

再生可能エネルギーの経済学的考察と 大量導入に向けた電力市場の将来性

森田 充信*

はじめに

日本の電力市場では、次頁以降の図1が示すように住宅用太陽光発電設備は2019年11月からFIT（Feed-in-Tariff）制度で定めた売電期間が終了し、卒FIT住宅用太陽光発電設備のストック数が増加する。いわゆる2019年の卒FIT問題に直面する。また次頁以降の図2が示すように太陽光発電は再生可能エネルギー（再エネ）に占める比率を高め、さらに産業用太陽光発電設備においても2032年に売電期間が終了した後に卒FIT産業用太陽光発電設備のストック数の増加が予測される¹⁾。一方、電力システム改革では2020年4月から発送電分離が予定されている。そして日本の電力市場は、2030年の電源構成におけるエネルギーミックス²⁾に向けて大きな転換期を

* 株式会社富士経済 東京マーケティング本部所属（2019年12月現在）。法政大学大学院社会科学研究所経済学修士課程修了（1996年3月）

- 1) 2009年度に開始されたFITの余剰電力買取制度の買取期間は10年間であり、制度開始年度に対象となった住宅では2019年度に終了する。買取が終了する（卒FIT）住宅は2019年度に56万戸が見込まれ、太陽光発電システムを設置する住宅の16%に該当する。そして2020年度以降は毎年度20～30万戸、2025年度以降は毎年度15～20万戸程度とみられ、2030年度の卒FITのストック住宅は242万戸、太陽光発電システムを設置する住宅の47%と予測される。なお、2012年度に開始したFITの全量買取制度（出力10kW以上の産業用太陽光発電設備）の買取期間は20年間であり、2032年度以降、産業用太陽光発電設備を搭載した集合住宅などでは再び卒FIT住宅が増加することが見込まれる。詳細に関しては、富士経済（2019）を参照されたい。
- 2) 日本が目指す電源構成における2030年のエネルギーミックスは再生可能エネルギーが22～24%であり、そのうち太陽光は7%である。詳細は、経済産業省 資源エネルギー庁（2018.3）

迎え、再エネと電力システムの在り方が問われている。

日本の再エネ政策については大平（2016）が、RPS制度とFIT制度における経済分析を行い、両制度が再エネ量の増加をもたらすことを論じている³⁾。一方、再エネのメリット・オーダーに関しては南部（2017）が、メンテナンスコストやバックアップ費用などの観点から経済分析を試みている⁴⁾。また南部（2017）は、再エネと電力システムに関する研究について、再エネの位置づけが変化することは発電電の法的分離（発電電分離）の問題とは無関係であるとしている。そして、諸富（2015）は再エネ大量導入における電力システムの再構築とそれに伴う費用負担を論じ、双方向型電力ネットワークを念頭に「系統費用の社会化」を基軸とする料金設定の考え方を提唱している⁵⁾。さらに火力発電や原子力発電を削減する場合を想定し、竹濱・歌川（2019）が西日本の電力管区における風力・太陽光発電大量導入による電力需給バランスについて効果を推計し、デマンドレスポンスとしてヒートポンプや電気自動車の導入効果を評価しつつ、出力が影響される気象条件への対応等の必要性を指摘している⁶⁾。

このように再生可能エネルギーは大量導入時代を迎えつつあり、2020年

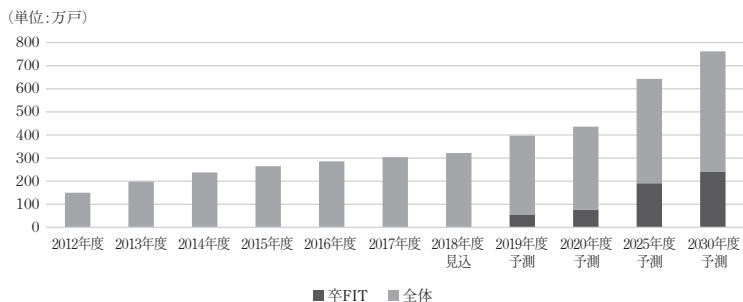
を参照されたい。

- 3) 大平は、RPS制度の下で電気事業者が再エネを購入する3パターンと、RPS制度と太陽光FIT制度のポリシーミックスのケースで風力および太陽光の発電量、さらに電気事業者の生産量を分析した。太陽光FIT制度下で太陽光の固定買取価格が上昇し、太陽光発電の発電量が増加することで、RPS制度やFIT制度が再エネ増加に寄与することを示した。
- 4) 南部は固定価格買取制度によって設備費が補助されているため、限界費用を低く描くことが可能となっていることを指摘している。
- 5) 諸富は東日本大震災がもたらした電力システムへの教訓を背景に、分散型電源（再エネ発電や熱電併給システム）を地域ごとにネットワーク化した双方向型の「分散型電力システム」であればレジリエンスが発揮されていた可能性が高いとしている。また再エネ電源が遠隔性と小規模分散の特徴があることから、既存系統では再エネ電力を受け入れられず、送電網増強のための新たな投資が必要であるとも指摘している。
- 6) 竹濱・歌川は、風力・太陽光の設備容量が大きくなる場合、負荷周波数制御（LFC：Load Frequency Control）用調整力としての火力機が最低出力を維持できなくなるため、大量連系に関しては出力変化の遅い石炭火力や原子力は稼働設備容量を減らす必要があることを指摘している。また、太陽光出力が少ない気象条件下にてヒートポンプの加温稼働や電気自動車の充電を行う場合、需要を増加させ供給力不足をもたらすリスクも指摘している。

の発送電分離を前に従来の垂直統合型から分散統合型への移行を踏まえ議論が活発化している。

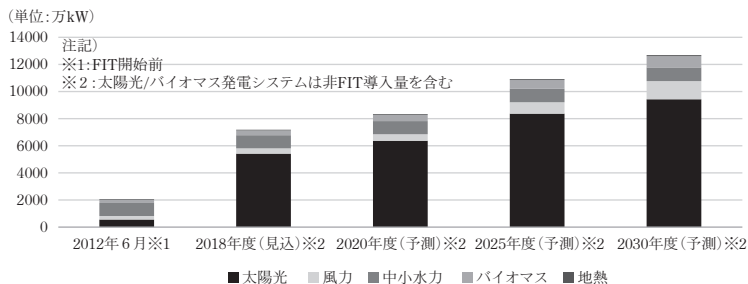
そもそも何故、再エネの電力市場への導入に対して関心が高いのだろうか。そして、卒FIT後の太陽光発電設備の在り方やその運用はどのように考えることが可能なのだろうか。既に政府では海外動向と比較するとともに日本の電源別アプローチを議論している⁷⁾が、本稿では2019年の卒FIT問題をはじめ再エネ大量導入に伴う電力市場における課題を経済学的に考

図1 太陽光発電システム設置住宅数とFIT余剰電力買取期間終了(卒FIT)住宅数推移(ストック)



出典：「2018年版 住宅エネルギー・サービス・関連機器エリア別普及予測調査」(榎富士経済)

図2 再生可能エネルギー発電システムの累計導入容量/発電量予測



出典：「FIT・再生可能エネルギー発電関連システム・サービス市場/参入企業実態調査2019」(榎富士経済)

7) 小型電源は「自家消費・地産地消」、大規模電源は「市場売電」として活用することが議論されている。

察し、再エネ、特に卒FIT後の太陽光発電設備導入における日本の電力システムの方向性について展望する。

2 日本の電力市場における再生可能エネルギーの位置づけ

2.1 電力システムの特徴

発電された電力は送配電網を流通し需要家のもとで消費される。電圧から見れば高圧から低圧へ流通し、その間変電所で電圧が調整される。また需給バランスの面から見れば、発電と消費が同時同量であることが求められ、このバランスが崩れることで周波数は乱れ、質の悪い電力となる。すなわち、電気が安定的に流通するためには、電圧と周波数が一定の範囲で維持されなければならない。このような制御が働いているため、発電が即、送配電網に電場を与え、需要家側における電化機器の機能を提供可能とする。しかし、電力は在庫が不可能であることが課題となっている⁸⁾。

