

エネルギー転換とドイツ

— プロジェクトSINTEGに見るドイツ産業とエネルギーの考え方

Umwerlin UG 取締役社長 西村 健佑



ドイツのエネルギーといえば再エネを思い浮かべる人が多いのではないだろうか。そして、太陽光や風力のようなお天気次第の再エネを中心とした電力システムでは安定供給は維持できないので、ドイツは大丈夫なのか？という疑問を持つ方も多いただろう。

ドイツは2022年末の脱原発を目指しており、まもなく発足する新政権は脱石炭も2030年を理想とするスケジュールを掲げる。果たして、ドイツは再エネだけでどのように産業を維持するつもりなのだろうか。

環境大国として名高いドイツが再エネを推進するというと、それは環境政策の範疇で捉えられ、産業競争力を毀損すると思われる人も多い。しかし、ドイツは再エネを中心としたエネルギーシステムを構築するというエネルギー転換を長らく産業政策として進めてきた。

日本では電力といえば、S+3E¹⁾が重要であるとよく言われる。ドイツは土地利用計画法制が機能しており、再エネの乱開発は少ないし、地震も少なく平地が多いために土砂崩れも少なく、再エネは事故を起こしても放射線による汚染等はないため、安全 (Safety) と環境 (Environment) は他の電源よりも優位にあるといえる。

他方で、産業国であるドイツでは経済性 (Economic Efficiency) と安定供給 (Energy Security) を高い水準で維持することが求められる。そのためには、長期的には価格が上昇する可能性が高く、地政学的に安定供給も脅かされやすい化石燃料から早期に脱却し、経済性の高いエネルギー源を確保する必要がある。それが再エネである。再エネの中でも太陽光と風力は無料の資源であり、発電設備は工場で大量生産できることから、規模の経済が働けば資本投資額が下がり、安価なエネルギー源となることはわかっていた。そこで、ドイツは2000年に固定価格買取制度を導入し、投資の回収予見性を高めることで大量導入とコスト低減を促したのである。結果的に、世界の多くの国と地域で太陽光や風力は化石燃料よりも安価に発電できるようになった。

しかし、再エネの特性である変動性は再エネと太陽光だけを促進しても解決できない。そこで、ドイツは2015年に電力市場改革ビジョン「電力市場2.0」を策定し、安定供給に必要な再エネの変動を吸収する柔軟性への投資を呼び込む手段として、電力卸市場を最大限活用する方針を定めた。鍵となるのは、デジタル技術によるきめ細やかな需給調整とそれを可能にする市場の透明性である。しかし、kWhの価格を長期に固定する契約が主流のドイツの伝統的な電力契約では、特にデマンドレスポンス (電気の需要 (消費) と供給 (発電) のバランスをとるために、需要家 (消費者) 側の電力を制御すること) への投資が期待されるほどには進まなかった。また、柔軟性として特に期待されたガス火力発電も低い石炭価格や排出権価格の影響で進まず、建設計画の取り消しも相次いだ。このままでは再エネと柔軟性への投資が進まず、脱原発、脱石炭によって経済性と安定供給が脅かされると感じたドイツ政府は、再エネと柔軟性による新しいビジネスモデルの実証の場を提供するため、「SINTEG」というプロジェクトを実施した。

SINTEGとは？

SINTEGは「スマートエネルギーショウケースーエネルギー転換のためのデジタルアジェンダ」のドイツ語からとられた名前で、2016～2020年にかけてドイツ全土で実施された。すでに述べたように、SINTEGの主眼は技術開発ではなく、既存技術を活用する市場制度、ビジネスモデルの検証であり、柔軟性や系統への投資の最適化に向けた制度のあり方を示し、将来の法制改革につなげることである。特に課題となるのは系統（送電網・配電網）への投資である。再エネを活かす柔軟性と言うと、蓄電池を思い浮かべる人も多いが、再エネの活用にまず欠かせないのは系統への投資である。ところが系統は消費者にとっては直接的なメリットが見えづらい設備であり、特に北の風力で発電した電力を南の電力需要地へ送る送電系統の増強は地元の反対などで遅延してきた。

