Policy on diffusion of distributed energy resources and social interaction

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-02-10 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 荒川, 潔 メールアドレス: 所属:
URL	https://otsuma.repo.nii.ac.jp/records/6770

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

分散型電源の普及政策と社会的相互作用

荒川　潔*

要　　約

近年、伝統的な中央集権型のエネルギー供給から再生可能エネルギーなどを中心とした分散型電源へと変革が起こりつつある。分散型電源のような新技術の普及には、技術の利用可能性を向上させるだけでなく、不確実性を軽減するための政策が不可欠である。また、分散型電源のようなローカルなコミュニティでのエネルギー管理によりエネルギーコストの削減が期待できるが、そのためには消費者の受容性を高める政策も必要である。本稿では、分散型電源とマイクログリッドに焦点を当て、不確実性を軽減し需要を高める要因について検討する。また消費者がシステムの導入を決断する際、他者の行動がその決断に影響すると考えられるため、ピア効果などの社会的相互作用の効果を検討し、望ましい分散型電源の普及政策について議論する。

1．はじめに

近年、世界中で地球温暖化に対応した環境政策が実施され、特に再生可能エネルギーの活用に対する期待が高まっている。このようなエネルギーのグリーン化について、その政策の効果は新技術に対する消費者の受容性に強く依存する（Foxon and Pearson, 2007; Yazdanpanah et al., 2015）。つまり、政策の効果を高めるには、消費者のインセンティブを理解した上での政策が必要となる（Ribeiro et al., 2011）。現在のところ、再生可能エネルギーの普及政策とビジネスモデルは再生可能エネルギーの技術に対する需要を高め、市場は大きく拡大している。多くの国々では固定価格買取制度（Feed-in Tariff, FIT）を採用し再生可能エネルギーの急速な普及を実現しているが、賦課金による国民負担の増大もあり、新しいビジネスモデルの確立が期待されている。また、電力系統も転換期を迎えており、これまでの規制緩和などの結果、中央集権型から分散型のシステムに向かっている（Wilson, 2002）。このように電力供給システムは新しい方向へ向かっているものの、技術の進展だけでは持続的な普及パターンを保証できない（Lopes et al., 2012）。なぜなら、効率の悪い場所への太陽光発電パネルの設置などの非効率を生じるかもしれないからである。したがって、効率的な再生可能エネルギーの普及の実現には、複雑さを増すイノベーションと消費者のインセンティブとの関係を理解する必要がある。

再生可能エネルギーの効率的な普及を実現する

*大妻女子大学　社会情報学部

手段として近年注目を集めているのが、ローカルなエネルギーシステムの構築である。ローカルなコミュニティでのエネルギーの管理により、エネルギーコストや二酸化炭素の削減、電力系統への依存の低下などを実現するよう、人々に適切なインセンティブを与えようとするのである。このような取り組みは、低炭素エネルギーシステムへの移行を推進し、消費者の信頼を確立することで電力の需要と供給の柔軟性をもたらすことにつながる。さらに、コミュニティレベルでのエネルギーの管理が実現すると、消費者は単なる受動的な立場から消費と供給を行う能動的なプロシューマーへと変化することになる（van der Schoor and Scholtens, 2015）。このようにローカルなエネルギーシステムはエネルギーの消費傾向に強い影響を与え、エネルギーや地球温暖化などの大きな問題の解決に寄与する可能性を秘めている。このようなエネルギーシステムを実現する技術として、本稿では、分散型電源と、それらを電力系統に接続したマイクログリッドに焦点を当てる。このマイクログリッドは分散化された電力ネットワークのオプションの中で最も期待されている技術といえる。

新しい技術の不確実性は高いため、一般に、消費者はそれらの技術の導入に躊躇する。そのため、再生可能エネルギーの導入に関する高い費用や知識不足などの普及を抑制する要因に対しては、それらの要因を緩和するための政策やビジネスモデルが必要となる。そのような中、近年、電力の買取契約やリースなどの解決策をもたらす第三者所有（third-party-owned, TPO）モデルの重要性が増している。また、コミュニティ・ソーラーなどのモデルでは、コミュニティレベルで発電と電力消費を管理することで、再生可能エネルギーの利用のハードルを下げることを目的としている。このようなビジネスモデルは、特に住宅用太陽光発電普及を急速に拡大する効果が期待されている。

