

ドイツの電力・エネルギー事情と ビジネスチャンス

2012 年 5 月

日本貿易振興機構(ジェトロ)

本報告書に関する問い合わせ先：
日本貿易振興機構（ジェトロ）
機械・環境産業部 機械・環境産業企画課

〒107-6006 東京都港区赤坂 1-22-32
TEL:03-3582-7571
Email:TNAREPORT@jetro.go.jp

【免責事項】

ジェトロは、本報告書の記載内容に関して生じた直接的、間接的、あるいは懲罰的損害および利益の喪失については、一切の責任を負いません。これは、たとえジェトロがかかる損害の可能性を知らされていても同様とします。

©JETRO 2012

本報告書の無断転載を禁ずる。

目 次

はじめに	1
第一部 政策動向編	2
1. 再生可能エネルギーとは	2
2. 再生可能エネルギーの普及状況	2
3. ドイツの再生可能エネルギー支援策	5
3.1 ドイツ連邦政府のエネルギーコンセプト	5
3.2 エネルギー支援政策	7
3.3 固定価格買い取り制度 (FIT)	7
4. 地方自治体の再生可能エネルギー支援策	11
4.1 バイエルン州とバーデン・ヴュルテンベルク州の再生可能エネルギー政策	12
4.2 バイエルン州	12
4.3 バーデン・ヴュルテンベルク州	14
第二部 技術動向編	16
1. ドイツにおける再生可能エネルギーの拡大	16
1.1 太陽光発電と風力発電	18
2. 太陽光発電技術動向	24
3. 風力発電技術動向	30
4. 再生可能エネルギーの技術的問題点	33
4.1 高圧送電線の不足	34
4.2 蓄電技術への期待	35
第三部 ビジネスチャンス編	37
1. ドイツ市場におけるビジネスチャンス	37
2. 太陽光発電	37
3. 風力発電	42
3.1 ドイツ市場と日本市場の違いを理解する	45

4. E-モビリティ	47
5. まとめ：ドイツ市場でチャンスを掴むには.....	51
文献リスト	52

図表目次

図 1	世界の再生可能エネルギー発電設備容量と上位 5 カ国	3
図 2	新規太陽光発電設置容量の国ごとのシェア	3
図 3	風力発電の新規設置容量の国ごとのシェア	4
図 4	ドイツの電力における再生可能エネルギーの割合	4
図 5	導入量と発電量にみる再生可能エネルギー電源シェア	5
図 6	固定価格買い取り制度の仕組み	8
図 7	固定価格買い取り額の消費者負担内訳	10
図 8	バイエルン州の目標と手法（太陽光と風力）	13
図 9	電力供給法と再生可能エネルギー法による再生可能エネルギーの拡大と支払額の推移	16
図 10	再生可能エネルギー法による再生可能エネルギー導入効果	17
図 11	ドイツ初の洋上風力発電所 アルファ・ヴェントウス	17
図 12	ドイツの太陽光発電の推移	18
図 13	2010 年末の世界の太陽光発電累積発電容量と 2010 年の新規設置容量	19
図 14	ドイツの風力発電の推移	19
図 15	認可済みのオフショア風力発電所の発電容量	20
図 16	ドイツにおける風力発電の推移予測	21
図 17	州ごとにみた太陽光発電と風力発電の設置容量	22
図 18	オンショア風力、オフショア風力、PV の増加要因	23
図 19	世界の再生可能エネルギーへの投資額	24
図 20	ドイツの太陽光発電のマーケットセグメント	25
図 21	太陽光発電パネルのメーカーごとのシェア	26
図 22	ドイツ国内の太陽光発電メーカー	27
図 23	太陽光発電技術とセル技術、モジュール技術の効率性	28
図 24	太陽光発電の発電費用と電力料金	29
図 25	太陽光発電パネルのコスト構造	30
図 26	風車のサイズごとシェア	31
図 27	風車のローターの直径別シェアの推移	31
図 28	タービンメーカーシェア	32
図 29	風車のコスト構造	33
図 30	今後必要になる高圧送電線（抜粋）	35
図 31	太陽光発電システム全体概略図	37
図 32	駐車場の屋根と一体となった太陽光発電パネル	39
図 33	発電用風車の仕組み 1	43
図 34	発電用風車の仕組み 2	44
図 35	各国の風力市場の成熟度	45

