11]。

最近では、気象衛星ひまわり8号から推定した日射量から、エリア毎の太陽光発電の発電電力量（以下、発電量）を推定する試みもなされてきている [12]。図3は、その一例であるが、気象衛星から推定した日射量データと気象予報モデルによる気温メッシュデータを活用して、市町村毎に太陽光発電の発電量推定を2.5分という高時間分解能で実績推定を行うことが可能となっている。また、太陽光発電の翌日の予測については気象予報モデルによる日射量予測データを用いることが多い。

現状では、降雪による予測誤差や太陽光発電システムの容量とパワーコンディショナー（PCS）の容量の差による発電予測誤差も指摘されている（太陽光発電システムの容量よりもPCSの容量を小さくすることがあり、予測された日射量に対する想定された太陽光発電の出力が小さくなる傾向がある）ため、発電予測をする場合にはそのような対処も必要である。

実績との差を加味することで、予測誤差の地域性を把握することも可能であり、どこで予測誤差が過大に

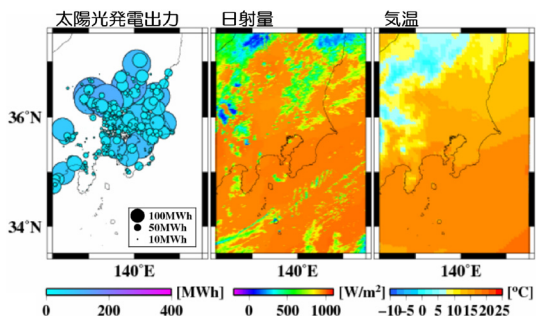


図3 東京電力エリアにおけるある日の太陽光発電出力（市町村毎）と衛星から推定した日射量、気温の分布の一例

なっているのか、または過小になっているのかを把握できると、エリア内での予測誤差を最小化させるための制御やネットワーク形成も可能となろう。

6. 気象技術の活用先、応用例

6.1 蓄電設備、揚水発電の運用

太陽光発電システムの導入が拡大する一方で、場所や時期によっては電力需要に比べて太陽光発電出力が過剰になり、出力制御を実施する事態にもなっている [2]。実際には、太陽光発電の事業者に対して、出力を出さないように要請を行うが、発電した電力が有効に使われないという点はエネルギー利用の効率としても良くない。そのため、太陽光発電を大量に導入したケースでも、電力需給システムのシミュレーションによって、火力発電機や揚水発電機の運用形態の変化、蓄電設備を導入した場合の供給支障電力量（停電）の分析についても研究レベルで検討がなされている（参考文献 [13, 14]）。

6.2 出力予測のコンペティション

再生可能エネルギーの出力予測についての予測技術のコンペティションも実施されている。最近では、北海道電力エリアを対象に「太陽光発電量予測技術コンテスト『PV in HOKKAIDO』」が実施され [15]、結果が公表された。その中では気象予報モデルや実績データを活用した人工知能（AI）技術をベースとして予測手法を提案した参加者もいた。このコンペティションの結果からみても、AI技術は予測の改善に使えることが再認識された。予測データの改善、修正には太陽光発電の発電量データ（実績値）が重要であり、それをどのように運用側でデータを集約して、アルゴリズムを磨くかが課題となろう。ただし、実績値を学習したAI技術だけでは、過去に経験がない状況には対応できない恐れがあるため、そのような場合への対策も必要であろう。

6.3 送電

送電設備に対しては、送電線の温度管理に気象データが用いられている。送電線は、気温、日射量、風（風向、風速）、降水などの情報によって送電線の温度（熱容量）の管理が重要となる。昨今、太陽光発電が大量に導入されてきている中、太陽光発電の出力が増えると同時に送電線の温度も変化するため、温度が上昇しすぎないように送電容量を制御する必要性が議論されている [16]。送電線の温度のシミュレーション実験では、最過酷断面におけるケースを想定し、気温、風速、風向、日射量などの気象パラメータを入力値に計算を行う。これまでは、最高気温に関しては 40°C とすることが多かった。しかし、近年の温暖化、都市化の影響もあり、最高気温も 41°C を超えることが観測され、将来においてはさらなる温度上昇も考えられる。送電線の設備構成や運用を考えるうえでも、気象予報、あるいは気候モデルを用いた温暖化情報を加味した計画変更や再設計も必要であろう。

