解説

再生可能エネルギー検証：ドイツの行き詰まりが示唆するもの

コンサルタント 小野 章昌

エネルギー・ミックスの本格的な検討が求められている我が国にとって、将来を託せるエネルギー源の見通しを得ることは何にもまして重要と言えよう。再生可能エネルギーについては導入先進国である EU 諸国、とりわけドイツの実情を知ることが一番の近道である。

I. ドイツの実情は？

ドイツ政府が 2000 年から本格的に導入した固定価格買取制度 (FIT) が再生可能エネルギー (再エネ) の拡大に最も寄与したことは衆目の認めるところである。しかしその結果を総合的に検証する作業はドイツ本国でも進んでいない。再エネ電力の中核を構成する太陽光・風力発電はどのくらい貢献し、どのような問題を生じているのであろうか？ ドイツ政府や IEA が発表している資料を中心に検証を進めたい。

1. 再エネ電力の貢献度

(1) 設備量 (kW) と発電量 (kWh)

第 1 表は 2013 年のドイツの主な再エネ電源による発電量と設備量 (発電容量) を示すものである。ドイツの再エネ全体では国内発電量の 25.4% を発電するようになった。そのうち、風力は 8.9%、太陽光は 5.0%、合わせて 13.9% の貢献をしている。一方、設備量は風力・太陽光合わせて 37.7% と全体の 4 割に近い数字を占めている。年間平均稼働率が風力は 17.6%、太陽光は 9.5% と非常に低いために設備量の割には発電量への貢献が低いことがこの表から分かる。

第 1 表 ドイツの再エネ電力 (2013 年実績値)

	風力	太陽光	バイオ
発電量	534 億 kWh	300 億 kWh	479 億 kWh
同割合	8.9%	5.0%	8.0%
発電容量	3,466 万 kW	3,595 万 kW	809 万 kW
同割合	18.5%	19.2%	4.3%
年間稼働率	17.5%	9.5%	67.6%

Comprehensive Review of Renewable Energies : What can we learn from the German standstill ? : Akimasa ONO.

(2014 年 8 月 15 日 受理)

(2) 変動電源の欠陥

風力・太陽光はいずれも季節・昼夜・時間によって変動する電源であり、安定した出力を期待することができない。国際エネルギー機関 (IEA) では、このような変動電源の出力 (kW) のうち依存できる割合を「キャパシティー・クレジット (安定電源割合)」と名付け、「変動電源の出力のうちピーク需要時に期待できる出力の割合」と定義している。第 1 図の棒グラフで色の濃い部分がこの割合を示している。将来、世界各地域で変動電源が増えても、安定電源として期待できる割合は、EU の風力の場合でその 5～10%、太陽光で 0～5% と評価している (「IEA エネルギー見通し 2013」)。このことはピーク需要に相当する既存電源が依然として必要となることを意味している。ドイツでも先に見たように風力・太陽光の設備量 (kW) が 7,100 万 kW とピーク需要に近い容量になったにもかかわらず、既存の電源を廃止することはできていない。このように風力・太陽光は出力 (kW) の面では貢献できないので、必ず別電源が必要なることを理解する必要がある。既存電源の設備量に太陽光・風力の設備が加わるので、結果として 1 億 8,800 万 kW という過大設備をドイツにもたらしめている。これはピーク需要 8,000 万 kW の 2.35 倍に相当している。

(3) 既存電源の稼働率低下

風力・太陽光は安定的ではないけれども発電量 (kWh) の面で貢献することは事実である。しかし同時に、バックアップ役を務める他の既存電源にその kWh 相当分の影響が出ることも避けられない。具体的には既存電源、とりわけ変動のしわ取り役を務めるガス火力、一般炭火力の発電量が下がり、稼働率が大幅に低下することになる。ドイツの 2013 年の実績値を見ると、ガス火力の稼働率は 18.8%、一般炭火力の稼働率は 49.1% (フラウンホファー研究所速報値より計算) と極めて低くなっている。通常であれば、ガス火力は 50～60%、一般炭火力は 70～90% の稼働率を必要とするだけに、こ

