

Title	SDGs・デジタル時代における、需要の特性やニーズに応じた電力供給のあり方についての考察
Author(s)	満保, 智之
Citation	年次学術大会講演要旨集, 36: 911-915
Issue Date	2021-10-30
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/17886
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

SDGs・デジタル時代における、需要の特性やニーズに応じた電力供給のあり方についての考察

○満保智之（東京理科大学）

8820237@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

1.1. 気候変動危機の顕在化と再生可能エネルギー（再エネ）導入の拡大

近年、気候変動はエネルギー利用に起因する環境危機であることが共通認識となっている。欧州は世界で最も気候変動政策に前向きな地域であり、各国間でエネルギー転換を競う状況になってきている。AGEB^[1]によると、ドイツでは2020年に再エネの総発電量に占める割合が44%となり、当初目標の40%を上回ることに成功した。CO₂排出量も再エネの設備能力の拡大に加え、COVID-19による需要の減退も追い風となり、当初目標の1990年比40%の削減が達成された。他方、電気料金は年々上がり続けておりEU諸国では最も高い水準にある。ドイツは製造業が盛んでありGDPの大きさなど日本と類似点が多く、「再エネ」、「脱原発」、「自由化」など日本のエネルギー政策のキーワードを先取りしていることから理想像として紹介されることが多い。しかし、ドイツも成功ばかりではないのが実状である。

2020年10月に、菅首相は日本社会が今後「カーボンニュートラル(CN)」に向かうと宣言した。この宣言は産業界に対する大きなシグナルになったのは間違いない。さらに、電力部門のようなエネルギー転換部門だけでなく、運輸部門を含むエネルギー消費部門全体の長期的見通しが示されたといえる。但し、2050年に到達する目標地点を示したに過ぎず、そこに至るまでの道筋を明確にし、エネルギー利用のあり方のグランドデザインを作り、着実に押し進める対策を打ち出す必要がある。

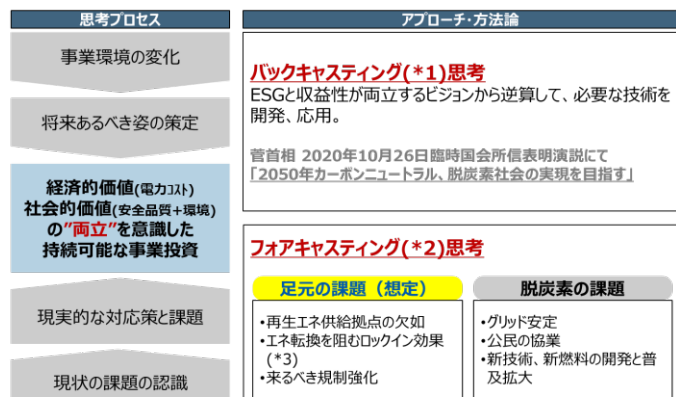
1.2. 本稿の背景と目的

SDGs・デジタル時代の発電事業は、「社会的価値」と「経済的価値」を共に達成することが求められる。電力供給面に求められる主な対策としては、「再エネの主力電源化」と「CO₂を排出する電源の計画的廃止」である。

再エネを主力電源としていくためには何が必要であろうか。喫緊の対処として、再エネに関わるコスト全体を抑制することである。具体的には、「送電網の拡充や調整電源の維持等電力システムの安定性を確保するためのコスト」と、「固定価格買取制度(FIT)で代表される導入支援のための直接的コスト」が挙げられる。これらに関する多くの議論は、マクロ的視野かつ供給側からの視点への偏りがあるように思える。

