

論文の内容の要旨

論文題目 スマートコミュニティにおける余剰エネルギーを価値化する
事業のオプションに関する研究

氏名 藤平 慶太

本研究は、「スマートコミュニティ」の下でのエネルギーインフラを活用した、再生可能エネルギー導入者（プロシューマー/再生可能エネルギー発電事業者）による再生可能エネルギーの余剰エネルギーを価値化する事業のオプション（以下、事業オプション）の価値について検証を行うものである。再生可能エネルギーの一層の普及のためには、「価値をつなげる技術」であるハードのエネルギーインフラの存在が必要となるが、それに加えて「ダイナミックプライシング」という経済原理による電力需給バランスの調整の仕組みが有効となる。さらに再生可能エネルギー導入者が事業オプションを行使するためには、経済原理の下で一定の条件がそろう必要がある。本研究では、再生可能エネルギー導入者が持つ事業オプションの価値構造の分析とケーススタディを基に、その条件について明らかにした。さらに、その条件を整えるための制度・事業環境について考察した。

近年では国内外において、地球温暖化対策やエネルギーセキュリティの向上を目的として、再生可能エネルギーの導入が急速に進んでいる。一方で、再生可能エネルギーのさらなる拡大のためには、再生可能エネルギーに起因するエネルギー需給バランスの不確実性に関する課題への解決策が求められている。出力の変動が大きい太陽光発電や風力発電という変動電源の増加により、再生可能エネルギーの供給量が電力系統の受け入れ可能量を超過する事態が発生し、地域によっては新たな再生可能エネルギーの導入が困難になっていく可能性が高まる。将来的に住宅等において太陽光発電等の小規模分散型のエネルギーを導入する「エネルギー生産消費者（プロシューマー）」が増加していけば、さらにこの需給バランスの不確実性が高まることになる。

本研究では、「スマートコミュニティ」の概念が、エネルギー需給バランスの不確実性を緩和させるためのエネルギーインフラの整備を特徴とするものであると考えた。エネルギー需給バランスの不確実性によって生まれる余剰エネルギーは、「価値をつなげる」ためのエネルギーインフラを利用した再生可能エネルギー導入者の事業オプションによって価値化させることができる。本研究では、「スマートコミュニティ」の下で再生可能エネルギーの不確実性を解決する上で特に重要なエネルギーインフラについて、①「変動するエネルギーの価値を高めるインフラ」である「エネルギー情報通信インフラ」、及び、②「使いきれないエネルギーを価値化するインフラ」である「エネルギー貯蔵・輸送インフラ」の2種類に着目した。この2種類のエネルギーインフラが、再生可能エネルギー導入者に対して与える事業オプションに着目した。事業の不確実性を勘案して事業評価を行う手法であ

るリアルオプションの構造を加味したモンテカルロ DCF 法によって、余剰エネルギーの価値化の構造についての検証を行った。その上でケーススタディを行い、再生可能エネルギー導入者が事業オプションを行使する条件について明らかにした。

電力需給バランスの不確実性を緩和する仕組みとして、まずエネルギー情報通信インフラを活用して電力価格に市場原理を適用するダイナミックプライシングを需要側のみならず供給側にも適用することを提案した。ダイナミックプライシングの下で 2 種類のエネルギーインフラが、再生可能エネルギー導入者に対して、余剰エネルギーを価値化するための追加設備投資を行使価格とする事業オプションを与える構造を示し、その価値の評価モデルを構築した。これに基づいて、事業オプションの価値についてそれぞれケーススタディを行い、不確実性の要素を変数とする感度分析を実施した。

「エネルギー情報通信インフラ」については、ダイナミックプライシングの下で、「蓄電設備」によってプロシューマーが得ることができる事業オプションである「売電タイミングオプション」と「蓄電設備導入オプション」の価値構造について分析を行った。これをもとに価値を定量化する評価モデルを構築し、ケーススタディをもとに、事業オプションの価値についての分析を実施した。価値を決定する不確実性の要素を分解し、電力価格変動幅、蓄電設備容量、太陽光発電設備容量、蓄電設備単価、発電原価との関係について 2 変数の感度分析を実施し、電力価格変動幅が価値の変化に与える影響度合いについて検証した。これにより、プロシューマーが「蓄電設備導入オプション」を行使する条件について示した。

