

第8章

電力制度の変化による再生可能エネルギーの普及と脱炭素の関連

諏訪部 絢子

要約

国際的な課題である温室効果ガスの削減には、エネルギー転換が重要である。日本におけるエネルギー転換を進める制度的要因に電気事業制度改革と固定価格買取制度が挙げられる。これらは柔軟な電力市場を生み出し、再生可能エネルギー事業への新規参入を容易にした。そこで本稿は、2016年から2020年までの旧一般電気事業者を除く小規模電気事業者の発電量のデータを用いて、小規模電気事業者が再生可能エネルギーの普及と二酸化炭素排出量削減に与える影響を分析した。分析結果からは、小規模電気事業者の増加は再生可能エネルギーの普及を促し、最終的に二酸化炭素排出量を削減させることが明らかになった。これらの知見から、小規模電気事業者を支える適切な制度改革や、補助金をはじめとした支援の重要性が示唆される。

1. はじめに

近年脱炭素への取り組みは国際的にも重要な関心事となっている。資源エネルギー庁によると、2021年時点で世界の154カ国が、カーボンニュートラルを掲げている¹。一方で国内における二酸化炭素排出量削減に対する解決策として重要視されているのは、エネルギーの転換である。資源エネルギー庁によると、日本のエネルギー構造のうちの再生可能エネルギーが占める割合を36%～38%まで上げることが現状の課題となっている²。

日本のエネルギー転換の背景には大きく分けて二つの流れが存在する。第一に、固定価格買取制度の開始である。固定価格買取制度とは、電力会社が再生可能エネルギーによる電力を固定価格で買い取る制度である³。これによって再生可能エネルギーの導入が容易になる。

¹ <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/html/1-2-1.html> (2023年11月17日)。

² 温室効果ガス削減の目標値を達成するためには、再生可能エネルギーの比率を36%～38%まで引き上げる必要がある。https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/community/dl/05_01.pdf (2023年11月11日)。

³ 固定価格による買い取りは一定期間に定められたものである。一定期間の買い取りは国が約束する形で成立する。https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/

実際に、本制度開始後に再生可能エネルギーの電源構成比率が 10 年間で 9.4%増加した⁴。第二に、電気事業制度改革である。一般に、発電や小売における電力自由化を含むこの改革は、従来的一般電力会社による電力市場の独占を解き、電力市場における競争を促したと理解される。1995 年の発電の自由化から 2016 年の電力小売全面自由化を経て、消費者は自身のニーズに合った電力を購入することが可能になった⁵。これにより、環境エネルギーであることを強調して電力を販売する小売事業者や、地域に分散して再生可能エネルギーの発電を行う分散型エネルギーが増加した⁶。

固定価格買取制度と電気事業制度改革はともに再生可能エネルギーの普及を促し、脱炭素化に貢献しうることが既存の研究からも明らかになっている。特に、固定価格買取制度は海外におけるエネルギー転換政策としても主流であり、多くの研究が行われている。その多くは、学習曲線概念を通じて解釈される。学習曲線とは、ある技術の市場での経験や学習を通じたコストダウンを予測するものである (Wand and Leuthold 2011)。固定価格買取制度は再生可能エネルギーの導入量を増やすことで、再生可能エネルギー技術の市場での経験を増やし学習効果を高めるため、設備のコストダウンを促す可能性があると考えられる (Alizamir et al. 2016)。一方で日本では海外で行われているような定量的な研究は少ないものの、茅野 (2014) は、2012 年の固定価格買取制度による買取価格が、20 年間 42 円/kWh と高額であったため確実な収益が見込まれ、導入障壁の少ない太陽光発電を中心に電力事業を行う事業者が増加したという。以上の観察を中心に、日本国内の固定価格買取制度は、再生可能エネルギー事業における収益の見通しを立てることを容易にする点が評価される (小林 2021; 茅野 2014)。

電気事業制度改革に関しても、国外の研究は豊富である。再生可能エネルギーの普及に影響する要因として主に議論されることは、電力自由化によりエネルギー事業が多様なものになったということである。Pepermans et al. (2005) は顧客のニーズによって柔軟に変化する自由化後の電力市場において、再生可能エネルギーを含む分散型エネルギー⁷が適していることを主張する。分散型エネルギーの技術は、火力発電等の集中型エネルギーと比較して小規模な傾向にあるため、建設のリードタイムが短く柔軟な市場に適しているという

data/kaitori/2018_fit.pdf (2023 年 11 月 14 日)。

⁴ https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/040_01_00.pdf (2023 年 11 月 14 日)。

⁵ サイト下部の電力システム改革も本稿では電気事業制度改革とする。https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/ (2023 年 11 月 19 日)。

⁶ 自治体新電力、デマンドレスポンス等、電力自由化によってビジネスモデルに多様性が生まれた。<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/denryokugaskaikaku/denryokujiyuka.html> (2023 年 11 月 15 日)。

⁷ 分散型エネルギーとは、小規模で地域に分散しているエネルギーを示す概念である。再生可能エネルギーやコージェネレーション、熱源機などを示す。それらの利用方法も、自家消費、面的利用、固定価格買取制度利用など多様な方法がある。https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/006/pdf/006_05.pdf (2023 年 11 月 17 日)。

(Pepermans et al. 2005)。また日本における研究でも、電力の自由化が、自由化後の市場の柔軟性を利用した分散型エネルギーや自治体新電力等の小規模電気事業者の普及を促した点で評価されている（川波ほか 2016）。