図 36	ドイツにおける電気自動車その他の普及実績と予測	49
図 37	ドイツ連邦政府の E-モビリティ市場の到達目標	50
図 38	ドイツ連邦政府の E-モビリティ支援計画	50
表 1	2010 年以降のドイツの政策の流れ	6
表 2	2011 年ドイツ連邦政府のエネルギーコンセプト	6
表 3	再生可能エネルギーの導入目標.....	7
表 4	ドイツの再生可能エネルギー支援策の例.....	7
表 5	固定価格買い取り制度による太陽光発電の買い取り価格	9
表 6	固定価格買い取り制度による風力発電の買い取り価格	9
表 7	ドイツの各省による研究開発援助資金とその融資先	11
表 8	太陽光発電モジュール価格（2011 年 1 月）	29
表 9	風力発電機の中で特に故障が多いとされる部位（日本の場合）	44
表 10	風力発電タービンメーカーとそのサプライヤー	46

はじめに

2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故の影響を受け、ドイツ連邦政府は 3 月 15 日には稼働中だった 7 基の原子力発電所を停止させた。6 月 6 日には脱原子力路線を強化するべく、「2022 年までにすべての原子炉を停止する」閣議決定がなされた。ドイツは 1990 年の電力供給法、2000 年の再生可能エネルギー促進法など、長年にわたり原子力、化石燃料の代替手段として再生可能エネルギーを拡大してきた。ドイツの再生可能エネルギー供給は 2011 年には電力ベースで 20%を超えている。再生可能エネルギー市場の成長を牽引してきたのが太陽光発電と風力発電である。しかし、2022 年までに脱原子力を達成するという目標は再生可能エネルギー市場のさらなる成長なくしては達成できない。ドイツ連邦政府は 2010 年に策定されたエネルギーコンセプトですでに示していた意欲的な再生可能エネルギー普及目標をさらに積極的に後押しする政策を推し進める予定である。

こうした流れを受け、多くの企業が今後 10 年間に投資の機会と捉えている。ドイツの再生可能エネルギー市場は今後も発展を続け、さらには今後スマートグリッドや E-モビリティなどの新たな技術を統合しながらより大きなエネルギー供給システム市場として発展していくとする見方もある。これは最先端の技術を持つ日本企業にとっても大きなビジネスチャンスとなるはずである。

こうした状況を踏まえ、本報告書ではドイツの脱原発路線強化で生まれるビジネスチャンスを日本企業のビジネスチャンス拡大につなげるべく、同国の再生可能エネルギー市場の動向を中心に報告する。この報告書は、ドイツの再生可能エネルギー市場についてほとんど知識がないという方や、ドイツの再生可能エネルギーについては知っているがそれを自らのビジネスチャンスとして考えたことはなかったという方に、ドイツ市場の現状をお伝えするために作成したものである。報告書は大きく 3 つのパートから成る。1 つが「政策動向編」であり、再生可能エネルギー供給システムにおける政府の役割、政策を中心に上げる。次に「技術動向編」であり、長年ドイツの再生可能エネルギーを牽引してきた太陽光発電と風力発電を中心に現状をリサーチする。最後に「ビジネスチャンス」と題して、日本企業にチャンスがあるとすればどこを狙うべきかについて考察する。

第一部 政策動向編

1. 再生可能エネルギーとは

日本では 2011 年 8 月「再生可能エネルギー促進法¹」が可決され、今後は日本でも再生可能エネルギーを利用した発電設備の普及を促進していくことが政府の方針として定められた。