事業者は、このような事業環境の変化を捉え、ESGと収益性が両立するビジョンから逆算して、技術を開発、応用する必要がある(バックキャスティング思考)。一方、現場レベルで押し進めるためには、需要の規模、地域事情、脱炭素化など現状の課題を認識し、現実的な対応策と課題に取り組む必要がある(フォアキャスティング思考)(図1)。電力の安定供給上、常に「供給」と「需要」のバランス(同時同量)を維持する必要がある。橋川(2020)は、エネルギー転換の核心は、「(1)使用時にCO₂を排出するエネルギーから排出しないエネルギーへの転換、(2)集中型のエネルギー供給システムから分散型のエネルギー供給システムへの転換」を挙げている。実際、ドイツでは対策を講じてきたものの、CO₂排出量削減および電気料金の抑制に苦しんでおり、現在は需要面の対策に注目が集まっている。本稿では、供給面における分散型電力システムの強靱性と需要面における特性・ニーズとの関係性について、ドイツの事例分析で検証する。

図1 本研究の背景と目的



(*1) 未来のあるべき姿を描き、その実現のためのプランを立てていく思考
 (*2) 現在の問題やリスクから、解決策やプランを策定する思考
 (*3) 既存の商品・設備を切り替えるコスト・手間が障害となり、既存の商品・設備を使い、続けていよう効果

出所：筆者作成。

2. 先行研究

2.1. 再エネの台頭とその可能性

再エネとは、太陽光・風力・水力・地熱・バイオマスといった、エネルギー源として永続的に利用することができるエネルギーを指す。再エネの長所について、第1に純国産のエネルギーであり、輸入の必要がない。第2に自然環境が自動的に再生産してくれるため、賦存量に限り無く、枯渇しない。第3にエネルギーとしての限界費用はゼロである、等が挙げられる。

再エネの短所は割高な設備費用(固定費)にあった。しかし近年は「変動性再エネ(VRE: Variable Renewable Energy)」と呼ばれる太陽光や風力において劇的なコスト低減が進んでいる^[3]。財務省の貿易統計によれば、2019年の石炭・石油・天然ガスの輸入額は17兆円で、日本の輸入総額78.6兆円に対して21.6%を占める。したがって、日本国内で使うエネルギーの多くを再エネで賄えれば、気候変動対策、エネルギー安全保障問題の解消、国際貿易収支の改善につながる可能性がある。

再エネのもう1つの大きな短所は「不安定性」である。VREは天候に左右されることで設備利用率が低い。そのため、火力や原子力等の「安定電源」中心の電力システムにVRE等の「不安定電源」を入れると、停電が起きかねず、これは国内の安定供給という意味で電力の安全品質問題につながる。VREの大量導入には系統制約の克服に向けた対応が重要である。

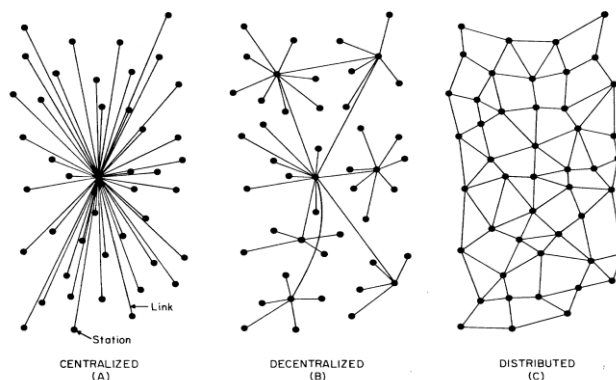
2.2. 固定価格買取制度

再エネに関わるコストとして無視できないのが導入支援のための直接的コストである。日本において再エネの導入が広がる起爆剤となったのは2012年「再エネ特別措置法」で定められた固定価格買取(FIT)制度である。このFITによる買取費用の一部は、賦課金として国民が広く負担しているが、年々増加しており、2020年度の賦課金は2.4兆円(累積13.5兆円)、電気料金に占める割合は家庭用で10%超、産業用で20~25%を占め、大きな負担となっている。日本のFITは発電設備に経済的インセンティブを与えるだけの施策であり、発電設備と送電設備全体で考えて社会的なコストを最小化するという視点は含まれていないため、制度のあり方自体の見直しが急務である^[4]。