本稿では、先行研究で明らかになったことを参考にしつつ、それらの研究には研究上の課題が残されていることを指摘したい。第一に、国内の固定価格買取制度に関する研究において、再生可能エネルギーの普及に与える影響を定量的に分析する研究は少ない。定量的な研究に関しては、杉山・朝野（2013）による短期間のシナリオ推定に基づいたものが存在するが、固定価格買取制度における最適な価格設定やその頻度を提言するものであり、再生可能エネルギーの普及に対する影響を検証するものではない。第二に、電気事業制度改革に関する研究は、小売の自由化により成立した新電力会社に対する消費者の契約意識の変化に着目したもの（依田・村上 2016; 川波ほか 2016）や、新電力会社の相次ぐ倒産から制度の欠陥を主張するもの（山本 2022）は豊富であるが、再生可能エネルギーの普及と関連づけた定量的な研究は少ない。電気事業制度改革により分散型エネルギーなどの小規模かつ新たなエネルギー形態が普及したことが再生可能エネルギーの普及にどのような影響を及ぼしたのか定量的に評価することに研究の余地がある。

以上の研究上の課題に対して、本稿では電気事業制度改革と固定価格買取制度を通じた小規模電気事業者の普及が再生可能エネルギーの普及に与える影響を分析する。加えて、それらの制度を通じた再生可能エネルギーの普及が、エネルギー転換の本来の目的である脱炭素化に与える影響を検証する。具体的には、2016年から2020年までの小規模電気事業者の発電量、固定価格買取制度に登録済みの太陽光発電設備の受容量、及び再生可能エネルギーの発電量の都道府県別パネルデータを構築する。その上で、電気事業制度改革や固定価格買取制度を通じて増加した小規模発電事業者の発電量の変化が、再生可能エネルギーの普及に与える影響を検証する。さらに、再生可能エネルギーによる発電量とエネルギー由来の二酸化炭素排出量の都道府県別パネルデータを用いて、再生可能エネルギーの普及が二酸化炭素排出量に与える影響を検証する。分析の結果からは、小規模電気事業者による発電量の増加は再生可能エネルギーの普及に有意に影響を与えていることが明らかになった。さらに、固定価格買取制度は小規模電気事業者の増加を促す形で間接的に再生可能エネルギーの普及を促していることが示された。また、こうした小規模電気事業者の増加を通じた再生可能エネルギーの普及は二酸化炭素排出量を削減しうるということが明らかになった。

第2節では、国内外の再生可能エネルギーの普及要因を中心に先行研究をまとめる。第3節では、先行研究の知見を基に小規模電気事業者が再生可能エネルギーの発電割合、二酸化炭素排出量に与える影響を理論構築し、第4節では分析に必要なデータと方法を説明する。第5節では、実際の推定結果を元に、小規模電気事業者の増加を通じた再生可能エネルギーの普及と脱炭素への影響について議論する。第6節では、本稿で得られた知見を踏まえて、日本のエネルギー転換のあり方を提示する。

2. 先行研究

2-1. 再生可能エネルギーの普及要因

再生可能エネルギーの普及要因は制度的要因と社会的要因の二つから説明できる。制度的要因としては、電気事業制度改革と固定価格買取制度の開始が挙げられる。

まず、電気事業制度改革は、エネルギー事業を多様化させる手段として評価される。日本の電気事業制度改革は、1995年の発電の自由化から始まり、2016年の小売全面自由化を経て、さまざまな電気事業者が再生可能エネルギーを含む多様な事業に取り組むことを可能にした（川波ほか 2016）。エネルギー事業の多様化は供給者と消費者の双方に相互的な影響を与えるものである。例えば、2016年の電力の小売全面自由化後には、環境意識の高い個人や機関が自身のニーズに従って再生可能エネルギーを供給する事業者を選択するといった電力選択が可能になった（西江・諏訪 2020）。実際に、大学などの教育機関では電力の供給先を再生可能エネルギー比率の高い新電力に一部変更するなどの事例も見られる（西江・諏訪 2020）。一般消費者の間でも、環境価値の高いエネルギーを愛好する傾向があり（西江・諏訪 2020; Murakami et al. 2015）、電力の契約先を変更する「スイッチング」⁸は増加傾向にある⁹。

一方で供給者の視点に立つと、電気事業制度改革は事業の幅を広げる結果、再生可能エネルギーの普及を促したと考えられる。海外の研究では、電力自由化による分散型かつ小規模な発電設備によるエネルギー供給に対する期待が大きい。Pepermans et al. (2005) は、建設のリードタイムが短い小規模な再生可能エネルギーが電力自由化後の柔軟な市場に適していると主張する。国内でも、発電の自由化や小売の自由化を通じて、中小企業が電気事業を行えるようになった。しかし、新たに市場参入する電気事業者が大きな資本投下を要する大型発電を営むには障壁が高い（川上 2015）。そのため、再生可能エネルギーをはじめとした少ない資本で運営できる小規模な発電事業を営むことが多い（川上 2015）。また、地域が出資する形で市内の再生可能エネルギーを販売する自治体新電力にも期待が集まっている（川波ほか 2016; 諸富 2021）。

一方で、第二に、固定価格買取制度は、再生可能エネルギー市場への参画者を増やし、市場の学習効果により再生可能エネルギー設備のコストダウンを図る点で評価されている（Alizamir et al. 2016; Wand and Leuthold 2011）。海外における固定価格買取制度に関する