6.4 電力融通（送電線の増強）

連系線を増強し、系統を広域化・電力の相互融通可能にすることも停電回避のためには必要である。そのためにも、北海道と東北を結ぶ北本連系線が 60 万 kW から 90 万 kW（2019 年）に増強、今後 2028 年までには東北東京間も 573 万 kW から 1,028 万 kW へ、東京中部間も 120 万 kW から 300 万 kW へ増強が計画されている [17]。

各地域での再生可能エネルギーの出力予測が精度良くできることが望ましいが、実際には予測誤差が生じる。予測誤差によってエリア間の電力の融通量が変わってしまうことが想定される。需給状況と融通計画を考えるためにも広域エリアでどの程度予測が外れるのか、特に予測が大きく外れるケースについては予測と実績の差（予測誤差）を分析する必要がある。これまで、著者らは国内 9 電力エリアで日射量予測（結果的には、太陽光発電の出力予測）が大きく外れるケースについて調べた結果 [18]、日本付近が高気圧西端にある場合、停滞前線（梅雨前線）、台風接近などの事例で大きく外れることがわかってきている。そのような状況での予測の改善も必要だが、予測が大きく外れる可能性がある中での運用・準備も必要である。

6.5 需要

電力需要の予測については、気温との相関が高いことから [19]、これまでも電力の需給運用の中でも予測情報が活用されてきていた。しかし、FIT 終了後に太陽光発電の自家消費が増える、また蓄電池などの住宅

電気自動車（EV）の充電

✓ 将来：太陽光発電 > 電力需要
✓ 太陽光発電予測の活用

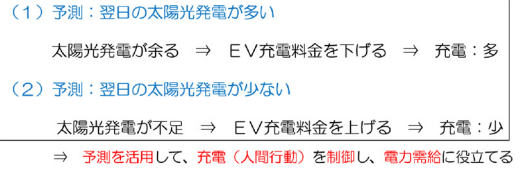


図 4 EV 充電へ予測の活用

での活用、EV の普及などがあると、需要予測は気温変動主体の予測だけでなく、これまでとは違った手法で需要の予測をする必要がある。それについても、需要データがどのような変動をするのか実データの集約と実態の把握の分析が需要予測の高精度化にも必要となろう。

また、地球温暖化が進むと気温が高くなるほか、寒波で雪が降らなかった地域でも雪が降るなど極端な気象変化が起きやすくなる傾向にある。将来の電力需要でも、気温だけを見ても気温の変動の振れ幅が大きくなるのが想定されるので、そのような将来の気候への対処も必要であろう。

6.6 EV との協調

現在、EV の 2017 年度新車販売実績は約 0.55%（対新車乗用車販売台数）と言われているが、今後は EV の導入が加速すると見込まれる。太陽光発電の予測を活用して、充電料金を変動させ需要家側の行動（ここでは EV の充電行動）を変えていくことで、電力の需給を均衡させることもできるであろう。EV のバッテリーに太陽光発電の電力を活用することを想定すると、たとえば翌日の太陽光発電が多く発電すると予測されていれば、EV の充電料金を下げ EV の充電行動を促進し、逆に天候が悪化し、太陽光発電の出力が少ない場合には充電料金を上げて、充電する EV の量を制御することも可能であろう（図 4）。太陽光発電の予測を活用して、EV に充電する台数を制御し、電力の需要（人間行動）をコントロールする将来像も考えられる。

6.7 アグリゲータ、balancingグループ

今後は、電力会社による電力需給の一括管理からアグリゲータ（需要家側エネルギーリソースや分散型エネルギーリソースを統合制御し、エネルギーサービスを提供する事業者）[20] やbalancingグループ（発電計画と発電実績の差分電力量（インバランス）を算定する対象となる単位）[21] といった新たな役者の登場により、より細かなエリア内でのエネルギーマネジメントも広がってくると見込まれる。その中では、電力需要がどのように変動するのか、太陽光発電や風力