2.3. 分散型電力システムの強靭性

まず、供給面において物理的ネットワークから考えた場合、現状は大規模発電所から長距離送電し、送電網は電圧降下に従って枝分かれしていく階層型であり、流れも一方向である。これを集中型電力システムと呼ぶことにする。これに対して分散型電力システムでは、各地の小さな発電所を結ぶネットワークは物理的にも機能的にもメッシュ状に近づく。さらに広域運用を組み合わせると地域間のネットワークは一体化され、より強靭性が高まる。高橋(2021)は「過去通信分野で起きた発想の転換に近い」と述べている。Baran(1964)(図2)によると、

図2 集中型、分権型、分散型ネットワーク



旧来の音声電話網は集中型(A)あるいは分権型 出所: Baran^[6]

(B)であるため、数少ない結節点に打撃を受けるとシステム全体が機能不全に陥る。一方で、分散型(C)は、メッシュ状で結節点が多数あるため、複数個所が打撃を受けても他の通信経路を容易に確保できる。分散型(C)を達成するためには、適切な通信経路の特定や伝達の制御のために高度な技術が要求される」と述べている^[6]。まさにこの分散型(C)が後のインターネットである。通信と電力には様々な相違点はあると認識しつつも示唆を得るものであり、分散型電力システムに移行する、即ち、集中型電源だけでなく、VRE、さらには需要家特性、蓄電池を含めた多様かつ複雑なシステムをデジタル技術・ITを用いて最適制御することで分散型ならでのシステムの強靭性がもたらされると考えられる。

3. 仮説

3.1. 需要面における特性・ニーズと電力供給方法の関係性

需要面において、地域事情、需要区分(産業・業務・家庭)の比率、脱炭素化等の特性・ニーズが異なる。欧州では International Renewable Energy Agency(IRENA)(2019)が、デマンドサイド・フレキシ

ビリティという、「産業・業務・家庭の各需要家(エンドユーザー)での再エネの利用施策とその可能性」を示した^[7](表 1)。この考え方をフレームワークに活用して、需要区分の特徴およびニーズを「大都市」「地方都市」「リモート」地域別に分類した(表 2)。

- 産業需要：特別高圧および高圧受電
高品質(製品や稼働率に影響)
自家発保有(熱需要)
大都市および地方都市
- 業務需要：高圧および中圧受電
高品質(病院・学校等の公共施設)
地域災害対応(非常用発電)
- 家庭需要：低圧
電灯・電化製品向けが主
災害時の対応

表 1 Demand-side Flexibility technology mapping by end-user.

		Industrial	Commercial	Residential
	Power-to-heat	●	●	●
	Power-to-hydrogen	●	●	●
	Electric vehicles	●	●	●
	Smart appliances	●	●	●
	Industrial processes	●	●	●

● The solution would be competitive/suitable in that end-use sector
● The solution is unlikely to be competitive/suitable in that end-use sector

出所：IRENA^[7]

大都市は需要が大きく、系統不安定や大需要家への波及が大きいために高品質な電力の安定供給がより求められる。この場合、安定電源が必要であろう。地方都市は産業用が主であり、熱供給も含めたエネルギーシステムが求められる場合が多いため、再エネと自家発供給のバランスを考慮されるべきである。リモート地域は家庭用が主であり、土地も確保しやすいことから VRE を積極的に活用する分散型電力システムの採用を念頭におくべきである。即ち、各々の地域ごとの電力需要特性やニーズに応じた、需要と供給方法の最適なマッチング選択という仮説が考えられる。

次章では、電力網(系統)運用方法を大きく変えたドイツの事例分析を行い、各需要区分と電力供給方法の関係性を検証するとともに、同国の抱える課題についても明らかにする。

表 2 需要の分類、特徴および課題

	分類(例)	特徴	課題
大都市		需要：大 産業>家庭>業務	VRE大量導入時の品質確保
地方都市		需要：中・小 産業>家庭>業務	VRE供給バランス 自家発及び地方電力の脱炭素化
リモート		需要：小・極少 家庭>業務>産業	需給最適化 災害時の迅速復旧