⁸ 電力自由化以後の一年半で一般家庭における電力供給先の契約切り替えは 10.6%に達した。<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/denryokugaskaikaku/denryokujiyuka.html> (2023年11月16日)。

⁹ ただし、消費者には現状の契約に対する「現状維持バイアス」が根強くあり（依田・村上 2016）、電力自由化後にも環境意識に基づく電力契約の切り替えが一般化したとも言い切れない。

研究の多くは学習曲線¹⁰の概念を用いた研究である。適切な固定価格により学習効果が高まると、再生可能エネルギー運営におけるコストが低下する。そのため、適切な固定価格の設定が重要である (Alizamir et al. 2016; Wand and Leuthold 2011)。加えて、Kilinc-Ata (2016) は、エネルギー転換を促す複数の政策を比較した結果、価格に基づく再生可能エネルギーの支援政策が、本質的に再生可能エネルギーの普及を促しやすいと主張した。また、国内の研究によると、固定価格買取制度は再生可能エネルギー事業の収益性を予測しやすくなった点が評価されている。再生可能エネルギーの導入コストに対する収益性を確実なものにすることで、事業に対する投資の回収に確実性をもたらすことが主張される (小林 2021; 茅野 2014)。このことは固定価格買取制度により、新規の電気事業者が自由化された市場に参入しやすくなったことを示唆する。

このような制度の要因以外にも、再生可能エネルギーの普及には社会的な背景が関係しているともされる。例えば、日本の再生可能エネルギー導入に対する社会的要因として、東日本大震災後の原子力発電所の事故に起因する原子力発電に対する国民の抵抗が挙げられる。東日本大震災後の電力供給不安により、日本国内の節電意識やエネルギー源に対する関心が高まった (田中・外岡 2013; 森田・馬奈木 2013)。それと同時に二酸化炭素を排出しない電力源である原子力発電に対する支持が得られなくなった (岩井・宍戸 2021)。また、化石燃料を利用した発電による電力供給の割合と、再生可能エネルギーによる電力供給の割合には一般に負の関係性があることから (Aguirre and Ibikunle 2014)、東日本大震災後の脱原発の動きは、日本で再生可能エネルギーの普及を促す社会的要因の一つになったと考えられる。

以上の先行研究の整理から、電気事業制度改革と固定価格買取制度が再生可能エネルギーの普及を促す可能性が指摘されている。このような再生可能エネルギーの普及は、エネルギー転換の目的である脱炭素にどのような影響を与えるのだろうか。

2-2. 再生可能エネルギーが二酸化炭素排出量に与える影響

再生可能エネルギーが二酸化炭素排出量に与える影響は、国家間比較によるものが多い。Hamid et al. (2022) は、拡張 STIRPAT モデルを用いて BRICS 国家間を、民主主義度合い、経済成長、再生可能エネルギー消費率等を軸に比較した。その結果、再生可能エネルギーの消費割合が 1%高いと一人当たりの二酸化炭素排出量が平均して 0.5%減少することが明らかになった (Hamid et al. 2022)。また、Le et al. (2020) は豊かさで分類した国家のグループを比較し、先進国における再生可能エネルギーの普及が二酸化炭素排出量の削減を促すことを明らかにした。他方で、蓄電池をはじめとした再生可能エネルギーに関連する技術の進歩と脱炭素の関連を論じた研究も多い。小林・吉田 (2017) は蓄電池価格の低下によ

¹⁰ 学習曲線とは、ある技術の市場での経験や学習を通じたコストダウンを予測するものである (Wand and Leuthold 2011)。

って二酸化炭素排出量が減少することを示している。以上のことから、再生可能エネルギーによる発電の増加が、二酸化炭素排出量の減少を促すものと考えられる。

しかし、以上のような先行研究群に対して、日本では、国内の電気事業制度改革と固定価格買取制度により促進された、小規模電気事業者の増加による再生可能エネルギーの普及に関する定量的な研究が少ないことがわかる。そのため、本稿では再生可能エネルギーの普及を促進する制度的要因に着目する。その中でも、日本の電気事業制度改革と固定価格買取制度が小規模電気事業者の市場参入を促した点に注目し、これらの制度を通じた小規模電気事業者の増加が再生可能エネルギーの普及に与えた影響を検証する。加えて、その制度的要因が国内のエネルギー転換本来の目的である、二酸化炭素排出量削減にどれほど影響を与えているのかを実証的に明らかにする。

3. 理論仮説

3-1. 制度的要因による小規模電気事業者の増加

本節では、電気事業制度改革と固定価格買取制度が再生可能エネルギーの普及を促したメカニズムとして、両制度が小規模電気事業者の新規参入を行いやすくした点に着目する。小規模電気事業者とは、従来的一般電気事業者以外の電気事業者のことを指す。具体的には、1995年の発電の自由化により市場参入したIPP (Independent Power Producer) やその後漸次的に行われた電力小売自由化により生まれたPPS (Power Producer and Supplier)、その他再生可能エネルギーや蓄電池等を用いて固定価格買取制度により売電を行う発電事業者等を指す。