第1図 変動電源の安定電源割合

Strompreis am Terminmarkt und Wirtschaftlichkeitsgrenzen verschiedener Kraftwerkstypen

出典: Die Welt

第2図 ドイツ電力卸売市場価格の下落

れでは発電所の採算が取れないであろう。なおベースロード電源である原子力発電と褐炭火力はドイツでも90%前後の稼働率を保っている。

(4) 卸売市場価格の低下

ドイツのFIT制度の下では再エネ電力は送電事業者が優先接続、優先買取を行うことが義務付けられている。送電事業者は買い取った電力を卸売市場で販売することになる。風力・太陽光などの再エネ電力は燃料コストが掛からないため限界運転コストが低く、卸売市場で安値販売されることが多い。高いFIT買取価格と安い販売価格の差は、いわゆるサーチャージ(賦課金)として

第2表 卸売市場における再エネ電力平均販売価格

2010年	4.3セント/kWh
2011年	4.9セント/kWh
2012年	4.2セント/kWh
2013年	3.6セント/kWh

一般消費者に請求される仕組みとなっている。第2表は政府が発表している再エネ電力の卸売市場における平均販売価格である。ユーロの為替換算率を140円とすれば、2013年の平均販売価格3.6セントは5円に相当する。裏返せば、変動電源はこの程度の低価格でなければ市場で買手が付かないという見方もできよう。

ここでもう一つの問題が生じる。それは安値販売の再エネ電力が市場価格の足を引っ張り、再エネ電力が増えるにつれて卸売市場価格がますます下落することである。第2図はその実態を表すもので、ドイツでは卸売市場価格が褐炭火力や原子力などのベース電源の発電コストをも下回る現象が生じている。このような市場価格の下落が続くと発電事業そのものが採算割れとなり、事業の存続が危ぶまれることが考えられる。現に発電大手のRWE社の2013年決算では28億ユーロ(約4,000億円)という創業以来初めての大赤字となっている。

出典:ドイツ経済エネルギー省データ集

第3図 ドイツの再生可能エネルギー賦課金

(5) 消費者負担の増大

FIT 賦課金は消費者の肩に重く押し掛かっている。第3図はその変遷を示すもので、今年2014年の賦課金は6.24 セント/kWh (8.74 円/kWh) にまで増大している。月間300kWhを使用する標準家庭の年間負担額は225ユーロ (31,500 円) となり、ドイツ政府は今年8月1日から固定価格買取制度 (FIT) の実質的な終了を意味する再生可能エネルギー法の大改正を余儀なくされている。

この再生可能エネルギー賦課金の増大を反映して、ドイツの電力料金は家庭用、産業用ともに、FIT 導入時の2000年に比べておよそ2倍に上昇している。そしてEUで(世界でも)1, 2位を争う高い料金となっている。この電力料金上昇、国民負担増大こそがドイツで、そしてスペインでFIT制度の終焉を招く最大の要因となっている。次にドイツの再生可能エネルギー法の大改正の中味を見てみよう。

2. ドイツ再生可能エネルギー法改正

(1) 主な改正内容

(a) 仕組みの変更

法改正は2014年8月1日付で行われた。基本的には仕組みがフィード・イン・タリフ (FIT: 固定価格買取制度) からフィード・イン・プレミアム (FIP: プレミアム付き買取制度) へと変更される。これまでは再生可能エネルギー事業者が生産する電力は送電事業者が固定価格で優先的に購入する義務を負い、卸売市場で販売し、固定価格と販売価格の差額は、いわゆる賦課金として消費者に請求していた。改正後は新規のプラントで発電される電力は再生可能エネルギー事業者が卸売市場で直接販売する義務を負い、固定価格と販売価格の差額をプレミアム料金として送配電事業者経由で消費者に請求する仕組みとなる (100kW以下の小規模プラントは例外的にFIT販売が継続して認め