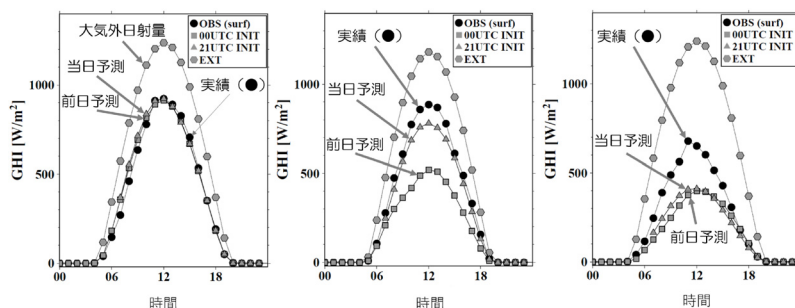


図5 日射量実績と予測の比較. 北海道電力エリアの合計値で、(左) 2016年6月30日、(中) 2016年8月6日、(右) 2016年6月23日の事例。

発電の出力がどのようになっているのか、その予測情報はどうか、予測誤差はどうかといった運用上さまざまなデータの活用が必要となろう。その中で、予測誤差や運用コストを最小、需要家側にとっては、快適性や利便性を向上させた運用が求められるであろう。実績データを集約しながら、予測精度の向上、適切な制御設計を行っていくことが求められる。

6.8 市場取引

電力の市場取引についても、予測を用いた運用の在り方が国の関係委員会などの中でも議論されている [22]。そこでは、再生可能エネルギーの予測情報を加味するが、2日前には市場に参加するために、2日後はどのような発電予測がなされるかといった予測情報が必要な制度設計が考えられている。しかし、1, 2日前に予測が大きく外れる場合でも、当日にかけて、予測が改善する場合もあることを考慮して、市場での調整を行う必要もあろう。図5は北海道電力エリアを対象とした気象庁 MSM の日射量予測 (図中の縦軸“GHI”) のエリア平均値と実績値 (気象官署7地点の平均値 (実績: 黒●印)) の比較である。快晴の場合 (図5左、2016年6月30日) は前日の朝9時の予測 (前日予測、図中の■) と当日朝6時の予測 (当日予測、図中の▲) の比較では、両者とも実績値に近く、予測精度が高い傾向にある。図5中 (2016年8月6日) は前日の予測では北海道エリアにおいて広範囲に雲を予測しており、日射量も過小気味であるが、当日は雲を少なく予測し、実績値に近い予測情報を出している。しかし、図5右 (2016年6月23日) のように、前日予測が実績に対して過小であり、また当日の予測も過小のままで予測が改善しないケースもある。気象予報では、当日の予測でも必ずしも改善しないことがあることも含めて、ロバストな制度設計を立てる必要もあろう。

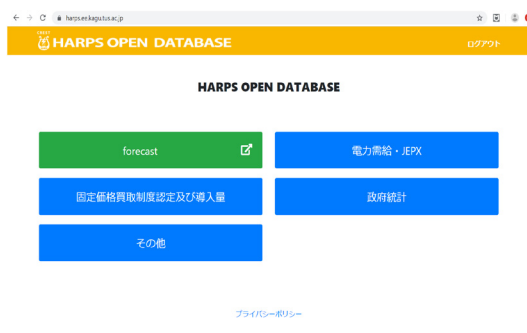


図6 HARPS OPEN DATABASE ウェブサイト [23]

