

再エネ大量導入時代のエネルギーシステム 構築におけるシミュレーションの役割 -意義ある導入に向けた定量評価の必要性-

仮屋夏樹ⁱ

The Role of Numerical Simulations for Designing Energy Systems under Massive and Rapid Deployment of Renewable Energy - The Importance of Quantitative Evaluation -

Natsuki KARIYA

本稿では、近年転換期を迎えているエネルギー分野において、再エネの大量導入とそれによるエネルギーシステムの転換、という観点から今何が起これつつあるのか、今後どのような課題が顕在しているのかについて概観を行う。また、それらの課題に対して定量評価のツールとしてシミュレーションがどのように貢献しているのか、について述べ、当部の取り組みについて紹介する。

(キーワード): 再生可能エネルギー, エネルギーシステム, 最適化, 発電量予測, 機械学習

1 はじめに -最近の動向-

2015年のパリ協定に代表される低炭素化へ向けた国際的なムーブメントの強まりの中で近年世界的に再生可能エネルギー(再エネ)の導入が拡大しており、エネルギー供給において占める役割は一層大きくなってきている。2017年には世界の再エネの年間導入量(178GW)は全電力導入量の3分の2以上に相当する結果となった¹⁾。

導入拡大の背景として特に重要な点は、設備費用の低下に伴い再エネの価格競争力が大幅に向上していることである。世界的には太陽光発電や風力発電において大幅なコスト低減が実現され、中国や米国といったエネルギー需要大国においても、太陽光発電や風力発電といった再エネの均等化発電原価(LCOE)はそれぞれの国で一部の火力発電コストを既に下回る(中国では天然ガス火力を下回り、米国では石炭火力に匹敵、あるいは下回る)という報告がなされている²⁾。

日本もこのような潮流の例外ではなく、2018年7

月に発表された第5次エネルギー基本計画では、再エネに関して「経済的に自立し脱炭素化した主力電源化を目指す」との文言が記載された¹⁾。エネルギー基本計画においては、2030年の電源構成において全体の22%-24%を再エネが占める姿が描かれている。日本での再エネの導入拡大には2012年の固定価格買取制度導入が大きな役割を果たし、太陽光発電をはじめとして再エネ導入量は大きく増加してきた。一方で、今後予定されている固定価格買取制度の終了に伴って、再エネ利用の選択肢として、売電のみでなく自家消費や「地産地消」による利用ケースも増加すると予想される。需要と供給の「距離」の接近(これは物理的な距離の接近にとどまらず、旧来の消費者が供給を一部担うような、いわゆるプロシューマ化も包含する)は、まさしくエネルギーシステムの分散化を意味する。

このように、「低コスト化」に支えられて「脱炭素化」の有力な手段として一躍存在感を増しつつある再エネの導入増加は、エネルギー供給の姿を「分散化」へと大きく変える可能性を持つ。また、エネルギーシ

ⁱ サイエンスソリューション部 デジタルエンジニアリングチーム コンサルタント

システムの「分散化」と「低炭素化」が進んだ暁には、システムとして電気のみでなく熱供給、さらには運輸の領域も統合した形（いわゆる「セクターカップリング」）での効率的・低炭素排出なエネルギーシステムが必要とされるだろう。

技術的な観点からは、日本において今後の大きな導入増加が予想される再エネである太陽光発電や風力発電は出力が時間的に変動を伴うため、どのようにエネルギーを安定的・効率的に活用するかが重要になる。近年は技術進展、量産に伴って蓄電池をはじめとする蓄エネ設備のコストも低下しつつあること、また特に再エネが大量導入された欧州では大量・長期間のエネルギー貯蔵の手段として電力から水素へのエネルギー変換（Power to Gas, P2G）も注目されていることから、今後は変動する再エネ電源と蓄エネ技術を統合することで再エネを一層活用するようなエネルギー供給システムが拡大することも予想される。

合わせて、エネルギーシステムの安定的な運用という観点からは、時々刻々と変化する再エネの供給量および需要を適切に予測・制御する技術が一層重要になるだろう。時間変動する再生可能エネルギーが大量導入された場合、特定の時間帯にエネルギー需要量を供給量が大幅に上回ることも起こりうる。その結果、最悪の場合には停電が発生する可能性もあり、そうした事態を防ぐためには、これらの予測・制御技術は極めて重要である。同時に、出力の変動に伴って生じるいわゆる余剰電力の活用・取りまとめ、あるいは消費者側での需要の上げ下げ（デマンドレスポンス）の手段を通じて、新たな価値を提供するようなビジネスの検討も今後活発化することが見込まれる。