再生可能エネルギーとは、再生可能エネルギー促進法第 2 条 4 項によれば、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス、その他と定められている。通常はこれらのうち、太陽光、風力、小型水力、地熱、動植物由来のバイオマス、廃棄物利用バイオマスを指すことが多く、その場合には自然エネルギーとも呼ばれる。

また、ドイツでは再生可能エネルギー法 3 条 3 項において「波力エネルギー、潮汐エネルギー及び海流エネルギーを含む水力、風力エネルギー、太陽光エネルギー、地熱、バイオガス、廃棄物ガス及び汚泥ガスを含むバイオマス並びに家庭廃棄物及び産業廃棄物の生分解可能な部分から生産されたエネルギー」²とされている。

これらのエネルギーは自然の循環と太陽から降り注ぐエネルギーによって半永久的に再生産されるので、再生可能エネルギーと呼ばれている。このエネルギーを電力として利用すれば、二酸化炭素の排出量が少なく、環境に対する負荷が少ないと言われている。そのため、化石燃料、原子力に代わるエネルギー源として世界で、特にドイツで開発と普及が進められてきた。

2. 再生可能エネルギーの普及状況

再生可能エネルギーは世界中で普及が進んでいる。2005 年から 2010 年の世界の平均成長率は太陽光発電で 49%（2010 年では 72%）、太陽光発電の系統連係型では 60%（2010 年 81%）、風力発電は 27%（2010 年 25%）となっている（REN21 2011）。ドイツは 2010 年時点で、太陽光発電の導入量が世界一となっている（図 1）。

¹電気事業法等による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（平成二十三年八月三十日法律第百八号）

² 翻訳は（渡邊 2005）を参照。

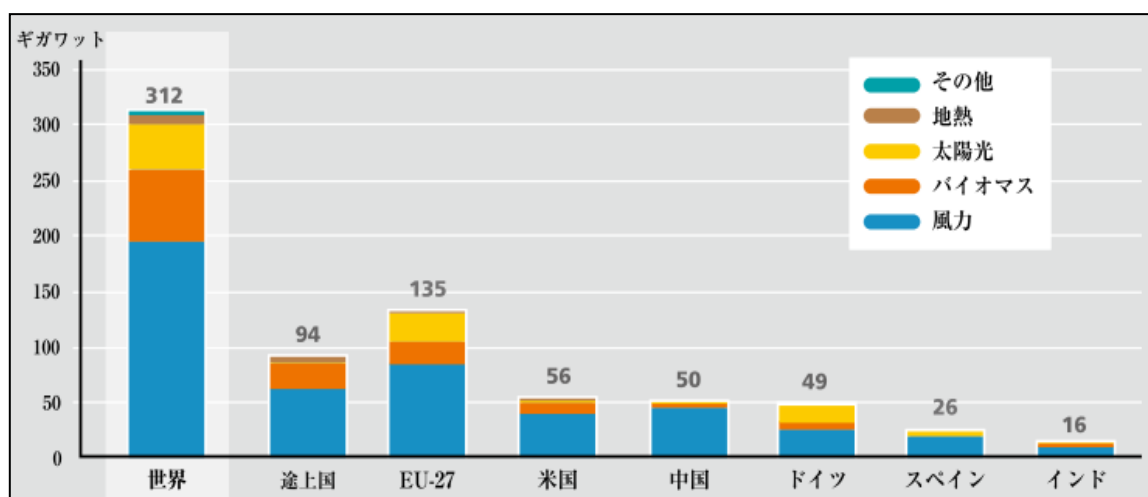


図 1 世界の再生可能エネルギー発電設備容量と上位 5 カ国

※水力は除く

出所：(REN21 2011)

