
研究レポート

ドイツのエネルギー転換 10のQ&A

－日本への教訓



自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

Agora
Energiewende



ドイツのエネルギー転換

10のQ&A

研究レポート

ドイツのエネルギー転換 10のQ&A

ー日本への教訓

執筆担当者

ディミトリ・ペシア | Dimitri Pescia (アゴラ・エナギーヴェンデ/欧州エネルギー協カシニア・アソシエイト)

一柳 絵美 (公益財団法人 自然エネルギー財団/研究員)

アゴラ・エナギーヴェンデ

Agora Energiewende

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2

10178 Berlin | Germany

TEL: +49 (0)30 700 14 35-000

FAX: +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-energiewende.org

info@agora-energiewende.de

公益財団法人 自然エネルギー財団

〒105-0003 東京都港区西新橋1-13-1

DLXビルディング 8F

TEL: 03-6866-1020 (代表)

FAX: 03-6866-1021

www.renewable-ei.org

info@renewable-ei.org

レイアウト:

UKEX GRAPHIC, Germany

発行: 2017年3月

目次

はじめに	3
Q1: ドイツのエネルギー転換って、何ですか？	4
Q2: ドイツのエネルギー転換はうまくいっていますか？	6
Q3: ドイツは脱原発といいながら、近隣諸国から原発や石炭火力の電力を輸入しているのでは？	9
Q4: ドイツでは、自然エネルギー拡大によって家庭用電気料金が上昇してきたのでは？	12
Q5: ドイツでは石炭火力発電が増えて、CO ₂ 排出量の削減ができていないのでは？	15
Q6: ドイツのエネルギー転換が国内経済に与えた影響は？	18
Q7: ドイツでは、自然エネルギーの大量導入によって電力供給が不安定なのは？	21
Q8: ドイツの市民や経済界はエネルギー転換を支持しているのでしょうか？	25
Q9: ドイツの南北送電網拡張プロジェクトの進捗状況は？	27
Q10: ドイツはなぜ再生可能エネルギー法を見直し、入札制度を導入したのですか？	30
あとがき	33
補論	34
主な文献	35

はじめに

世界のエネルギーシステムが変革の時を迎えています。2015年12月のパリ協定の採択によって、世界の気候変動対策の基盤が根本的に変わりました。世界の平均気温上昇を2度を大きく下回るレベルに抑えるためには、エネルギーシステムを長期的に完全に脱炭素化することが不可欠です。このため、欧州連合は低炭素経済に移行し、エネルギー市場の完全統合を実現するという野心的な目標を掲げました。さらに、2016年5月の伊勢志摩サミットでは、G7諸国が自国の電力システムの完全な脱炭素化に向けて努力することを再確認しました。また、中国は世界最大の自然エネルギー市場となりました。

この変革のプロセスにおいて、ドイツは際立った役割を果たしており「エネルギー転換 (Energiewende)」と呼ばれる、全工業国の中でも特に野心的なエネルギー転換プログラムを採用しています。10年以上前から始まり、福島原発事故を受けて強化されたこの長期戦略のもと、ドイツは原子力と石炭を段階的に廃止し、自然エネルギーを推進することにより、電力部門を根本的に変革することを決定しています。

ドイツのエネルギー転換の根幹をなしているのは、風力と太陽光のエネルギーです。これらのエネルギーは世界中で豊富に利用することができ、その発電技術のコストダウンも急速に進んでいます。2016年には、チリ、モロッコからアラブ首長国連邦、デンマークまで、世界各国で自然エネルギーのプロジェクトが最低価格の記録を打ち立てました。そのため、現在ドイツや他の先導国で行われている自然エネルギー拡大の動きは、日本をはじめその他の国々にも大きく関連しています。特に、ドイツと日本を比較してみるのには有益なことです。というのは、両国は地理的には離れていますが、人口規模が同程度であり、経済が輸出中心で、工業力が強いという点で似ているからです。

世界的に見れば、このドイツの取り組み自体は特別なものではありません。ただ、ドイツのエネルギー転換のスピードと規模は、他に類を見ないため、欧州内外で幅広く注目を集め、議論の的となっています。しかし、最近の日本では、ドイツのエネルギー転換を失敗ととらえ、懐疑的に報道する傾向が強くなってきました。日本のエネルギー政策と気候変動対策は、福島原発事故をきっかけに大きく変化しました。自然エネルギーの拡大を促進する一連の施策が導入され、特に太陽光発電の普及が急速に進みました。しかし、日本は依然としていくつかの問題を抱えており、そのために気候変動目標の達成が危ぶまれ、自然エネルギーの拡大が滞っています。こうした背景を考慮すると、ドイツが自然エネルギーを導入してきた経験からは、良い点も悪い点も含めて多くの教訓を学べるはずで、だからこそ、エネルギー転換の進捗状況について、正確で公平な情報を示すことが極めて重要なのです。

本書では、ドイツのエネルギー転換に関して日本で頻繁に聞かれる10点の質問への回答を示しています。本書は、脱炭素化が不可欠であることが多くの研究で示されている電力部門を中心に、ドイツの経験について最新で正確な情報を示すことを目指しています。

それでは、ぜひ楽しくお読みください!

アゴラ・エナジーヴェンデ 所長

パトリック・グライヒェン
Patrick Graichen

Q1 ドイツのエネルギー転換って、何ですか？

A1

ドイツのエネルギー転換は、自然エネルギーを拡大し、エネルギー効率を改善する長期的なエネルギー・気候変動戦略です。これによって、電力システムを石炭や原子力中心から自然エネルギー中心へと根本的に改革する必要があります。エネルギー転換の起源は、数十年前にさかのぼり、それ以来、エネルギー転換の必要性について幅広い合意が得られています。

**ドイツのエネルギー転換：
長期的なエネルギー・気候変動戦略**

ドイツのエネルギー転換 (*Energiewende*) は、低炭素エネルギーシステム構築に向けた長期的な戦略で、自然エネルギー拡大とエネルギー効率改善がその土台となります。エネルギー転換は、経済のすべての部門にわたる統合的な政策です。主な政策目標は4つで、①CO₂

排出量削減による気候変動対策、②原子力発電の段階的廃止、③化石燃料の輸入削減によるエネルギー安全保障の改善、④科学技術の発展と産業育成、そして雇用拡大のための産業政策を通して、産業競争力や経済成長を保障することです。このような経済の転換は、新たなビジネスチャンスを生み出している一方で、解決すべき課題も提起しています。

ドイツのエネルギー転換の主な目標

表1

		現状	2020	2025	2030	2035	2040	2050
温室効果ガス排出量	温室効果ガス排出量削減 (1990年比)	-27% (2016)*	-40%		-55%		-70%	-80 – 95%
	原発の段階的廃止	2022年までにすべての原発を段階的に運転停止 11基を運転停止 (2015)	残りの8基を段階的に運転停止					
自然エネルギー	最終エネルギー消費量に占める割合	14.9% (2015)	18%		30%		45%	少なくとも60%
	総電力消費量に占める割合	32.3% (2016)*		40 – 45%		55 – 60%		少なくとも80%
エネルギー効率	一次エネルギー消費量の削減 (2008年比)	-7.6% (2015)*	-20%					-50%
	総電力消費量の削減 (2008年比)	-4% (2015)*	-10%					-25%

出典：AGEB (2016)、BReg (2010)、独自に算出

* 暫定値

エネルギー転換に関しては、電力・熱・交通の全エネルギー部門で、2050年までの野心的な中長期目標が定められています（表1参照）。目標達成のためには、電力システムを、石炭や原子力を中心としたものから自然エネルギーを中心としたものへと根本的に改革しなくてはなりません。そして、2050年までにドイツの電力消費量の少なくとも80%を、自然エネルギーで供給する必要があります。交通や冷暖房といった化石燃料の使用が多い部門で、長期的な脱炭素化の目標を達成するには、革新的で長期的な電化が求められています。このため、電力システムの転換は不可欠なのです。

エネルギー転換は数十年前に始まり、その目的と必要性について幅広い合意が形成されている

エネルギー転換の起源は、原子力発電に反対する世論、持続可能な発展をめざす動き、そして気候変動対策への支持の高まりにあります。ドイツの原子力計画は1950年代に当時の西ドイツで始まりましたが、当初から市民の強い反対がありました。1970年代の中盤から1980年代の中盤にかけては、原発建設予定地で激しい反対運動が繰り広げられました。当時、計画中だった原発や核燃料再処理施設の中には、実現に至らなかったものもあります。そして、1986年に起きたチェルノブイリ原発事故によって、ドイツに第一の転機が訪れました。この事故以来、ドイツで新規建設された原子炉はありません。2002年には、法律によって初めて2022年頃までの原発の段階的廃止が定められました。それから8年後の2010年、ドイツ政府は、論争を経て、原発の段階的廃止を2036年まで先送りする決定を下しました。ところが、2011年3月に福島第一原発事故が発生した直後、この決定は振り出しに戻りました。2011年6月、政党の垣根を越えた歴史的な合意の下で、ドイツ政府は脱原発政策に回帰したのです。

エネルギー効率を高め、自然エネルギー拡大を促進するための主な政策は、再生可能エネルギー法（EEG）も含め、2000年代に定められました。2010年、ドイツ政府は2050年までに自然エネルギーに基づく経済を目指すための長期的なエネルギー戦略「エネルギー構想（Energiekonzept）」を策定しました。これは、自然エネルギーの拡大やエネルギー効率の改善、CO₂排出量削減のための野心的な中長期目標を示しています。そして、

この全体的な枠組みは、現在でも存続しています。電力部門では、2022年までに全原発を運転停止し、電力消費量に占める自然エネルギー比率を2050年までに少なくとも80%に高めるという明白な政治的合意があります。ドイツのエネルギー政策に関する主な議論は、将来の石炭や天然ガスの役割や、自然エネルギーに基づく経済の実現にむけた利用可能な政策の選択肢についてなされています。

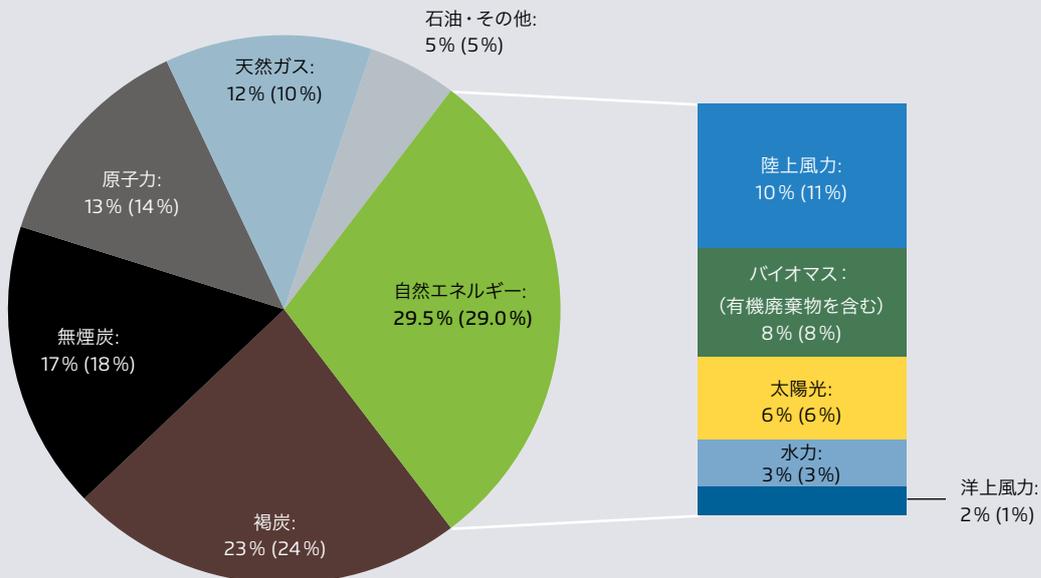
Q2 ドイツのエネルギー転換はうまくいっていますか？

A2

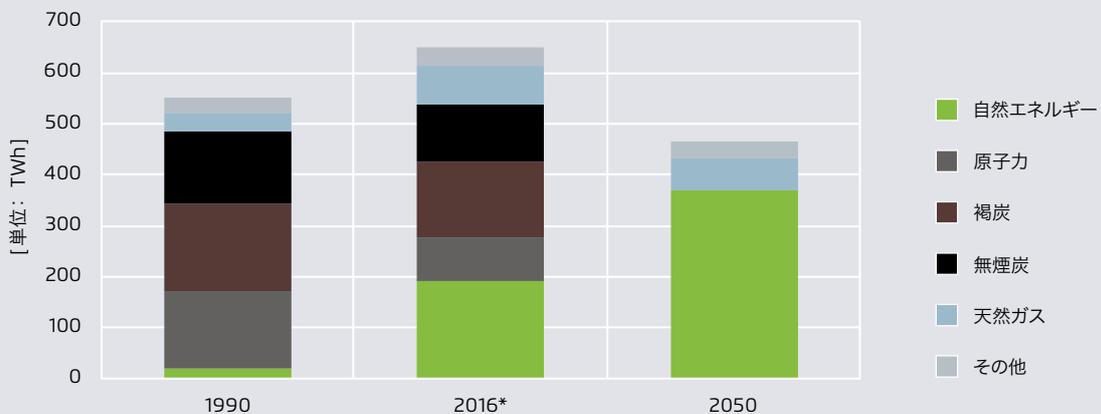
ドイツでは、自然エネルギーが電力システムの主要な柱となり、2016年には国内発電量の約30%を供給しています。風力発電や太陽光発電は、コストが下がったことで、ドイツのエネルギー転換の根幹をなすまでに成長しました。一方、エネルギー効率の分野に関しては、まだまだ改善の余地があり、電力消費量は2008年比で4%減少するに留まっています。

2016年のドイツの電源構成（括弧内は2015年の値）：
自然エネルギーはドイツの総発電量の約30%を占める最大の発電源

図1



ドイツの総発電量（1990年、2016年、2050年の値）



出典：AGEB (2016)、BReg (2010)、EEG (2014)、独自に算出

*暫定値

自然エネルギーはドイツの電力システムの主要な柱に成長

ドイツにおける発電は、歴史的に無煙炭や褐炭による発電、そして原子力発電が中心でした。ところが、ドイツの電源構成は、過去20年の間に著しく多様化しました(図1参照)。これまでの進展の主な特徴を挙げてみます。