以上をまとめると、今後旧来の集中一極型のエネルギー供給とは異なる、需要と供給の「距離」がより近づいた、ローカルレベルでのエネルギーシステム構成の取り組みが今後一層増加すると考えられる。一方で、このようなエネルギーシステムは、構成要素として再エネ発電設備のみならず蓄エネ設備、熱供給など多岐にわたる設備を含みうること、及び時々刻々と変化する需給に対する制御技術や予測技術を活用した効率的な運用が重要となることを考えると、複雑かつ高度なシステムとなることが予想される。

2 再エネ大量導入時代のエネルギーシステム構築における課題

このように再エネの拡大はエネルギー供給のあり方にも大きな影響を与える可能性があると考えられ、その意味でエネルギー分野は近年まさしく大変革期を迎えつつある。特に需要と供給の「距離」が近づき、ビジネスの形態も変化を遂げる中で、エネルギーシステムの構築に関係するプレーヤーも増加し、現在までのプレーヤーにとどまらず、よりさまざまな立場のプレーヤーが、どのようなシステムを構築するのが望ましいか、という問題に直面する機会が増えることが予想される。

再エネ大量導入時代のエネルギーシステムにおいて特に必要とされる点として、

- ①運用状況まで考慮した、システムの低コスト化とその検証
- ②需要および供給の制御・予測（シミュレーション）技術の高度化

が考えられる。

まず前者に関して、エネルギー供給においてコスト低減が最重要な課題の一つであることは論をまたないが、ここで重要なことは運用状況がコストに与える影響も加味して、システムとしての低コスト化を目指す必要があるという点である。たとえば太陽光発電や風力発電といった再エネの供給量は時々刻々と変化するが、売電することを考えた際には需要の時系列パターンと合わせてどの程度の出力抑制を受ける可能性があるのか、などについて考慮する必要が生じるだろう。また、蓄エネ機器についてもエネルギーの需給パターンに応じて、どの程度の稼働が実運用時に見込まれるのか、また電池等に顕著であるが、充放電の頻度やパターンに応じて電池はどの程度劣化するのか、といった点はシステムのコストにも影響を与えると考えられる。

したがって、新たな機器の導入にあたっては、実際に必要とされるエネルギー需要に対して、エネルギーシステムとしてどのような供給が行われうるのか、という運用の観点を踏まえて実際のトータルシステムコストを検証する必要がある。その結果、もし必要とされる需要を満足できるコストで満たすことができないならば、検討の対象としたシステムはコスト競争力を持たないということになるだろう。

一般的に新たな技術に関してその技術の検証や実証を行うフェーズでは、まず導入を行うことを前提に、新たな技術が力を発揮できるケースに於いてどれだけの効果が得られるか、といった観点の評価（この導入⇒結果というフローでの検証が数理的には順問題を解く操作に相当することから、便宜上「順方向の評価」と呼ぶ）がしばしば実施されるが、普及が進むとともに市場の側面からの評価が重要性を増し、旧来の技術とも経済的に横並びの競争を求められることとなる。

今後エネルギーシステムの普及が進むとともに、コストについてもより高い水準が求められることとなり、「さまざまな候補を横並びに比較した上で必要な要件を最も低コストに実現できるシステム構成を選択する」という形の評価（必要な要件出しを行い、多種多様な選択肢の中からそれを満たす最適な候補を選び出す、というフローでの検証は数理的には逆問題を解くことに相当することから、「逆方向の評価」との対比で便宜上「逆方向の評価」と呼ぶ）が必要な場面も増加してくるのではないだろうか。

「逆方向の評価」はその性質上、さまざまなケースの比較を内包する。「最適な」選択を仮に順方向の評価同様にケースごとに行おうとすると多数の試行が必要になると考えられるが、このような問題を効率的に扱うためにはシミュレーションによる数理的なアプローチが有効である。また、数理的な手法を用いることで、結果の「最適性」がよりクリアになるというメリットを持つ。いくつかのケースを便宜的に試行し比較するだけではそのケースが本当に最適かはわからないが、数理的な手法を適切に用いることで、このような漠然とした不安が払拭されるだろう。