図 2、図 3 はそれぞれ太陽光発電と風力発電の 2010 年の新規設置容量を国ごとのシェアで見たものである。これを見るとドイツに限らず、EU 全体で世界の太陽光発電市場を牽引していることがわかる。日本 (990MW) はチェコの 1,490MW に次いで世界第 4 位の水準となっている。ドイツは 2010 年の新規設置容量が 7,408MW であり、第 2 位のイタリアを大きく引き離して第 1 位である。

風力では近年国策として急激に伸びている中国、さらには米国やインドなどに比べると存在感は小さいが、それでも 2010 年の新規設置要領が 1,493MW と、EU の中ではスペインに次いで多い。

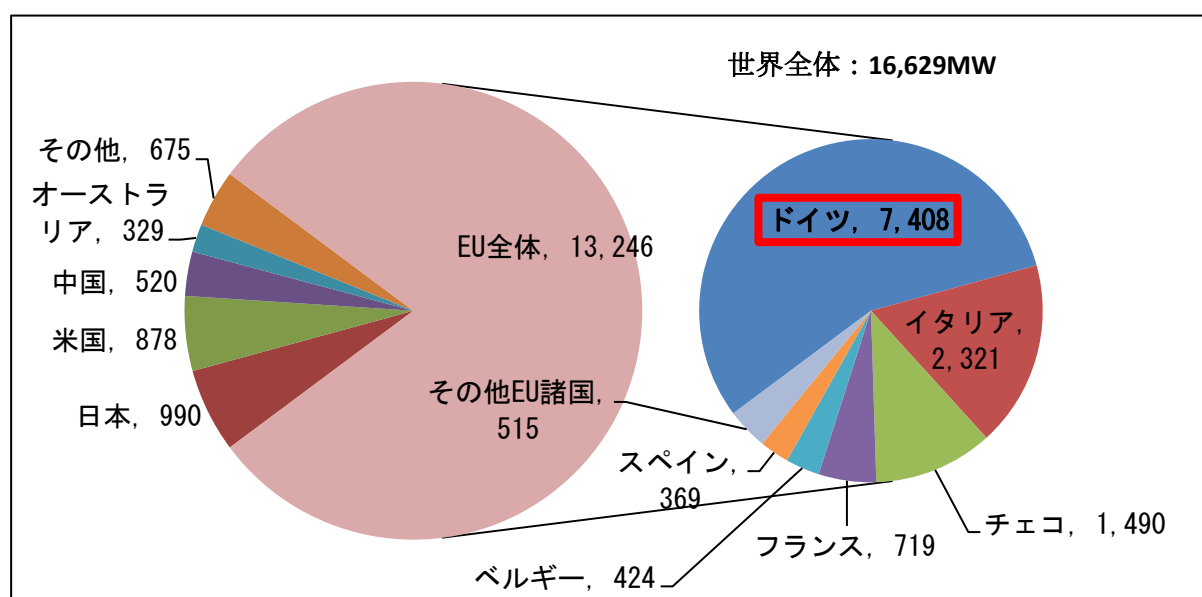


図 2 新規太陽光発電設置容量の国ごとのシェア

(2010 年、MW) 出所：(EPIA 2011)