7. データ公開

HARPS グループでは、電力市場やさまざまな関連オープン情報を集約し統合可能なシステムと、太陽光発電の出力把握、予測情報 (市町村毎) を「HARPS OPEN DATABASE」 [23] から公開している (図6)。「気象予測データ (forecast)」、「電力需給・JEPX」、「固定価格買取制度認定及び導入量」、「政府統計」、「その他」の項目があり、各項目よりデータを抽出することが可能である。研究レベルでの検討では自由にダウンロードし、活用することができるので、利用されたい。また、太陽光発電 (日射量) の出力の実績や予測情報に加えて予測誤差について、可視的な情報として「HARPS OASIS」 [24] も閲覧可能にしているので、議論のたたき台にも利用することができる。図7はその一例であり、気象庁 MSM による 2016年5月5日12時を対象とした前日における24時間先の日射量予測の面的な情報 (関東エリア) を示している。

8. まとめ

将来のエネルギーミックスの諸問題に対応するためには、気象技術の活用が必要である。しかし、予測情報には予測誤差があり、AI技術やさまざまな最適化技術

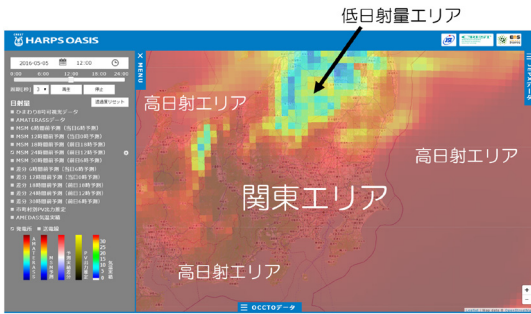


図7 HARPS OASIS ウェブサイト [24]

を用いて誤差低減の取り組みが必要である。また、太陽光発電や風力発電と蓄電設備、EVなどのさまざまな設備とネットワークを形成し、運用する必要がある。さらに、電力市場の取引や電力融通などの運用面で安定供給の中でも気象予報、発電予測情報が求められる時代となっており、そこでも最適な運用方法、コストの削減などを求めていく必要がある。

エネルギー基本計画の中では再生可能エネルギーは将来主力電化に向けて位置づけられている。しかし、太陽光発電の出力は天候に左右されるため、単独では安定的なエネルギーの供給源としては難しい。他の発電機やシステムとの連携により、太陽光発電の利活用が進み、主力電源化に向けた取り組みが進むものと思われる。そのためには、太陽光発電と他の分野との連携研究が欠かせない。また最適化技術、ネットワーク制御を活用したロバストな制御システムの構築が求められる。そのうえでも、オペレーションズ・リサーチの関わりは大きいものと考えられる。太陽光発電の用途拡大に向けても、今後のますますの連携研究を期待したい。

謝辞 太陽放射コンソーシアムより気象衛星から推定した日射量データの提供を受けた。本研究は JST CREST EMS 研究課題「太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築 (HARPS)」(グラント番号 JPMJCR15K1) で実施された。

参考文献

[1] 資源エネルギー庁、「固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト」, <https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> (2019年11月5日閲覧)

[2] 第21回総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会 系統ワーキンググループ、「資料1」(2019年4月26日), https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/shin_energy/keito_wg/pdf/021_01_00.pdf (2019年9月30日閲覧)

[3] 資源エネルギー庁、「2018年1月～2月における東京エリアの電力需給状況について(2018年3月12日)」, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/008_05_00.pdf (2019年9月30日閲覧)

[4] JST CREST HARPS, <http://harps-crest.jpn.org/> (2019年9月30日閲覧)

[5] 井村順一, 原辰次編著, 『太陽光発電のスマート基幹電源化 IoT/AI によるスマートアグリゲーションがもたらす未来の電力システム』, 日刊工業新聞社, 2019.