産業需要：特別高圧・高圧により受電する需要のうち、原則2,000kW以上の大口電力
業務需要：事務所、ビル、デパート、飲食店、学校、病院など、電灯や動力契約電力が50kW以上のもの。
家庭需要：低圧(50kW未満)により受電する需要
出所：筆者作成。

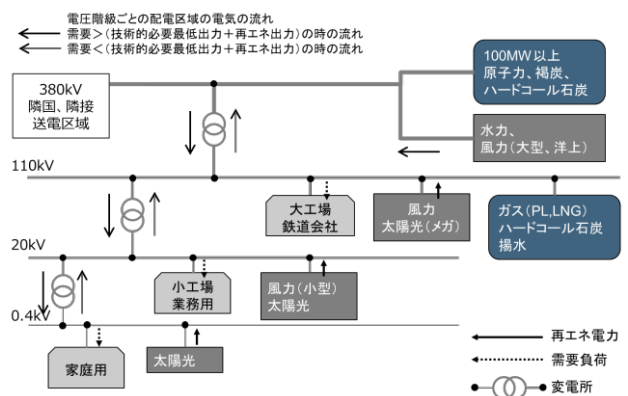
4. 事例分析

4.1. ドイツの電力網(系統)運用～下方一方向潮流運用から双方向潮流対応運用へ～

植田ほか(2016)によると、ドイツが再エネの大量導入に成功した背景として、「ドイツの再生可能エネルギー法(EEG, 2014年版)と、再エネ電力と上位電圧系統への逆潮流運用」を挙げている^[8](図 3)。

特に注目すべき点は、①送電・配電業者は、電力網の増強工事が必要の場合であっても、再エネ電源を優先接続する義務を負う、②電力網の増強費用は送電・配電業者が負担し、最終的には送配電料金によって回収される、の2点である。風力・太陽光出力が多い時、余剰電力を上位電圧系統に逆潮流させると変電所変圧器では電圧上昇リスクが発生する。ドイツの送電・配電業者は双方向潮流対応の保護システム、変圧器の負荷時タップ切替器の自動化、直流送電網の新設を進めている。この整備によって、ドイツでは風力発電が多い北部や太陽光発電が多い南部の配電網では、逆潮流は日常的な系統運用になっており、システムの強靱性は保つことができる。需要と供給方法の関係性としては、業務用需要および家庭用需要が主である 20kV および 0.4kV

図 3 再エネ電力と上位電圧系統への逆潮流の関係



出所：植田和弘ほか^[8]

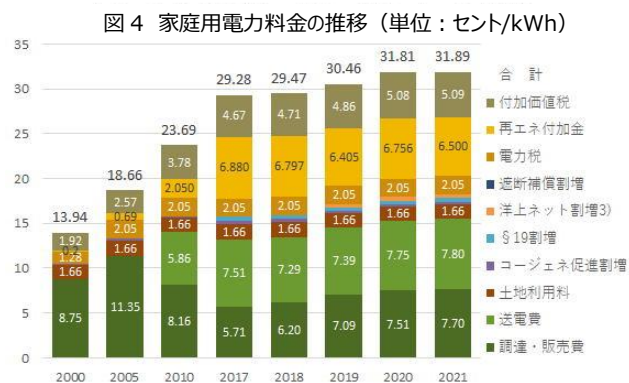
電圧系統は概ね再エネ電力で賄えており、産業用需要が支配的である 110kV および 380kV 上位電圧系統では再エネ電力だけでは品質が保てず、「安定電源」を取り込む必要があるという示唆が得られた。

4.2. ドイツにおける電力事情と課題

ドイツは「Energiewende」(邦訳:エネルギー革命)の標語の下、脱原子力・脱化石燃料、再生エネへの転換を進めてきた結果、再エネの導入拡大に成功した。その理由は 4.1. で示した双方向潮流対応の電力網の整備と再エネのコスト低減である。実際には規模の大きい太陽光(PV utility-scale)と陸上風力(Wind Onshore)は多種電源と比べて最もコストが安くなっている^[9]。