ところが、電力市場の発電設備は種類の発電方式で運転されている訳ではない。発電には発電機を使うものと、半導体を使うものがある。発電機を使うものには火力、原子力、地熱、水力、風力、バイオマスが、半導体を使うものには太陽光がある。そして、再生可能エネルギーには地熱、水力、風力、およびバイオマスといった発電機を使う発電方式と、太陽光の半導体を使う発電方式がある。そこで、それぞれの電源には経済的な特性があり、メリット・オーダーを形成している⁹⁾。

8) 詳細に関しては南部(2017)第2章を参照のこと。南部が指摘しているように、電気は物理法則が支配しており、もし電気の在庫が可能であるならば、発電量を動かさずに在庫量で調整が可能となる。

9) メリット・オーダーの経済学的考察については、南部(2017)第3章を参照のこと。とりわけ、「5.メリット・オーダーとの対応」では、メリット・オーダーの順番について論じており、発電指令を燃料費の低いところから順番に行っていく。

とりわけ再生可能エネルギーのうち、太陽光発電や風力発電は自然環境の影響を受けるため、発電量が安定せず、大量発電するためには広大な敷地面積を必要とする。しかし、エネルギー自体は純国産であり、二酸化炭素を排出しない（すなわち、環境性に優れる）という利点がある。これらの特性を、以下の表1に整理している。

表1 電力システムと再生可能エネルギーの特性

区分	論点	摘要
電力システム	電気の流れ	高圧 → 変電所 → 低圧
	需給バランス	同時同量, 周波数調整
	電気の原理	発電 = 配電網における電場の提供
	発電方式	発電機 (火力, 原子力, 地熱, 水力, 風力, バイオマス), 半導体 (太陽光) の2種類 → メリット・オーターの形成
再生可能エネルギー	発電量	自然環境の影響を受けやすい (特に太陽光, 風力)
	メリット	純国産 (地産地消), 二酸化炭素を排出しない
	デメリット	発電量が安定しない, 広大な敷地面積が必要となる

出所: 各種資料より筆者作成

2.2 従来型電力システムの構造転換

日本の電力システムにおける送配電領域は2020年4月から発送電分離に備え、旧一般電気事業者による送電と配電の一体運営から法的分離を見据えた事業体制へと移行しつつあるが、アンシラリーサービス（周波数制御）までを含めた設備形成の最適化と運用がなされている¹⁰⁾。

10) 「エネルギー×イノベーションのシナリオ」（日立コンサルティング）では、竹内氏が今後、需要家側の増大するエネルギーリソースが配電網に接続することで、配電自動化システムのような制御系システムを高度化させていくだけでなく、どこにどれだけ分散型の電源を増加させていくのか、配電システムの信頼度・余裕から定量的に算出し、うまく分散型電源への投資を誘導していく仕掛けを設けることや、配電用変電所以下の配電網で需給のバランスを取る仕掛けとして、例えば電圧上昇時に蓄電池で電力を吸収することや、配電版のコネクト&マネージを導入していくことなどが必要になると指摘している。

次頁の図3に見るような従来型の電力供給体制、すなわち電力が発電から送配電、そして配電系統にある消費地に流通するという構造は、再生可能エネルギーが導入されることにより、消費地に設置された太陽光発電設備が配電系統側に大量の逆潮流を発生させ、双方向型の電力供給体制への転換が必要とされるような様相を呈してきている。このまま太陽光発電設備が大量導入された場合、従来型電力システムにおいて電力取引の形態が多様となり、配電系統における流通の複雑化を想定させる¹¹⁾。

そこで、多様な電力取引の一つとして、需要家側の発電設備が自家消費以外の余剰電力を配電系統に大量に逆潮流することが常態化するならば、従来型の電力システムは安定供給のために構造転換が必要とされる。例えば、配電系統にある柱上変圧器や需要家の太陽光発電設備、蓄電池、情報制御機器（HEMSなど）がデジタル化技術で制御され、配電系統全体で同時同量を達成するような次世代電力システムを構築する必要性を考えさせる。

近年、家庭用太陽光発電設備の卒FIT電気の余剰電力などを巡り、電気自動車または蓄電池の活用や、環境価値に対してトラッキングするといった新たな電力取引に対する実証が活発化している。いわゆる、ブロックチェーン電力取引やP2P電力取引の実現化を見据えた実証である。

高圧の電力が変電所などを經由し、低圧に至り消費するという大規模発電を中心とした電力システムの従来構造は、太陽光発電設備などが分散電源として（需要家を含む）配電系統側に設置され、自家消費を通じて地産地消という電力の流通形態を生み出している。そして、このような流通形

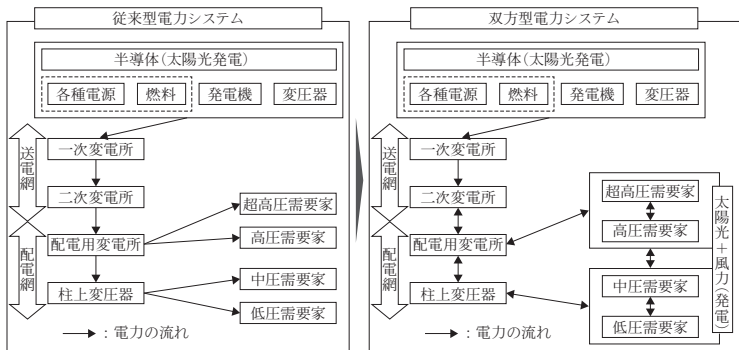
11) 「再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワーク安定化技術開発」（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）では、2019年度～2023年度に次の実証を行う。とりわけ配電系統では、再エネが大量導入された状況下で適正電圧を維持しつつ、電圧フリッカ・電圧不平衡等の電力品質上の問題を回避するために必要な技術開発を実施する。さらに、将来的な需要能動化や自家消費進展後を想定した配電系統の潮流監視・電圧制御技術を開発し、上位系統である特別高圧系統へ配電系統の情報を適切に伝達する技術開発等を実施する、としている。

態が消費地の太陽光発電設備から発電された余剰電力を配電系統に逆潮流させることを余儀なくしており、電圧調整などの諸問題を発生させている¹²⁾。

一方、電力自由化市場の中で安価な電気を求める需要家のニーズが高まり、電力流通に掛かる諸経費を削減することで市場優位性を獲得する小売電気事業者の登場が期待される中で、真なる再エネ電力取引や需要家間のP2P電力取引の新たな形態が注目されている。

このように従来型の電力システムにおける電力流通は垂直統合の一方方向型から分散統合の双方向型へと変貌を遂げようとしている。以下の図3では、従来の大規模集中型電力システムと、配電系統における逆潮流への対応と需要家間のP2P電力取引を融合した双方向型電力システムとの比較を試みている。

図3 電力システム構造転換のイメージ



出所：各種資料を基に筆者作成

12) とりわけ、出力抑制（電圧抑制）は九州電力管内で実施されており、電力広域的運営推進機関（2019）によると2018年度の実施回数は計26回であった。そして松原（2019）は、出力抑制の情報公開の徹底化やルールの見直し、DR(デマンドレスポンス)に対する経済的な補償やインセンティブを考慮したルールの整備、さらに変動型再生可能エネルギーの大量導入には電力系統への優先接続と優先給電を前提とした電力システムへの制度の見直しが必要であると指摘している。

3 再生可能エネルギー大量導入によって直面する電力市場に関する経済的考察

3.1 再エネ補助金導入に伴う課題

上記の図2で見るように、再生可能エネルギー、とりわけ電力市場で流通量が多い太陽光による電力は半導体が発電するものであり、表1の通り、発電量は不安定であるが、地域性や環境性に優れた特性がある。

しかし、太陽光発電設備の導入量の増加にはRPS制度やFIT制度が寄与しており、太陽光発電による発電コストは政府が国民から徴取した税金(再生可能エネルギー発電促進賦課金、すなわち再エネ補助金)によって賄われているため、電力会社が提供してきた電力コストよりも高い状況が継続している。そして、この課題を解決するためには、太陽光による発電コストが電力会社の発電コストと同等になるか、またはそれ以下となる「グリッド・パリティ」に達する必要がある。