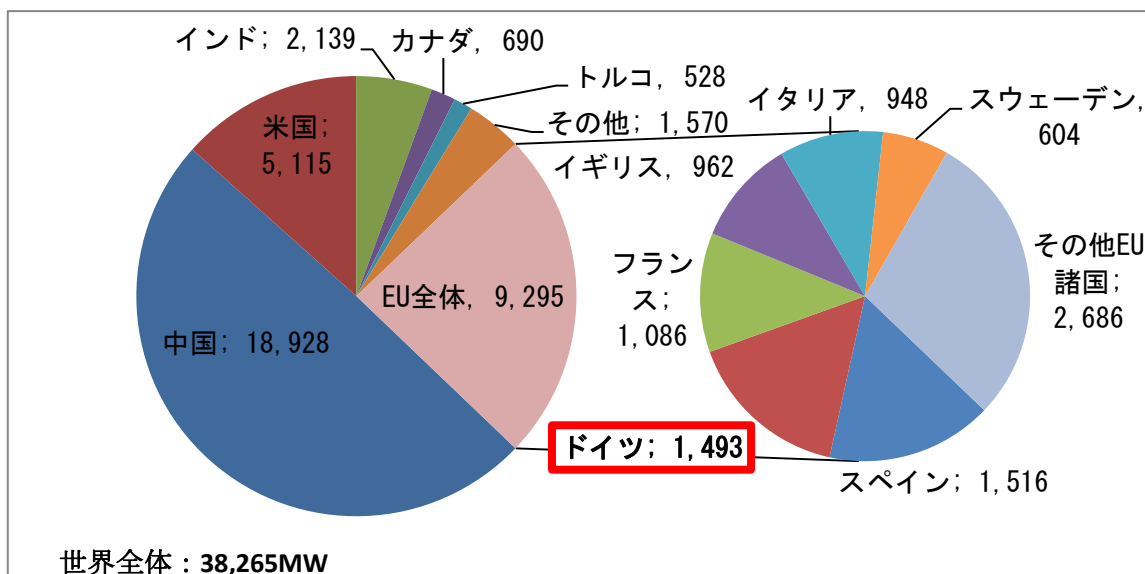


図 3 風力発電の新規設置容量の国ごとのシェア

(2010 年、MW) 出所：(GWEC 2011)

ドイツ国内を見てみると、2011 年は総発電量の 20%が再生可能エネルギーとなっている (図 4)。再生可能エネルギー発電設備容量を見ると、再生可能エネルギーの 50%が風力発電となっている (図 5)。2 番目に導入量が多いのが太陽光発電 (Photovoltaics:PV) である。導入量と実際の発電量との乖離の原因は、太陽光と風力発電設備の稼働率が水力、バイオマスに比べて低いことにある。ただし、ドイツ国内の水力はすでにかかなりの程度開発されていると言われており、今後成長する余地はあまりないとされる。

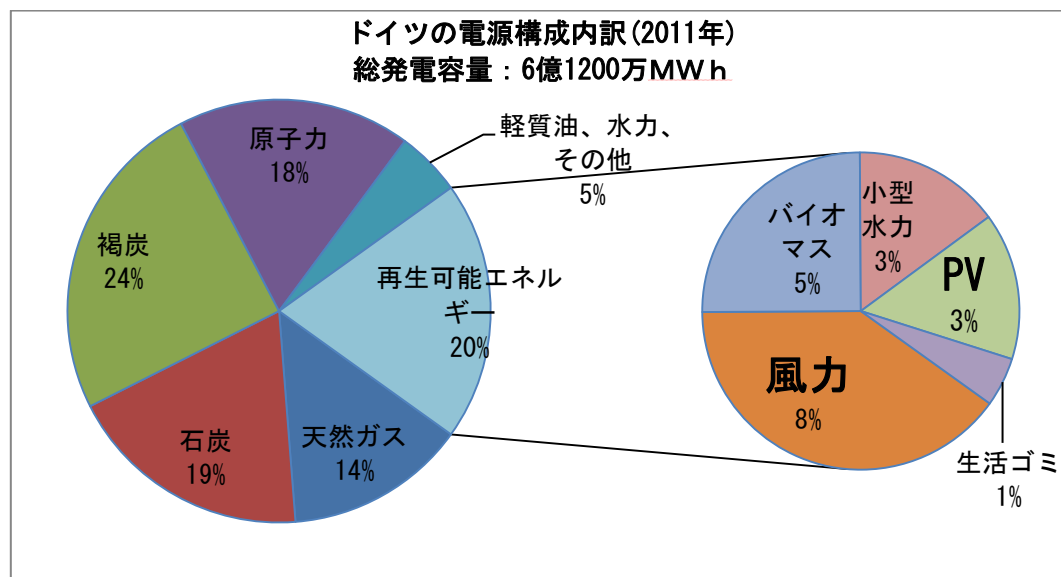


図 4 ドイツの電力における再生可能エネルギーの割合

出所：(BDEW 2011)