られる)。なお再生可能電力の電力系統への優先接続は引き続き認められる。

(b) プレミアム料金入札制度への移行

2018年からは、プレミアム料金の決定は(固定価格と市場販売価格の差額ではなく)入札により決定する。そのために太陽光発電プラント40万kW分を対象に入札の試験プロジェクトを2015年から行う。

(c) 年間導入目標数値と固定価格

改正後の国の再生可能エネルギー導入目標数値は2025年までに全発電量の40～50%、2035年までに55～60%、2050年までに80%とされており以前とほとんど変わっていない。各電源の年間導入目標量は、陸上風力が250万kW、太陽光が250万kW、バイオマスが10万kWとされており、洋上風力は年間目標ではなく、累計で2020年までに650万kW、2030年までに1,500万kWとされている(年間平均では80万kW)。

改正後の8月1日から適用される主要電源の固定価格は第3表の通り。これはFIT固定価格を延長した形で決められている。この価格は太陽光の場合は毎月0.5%、陸上風力の場合は四半期毎に0.4%の低減が行われ、早期建設が有利になる仕組みとなっている。また年間目標数値にプラスマイナス10万kW幅のコリダー(容量帯)

第3表 固定価格

電源	容量(kW)	価格(セント/kWh)
陸上風力	区分なし	8.90
洋上風力	区分なし	19.40
太陽光	10kW以下	13.15
	1,000kWまで	11.49
	1万kWまで	9.23
バイオ	150kWまで	13.66
	2万kWまで	5.85

を設けて、建設ペースがその容量帯を上回ると価格低減率をさらに増加させ、逆に容量帯を下回ると低減率を縮小させる。大きく下回った場合には、低減ではなく修正率がプラスに転じる場合もある。しかしこのような固定価格も 2018 年以降にプレミアム料金入札制に移行したら、実際の販売価格は市場での販売価格に落札プレミアム料金を加えたものになるので、固定価格とは無関係となり、参照する意味がなくなるものと言えよう。あるいは、場合によっては上限価格に読み替える可能性があるのかも知れない。

(d) 電力多消費企業に対する賦課金減免の改正

FIT 制度の下では、国内の電力多消費企業が外国企業との競争に遅れを取らぬよう、賦課金を免除していた。EU 委員会がこれは不当な政府補助に当たるのではないかとの疑問を呈したため、ドイツ政府は EU と交渉の上、今回の再エネ法改正の機会に多消費企業にも薄く賦課金を掛けることを決めた。具体的には消費電力 1,000kWh に対しては賦課金全額を、それを越える消費電力に対しては賦課金の 15% 相当額を負担させることになった。ただし企業の製品付加価値の 4% を限度とするなどの上限規定が設けられている。この改正によって分担割合が若干変わるが、国全体で見た賦課金総額は変わらず、一般消費者の負担もほんの少し軽くなるだけである。

(2) 今後の見通し

(a) 導入目標は達成されるか？

ドイツ政府は今回の法改正によって年間導入目標値をそのまま実現できると考えているようであるが、この目標値自体が 2025 年や 2035 年の過大な再エネ導入目標から逆算して作られているだけに、その実現性が疑われる。太陽光プロジェクトを例に取って見ても、今年前半の新設量は月間平均 15 万 kW と過去のペースを大きく下回っている。これはメガソーラーからの FIT 買取価格がすでに 12.5 円/kWh と採算レベルすれすれまでに落ち込んでいることが最大の理由であろう。フィード・イン・プレミアム (FIP) 制度になれば自ら卸売市場で売り込む努力を求められ、その販売コストも掛かることから、設置ペースはさらに落ち込むことが予想される。

勘ぐって考えれば、政府は再エネをこれ以上増やしたいのではなく、何とかして賦課金の上昇を防ぎ、国民の不満を和らげたいのが本音のようにうかがわれる。

(b) それでも増えていく国民負担

FIT がプレミアム料金制 (FIP) に移行しても、新規の再エネが固定価格相当で買い上げられることには変わりはないので、プレミアム料金はそのまま賦課金に変身し、消費者が負担する賦課金はこれからも増え続けるであろう。プレミアム料金が入札で決まるようになれば、プレミアムの額が縮小するケースもあろうが、入札時の状況次第では逆にプレミアム額が大きくなるケースも考