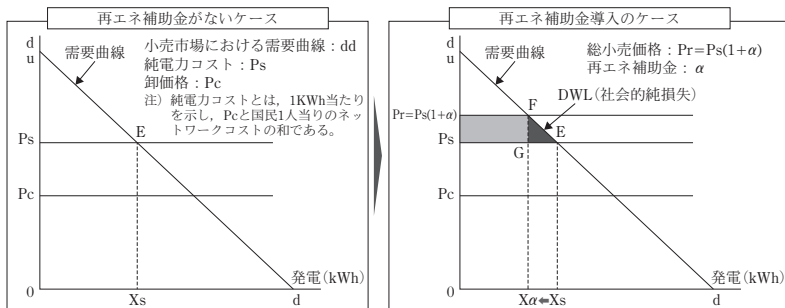
そこで、南部(2017)は再エネ補助金の支払いを消費者余剰の減少分である社会的純損失またはDWL(Dead Weight Loss)として分析している¹³⁾。次頁の図4では、再エネ補助金の有無のケースを消費者余剰の観点から示している。再エネ補助金がない場合、図4の左図で示す通り、均衡点はEとなり、消費者余剰は三角形uEPsで示される。一方、そこに再エネ補助金が入る場合、図4の右図の通り、均衡価格は点Fまで上昇し、消費量は $X\alpha$ となる。そして消費者余剰は再エネ補助金がない場合と比較して四角形PrFEPsの面積分が減少する。さらにその四角形のうち、PrFGPsは再エ

13) 経済学的分析の詳細は、南部(2017)の第11章を参照のこと。南部によれば、DWLの売上高の比率は、再エネ負担率と価格弾力性に依存する。電気に対する価格弾力性は一般的に低い。一方、政府の「2030年の電源構成ベストミックス」における再エネ目標は22~24%である。そのうち、太陽光は7%である。しかし、FITを継続したまま太陽光発電設備の導入量が増加するほど、国民の再エネ負担額が増加することは明らかである。

ネ補助金 α の支払いに充てられる。この四角形PrFGPsは、太陽光発電設備を持ち（余剰）電力を供給している人々への国民1人当たりの再配分である。しかし、三角形FEGの大きさが発生する。

この三角形FEGは誰にも帰属しない消費者余剰の減少分である。この誰にも帰属しない消費者余剰の減少分の大きさは、太陽光発電の導入により再エネ補助金（ α ）だけ小売電力市場で消費者の負担が増加したことによってもたらされる損失である。すなわち、「社会的純損失（DWL）」である。そしてFIT制度の維持は、DWLをもたらし続けることになる。

図4 再エネ補助金導入に伴う社会的純損失の発生



出所: 「エネルギー・エコノミクス[第2版]」(南部)を基に筆者作成

3.2 卒再エネ補助金後の課題

3.2.1 電力会社による低価格買取の可能性

2019年11月から住宅用太陽光発電設備のFIT買取期間が終了し、該当する世帯の太陽光発電設備には再エネ補助金が無くなり、またその余剰電力は送配電事業者が買い取る義務が無くなる。それ以降、このような卒FIT世帯が増加するが、次頁以降の表2に見るように既に電力会社などは卒FIT住宅用買取価格を決定している。

政府ではFITに頼らないビジネスモデルの構築に期待しており、小売電気事業者らは卒FIT世帯に対して住宅用太陽光発電設備が発電する余剰電

力の取り扱いについて、買取サービスや預かりサービスなどいくつかの方法を提示している。一方、卒FIT世帯が蓄電池を活用し自家消費する方法も議論されている。

そこで、このような再エネ補助金が交付されないケースを経済学的に考察する。再エネ補助金の導入目的は、再生可能エネルギーの普及・拡大である。しかし、その交付期間を定めているため、2019年11月以降に卒FIT世帯が増加するとともに、2032年以降にも卒FITを迎える10kW以上の太陽光発電設備が増加することになる。すなわち、再エネ補助金の無い再エネが電力市場で本格的に取引される状況が創出される。

そして、次頁の表2からわかる通り、卒FIT買取価格は卸電力市場価格よりも若干高価な傾向にある。これは、環境価値が含まれることに起因している。しかし、旧一般電気事業者が供給している電気の卸価格よりも卒FITの太陽光発電設備による電気の買取価格が安価¹⁴⁾に買取られるとなれば、これにより卒FIT世帯では設備固定費の回収期間が長期化する等の諸問題の発生が想定される。

このような状況を鑑みた場合、この卒FIT買取価格の問題は、以下のように例えば政府が上限規制価格を設定し、均衡価格よりも低い水準に上限規制があるときの社会的余剰を想定することと同じ意味を持つと解釈できる。

再生可能エネルギーの発電コストはそれ自体の需給が反映され決定されることが望ましいが¹⁵⁾、卒FIT電気の買取価格ではFIT対応の太陽光発電設備を持つ需要家（この場合、プロシューマーと呼ばれる）側に選択肢は少なく、供給価格に対する意思が反映されにくい状況下に置かれやすい。そ

14) 経済産業省 調達価格等算定委員会（2019）では、「2019年度に売電価格が家庭用電気料金並み」は達成されつつあり、「2025年に売電価格が卸電力市場価格並み」という目標の実現を目指すフェーズに入りつつあるとの認識を示している。

15) 日引、庫川（2013）によれば、再生可能エネルギー発電の電力価格は、政府によって決められるのではなく、再生可能エネルギー発電市場の需給を反映して決定されるという特徴がある。また、再生可能エネルギーには環境負荷が小さいというメリットがある一方で、コスト高、発電の不安定性の問題があり、政府による政策支援がなければ十分普及しないとも指摘している。

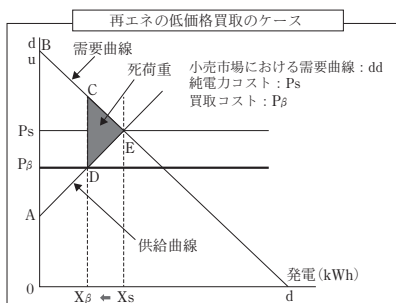
して、卒FIT電気は電力会社などの事業戦略上の価格帯で買取価格が決定され、今後、安価で買い取られる可能性も否定できない。その場合、下記の図5で見ると通り、FIT切れ太陽光発電設備を所有する1世帯当たりから電力会社が（余剰）電力を買い取るコスト（kWh単価）を P_β とし、純電力コスト P_s よりも安価に買い取る場合、 P_β は P_s よりも下に位置することになる。そのため、消費者余剰は四角形 $uCDP_\beta$ となり、生産者余剰が三角形 $P_\beta DA$ となることから、死荷重（三角形 CED ）が発生する。

表2 電気料金（2019年10月現在）

区分	主要料金	備考
卒FIT住宅用買取価格	7.0～12.0円/kWh	2019年10月現在公表、10kW未満。オプションメニューあり。ただし、旧一般電気事業者は下限、ハウスメーカー等は上限で設定する傾向が見られる
再エネ補助金	2.95円/kWh	2019年5月～2020年4月まで
J-クレジット	0.92円/kWh	2019年4月入札結果
非化石証書	1.3円/kWh	2019年度第1回入札結果
住宅用太陽光買取価格	24～26円/kWh	2019年度、10kW未満
事業用太陽光買取価格	14円/kWh+税	2019年度、10～500kW未満（500kW以上は入札により決定）
家庭用電気料金	20.4～25.5円/kWh	2010～2017年度
産業用電気料金	13.7～18.9円/kWh	2010～2017年度
電力卸市場価格	5～10円/kWh	システムプライス。2018年4～6月は、8.72kWh