新しい技術の普及には、個人の行動の決定において社会的相互作用が強く影響することが知られている（Becker and Murphy, 2000）。社会的相互作用効果は、新製品を普及させるための潜在的に重要な要因である。したがって、環境的に望ましい財や技術の場合、政府やメーカーは社会的な外部性をもたらし普及の促進をもたらす社会的相互作用に関心を持つことになる。なぜなら、政策が消費者に影響を与えると、社会的な外部性により間接的に他の消費者に影響を与えるからである。環境対応製品や活動の普及を促す要因として、他者への類似が存在することが知られている（Young, 2011）。イノベーションには消費者の不十分な知識による不確実性を含んでおり、そのような不確実の下では、友人や隣人たちの意見や行動が、しばしば人々の行動のガイドラインとして機能することがある（Nolan et al., 2008; García-Maroto et al., 2015）。このような社会的相互作用の存在は、政府の介入効果を変化させる可能性がある。例えば、社会的相互作用により、発電設備の空間的配置の非効率をもたらすかもしれない。したがって、社会的相互作用による非効率性の増大の可能性は、このような政策の副作用に対する対策を必要とすることになる。また、太陽光発電システムの高い視認性は近隣に影響するには十分な力を持つ。このように、社会的相互作用は太陽光発電パネルの採用を増大させることが知られている（Bollinger and Gillingham, 2012）。さらには、社会的相互作用は家庭内での電力使用をも減らす効果がある（Frederiks et al., 2015; Schultz et al., 2007; Ayres et al., 2013）。

以上より、分散型電源の普及には、技術的な問題の解決だけでなく、社会的相互作用を組み込んだ消費者行動を念頭に置いた普及政策の立案が不可欠であることがわかる。したがって、本稿では、コミュニティレベルの電力系統の構築に必要な政策やビジネスモデルと、普及に影響を及ぼす社会的相互作用の効果について検討する。

本研究の構成は以下の通りである。2 節では分散型電源の普及における問題点を指摘し、3 節ではマイクログリッドの構築のためのビジネスモデルを分析する。4 節では再生可能エネルギーの普及を抑制する要因を分析し、5 節では普及を促すための社会的相互作用の活用について検討する。6 節では結論を述べる。

2. 分散型電源

分散型電源とは、分散化された発電、蓄電、コントロールできる負荷などを含む概念である（Cardoso et al., 2014）。分散型電源は、電力化や暖房のようなローカルな発電をも含む（Chicco and Mancarella, 2009）。分散型電源によりローカルなエネルギーの利用可能性は大きく増大し、グローバルなエネルギーシステムにおいても欠かせない存在となっている（Ackermann et al., 2001）。しかしながら、分散型電源の普及は伝統的な電力ビジネスに大きな影響を与えるため、既存の電力会社がデススパイラルに陥ってしまう危険性を含んでいる（Kind, 2013）。

スマートグリッドは分散型電源と親和性が高く、スマートグリッドの最終的な利用者は分散型電源を活用するとともに、住宅内の蓄電技術を利用することが期待されている。また、分散型電源を活用することで、ローカルなコミュニティにおいて、エネルギーを効率的に管理することができる。分散型電源の有効活用に役立つ電力の貯蔵については、近年、蓄電池の価格が大きく低下し、今後の大きな技術革新が期待され、分散型電源の普及が促進することが予想されている。このことにより、再生可能エネルギーの供給と需要の双方を電力システム上で効率的なバランスをとることが可能となる。さらには、分散型電源やエネルギー貯蔵、デマンドレスポンスなどにより、電力部門の脱炭素が大きく改善し、経済的にも重要性を増すことになる。

分散型電源は分散化しているため、その空間的配置における非効率が生じる可能性がある。そのため、例えば太陽光発電の場合、所与とする予算のもとで発電量を最大化するのであれば、効率的な空間的な配置は、大きい日射量の地域に優先的に太陽光発電システムを導入することになる。そのような配置のもとでは、より低コストで多くのエネルギーを産出できることになる。したがって、分散型電源の普及を考える際、普及におけるインセンティブ構造を理解した上で、普及政策を検討する必要がある。

再生可能エネルギーの普及のためには、税制や補助金などを活用して経済的なインセンティブを普及につなげる政策が欠かせない。再生可能エネルギーが発電した電力の買取価格を保証するFITはそのような手段の一つであり、多くの国々で採用されている。電力の固定価格での家庭からの買取を約束することで導入のリスクを軽減でき、特に太陽光発電の導入を著しく増大させた。これまでの研究で、太陽光発電システムの導入費用は高いこともあり、所得が高くなるほど普及率が高いという相関関係が見られる（Balcombe et al., 2013）。同様に、住宅価値が高い地域や年齢の高い地域、学歴の高い地域などにおいても普及のレベルが高いという結果が得られている。その他にも、社会経済的な要因と再生可能エネルギーの普及には相関関係の存在が指摘されている（Baskaran et al., 2013）。このように経済的インセンティブを高めることで普及を促すことが可能となるが、それは必ずしもエネルギー活用の効率性が改善したことを意味するわけではない（Frondel et al., 2010）。例えば、高いFITは一般的に効率的な空間的配置を実現できないことが知られている。なぜなら日射量が小さい地域であっても太陽光発電システムの導入が経済的に割に合うことになるからである（Inhoffen, 2019）。さらには、後述するように、FITなどの経済的インセンティブを活用した政策の効果は、社会的相互作用の存在により弱められる可能性がある。つまり、社会的相互作用が政策の非効率的な面を悪化する可能性があることになる（Allan, 2017）。