先行研究によると電気事業制度改革により実現した柔軟な市場のもとで、小規模電気事業者は増加すると考えられる。Papermans et al. (2005) は、電力市場の自由化により消費者の選好を反映しやすくなった市場には、再生可能エネルギーなどの小規模な発電方法が適していると主張した。具体的には、蓄電池などを利用した小規模な発電方法は建設にかかる時間が少ないため、顧客の多様な電力供給の好みを反映しやすいという。また、川上 (2015) は、発電・小売自由化以後の新たなエネルギー事業者の市場参入に関して、太陽光発電による事業の始めやすさや、発電規模の柔軟性に注目する。その上で太陽光発電を中心とした小規模な発電方法であれば、中小企業でも市場に参入することが可能であるとしている (川上 2015)。

他方で固定価格買取制度は、自由化された市場に新しく参入する電気事業者の参入障壁をなくす点で、小規模電気事業者を増加させる。茅野 (2014) によると、2012年の固定価格買取制度による買取価格が、20年間42円/kWhと高額であった。そのため確実な収益が見込まれ、導入障壁の少ない太陽光発電を中心に電力事業を行う事業者が増加した (茅野

2014)。加えて、固定価格買取制度は再生可能エネルギーの設備コストを低下させる役割もあるため (Alizamir et al. 2016; Wand and Leuthold 2011)、川上 (2015) が言及する新規電気事業者の莫大な資本を要しない電気事業への参入を促進する。

3-2. 小規模電気事業者の増加による再生可能エネルギー普及の効果

以上の制度的要因に基づく小規模電気事業者の増加は、再生可能エネルギーの普及を促す。諸富 (2021) によると、再生可能エネルギーは原子力発電、火力発電のような大規模かつ「集中型」の電源と異なり、「分散型」としての性質を持っている。分散型というのは、再生可能エネルギーの、土地の面積に制限されず、どこでも発電を行える性質を示す。つまり、分散型の発電事業を行う電気事業者の増加は直接的に再生可能エネルギーの増加を促していると言える。また、小規模電気事業者による発電を増加させる上で、必要な電力系統¹¹の強化が間接的に再生可能エネルギーの普及に貢献する可能性がある¹²。小規模電気事業者が主に行う分散型エネルギーを導入するに当たって、低圧系統、上位系統の増強が必要になってくる。その増強の過程で、配電網を提供する事業者が配電において、デジタル技術を用いた電力の制御を行うことで柔軟な系統運用を実現しようとする結果、低コストで再生可能エネルギーの大量導入を可能にする基盤が生まれることになる (資源エネルギー庁 2023)。以上から、小規模かつ分散型の発電事業を営む小規模電気事業者の増加は、直接的・間接的に再生可能エネルギーの導入を推し進める可能性が高い。しかし、分散型エネルギーや小規模電気事業者の増加と再生可能エネルギーの普及の関連を定量的に分析した研究は少ない。Papermans et al. (2005) は小規模な発電技術のリードタイムの短さが、分散型の性質を持つ再生可能エネルギーの導入を促すと主張しつつも、風力発電等は住民の抵抗を受けることもあり、発電方法によって事情は異なるとされる。

以上のことから、本稿では、電気事業制度改革と固定価格買取制度を通じた小規模電気事業者の増加が再生可能エネルギーによる発電量の増加に与える影響に注目して、以下の仮説を検証する。

- 仮説 1-1 小規模発電事業者が増加するほど、再生可能エネルギーの発電量も増加する。
- 仮説 1-2 固定価格買取制度による発電受容量が増加するほど、小規模発電事業者が増加する。

3-3. 再生可能エネルギーの普及による二酸化炭素排出量への影響

¹¹ 電力系統とは、発電から消費までを行う際に利用する設備のことである。 <https://xtech.nikkei.com/dm/article/WORD/20130215/266134/> (2023年11月17日)。

¹² 以下の説明は資源エネルギー庁 (2023) 参照。

先行研究から、再生可能エネルギーの普及している国家とそうでない国家では二酸化炭素排出量が異なることが明らかにされている (Hamid et al. 2022; Le et al. 2020)。諸富 (2021) も同様に、地域ごとに利用する化石燃料由来のエネルギーを、身近な地域で生産された再生可能エネルギーに置き換えることで脱炭素に貢献できることを主張する。また、小林・吉田 (2017) は、再生可能エネルギー設備の拡張が二酸化炭素排出量を減少させることを示した。よって、本稿では、日本の地域間の比較でも同様の関係が見出されると考え、以下の仮説を検証する。

仮説 2 再生可能エネルギーによる発電量が増加するほど、二酸化炭素排出量は減少する。

4. データと方法

4-1. データ

前節の理論仮説を検証するために、2016年から2020年までの都道府県別のパネルデータを構築した。

仮説 1-1 で用いる変数について説明する。従属変数では、資源エネルギー庁が公開する「電力調査統計表」¹³に基づき、すべてのエネルギー源による発電量を合計した全体の発電量のうち再生可能エネルギー¹⁴による発電量が占める割合を再生可能エネルギーによる発電割合として用いる。

理論的に関心のある独立変数は、少規模電気事業者による発電割合、事業用 FIT 発電割合、住宅用 FIT 発電割合の三つである。まず、「電力調査統計表」の全ての発電事業者による発電量のうち、旧一般電気事業者による発電量を除いた部分を、小規模電気事業者の発電量とみなす¹⁵。その上で、小規模電気事業者の発電量¹⁶が全体の発電量に占める割合を小規

¹³https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results_archive.html (2023年11月21日)。