では電力料金は安くなったか。残念ながら否である^[10](図 4)。1 つ目の理由は、競争原理が働きづらい FIT である。ドイツは全量買取から、量を定めた買取、入札制度などに変更してきた経験と反省を日本も学ぶべきである。もう 1 つの重要な点は再エネのコストを考えると、均等化発電原価(LCOE : Levelized Cost of Electricity) だけを議論してきたため、電力網の増強コストは考慮されていなかった。

CO₂ 削減についてもあまり芳しい状況ではない。主な理由は排出量の多い石炭・褐炭火力発電所の稼働を減らせていないことにある。これは再エネに 4 割近いシェアを奪われてしまっている電力会社にとって比較的クリーンな天然ガスが高価のために、止むを得ず、安い石炭・褐炭を使わざるを得なかったのである。つまり、エネルギーの低炭素化を進めるためには、再エネの拡大とあわせて、再エネの調整役として稼働し続ける火力発電の低炭素化を進める必要があるが、上手くいかなかったということである。ドイツでは 2022 年の原発停止による電力不足も予想されており、大急ぎで複数のガス火力が建設されている。これと並行して、シェールガスを受け入れるターミナルや、ロシアからドイツへ直接つながる海底パイプラインの第 2 弾「ノルドストリーム 2」も建設中である。4.1. で示した電力網は概ね整備を終え、今後賦課金は下がるという見方もあるが、これらは電力料金をさらに高騰する要因となる可能性もあるため、動向を注視していく必要がある。



出所: BDEW^[10]

5. おわりに

今回のドイツの事例分析を通じて、分散型電力システムの強靱性および需要と供給の最適なマッチングの可能性について示唆を得ることができた。この結果、再エネの大量導入に繋がったものの、電力料金の低減には至っておらず、CO₂ 排出量もさらなる削減努力が必要であり、まだまだ課題は多い。

エネルギー政策は国民生活・社会経済に与える影響が大きく、国家戦略の中核ともいえる。自国の資源賦存量や産業構造、気象条件や送電系統といった様々な制約条件のなかで、トレードオフの関係にある「3E (エネルギー安全保障・安定供給、経済性、環境性)」のバランスを取らねばならない。そのためには、先人の好事例や失敗の「本質」を見極めることが大切であり、他国を過度に評価することも、逆に、自国の制約条件に逃げ込むこともなく、真摯に学ぶことが必要である。そして、単なる国と国の政策比較ではなく、「経済的価値と社会的価値の両立」という“着眼大局”を持ち、社会実装していくためには現場オペレーションレベルでの“着手小局”で取り組むことが重要である。本稿では一例としてドイツの事例を詳細に研究することで様々な示唆を得た。今後は他国の事例を踏まえながら、より複眼的な視点で研究を進めていきたい。

以上

参考文献

- [1] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V, “Stromerzeugung nach Energieträgern 1990 – 2020” (2020).
 [2] 橘川武郎, “エネルギー・シフト 再生可能エネルギー主力電源化への道”, 白桃書房, (2020).

- [3] 資源エネルギー庁 HP, “再エネのコストを考える”,
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/saiene/saienecost.html>
- [4] 再エネ普及政策研究会, “固定価格買取制度導入の経緯・失敗の原点(その 1,2,3)”, 国際環境経済研究所(IEED), (2016).
- [5] 高橋洋, “エネルギー転換の国際政治経済学”, 日本評論社, (2021)
- [6] Baran, “On Distributed Communications”, United States Air Force Project Rand, (1964).
- [7] IRENA, “DEMAND-SIDE FLEXIBILITY FOR POWER SECTOR TRANSFORMATION”, (2019).
- [8] 植田和弘ほか, “地域分散型エネルギーシステム”, 日本評論社, (2016).
- [9] Fraunhofer ISE, “Levelized Cost Of Electricity Renewable Energy Technologies”, (2021).
- [10] ドイツ・エネルギー・水道事業連盟(BDEW), “2021 年 1 月 電力料金分析-家庭用および産業用”, (2021).