出所：経済産業省資料他を基に筆者作成

図5 買取コストが純電力コストを下回る場合に発生する死荷重



出所：「エナジー・エコノミクス[第2版]」(南部)を基に筆者作成

3.2.2 メリット・オーダーにおける不確実性

電力システムには様々な発電テクノロジー（電源）が連結しており、発電事業者は発電コストの安価な電源から起動させ発電することにより、運転効率を高めている。そこで、より安価な発電コストで発電し、需要量が増加する中で次第に発電単価が高い電源へとシフトさせる発電の順序付けをメリット・オーダーという。ただし、国や地域によっては存在する電源の種類が異なるため、電源のメリット・オーダーの順位付けが異なっている。

日本では水力、原子力、石炭火力をベースロード電源とし、LNG火力、石油火力などをミドル・ピーク電源と位置付けている¹⁶⁾が、今後卒FIT電力が増大することが見込まれ、メリット・オーダーにおける位置づけの明確化が期待される¹⁷⁾。

安田（2015）は次頁以降の図6に見るように、欧州各国のメリット・オーダー効果を考察し、自由競争に基づく市場原理によって風力発電をはじめとする再生可能エネルギー電源が優先的に取引され、その結果、市場スポット価格も低下することを指摘している。スポット価格が低下する要因として、再生可能エネルギーの導入による要因が支配的であることを挙げている。結論として、市場原理に則ることで、例えば短期限界費用の決定では安価な風力発電が優先される一方で、石炭火力や原子力が先に抑制されることにより、これらのベースロード電源は再生可能エネルギーの大量導入に伴い消滅していくとしている。

一方、このようなベースロード電源への依存度を低減する再生可能エネルギーの効果は、南部（2017）が再エネ補助金の交付による再エネのメリ

16) 経済産業省 資源エネルギー庁（2017）は、旧一般電気事業者がベースロード電源は安価であるため、電発電源の切り出しはごく一部に留め、より高価格なミドル・ピーク電源の余剰電源をスポット市場等に投入してきたことを指摘し、電力市場への新規参入者との競争条件のイコールフィッティングの観点からベースロード電源の供出を求めている。

17) 経済産業省 資源エネルギー庁（2018.11）は、再生可能エネルギーの自立モデルを議論しており、需給一体型の再生可能エネルギー活用モデルとして、VPP（Virtual Power Plant）アグリゲーターによる余剰電力の活用においてメリット・オーダー等に基づき、余剰電力を集約し、需要家の利益の最大化を図るVPPビジネスの立ち上げりに期待している。

ット・オーダー分析で指摘した「玉突き効果」を活用して説明することができる。すなわち、短期限界費用が安価である再エネが大量導入することで、次頁の図6に見るように再生可能エネルギー（ $RE=x$ ）は量的に拡大し、限界費用（ $MC \rightarrow MC'$ ）を押し下げ、原子力や石炭火力など他電源のメリット・オーダー曲線を移動させる。需要曲線は硬直的であるから、結果として原子力や石炭火力など他電源の発電量は減少することになる。

しかし、再エネによる量的拡大が可能になったとしても、再エネのコストが明確にできなければならない¹⁸⁾。一般的に再生可能エネルギーは、保守（・メンテナンス）コストは安価であるが、間欠性があり他電源のバックアップを必要とする。そして、需要家は再エネを消費するためにこれらのコストのほか、環境コストも電気料金として支払わなければならない可能性もある。

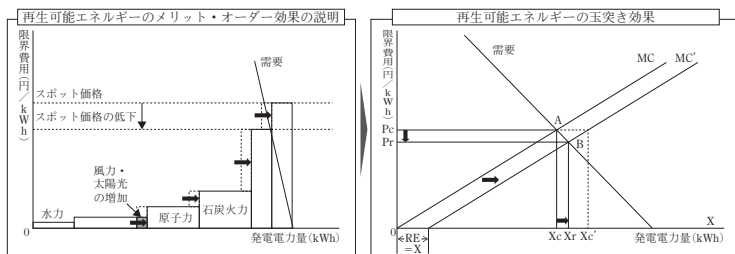
現状、再生可能エネルギーは再エネ補助金と旧一般電気事業者の買取で賄われているが、今後は卒FIT電気となることで、市場取引の色合いが強まる。その際、再エネ卒FIT電気の発電コストは、メンテナンスコストをはじめ、バックアップコスト、環境コストなどが直接的に電力市場の動向を反映することになり、補助事業としての性格が失われる。にもかかわらず、再エネ卒FIT電気の発電コストは未だ電力自由化市場の中においてメリット・オーダーの位置づけが明確化されているとは言い難い状況にある（次頁の図7の右図においては、導入当初から再エネ電源が電力系統に接続することを前提としているため、バックアップコストの位置が①である場合と②となる場合では、発電コスト自体が大きく変動してしまうことを示している）¹⁹⁾。このようにバックアップコストなどが定まらなければ、再エネの発

18) メリット・オーダーに関しては、REITシステム研究グループ（2014）が表2「発電コストの項目と分類」を参考に、直接的な発電コスト、系統対策費用、および環境外部費用を中心に考察している。

19) 南部（2017）は、日本のメリット・オーダーでは燃料費がほとんどゼロでメンテナンスコストも非常に少ないため、一般的に再生可能エネルギーは水力の次に位置付けられていると指摘している。

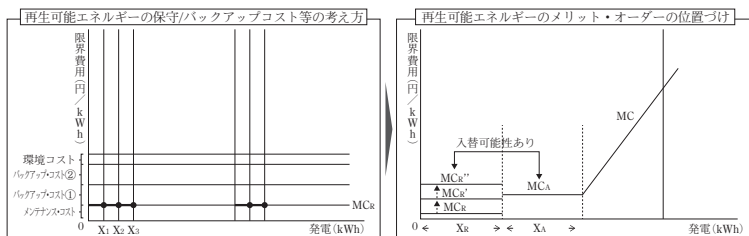
電コストは図7の MC_R , MC_R' , MC_R'' のいずれかの水準であるかを明確化できない。そこで卒FIT電気が MC_R となる場合, MC_A の水準を上回り, メリット・オーダーの順位が入れ替わることにもなり得る。

図6 再エネ補助金導入に伴う玉突き効果の発生



出所: 「電力システム改革と再生可能エネルギー」(第2章 安田;左図) 及び「エネルギー・エコノミクス[第2版]」(南部;右図)

図7 再エネ補助金導入に伴うメリット・オーダーの不確実性



出所: 「エネルギー・エコノミクス[第2版]」(南部)を参考に筆者作成

3.3.3 環境価値から見た電力市場動向の不透明性

従来, 再生可能エネルギーは小売電気事業者が買取義務者であったが, FIT法が改正され2017年4月からは送配電事業者が再エネ電源の買取義務者となり, 買い取られた再生可能エネルギー(再エネ)は卸電力市場に投入されている。

近年、パリ協定の「COP21」や国連総会の「SDGs」、The Climate Groupが主催する「RE100」が注目されており、ESG重視の投資家や環境負荷を重視する消費者に選択されることを目的としてRE100に加盟する企業数が増加傾向にある。RE100企業は事業電力を再エネで賄おうとしていることから、「根拠のある」環境付加価値を必要としている。

一方、2017年度からFIT非化石証書による再エネの取引が行われており、2019年2月には情報基盤システムを導入したトラッキング実証が行われている。次頁以降の表3に見るように小売電気事業者から見た非化石証書の価値は3種類あり、政府によるトラッキング証明済みの非化石証書には環境表示価値があり、RE100企業が使用可能であることから、非化石価値取引市場における再エネの更なる導入拡大が期待されている²⁰⁾。一方、非FIT非化石証書による取引は2020年度から開始される予定である。

ところで藤原（2016）は、欧州では競争市場である卸電力市場に再エネ補助金付き電源が混在することで競争市場に歪みを与え、卸電力価格の下落や電気料金の上昇が発生していることから再エネ電源への補助政策の見直しが行われ、最終的に市場統合に向かう方向にあると指摘している²¹⁾。今後、日本でも電力価値と環境価値の2つの経済的価値を内在している再エネの大量導入が電力市場にもたらされることが想定される。そのため、このような欧米諸国の電力市場の動向は注目され、日本市場での制度設計