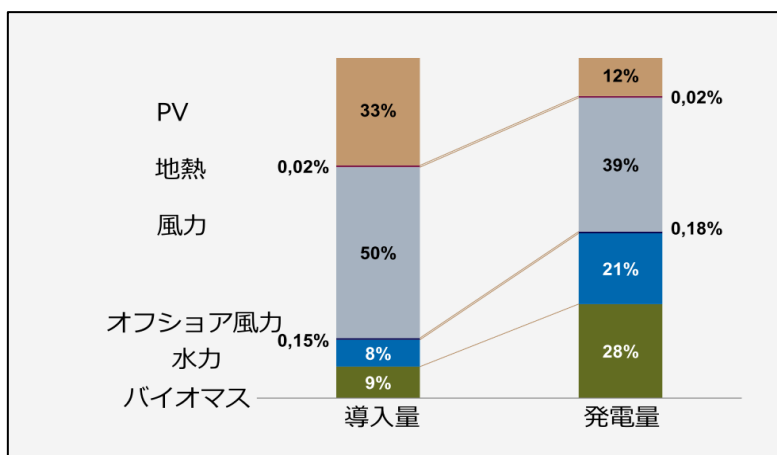


図 5 導入量と発電量にみる再生可能エネルギー電源シェア

(2010 年) 出所：(BDEW 2011)

3. ドイツの再生可能エネルギー支援策

中国、米国に次いで世界第 3 位の再生可能エネルギー電力生産国であるドイツだが、この発展の要因はドイツ連邦政府や各州政府が掲げる高い目標とそれを実現するための支援策にある。

3.1 ドイツ連邦政府のエネルギーコンセプト

2000 年に誕生した社会民主党と緑の党の連立政権は、それまでの電力供給法（1990 年施行）を改める形で再生可能エネルギー法を施行し、再生可能エネルギーの発展を促進するための固定価格買い取り制度（FIT、Feed-In Tariff 制度）を導入した。これと同時に脱原発路線も強化された。

以降、ドイツ国内では再生可能エネルギーの普及が進んできたが、電力需要の削減が思うように進まず、2009 年にはキリスト教民主・社会同盟と自由民主党連立政権が原子力発電所の稼働期間の延長を決定し、脱原発路線は緩やかに進められることになった。2010 年に連邦政府は新しいエネルギーコンセプトを公表し、再生可能エネルギーの発展は今後も変わらず進められていくことが決められた。このエネルギーコンセプトでは再生可能エネルギー促進のみならず、エネルギー利用全体を見据えた目標が設定されており、電力と熱、需要面と供給面のすべてを包括するコンセプトとなっている。

そうした中、2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて、ドイツ連邦政府は再び脱原発路線にかじを切った。3 月 15 日には、稼働中だった 7 基の原子炉（ドイツ国内には合計 17 基の原子炉がある）を緊急停止させ、6 月には 2022 年までにすべての原子炉を完全に停止させることを閣議決定した（表 1）。こうして「2022 年までに原発から完全に撤退する」と「高圧送電線網の整備」を新たに加えた 2011 年エネルギーコンセプトが作成された（表 2）。今後はこの 2011 年版エネルギーコンセプトに沿って、様々な政策が実施されていくことになる。

エネルギー利用は国の産業の根幹にも関わるため、エネルギーコンセプトは今後のドイツ連邦政府の政策全てに関わるグランドデザインを提供すると言ってもよいだろう。

表 1 2010 年以降のドイツの政策の流れ

2010 年 9 月	新エネルギーコンセプト発表
2010 年 10 月	国内の原発 17 基の稼働期間を延長することを発表
2011 年 3 月 11 日	東京電力福島第一原発事故
2011 年 3 月 15 日	稼働中の原発 7 基を緊急停止
2011 年 6 月	2022 年までに原子力発電からの撤退を決定 エネルギーコンセプト改訂