家庭レベルでの発電やエネルギー貯蔵などの技術が進化して再生可能エネルギーの普及が進むと、分散型電源を活用したインフラストラクチャーの進化が期待されることになる（Houwing et al., 2006）。そして、適切な管理による分散型電源の統合が実現すると、ローカルなエネルギー活用の効率化に大きく寄与するだろう。しかしながら、過渡期においては、現在の伝統的かつ中央集権的な電力インフラストラクチャーと整合的な分散型電源の統合が必要とされることになる。つまり、ローカルなコミュニティの取り組みを通して、

分散型電源のポテンシャルを最大に利用することになる。電力の需要と供給がローカルなものになるにつれ、複雑性やコストが低下し、さらには中央集権的なエネルギーシステムに関連する非効率性をも低減する（Mendes et al., 2011）。このように電力の需要と供給をローカルに管理する分散型電源が必要とされることになる。分散型電源を柔軟に運用するためには、太陽光発電パネルやインバーターなどの発電システムを消費者がどの程度までカスタムできるのかを決める必要がある（Huijben and Verbong, 2013）。カスタムの余地が大きいと、消費者はニーズに合ったシステムを導入でき、またプロシューマーとして電力に関する費用を削減できることになる。また、デマンドレスポンスは消費者の消費パターンを変化させるインセンティブを消費者に与えることができる（Smith and Brown, 2015; Koliou et al., 2014）。したがって、ローカルなコミュニティの新しい役割は、ローカルな発電やデマンドレスポンスによりエネルギーの効率化を実現し、受動的な消費者を能動的なプロシューマーに変化させることである（Bouffard and Kirschen, 2008）。

住宅用の電力需要は、電気自動車やヒートポンプの普及などに伴い、大きく増大すると予想されている。したがって、電力化による電力需要の増大はローカルなグリッドの問題を深刻化させるかもしれない。これまでの解決策は、電力系統の強化であったが、コストが高く状況に依存する。しかしながら、分散型電源を活用してさまざまな場面での電力化が進めば、エネルギーの利用は効率化し、分散型電源はもっと普及することになる。

3. マイクログリッド

伝統的な中央集権的なエネルギーシステムは経済的には効率的であるものの、環境的な観点からは、必ずしも効率的とは言えない。一方、分散型電源を統合したローカルなエネルギーシステム、つまりマイクログリッドは電力の自給自足を促すため、持続性の観点からも近年注目を集めている（Rogers et al., 2008; Walker et al., 2010; Rae and Bradley, 2012; Wirth, 2014）。グローバルな温暖化ガス排出の削減のためには、分散型電源からの自律的な発電を通して、ローカルなエネルギーシステムの構築が欠かせない（Cardoso et al., 2014）。ローカルなエネルギーシステムへの移行については、個々の技術や導入に関する問題だけでなく、家庭やコミュニティが既存のシステムやスマートグリッドに与えると考えられる影響の把握が必要である。数多くの技術や組織などと同様に、ローカルなエネルギーシステムの市場への導入は複雑さを増している。そのような複雑な状況に対して、ローカルなレベルでの最適な発電と需要の統合のため、新しい手段や組織の改編が求められている。

伝統的な中央集権的な電力系統構造からマイクログリッドにシフトするためには、いくつかの問題の解決が必要である。まずシステム導入の費用であるが、太陽光発電や電力の貯蔵コストなどは急激に低下しており、システムの導入のコストは以前ほどには重要ではなくなっている（Nykvist and Nilsson, 2015）。しかし、再生可能エネルギーの増大は、既存の電力系統に多大な負担をかけることになり、グリッドサービスの料金の上昇が懸念される（Kann et al., 2016）。つまり、分散型電源の普及に伴い電力系統などのインフラ投資が困難になるというデススパイラルが懸念されている状況である。この問題を解決するためには、分散型電源を統合するマイクログリッドを効率的に構築する必要があり、電力系統の分散化を促す政策の努力が欠かせない。そのためには、再生可能エネルギーの利用の強制や、分散化された信頼できる電力システムの採用などが必要となる。

マイクログリッドはローカルでコントロールされている分散型電源のクラスターで構成されており、電力と市場の両観点から、需要と供給を一体とみなすことができる（Ravindra and Iyer, 2014）。マイクログリッドは、必要であれば、伝統的な電力系統から離脱し、自律的な運用ができる。そのため、分散型電源の高度な普及を可能とする。このように、ローカルな資源をローカルな需要に対する供給として利用できるため、エネルギーの損失を削減し、エネルギー伝達システムの効率性を

高めることができるのである。

ローカルな発電やネルギー貯蔵などを通した効果的な統合されたエネルギーシステムの主要な目的は、ローカルなコミュニティのエネルギー需要を満たすため、異なるエネルギーキャリアを統合することである（Schweizer-Ries, 2008; Walker and Simcock, 2012; Giotitsas et al., 2015）。ローカルなレベルでの統合はエネルギーの効率的な利用とともに、増大する自家消費やローカルなレベルでの供給と需要のマッチングに役立つ。スマートグリッドの技術と需要側のマネジメントをも統合することで、そのようなローカルなエネルギーシステムの信頼性と効率性は増加することになる（Manfren et al., 2011）。エネルギーハブは、ある地点のエネルギーの流れを最適化して管理する。つまり、電力の貯蔵や供給のための転換と分散の技術である（Orehounig et al., 2015）。エネルギーのシェアに関して比較的同じような行動と関心を持つプロシューマーのネットワークは、お互いのゴールを追い求め、一緒にエネルギー市場で競争する努力を行うとしている。つまり、プロシューマーのネットワークはマイクログリッドの効率性の改善だけでなく、コミュニティを構築する際の複雑さなどの柔軟性のなさを克服するようデザインされている（Rathnayaka et al., 2015）。マイクログリッドの構築のためには、コミュニティが完全にエネルギー－システムをコントロールし、そして統合による全ての便益を享受できるローカルなエネルギーシステムの統合が必要である。

