

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科

博士論文概要書

論文題目

Development of Business Models for Effective Electric Power Management with Advanced Information Utilization

- For Sustainable Smart Grid Realization with
Profitable Business Models -

情報の高度活用による
新しいエネルギー管理と事業モデルの研究
—事業継続性を伴ったスマートグリッドの実現に向けて—

申請者

黒田 健

Kuroda Ken

環境・エネルギー研究科 環境・電力システム研究

2015年 1月

スマートグリッドが目標とする高度な電力エネルギー管理においては、電力の供給側を最適に制御することに加えて、需要側が供給能力に応じて需要量を調整したり、あるいは需要側内部でエネルギーの生成と消費を完結したりすることが要求されている。これまでは、大規模で集中的な発電所で生成した電力を送電線と配電線を通して需要地に送る形態が、費用面でも環境面でも最も効率的な電力供給形態と言えたが、昨今の技術開発による分散電源の性能向上、CO₂や他の有害物質の排出削減に向けた風力や太陽光といった再生可能エネルギー発電の価格低廉化による浸透などにより、これまで以上に高効率で環境配慮型の電力需給形態が実現可能になってきていることが、スマートグリッドの実現、すなわち新しい電力システムが期待される大きな理由である。

例えば、電力需要地における分散電源の導入は、発電場所における一部の需要を賄うだけでなく、必要以上に発電した場合は、これを需要地内で融通することが可能となり、多くの損失を伴って遠方から電力を送電する量を削減できる。また、最近話題となっているデマンドレスポンスは、電力需要の価格弾力性を利用して需要量を制御しようとするものであり、例えばピーク時に電力価格を高くすることによって需要を削減し、一方、オフピーク時には電力価格を安くすることによって使用を促すことなどを行うことが可能になる。

一方、こうした需要側における制御・調整活動を阻害する最も大きな要因は、上述のような新しい技術の導入や運用における費用面の問題と言えるだろう。現在、多くの国や地域において、再生可能エネルギー発電を浸透させるために、高価格での再生可能エネルギー発電の買い取り制度や補助金制度の導入などが実施されているが、それでも中規模、および家庭向けの太陽光発電を含む分散電源の導入費用を回収するためには多くの年月を要する。また、補助金などの制度は、変更や廃止されるリスクがあるため、こうした新技術導入の決定には需要側における非常に難しい判断が必要になると言える。またデマンドレスポンスを実施するためには、各需要者のエネルギー消費量を高頻度で収集するスマートメーターや、デマンドレスポンスプログラムの発動を知らせ、これに参加するか否かの意思決定を行うためのディスプレイ装置などの設備導入が必要となり、現実的にはこの導入費用を回収することが非常に困難な状況である。

つまり、現在進められている高度な需要側に導入される需要調整の仕組みは、電力の供給側、需要側双方にメリットがある一方で、その導入には、多大な費用が必要であり、これを供給側、需要側いずれかが負担するかを含め、明確な答えが得られていない。したがってこれを解決して電力需給の高度化を進めていくためには、導入効果と受益者を明確にした事業モデルとして明らかにする必要があると言えるが、分散電源、デマンドレスポンスなどの新技術に関して、事業モデルを明らかにして収益性を示した例はほとんどない。

そこで本研究では、スマートグリッドを実現するための主要な要素と考えられる、需要側での最適な電力創出、最適な電力使用、さらには一般電気事業者など供給側と需要側との最適な協調運用に必要となる技術について、有効な事業モデルと共に、その収益性の評価手法について明らかにすることを目的とした。各技術や手法の研究においては、特に情報の活用によって効果性が向上する技術や施策に着目し、これらの導入効果の定量化手法、そして日本市場における最適な導入評価手法について、自由競争下で電力関連サービスを提供する事業者における収益性の観点から検討を行うものとした。