- 自然エネルギーの大幅な増加: 1990年から2016年の間に、自然エネルギーがドイツの発電量に占める割合は、3.6%から29.5%に増加し、2016年の電力消費量の32.3%を賄いました。
- 原子力発電の段階的廃止の前進: 1990年から2016年の間に、原子力発電がドイツの発電量に占める割合は27.7%から13.1%に減少しました。
- 褐炭(2016年に23.1%)や無煙炭(2016年に17%)による大規模な火力発電の継続: 褐炭による発電量は、過去20年間ほぼ一定で、無煙炭の発電量はゆっくり減少しています。2016年、原子力、無煙炭、褐炭による発電量の減少(前年比およそ20TWh減)は、自然エネルギー(前年

比4TWh増)や天然ガス(前年比16TWh増)の発電量の増加によって相殺されました。

- 過去10年以上で、ドイツの電力消費量はゆるやかに減少しています(年平均で0.5%ずつ減)。

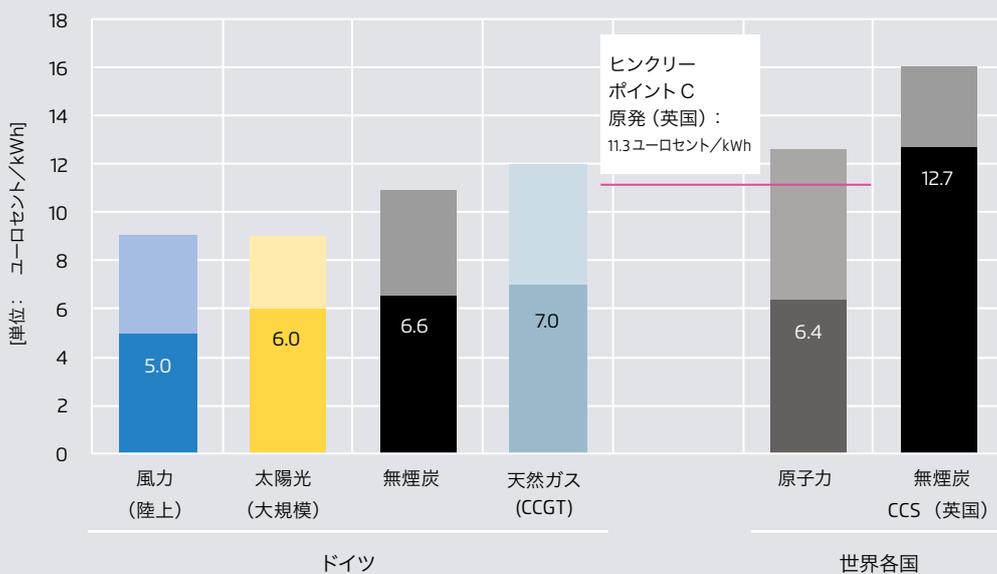
2014年以来、自然エネルギーは褐炭を上回る発電源となり、ニッチな技術から電力システムの主要な柱へと発展したのです。

ドイツのエネルギー転換の根幹をなす 風力発電と太陽光発電

風力発電と太陽光発電の2つは、バイオマス、水力、海洋エネルギー、地熱エネルギーなど他の自然エネルギーと比べても、ドイツでの成長の可能性が最も大きい自然エネルギー技術です。バイオマスの更なる成長の可能性については、コスト、土地利用制約、持続可能性の観点から、限定的だといえます。風力と太陽光発電は、ドイツの再生可能エネルギー法(EEG)によって導入された固定価格買取制度のおかげで大きな発展を遂げました(Q10参照)。

2016年の均等化発電原価(LCOE)の幅

図2



出典: Agora Energiewende (2014), DECC (2013), enervis (2015), EDF, 独自に算出。

均等化発電原価(LCOE)とは、異なる技術間で1kWhあたりの発電コストを比較する際に使われる単位です。固定コストや変動コスト、そして加重平均資本コスト(WACC)も考慮されています。固定価格買取制度による買取価格は、LCOEよりも総じて少し高くなります。これは通常、発電事業者が、収入による利益分の一部を計算に組み込んでいるためです。

近年、技術革新と経済規模の拡大によって、これらの技術のコストが劇的に下がっています。とりわけ、太陽光発電のコスト低下は目覚ましく、2005年から2015年の間に80%も減少しています。現在では、新規投資の場合、風力発電と太陽光発電は、化石燃料のエネルギー源にも負けない競争力を持っています。2016年、ドイツにおける1kWhあたりの発電コストは、風力発電の場合5～9ユーロセントで、太陽光発電の場合では6～9ユーロセントとなっています(図2参照)。さらに、今後もコスト低下が見込まれています。

2016年、ドイツにおける風力と太陽光発電設備の累積導入容量は、89GWを超えました。内訳は、陸上風力が44.8GW、洋上風力が4.1GW、太陽光発電が40.4GWとなっており、合計で国内電力消費量のおよそ15%に相当します。現在の成長ペースがこのまま続けば、2022年までの脱原発による発電量の減少を、自然エネルギーによって十二分に埋め合わせることができるでしょう。

Q3 ドイツは脱原発といいながら、近隣諸国から原発や石炭火力の電力を輸入しているのでは？

A3 いいえ違います。ドイツは2003年以来、近隣諸国に対して電力の純輸出国です。2015年には、電力輸出が過去最大になりました。自然エネルギーは、福島原発事故後の原子力発電の停止分を、十二分に補ってきました。

脱原発にもかかわらず、ドイツは電力の純輸出国

ドイツは2003年以来、電力の純輸出国です。福島原発事故後、8基の原発が運転停止したにもかかわらず、2011年以降、この傾向は加速していきました。2016年、ドイツの電力純輸出分は47.5TWhとなりました。これは、国内電力消費量の8%に相当します。ドイツから電力を輸入している主要国は、オーストリア、フランス、スイス、オランダです。なぜドイツがこれほど電力を輸出しているのかというと、ドイツの卸電力価格は、欧州の中でスカンジナビアに次いで安いからです。卸電

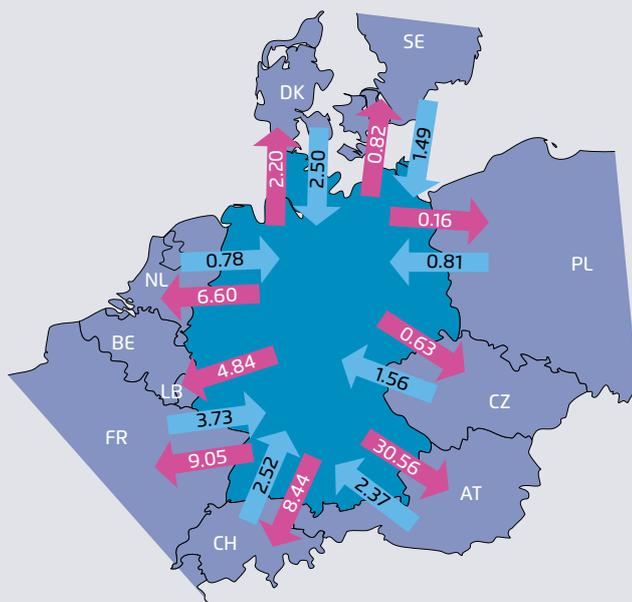
力価格が低い理由は、自然エネルギーの急速な拡大と、発電コストの低さ、電力需要の停滞にあります。また、欧州のCO₂価格が大変低いために、現状では石炭の市場競争力が高くなっていることも寄与しています。

自然エネルギーが福島原発事故後の原発停止分を、十二分に埋め合わせ

2010年から2016年の間、自然エネルギーによる発電量は、87.2TWh増加しました。一方で、原発による発電量は55.7TWh減少しました。同期間、石炭火力発電所からの発電量は、ほぼ一定でした。理由は、電力

ドイツと近隣諸国との電力取引の状況（2016年）：
ドイツの主な電力輸出先はオーストリア、フランス、スイス、オランダ

図3



輸出: 63.3 TWh (2015年: 97.8 TWh)
 輸入: 15.8 TWh (2015年: 36.9 TWh)
 純輸出分: 47.5 TWh (2015年: 60.9 TWh)
 商業的な電力取引 (単位: TWh)

出典: ENTSO-E (2016) のデータに基づいて算出。商業取引に基づく電力の流れを示しており、物理的な電力の流れとは異なる。

需要減少にもかかわらず（2010年から2016年の間に22TWh減）、CO₂ 価格や石炭価格が低いからです。そして、安い石炭と割高な天然ガスの間に、大きな価格差が生じています。この結果、ドイツの石炭火力発電量は、2015年から2016年の間に減少してはいるものの、いまだに高い水準にあり、電力の大量輸出の一因になっています（Q5参照）。

ドイツはフランスへの電力の純輸出国。 チェコやポーランドに対しては純輸入国だが、 これらの国々との電力取引量は、比較的少ない

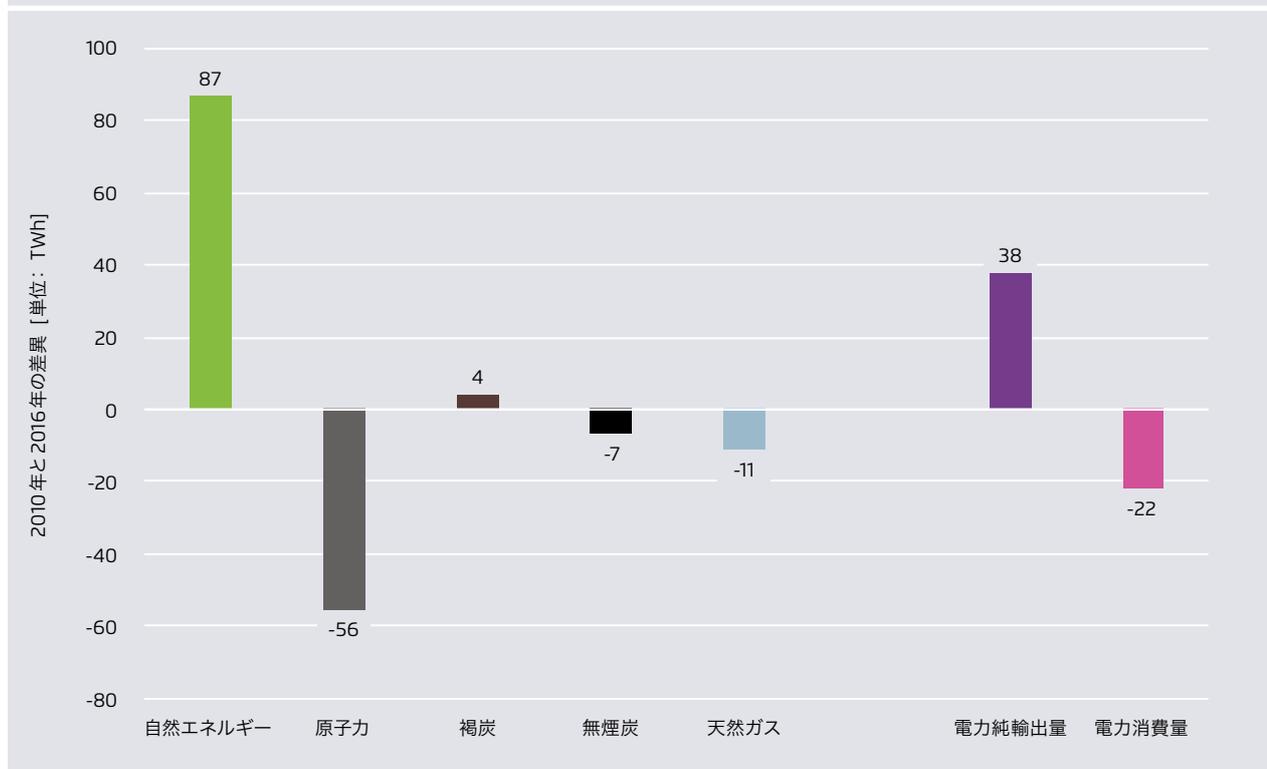
商業的な電力取引をみると、ドイツはフランスに対して電力の純輸出国です。2016年の純輸出分は5.3TWhでした。これは、ドイツがフランスから買う電力量よりも、フランスに売る電力量のほうが多いことを示しています（欧州各国間の電力の流れについては補論参照）。独仏両国で電力消費量が比較的少ない夏の間、ドイツはフランスから電力を買う傾向にあります。しかし、

それ以外の季節、とりわけ暖房の使用によって電力消費量が多い冬には、フランスに電力を売っています。ちなみに、取引される電力は必ずしも独仏の国境を直接通過するわけではなく、オランダ、ベルギー、あるいはスイスといった国々を経由することもあります。

続いて、ドイツの東側の国境に面する国々との商業的な電力取引をみてみましょう。ドイツはポーランドやチェコに対して電力の純輸入国です（2016年の純輸入分はそれぞれ0.65TWhと0.9TWh）。これは欧州全体の電力の流れを市場取引に基づいて最適化した結果です（詳細は補論参照）。また、ポーランドやチェコとの2016年の電力純取引収支は、8基の原発運転停止以前の2010年よりも減っています。つまり、ドイツは脱原発によってポーランドやチェコといった近隣諸国から、電力を追加的に輸入しているのではないのです。いずれにしても、ドイツとこれらの東欧諸国との電力取引量は、比較的少ないものとなっています。