マイクログリッドのビジネスモデルは、エネルギーコストの潜在的な削減や信頼性の改善などの多くの要因に依存する。いくつかの自治体ではマイクログリッドの開発に対してサポートがあるが、高い接続費用や長い待ち時間などの問題があり、それらは普及の抑制要因となっている。公的なサポートは公共の便益が存在するかどうかに依存するが、それは潜在的な投資者がマイクログリッドの構築の私的な便益があるかどうかで決まる。つまり、実際の投資者が標準的な電力系統からマイクログリッドにシフトすることで費用を削減できるかどうかである。現在、投資の決断に強い影響を与えるのはFITからの便益である（Hashim and Ho, 2011; Solangi et al., 2011）。FITの固定的な買取価格は投資のリスクを大きく低下させ、再生可能エネルギーの普及を大きく推進するが、それは同時に国民負担の増大をもたらすため、その価格設定には注意が必要である（Strupeit and Palm, 2016）。したがって、政府による規制や税制、初期投資のサポート、その他の特別な金融的なサポートプログラムなどの充実も必要である（Zhang, 2016）。

持続的なマイクログリッド構築のためには、太陽光発電システムの導入だけでなく、維持や修理などの補助的なサービスから得られる収入も重要である（Karakaya et al., 2016）。さらには、導入や運用を通じたコンサルタント業務などの非物質的な付加価値を持ったサービスによる収入も重要となるため、それを可能とする人材の育成もマイクログリッドの普及には不可欠な要因となる。

4. 普及に対する社会的障壁

再生可能エネルギーなどの新しい技術に対しては、技術的な要因だけではなく、非技術的な要因、例えば、高い初期投資のコストや再生可能エネルギーの費用回収を長期化させる金融リソースの不備などの金融的な問題も普及を妨げる要因となり、新しい技術の需要を低下させることになる（Drury et al., 2012）。さらには、高い運営と維持の費用や電力系統に接続するための取引の費用なども、太陽光発電システムの需要を著しく低下させる（Ruggiero et al., 2015）。

特に、住宅用の太陽光発電システムは小規模であるため規模の経済性は期待できず、そのことも太陽光発電システムの普及を阻害する要因となっている（Ruggiero et al., 2015）。Balcombe et al.（2013）は、消費者の小規模な技術の採用を分析し、大きな社会的障壁は設置コストであることを明らかにしている。そして、普及のカギとなる要因は、住宅の資産価値などであることを明らかにした。つまり、小規模なシステムの普及を促すには、所得や地域などの社会経済的要因を考慮した政策の

立案が必要であることがわかる。

再生可能エネルギーの普及には、消費者が技術を認識し、それを受け入れる姿勢を持つことが必要である。しかしながら、人々は一般にリスク回避型であり、再生可能エネルギーから得られる開発の余地のある利益を認識しない（Ellabban and Abu-Rub, 2016）。また、再生可能エネルギーの収益性に関する乏しい情報基盤や誤った情報は、再生可能エネルギーの普及に強い影響を与えている（Eleftheriadis and Anagnostopoulou, 2015）。例えば、発展途上国における潜在的な消費者は再生可能エネルギーに関する情報が不足しているため、再生可能エネルギーへの需要が十分に生かされていない（Reddy and Painuly, 2004; Engelken et al., 2016）。同様に、個人的な価値観や行動規範は、再生可能エネルギーへの投資の姿勢に強く影響を与える。このような社会経済的な抑制要因については、次節で詳細に検討する。

政策の不備も抑制要因となり得る。FIT における買取価格の下落などの低い電力価格は、再生可能エネルギーへの投資費用の回収期間を長引かせ、流動性のリスクを増すことになる。さらには、それが高い初期投資の費用と組み合わさると、それらは再生可能エネルギーの普及に深刻な影響を与えることになる（Engelken et al., 2016; Comello and Reichelstein, 2017）。また、導入したシステムの規模に課される課税は重大な影響をもたらす（Ruggiero et al., 2015）。これは長期的な計画の安定性の欠如につながる（Zhang, 2016）。したがって、政府は適切な電力の買取価格の設定や地域のニーズと環境に合ったインセンティブを与え、再生可能エネルギーへの投資を促さなければならない。