20) 経済産業省 資源エネルギー庁（2019.2）では、政府によるトラッキング証書のみ再エネ証書として活用でき、企業として再エネ調達の実績が広がることを期待している。そこで服部（2019）は、朝野・野口（2017）などを挙げ、非化石証書を購入するインセンティブが需要家にはほとんどないといった課題を指摘している。また、朝野（2019）ではFITが対象とする再生可能エネルギーで供給量が調整されることにはならない可能性がある旨を指摘している。

21) 欧州のFITでは再エネ電源の電力価値と環境価値を区別せずに、コストに利潤を加え、取引価格が決定される。これに対して、進められている見直しでは、従来の固定された買取価格に対して卸電力市場などを通じた電力価値と環境価値の収入経路に分け、再エネ発電事業者に対して電力市場の価格シグナルに応じた発電を促す制度設計が行われている。欧州では、最終的にFIT電源への再エネ補助金を打ち切り、他の電源と再エネ電源を卸市場の中で同一に扱う完全な市場統合を目指している。

等を想定し市場分析が行われている²²⁾。そこで、日本では再エネの大量導入を背景に、再エネを取引する仕組みに対する関心が高まっている²³⁾。一方、配電系統側の再エネの電力や蓄電池を対象として卸電力市場で取引を可能にする分散電源エネルギー・デジタル取引システム²⁴⁾が注目されている。一般家庭の分散電源が配電システムの仕組みに組み込まれ、電力取引を可能にする仕組みである。

そこで、再エネ補助金が無い再生可能エネルギーのみ取引可能とする市場が確立され存在すると仮定する。そしてその市場から直接電力調達を選択できる場合、この再エネ補助金が無い市場では生産者にも消費者にも余剰の損失がなく、需要と供給が一致する均衡点で市場価格が形成される。そこでは従来、再エネの2種類の電源が混在することによってもたらされていた社会的損失のない電力市場が形成されることは明らかである。

ところが、日本では再エネのみを化石燃料などの電力と明確に区別し取引を可能とする非化石市場は創設されたばかりであり、その動向は不透明である²⁵⁾。

22) 藤原 (2016) は、電力中央研究所の試算結果を基に、再エネ電源大量導入より卸電力市場価格は約 2 円/kWh 下落した場合、新規の設備投資も行われ難くなり、供給予備力の低下や太陽光など不安定な電源の調整用電源が不足するなど安定供給に支障が生じることを指摘している。

23) 阿部 (2016) は、ドイツが再エネを大量導入する一方で、日本の再エネ導入が少ない理由を、「技術的な問題」と指摘し、デジタルグリッドルーターという概念とシステムを開発し、電源を識別することを試みている。一方、石田 (2019) はブロックチェーン技術を活用し、再エネ取引の実証を試みている。その他、電力業界ではP2P電力取引においてブロックチェーン技術を活用した実証試験が盛んに行われている。

24) Neil Gibbs (2018) は電力系統の安定運用を担保させながら需要家が自ら保有する太陽光発電などの分散電源の価値を維持・運用する方法について deX (distributed energy exchange : 分散電源取引所) という概念を用いて説明している。

25) 朝野・野口 (2017) によれば、現在の制度設計では非化石証書の需要はほとんど生じないものと見られる。そのため、発電量をトラッキング可能とした上で、GHG プロトコルに対応した排出係数を算定し、この排出係数が適用された電気料金メニューを企業の需要家が選択可能とすることが望まれる。その際、制度の見直し等を行うことが必要となる。

表3 小売電気事業者にとっての非化石証書に付随する各種環境価値

項目	再エネ指定		再エネ指定無し
	FIT非化石証書	非FIT非化石証書	非FIT非化石証書
非化石価値	・エネルギー供給構造高度化法の非化石発電比率44%に利用可能		
ゼロエミ価値	・温暖化対策の推進に関する法律の排出係数ゼロ 0kg-CO ₂ /kWh		
環境表示価値	・再生可能エネルギー由来		・なし

出所：朝野・野口（2019）を基に筆者作成

4 電力市場における新たな取り組みの可能性

4.1 非化石価値市場取引とP2P電力取引における価格に対する考え方

電気価値と環境価値が混在した取引市場では環境価値を求め対価を支払う需要家が取引を行うインセンティブが働きにくいことから、卒FIT電気を卸電力市場においてトラッキング可能な非化石価値取引市場で取引する可能性について論じてきた。しかし、卒FIT電気の取引形態として、もう一つの取引形態がある。それがP2P電力取引である。

P2P電力取引には、取引管理者が存在する場合と、取引管理者が存在しない場合が考えられる。しかし現実的には、例えば太陽光発電設備を持つ一般家庭同士（プロシューマーとコンシューマーの組み合わせは2通り想定される）が取引管理者無しにP2P電力取引する形態は、電力網の安定化などの観点から考えにくい。そこで、取引管理者を介したP2P電力取引の形態が実用的であると考えられる²⁶⁾。

前頁表2の電気料金が示す通り、卒FIT住宅用買取価格は7.0～12.0円/kWhであり、特に再エネ買取量の多い旧一般電気事業者の買取価格は7.0～8.0円/kWh程度である。この旧一般電気事業者の買取価格を卒FIT前の電気

26) 取引管理者を介したP2P電力取引の形態については、石田（2019）が「関西電力のブロックチェーン技術を活用したP2P電力取引の取り組み」で図式化している。

で試算された、電気価値分である回避可能費用（10円/kWh）と比較した場合、安価である²⁷⁾。

そこで、仮に卒FIT電気の余剰分をトラッキングが可能な非化石価値取引市場で取引することを想定した場合、次頁図8に見るようにこの余剰分の販売価格はFIT切れ買取料に相当する電気料金に「環境表示価値」が付与され、現行の表示された卒FIT 電気における旧一般電気事業者の買取価格よりも高値になることが望まれる²⁸⁾。

一方、太陽光発電設備を保有する一般家庭の卒FIT電気が一般家庭間でP2P電力取引することを想定した場合、市場原理によって決定される余剰電力買取価格に託送料とその他費用（固定費）とが加算され、電気料金が決定され则认为られる²⁹⁾。その他費用には、P2P取引システムなどの設備費用や人件費などが含まれると想定される。

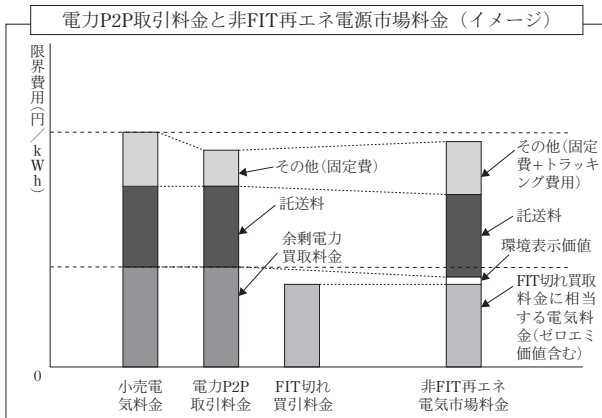
そして、取引管理者を介したP2P電力取引の形態では、小売電気料金や非化石価値取引市場料金よりも安価な電気料金となるが、FIT 切れ買取料金よりも高値で取引できることから、一般家庭などの需要家間（プロシューマーとコンシューマー間）で取引を行うインセンティブが発生すると見ることができる。

27) 朝野・野口（2017）では、非化石価値を需要家に還元する仕組みの中で、買取価値を回避可能費用（電気価値）、非化石価値、FIT納付金に分け、賦課金（再エネ補助金）が削減されることを示すとともに、前頁の表3に見る通り、再エネ指定の非化石証書は「ゼロエミ価値」と「環境表示価値」表示が可能となり、「再エネ指定なし」の原子力と比較して相対的に高い価値を提示可能としている。

28) 図8では朝野・野口（2017）の非化石価値を需要家に還元する仕組みと、石田（2019）「関西電力のブロックチェーン技術を活用したP2P電力取引の取り組み」を参考にし、非FIT再エネ電気市場電力料金の考察を行っている。