えられよう。

過去に建設された設備に支払う固定価格は今後も 20 年近く継続して支払われるので、国民負担は膨大なものとなる。2014 年の賦課金総額は 236 億ユーロ (3 兆 3,000 億円) であったが、単純にこれを今後 20 年間支払い続けるとすれば、2034 年までの国民負担総額は 66 兆円という巨大な金額となる。新制度の下で建設される設備へ支払われるプレミアム料金がさらに加算されるわけであるので、昨年 2 月に当時のエネルギー環境大臣が「ドイツのエネルギー変革をこのまま進めると、2040 年までに 1 兆ユーロ (140 兆円) のコストが掛かる」と言ったのもオーバーな表現ではないように思われる。

(c) 電力システムの強化は遅れている

ドイツの風力発電は北部に適地が多く、一方、電力を消費する産業は南部に多いため、北部から南部に通じる新たな送電幹線を建設することが焦眉の問題となっている。しかし総延長 1,877km の計画のうち、これまでにわずか 352km (19%) しか完成していない。これではいくら洋上や陸上の風力発電を増やしても送電がままならず、運転できないことになる。自分の裏庭には送電線を通してほしくないという住民の反対運動が最大の障害となっている。

また太陽光発電は低電圧の配電網に直接つながれることが多いが、既存の配電網の収容能力を越えることが増えたためその強化や拡充が求められている。DENA (ドイツエネルギー機関) の試算によると、2030 年までの配電網の強化に少なくとも 275 億ユーロ (3 兆 8,500 億円) の資金が必要という。このように電力輸送の面から変動電源の更なる拡大にはブレーキが掛かっている。

(d) 停電の心配

電力会社は老朽化した設備や採算の取れなくなった設備の退役や廃止を希望するが、太陽光・風力発電のバックアップ役を務めている既存の発電設備がなくなると電力システムが不安定になり、停電のリスクが増すことになる。

政府は退役を予定する施設については 1 年前に報告を求め、系統安定に欠かせない施設については運転継続を求めるとともに補償を行う制度を新たに設けている。しかし電力会社の計画を見ると、大型原子力発電所 2 基を含む 734 万 kW の電源退役が予定されているドイツ南部の状況が非常にクリティカルである。連邦系統機関 (BNetzA) が予測しているところでは、新規建設がほとんど見られず、2018 年末にはドイツ南部で 572 万 kW の電源が不足する見通しという。大変なピンチと言えよう。

(e) 容量 (kW) 市場が必要だが？

自由化された電力市場で将来の電源建設を促すには容量市場の創設が必要と考えられており、ドイツ政府も具体化の検討を急いでいる。小売業者に将来の供給容量を

確保させるために、容量市場を設け、数年先の容量を確保させる制度である。発電量 (kWh) を取り引きするのではなく、発電容量 (kW) を取り引きするもので、発電をしていない将来の設備に対してそれなりの費用を支払うわけである。最終的にはそのコストを消費者が負担することになるので、ドイツの消費者団体はさらなる料金上昇を生じるとして容量市場の創設には反対している。容量市場の先例は米国ペンシルバニア州を中心とする電力系統 (PJM) に存在しているが、十分には機能しておらず、PJM でも将来の電源不足が懸念されているという。

3. 再生可能エネルギー検証

ドイツの十数年にわたる壮大な社会実験の結果を検証すれば、再生可能エネルギーの本質と将来のポテンシャルを判断する格好の材料が得られるであろう。

(1) 再エネの主力は風力と太陽光

ドイツで大幅に伸びた再エネは、一に太陽光、二に風力、三にバイオマスであった。今後バイオマスの伸長はあまり望めないのが、将来ともに太陽光、風力が主力と考えられる。

(2) 稼働率が低い

太陽光の年間稼働率 9.5%、風力の稼働率 17.5% という実績値は電源として余りに低すぎる。多額の資金を投じて建設しても得られる電力は少ないという意味で投資効率の悪さを認識する必要がある。