ドイツの電源別発電量、電力純輸出量、電力消費量の変化（2010 - 2016年*）

図4

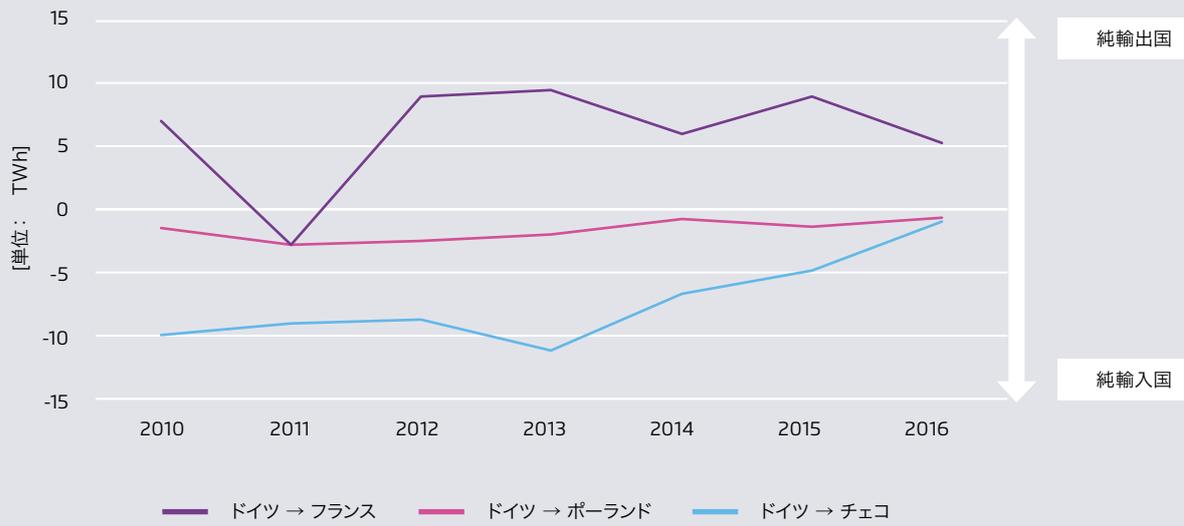


出典：AGEB (2016)、独自に算出

* 暫定値

ドイツとフランス、ポーランド、チェコとの年間電力取引の推移（2010～2016年：商業取引に基づく電力の流れ）

図5



出典： ENTSO-E、独自に算出

Q4 ドイツでは、自然エネルギー拡大によって家庭用電気料金が上昇してきたのでは？

A4

上昇の一因にはなっています。ドイツは、自然エネルギーのコストがまだ比較的高かった時期から、拡大に取り組んできたため、ドイツの消費者は今後も一定期間、そのコストを負担していくことになっています。しかし、ドイツが先駆者として自然エネルギーを拡大してきたことで、世界の自然エネルギーのコストは、急激に下落しました。これまでドイツの家庭用電気料金は上昇してきましたが、2013年以降は、比較的安定しています。今では、自然エネルギーの新規発電設備のコストは、新規の火力発電所と同レベルです。さらに、ドイツの世帯あたりの年間電気代は、他の工業国と同レベルです。これは、ドイツの世帯のエネルギー効率が比較的良好く、電力をそれほど消費しないためです。

ドイツの電気代は他の工業国と同レベル

ドイツの世帯が支払っている電気代は、日本やアメリカといった工業国の電気代とほぼ同じです。理由は、表2のように、ドイツの世帯のエネルギー効率が比較的良好く、電力をそれほど消費しないからです。一方で、ドイツの消費者が支払う1kWhあたりの電気料金は、欧州ではデンマークに次いで高く、およそ30ユーロセントです。ドイツの世帯は平均的に、支出の約2.5%を電気代に充てています。これは、1980年台と同レベルであり、世

帯支出の2%程度だった1990年代や2000年代と比べると、若干高い値です。

低所得世帯は電気料金上昇の影響をより強く受けており、世帯支出の最大5%程度が電気代です。一方で、ドイツのエネルギー集約型産業が支払う電気料金は、欧州の中でも最低レベルで、各種減免措置と卸電力価格の下落という二重の恩恵を受けています。反対に、中小企業や家庭用電気料金は高い傾向にあります(Q6参照)。

工業国における平均的な世帯の電気代 (2014年)

表2

	一世帯あたりの年間電力消費量 (kWh)	1kWhあたりの電気料金 (ユーロセント)	年間電気代 (ユーロ)
デンマーク	3,820	29.4	1,121
アメリカ	12,294	9.0	1,110
ドイツ	3,362	29.1	978
日本	5,373	18.1	971
スペイン	4,038	22.6	912
カナダ	11,303	7.5	851
フランス	5,830	14.3	834
英国	4,143	17.3	717
イタリア	2,485	23.3	580
ポーランド	1,935	15.1	291

出典: Enerdata (2015)、World Energy Council (2015)、独自に算出

* 消費量のデータは2013年、電気料金のデータは2014年のもの

これまで上昇傾向にあったドイツの家庭用電気料金、2013年以降は比較的安定

図6のように、ドイツの家庭用電気料金は2007年から約50%上昇しました(名目値)。電気料金の上昇要因は、自然エネルギー支援のための「再エネ賦課金」や、託送料金、各種賦課金や税金など、電気料金を構成するほぼ全ての要素の継続的な上昇です。再エネ賦課金は、これまで上昇していて、現在では1kWhあたり6.88ユーロセントとなっています(2017年の総額は240億ユーロ)。

再エネ賦課金は、自然エネルギー発電の1kWhあたりの費用(固定価格として発電事業者を支払われる金額)と、卸電力市場でこの1kWhを販売した時の収入との差額分にあたります。再エネ賦課金は、とりわけ2009年から2013年にかけて急上昇しました。その理由は、太陽光発電のコストがまだ高かった時期に、太陽光発電設備の導入が急増したためです。このような「過去のコスト」を、ドイツの消費者は今後も一定期間、支払っていくことになります。これは、ドイツの制度が太陽光

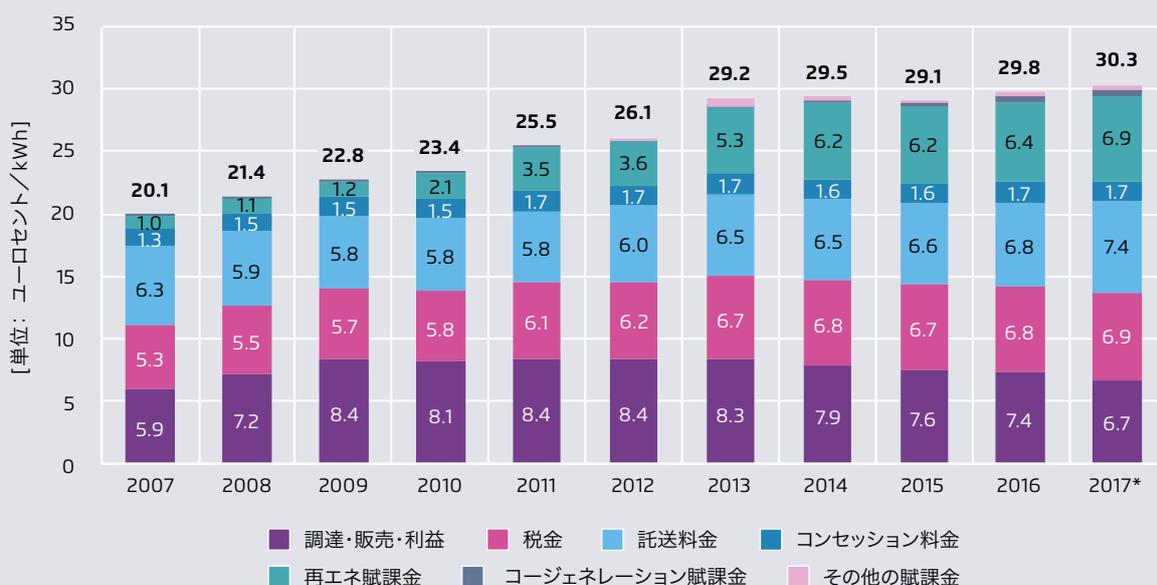
発電の発電事業者に対して20年間の固定価格支払いを約束しているからです。

一方で、自然エネルギーの拡大は、卸電力価格の下落をもたらしました。それが再エネ賦課金の上昇分を部分的に相殺しており、卸電力価格と再エネ賦課金の合計額は近年むしろ減少に転じています(図7参照)。また、卸電力価格の減少分がドイツの家庭用電気料金に十分に反映されておらず、その分、電力供給会社が高い利益を得ているという批判も起きています。

ドイツは、先駆者としてコストが高かった時代から自然エネルギーに大きな投資をし、そのための費用はドイツの消費者が負担してきました。でも、そのおかげで世界中の自然エネルギー技術のコストが急激に低下し、他の国々は格安に自然エネルギーを拡大することができるようになったのです。

ドイツの平均的な家庭用電気料金の推移 (2007~2017年: 4人世帯で3500kWh/年の場合)

図6



出典: ドイツ連邦ネットワーク庁 (2016)、*2017年の値は独自に推計

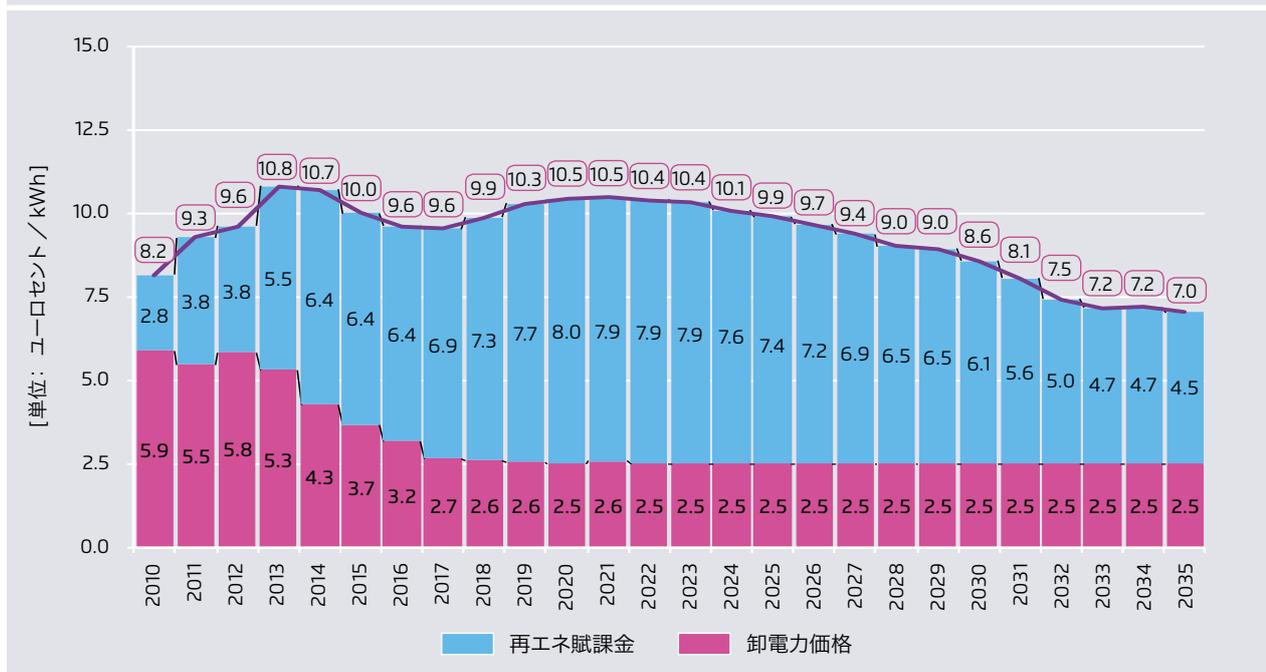
今後の家庭用電気料金は、わずかな上昇に留まる見込み

図6のように、2013年以降、ドイツの家庭用電気料金は一定のレベルを保っています。コスト上昇の主要因はすでに過去のものとなっているため、今後の家庭用電気料金は、わずかな上昇に留まる見込みです。近年、太陽光発電のコストは大きく下がったため（Q2参照）、主要なコスト上昇要因ではなくなるでしょう。加えて、最新の再生可能エネルギー法の改正（EEG 2017）によって、更なるコスト逡減にむけて、入札制度に基づく競争促進策が導入されたところ（Q10参照）。今後の再エネ賦課金の上昇は、穏やかに留まる見込みです（図7参照）。再エネ賦課金は2020年頃に、8.0ユーロセント/kWhのピークを迎えた後、減少に転じると予測されています。というのも、2000年代に導入された古くて割高だった自然エネルギー発電設備に対して、消費者は

これ以上支払いをしなくてもよくなるからです。2020年頃まで賦課金が増える理由は、発展途上の割高な技術である洋上風力発電の拡大です。再エネ賦課金は、電力の60%が自然エネルギーで賄われると見込まれる2035年には、4.5ユーロセント/kWhまで下がりそうです。

卸電力価格とドイツの再エネ賦課金の合計額（2010～2035年）

図7



出典：Öko-Institut (2005), Agora Energiewende

Q5 ドイツでは石炭火力発電が増えて、CO₂排出量の削減ができていないのでは？

A5

必ずしもそうではありません。石炭火力による発電量と電力部門のCO₂排出量は、3年連続で減少し、2016年には2010年のレベルを下回りました。しかし、ドイツの温室効果ガス排出量全体では、過去3年間で微増しています。これは、熱・交通・産業部門で、排出削減が十分にできていないからです。いずれにしろ、競争力の高い石炭火力は、ドイツのCO₂排出量全体に悪影響を及ぼしてきました。ドイツが気候変動目標を達成するには、脱石炭に取り組む必要があります。

2016年、温室効果ガス排出量は1990年比で27%減少。電力部門の排出量は2010年レベルを下回る

ドイツは野心的な気候変動目標を採択し、1990年比で温室効果ガス排出量を2020年までに40%、2030年までに最低55%、2040年までに最低70%、2050年までに80～95%削減することを目指しています。2016年には、温室効果ガス排出量は1990年比で27%減少しました（図8参照）。電力部門の排出量は2010年レベルを下回りました。ところが、過去3年間、温室効果ガス排

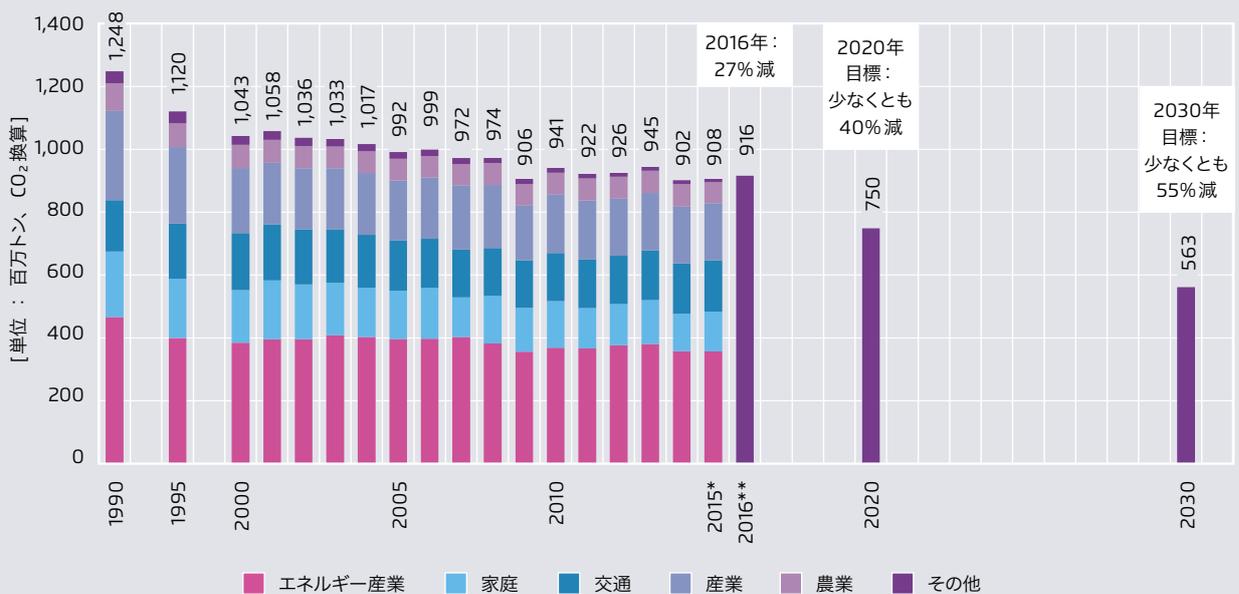
出量全体は微増しています。これは、産業・熱・交通部門での排出削減が十分にできていないことが要因です。