一方で、そのような「逆方向の評価」のシミュレーションツールについては、現状では必要に応じて誰しも気軽に使用が可能、という段階では必ずしもない。また、実際の評価にあたっては、評価に必要なデータの取得・整備についても進められる必要がある。今後エネルギー分野における競争力をもった意義あるエネルギーシステムの導入に向けて、この「逆方向の評価」がより一般的になること、またそれに向けて基盤となるべきツールやデータの整備が進むことが社会にとっての課題といえる。

後者については、大きく二つの観点で重要である。一つは、上述の「システムコストの評価」のためにエネルギー需給の高精度な予測が必要であること、もう一つは太陽光発電や風力発電などの変動再エネの

導入拡大と安定的な電力供給の両立のためには、精度の良い需要予測および変動再エネの出力予測が不可欠であることである。特に後者の必要性は既に国内においても顕在化しており、電力事業に携わるさまざまなプレイヤーによってより高精度な予測に向けた取り組みが進められている。

最近の興味深い事例の一つとしては、エネルギー企業が自ら保有する太陽光発電設備のデータをオンライン公開し、それをもとにより高精度な予測を行う技術を競うコンテストも開催され、さまざまな参加者が予測技術を競っている、というものがある⁴⁾。こうした取り組みは国内のエネルギー分野では比較的新しいものと考えられるが、データをオープン化し、ある種の集合知によって、クローズドな取り組みよりも更に高度な成果を得る、といういわゆる「オープンサイエンス」⁵⁾は、現在までに様々な分野で成果を上げてきた。今でこそ学術研究にとどまらず、あらゆる産業分野で「オープン化」は珍しいものではなくなったが、国内においても今後一層進むことが期待される。

3 事例紹介(エネルギーシステム最適化シミュレーション)

前章までに述べた問題意識に基づいて、当社では「逆方向の評価」を可能にするツールとしてエネルギーシステム最適化シミュレーションの研究開発に取り組んでいる。具体的には、数理最適化（線形計画法）の枠組みに基づいて、「与えられた条件」を満たす「最も低コストなエネルギーシステム」の導出を可能にするシミュレーションである。

特長としては、

- 時々刻々と変化する、エネルギー需要（電力、熱）を満たすように供給を行うシステムを決定。結果として、低コストな運用を行う際に、どの程度の時間導入した機器が作動しているか、といった情報も取得可能。無駄な機器導入や、機器運転した結果かえって割高、などのリスクを低減して、運用まで含めてコスト最適なシステムの検証を行える。
- アウトプットとして、どの設備をどの程度（kW）導入すべきか、の組み合わせ、実際の発電量（kWh）、運転計画（いつ、どの機器がどのように作動しているのか）、導入効果（年間のコスト、排出量低減効果、エネルギー消費量）とい