[6] 気象庁, 「「静止気象衛星に関する懇談会」(第1回)の開催について」, https://www.jma.go.jp/jma/press/1908/28a/20190828_kondan.html (2019年9月30日閲覧)

[7] 気象庁, 「数値予報とは」, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html> (2019年9月30日閲覧)

[8] 気象庁予報部, 「平成30年度数値予報研修テキスト「第10世代数値解析予報システムと数値予報の基礎知識」(数値予報課)」, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/51/No51.pdf> (2019年9月30日閲覧)

[9] 気象庁予報部数値予報課, 「メソアンサンプル予報の紹介, 気象・地震等の情報を扱う事業者等を対象とした講習会(第6回)(2019年3月13日)」, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/koushu190313/shiryu2.pdf> (2019年9月30日閲覧)

[10] 一般財団法人 気象業務支援センター, 「メソアンサンプル数値予報モデル GPV(MEPS)」, <http://www.jmbssc.or.jp/jp/online/file/f-online10250.html> (2019年9月30日閲覧)

[11] 電力広域的運営推進機関, 「〈短期〉調整力必要量の検討について, 調整力等に関する委員会事務局, 第6回調整力等に関する委員会 資料5」, https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2015/files/chousei_06_05.pdf (2019年9月30日閲覧)

[12] H. Ohtake, F. Uno, T. Oozeki, Y. Yamada, H. Takenaka, and T. Y. Nakajima, “Estimation of satellite-derived regional photovoltaic power generation using a satellite-estimated solar radiation data,” *Energy Science & Engineering*, **6**, pp.570–583, 2018.

[13] 宇田川佑介, 荻本和彦, Joao Gari da Silva Fonseca Junior, 大関崇, 大竹秀明 池上貴志, 福留潔, “出力予測を考慮した発電機起動停止計画モデルによる太陽光発電出力制御必要量の分析,” 電気学会論文誌 B, **137**(7), pp.520–529, 2017.

[14] 小林大貴, 益田泰輔, 大竹秀明, “需給バランス維持と太陽光発電有効活用を同時に実現する蓄電池システムと火力機の協調運用,” 電気学会論文誌 B, **139**(2), 106–114, 2019.

[15] 北海道電力株式会社, 「太陽光発電量予測技術コンテスト『PV in HOKKAIDO』の共同開催について(2019)」, https://www.hepco.co.jp/info/2019/1241221_1803.html (2019年9月30日閲覧)

[16] H. Sugihara, T. Funaki, N. Yamaguchi, “Evaluation method for real-time dynamic line ratings based on line current variation model for representing forecast error of intermittent renewable generation,” *Energies*, **10**(4), p. 503, 2017.

[17] 資源エネルギー庁, 「最近の環境変化を踏まえた電力政策の課題と方向性, 第4回 ESI シンポジウム(2019年7月18日)」, <http://www.esisyab.iis.u-tokyo.ac.jp/symposium/20190718/20190718-02.pdf> (2019年9月30日閲覧)

[18] H. Ohtake, F. Uno, T. Oozeki, Y. Yamada, H. Takenaka and T. Y. Nakajima, “Outlier events of solar

forecasts for regional power grid in Japan using JMA mesoscale model,” *Energies (Special Issue Solar and Wind Energy Forecasting)*, **11**(10), p. 2714, 2018.

- [19] Electrical Japan, 「一日の最大電力と気温の関係 (年ごと)ー電力使用状況+アメダス気温」, <http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/energy/electrical-japan/stat/16/> (2019年9月30日閲覧)
- [20] 資源エネルギー庁ホームページ, 「バーチャルパワープラント (VPP)・デマンドリスポンス (DR) とは」, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/about.html (2019年9月30日閲覧)
- [21] 九州電力株式会社 ネットワークサービスセンター, 「バ

ランシンググループ (BG) の考え方について (平成 27 年 12 月)」, <http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0115/6849/pgsq6gkt.pdf> (2019年9月30日閲覧)

- [22] 経済産業省, 「一般送配電事業者の需給調整業務における太陽光の発電量予測外れの影響について」 (平成 29 年 12 月 26 日), https://www.emsc.meti.go.jp/activity/emsc_system/pdf/025_08_00.pdf (2019年9月30日閲覧)
- [23] HARPS OPEN DATABASE, <http://harps.ee.kagu.tus.ac.jp/other.php> (2019年9月30日閲覧)
- [24] HARPS OASIS, <http://psel01.ee.kagu.tus.ac.jp/harps/oasis/> (2019年9月30日閲覧)