「エネルギー貯蔵・輸送インフラ」については、ダイナミックプライシングの下で、「水素製造設備」によって再生可能エネルギー発電事業者が得ることができる事業オプションである「売電/水素選択オプション」と「水素製造設備導入オプション」の価値構造について分析を行った。ケーススタディをもとに、電力価格変動幅、水素製造設備規模、水素製造設備単価、発電原価、水素販売価格との関係について 2 変数の感度分析を実施し、電力価格変動幅と水素販売価格が価値の変化に与える影響度合いについて検証した。これにより、再生可能エネルギー発電事業者が「水素製造設備導入オプション」を行使する条件について示した。

事業オプションの価値を決定する要素には、再生可能エネルギー導入者が規模/種類を選択できる要素と、外部環境に対応し導入タイミングを選択できる要素がある。再生可能エネルギー導入者は、設備の規模/種類については、採算分岐点を勘案しながら適切な規模の設備を導入する。一方、電力価格変動幅や水素販売価格という外部環境の変化に対しては、事業オプションの行使タイミングを延期するリアルオプション（「延期オプション」）によって事業リスクへ対応することができる。再生可能エネルギー事業は事業期間が長期間になるため、将来の需給バランスに不確実性に対応して事業判断の柔軟性を持つことが望ましい。本研究で示したエネルギーインフラは、再生可能エネルギーの導入者に、エネルギー需給バランスの不確実性に対応した事業オプションを提供する。

「スマートコミュニティ」におけるエネルギーインフラとダイナミックプライシングが電力系統の運用に与える価値は、再生可能エネルギー増加による電力系統の不確実性に関するリスクを再生可能エネルギー導入者に経済的手法で転嫁できるというところにある。物理的な需給バランスの解決方法である出力抑制と違い、ダイナミックプライシングは、再生可能エネルギー導入者にとって行動をマネジメントできるリスクとなる。電力需給バランスの不確実性が大きくなった場合に、出力抑制のケースでは収益は減少するが、逆にダイナミックプライシングのケースでは事業オプションの追加的価値によって収益が増加する。すなわち、電力系統内の再生可能エネルギー導入量が増加に伴う不確実性の増大により、再生可能エネルギー導入者にとっては長期的な収益を向上させることが可能になる。その理由は、エネルギーの「利用時間」(売電タイミング) または「利用方法」(水素製造) が変わることで、余剰エネルギーの価値が高まることによる。

再生可能エネルギー導入者が上記の事業オプションを持つためには、ハードのインフラに加えて、制度・事業環境の整備が必要となる。「スマートコミュニティ」を、「電力需要」と「大規模再生可能エネルギー供給ポテンシャル」の観点から類型化し、「都市型」と「地方型」の「スマートコミュニティ」で再生可能エネルギー拡大を促す条件について考察した。また、「エネルギー情報通信インフラ」と「エネルギー貯蔵・輸送インフラ」における事業オプションの感度分析結果を踏まえ、制度・事業環境の整備についての考察を行った。本事業で示した事業オプションを実現するためには、電力取引の仕組みの構築や、技術開発支援等が行われる必要がある。将来的に、「スマートコミュニティ」に関連したインフラ整備や制度設計が行われる際には、本研究で検証した事業オプションの価値構造の分析と価値に影響を与える要素の感度分析結果を活用できる。

本研究におけるダイナミックプライシングは、現在日本をはじめ各国で導入されている再生可能エネルギー固定価格買取制度 (Feed-in-Tariff: FIT) の制度が将来的に廃止され、次のフェーズの社会制度が構築されることを想定している。本研究の前提条件となっているエネルギーインフラに関連する技術は、2018年時点では開発途上であるか、または実用化のためには大幅なコスト削減が求められる最先端技術である。これらのエネルギーインフラが本格的に整備され、制度設計の変更が行われるのは、2020～2030年頃であると想定している。本研究により、エネルギーインフラが再生可能エネルギー導入者に与える事業オプションの価値構造を明らかにすることで、今後の技術開発の方向性や制度設計への示唆を与えることができた。再生可能エネルギーの持つエネルギー需給バランスの不確実性の課題は、日本国内のみでなく、これから再生可能エネルギーを拡大しようとする世界各国において表出してくるものである。本研究が、世界における再生可能エネルギー拡大のための課題解決に向けて、エネルギーインフラの持つ価値の再確認につながり、関連技術の研究開発及び関連政策の推進に寄与できることを期待したい。