



Empirical Studies on the Economoics of Solar Power

八木, 千尋

(Degree)

博士 (経済学)

(Date of Degree)

2025-03-25

(Date of Publication)

2027-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第9125号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100496406>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



要約

209E605E

八木 千尋

Empirical Studies on the Economics of Solar Power (太陽光発電の経済学に関する実証研究)

本論文は、太陽光発電のさらなる普及を促すためのアプローチとして、太陽光発電導入の障壁となっている間欠性の緩和を担う蓄電・送電に関する分析、さらに、太陽光発電の導入要因の探究を行った。

第二章では、太陽光発電の変動性を軽減する蓄電システムの役割に焦点を当て、特に揚水発電システムについて分析を行った。太陽光発電の間欠性を緩和するために、揚水発電がどのように機能しているかを実証的に評価するため、1時間ごとの揚水発電の蓄電量を太陽光発電量に回帰させた。さらに、内生性の問題に対処するため、日照時間を操作変数として用いる操作変数法を採用した。分析の結果、揚水発電システムが太陽光発電の間欠性を効果的に緩和していることが示された。具体的には、太陽光発電量が1MWh増加するごとに、揚水発電システムによる蓄電量が0.249MWh増加することが明らかになった。この関係は、電力需要が低く、太陽光発電量が多い場合に特に顕著であることも確認された。また、地域間送電網による送電も太陽光発電量の増加に対して一定の調整機能を果たしているが、その効果は揚水発電システムよりも小さいことがわかった。実証分析で得られた係数を基に、既存の揚水発電システムがもたらす社会的利益を定量化したところ、太陽光発電がもたらす余剰電力に対する出力抑制を回避することによる社会的利益は、10MW規模の発電所で年間1.8億円から2.8億円と推定された。この利益は、新たに揚水発電システムを建設するコストの7.7%から11.7%に相当する。この結果から、既存の揚水発電の容量を効果的に活用することが、太陽光発電の導入を促進する上で非常に重要であることが示唆された。本研究は、太陽光発電の安定供給を目指す政策立案者やエネルギー業界に対

し、揚水発電システムの有効性とその価値を示す重要な実証的知見を提供する。

続いて第三章では、太陽光発電の間欠性緩和に対する、蓄電と地域間送電が与える社会厚生への影響に着目した。大規模な太陽光発電の導入に伴い、電力の余剰が発生することが懸念される中で、蓄電と地域間送電が重要な役割を果たすと期待されている。本研究では、これらの2つの電力取引（アービトラージ）が与える社会的厚生への影響を定量化することを目的としている。簡易な分析フレームワークを構築し、これを、太陽光発電による余剰電力が頻発する日本の九州地域に適用して、現在の蓄電と送電の運用がもたらす社会的利益を定量化した。まず、蓄電と送電による電力市場の均衡点の変化を探るため、電力需要曲線を推定し、供給曲線をデータから定義した。これらを用いて、蓄電と送電、2つのアービトラージの社会的影響を定量化した。主な結果は以下の通りである。第一に、推定結果によると、電力需要の価格弾力性は、太陽光発電量が多い時間帯で -0.228 、少ない時間帯で -0.252 であることがわかった。第二に、現在の蓄電および送電の運用は、それぞれ1日あたり73,000米ドルと59,000米ドルの社会的利益を提供していることが示された。第三に、これらの2つのアービトラージは、蓄電や送電によって追加的に供給される太陽光発電によって火力発電の一部を代替しているため、二酸化炭素削減といった外部的な利益をもたらしていることが明らかとなった。これらの結果は、現在の蓄電および送電の運用が消費者、製造者、環境に悪影響を及ぼすことなく、社会的利益を提供していることを示している。そのため、蓄電および送電は、太陽光発電の間欠性を緩和するための社会や環境にとって望ましい手段であることが明らかとなった。

最後に、第四章では、太陽光発電のさらなる普及に向けた新たな導入要因を探求するため、太陽光発電の非常用電源としての役割に着目した分析を行った。本研究は、2018年の北海道東部胆振地震に次ぐ大規模停電を自然実験として利用し、停電が太陽光発電システムの導入に与える影響を検証した。2018年の胆振地震に続く停電は、太陽光発電システム