(3) 出力 (kW) の面で貢献できない

太陽光・風力などの変動電源は発電量 (kWh) では貢献できるが、出力 (kW) の面でほとんど貢献できない (必要な時にあるとは限らない電源)。ピーク需要に相当する別電源を必要とし、発電設備の二重投資が避けられない。

(4) 過剰設備をもたらす

バックアップ用の既存電源を将来とも保持する必要があるが、再エネ電源を増やせば増やすほど過剰設備をもたらす結果になる。どのような商品であれ、過剰生産設備を持つ業界はそのままでは成り立たない。

(5) 既存電源の稼働率低下

再エネが発電した kWh 分だけ、既存電源の kWh が減り、稼働率が下がる。したがって採算が悪化する。これは再エネ優先買取制度が原因。

(6) 卸売市場価格の下落

太陽光・風力は燃料費が不要なため限界運転コストが低く、市場に安値導入される。卸売市場価格が下がり続けると既存電源の採算が悪化し、電力会社の存続が危うくなる。これは賦課金によって支えられた電力が自由市場で安値取り引きされるのが原因。

(7) 消費者負担の増大

FIT では再エネ固定価格と市場での販売価格との差

を賦課金として消費者から回収するため、国民負担が増す。FIT (プレミアム制) に移行してもプレミアム料金が賦課金になるので消費者負担は増え続ける。20 年という長期の再エネ買取保証期間も累積負担が増大を続ける原因。

(8) 電力系統強化の必要性

変動電源を収容するために送配電網の強化が必要となり、多額の資金投資を必要とする (二重の電源投資と合わせて三重投資)。一方、住民の反対により送電線の新設が進んでいない。

(9) 停電の心配

既存電源の採算が悪化するため電力会社による発電所新設が滞り、供給力不足が懸念される。将来容量市場が切り札になるかは未知数。

(10) 自由市場と FIT, FIP は相容れない

上記のいろいろな矛盾が噴出しているのも FIT (そして今後は FIP) の存在が自由市場と矛盾しているからである。もともと自由市場だけに任せておけば過剰設備も生じず、過度な消費者負担も生じていないであろう。

(11) 温暖化対策には効いていない

政策目標であった CO₂ 削減にはあまり効果を上げていない。ドイツでは 2012 年、2013 年と連続して CO₂ 排出量が増加している。8 基の原子力発電を廃止したのが一番の原因と考えられるが、再エネを 8,500 万 kW に拡大したにもかかわらず、その効果が薄いことも同時に示している。

II. 日本への示唆

ドイツの社会実験はその規模から考えて我が国に十分過ぎる情報を与えている。主な内容を整理してみよう。

(1) 再エネ拡大の目的を明確に！

ドイツの再エネ拡大政策は地球温暖化対策が第一で、次いで持続性のあるエネルギー供給であった。しかし CO₂ 削減はさして進まず、国民負担がかさんで行き詰まっている。このように再エネが持続性のあるものとも言えない。我が国でも再エネというエネルギーの本質を十分に理解した上で、何のために拡大するのか政策目的を明確にする必要がある。ドイツの物まねでは失敗が目に見えている。

(2) 過剰設備を許容できるか？

再エネの主力である太陽光・風力は出力 (kW) の面で寄与できない。したがって必ず別電源を必要とし、既存電源の上に屋上屋を重ねることになる。結果として業界が過剰設備を抱えることは避けられない。我が国の電力業界が過剰設備に耐えられるか、そしてエネルギー供給保証は確保されるのか、十分吟味する必要がある。

(3) FIT を止められるか？

FIT の下では消費者負担が増大して行き詰まることをドイツの例で経験した。プレミアム料金制、プレミア

ム入札制などの工夫を凝らしても、国民負担が増すことは避けられない。もともと市場経済とFIT(強制的買取)は相容れないものであり、我が国の電力自由化政策とも完全に矛盾するものである。したがって早急にFITを廃止する必要があるが、そうすると再エネは伸長しない。このジレンマに打ち勝つ政治的方策があるだろうか？ ドイツでも解決策は見つかっていない。