表 2 2011 年ドイツ連邦政府のエネルギーコンセプト

温室効果ガス	・2020年までに40%、2050年までに80%削減（1990年比）
1次エネルギー消費	・2020年までに20%、2050年までに50%削減（2008年比）、すべての面における効率エネルギー効率改善ポテンシャルを可能な限り利用する。
熱需要	・2020年までに20%、2050年までに80%削減
エネルギー改築	・エネルギーを高めるための改築の実施率を現在の1%から2%に倍増させる。2050年までに建築ストックにおける二酸化炭素収支をゼロに近づける。
電力消費	・2020年までに10%、2050年までに25%削減（2008年比）
電気自動車	・2020年までに100万台、2030年までに600万台導入
再生可能エネルギー	・最終エネルギー消費における割合を2020年までに35%、2050年までに80%に引き上げ
電力輸入	・脱原発により将来的な電力不足に対処するため、輸入は必要と想定している（下記注記参照のこと）
オフショア風力	・2030年までに25GWに拡大。南北をつなぐ送電線を整備
2011年に追加された項目	・送電線インフラ整備を加速 ・2022年までに原子力発電から撤退

注記：電力輸入に対して緑の党は反論。他の政党のスタンスについては次のとおり。

CDU/CSU 電力輸入は可能な限り回避すべき

SPD 脱原発の達成に向けた省エネ建築と省エネ交通を強く推進する

FDP 電力輸入について、完全に拒否はしないが、国内設備による電力供給を可能な限り高めるべき

3.2 エネルギー支援政策

表 3 はエネルギーコンセプトの中から、ドイツ連邦政府が掲げる再生可能エネルギーの導入目標を抜き出したものである。再生可能エネルギーは電力以外に熱エネルギーも供給できるため、電力における再生可能エネルギーのシェアと熱エネルギーなども含めた総エネルギー消費におけるシェアの両方が設定されている。これをみると、ドイツ連邦政府は 2050 年までに電力の最低でも 80%を再生可能エネルギーから得る計画となっている。

表 3 再生可能エネルギーの導入目標

目標年	電力消費におけるシェア	総エネルギー消費におけるシェア
	[%] 少なくとも	[%]
2020	35	18
2030	50	30
2040	65	45
2050	80	60

この目標の実現に向け、ドイツ連邦政府は様々な政策を実施している。表 4 はその主なものを表にしたものである。

表 4 ドイツの再生可能エネルギー支援策の例

固定価格買取制度 (FIT)
・発電された再生可能エネルギーを一定期間一定価格で買い取る
ドイツ復興金融公庫 (KfW) 等による金融支援
・再生可能エネルギー発電設備の設置、拡張、購入に対する低利子融資制度
減税・税控除
・例：太陽光発電設備運営事業者に対する売上税の減税（特に中小企業対象）
補助金
・各州政府による再生可能エネルギーに対する様々な補助金
研究開発プログラム
・連邦政府や州政府による研究開発支援プログラム。主に研究開発支援として研究資金が支払われる。

3.3 固定価格買い取り制度 (FIT)

表 4 の施策の中でドイツの再生可能エネルギーの普及に最も効果的であったとされるのが固定価格買い取り制度である。固定価格買い取り制度とは再生可能エネルギーを用いて発電された電力を買い取ることを電力会社に義務付ける仕組みであり、電源の種類、規模、設備条件などに応

じて買い取り期間と買い取り価格が決定される³。この時生じる買い取りによる費用負担は最終的に消費者に転嫁される仕組みとなっている（図 6）。買い取り価格が長期にわたって固定されることから固定価格買い取り制度と呼ばれている。