29) 石田（2019）は、P2P電力取引料金はFIT切れ買取料金（卒FIT電気料金）よりも高値であり、小売電気料金よりも安値であれば、価格インセンティブが働き一般家庭の需要家間の取引が成立する要件になり得るとしている。

図8 電力料金比較



出所：石田（2019）および朝野・野口（2017）を基に筆者作成

4.2 卸電力市場に上場された非化石価値取引市場の活用

4.2.1 非FIT再エネ電源のトラッキングによる取引の必要性

日本卸電力取引所（JEPX）が運営する卸電力市場には既に、前日市場、当日市場、先渡市場、ベースロード市場、及び非化石価値取引市場（または、非化石市場とも言う）が上場している。さらに新市場として容量市場および需給調整市場の開設が予定されている³⁰⁾。次頁表4に見る通り、非化石価値取引市場については、（再エネ指定の）FIT電源、（再エネ指定の）非FIT電源、（原子力等の再エネ指定無し）の非FIT化石電源の3種類の電源による電力取引が検討されている。そして既に2018年にFIT電源の取引が開始され、2020年5月までに非FIT電源および（原子力等の）非FIT非化石電源の取引開始が検討されている。

30) 卸電力市場における新市場創設については、服部（2019）が特徴や課題、論点を整理し、非化石価値取引市場の問題点を論じ、FIT制度を存続させたままでは期待された効果は得られないと指摘している。

しかし、FIT電源にはそもそも非化石証書を取得するインセンティブがなく、またFITを存続させたままで非化石価値取引市場を運用しても期待する効果は得られない³¹⁾。さらに（原子力等の）非FIT化石電源においても（小売電気事業者の）新電力が火力発電を電源とすることに対して旧一般電気事業者が大型水力や原子力を有することで新電力は卸電力市場から非化石電源を購入しなければならない、といった課題が想定されている³²⁾。

そのような中、非FIT再エネ電源と（原子力等の）非FIT非化石電源が非化石価値取引市場にて取引を開始する予定となっている。しかし、環境価値を評価するRE100企業のような需要家に対しては、先の再エネ電源の属性情報を持つトラッキング証書が評価される可能性が高く、非FIT再エネ電源の取引市場においてもトラッキング証書を付与する仕組みが必要であると考えられる。そして、その仕組みの対象には配電系統側に無数に存在し卒FIT太陽光発電設備を所有する一般家庭などの需要家の参加も想定されなければならない。

表4 非化石取引価値市場の概要

証書種別 項目	再エネ指定		再エネ指定無し
	FIT非化石証書	非FIT非化石証書	非FIT非化石証書
取引開始年	2018年	2020年（予定）	2020年（予定）
対象電源	FIT電源 (ex. 太陽光, 風力, 小水力, バイオマス, 地熱)	非FIT再エネ電源 (ex. 大型水力, 卒FIT電源 等)	非FIT非化石電源 (ex. 大型水力, 卒FIT電源, 原子力等)
価格決定方式	マルチプライスオークション	シングルプライスオークション	シングルプライスオークション
証書売手	低炭素投資促進機構 (GIO)	発電事業者	発電事業者
証書買手	小売電気事業者	小売電気事業者	小売電気事業者
最高価格	4円/kWh	今後の検討	今後の検討
最低価格	1.3円/kWh	指定しない	指定しない

出所：松久（2019）を基に筆者作成

31) 朝野（2019）では、FIT非化石の発電事業者は既にFITで利益が賄われているため、非化石証書の売却益を得られず、FIT非化石のオークションを通じてインセンティブも得られないことを指摘している。

32) 松久（2019）は、旧一般電気事業者の非化石電源比率が比較的高いのに比べ、新電力は低く、

4.2.2 非化石価値取引市場におけるトラッキングシステムの方向性

2019年2月の非化石価値取引市場におけるトラッキング実証では、再エネ電源は太陽光、風力、地熱といった産業用再エネ発電設備が対象となったが、これらは出力規模が大きい発電設備であった。ところが、2020年5月までに予定されている非FIT再エネ電源の取引市場では、多数の一般家庭における出力10kW未満の再エネ小規模電源が配電系統に逆潮流することを想定し対応することが望まれる。今後、2019年11月から56万世帯が保有する卒FIT再エネ電源となる出力10kW未満の一般家庭用太陽光発電設備が、2032年以降には卒FIT再エネ電源となる出力10kW以上の産業用太陽光発電設備が逆潮流を起こし、配電系統に対する安定性を脅かす存在となり得る可能性が想定される。そのため、早期の段階でこれら卒FIT電源の逆潮流に備える必要がある。

政府は2019年2月から情報基盤システムを導入した非化石証書取引を開始し、非化石価値取引市場にてFIT再エネ電源ではあるが、電源種や発電所所在地などの属性を明確化し、需要家が再エネ電力を購入することを可能とした。これは、電力システム上に卒FIT再エネ電源のみを取引可能とする非FIT非化石電源取引市場の創設も可能であることを示している。そして、非FIT非化石電源認定業務の開始が期待される。

2019年11月以降に出力10kW未満の卒FIT再エネ電源が、その後2032年からも出力10kW以上の卒FIT電源が継続して増加するが、政府は2030年までに供給電力の非化石電源比率を44%以上にすることを求めている。しかし現状の電力市場における電源構成の下で、小売電気事業者はこの44%以上という数値を達成することができるのであろうか。一方、政府は2016年度から電力需要のピーク調整用電源の活用代替としてVPP (Virtual Power Plant) 実証を展開している。そこでは需要家が保有する住宅分野や業務分

市場から非化石証書を手しなければ政府が求める非化石比率44%を達成できず、また非化石電源を持つ旧一般電気事業者が非FIT化石電源（原子力等）市場の売り手となるため、新旧電力の格差が拡大し、新電力の撤退が相次ぐ可能性について指摘している。

野などの施設における各種電気器具や熱源機器のほか、太陽光発電設備や据置型蓄電池が制御機器の対象となり、需要家の分散電源などを束ねるアグリゲーターが電力需給調整の役割を担っている³³⁾。

既にVPP実証ではIoT（Internet of things）技術や制御技術が、またトラッキング付き非化石証書実証では情報基盤システムが活用され成果を挙げている。そして日本の電力市場では太陽光発電設備や蓄電池などの分散的に設置された設備機器を新たなテクノロジーを活用し仮想発電所のように制御・運用することを可能にしている³⁴⁾。そこで今後、卸電力市場では非化石価値取引市場で卒FIT再エネのような非FIT非化石電源をこれらのテクノロジーを活用してあたかも仮想発電所のように見立ててアグリゲーターを介して取引する、または個々の小規模発電所として非化石価値取引市場で直接取引を可能とする制度・ルール・システム設計を行うことが必要となるのではないだろうか。真の発送電分離の意味は、純粋な再生可能エネルギーを誰もが自由に取引可能とする電力市場の創設にあると考えられる。それを可能にするためには、消費者でもあり発電者でもあるプロシューマーとなる需要家の「電力市場への参加」という意識が必要となる。

日本の電力市場は電力システム改革の流れの中で、原子力等の非FIT非化石電源をも排除可能とするような市場創設を実現しつつある。そこで、再エネ大量導入の時代を迎えるに当たり、電気価値と環境価値を訴求し、電力市場への参加者の誰もが非FIT再エネ電源のみを取引可能にする電力システムの新市場を創設することと、それに伴う制度・ルールの策定を急ぐ必要がある。

非化石価値取引市場に再エネ電源保有の参加者の誰もが自由にトラッキング付き電力取引が可能となる新市場が創設されるならば、それは新たに

33) VPP・DRの詳細については、経済産業省 資源エネルギー庁のホームページに記載されており、参照されたい。

34) 山中（2012）はスマートメーターと通信技術を活用すれば、日本の完成度の高い送配電網における仮想送電が可能となり、スマートグリッドが発展する可能性に言及している。