SINTEGは配電網のデジタル化によって、難航する送電系統増強の問題を緩和したいという狙いがある。ドイツでは、配電系統運営を担うのは主に自治体が出資する都市公社（Stadtwerke）と呼ばれる公有会社である。都市公社には自治体と大手電力会社の共同出資のものも多い。多くの配電系統は自治体か広域自治体レベルで都市公社によって運営されている。この都市公社の強みは地元密着型でエネルギーの生産から小売まで垂直統合構造であるという点だ。SINTEGでは再エネを活用するための配電系統などの設備投資へのアクセプタンスを高めるため、このような地元密着型企業や研究機関の存在を前面に押し出している。これも、ドイツでこれまで行われてきたエネルギー関連の実証と異なる点である。

SINTEGは、再エネを中心としたエネルギー供給と電力に熱と交通も含めたエネルギー需要をデジタル技術によって制御し、経済性と安定供給を高めることが目的である。ドイツという一国、さらに小さな地域単位でできる限りエネルギー自律を促すビジネスモデルとして、ローカルフレキシビリティ市場のようなこれまでになかった市場制度が検証されている。

これまで、再エネの変動に対応する電源やデマンドレスポンス(DR)の確保は送電系統運営者が国単位で行ってきた。ローカルフレキシビリティ市場ではこれを配電事業者が地域密着型で行う点でこれまでとは異なる。そのため、ローカルフレキシビリティ市場で必要とされる設備や技術もより小規模で分散型のものとなる。そして柔軟性やデジタル技術、スマートメーターなどの系統側設備は技術的にはすでに出揃っている。これまで全国規模で発展してきたバーチャル発電所(VPP)やVPP事業者のローカル版を促進することで、クリーンで支払い可能な(Affordable)なエネルギー供給システム像を示すとともに、大規模導入によって必要な投資コストを引き下げるきっかけを作ることがSINTEGの目的である。

ローカルフレキシビリティ市場とは

ドイツで近年急速に発展したデジタル技術にVPPがある。VPPとは小規模電源をネットワーク化し、あたかも1つの発電所のように制御して電力を供給する仕組みで、Next Kraftwerkeのような企業が生まれている。アグリゲーターとも呼ばれ、再エネの変動を吸収する上で欠かせない存在となっている。特に、周波数を維持するために使われる調整電源を取引する調整電源市場では、従来の大規模電源よりも正確に制御できるとしてVPPがより重視されるようになってきている。

調整電源はこれまで全国大の市場で調達されてきたが、ローカルフレキシビリティ市場はこれを配電エリアのレベルで行うものである。配電エリアでは大規模電源は接続できないため、小規模な電源が需給調整を担うことになるが、これまではデジタル化の遅れもあってこれらの小型設備を遠隔で制御することができなかった（大規模設備は作業員が常駐しているので問題ない）。また配電エリアごとの再エネの発電量や電力需要を基に需給状況を把握し、秒単位で変動する需給をバラ

スするにはスマートメーターが欠かせないが、スマートメーター普及が法律に規定されたのは最近のことである。

SINTEGで実証されたローカルフレキシビリティ市場では、まず前日の天候データなどに基づいて再エネの発電量を予測する。電力需要は過去のトレンドと予想気温などから予測する。そして需給にずれが生じる場合はまず配電エリア内で柔軟性を調達する。発電量が需要を上回るなら蓄電池や電熱器などを稼働させエネルギーを蓄える。需要が発電量を上回るなら蓄電池の電力を供給したり、ヒートポンプなどの電力需要を抑制する。このようにして配電エリアで需給ギャップを吸収する一方で、隣の配電エリアで電力が不足気味であれば、エリア間での融通も行う。

