

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15491

研究課題名（和文）広域需給モデルによる太陽光・風力発電の自立的普及に適した電力システム改革策の研究

研究課題名（英文）Multi-area demand-supply model analysis on electricity system reform for self-reliant spreading of solar photovoltaic and wind power

研究代表者

分山 達也（Tatsuya, Wakeyama）

九州大学・エネルギー研究教育機構・准教授

研究者番号：70637777

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、変動型自然エネルギーの自立に向けた経済的課題に対して、電力システム（インフラ・政策・市場ルール）の転換による解決策を探求することを目的として、広域需給モデルを用いた電力市場価格分析を行った。構築したモデルによる各エリアの毎時の短期限界費用算出結果は、2018年度の多くの時間帯において、日本の卸電力取引市場価格（前日市場）を再現可能であることを示し、本モデルを用いて発電設備の短期限界費用価格の観点から市場における電力システムの転換施策の影響が分析できることを示した。さらに本モデルを用いて、変動型自然エネルギーの拡大時の市場価格画の影響や、日韓国際連系の有効性について分析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築したモデルを用いることで、発電設備の短期限界費用価格の観点から、市場における電力システムの転換施策の影響が分析できることが示された。本成果によって、今後電力システムの制度設計や国際連系などのインフラ計画立案を行う上で、定量的な評価に基づく議論が促進されることが期待される。変動型自然エネルギー普及の観点からも、定量的な市場価格の見直しをもとに、施策や設備計画の影響の分析が重要であることが示された。

研究成果の概要（英文）：In this study, electric power market analysis was conducted by using a multi-area supply and demand model to overcome the difficulty of self-reliant spreading of variable renewable energy source. This result showed that Japanese wholesale electricity market price (day-ahead market) is able to be explained reasonably based on hourly marginal area price evaluated by using our model. This result showed the effectiveness to analyze the impact of electric system reform on market from the viewpoint of marginal price evaluated by our model. In addition, the impact of spreading variable renewable energy source on the electricity market and the advantage of interconnector between Japan and Korea were evaluated by the model in this study.

研究分野：再生可能エネルギー

キーワード：再生可能エネルギー 電力システム

1. 研究開始当初の背景

近年、国際的に太陽光発電や風力発電といった出力変動型再生可能エネルギー (Variable Renewable Energy: VRE と略す) のコストが低下しており、これらの電源が将来、主要電源の一つとして自立することが期待されている。VRE が経済的に自立するためには、コストが安価になり、さらに市場での電力取引によって、事業採算性が確保できる見通しが立つことが必要である。しかし、VRE の普及拡大は、コストの低下とともに卸売電力市場価格の低下にもつながることが知られている。しかし既往研究では、将来たとえ VRE のコストが安くなっても、このような卸売電力市場価格の低下を受けて、市場を通した収益の確保が困難になり、VRE は固定価格買取制度のような支援策からの自立ができないだろうと指摘されている。

2. 研究の目的

本研究では、VRE の経済的自立に向けた課題を、電力システムの転換の視点から研究する。ここで電力システムとは、電力系統・政策・市場ルール等のパッケージを意味する。発電事業の採算性は、電源そのもののコストとともに、電力システムを前提として形成される卸売電力市場価格の動向に左右される。例えば日本の一部の地域で先進的に VRE の普及が進んだ場合、十分な地域間連系線の容量があれば、広域の電力取引によって局地的な卸売電力市場価格の低下は避けられる。しかし連系線容量が少ない場合、卸売電力市場価格は局地的に低下し、市場を通した収益の確保は困難になる可能性がある。さらに、卸売電力市場における将来の入札エリアの分け方によっても市場価格への影響の度合いは異なる。そして政策面では、優先給電や出力抑制ルールの設計によって、VRE の出力抑制量と事業採算性が変化する。現在、各国で国際連系・卸売電力市場の拡大が議論され、各国でそれぞれの出力抑制のルールが整備され、蓄電池の活用に向けた市場設計も議論されている。このような世界的な電力システムの転換期において、各種施策が複合的に VRE の経済的自立与える影響を研究し、自立した普及を導く電力システムを明らかにしていく必要がある。そこで本研究では、広域需給シミュレーションモデルを用いることで、各種電力システム転換策による VRE の事業性への複合的影響を、卸売電力市場価格を指標として、定量的に評価・比較することを試みた。先行研究では、簡易的な仮想地域のモデルを用いて、電力市場の入札エリアの細分化における蓄電池の影響を評価しているが、本研究では日本の系統制約や市場を考慮した広域需給シミュレーションを用いることで、電力システム転換策の複合的影響をより具体的に評価することを試みた。

3. 研究の方法

まず本研究では、各種電力システム転換策適用後の電力市場価格のシミュレーションを行うための広域需給モデルを構築した。この広域需給モデルは日本の 10 の供給区域と供給区域間の地域間連系線を模擬したモデルである。本モデルによって、1 時間ごとに 8760 時間 (1 年間) の需給バランスと調整力・予備力確保を制約条件として、総電力コストが最小となる各エリアの需給パターンや連系線潮流を算出する。本モデルの構築には、需給モデリングや電力市場評価のためのプラットフォームである PROMOD (日立 ABB パワーグリッド社製) を用いた。PROMOD では、まず各発電設備の起動停止時間・出力変化速度・部分負荷効率・燃料消費などをもとに、各エリアの需給バランス、予備力制約を満たす経済