「環境価値市場」と言うことができる。そしてこの環境価値市場は卸電力市場に上場され、個々の電源を監視し卸電力市場と協調需給安定化に努める、いわば広域的に電力市場を監視・管理する事業体のような存在が必要とされる³⁵⁾。再エネは電力供給において間欠性があり、電力市場が必要とする同時同量を達成させることが困難な電源である。そこで、具体的には日本における電力広域的運営推進機関（OCCTO）と日本卸電力取引所（JEPX）が連動して電力市場において個々の再エネ電源を監視・管理するとともに、非化石価値市場に新設される環境価値市場を運用する必要がある。

4.2.3 環境価値市場の枠組み

実際、情報基盤システムを活用したトラッキング付き非化石証書の再生可能エネルギーは非化石価値取引市場にて取引されている。そして、経済産業省では情報基盤システムにブロックチェーンを活用することも視野に入れている³⁶⁾。次頁以降の図9に示す通り、そのトラッキングスキームは低炭素投資促進機構（GIO）を通じて取引されたFIT再エネ電気と、それに紐づくトラッキング証書を非化石証書トラッキング事務局が小売電気事業者に付与することで、需要家がFIT再エネ電気を消費するというものである。

一方で将来的には環境価値市場には、P2P電力取引システムと（オーストラリアのdeXのような役割を担う）DER統合管理制御システムの2種類のシステムが融合した情報システム基盤を構築することが望まれる。そして次頁以降の図10に示す通り、情報基盤システムにブロックチェーンが活

35) オーストラリアでは、AEMO（Australian Energy Market Operator：市場管理会社）が該当する。AEMOは、配電系統に存在する中小型の分散電源や蓄電池などのDER（Distributed Energy Resources：分散型エネルギーリソース）を系統接続し、アグリゲーターを介して卸電力市場で電力取引する仕組みを目指している。そこでAEMOは、オーストラリアにおいてGreenSync社が開発しているdeX（distributed energy exchange：分散電源取引所）の採用を予定している。AEMOが採用する場合、deXは配電系統側の低中圧発電管理システムとなる。

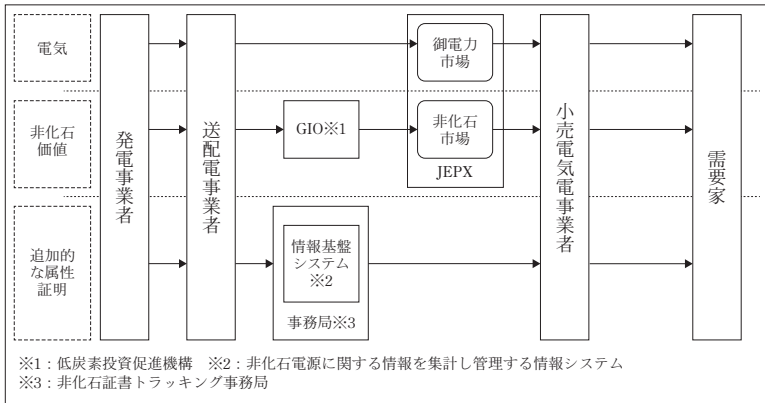
36) 経済産業省（平成31年3月）では、事業調査を受託した日本ユニシス（株）がブロックチェーン技術の適用可能性を示している。

用され、太陽光発電設備を所有する需要家は発電事業者としての側面を持ち、プロシューマーとして市場に参加することが想定される。プロシューマーには、1) P2P電力取引のみを行うケースと2) 環境価値市場のみで取引を行うケース、さらに3) P2P電力取引と環境価値市場で取引を行うケースの3種類の取引ケースが想定される。プロシューマーは1)～3)の取引形態のいずれにおいても、発電事業者であることから配電システムの安定化を目的として上述した2種類のシステムに接続され発電状況がトラッキングされることになる。一方、需要家はP2P電力取引システム上で消費状況が記録されることになる。

非化石価値取引市場においては、再エネ価値のみを取引できる形態が整備され、「環境価値市場」として上場されることが期待される。その場合、配電系統側には再エネ電源が分散化された状態で無数に存在するが、配電系統にある2種のシステムと接続される。そしてOCCTOやJEPXによって統合的に管理・運用されるとともに、彼らが必要に応じて系統安定化のためにそれぞれの役割の中で制御を可能とすることが望まれる。環境価値市場には、このような制御を可能にするDER統合管理制御システムを組み込む必要がある。

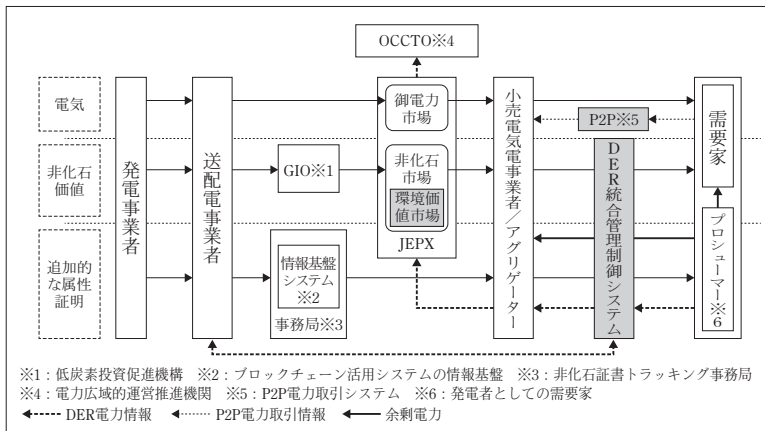
竹内（2018）が電力市場におけるイノベーションのシナリオで示すように、将来的に需要家側の増大する分散電源や蓄電池などが配電網に接続していくため、配電自動化のような制御系システムを高度化させるだけではなく、配電版コネク&マネージなどの導入が必要になるとと思われる。そして、分散電源等への投資を誘導していく仕掛けや配電用変電所以下の配電網で需給バランスを取る仕掛けを考える際に、無数の再エネ発電設備や蓄電池などを統合し管理運用するため、取引市場と連動した新たな配電系統システムとして、DER統合管理制御システムのような考え方も必要となる。

図9 非化石価値取引市場におけるトラッキング実証スキーム



出所：経済産業省 資源エネルギー庁（2019.1）を基に筆者作成

図10 環境価値市場におけるトラッキングの仕組み



出所：経済産業省 資源エネルギー庁（2019.1）を基に筆者作成

5 結語と提案

電力市場は自由化が進む中で電力供給の在り方が垂直統合型から分散統合型へと進展している。それに伴い再生可能エネルギー（再エネ）の大量導入の在り方が問われ、制度や費用負担、電力網、さらには需給バランスなどの方法論に関する議論が活発化している。とりわけ、市場シェアや発電方式、発電の特徴などから太陽光発電設備の存在が電力市場に与える影響は強く、エネルギーマネジメントシステムなど新たなテクノロジーを電力市場にもたらしめている。

太陽光発電設備の増加は環境負荷低減などプラスの影響をもたらす一方で、消費者への賦課金負担による社会的損失（消費者余剰の損失）といった経済的なマイナス面も無視できない状況にある。政府は情報基盤システムを活用しトラッキング付き非化石証書による再エネ電力取引を試みており、大きな成果、すなわち「環境価値市場」の創設につながることを期待される。

また、2019年11月以降に卒FITを迎える10kW未満の太陽光発電設備が増加し、その後2032年には10kW以上の太陽光発電設備も増加する。さらに逆潮流する卒FITに対して、配電系統の安定化や卒FIT電気自体の運用方法等の在り方も問われてきている。

そこで電力市場において再エネに関する経済学的な考察を行うことで再エネの電力市場における位置づけを確認した後、新たな電力取引市場について現行市場の仕組みに照らして論じてきた。その際、環境価値をトラッキングすることが重要となり、その証明手段として最新のICTシステムが有効となる。現状、消費段階では電力系統では再エネ電源も非再エネ電源も同品質と評価され、どのような電気かは判別しにくい。一方、電力系統側では同時同量という原理や周波数制御への対応といった命題もあり、電力市場は常に監視・管理されなければならない。そして、再エネは自然環境の影響を受けやすく、発電量が安定しないという課題を持つ。そのため、

電力市場を構成する発電機におけるメリット・オーダーではどのような位置づけなのか明瞭にできない状況にある。このように再エネは電力市場の需給バランスを図る上で問題児であるが、CO2排出係数がゼロであるという点で自然環境の救世主となる存在である。