いまだに石炭に大きく依存しているドイツの電力部門は、国内温室効果ガス排出量全体の約40%を占める一番の排出源です。2016年の電力部門のCO₂排出量は3億600万トンでした。気候変動目標達成のためには、電力部門の脱炭素化が不可欠だといえます。

ドイツで新規石炭火力発電所に対する投資決定が最後になされたのは、約10年前のことです。このプロジェ

ドイツの部門別温室効果ガス排出量（1990～2016年）と排出量削減目標（2020年と2030年）

図8



出典：ドイツ連邦環境庁(2016)、独自に算出。* 暫定値、** 独自に推計

クトの一つであるダッテルン4号機は、現在も建設中ですが、それを除くとドイツでは現在、石炭火力発電所の新設計画はありません。

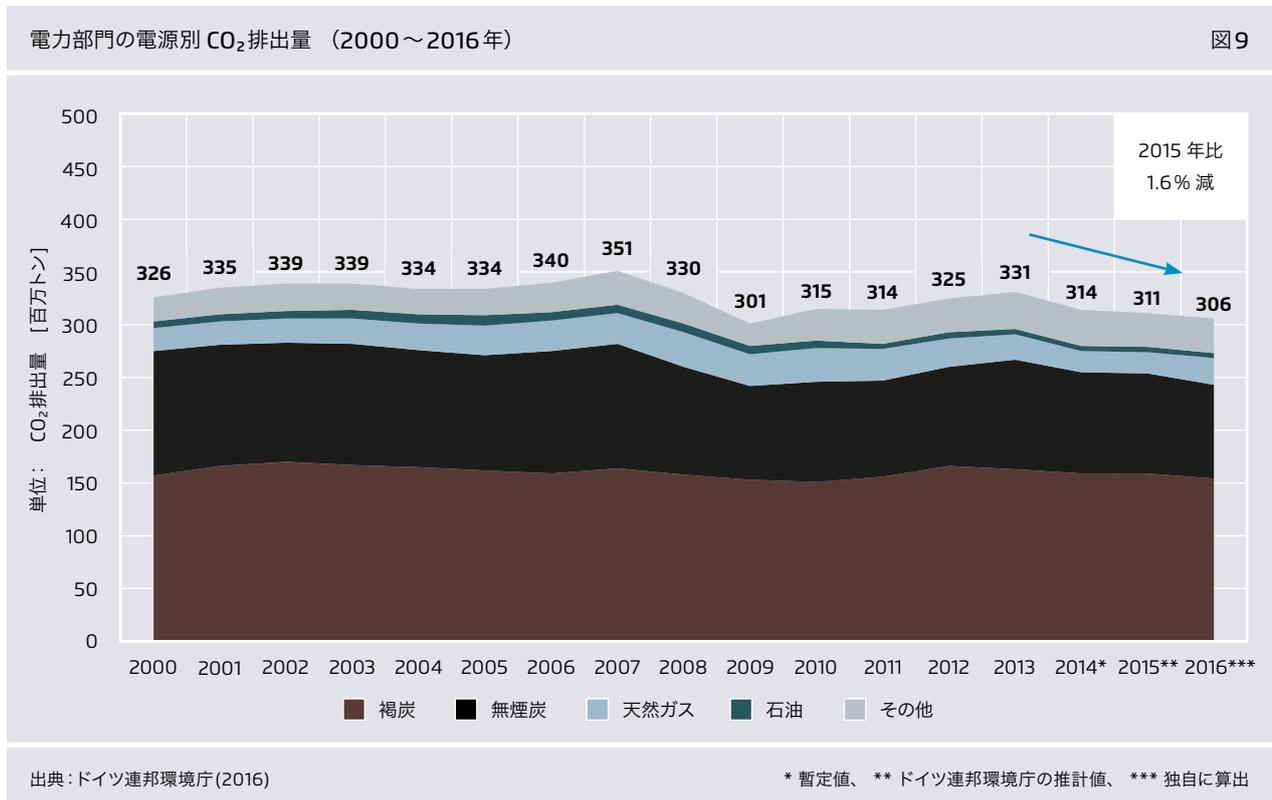
2014年以降、石炭火力による発電量と電力部門のCO₂排出量は緩やかに減少

電力部門のCO₂排出量は、自然エネルギーの拡大やエネルギー効率の向上にもかかわらず、2012年と2013年に増加しました（このような一見矛盾した状況は、「エネルギー転換のパラドックス」と呼ばれています）。原因は、現在もドイツの総発電量の約40%を生み出している石炭火力発電所が、高い競争力を有しているためです。石炭価格の低さに加えて、CO₂価格も低い（欧州排出権取引制度が十分に機能していないことによる）ため、ドイツで石炭火力の発電量が多くなったのです。このため、よりCO₂排出量の少ない天然ガス火力発電所が、ドイツ国内だけでなく近隣諸国でも退出してしまったのです。その結果、CO₂排出量の増加と、歴史的にも高いレベルの電力輸出につながりました（近隣諸国は低い電力価格によって恩恵を受けていますが）。

しかし2014年以降、状況が一転し、石炭火力による発電量と電力部門のCO₂排出量は少しずつ減少してきています（図9参照）。現在では、自然エネルギーの拡大と電力需要の減少によって、無煙炭の火力発電所も押し出され、ドイツ国内のCO₂排出量は減少に向かっています。そして2016年には、燃料費の減少が、古い石炭火力発電所よりも天然ガス火力発電所に有利に働き、CO₂排出量が更に減少しました。また、自然エネルギー拡大のおかげで、2015年には電力部門のCO₂排出が約1億1500万トンも抑制されました。とはいえ、褐炭による火力発電はまだ多く、それによって電力純輸出量が多くなっています（Q3参照）。

ドイツの気候変動対策目標達成には脱石炭が不可欠

現状維持シナリオの場合、電力部門のCO₂排出量は、2020年までに今より4000万トン減少すると予測されています。しかし、このままの減少ペースでは、2020年の排出量削減目標到達には不十分で、更なる削減努力が必要となります。このギャップを埋めるべ



く、一連の追加政策措置がとられることになりました。例えば、ドイツ全土における古い褐炭発電所の全容量のうち、13%にあたる2.7GW分を停止することなどです。これらの褐炭発電所は、いったん市場から除外された後、予備力担保のため「気候リザーブ」として4年間留まり、停電の危険性がある緊急時に限って起動されます。そして、4年経過後には、完全に閉鎖されます。

結局のところ、ドイツが気候変動目標を到達するためには、脱石炭をするほかありません。石炭価格やCO₂排出権価格がずっと低水準であるといったような、エネルギー経済の動向を鑑みると、市場に基づく手段だけでは不十分で、狙いを定めた措置が必要です。2030年の目標、そしてそれ以降の目標を達成するためには、発電事業者、労働組合、政府、そして環境NGOが協働して、石炭発電を段階的に減らしていくための合意形成をしなくてはなりません。ドイツではこの件に関する公的な議論が始まったところです。アゴラ・エナジーヴェンデは、コストを抑えながら現存する石炭発電所を閉鎖するための計画を提案し、この議論に貢献しています。この計画は、影響を被る炭鉱地域の復興に対する経済支援を見込んでいます。

Q6 ドイツのエネルギー転換が国内経済に与えた影響は？

A6

2008年以降、ドイツ経済の電力部門への年間支出額は、GDPの2.3%～2.5%程度で推移しています。これは、2000年(1.6%)よりは高いですが、1990年代半ばと同等の水準です。自然エネルギーの拡大とエネルギー効率の向上は、多額の投資、雇用、経済成長に貢献しました。一方、その革新的な特質により、従来のエネルギー部門の投資と雇用を退出させています。さらに、エネルギー集約型企業は、競争力を維持し生産拠点の国外移転が生じないように、電気料金の上昇から保護されています。エネルギー効率の向上によって、ドイツは経済成長とエネルギー消費のデカップリングを達成しています。

ドイツにおける自然エネルギー拡大はGDP成長に寄与し、エネルギー効率の向上は、経済成長とエネルギー消費のデカップリングを達成している

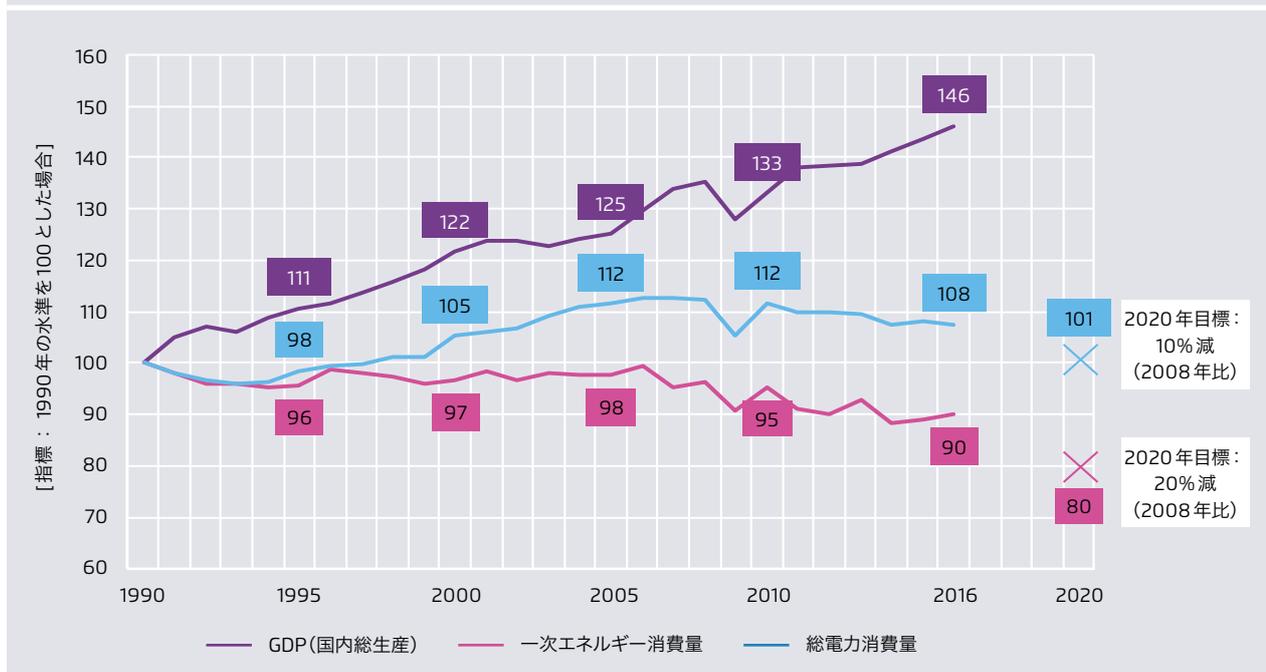
ドイツにおけるGDP当たりの電力部門への総支出は、この10年間で大幅には変わっていません。2008年以降、ドイツの電力部門への年間支出額は、GDPの2.3%～2.5%程度で推移しています。これは、2000年

(1.6%)よりは高いですが、1990年代半ばと同等の水準です。支出の絶対額は年間約600～700億ユーロ増加していますが、この増加分はGDPの成長で相殺されています。

エネルギー転換は社会経済的な変革のプロセスであるとともに、重要な投資プログラムであり、新たな低炭素部門(自然エネルギー、エネルギー効率、新エネルギーサービス、代替交通手段)の成長とイノベーションを促

ドイツのGDP、一次エネルギー消費量、総電力消費量 (1990～2016年)

図10



出典：AGEB(2016)、ドイツ連邦統計局、独自に算出

進んでいます。2000年～2015年間の自然エネルギー全部門への総投資額は、2,350億ユーロとなりました。年間平均に換算すると、160億ユーロに相当します。これらの投資のおかげで、ドイツではグリーンテクノロジー部門が発展し、GDPも成長しました。今後10年のうちに、電力部門への投資は年間約150億ユーロ、そのうち自然エネルギーの新規導入への投資は90～100億ユーロに達すると予想されます。さらに、図10に示されるようにドイツは経済成長とエネルギー消費のデカップリングを達成しました。

2015年、ドイツの自然エネルギー産業の雇用者数は33万人

エネルギー転換は、エネルギー業界の雇用構造にも大きな影響を与えています。2015年には、自然エネルギー産業だけで2004年の2倍に当たる約33万人の雇用を支えました。中でも、雇用数が最も多いのは風力発電部門（2015年に約142,900人）で、バイオマス部門（113,200人）がそれに続きます。ドイツの太陽光・熱部門（2015年に42,200人）では、2012年から2015年にかけて大規模な構造改革が行われ、世界市

場での激しい競争や国内需要減少の結果、約7万人の雇用が失われました。ドイツの太陽光発電設備の導入量は、2009～2012年の間は年間7.5GW増加しましたが、2016年は1.2GWの増加に留まりました。しかし、太陽光・熱部門は、雇用を生み出す重要な部門であることには変わりありません。