¹⁴ ここでは、水力、風力、太陽光、地熱、バイオマス、廃棄物を再生可能エネルギーとする。バイオマス発電は資源エネルギー庁の基準に従い再生可能エネルギーとみなす。また、廃棄物もバイオマス発電に含まれる。https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/biomass/index.html (2023年11月18日)。

¹⁵ 旧一般電気事業者とは、電気事業法による発電の自由化がなされる前の独占体制における大規模電力事業者のこと。<https://pps-net.org/glossary/2439> (11月21日)。

¹⁶ 小規模電気事業者を都道府県別に割り振る際に、https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/retailers_list/ (2023年11月21日)と https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electricity_measures/004/list/ (2023年11

模電気事業者による発電割合として計算した。次に、「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法 情報公開ウェブサイト」¹⁷が公開する「エリア別の認定及び導入量」に基づき、固定価格制度新規認定分の都道府県別太陽光発電設備の導入容量が、「電力調査統計表」上のエネルギー源を問わない全体の発電量に占める割合を FIT 発電割合とする。経済産業省の買取価格の規定に従い、発電規模が 10kW 未満の太陽光発電所を住宅用、10kW 以上の発電所を事業用と区別している¹⁸。以上の従属変数、独立変数ともに自然対数化したものを分析に用いる。

仮説 1-2 の検証では、仮説 1-1 と同様の変数を用いて、小規模電気事業者による発電割合を従属変数、事業用 FIT 発電割合・住宅用 FIT 発電割合を独立変数として、両者の関連を分析する。

最後に仮説 2 で用いる変数について説明する。従属変数では、「都道府県別エネルギー消費統計調査」¹⁹の結果に基づき、人口²⁰百人あたりの二酸化炭素排出量を用いる。二酸化炭素排出量はエネルギーを生産する際に排出されたものに限定しており、当該統計表の中で

表 1 変数説明

変数名	変数説明	出典
log (再生可能エネルギー発電割合)	再生可能エネルギーによる発電量÷総発電量×100を自然対数化した値。	「都道府県別エネルギー消費統計調査」、「電力調査統計表」
log (小規模電気事業者による発電割合)	旧一般電気事業者を除いた電気事業者による発電量÷総発電量×100を自然対数化した値。	「電力調査統計」
log (事業用FIT発電割合)	固定価格買取制度を利用している太陽光発電の導入容量 (10kW以上)÷総発電量を自然対数化した値。	「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法情報公開ウェブサイト」、「電力調査統計」
log (住宅用FIT発電割合)	固定価格買取制度を利用している太陽光発電の導入容量 (10kW未満)÷総発電量を自然対数化した値。	「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法情報公開ウェブサイト」、「電力調査統計」
log (総人口)	総人口を自然対数化した値。	「国勢調査」
log (事業所あたりの製造品出荷額)	一事業所あたりの製造品出荷額 (百万円) を自然対数化した値。	「工業統計調査」、「経済センサス」
財力指数	基準財政収入額÷基準財政需要額。	「地方財政状況調査」
log (人口あたりの二酸化炭素排出量)	(エネルギー生産により排出された二酸化炭素排出量+電力寄与損失・排出量配分)÷総人口 (1000tC) を自然対数化した値。	「都道府県別エネルギー消費統計調査」、「国勢調査」

月 21 日) を参照した。これらに記載がないものに関しては、自身で企業ウェブサイトの本社所在地を参照するほか、不明又は曖昧なものは排除した。

¹⁷ <https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> (2023 年 11 月 21 日)。

¹⁸ <https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220325006/20220325006.html> (2023 年 11 月 18 日)。

¹⁹ https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/results.html (2023 年 11 月 22 日)

²⁰ 人口は国勢調査に基づく総人口。

表 2 記述統計

	観測数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
log(再生可能エネルギー発電割合)	235	0.8865	0.8689	0	3.5089
log(小規模電気事業者による発電割合)	235	2.5119	1.3450	0	8.7961
log(事業用FIT発電割合)	235	0.7351	0.6817	0.0126	3.6815
log(住宅用FIT発電割合)	235	0.2204	0.3680	0.0044	2.1883
log(総人口)	235	14.4541	0.7813	13.2238	16.458
log(事業所あたりの製造品出荷額)	235	7.2535	0.4626	5.8916	8.2741
財政力指数	235	0.5165	0.1900	0.2520	1.1790
log(人口あたりの二酸化炭素排出量)	235	7.4328	0.9722	5.7401	9.3594

は「エネルギー利用」と「電力寄与損失・排出量配分」²¹の値を足したものを利用する。理論的に関心のある独立変数は仮説 1-1 で用いたものと同様の再生可能エネルギーによる発電割合を用いる。こちらも、従属変数、独立変数共に自然対数化した値を用いる。

統制変数は、全てのモデルを通じて同様のものを用いる。地域毎の人間の活動量や製造品由来の電力需要と二酸化炭素排出量等を制御するため、総人口、「工業統計調査」・「経済センサス」の事業所あたりの製造品出荷額、「地方財政状況調査」の財政力指数を利用する。総人口と事業所あたりの製造品出荷額は自然対数化したものを使用する。