このような金融的な阻害要因に対して、近年注目を集めているビジネスが、TPO である（Huijben, and Verbong, 2013; Zhang, 2016）。TPO モデルは、住宅の消費者に対する高い設置費用などのいくつかの金融的な障壁を取り除くことができる。TPO モデルの最大の利益は、消費者はグリーンエネルギーを利用する際、初期投資の費用を不要とすることである（Zhang, 2016）。また、電気料金の削減は最初の月から期待でき、消費者は長い回収期間を心配する必要はない。このモデルによる多くの便益のおかげで、このビジネスは急速に広がることになった。しかしながら、システムコストの低下により、TPO と直接の保有とのバランスが変化することが考えられる。

消費者の再生可能エネルギーの導入における不確実性を低下させることが市場の拡大に不可欠である。そのため、システムを消費者にリースすることで、導入の費用を無料とし、全ての維持に関して面倒を見ることで、消費者の不確実性を減少することができる。TPO モデルは、システムの運用と管理の責任を消費者ではなく、企業に負わせることも重要な役割である。企業は通常、メンテナンスパッケージや性能の保証を行い、消費者に対する数多くの業務やリスクを低下させるのである。このように、導入のリスクを設置者に移すことで、モラルハザードの問題を低下させ、より多くの導入を促すことになる。

このような TPO モデルでは、企業は消費者と長期的な関係を築くことができる。したがって、個人的な契約を構築し、消費者との関係を、例えば、社会的活動や営業担当者、消費者サービスの拡充などのマルチなチャンネルを通して強化することができる（Strupeit and Palm, 2016）。したがって、このような取り組み自体も消費者の再生可能エネルギーに対するリスクを低下させることにつながり、システムの普及に強く影響することになる。

5. 社会的相互作用

再生可能エネルギーのような新しい技術の普及については、イノベーションの普及モデルをベースに分析することができる。イノベーションの普及については、Fourt and Woodlock（1960）や Bass（1969）の先駆的な研究以来、学術的な関心を引きつけている（Kiesling et al., 2012）。特に重要なのが、技術の伝播をマスメディアや口頭コミュニケーションによって活発化される状況をモデル化した Bass モデルであり、様々な分野で応用されている（Meade and Islam, 2006）。一般的

にイノベーションの普及はクラスターのような状態で進行し、それらは社会的な学習効果、つまり社会的相互作用で起こることが示している（Young, 2009）。この社会的相互作用は太陽光発電パネルの普及にも重要な役割を果たしている（Bollinger and Gillingham, 2012; Richter, 2014）。また、太陽光発電パネルはクラスターを形成する傾向にある（Graziano and Gillingham, 2015; Rode and Weber, 2016）。その他にも、風力発電（Usha Rao and Kishore, 2009）、電力の買取価格（Diaz-Rainey and Tzavara, 2012）、定置用燃料電池（Heinz et al., 2013）、エネルギー効率化の技術（Diaz-Rainey and Ashton, 2015）、太陽光発電システムのサポートスキーム（Islam, 2014）などが分析されている。

再生可能エネルギーの普及にクラスターの傾向があるのは、主要なターゲットのグループが、適切な屋根を持ち、新技術に投資するに十分な資金を持つ家計であるなど、共通の社会属性を持つことが考えられる（Huijben, and Verbong, 2013; Strupeit and Palm, 2016）。家庭における小規模の再生可能エネルギー設備の普及の分析からは、主要な社会経済的な属性、例えば、所得や住宅資産などが影響することが示されている（Baskaran et al., 2013）。一方、社会経済的な要因に加えて、潜在的な導入者は自身の環境に対する意気込みを他者に見せつけたいという願望に突き動かされることが議論されてきた（Balcombe et al., 2013）。住宅セグメントでのシステムの導入では、このグループのメンバーはエネルギーに非依存的で環境の便益を考えることで動機づけられる初期導入者ということで特徴付けられる。このセグメントは通常、太陽光発電の技術者や環境の意識が高い人などのパイオニア的な消費者を含んでいる（Zhang, 2016）。このことは、人口動態的な情報を下に特定の地域をターゲットとすることでピア効果をさらに増大することが効果的であることも示唆している。さらに、技術力のある設置者が利用できるかどうかが局所的な普及に影響すると考えられる。したがって、このイノベーション普及には社会的属性の検討と空間的分析が欠かせないことがわかる。

環境問題に対する感情は、それらの設備の採用を説明するに重要な要因である。そして、それらの設備が一般に注目されることも、空間的な伝播のプロセスがそれらの設備の普及を説明することに重要な役割を果たすことを示している。いくつかの研究は、太陽光発電技術の普及における空間的プロセスを分析し、ピア効果の影響力を推計している（Bollinger and Gillingham, 2012; Richter, 2013; Graziano and Gillingham, 2014）。