これらはすでに存在する技術の組み合わせだが、これらが円滑に取引できるようになるにはどのような法律の改正が必要か、またはいくらのコストや報酬ならローカルフレキシビリティ市場の参加者を十分に確保できるかといった知見が蓄積されていなかった。SINTEGの実証はこうした取引を実際に試行したものである。今のところ、価格インセンティブの強さなどの結果は詳細には報告されていない。これは参加した企業にとっては実際の取引額などが公開されると困るからだが、研究者は実証の結果には概ね満足しているようだ。

市民の認知度向上とアクセプタンス

ドイツでは今後再エネ設備とともに余剰電力を熱や交通分野で使うセクターカップリングやDRのような需要家側の投資、配電網のデジタル化に向けた投資が必要になる。1つの試算ではその金額は今世紀半ばまでに5500億ユーロ（72兆円）と見積もられている²⁾。年間に直すと15億ユーロ（1990億円）でGDPの0.5%になる。ただし、近年はドイツの脱炭素を加速化することが議論されるようになっており、その場合は必要な投資額は今後10年間毎年300億ユーロ（4兆円）とも言われている。これだけの投資を行うには、国民の高いアクセプタンスが必要である。特に配電システムの投資は送電システム増強の失敗の経験から言っても特に慎重に取り扱う必要がある。

そのためには、エネルギー転換の本質はドイツのS+3Eを維持することであると認知して貰う必要がある。SINTEGではLinkedinやツイッターなどのSNSを用いるだけでなく、SINTEGの特設サイト³⁾でも参加した研究者のインタビューが意図的に多く掲載されている。ドイツの研究者向けSNSであるResearchgateでも研究結果の論文やポスターがアップロードされており、これまでとは違うアプローチが取られている。

例えば、SINTEGのサブプロジェクトの1つ、Windnodeでは実証やエネルギー転換の意義をわかりやすく一般向けにまとめた書籍を無料でダウンロード⁴⁾できるようにしている。この本のデザインはサステナビリティ広告などを専門に手掛けるデザインスタジオが手掛けており、誰でも読みやすいデザインになっている。こうした複雑な実証の結果をわかりやすく伝えるアプローチは従来のエネルギーに関する実証では見られなかったことである。それだけエネルギー転換のアクセプタンス向上を重視していることが見て取れる。

なぜエネルギー転換は重要なのか

SINTEGはデジタル技術を駆使すればエネルギー利用の最適化が可能であり、化石燃料や原子力からの脱却が可能であることを示した。それではエネルギー転換は社会とどうつながってゆくのだろうか。そこで、特に関連の強い2つのキーワードとしてインダストリー4.0とサーキュラー・エコノミーを挙げてみてみよう。

あらゆる機器がネットワークに接続される「モノのインターネット(IoT)」時代には百万単位や

それ以上の桁の数の機器をリアルタイムに把握、制御できるようになる。2011年にドイツが示した「インダストリー4.0」はこのような時代の製造業のビジョンである。サイバーとフィジカルを融合し、デジタル製造業による革新を意図したこのビジョンは日本のソサイエティ5.0よりも強く製造業、市場を意識したものである。製造プロセスに大胆にデジタル技術を導入して効率化と自動化を一層推し進めるとともに、人間は創造性を活かす作業に集中できるような労働環境を作ることが目的である。ドイツの製造業が安価で大量生産に長けた新興国に対抗するために掲げるのは「マス・カスタマイゼーション」そして「資材と受注の両面から見た効率化」である。

それから10年後の2021年、インダストリー4.0ビジョンをまとめたドイツ工学アカデミーが今度は「サーキュラー・エコノミー」イニシアチブを主催してドイツのサーキュラー・エコノミービジョンを策定している。こちらでも設計、製造、流通、販売、利用、廃棄までのプロセスの環境負荷を徹底して低減させることが基本的な思想だが、近年はリジェネラティブ（再創造可能）⁵⁾という新しい考え方も出てきている。循環するだけでなく、その過程で環境を改善するといった意味で、日本では農業や観光分野で比較的使われているようである。ライフサイクルを通じた環境負荷をできる限りゼロに近づけるといふ点では製品・サービスのライフサイクルの効率化と捉えることも可能だろう。