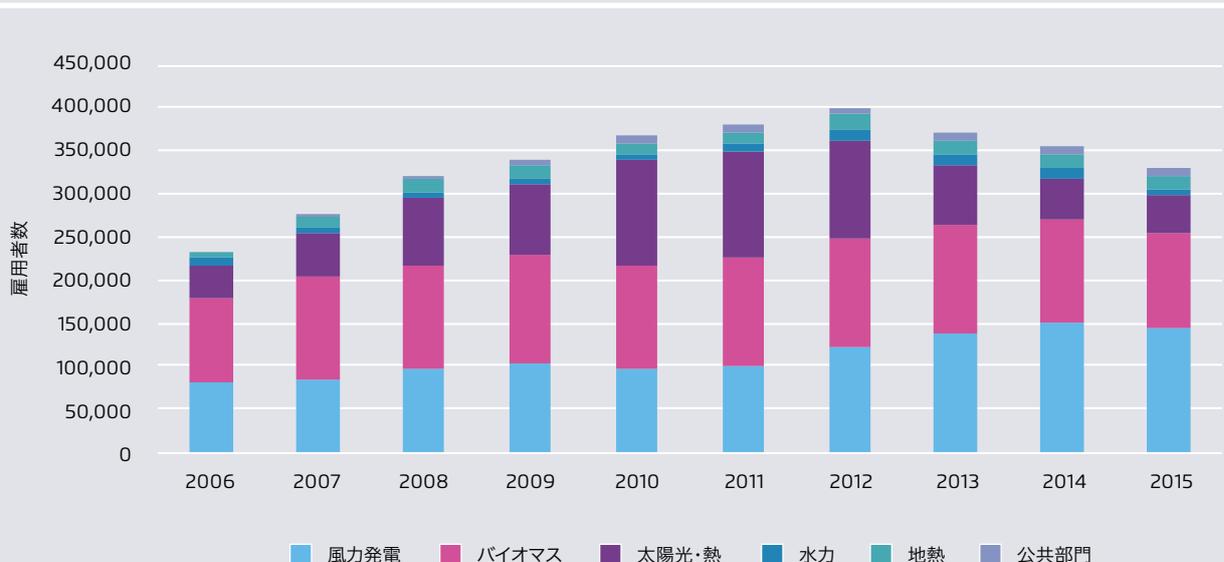
エネルギー転換は、従来のエネルギー部門の投資と雇用を退出させ、自然エネルギー部門の成長をもたらす

自然エネルギーの拡大とエネルギー効率の向上によって、石炭および原子力産業といった従来のエネルギー部門は退出を迫られ、その投資や雇用も影響をこうむっています。さらに、エネルギー費用が大幅ではありませんが増加したことにより、ドイツの一部の消費者や企業の購買力が減少し、その消費や投資が低下しました。

しかし、このような影響の一部は、自然エネルギー部門の製品向けの輸出増加により相殺されていますし、さらには自然エネルギーの拡大と省エネルギー対策が、化石燃料輸入の純減をもたらしています。2015年には自

ドイツの自然エネルギー産業における雇用者数の推移（2006～2015年）

図11



出典：GWS/DLR/DIW/ZSW

然エネルギーの発展により 88 億ユーロ分、省エネルギーにより 160 億ユーロ分の輸入を回避できたと推計されています。ドイツ連邦経済エネルギー省が委託した調査によると、エネルギー転換なしのシナリオと比べた場合、エネルギー転換によってドイツの雇用者数は 2020 年まで年間 18,000 人純増するという一方で、まずまずの好成果がもたらされます。

エネルギー集約型企業は、競争力の維持と生産拠点の国外移転を回避するため、エネルギー費用が上昇しないよう保護されている

最近ではメディアが、ドイツ国内での数力所の生産拠点の閉鎖と、米国などへの国外移転について報じています。しかし、このような決定は、新しい市場への近接性や人件費の違いなど、さまざまな要因に基づいており、電気料金の上昇だけが要因になるものではありません。とはいえ、鉄鋼、アルミニウム、セメント産業といった一部の産業では、電力コストが実際にその競争力において主要な役割を果たしています。ドイツでは、企業の電力消費量のレベルや、国際競争にさらされているかどうかに応じて、産業用電力料金のさまざまな減免措置が設けら

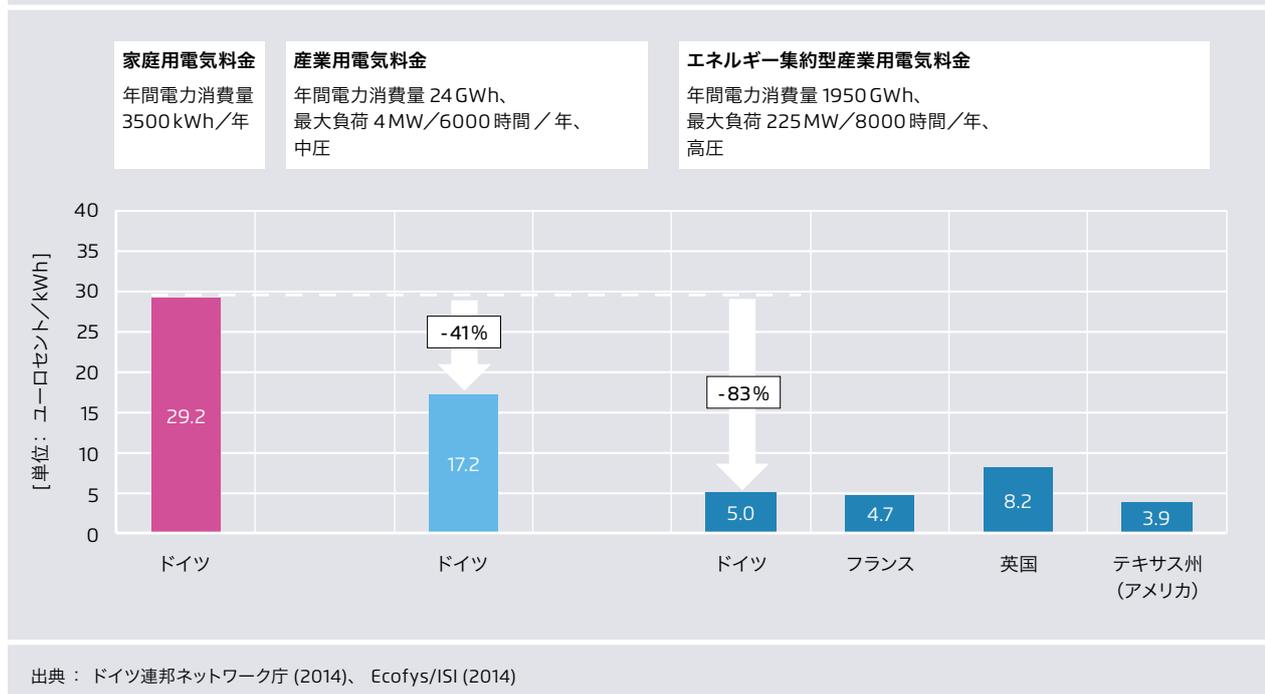
れています。そのため、ドイツの産業用電気料金は、企業ごとに大幅に異なります。

例えばドイツでは、電力消費量 20MWh 未満の小企業が支払う電気料金は、欧州でも最高水準であるのに対し、エネルギー集約型産業向けの電気料金は最低水準です。実際、鉄鋼、アルミニウム、セメント産業のようなエネルギー集約型産業は、国際競争力を維持するため、税金や賦課金（電力消費量 1kWh 当たり）をほとんど支払っていません。また、これらの企業は卸電力市場で直接電力を購入するため、卸電力価格が下がれば、その分利益を得ることができます。2016 年には、ドイツ国内の電力消費量の 20% を占める約 2,140 社が、このような減免措置から恩恵を受けています。

それ以外のドイツの企業は、欧州の平均と比べると相対的に高い電気料金を支払っています。しかし、これらの企業のエネルギー費用は、その総収入と比べればそれほど大きくありません。ドイツでは、98.5% の企業において、総収入に対するエネルギー費用の割合が 6% 未満となっています。

ドイツの平均的な家庭用電気料金と産業用電気料金（2013 年）

図 12



Q7 ドイツでは、自然エネルギーの大量導入によって電力供給が不安定なのは？

A7

いいえ、自然エネルギーが高いシェアを占めるにもかかわらず、ドイツの電力供給は安定しています。現在のドイツの電力システムは、世界的に見ても非常に信頼性が高いものであり、変動する自然エネルギーの出力は、電力システムの柔軟な対応によってうまく管理されています。従来の「ベースロード電源（発電所）」の稼働は大幅に削減されていますが、安定した電力供給は損なわれていません。

自然エネルギーの高いシェアでも、ドイツの電力供給は安定

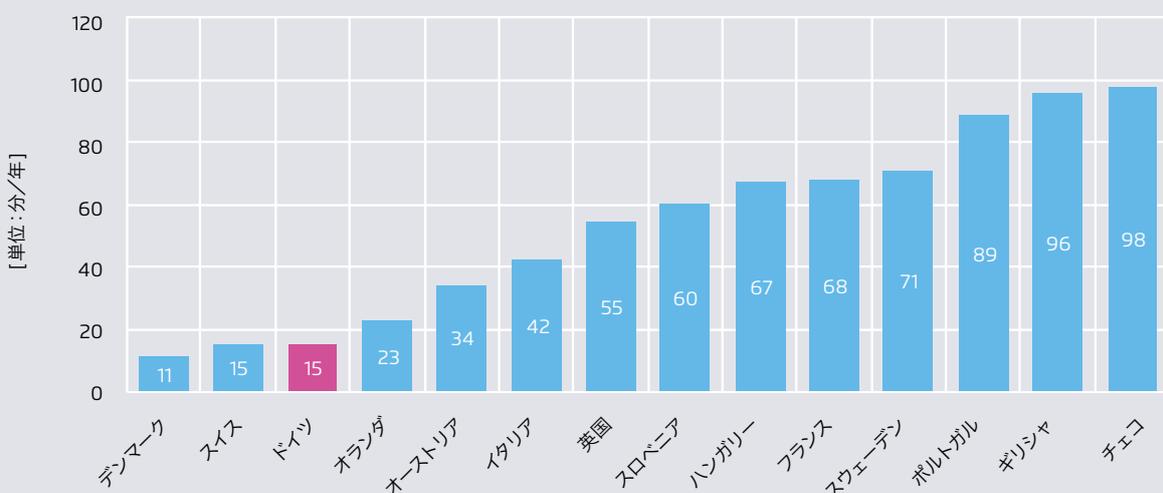
2016年現在、ドイツでは電力消費量の32.3%を自然エネルギーが占めていますが、その電力システムは世界的に見ても非常に信頼性が高いものです。2015年のドイツの最終消費者一軒あたりの年間平均停電時間は12.7分と、非常に低いレベルに抑えられています（図13参照）。それでも、特に南北間では電力システムに一部地域的な制約があるため、その安定性を確保するために数々の系統運用対策が講じられています。例えば、従来型の発電所の再給電¹のほかに、最終手段として用いられる対策として、変動型自然エネルギーの出力抑制がありま

す。さらに、ドイツと欧州の近隣諸国との地域間連系の強化が、安定的な電力供給に貢献し、変動型自然エネルギーの統合も促進されました。また、「緊急時」の電力供給を確保するために、数種類の予備力（容量、電力系統、待機予備力）も導入されました。これらの予備力は電力不足や電力システムの制約といった事態が発生した場合、その解消のために利用されます。予備力の導入に至ったの

- 1 再給電とは、発電所の出力レベルを変えることにより送電の混雑を解消する方法です。1つあるいは複数の発電所からの電力の実質出力量を抑えると同時に、別の1つあるいは複数の発電所からの電力の実質出力量を増やすことで、系統全体の实質電力量をほぼ一定に保ちながら、混雑を緩和することができます。混雑の発生源となっている発電所の出力を調整するというこの方法は、送電の流れを改善するために、新たな送電線を設けるよりも低コストで時間のかからない解決策となり得ます。

年間平均停電時間（2013年：SAIDI、特別な事象を除く）

図13



出典：CEER (2015)

*ドイツの年間平均停電時間(SAIDI)は2015年に12.7分に減少

は、電力量を売買する通常の市場の改革だけでは電力の安定供給を保障できないのではないかと考える政治家たちの不安に対応するためです。系統予備力に関しては、不安の解消に加えて、ドイツの南北の電力系統の混雑を緩和することを主な目的としています (Q9 参照)。

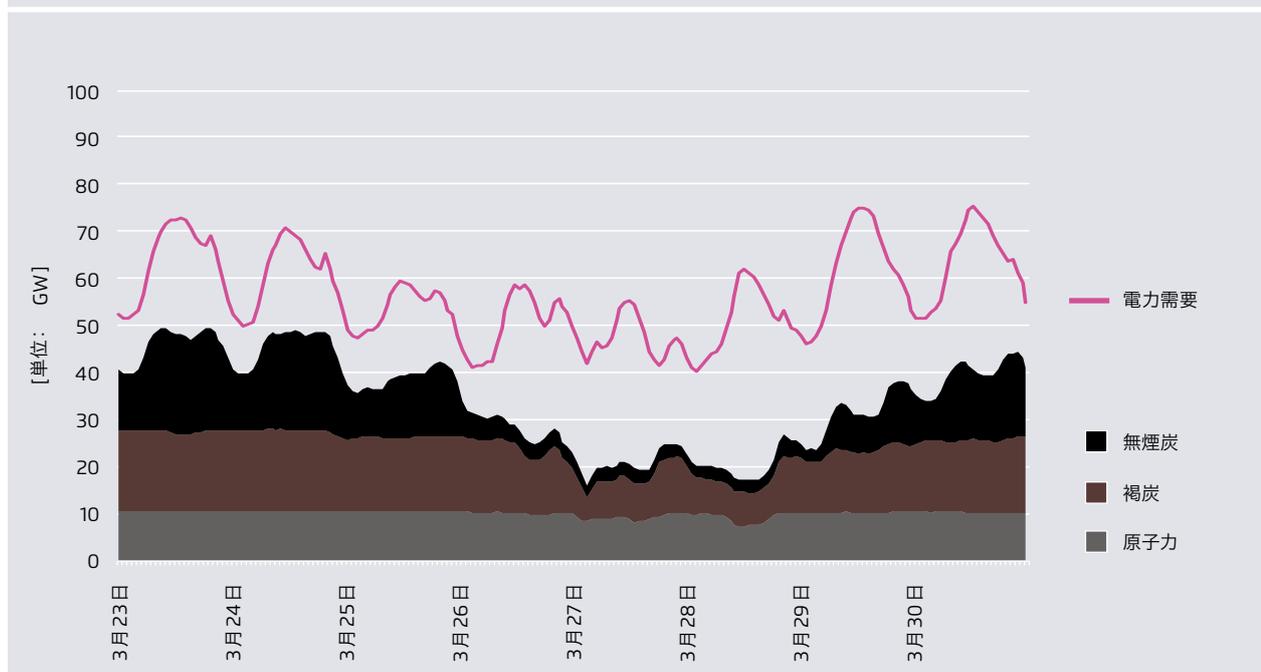
変動型自然エネルギーの出力は、ドイツの電力系統の柔軟な対応によって管理。従来の「ベースロード電源 (発電所)」の稼働は、大幅に減少

風力発電と太陽光発電は、風が吹き、太陽が照るときにのみ発電する変動型電源です。この変動型電源の性質が電力系統と電力市場に根本的な変化をもたらしました。これからは、大きく変動する発電に対応しなければならないのです。現在、変動型自然エネルギーが18%のシェアを占めるドイツでは、原子力や石炭のような従来型発電所は、変動する電力需給の急速な変化に対して、柔軟に対応しなければなりません。