Rode and Weber（2016）は、太陽光発電の普及をピア効果に着目して分析している。彼らは疫学の空間伝染モデルで推計し、消費者が太陽光発電パネルを採用するかの選択は他者に影響を受けると結論し、この効果は距離とともに急速に低下するとした。さらに、ピア効果は時間とともに弱まることも明らかにした。Bollinger and Gillingham（2013）は、ピア効果は時間とともに大きさを増し、導入量が多く、また局所的な街路レベルであるほど大きくなることを示したが、このことはピア効果が大きな導入を促すことを意味している。つまり、強い因果関係のあるピア効果を発見し、近隣では追加的な導入がさらなる導入の確率を増大させることを発見したのである。また、パネルの視認性と口コミが、さらなる採用をもたらす社会的な相互作用に貢献する可能性を指摘した。つまり、彼らはパネルの注目性と口頭コミュニケーションがピア効果の伝播の主要なルートであることを示したのである。これは、ピア効果には、印象によるモチベーションの向上と情報の伝達の影響があることを意味している。また、Graziano and Gillingham（2014）はそのような効果は距離とともに低下することを明らかにした。Richter（2013）は、追加的な太陽光発電の導入は、新しい導入を増大させることを発見している。この値は小さいものの、局所的に働いている社会的効果は、さらなる普及を促進するのに有益であることを示している。

このような社会的相互作用の強さを考えると、再生可能エネルギーの技術に対する消費者の受容性や行動上の障壁を低下させることが普及の重要な手段となることがわかる。つまり、企業と消費

者との関係において、信頼と長期間の関係を構築することも、普及のための本質的な役割を果たす。実際、多くの企業は、個人的なチャンネルを利用し、消費者と直接つながっている（Huijben, and Verbong, 2013）。そのため、営業担当者の訪問や調査などの取り組みであっても、消費者の受容性を高めることに繋がっているのである。

視認性はピア効果を増大させると考えられるため、導入していることの視認性の増加は、採用率を増大させると期待できることになる。つまり、ある地域内での導入数が大きいほど導入は大きくなるということである。このことは、新規導入を増大させるためには、既にいくつか導入されている地域をターゲットとしてマーケティング活動を行うことは手堅い戦略であることを示している。また、この効果を活用することで、他の情報提供の方法でも採用のレベルを増大させることができる可能性がある。例えば、Bollinger（2012）は、デモンストレーションサイト環境に望ましい技術の採用にポジティブな影響を与えることを示している。

Inhoffen（2019）は、太陽光発電の導入量は日射量が小さい地域でさえ社会的な相互作用により増大したことを発見した。このことは、社会的相互作用は、非効率的な空間的配置の原因ともなり得ることを示している。つまり、最初の非効率的な決断に他の人が影響されることになるので、この最初の非効率性が社会的相互関係や近隣効果によって増大させられるのである。このように、太陽光発電システムは最もエネルギーを産出する地域で導入されていないので、政策を修正することで効率性の改善が可能となると考えられる。

技術的な知識、専門家のスタッフ、個人的なノウハウはシステムの導入を考える消費者にとって不可欠である（Huijben and Verbong, 2013; Strupeit and Palm, 2016）。したがって、人的資本は競争的観点や将来的な観点から重要な役割を果たす。さらに、地理的な近接性に関連したローカルな情報は重要である。なぜなら、ローカルな企業は日常的に消費者と接することで消費者のライフスタイルや好みに対して情報を持つため、普及に重要な役割を果たすからである（Strupeit and Palm, 2016）。さらに、マーケティング活動や社会的活動から得られる企業の認知度は消費者の関心に強い影響を与える（Karakaya et al., 2016）。これらの要因は、ブランドイメージの構築に強い貢献をするので、システムへの信頼へ繋がり、普及を促すと考えられる。

6. 結論

本稿では、伝統的な中央集権型のエネルギー供給から再生可能エネルギーなどを中心とした分散型電源へと変革を促す政策とは何かを理解するため、分散化電源の普及に影響を与える要因を分析した。技術の進展だけでは持続的な普及パターンを保証できず、複雑さを増すイノベーションと消費者のインセンティブとの関係を理解する必要がある。そのため、消費者の不確実性を軽減し、さらに需要を高める要因について検討した。分散型電源のようなローカルなエネルギーシステムを適切に関することができれば、消費者を単なる受動的な立場から消費と供給を行う能動的なプロシューマーへと変化させることで、低炭素エネルギーシステムへの移行、消費者との信頼の確立、そして電力の需要と供給の柔軟性をもたらすことにつながることがわかった。また、分散化電源のような新技術の普及には、社会的相互作用が強く影響することがわかった。つまり、政策が消費者に影響を与えると、社会的な外部性により、間接的に他の消費者に影響を与えるからである。

電力系統の信頼性や安定性、効率性は全て重要な技術的問題である。新規の再生可能エネルギー関連の設備はネットワークの負荷を高めるため、信頼性を確実にするためにも電力系統の容量への投資は継続されなければならない。同様に、電力インフラは他の経済活動などを行うことで重要な役割を果たしており、電力会社の金融的な安定性は、効果的な再生可能エネルギーの普及に重要である。さらに、よく構築されたビジネスモデルは、企業と消費者の双方のインセンティブに強いインパクトを与える。電力業界でのビジネスモデルを

構築することは、電力インフラを経済的に維持させるために重要である。したがって、より望ましいビジネスモデルの実現を可能とする政策とは何かを明らかにすることが、今後の課題である。

謝辞

本研究は科学研究費補助金（研究課題番号18K01579）の助成を受けている。

参考文献

Ackermann, T., G. Andersson, and L. Söder (2001) Distributed generation: a definition, Electric Power Systems Research, 57, 195-204.

