

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科

博士論文審査報告書

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－

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

本論文は、様々なエネルギーに関連する課題の解決策として期待されるスマートグリッドの実現に向けて、各種スマートグリッド施策の事業収益性を考慮することによって、電力市場に参入する事業者が、継続的に顧客提供価値を拡大し発展するための有効な施策・手段を提供するものである。

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、需要側における供給能力に応じた需要量の調整が必要となり、これらをCO₂や他の有害物質の排出を削減しながら実現する必要があるが、これらは昨今の技術進化によって技術的には十分実現可能になってきている。例えば、電力需要地における再生可能エネルギー源による分散電源の導入は、CO₂排出量を削減しながら導入場所における需要を賄うだけでなく、必要以上に発電した場合は需要地内で融通することが可能となり、従来の遠隔地の発電所からの送電に伴う大きな電力損失を削減できる。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調整しようとする技術であり、ピーク時には電力価格を高くすることによって需要を削減し、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が可能になる。

一方、こうした需要側における制御・調整の実現を阻害する最も大きな要因として、新技術の導入や運用における費用の問題があげられる。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、それでも一般的に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導入者における難しい判断が必要になる。またデマンドレスポンスのような新しい仕組みを導入するためには、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、関連設備の導入が必要となり、現状においてはこれらの導入費用を早期に回収し、利益を創出することが困難な状況である。

つまり、現在進められているスマートグリッドを実現する各種の手法・施策は、電力の供給側、需要側双方にメリットがある一方で、これらの手法・施策を導入する事業者にとって、収益性を伴うものであるか明確な答えが得られていない。

本論文は、こうしたスマートグリッド実現に伴う課題を捉え、スマートグリッドを実現するための主要な要素技術・施策について、有効な事業モデルと収益性、そして施策導入における評価手法を明らかにすることによって、事業者の電力市場参入や投資を促し、これらを継続させることによってスマートグリッドを実現することを目的としている。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ており、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、競争環境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った。

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、下記に示す七章から構成されている。

第一章は、序論として、本論文において詳細検討を行うスマートグリッドについて定義を明確にするとともに、研究の背景、実現に向けた課題と解決の方向性について示し、目的達成までの流れを明示した。

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・再整理を行う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、本研究の検討観点である事業収益性を考慮するために、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。その結果、“電気の最適な創出”、“電気の最適な利用”、そして“最適な電力需給”を実現する要素技術・施策がスマートグリッド実現には不可欠であることを示した。

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・施策について、適用施策の整理、効果の定量化、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ており、電力損失の最小化を実現する分散電源の設置場所、ならびに出力量の決定手法と、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提案を行った。分散電源の最適配置に関しては、実用可能な厳密解法を使用した解決手法を開発・提案し、分散電源導入に伴う電力損失の影響について定性的な傾向を明らかにした。また太陽光発電の導入効果については、不明確な太陽光発電の発電量を確率変数としたシミュレーション手法を開発することによって、将来の大量導入時の影響を評価する手法を新たに提案した。

第四章では、“電気の最適な利用”を実現する技術として、近年日本でも導入が進められている、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、これらの体系的な整理と価値の定式化を行い、収益性を確保するための条件を明らかにした。双方の施策において、効果を発揮するために必要となる条件が存在し、この条件を満たす環境において施策を導入することが必要であることを示した。そして将来の環境を考慮し有効と想定される事業モデルと条件を提案した。

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に貢献する、情報を活用した新手法を提案した。これは、三章、四章で提案した施策の導入時に系統側で発生する課題を解決する施策の提案であり、スマートグ

リッド実現施策の導入拡大への貢献が期待される施策であること示した。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て潮流計算を実施することにより、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・施策を提案した。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系統における停電検出に活用する手法を示し、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検証結果を示している。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、これらは導入済みのスマートメーター基盤の価値を高めるとともに、施策の導入費用を抑制し、さらには太陽光発電導入などスマートグリッド施策の拡大に貢献することを明らかにした。

第六章では、第三章から第五章で検討した各種施策の導入について評価する新たな手法を提案した。はじめに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、事業者における収益最大化を目的とした施策導入評価手法と、導入効果と費用など、互いにトレードオフ関係にある複数目的を考慮した施策導入評価手法を提案した。この結果、エネルギー施策導入の際には、“どれだけエネルギーを削減できるか、費用が安くなるか”ではなく、“収益最大化に向けエネルギーをどう利用すべきか”に基づいた評価が有効であることを示すとともに、一般的に制約付き多目的最適化問題となる電力システムにおける最適化に対して、提案した汎用的な多目的最適化ツールの実用性を明らかにした。

第七章は、本論文の結論として、二章で明らかにした有効なスマートグリッド要素技術・施策に対する本研究での対応状況を示し、有効なスマートグリッド施策は、効果・価値が供給側と需要側間で循環しており、情報活用によってそれぞれの価値が仮想的に交換されることを示した。そして、各章で明らかになった、スマートグリッド実現を促進させる手法・施策を全体としてまとめるとともに、今後の課題・取り組みを明らかにした。

以上のように、本論文では、スマートグリッドを実現させる重要な施策に関して、従来の諸課題を解決する具体的な手段・手法を提案しており、その成果は、今後の電力システム工学および環境エネルギー工学分野の進歩に多大なる示唆と貢献をなすものである。よって、博士論文審査委員が慎重に協議した結果、「合格」と判断した。

2015年1月

(主査) 早稲田大学教授 工学博士 (早稲田大学) 横山 隆一 (システム工学)
早稲田大学教授 工学博士 (早稲田大学) 勝田 正文 (伝熱工学)
早稲田大学客員教授 博士(工学) (東京都立大学) 中西 要祐 (送電配工学)