4-2. 推定方法

再生可能エネルギーの導入率や発電源の数は、その土地の立地条件により大きく左右される。また、都市と山間部で人口差の大きい日本では、人間の活動が行われている地域が大きく限られ、二酸化炭素排出量にも地域差がある。そのため、地域によって再生可能エネルギーを導入するポテンシャルや二酸化炭素排出量に地域差があることに注意する必要がある。さらに、電力の発電量は、その需要量によって大きく変化する。年度毎に事業所や家庭からの電力の需要量も異なるため、年度間の差にも注意する必要がある。そこで本稿では、検証の際に、都道府県や年度毎に見られる異質性を統制するため、個体効果と時間効果を投入する。したがって本稿では、年度間の違いと地域間の違いの両方向を固定した固定効果モデルに基づくパネルデータ分析による検証を行う。

5. 分析結果

²¹ 電力寄与損失とは電力を外部から購入する際に損失されたエネルギーのことを指す。ここでは、電力寄与損失からの CO2 排出量を示す。https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/pdf/dkiyosonn.pdf (2023 年 11 月 18 日)。

5-1. 小規模電気事業者の増加による再生可能エネルギー普及の効果

まず、表 3 では電気事業制度改革と固定価格買取制度が促した小規模電気事業者による発電量の増加が、再生可能エネルギーの普及に与える影響を検証した。小規模電気事業者の発電割合、事業用 FIT 発電割合、住宅用 FIT 発電割合を従属変数とし、再生可能エネルギーによる発電割合を独立変数としている。Model 1 を見ると、小規模電気事業者の発電割合が増加すると統計的に有意に再生可能エネルギー発電割合が増加している。このことは、仮説 1-1 に整合的である。つまり小規模電気事業者による発電を増加させることは再生可能エネルギーによる発電の増加に寄与する。Model 2~3 を見ると、事業用 FIT 発電割合、住宅用 FIT 発電割合が増加するほど再生可能エネルギー発電割合が増加している。このことは、固定価格買取制度を利用する太陽光発電受容量が増加するほど、再生可能エネルギーによる発電割合の増加を促すことを示す。留意したい点として、固定価格買取制度により供給された発電量は、従属変数である再生可能エネルギー発電割合に含まれていないため、あくまでも再生可能エネルギーとの関連は間接的なものでしかない。では、何が原因で間接的に再生可能エネルギーの普及を促したのだろうか。Model 4 は再生可能エネルギー発電割合を従

表 3 小規模発電事業者の増加による再生可能エネルギー普及の効果

	従属変数			
	log (再生可能エネルギー発電割合)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
	2016-2020	2016-2020	2016-2020	2016-2020
log (小規模電気事業者の発電割合)	0.3611 ** (0.1331)			0.2502 * (0.0939)
log (事業用FIT発電割合)		0.5458 ** (0.1579)		0.2995 † (0.1624)
log (住宅用FIT発電割合)			1.3160 * (0.5016)	0.3305 (0.3978)
log (総人口)	-4.4840 † (2.4680)	-3.9000 (2.9110)	-7.3810 * (3.0440)	-5.3540 † (2.6630)
log (事業所あたりの製造品出荷額)	-1.2760 (0.8455)	-1.3070 (0.8793)	-1.4470 (0.8917)	-1.3560 (0.8139)
財政力指数	3.6360 (2.5940)	5.4600 † (3.1880)	6.1190 † (3.2190)	3.5260 (2.9030)
時間効果	YES	YES	YES	YES
個体効果	YES	YES	YES	YES
調整済みR ²	0.9300	0.9317	0.9247	0.9412
N	235	235	235	235

(1) ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$ 。

(2) ()内は都道府県ごとにクラスター化したロバスト標準誤差。

表 4 固定価格買取制度が小規模発電事業者の発電割合に与える影響

	従属変数	
	log (小規模電気事業者の発電割合)	
	Model 1	Model 2
	2016-2020	2016-2020
log (事業用FIT発電割合)	0.6468 *	0.6757 **
	(0.2463)	(0.2410)
log (住宅用FIT発電割合)	-0.0671	-0.2225
	(0.5500)	(0.5434)
log (総人口)		2.8080
		(4.8180)
log (事業所あたりの製造品出荷額)		0.0601
		(0.8912)
財政力指数		7.8220 *
		(3.6010)
時間効果	YES	YES
個体効果	YES	YES
調整済みR ²	0.9338	0.9342
N	235	235

(1) ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$ 。

(2) ()内は都道府県ごとにクラスター化したロバスト標準誤差。

属変数、小規模電気事業者の発電割合、事業用 FIT 発電割合、住宅用 FIT 発電割合を独立変数としている。これを見ると小規模電気事業者の発電割合を変数として投入した結果、事業用 FIT 発電割合、住宅用 FIT 発電割合の変数の統計的な不確実性が高まっている。そのため、固定価格買取制度が小規模電気事業者の発電を促進させることを通じて、再生可能エネルギーの発電割合の増加を促すというメカニズムが想定される。この点を検証したものが表 4 となる。

表 4 では、小規模電気事業者による発電割合を従属変数に、事業用 FIT 発電割合、住宅用 FIT 発電割合を独立変数とした。Model 1～2 を見ると、事業用 FIT 発電割合が増加すると統計的に有意に小規模電気事業者の発電割合も増加する。つまり固定価格買取制度を利用する事業用の太陽光発電設備の受容量の増加が、小規模電気事業者の発電量を増加させることがわかった。このことは仮説 1-2 に整合的である。住宅用 FIT 発電割合が統計的に有意な結果が得られなかったのは、住宅用の太陽光発電で発電を行い固定価格買取制度で電力供給する場合、自家消費を目的に発電を行うことが多いためであると考えられる。発電