の非常用電源としての役割を際立たせる事象であり、この停電後の太陽光発電導入に関する行動の変化を通して、非常用電源としての役割が太陽光発電の導入要因となっているのかどうかを分析することが目的である。本研究では、差の差（DID）分析を用いて、停電が与える太陽光発電導入への影響を見る。北海道全域は地震とそれに続く停電を経験したが、隣の東北地方では地震の揺れのみを受けた。このため、東北地方を比較対象として使用することで、地震自体が太陽光発電導入に与える影響を除いた分析を行うことができる。分析には、doubly-robust DID 分析を使用し、地域による特徴の違いを考慮して影響を推定した。結果として、停電が住宅用と非住宅用の太陽光発電導入に異なる影響を与えることが明らかになった。北海道の家庭は停電後に太陽光発電導入を減少させるといった、期待に反する結果となった。一方で、非住宅用に関しては、停電後に太陽光発電導入が増加した。具体的には、住宅用太陽光発電導入は停電後、1000 人あたり 0.668kW 減少し、これは対照群の平均導入量の 46%に相当する。一方、非住宅用太陽光発電導入では、1000 人あたり 2.703kW、つまり対照群の平均導入量の 74%が増加した。この結果は、非住宅用太陽光発電の導入が大幅に増加した一方で、住宅用太陽光発電の導入が期待に反して減少したことを示している。住宅用太陽光発電導入の減少理由を探るため、さらに異質性分析を行った。結果として、太陽光発電の間欠性が住宅用太陽光発電導入の減少の原因となっていることがわかった。具体的な分析は以下のとおりである。太陽光発電導入の期待利益は、停電の主観的確率、停電被害の大きさ、停電中の太陽光発電システムのパフォーマンスの 3つの要素に分解できる。まず、停電の発生確率が上方修正されたことが、その後の太陽光発電導入に影響を与えるかどうかを調べた結果、発生確率を上方修正した家庭は他の家庭よりも太陽光発電システムを設置する傾向が強いことがわかった。次に、停電による被害の程度が非住宅用太陽光発電導入に影響を与えることが示された。具体的には、停電による被害が大きいと予想される地域において、太陽光発電システムの導入を増加させることで停電の被害を軽減しようとする動きが見られた。最後に、停電時の太陽光発電シス

テムのパフォーマンスが、その後の太陽光発電導入に影響を与えることが確認された。特に、停電時に悪天候にを経験した地域では、住宅用・非住宅用ともに、停電後の太陽光発電導入量が少なくなる傾向があった。このことは、天候によって発電量が左右されるといった太陽光発電の間欠性が住宅用太陽光発電導入の減少の一因であることを示唆している。さらに、追加的な分析を行ったところ、太陽光発電導入の際に、その間欠性を軽減する働きを担う燃料電池や蓄電池などの自家用発電システムを併設する「自家発電システム併設」といったカテゴリーが、停電後に増加したことが明らかとなった。これにより、停電が太陽光発電導入の間欠性を浮き彫りにし、その結果、停電後に住宅用太陽光発電導入が減少したことが確認された。まとめると、停電は太陽光発電導入に影響を与えることがわかり、非常用電源としての役割が導入要因となっていることが明らかとなった。一方で、太陽光発電の非常用電源としてのパフォーマンスが、導入に大きな影響を与えることから、太陽光発電システムの非常用電源としての役割とそのパフォーマンスの両者が導入の意思決定段階において重要な要素として働くことが示された。

本論文は、太陽光発電の間欠性に対する蓄電・送電の役割に着目した分析を通して、それらが与える社会への影響を評価した。結果として、蓄電・送電ともに、社会にとって望ましい電力アービトラージであることが明らかとなった。一方で、現在の蓄電システムおよび地域間送電網の容量使用率は低い水準にとどまっており、新たな容量の導入よりも、既存の容量を最大限に活用する方が合理的であることが示唆された。さらに、太陽光発電の導入要因のさらなる探求においては、その非常用電源としての役割が導入要因となる一方で、間欠性によって太陽光発電導入が妨げられていることが明らかとなった。住宅用蓄電システムが、太陽光発電システムの間欠性を緩和する解決策となり得るものの、これらのシステムの設置を促進するための政策手段は十分に整備されておらず、今後の研究においてさらなる検討が必要である。