現時点で、ドイツの電力系統はこの柔軟性に必要な技術的能力を十分に備えていて、実際に必要な柔軟性のレベルを大きく上回っています。図14でも示されるとおり、従来型発電所は、変動的な電力供給に対応するため、現在でもすでに柔軟な操作を行っています。図14で示した2016年3月の1週間には、自然エネルギーのシェアが非常に高くなり、ベースロードである原子力・石炭の発電所の稼働が大幅に減少しています。変動型エネルギー源を電力系統に組み込むための、柔軟性の選択肢は他にもいくつかあります。例えば、需要側管理やスマートグリッドを含む電力系統のインフラ拡張、そして長期的にみると、自然エネルギーのシェアが60%超になった場合には電力貯蔵という方法もあります。2030年に自然エネルギー50%以上への道をドイツが前進するにつれて、このパラダイムシフトはますます重要になってきます。

ドイツの無煙炭、褐炭、原子力の発電所からの発電量および電力需要 (2016年3月23～30日)

図14



出典: Agora Energiewende

このような理由から、新しい「電力市場法」の枠組みでは効率的な市場刺激策が再構成されています。コスト効率を最大化して柔軟性の技術的能力を発揮するためには、柔軟性がもたらす利益を市場価格に反映しなければなりません。更に、柔軟性のないベースロード電源による電力供給から、徐々に脱却しなければなりません。

より正確な予測、迅速に対応できる制御システム、そして柔軟な市場によって自然エネルギーを高いシェアで導入することができる。極端な状況においても。

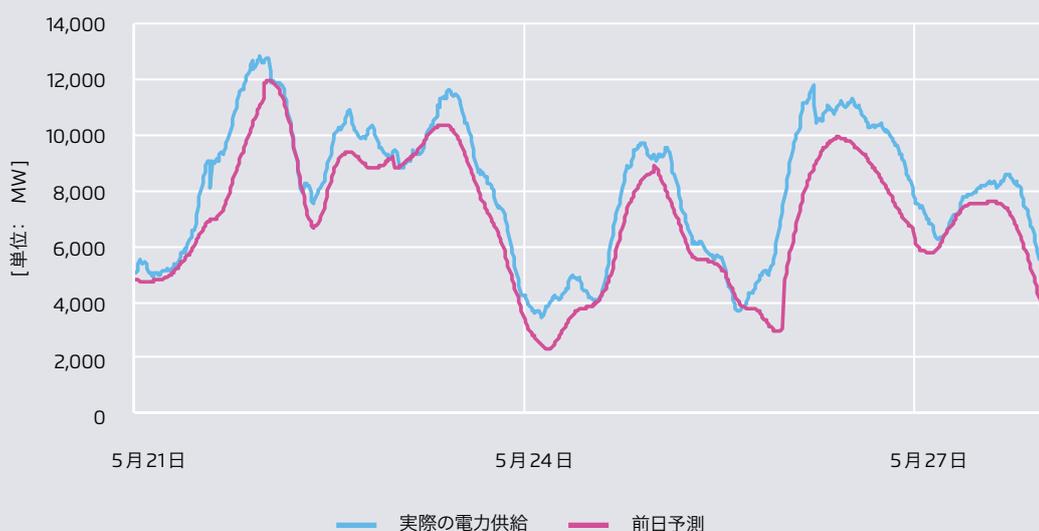
ドイツの電力系統は、自然エネルギーの電力供給量の大幅な変動を伴う極端な状況を、既に何度か経験しています。例えば、2016年の5月8日には、自然エネルギーがドイツの電力需要の最大86.3%を賅いました。このとき、大きなシェアを占めたのは太陽光と風力発電でした。図15に見られるように、風力や太陽光による発電を予

測する技術は大きく進歩しているため、出力が変動するからといって出力が不安定になるということではありません。

ここで格好の事例として、ドイツで日食が起きた2015年3月20日の状況をみてみましょう。図16に示すように、太陽光による発電は、日食によって65分間に5GW減少し、再び75分間に13GW増加しました。この日食による影響に対応するために、欧州の送電事業者らは、日食の前から日食中にかけて電力系統の運用を調整しました。そのため、電力供給は日食中も安定していました。このとき、短期市場では柔軟性が取引されていました。現在は珍しいこのような電力供給の変動も、約50%の電力が自然エネルギーで発電されるようになる2030年のドイツでは、頻繁に起こるようになるでしょう。

風力発電の前日予測と実際の電力供給との差異（2015年5月の週、ドイツ北東部にて）

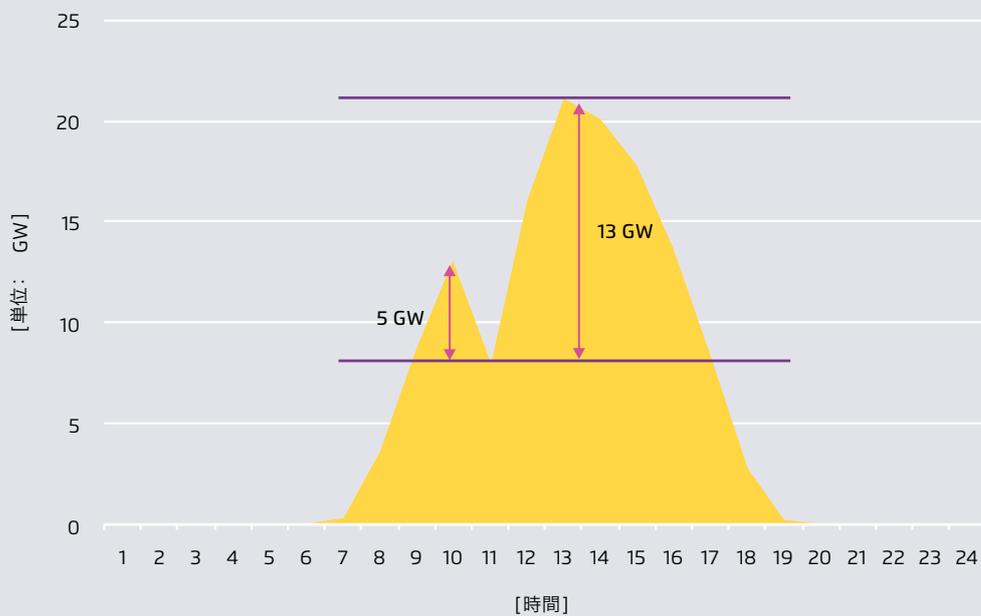
図15



出典： 50 Hertz

2015年3月20日の日食時の太陽光発電

図16



出典: Agora Energiewende (2015)

Q8 ドイツの市民や経済界はエネルギー転換を支持しているのでしょうか？

A8

ドイツ市民はエネルギー転換を強く支持しています。しかし、エネルギー転換が順調に進展していると考えるドイツ人は約50%に留まります。幅広いドイツの経済界が、リスクだけでなく新たなビジネスチャンスをもたらすエネルギー転換の挑戦を受け入れました。

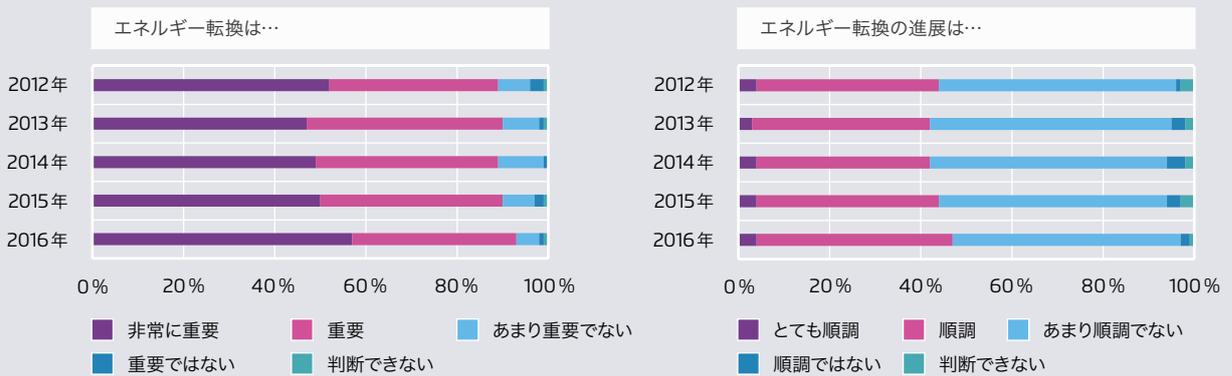
ドイツ市民はエネルギー転換の目標を強く支持

ドイツのエネルギー転換は、エネルギーインフラの技術的・経済的な変革だけに留まりません。科学的知見や倫理的評価に裏づけされ、経済や環境に配慮した大規模

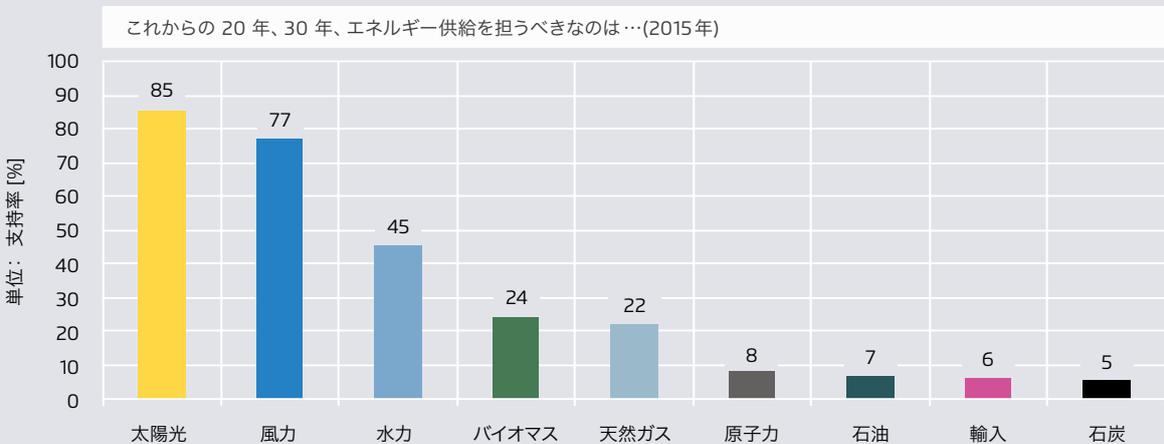
なプロジェクトなのです。ドイツ市民が切望するのは、原子力発電をなくすこと、そして、エネルギーの供給と消費のあり方を転換することです。自然エネルギーと分散型エネルギーシステムを強く求める声が、「エネルギーシステムの民主化」の推進力となるでしょう。エネルギー転換は、経済や社会の広い範囲に強い影響を及ぼしています。

ドイツの世論：市民の最も強い支持を得ている太陽光と風力、最も支持が弱い石炭

図17



出典： Forschungsgruppe Wahlen (2016)、BDEW による委託



出典：ドイツ連邦政府報道情報局 (2015)、zeit.deおよびphasenpruefer.deから引用

世論調査から分かるのは、ドイツ市民がエネルギー転換を強く支持しているということです。90%以上のドイツ市民がエネルギー転換を非常に重要、または重要だと回答しています。さらに、ドイツ市民の大半は、風力と太陽光発電がエネルギー供給の中核を担うべきだと考えています（図17参照）。ただし、48%のドイツ市民がエネルギー転換は順調に進展していると思っている一方、自然エネルギーの拡大に関しては55%の市民が遅すぎると感じています。

エネルギー転換をもたらす新たなエネルギー経済は、分散型発電と多様な参加者が特徴

現在、ドイツには約150万の太陽光発電設備と26,000の風力発電機が導入されています。従来の火力発電とは対照的に、これらの自然エネルギーは分散的に展開し、個々の設備容量も小規模です。このような電力構成の多様化に影響を受けたのが、ドイツの発電所の所有者構造です。これらの自然エネルギープロジェクトの多くは、非電気事業者、つまり個人世帯や農家、エネルギー協同組合などの出資、所有により成立しています。2012年には、このような市民所有のプロジェクトが、ドイツの自然エネルギー導入容量全体の47%を占める一方で、電力会社の市場シェアは約13%に留まりました。こ

うした独特の所有者構造のおかげで、エネルギー転換は市民から幅広い支持を得ています。

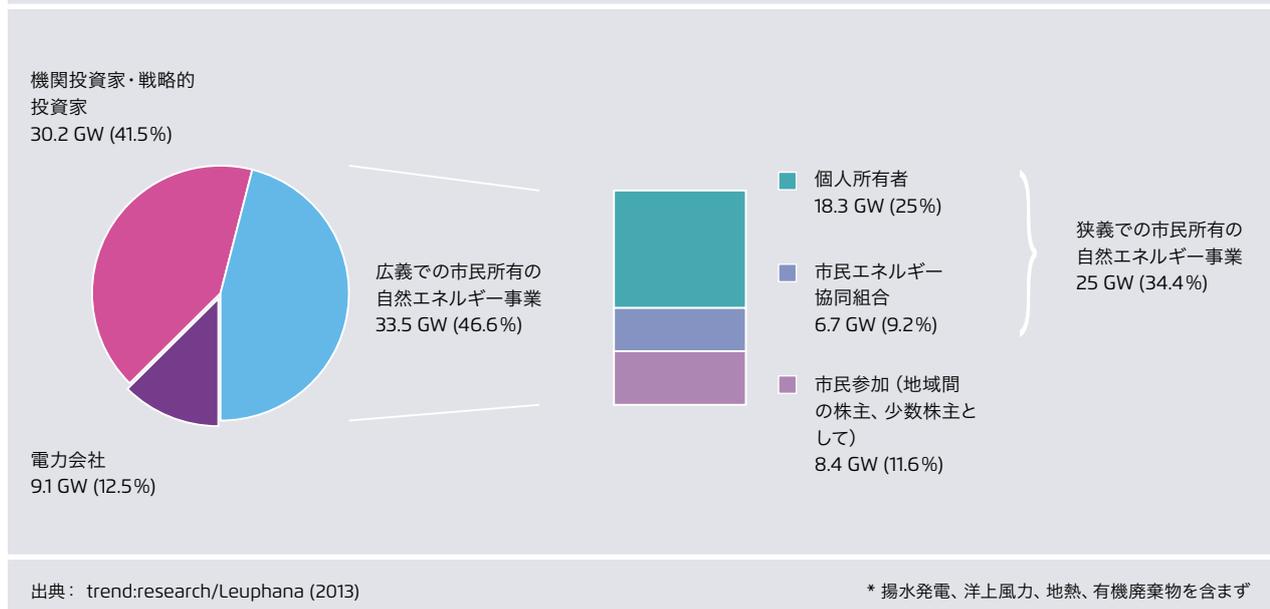
幅広いドイツの経済界が、リスクだけでなく新たなビジネスチャンスをもたらすエネルギー転換を支持