(4) 第3次エネルギー基本計画を上回る再エネ発電は可能か？

現政権は将来の再エネ導入目標として第3次基本計画を上回るレベルを打ち出している。第3次計画では、2030年の再エネ・シェアは約2割、2,140億kWhの発電が期待されていた。発電量の内訳は示されていないが、水力等の再エネ既存電源を差し引くと太陽光・風力で1,240億kWhの発電を新たに担う必要がある。これを太陽光：風力＝2：1の割合で賄うとすると、必要な発電容量は太陽光が7,800万kW、風力が2,400万kWと計算される。この1億200万kWという数字は現在のドイツの太陽光・風力発電容量7,100万kWを大きく上回る数値である。ドイツが膨大なコストを掛けて行った社会実験を我が国でも繰り返す必要があるのかどうか、が先ず問われる問題であろう。また達成の一番の障害と

なるのは電力系統の収容能力であり、最終的な消費者負担の大きさである。政府は将来の投資コストと国民負担を明確にして、それでもやる価値があるか、国民に賛否を問う必要があるだろう。

(5) エネルギー・セキュリティ確保と温暖化対策は実現できるか？

仮に1,240億kWhを発電する太陽光・風力を新設できたとしても、それは全発電量の12%程度を生むに過ぎない。大局的に見て火力発電依存の状況は変わらず、エネルギー・セキュリティは脆弱なままであろう。CO₂削減も6,000万トン程度と1990年基準の5.7%程度の削減に留まるであろう。これまでの国際公約には程遠い削減率である。投資コストが30兆円程度は掛かることを考えると、費用対効果は非常に低い。それでも目指すのだろうか？

著者紹介

小野章昌（おの・あきまさ）

コンサルタント

（専門分野/関心分野）エネルギー資源全般
/特に化石燃料、再生可能エネルギー

新刊紹介 粒子個別要素法

Catherine O'Sullivan 原著，鈴木輝一訳，365p.(2014.5)，森北出版(株)。

(定価 9500 円 + 税)，ISBN978-4-627-91581-7

個別要素法は不連続体の数値計算手法であり、近年の計算機の進歩により適用範囲が飛躍的に拡大した。岩盤、地盤、粉体、コンクリート構造物、斜面崩壊、土石流、火山噴火など、様々な分野において大変形問題や破壊現象の解析に用いられている。パソコンの普及と性能向上により、大学や会社のデスク上でも、市販の解析プログラム等を使って簡単に解析を行えるようになってきている。しかしながら、実際に行われている計算の内容や計算理論などについては、これまで教科書やハンドブックとして使える書物が非常に少なかったこともあり、全体を把握するのは容易でないと言える。例えば、個別要素法について学び、解析技術を習得しようとするためには、先人たちの文献等を収集するところから始めなければならない、多くの時間を費やさなければならなかった。

本書は、地盤工学等の分野で盛んに用いられている粒状体の個別要素法について、基本仮定と解析理論を詳細に記載

し、近年の研究成果や適用事例を盛り込んで、最近の解析技術を1冊にまとめている。

主な内容を挙げると、基礎理論としては、接触判定、接触力の計算、粒子形状、境界条件など粒状体の解析に必要な基本的事項が網羅されているほか、流体との連成解析などについても記載されている。解析モデルの作成については、粒子のランダム生成と充填方法など、主に供試体作成で用いられている様々な方法が紹介されている。解析結果の解釈については、連続体の視点による応力とひずみの評価法や、粒状体の配置や内部構造を統計的に分析するための手法(ファブリック解析など)についてそれぞれ章が設けられている。

これらの事項は、粒状体の個別要素法について知り、今後さらに発展させていこうとする技術者や研究者にとって重要な足掛かりとなるほか、個別要素法に関心を持つ者のテキストやハンドブックとしての活用が期待される。

(電力中央研究所・栃木 均)