表5 再生可能エネルギーの普及が二酸化炭素排出量に与える影響

	従属変数		
	log (人口あたりの二酸化炭素排出量)		
	Model 1	Model 2	
	2016-2020	2016-2020	
log (再生可能エネルギー発電割合)	-0.0146 (0.0097)	-0.0178 (0.0099)	†
log (総人口)		-0.5646 (0.5155)	
log (事業所あたりの製造品出荷額)		-0.0136 (0.0985)	
財政力指数		0.5661 (0.3842)	
時間効果	YES	YES	
個体効果	YES	YES	
調整済みR ²	0.9981	0.9981	
N	235	235	

(1) ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$ 。

(2) ()内は都道府県ごとにクラスター化したロバスト標準誤差。

量のうち利用しなかった余剰電力を電力会社に供給するため²²、固定価格買取制度により発電事業への参入障壁を緩和するほどの影響は持たないのかもしれない。

統制変数に関しては、表3、表4ともに、財政力指数が統計的に有意に再生可能エネルギー発電割合、小規模発電事業者の発電割合を増加させており、都道府県の財政的余裕が再生可能エネルギーの利用促進に貢献する可能性を示唆している。また、表3においては、総人口が増加するほど、再生可能エネルギー発電割合が減少していることを示している。これは、人口の多い都市部での発電よりも、人口の少ない山間部の方が土地も広く再生可能エネルギーを設置しやすいことが挙げられる²³。

以上の分析結果から明らかになった再生可能エネルギーの普及は、日本のエネルギー転換本来の目的である二酸化炭素排出量の削減を遂げているだろうか。表5では、人口あたりの二酸化炭素排出量を従属変数とし、再生可能エネルギーの普及が二酸化炭素排出量に与えた影響を検証する。Model 2において、再生可能エネルギー発電割合が増加するほど、

²² 10kW未満の出力の太陽光発電は余剰電力の売電のみ。 <https://www.smart-tech.co.jp/column/solar-power/surplus-sales/> (2023年11月18日)。

²³ <https://www.env.go.jp/earth/report/h22-02/gaiyo.pdf> (2023年11月18日)。

人口あたりの二酸化炭素排出量が減少することが明らかになった。これは、仮説 2 に整合的な結果である。つまり、日本の都道府県間の比較でも、再生可能エネルギーの普及が、実際に二酸化炭素排出量の削減に貢献している。

6. 結論

本稿では、2016 年から 2020 年までの都道府県別小規模電気事業者と固定価格買取制度利用事業者のパネルデータを用いて、電気事業に関する制度変化が再生可能エネルギーの普及、二酸化炭素排出量に与える影響を明らかにした。本稿の分析結果からは、第一に、小規模電気事業者による発電が増加するほど、再生可能エネルギーの普及を促すことが明らかになった。このことは、電気事業制度改革や固定価格買取制度という日本のエネルギー事業に関する制度変化が、小規模電気事業者を増加させることを通じて、再生可能エネルギーの普及を促したことを示唆する。実際に、固定価格買取制度に登録している太陽光発電設備の受容量の増加が、小規模電気事業者による発電量を増加させることも、本稿の分析で明らかとなった。この結果は、固定価格買取制度が再生可能エネルギー事業の開始を容易にし、小規模電気事業者による発電量を増加しうることが示唆される。

第二に、以上の制度を通じて普及した再生可能エネルギーが、二酸化炭素排出量を削減することが明らかになった。このことから、日本が脱炭素を成し遂げるために進めたエネルギー転換には一定の効果があることが示唆される。

上記の知見に基づくと、電気事業制度改革と固定価格買取制度により増加した小規模電気事業者は再生可能エネルギーの普及を促し、脱炭素に貢献することが期待される。そのため、小規模電気事業者の事業継続を支援する取り組みが今後必要であると考えられる。具体的には、現在政府が行なっている「脱炭素先行地域」²⁴の取り組みが一例となる。これは、民生部門のカーボンニュートラルを目標に、脱炭素に向けた先進的な取り組みを行なった地方自治体が先行地域として認定を受ける制度である。この認定を受けた自治体には交付金が与えられる。このようなエネルギー事業の分散化や小規模化に対する支援が今後重要となってくる。

また、日本の小規模電気事業を支えることに加えて、その歪みを是正することも重要である。電気事業制度改革は柔軟な市場を生み出した反面、反発も多い。電力小売自由化以後大量に設立された新電力会社の多くが倒産に追い込まれている。山本 (2022) は、相次ぐ新電力会社の倒産の原因として、電力小売全面自由化の制度内で新電力会社が安定したエネルギー調達源の確保を義務付けていないことを指摘した。加えて、固定価格買取制度によって再生可能エネルギーの大量導入が促され、混乱に陥る事例もある。陳 (2017) は固定価格買取制度による再生可能エネルギーの大量導入によって、電気を送電するための系統が不足

²⁴ <https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/grants/> (11 月 18 日)。

してしまう可能性を問題視している。実際に日本の固定価格買取制度の規定では、電力系統の不足により系統接続の申し込みを断ることができてしまう。これに対してドイツでは、電気を送電する際に、再生可能エネルギーを優先的に給電することが制度上可能である。以上のような問題に対して、電気事業制度改革や固定価格買取制度による再生可能エネルギーの増加に適した電力系統に関する義務の明確化が重要となってくる（陳 2017）。