ドイツでは、新たなビジネスチャンスをもたらしてくれるエネルギー転換に、幅広い経済界の支持があります。しかし、工業部門など一部の企業の中には、エネルギー費用の増加によって国際競争力が脅かされるのではないかと懸念があります。これらの不安を解消するため、ドイツ政府は減免措置によってエネルギー集約型産業の電気料金を減額することによって、その競争力を維持しようとしています。

エネルギー転換に対する大手電力会社の立場は、この10年間で大きく変化しました。これらの電力会社のビジネスモデルは、これまで、化石燃料や原子力の発電所という大規模集中型発電に依存し、電力需要が増加し続けるという前提にたっていました。その一方で、自然エネルギーは「ニッチな技術」だと位置付けてきました。しかし、分散型自然エネルギーの急速な拡大と、電力需要の停滞、そして進行中の脱原発によって、電力会社はビジネスモデルの変革を余儀なくされています。

ドイツでの自然エネルギーによる発電設備の所有者の内訳 (2012年)

図18



Q9 ドイツの南北送電網拡張プロジェクトの進捗状況は？

A9

ドイツの電力システムにとって、電力システムの改良は非常に重要です。2025年までに必要とされている約8,000 kmの新たな送電線のうち、今までに建設されたのは約700 kmに留まっています。系統混雑によってドイツ北部から南部へ十分な電力を送電できない場合は、ドイツ南部の系統運用の信頼性確保のため、系統予備力が活用されます。2016年に定められた新たな施策は、電力系統整備の加速化とより適切な調整を目指しています。

ドイツと欧州の電力システムにとって、電力システムの改良は非常に重要

北部沿岸地域の風力発電をはじめとする自然エネルギーの急速な普及と脱原発の進展によって、ドイツの発電地域と消費地域 mismatches が起きています。この問題を解決するためには、南北送電線の拡張が必要です。これは、欧州の電力市場の統合にとっても重要であり、特にドイツの東側の近隣諸国との間の電力のループフローを防ぐために有効です（補論参照）。

ドイツの連邦要求計画法（BBPIG）に基づく電力系統拡張計画には、安定した信頼できる系統運用を確保するために次の10年間に必要な系統拡張・強化策が盛り込まれています。最新の計画には、ドイツ国内で拡張すべき約8,000 kmの新たな送電線（43プロジェクト）が含まれていますが、2016年の時点で建設されているのはそのうち約700 kmにすぎません。

加えて、多くの陸上風力と太陽光発電が直接接続される低圧の配電網も、拡張・強化が必要です。ドイツでは、地域住民の反対運動もあり、電力系統の整備が遅れが生じています。これらの系統拡張プロジェクト実現のために必要な地域住民の支持を得るには、さまざまな利害関係者と対話を重ね、地域レベルで合意を形成することが重要です。

ドイツ南部の系統運用の信頼性確保のため、南北間で系統混雑が発生したときは系統予備力を活用

系統予備力は2012年に制度化されました。系統混雑によってドイツ北部から南部へ十分な電力を輸送することができないときに、この予備力が追加的に電力を

供給します。このようにして、南部地域の系統運用の信頼性が確保されています。系統予備力のために用いられる発電所は、ドイツ南部および近隣諸国にあり、この用途がなければ稼働停止または閉鎖になる発電所です。

ドイツ連邦ネットワーク庁は、2016～17年の冬のために5.4GWの予備力を確保しました。新たな送配電線、特にテューリンゲン電力ブリッジが予定どおり導入されれば、2018～19年までにはこの数値は1.9GW前後まで下げられるでしょう。

2016年に定められた新たな施策は、系統整備の加速化とより適切な調整を目指す

新しい再生可能エネルギー法（EEG2017）や新しい電力市場法に代表される、2016年採択のドイツのエネルギー規制改革では、系統整備を加速化し、系統計画と自然エネルギー拡大をより適切に調整するためのさまざまな施策が導入されています。新しい施策では、系統整備の遅れに対処することが求められています。これらの法律では、系統に関する課題に対して3つの解決策が示されています。

1. 地下送配電線の拡張

現在の連邦要求計画法（BBPIG）は、地下埋設の送配電線の整備を推進することで、系統拡張に対する市民の支持を拡大しようとしています。現在では、高圧直流送電線は送電用の鉄塔を建設する形ではなく地下に敷設しなければなりません。さらに、交流系統の拡張プロジェクトにおいても、部分的に地下埋設とする選択肢が設けられました。系統の地下埋設の利点は、その存在が目立たなくなることで、反対をしてきた地域住民に受け入れられやすくなることです。

建設を妨げる訴訟を回避できるようになることもあります。しかし、地下の送配電線の利用には、場所、ケーブルの長さ、土壌の硬さ、送電技術（交流または直流）によっては、送電塔と比べると多額の追加費用がかかる場合もあります。

2. ピークシェイピング: 系統計画のための施策

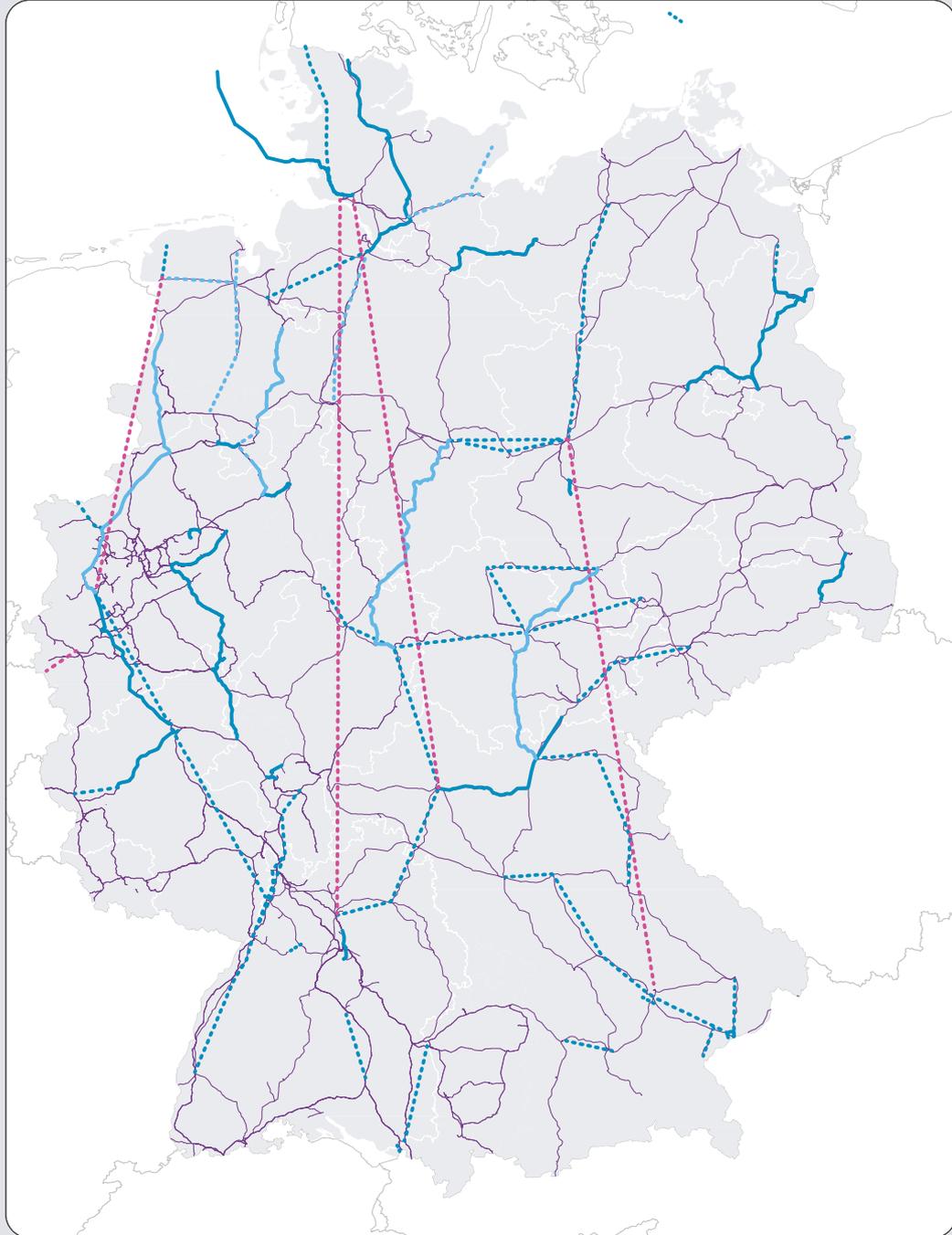
電力市場法では、「ピークシェイピング」と呼ばれる系統計画のための新たな施策が導入されました。従来は、系統は発電された電力のすべてを受け入れなくてはならないという前提に従って、拡張が行われていました。そのため、まれに発生する風力発電機や太陽光発電設備からの給電のピークが、系統拡張の規模を決めることになっていました。「最後の1キロワット時まで対応する」というこの方法は、送配電線拡張の影響を受ける地域住民に対する公平性を欠くだけでなく、経済的にも非効率です。新しい方法では、送電事業者が自然エネルギーによる年間発電量の3%まで出力抑制することができます。この系統拡張のルールによって、系統整備の費用が約20%縮小され、電力システム全体の経済性が高まります。

3. 系統拡張地域における陸上風力発電の追加導入の制限

現在、ドイツには送電系統の負荷が非常に高くなっている地域があります。こうした地域では、系統の混雑が起これ、再給電のような抑制策や、自然エネルギー設備のための給電管理が頻繁に行われています。新しい再生可能エネルギー法（EEG 2017）は、送電網に混雑が発生し過大な負荷がかかっている地域において、新規陸上風力発電の設置を制限する新たな制御策を導入しています。

ドイツの送電線プロジェクトの分布*：
 *連邦要求計画法 (BBPIG) とエネルギー網拡張法 (EnLAG) に基づく

図19



- 地下埋設の直流送電線 (計画中の送電線の最短直線距離) — 架空送電線 — 既存の電力系統
- 地下埋設の交流送電線 - - 地下埋設の交流送電線 (計画中の送電線の最短直線距離)

出典：Agora Energiewende、ドイツ連邦ネットワーク庁(2016)のデータに基づく

Q10 ドイツはなぜ再生可能エネルギー法を見直し、入札制度を導入したのですか？

A10

2016年に行われたドイツの最新の再生可能エネルギー法改正は、自然エネルギーのシェア拡大を、より低コストで着実なペースで進めることを目指しています。入札に基づく新制度は、自然エネルギー発電事業の補助金制度に、いっそうの競争性を導入します。ドイツの自然エネルギー部門は既に十分に成熟し、競争的な環境にあるため、この新制度によってさらにコストが削減され、電力システムへの自然エネルギーの統合も進むでしょう。しかし、この制度はエネルギー産業の大部分に大きな影響を与えることになります。

再生可能エネルギー法 (EEG) は、自然エネルギーの継続的で持続可能な成長を確かなものに

1990年代以来、ドイツにおける自然エネルギーの拡大は、ドイツの再生可能エネルギー法 (EEG) をはじめとする規制の枠組みにより推進されてきました。その枠組みでは、自然エネルギーの発電事業者への投資のための好条件が保障されています。ドイツの再生可能エネルギー法 (EEG) は、長年にわたって継続的に改正されています。法改正のたびに、イノベーションを推進し、技術発展とコスト削減を加速し、自然エネルギー電力の系統および市場への統合を促進するための一連の規則が定められています。このような支援の仕組みによって、電力消費量に占める自然エネルギーの割合は2000年の6.5%から2016年の32.3%まで連続的に上昇し、自然エネルギー市場は成熟しました。EEGの規則が改正されるたびに、その中長期目標値も引きあげられてきました (図20参照)。

2016年、ドイツ連邦政府と連邦議会は、通称 EEG 2017 とよばれる再生可能エネルギー法とその他の重要なエネルギー規則を改正しました。この新しい再生可能エネルギー法の主な改正点は、自然エネルギープロジェクトの支援が、固定価格買取制度によって政府が決めていた従来の方法から、入札制度によって主に市場で決まる方法に変わるという点です。ドイツ政府は、この新しい入札制度について、自然エネルギーの拡大のコストを抑えながら、ペースを制御して着実に進めるためのものだとしています。EEG 2017 は2017年1月に発効しました。

ドイツ政府はこの新しい法律を、エネルギー転換を成功裏に継続していくために不可欠な基礎となる要件だとしています。一方で、これによってドイツのエネルギー転換の取り組みが減速し、さらには失敗するのではないかと危惧する声もあります。消費者や経済全体にとっては、この新しい規制による変化はほとんどありませんが、エネルギー産業の大部分は大きな影響を受けます。

最新の再生可能エネルギー法 (EEG 2017) の最も重要な要素

EEG 2017 は、ドイツにおける自然エネルギー拡大の目標を再確認しています。2016年の時点で32.3%となった総電力消費量に占める自然エネルギーの割合を、旧法 (EEG 2014) と同様に、2025年までに40~45%、2035年までに55~60%、2050年までに少なくとも80%まで引き上げることを目指しています。EEG 2017では、個別の技術に対する年間追加設備容量も規定されています。

2017年からは、風力発電、太陽光、バイオマスによる大規模発電プロジェクトの主な資金調達的手段として、競争入札制度が用いられるようになります。これからは、自然エネルギーのための資金調達は競争入札によって決まり、稼働開始から20年間は変動する市場プレミアムで賄われます。この入札は、2015年と2016年に行われた太陽光発電向けの入札試行実施を経て、制度設計されました。入札制度の対象は、設備容量が750kWを超える陸上・洋上風力発電所および太陽光発電所と、設備容量が150kWを超えるバイオマス発電所です。固定価格買取制度は、小規模な設備向けに引き続き利用されます。