本論文は、上記の目的達成に向けた研究内容・結果について、下記に示す七章立ての構成でとりまとめている。

第一章は、本研究の背景、目的を明確にするとともに、論文構成を示すことで本論文の方向性、目的達成までの流れを記載した。

第二章では、諸外国で実施されたスマートグリッドの実証実験について調査・分析・再整理することによってスマートグリッドの実現に必要な要素技術・施策を抽出した。ここでは、収益性に繋げるために、利用される技術や施策の“便益”に着目し、さらに、情報の効果的な活用によって“便益”の価値が向上するものを、スマートグリッド実現の重要要素として抽出した。

第三章から第五章においては、第二章で抽出したスマートグリッド実現における重要な要素技術について、適用施策の整理、効果定量化、有効モデルの提案などを実施した。

第三章では、“電気の最適な創出”を実現する技術として、分散電源の導入と効果の定量化・最適化に関する研究を実施した。ここでは、電力損失の最小化を実現する分散電源の設置場所、ならびに出力の決定手法と、日本における今後の分散電源の主流となることが想定されている太陽光発電の導入効果についての評価手法についての提案を行った。

第四章では、“電気の最適な使用”を実現する技術として、近年日本でもサービス導入が開始されている、エネルギー管理システム、ならびにデマンドレスポンスについて、これらの整理と価値の定式化を行い、収益性を確保するために有効と考えられる事業モデルの検討を行った。この結果、双方の施策ともに、その効果が高く発揮される条件があり、この条件を意識した導入を行わないと効果が望めないということが明らかになった。

第五章では、“最適な電力需給”の観点から、配電システムの信頼性確保に貢献する情報を活用した有効モデルの提案を行った。第一の提案として、スマートメーターで獲得したデータを用いた潮流計算によって系統全体の各点における状態データを算出することで太陽光発電大量導入時の電圧変動状態を監視し、問

題発生が想定される時には、回避するための施策をシミュレーションする手法を提示した。また第二の提案として、スマートメーターによる検針情報を配電システムにおける停電検出に適用するモデルを提示し、この実現性についてシミュレーションを用いて検討した。いずれの提案ともに、スマートメーター基盤を、その第一の目的である検針以外に活用するものであり、導入済みの施策の効果性を高めるとともに、新導入する施策の導入費用を抑制することを可能とする。

第六章では、第三章～第五章で検討した各種施策の導入について評価する手法について提案した。ここでは各施策の導入価値について一定期間における価値への定量化・金額換算手法を示し、そして、収益性を追求すべき企業などの事業者における導入評価手法と、電力供給信頼性の確保など、導入効果と費用の最適化による導入評価手法を提案した。

第七章は、本論文の結論として、スマートグリッドを事業として継続・拡大させ、安全、経済、環境など各種観点で高度化された電力供給システムを実現するための包括的な結論を記載し、今後の課題・取り組みについて示した。

本論文で明らかにした主な点は以下の通りである。

- 今後の電力システムにおいて情報を活用する最大利点は、各種の状態をデータとして正確かつ迅速に把握し、これらを適切に分析・活用することによって、電力システムを構成する機器を最適に制御・運用し、システム全体の最適化を実現することにある。本論文では、これまで既存の電力システムに太陽光、風力などの再生可能エネルギーを接続したものが中心であったスマートグリッド施策について、これらのシステム全体としてのパフォーマンスを最適化する手法の提案と提供価値の定量化を行った。
- スマートグリッドを構成する施策が継続的に提供されるためには、補助金や優遇制度に過度に依存することなく、これらの施策の収益が確保され事業として成立することが必要となる。本論文では、単に施策の提供価値の定量化を行うだけでなく、供給側と需要側間での価値の循環モデルを提案し、情報活用によってそれぞれの価値の交換を仮想的に実現可能であることを示すとともに、提供価値を有効化するための環境条件についての提案を行った。
- スマートグリッドを実現する施策には、事業継続、拡大のために、収益性を向上させることを優先すべき施策と、費用と効果の関係から、最適な導入条件を決定する施策の二種類が存在する。本論文では、前者に対しては、生産性に着目したエネルギー管理施策の決定手法、後者に対しては、互いにトレードオフ関係にある施策の提供価値と、施策の導入費用について最適解の集合を提供する手法を提案した。