このような小規模電気事業者に対する期待の中、今後はより多様な電気事業に関する制度が小規模電気事業者に与える影響に注目することに研究の余地がある。例えば、本稿では扱わなかった炭素税²⁵や非化石証明書²⁶などの取り組みが、事業者にどのような影響を与えるのか検証することで、より網羅的に日本のエネルギー転換に向けた制度改革を考えることができるだろう。

7. 参考文献

- 依田高典・村上佳世. 2016. 「電力全面自由化を前にした消費者の電力選択意識の調査」『計測と制御』 55(7): pp.598-603.
- 岩井紀子・宍戸邦章. 2013. 「東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故が災害リスクの認知および原子力政策への態度に与えた影響」『特集・東日本大震災・福島第一原発事故を読み解く』 64(3): pp.420-438.
- 川上義明. 2015. 「再生可能エネルギー分野への中小企業の進出：電力自由化および FIT との関連において」『福岡大学商学論叢』 59(4): pp.271-310.
- 川波匠・高橋義文・佐藤剛史・矢部光保. 2016. 「地方自治体主導による再生可能エネルギーの生産・販売と新電力事業者の選択に関する住民意識の構造分析」『九州大学大学院農学研究院学芸雑誌』 71(2): pp.59-70.
- 小林久. 2021. 「農業計画と再生可能エネルギー」『農村計画学会誌』 40(2):pp.68-71.
- 小林勇介・吉田好邦. 2017. 「電力小売自由化と再生可能エネルギー普及の CO2 排出量への影響評価」『日本エネルギー学会誌』 96: pp.42-51.
- 資源エネルギー庁. 2023. 「分散型エネルギーシステムへの新規参入のための手引き」
- 杉山昌広・朝野賢司. 2013. 「固定価格買い取り制度 (FIT) における太陽光発電の機動的な買い取り価格改定の必要性」『エネルギー・資源学会論文誌』 34(2):pp.9-16.
- 田中昭雄・外岡豊. 2013. 「東日本大震災後の住宅エネルギー需要の変化と地域性」『エネルギー・資源学会論文誌』 34(2): pp.17-24.

²⁵ 炭素税とは、企業などが排出した二酸化炭素排出量に課税する制度である。 https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_pricing.html (2023年11月19日)。

²⁶ 非化石証明書とは再生可能エネルギーを中心とする化石燃料を用いない発電方法のうちの環境価値のみを取引するもの。 <https://www.whole-energy.co.jp/column/3380/> (2023年11月19日)。

- 茅野恒秀. 2014. 「固定価格制度 (FIT) 導入後の岩手県の再生可能エネルギー」『サステナビリティ研究』 4: pp.27-40.
- 陳拂衣. 2017. 「再生可能エネルギー固定価格買取制度の概要と課題について」『現代社会文化研究』 64: pp.215-230.
- 西江莉子・諏訪亜紀. 2020. 「電力小売自由化を背景とした教育機関の電力事業者選択：京都女子大学のエネルギー消費と温室効果ガス排出量分析から」.
- 森田玉雪・馬奈木俊介. 2013. 「東日本大震災後のエネルギー・ミックス—電源別特性を考慮した分析」独立行政法人経済産業研究所ディスカッションペーパー.
- 諸富徹. 2021. 「地域における脱炭素社会の構築」『風力エネルギー』 45(3): pp.417-419.
- 山本一郎. 2022. 「電力自由化の失政, エネルギー安定供給を見据えた長期展望を」『日本原子力学会誌 ATOMO Σ』 64(10): pp.544-546.
- Aguirre, Mariana and Gbenga Ibikunle. 2014. “Determinants of Renewable Energy Growth: a Global Sample Analysis” *Energy Policy* 69: pp.374-384.
- Alizamir, Saed, de Véricourt, Francis, and Peng, Sun. 2016. “Efficient Feed-In-Tariff Policies for Renewable Energy Technologies”, *Operations Research* 64(1): pp.52-66.
- Hamid, Ishfaq, Alam, Md Sdabbir, Kanwal, Asma, Jena, Pabitra Kumar, Murshed, Muntasir and Risana Alam. 2022. “Decarbonization Pathways: The Roles of Foreign Direct Investments, Governance, Democracy, Economic Growth, and Renewable Energy Transition” *Environmental Science and Pollution Research* 29: pp.49816-49831.
- Kilinc-Ata, Nurcan. 2016. “The Evaluation of Renewable Energy Policies Across EU. Countries and US States: An Econometric Approach” *Energy for Sustainable Development* 31: pp.83-90.
- Le, Thai-Ha, Chang, Youngho, and Donghyun Park. 2020. “Renewable and Nonrenewable Energy Consumption, Economic Growth, and Emissions: International Evidence” *The Energy Journal, International Association for Energy Economics* 0(2): pp.73-92.
- Murakami, Kayo, Ida, Takanori, Tanaka, Makoto and Lee Friedman. 2015. “Consumers’ Willingness to Pay for Renewable and Nuclear Energy: A Comparative Analysis Between the US and Japan” *Energy Economics* 50: pp.178-189.
- Pepermans, Guido, Driesen, Johan L.J., Haeseldonckx, Dries, Belmans, Ronnie J.M. and William D. D’Haeseleer. 2005. “Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues”, *Energy Policy* 33(6): pp.787-798.
- Wand, Robert and Florian Leuthold. 2011. “Feed-in Tariffs for Photovoltaics: Learning by Doing in Germany?”, *Applied Energy* 88(12): pp.4387-4399.