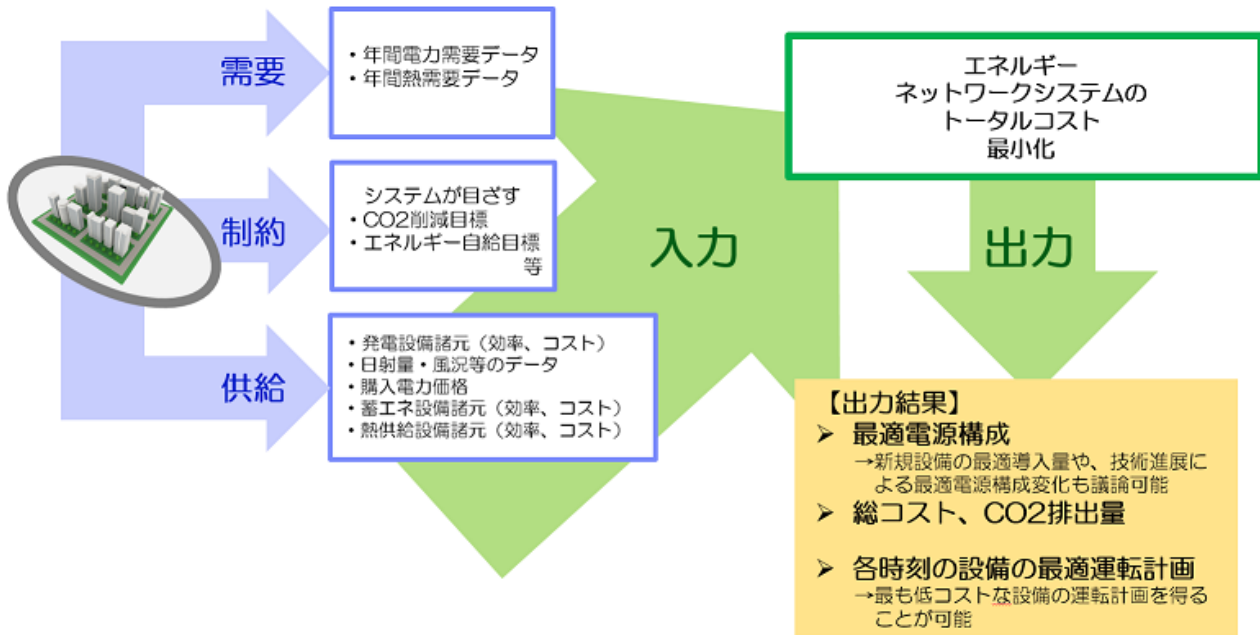


図1 エネルギーシステム最適化シミュレーションの構成

った情報が取得可能。これは考えるシステム候補のなかで、最適な(低コストな)ものである。

- シミュレーションの対象とする設備候補としては、再エネ設備(たとえば太陽光、風力)、蓄エネ設備(たとえば蓄電池、水素)、熱供給設備(たとえば燃料電池によるコージェネレーション)を考慮可能。その他機器についても容易に拡張したシミュレーションが可能。
- 外部からの買電、買ガスも考慮した上で最適なシステムの検証が可能。
- CO2 排出低減量の条件を付与した上でのシミュレーション可能。

などが挙げられる。図1に最適化シミュレーションの構成を示す。

シミュレーションの枠組みは一般的なもののため、適用先は多様なものが考えられる。たとえば公共設備や工場、島嶼などでオフグリッドのシステムを検討する際に、最適な設備の検証が可能である。これを活用することで、上述のエネルギーシステムを導入することを検討している方が自らのエネルギー需要の規模や、どのようなシステムを実現したいか(低炭素化の目標など)、といった前提のもとで、最もコスト最適な設備の組み合わせを知ることができ、経済的に効率なシステムの導入を実現する助けになることが期待できる。一例として水素エネルギーシステムを対象にケーススタディを行った結果は参考文献⁶⁾を参照していただきたい。

4 再エネの発電量予測シミュレーション

1章、および2章で述べた通り、時間変動する再生可能エネルギーの大量導入を支える技術として重要なのが、電力の需給に関する予測技術である。ここでは、太陽光発電の発電量予測技術に関する当社の取り組み例を紹介したい。

当社では、広く科学技術シミュレーションに関するコンサルティングに現在まで携わっており、近年はデータ分析・機械学習の技術を活用した取り組みも進めてきた。その一環として、機械学習を用いた太陽光発電量の予測技術の研究開発を実施しており、以下ではそれについて述べる。

今回紹介するのは、2章で触れたオープンデータによるコンテストで公開された東京電力提供のデータを元に、浮島発電所、扇島発電所、米倉山発電所の太陽光発電量予測を行う、という取り組みである。

太陽光発電量予測にあたっては、

- **発電量データ**：10分単位で集計したデータ
- **気象予報データ**：神奈川県、山梨県の2地点の気象予報
- **アメダスデータ**：観測地点の情報
- **地上観測データ**：観測地点の情報

のみを用いた上で、これらのデータのうち、発電量予測を行う対称とする日の前日20時までに確定している情報のみを利用する、という条件のもとで予測を行った。図2にモデルの概要を示す。