的な運転計画(発電機起動停止計画)を作成する。そしてこの発電機起動停止計画をもとに、総電力コストを最小にする各発電所の発電パターン(経済負荷配分)を算出する。これらの結果から、各エリアにおける需給・送電パターン、出力制御量と短期限界費用が算出される。本モデルの構築には、2018年度の各電力エリアの毎時需要データ、太陽光発電・風力発電・水力発電・地熱発電の毎時出力データを各一般送配電事業者の公開データから引用して用いた。火力、原子力、バイオマス発電所の設備容量、運転期間、使用燃料、部分負荷熱効率、最大・最低出力、出力変化速度等については、各発電所の公開情報を引用した。そして揚水機の設備容量、最大最低動力・出力、変換効率、貯水量などは各発電所の公開情報やエネルギー庁の系統ワーキング委員会資料を参照した。このほかに、発電所の停止情報を卸電力取引市場の発電情報公開システムから引用した。さらに、燃料価格については貿易統計から各化石燃料の月別 CIF 価格を参照した。そして各電力地域をつなぐ地域間連系線の毎時の運用容量のデータを電力広域的運営推進機関の公開情報から引用した。これらのデータの活用によって、本モデルが算出したエリア別短期限界費用価格は2018年度の卸売電力市場価格(前日市場価格)の時間変動を、多くの時間帯において説明できるものとなった。

4. 研究成果

まずモデルの妥当性評価として、各電力エリアにおける卸売電力市場価格(前日市場)と、本研究において構築した広域需給モデルによって算出された各エリアの毎時の短期限界費用価格を比較した。その結果、2018年度の卸電力取引市場価格(前日市場)は、大部分で本モデルによる短期限界費用の計算結果によって、説明可能であることを明らかにした。2018年度の冬や夏の一部の時間では、電力需給のひっ迫時に実際の市場価格が100円/kWh近くに高騰していることがあり、このような価格の高騰は発電所の短期限界費用ではなく、高い買い入れ価格が影響している。本モデルの計算結果は、買値の高騰による一時的な市場価格の高騰を考慮しないものであり、市場価格変動のすべてを再現できるわけではない。しかし、発電設備の短期限界費用価格によって市場価格の大部分が説明できたことで、電力システムの転換施策の影響分析にむけて有効な手法の一つとなることが示唆された。次に、本モデルを用いて、2018年度における再生可能エネルギーの普及拡大による電力調達総費用への影響を分析した。一般に、再生可能エネルギー普及拡大の効果として、燃料費の削減効果が挙げられる。本研究では、今回構築したモデルを用いることで、再生可能エネルギーの普及に伴い、燃料費の削減効果と共に短期メリットオーダーの更新効果によって、電力調達総費用の削減効果が働いていることを定量的に明らかにした。そして、2030年における再生可能エネルギーの導入拡大時の卸電力取引市場への影響を分析した。2030年の電源構成は、現状の発電設備の運転期間を基に、石炭火力の廃止や原子力発電の再稼働・廃止などいくつかのシナリオを設定し、分析を行った。その結果、2030年において各エリアの短期限界費用は最低価格である0.01円/kWhに達する時間帯が増加する可能性を示した。この結果、地熱発電などの長期固定電源においても固定価格買取制度における買取期間後に市場価格ベースでの電力売買が開始されると採算性の維持が困難になることが示唆された。これを回避するためには、現在フィードインプレミアム制度でも検討されている蓄電池などの取り扱いが重要となる。さらに、インフラ影響の分析として、日本と韓国の国際連系線の新設による市場価格への日韓の卸電力取引市場への影響を分析した。国際連系線の設置によって、日本におけるピーク電力としての石油火力の発電量が減少するといった需給構造の変化が見られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tatsuya Wakeyama, Ko Setoguchi, Romain Zissler, Keiji Kimura	4. 巻 10
2. 論文標題 The Impact of Renewable Energy Expansion on Electricity Market Price in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 10th International Workshop on the Integration of Solar Power into Power Systems	6. 最初と最後の頁 SIW20-61
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 分山達也	4. 巻 70
2. 論文標題 総点検電力システム改革～再エネ普及への課題 第1回系統接続運用の大転換	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地球温暖化	6. 最初と最後の頁 18-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 分山達也	4. 巻 71
2. 論文標題 総点検電力システム改革～再エネ普及への課題 第2回出力制御低減へ向けた環境づくり	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地球温暖化	6. 最初と最後の頁 30-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 分山達也	4. 巻 72
2. 論文標題 総点検電力システム改革～再エネ普及への課題 第3回再エネ拡大へ向けたグランドデザイン	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地球温暖化	6. 最初と最後の頁 26-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 分山達也	4. 巻 73
2. 論文標題 総点検電力システム改革～再エネ普及への課題 第4回電力市場の公平性と透明性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地球温暖化	6. 最初と最後の頁 24-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Tatsuya Wakeyama, Ko Setoguchi, Romain Zissler, Keiji Kimura
2. 発表標題 The Impact of Renewable Energy Expansion on Electricity Market Price in Japan, Proceedings of 10th International Workshop on the Integration of Solar Power into Power Systems
3. 学会等名 10th International Workshop on the Integration of Solar Power into Power Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ko SETOGUCHI, Tatsuya WAKEYAMA
2. 発表標題 Analysis of the Impact of Renewable Energy Expansion on Geothermal Power Projects Using Power Market Model
3. 学会等名 International Symposium on Earth Science and Technology 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Keiji Kimura, Tatsuya Wakeyama	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Renewable Energy Institute	5. 総ページ数 32
3. 書名 Verification of Electricity Supply-Demand Balance and Costs in 2030	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 シンポジウム：自然エネルギーが支える未来へ向けた電力システムの転換	開催年 2019年～2019年
---------------------------------------------	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------