Ayres, I., S. Raseman, and A. Shih (2013) Evidence from Two Large Field Experiments that Peer Comparison Feedback Can Reduce Residential Energy Usage, Journal of Law, Economics, and Organization, 29, 992-1022.

Balcombe, P., D. Rigby, and A. Azapagic (2013) Motivations and barriers associated with adopting microgeneration energy technologies in the UK, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 655-666.

Baskaran, R., S. Managi, and M. Bendig (2013) A public perspective on the adoption of microgeneration technologies in New Zealand: A multivariate probit approach, Energy Policy, 58, 177-188.

Bass, F. M. (1969) A New Product Growth for Model Consumer Durables, Management Science, 15, 215-227.

Bollinger, B., and K. Gillingham (2012) Peer Effects in the Diffusion of Solar Photovoltaic Panels, Marketing Science, 31, 900-912.

Bouffard, F., D. S. Kirschen (2008) Centralised and distributed electricity systems, Energy Policy, 36, 4504-4508.

Cardoso, G., M. Stadler, M.C. Bozchalui, R. Sharma, C. Marnay, A. Barbosa-Póvoa, and P. Ferrão (2014) Optimal investment and scheduling of distributed energy resources with uncertainty in electric vehicle driving schedules, Energy, 64, 17-30.

Chicco, G., and P. Mancarella (2009) Distributed multi-generation: A comprehensive view, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 535-551.

Comello, S., and S. Reichelstein (2017) Cost competitiveness of residential solar PV: The impact of net metering restrictions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 75, 46-57.

Diaz-Rainey, I., and J. K. Ashton (2015) Investment inefficiency and the adoption of eco-innovations: The case of household energy efficiency technologies, Energy Policy, 82, 105-117.

Diaz-Rainey, I., and D. Tzavara (2012) Financing the decarbonized energy system through green electricity tariffs: A diffusion model of an induced consumer environmental market, Technological Forecasting and Social Change, 79, 1693-1704.

Drury, E., M. Miller, C. M. Macal, D. J. Graziano, D. Heimiller, and J. Ozik (2012) The transformation of southern California's residential photovoltaics market through third-party ownership, Energy Policy, 42, 681-90.

Eleftheriadis, I. M., and E. G. Anagnostopoulou (2015) Identifying barriers in the diffusion of renewable energy sources, Energy Policy, 80, 153-164.

Ellabban, O., and H. Abu-Rub (2016) Smart grid customers' acceptance and engagement: An overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, 1285-1298.

Fourt, L. A., and J. W. Woodlock (1960) Early Prediction of Market Success for New Grocery Products, Journal of Marketing, 25, 31-38.

Foxon, T. J., and P. J. G. Pearson (2007) Towards

improved policy processes for promoting innovation in renewable electricity technologies in the UK, Energy Policy, 35, 1539-1550.

Frederiks, E. R., K. Stenner, and E. V. Hobman (2015) Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1385-1394.

García-Maroto, I., A. García-Maraver, F. Muñoz-Leiva, and M. Zamorano (2015) Consumer knowledge, information sources used and predisposition towards the adoption of wood pellets in domestic heating systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 207-215.

Giotitsas, C., A. Pazaitis, and V. Kostakis (2015) A peer-to-peer approach to energy production, Technology in Society, 42, 28-38.

Hashim, H., and W. S. Ho (2011) Renewable energy policies and initiatives for a sustainable energy future in Malaysia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4780-4787.

Heinz, B., M. Graeber, and A. J. Praktiknjo (2013) The diffusion process of stationary fuel cells in a two-sided market economy, Energy Policy, 61, 1556-1567.

Houwing, M., P. Heijnen, and I. Bouwmans (2006) Socio-Technical Complexity in Energy Infrastructures Conceptual Framework to Study the Impact of Domestic Level Energy Generation, Storage and Exchange, 2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.

Huijben, J. C. C. M., and G. P. J. Verbong (2013) Breakthrough without subsidies? PV business model experiments in the Netherlands, Energy Policy, 56, 362-370.

Islam, T. (2014) Household level innovation diffusion model of photo-voltaic (PV) solar cells from stated preference data, Energy Policy, 65, 340-350.

Karakaya, E., C. Nuur, and A. Hidalgo (2016) Business model challenge: Lessons from a local solar company, Renewable Energy, 85, 1026-1035.

Elmar Kiesling, E., M. Günther, C. Stummer, and L. Wakolbinger (2012) Agent-based simulation of innovation diffusion: a review, Central European Journal of Operations Research, 20, 183-230.

Engelken, M., B. Römer, Benedikt, M. Drescher, I. M. Welpe, and A. Picot (2016) Comparing drivers, barriers, and opportunities of business models for renewable energies: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 795-809.