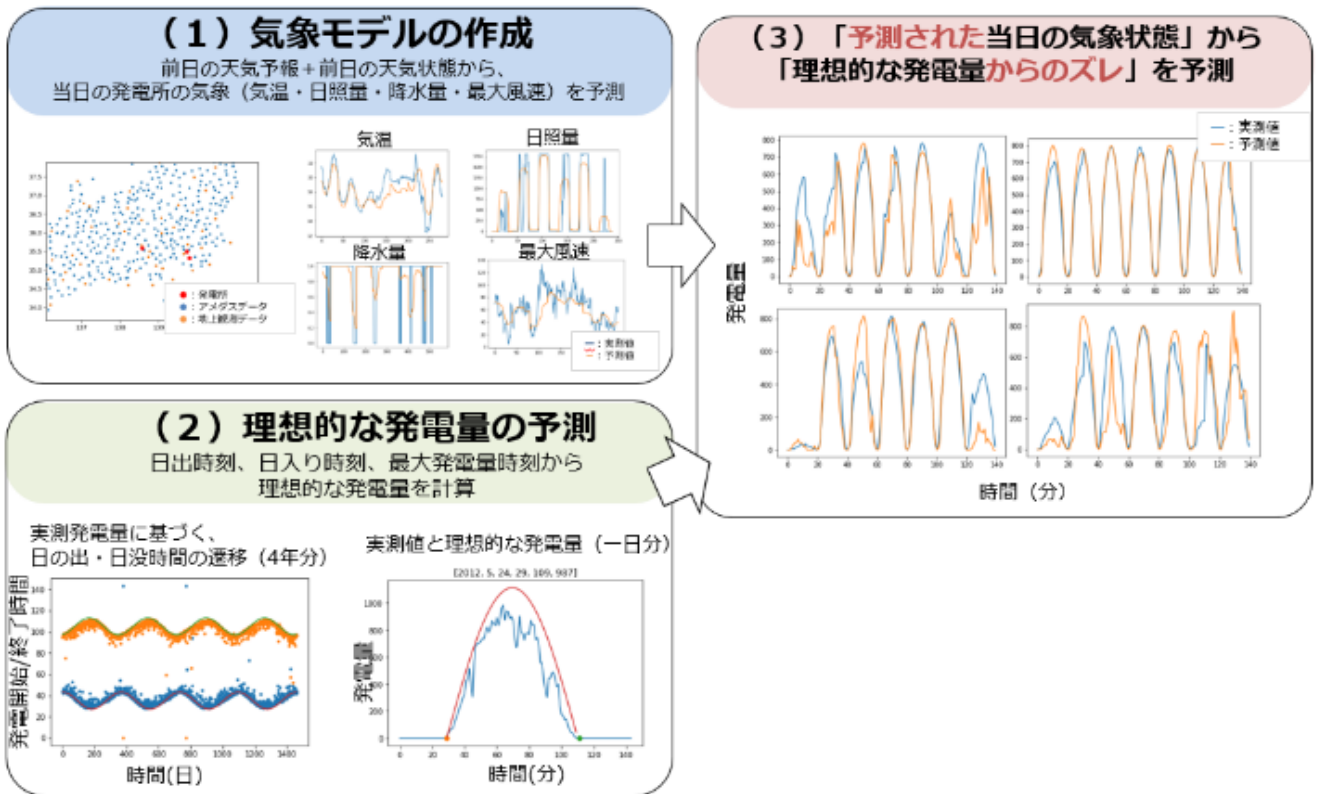


図2 機械学習による再エネ発電量予測モデル

太陽光発電の大域的な時間変化の挙動について構築した予測モデルは捉えることが出来ているが、使用可能なデータの粒度が時間・空間的に荒いため正確な下げ幅の数値までは予測できていない。さらに精度向上を図る上では、複数のモデルでのアンサンブル平均や気象状態の特徴量を工夫するといった可能性は残されている。また、より多様な外部データが使えるのであれば太陽光発電に大きな影響を与えることが知られる雲の動きの予測を統計的もしくはシミュレーションにより行うことで、予測精度向上が見込まれる。

5 おわりに

本稿では、近年大転換期を迎えているエネルギー分野において、再エネの導入とそれによるエネルギーシステムの転換、という観点から今何が起こりつつあるのか、今後どのような課題が顕在するのかについて概観した。また、見えてくる課題に対して求められる項目と、それに対するシミュレーションの貢献の可能性について述べ、当社の取り組みについて簡単ではあるが紹介した。

今後、これらのツールを活用しながら、地域におけるエネルギーシステムに関連した実証や研究に取り組み、新たなエネルギーシステムの意義ある導入に貢献したい。

引用文献

- 1) IEA: Renewable 2018
<https://www.iea.org/renewables2018/power/>
- 2) Bloomberg New Energy Finance “Power Markets Today”
<http://www.meti.go.jp/press/2018/05/20180529003/20180529003-2.pdf>
- 3) 資源エネルギー庁「コストダウンの加速化について（目指すべきコスト水準と入札制）」（第8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／電力・ガス事業分科会 再エネ大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 資料）
http://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/008_02_00.pdf
- 4) IoT 推進ラボ第3回ビッグデータ分析コンテストを開催します IoT 推進ラボ第3回ビッグデータ分析コンテストを開催します
<http://www.meti.go.jp/press/2017/10/20171002006/20171002006.html>
- 5) マイケル・ニールセン「オープンサイエンス革命」紀伊國屋書店, 2013年
- 6) 地域における水素エネルギー活用の動向と展望（みずほ情報総研レポート Vol.12, 2016）
https://www.mizuho-ir.co.jp/publication/report/2016/pdf/mhir12_hes.pdf