これらのインダストリー4.0、サーキュラー・エコノミーとエネルギー転換はドイツでは強い経済基盤を作る未来の産業の基礎的な考え方としてデジタル技術を通して有機的に結びついていく。

例えば再エネ電力が増えてくると、電力余剰が増え、市場価格はゼロないしネガティブ価格になる。つまり、電気を無料で使えるか、電気を使って報酬を受け取ることができる。エネルギー集約型の企業では、エネルギーコスト削減が重要課題だが、エネルギーが余っている時に生産するように製造工程を最適化すれば、エネルギーコストを大幅に削減できる。そのためには製造工程や受注状況と天候などのデータを結合して生産計画を柔軟に変更することが求められる。水素を使う鉄鋼業や化学産業では、電力の余剰時に水電解で水素を作るといふ方法もある。現在は再エネ由来の水素はコストが高いが、水電解装置が普及してコストが下がれば化石燃料由来の水素に対しても十分に競争力のある水素を自前で作ることができるようになると見られている。

またサーキュラー・エコノミーでも環境負荷低減に向けて再エネの利用が重視される。ソーラーシェアリングでは、育てる作物の種類にもよるが、収穫量を落とさないように作物を育てながら、農業で必要なエネルギーの一部を化石燃料なしで賄うことができる。木質バイオマスでも熱分解と呼ばれる技術では木が大気から固定した炭素をCO₂として大気に放出することなく固形の炭素として取り出すことができ、この炭素を肥料として用いることでさらに化石資源の削減につながる。これらの組み合わせによる炭素収支でマイナス（つまりCO₂が減る）のエネルギー供給も可能である。固定価格買取制度のような支援の仕組みは電力消費に占める再エネ比率が40%を超えたドイツではいたずらに市場を歪めることにもなり、推奨されない。このような設備の普及を促すには、SINTEGで実証したようなローカルフレキシビリティ市場などを使って、適切な価格付けを行うことで投資インセンティブを働かせることが必要だ。

このようにエネルギー転換が実現すれば再エネ由来のエネルギーを化石燃料よりも安価に安定して使うことができるようになる。安いエネルギーを潤沢に使えることは安定した産業の基盤となる。またCO₂排出量が少ないことが新たなビジネスのきっかけにもなる。

ドイツが再エネを中心としたエネルギーシステムの構築を目指すのは、経済活動よりも環境問題や気候対策に熱心だからなのではなく、気候対策を次の産業への投資とするためだからである。

- 1) 安全性(Safety)を大前提とし、自給率(Energy Security)、経済効率性(Economic Efficiency)、環境適合(Environment)を同時達成するべく取組を進めるという日本のエネルギー政策の基本方針。
- 2) [Was bringt, was kostet die Energiewende \(bundesregierung.de\)](https://www.bundesregierung.de)
- 3) <https://www.sinteg.de/>
- 4) [Strom, Netz, Fluss \(stromnetzfluss.de\)](https://www.stromnetzfluss.de)
- 5) 個人的にはこれを再生可能と訳したいが、日本語では Renewable を再生可能という訳語が定着しているので再創造可能とした。再生型と訳す場合もある。

筆者のプロフィール

西村 健佑 (にしむら けんすけ)

欧州のエネルギー市場・政策に関する環境コンサルタント UmwerlinUG 取締役社長。立命館大学経済学部卒業後 2005 年に渡独し、ベルリン自由大学環境政策研究所環境学修士。同研究所博士課程在籍中よりベルリンの調査会社で勤務し、現在は独立して欧州のエネルギー・産業政策の調査、通訳、翻訳を手がける。

著書に『海外キャリアのつくり方 ～ ドイツ・エネルギーから社会を変える仕事とは? ～ 』（いしずえ）など。