それでは、このような両側面を持つ再エネを電力市場ではどのように扱えば良いのであろうか。既に卸電力市場には非化石価値取引市場が上場している。そこではブロックチェーン技術を活用しトラッキング証書を発行することで、再エネ電源を明確化する動きが検討されている。そして、環境価値の高いエネルギーを必要とするRE100企業など需要家の購入によってトラッキング証明書付き再エネ電気の販売量が増加することが期待される。それを可能にするために「環境価値市場」の創設が必要となる。

しかし今後、大量の再エネ電源がトラッキングを必要とし、また蓄電池などが増加し配電系統側に分散化される場合、電力市場においてどのように登録され、管理・運用されることが望ましいのだろうか。そこで、筆者は配電系統にDER統合管理制御システムを導入し、全ての分散電源や蓄電池などが登録され、自動的に管理・運用される仕組みの開発と実装を提案したい。従来、発電機は送電系統側に設置され、送配電系統と協調してきたが、電力自由化市場では配電系統側に分散電源が増大していくことが想定される。将来的には発電の比重が送電系統から配電系統にシフトしていくと考えられ、太陽光発電設備をはじめとした分散電源のほか、電力貯蔵設備を含めDER統合管理制御システムに接続させ、OCCTOとJEPXとがシステム連動することによって監視・管理、および制御することで、電力系統全体の安定化を図ることが望まれる。配電系統にDER統合管理制御システムが構築されることで、エネルギー分野のイノベーションは促され、分散型電源への投資を促す仕掛け作りやブロックチェーン技術などを活用したP2P電力取引、さらに環境価値市場における再エネ取引などの取り組みも活発化し、電力自由化市場の真価が発揮されると考えられる。

参考文献

- (株)富士経済 (2018) 「2018年版 住宅エネルギー・サービス・関連機器エリア別普及予測調査」 pp.15-22
- (株)富士経済 (2019) 「FIT・再生可能エネルギー発電関連システム・サービス市場/参入企業実態調査 2019」 pp.9-11
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2018.9) 「住宅用太陽光発電設備のFIT買取期間終了に向けた対応」 pp.7
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2018.3) 「2030年エネルギーミックス実現へ向けた対応について～全体整理～」 pp.9-12
- 電力広域的運営機関 (2019) 「九州本土における再生可能エネルギー発電設備の出力抑制を伴う運営実態について」 pp.3
- 経済産業省 (2015) 「長期エネルギー需給見通し」
- 経済産業省 (2018.12) 「再生可能エネルギーの大量導入を支える次世代電力ネットワークの構築について」 pp.33-98
- 経済産業省 調達価格等算定委員会 (2019) 「平成 31 年度以降の調達価格等に関する意見 (案)」
- 経済産業省 電力・ガス取引監視委員「電力市場における競争状況の評価」 pp.108
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2017) 「今後の市場整備の方向性について」 pp.8
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2018.11) 「再生可能エネルギーの自立に向けた取組の加速化 (多様な自立モデルについて)」 pp.7
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2019.5) 「エネルギー供給構造高度化法の間目標の策定について」 pp.1-5
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2019.2) 「非化石価値取引市場について」 pp.12-18
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2019.1) 「非化石証書トラッキング実証実験」 pp.4
- 経済産業省 (平成31年 3 月) 「平成30年度 新エネルギー等の導入促進のための基礎調査事業(非化石証書の利用価値向上に係わる調査 調査報告書)」(日本ユニシス(株)) pp.23-24
- 大平佳男 (2016) 「日本におけるPRS制度と太陽光FIT制度に関する比較分析」『日本の再生可能エネルギー政策の経済分析-福島の復興に向けて-』八潮社 第 5 章pp.123-141
- 南部鶴彦 (2017) 「相互連結の一般理論－系統の給電システムの解明」『エネルギー・エコノミクス[第2版]』日本評論社 第 2 章pp.13-25, 第 3 章pp.27-44, 第 5 章pp.79-82, 第11章pp.174-193, pp.194-198

- 諸富 徹 (2005)「電力システムの再構築とその費用負担原理」『電力システム改革と再生可能エネルギー』日本評論社 第6章pp.153-182
- 竹濱朝美・歌川 学 (2019)「風力・太陽光発電大量導入による電力需給バランス, 2030年シナリオ」『入門 再生可能エネルギーと電力システム 再エネ大量導入時代の次世代ネットワーク』日本評論社 第8章pp.221-245
- 松原弘直 (2019)「国内の電力需給における変動型再生可能エネルギーの導入状況 九州エリアにおける出力抑制の実績と評価」 pp.2
- 竹内大助 (2018)「エネルギー×イノベーションのシナリオ」(株式会社日立コンサルティング)
- 日引 聡, 庫川幸秀 (2013)「再生可能エネルギー普及促進策の経済分析～固定価格買取 (FIT) 制度と再生可能エネルギー利用割合基準 (RPS) 制度」(RIETI Discussion Paper Series 13-J-070) pp.1
- 安田 陽 (2015)「再エネ大量導入時代の送電網のあり方: ベースロード電源は21世紀に」『電力システム改革と再生可能エネルギー』日本評論社 第2章 pp.74-76
- 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 (RITE) システム研究グループ (2014)「電源別発電コストの最新推計と電源代替の費用便益分析」 pp.3
- 服部 徹 (2019)「電力システム改革における新市場創設の意義と課題—市場メカニズムの活用をめぐる議論の展望—」(電力経済研究 No.66) pp.5-8, pp.11-15
- 朝野賢司 (2019)「長期エネルギー需給見通しの実現を見据えた非化石価値取引市場の制度設計」(電力経済研究 No.66)
- 朝野賢司, 野口 厚子 (2017)「非化石価値取引市場によってFITと自由化の整合性は図れるのか?—需要家の視点に基づく論点整理—」 pp.37-39, pp.40-44
- 藤原紅実 (2016)「経済学からみた電力システム改革の課題⑥～再エネ大容量導入政策が電気事業に与える影響～」(エネルギー地域経済レポート No.503)
- 阿部力也 (2016)「デジタルグリッド」エネルギーフォーラム 第5章pp.82-84, 第11章pp.216-217
- 石田文章 (2019)「関西電力のブロックチェーン技術を活用したP2P電力取引の取り組み」 pp.20
- 松久保肇 (2019)「非化石価値取引市場-新電力は生き残れない」『原子力資料情報室通信』(第540号)
- 山中直明 (2012)「スマートネットワークの未来」慶応義塾大学出版会 第4

章pp.59-61

Bruce Thompson (2017) "The role of grid edge markets in Australia's power system" pp.9-14

Neil Gibbs (2018) "New Trading platforms for DER: A solution for a revolution" pp.4-9

Economic Considerations of Renewable Energy (“Renewables”) and the Potential of the Electricity Market for their Mass Introduction in Japan

Atsunobu MORITA

《Abstract》

Since November 2019, renewable energy subsidies for household solar photovoltaics facilities have been discontinued in Japan. The result has been a post-FIT (Feed-in-Tariff) event. A similar problem will occur in industrial solar photovoltaics facilities after 2032.

I utilize economic theory to clarify the problems of this electric power event, which was caused by the large-scale introduction of renewables, and the prospects for the Japanese electric power system with the introduction of solar photovoltaics facilities after November 2019.

In order to trade renewables and generate a reverse power flow through solar photovoltaics without subsidies in the electricity market, it is necessary to establish an environmental value market, and construct an integrated DER (Distributed Energy Resources) management control system in the power distribution network. All DERs, such as renewables and storage batteries, need to be connected to an integrated DER management system which is managed by Japan Electric Power Exchange, and this should be monitored and controlled by the Organization for the Cross-regional Coordination of Transmission Operators, JAPAN (OCCTO).

The establishment of an integrated DER management control system in the power distribution system will stimulate innovation in the electric power liberalization market, and promote investment in distributed power sources, P2P power transactions utilizing blockchain technology, and renewable energy transactions.