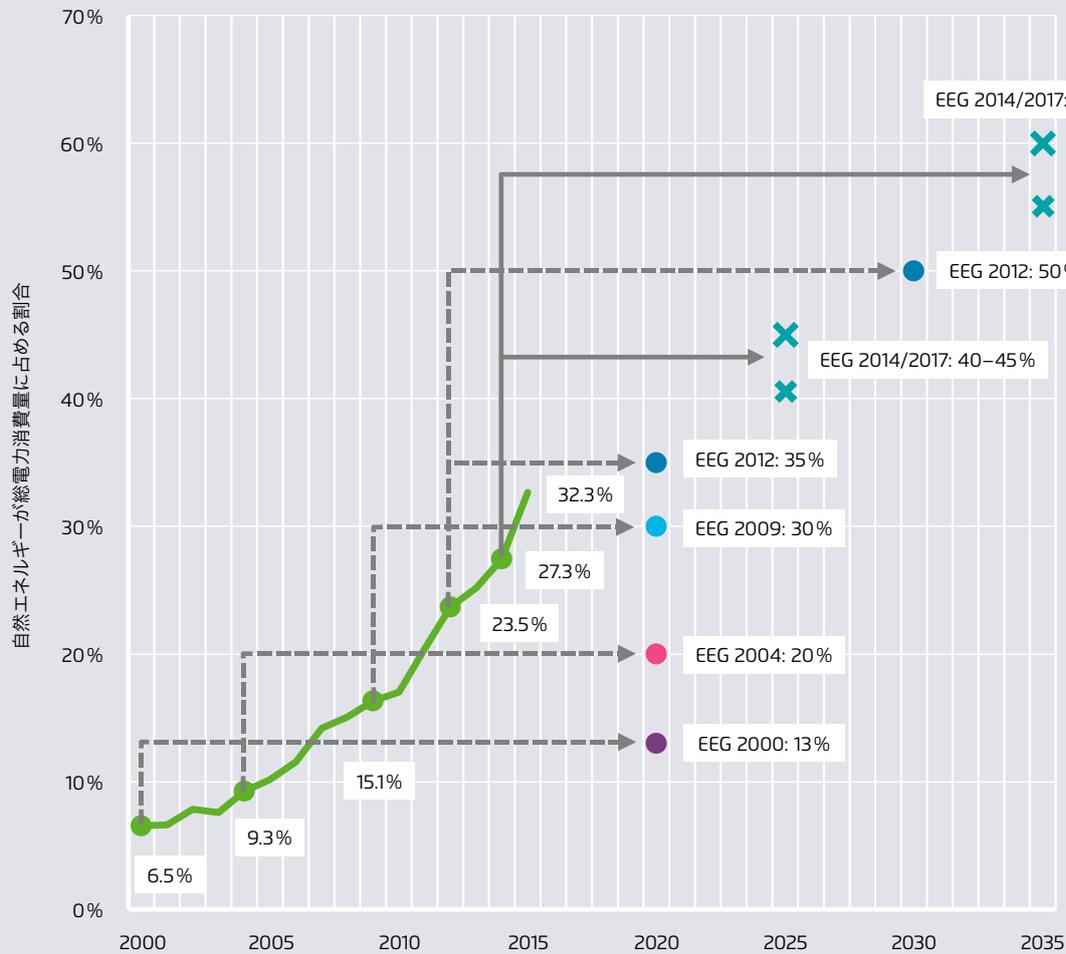
よって、小規模な屋上太陽光発電設備を持つ個人事業者は、実質的には新しい入札制度の影響は受けないこととなります。ただし、ドイツ連邦政府は、今後導入される容量の80%以上が入札にかけられると推測しています。

系統の拡張と自然エネルギー拡大のための計画をより円滑に調整するために、さまざまな施策が導入されています (Q9も参照)。新しい規制は、新規設備を導入する場所の選択にも影響を与えます。南北を結ぶ電力系統が十分に強化されていないにもかかわらず、ドイツ北部では長年にわたって多数の風力発電所が新設されています。2019年以降は、ドイツ北部における風力発電所の増設が大きく減速し、代わりにドイツ中部および南部での新設が増加する見込みです。

EEG 2017では、市民所有の自然エネルギー設備の役割が明確に認められています。これまでの自然エネルギーの拡大は、主に分散型の発電を行う新規参入業者によって推進されてきました (Q8参照)。したがって、エネルギー転換の未来は、これらの小規模事業者の存在にかかっているといえます。この点を考慮して、電力システムに関与するプレーヤーの多様性を維持する方法について、熱い議論が重ねられています。EEG 2017ではこの点に配慮して、市民所有の小規模な陸上風力発電プロジェクトが入札に参加しやすくなっています。このような市民プロジェクトが落札した場合、入札で最も高い市場プレミアム価格を受け取ることができます。このような特別ルールが設けられているのは、機関投資家と比べてエネルギー協同組合のような小規模事業者は、構造的に不利な条件下にあるからです。新しい制度への移行後も、小規模事業者の参入が十分に維持できるかどうかは、入札初回の終了後に明らかになるでしょう。

自然エネルギーが総電力消費量に占める割合とこれまでの再生可能エネルギー法 (EEG) が定める目標

図 20



1991年の電力供給法 (StromEinspG 1991)

自然エネルギーを対象とする固定価格買取制度の始まり

2000年の再生可能エネルギー法 (EEG 2000)

目標：2010年までに自然エネルギーの設備容量を倍増。支払額の削減を伴う固定価格買取制度。優先給電。電力系統への優先接続。

2004年の再生可能エネルギー法 (EEG 2004)

目標：2020年までに自然エネルギー比率を20%に高める。固定価格買取制度の調整。

2009年の再生可能エネルギー法 (EEG 2009)

目標：2020年までに自然エネルギー比率を30%に高める。固定価格買取制度の調整。給電量を引き下げる規定。

2012年の再生可能エネルギー法 (EEG 2012)

目標：自然エネルギー比率を、2020年までに少なくとも35%、2030

年までに少なくとも50%、2040年までに少なくとも65%、2050年までに少なくとも80%に高める。固定価格買取制度の調整。自発的な市場プレミアムモデルの導入。

2014年の再生可能エネルギー法 (EEG 2014)

目標：自然エネルギー比率を、2025年までに40~45%、2035年までに55~60%、2050年までに少なくとも80%に高める。大規模発電所に対する市場プレミアムモデルの義務付け。風力・太陽光発電の技術目標。太陽光発電の入札試行。

2017年の再生可能エネルギー法 (EEG 2017)

目標：自然エネルギー比率を、2025年までに40~45%、2035年までに55~60%、2050年までに少なくとも80%に高める。大規模発電所に対する入札制度の導入、市民エネルギー事業に対する例外規定有り。

出典：Agora Energiewende

あとがき

「日本版エネルギー転換」 を実現するためにドイツから学ぶ

2011年3月の東日本大震災、東京電力福島第一原子力発電所の事故から、すでに6年が経とうとしています。震災・原発事故以来、多くの人々がエネルギー問題に関心を持つようになり、報道の量も、事故前の5年間と事故以降の5年間を比べると倍に増えています。しかし、実際の日本のエネルギー政策は、まだ明確な方向性が定まらないうままです。

2016年11月4日、COP21での合意から一年を待たずに「パリ協定」が発効しました。日本は発効の4日後にようやく批准しました。「パリ協定」の目指す脱炭素の世界を実現するためには、日本も、脱炭素電力システムの構築に向けた「エネルギー転換」に向かう必要があります。

すでに最初の動きが始まっています。2012年に導入された固定価格買取制度（FiT）は、自然エネルギー電力を飛躍的に伸ばしましたが、そのほとんどは太陽光発電（2016年末に約43GW、43百万kW）で、世界各国でこれまでもっとも価格競争性を発揮してきた風力は、FiTの恩恵を受け切れておらず、わずか約3GW（3百万kW）にとどまったままです。そして、当初は固定価格が高く設定されていたため、賦課金の上昇を招き、日本政府は、大規模太陽光への入札の導入を決めました。発電と系統を独占する大手電力会社に対する自然エネルギーの系統連系も課題を残したまま、変動型自然エネルギーである太陽光や風力に対する無制限・無補償の出力抑制が導入され、新しい事業への投資を難しくしています。

日本政府は、震災後に、電力システムの改革を開始しました。2016年4月には、一般家庭等も電力会社を選ぶことができる「電力小売り自由化」が始まりました。2020年には大手電力会社の発・送配電分離も予定されています。しかしこのシステム改革は、一貫性に欠けています。政府が2016年末に導入を決めた、新しい政策は、原子力や石炭などの「ベースロード電源」を取引する市場を設立するなど、近代的な市場設計とは言えません。いまや、欧州や米国では、「ベースロード電源」という考え方が、太陽光や風力などの電力システムへの統合の妨げとなると認識され、すでに時代遅れのものになりつつあります。

国内に23GW（23百万kW）の計画がある石炭火力の新增設も、今一度熟考が必要です。これだけの規模の石炭火力発電所を、これから建設し、運転開始するならば、政府の掲げる2050年に80%の温室効果ガス削減は実現できません。

今から10数年前、2000年前後には、太陽光や風力発電が発電量に占める割合は、ドイツも日本もまだ1%以下でした。2016年の時点では、ドイツでは18%までに拡大しましたが、日本ではまだ5%程度に留まっています。一方で、日本の日射量はドイツよりもずっと豊富で、長い沿岸部を持つ日本の風力資源も、大きな期待が持てます。むしろ、日本は、先進工業国でありながら、太陽や風だけでない、地熱、水力、バイオエネルギーと、大変豊かな自然エネルギー資源を持つ珍しい国です。自然エネルギーの拡大を分けたのは、ドイツと日本のエネルギー政策の違いだけです。

日本のエネルギー政策のどこをどう変えなければならないのか。ドイツのエネルギー政策の姿を偏りなく紹介する本書には、方向転換を考えるための貴重な示唆がたくさん含まれています。

「日本版エネルギー転換」を実現するために、本書が一人でも多くの皆さんに読まれること、そして、脱炭素の電力システムを日本で実現するために、忌憚のない議論ができることを期待しています。

公益財団法人 自然エネルギー財団 事業局長

大林 ミカ

補論

ドイツと近隣諸国との間で生じる電力の流れは、欧州全体の発電所の発電を、市場取引に基づいて最適化した結果です。欧州各国の国内での電力系統の制約によって、物理的な電力の流れ (physical flows) と商業取引に基づく電力の流れ (commercial flows) が異なる場合があります。

欧州各国間の電力の流れは、市場取引に基づいて発電所への給電指令を1時間ごとに行うことで生じます。1時間間に、自国で発電するよりも、隣国から電力を輸入する方が安ければ、商業取引に基づく電力の流れは、市場のしくみによって、電力の安い国からより高い国へと向かうことになります。だからといって、電力を輸入している国で発電所の容量が不足しているわけではありません。

しかし、こうした商業取引に基づく電力の流れ (電力消費国と発電国の電力取引の結果として発生) は物理的な電力の流れ (物理法則に従って電気が流れる経路) と異なる場合があるため、国境を越えて電力を融通しあっている国家間で、電力の流れを測定するのは困難です。こうした違いは、各国の国内電力系統の制約によって生じるもので、トランジットフローやループフローとも呼ばれる計画外の物理的な電力の流れを生み出す可能性があるのです。

ドイツ北部の風力発電による余剰電力をドイツ南部に輸送する際、ドイツ国内の系統制約のため、隣国ポーランドやチェコを通過する計画外の電力の流れが発生することがあります。この数年間、こうした計画外の流れが原因となって、ドイツとポーランド間の電力取引が減少してきました。このいわゆるループフローの問題は、ドイツとポーランドの2国間での再給電措置によって暫定的に解決されました。さらにその後、ドイツとポーランドの国境と、ドイツとチェコの国境で位相調整器が導入されました。

独仏間の物理的な電力の流れだけを見ると、フランスからドイツに電力が流れ込んでいるため、ドイツがフランスから電力を輸入していると決め付けてしまいかねません。しかし実際は、このような電力の流れの多くは、フランスからドイツを通過して、最終的にはスイスやイタリアに向かっていきます。よって、独仏間の物理的な電力の流れだけをみて、ドイツがフランスから電力を輸入していると判断を下すのは誤りです。

主な文献

Agora Energiewende (2015). *Understanding the Energiewende. FAQ on the ongoing transition of the German power system*. Berlin, Agora Energiewende.

Agora Energiewende (2016). *Eleven Principles for a Consensus on Coal: Concept for a stepwise Decarbonisation of the German power sector (Short Version)*

Agora Energiewende (2016). *Energiewende: What do the new laws mean?*

Agora Energiewende (2017). *The energy transition in the power sector: State of affairs 2016*.

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2016). *Stromerzeugung nach Energieträgern 1990 – 2016*. (独語のみ)

BMWi - Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2016). *Fünfter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“* (独語のみ)

BDEW – German Association of Energy and Water Industry (2016). *Energiemonitor 2016: Das Meinungsbild der Bevölkerung* (独語のみ)

BNetzA and BKA - German Competition Authority and Federal Network Agency (2016). *Monitoringbericht 2016*. (独語のみ)

UBA – German Federal Environment Agency (2016): *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2015*. (独語のみ)

trend:research and Leuphana (2013). *Definition und Marktanalyse von Bürgerenergie in Deutschland*. (独語のみ)

DIW, DLR, GWS, Fraunhofer ISI, Prognos (2016). *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland*. (独語のみ)

**アゴラ・エナギーヴェンデと自然エネルギー財団は、
ドイツと日本をはじめとする世界各国のエネルギー転換にどのように貢献しているのでしょうか？**

ドイツのアゴラ・エナギーヴェンデは、エネルギー政策に関わるステークホルダーとの対話を中心とするシンクタンク、政策研究所です。ドイツ、ヨーロッパ、そして世界中のエネルギー転換を成功させるために、科学的な根拠に基づいた、政策的に可能なアプローチを行うことを旨としています。公共政策・市民組織・企業・学術関係者と協働し、エネルギー転換とその課題や政策取り組みについて、共通理解を築くことを目的としています。

公益財団法人 自然エネルギー財団は、東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故を受けて、孫正義（ソフトバンクグループ代表）を設立者・会長として2011年8月に設立されました。安心・安全で豊かな社会の実現には自然エネルギーの普及が不可欠であるという信念から、自然エネルギーを基盤とした社会を構築することを目的として活動しています。自然エネルギー政策についての調査研究や提言、企業・自治体・消費者団体などとのネットワークづくり、国内外の最新情報の紹介等を行っています。

アゴラ・エナギーヴェンデと自然エネルギー財団は、ドイツと日本のエネルギー転換に関する専門知識や情報交換の促進を図るため、2016年に連携を開始しました。



アゴラ・エナギーヴェンデ (Agora Energiewende)

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin

TEL: +49 (0)30 700 14 35-000

FAX: +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-energiewende.de

info@agora-energiewende.de



自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

公益財団法人 自然エネルギー財団

〒105-0003 東京都港区西新橋1-13-1

DLX ビルディング 8F

TEL: 03-6866-1020 (代表)

FAX: 03-6866-1021

www.renewable-ei.org

info@renewable-ei.org