Koliou, E., C. Eid, J. P. Chaves-Ávila, R. A. Hakvoort (2014) Demand response in liberalized electricity markets: Analysis of aggregated load participation in the German balancing mechanism, Energy, 71, 245-254.

Lopes, M. A. R., C. H. Antunes, and N. Martins (2012) Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 4095-4104.

Manfren, M., P. Caputo, and G. Costa (2011) Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models, Applied Energy, 88, 1032-1048.

Meade, N., T. Islam (2006) Modelling and forecasting the diffusion of innovation – A 25-year review, International Journal of Forecasting, 22, 519-545

Mendes, G., C. Ioakimidis, P. Ferrão (2011) On the planning and analysis of Integrated Community Energy Systems: A review and survey of available tools, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4836-4854.

Nolan, J. M., P. W. Schultz, R. B. Cialdini, N. J. Goldstein, and V. Griskevicius (2008) Normative Social Influence is Underdetected,

Personality and Social Psychology Bulletin, 34, 913-923.

Orehounig, K., R. Evins, and V. Dorer (2015) Integration of decentralized energy systems in neighbourhoods using the energy hub approach, Applied Energy, 154, 277-289.

Rae, C., and F. Bradley (2012) Energy autonomy in sustainable communities—A review of key issues, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 6497-6506.

Rathnayaka, A., V. Potdar, and T. Dillon, S. Kuruppu (2015) Framework to manage multiple goals in community-based energy sharing network in smart grid, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 73, 615-624.

Ravindra, K. and P. Iyer (2014) Decentralized demand–supply matching using community microgrids and consumer demand response: A scenario analysis, Energy, 76, 32-41.

Ribeiro, F., P. Ferreira, and M. Araújo (2011) The inclusion of social aspects in power planning, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4361-4369.

Rogers, J. C., E. A. Simmons, I. Convery, and A. Weatherall (2008) Public perceptions of opportunities for community-based renewable energy projects, Energy Policy, 36, 4217-4226.

Ruggiero, S., V. Varho, and P. Rikkonen (2015) Transition to distributed energy generation in Finland: Prospects and barriers, Energy Policy, 86, 433-443.

van der Schoor, T., and B. Scholtens (2015) Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 666-675.

Schultz, P. W., J. M. Nolan, R. B. Cialdini, N. J. Goldstein, and V. Griskevicius (2007) The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms, Psychological Science, 18, 429–434.

Schweizer-Ries, P. (2008) Energy sustainable communities: Environmental psychological investigations, Energy Policy, 36, 4126-4135.

Smith, A. M., and M. A. Brown (2015) Demand response: A carbon-neutral resource?, Energy, 85,10-22.

Solangi, K. H., M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz (2011) A review on global solar energy policy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 2149-2163.

Strupeit L, and A. Palm (2016) Overcoming barriers to renewable energy diffusion: business models for customer-sited solar photovoltaics in Japan, Germany and the United States, Journal of Cleaner Production, 123, 124-36.

Usha Rao, K., and V. V. N. Kishore (2009) Wind power technology diffusion analysis in selected states of India, Renewable Energy, 34, 983-988.

Walker, G., P. Devine-Wright, S. Hunter, H. High, B. Evans (2010) Trust and community: Exploring the meanings, contexts and dynamics of community renewable energy, Energy Policy, 38, 2655-2663.

Walker G., and N. Simcock (2012) Community Energy Systems, International Encyclopedia of Housing and Home, 194-198.

Wilson, P. (2002) Architecture of Power Markets, Econometrica, 70, 1299-1340.

Wirth, S. (2014) Communities matter: Institutional preconditions for community renewable energy, Energy Policy, 70, 236-246.

Yazdanpanah, M., N. Komendantova, and R. S. Ardestani (2015) Governance of energy transition in Iran: Investigating public acceptance and willingness to use renewable energy sources through socio-psychological model, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, 565-573.

Young, H. P. (2011) The dynamics of social innovation, The Proceedings of the National Academy of Sciences, 108, 21285-91.

Zhang, S. (2016) Innovative business models and

financing mechanisms for distributed solar PV (DSPV) deployment in China, Energy Policy, 95, 458-467.

Policy on diffusion of distributed energy resources and social interaction

KIYOSHI ARAKAWA
Department of Social Information Studies, Otsuma Women's University

Abstract

In recent years, traditional centralized energy supply has been shifted to distributed energy resources such as renewable energy. In order to diffuse new technologies such as distributed energy resources, there is a need for effective policy not only to improve the availability of these technologies, but also reduce consumer uncertainty. Since energy management in local communities, such as distributed energy resources, can reduce energy costs, policies must increase consumer acceptance. The present study focuses on distributed energy resources and microgrids to examine the factors that reduce consumer uncertainty and increase demand. Consumers are influenced by the opinions of others when deciding whether to adopt the system or not. This paper analyzes the effects of social interaction such as the peer effect and discusses desirable policies for diffusing distributed energy resources.

Key Words（キーワード）
distributed energy resource（分散型電源）, microgrid（マイクログリッド）, innovation（イノベーション）, renewable energy（再生可能エネルギー）, social interaction（社会的相互作用）