ドイツではこの買い取り価格が発電事業者にとって十分に採算のとれる額に設定されており、再生可能エネルギー発電事業者は安定した収入が得られるので有望な投資先と見られるようになった。また、導入する発電設備はどこの国の製品であってもよいので、再生可能エネルギー関連機器を販売している日本企業にとってもこの仕組みは利用可能である^{4, 5}。

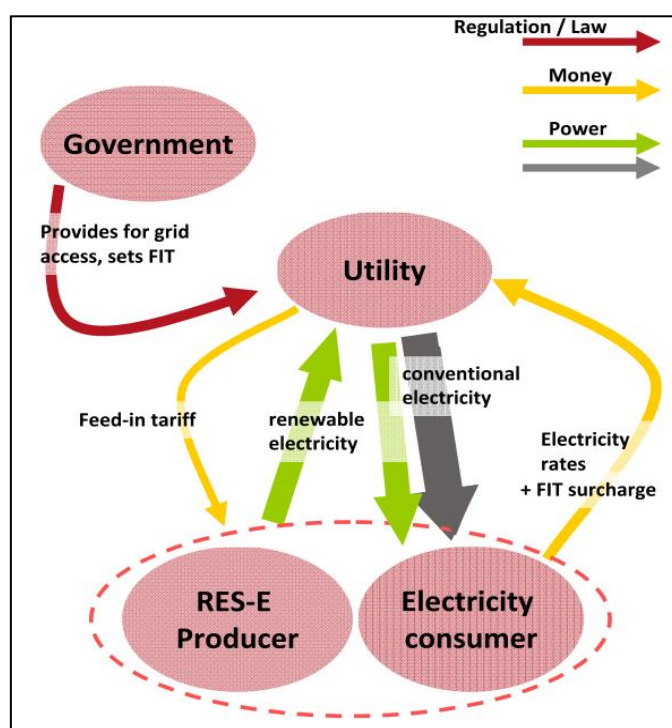


図 6 固定価格買い取り制度の仕組み

出所：(BSW-Solar 2010)

太陽光発電を例に説明すると、連邦政府によって、電力事業者は太陽光発電によって生じた電力を優先的に系統に接続して買い取る義務が課せられている。また太陽光発電電力の買い取り期間は 20 年と定められており、固定買い取り価格は条件によって異なっている。また、新規導入設備の買い取り価格は年率約 9%で減額されることになっており、早期導入を促す仕組みとなっている。

³ 対して日本の政策は固定枠制度と呼ばれ、各電力事業者に総電力量における再生可能エネルギーの占める割合を固定し、その実現を義務付けるものであった。しかし、日本政府は 2011 年 8 月に従来の固定枠制度から固定価格買い取り制度に移行することを決定した。

⁴ ドイツ以外の国や地域では製品の製造元が地元でなければならないといった制限がある場合もある。

⁵ より正確に言えば、ドイツで発電事業者が再生可能エネルギー発電設備を購入する際に日本企業から購入しても固定価格買い取り制度は利用できる、ということである。発電事業者が海外企業であってももちろんかまわない。

固定価格買い取り制度は現在バイオマス、水力、ガス、地熱、オンショア風力、オフショア風力、太陽光発電からの電力に適用され、それぞれ電源、発電容量、稼働開始年、設置条件、設置場所などによって細かくメニューが分かれている。太陽光は固定価格買い取り制度導入当初の買い取り価格はかなり高めに設定されていたが、近年は大幅に減額されている。

2012 年現在の太陽光発電と風力発電の買い取り価格は表 5、表 6 のとおりである。

表 5 固定価格買い取り制度による太陽光発電の買い取り価格

PV(系統に接続)				
	30Kwpまで (Ct/kWh)	30Kwpから (Ct/kWh)	100Kwpから (Ct/kWh)	1000Kwpから (Ct/kWh)
2012年1月1日 より	24.43	23.23	21.98	18.33
PV(自家消費、最大500kWp)				
2012年1月1日より	30Kwpまで (Ct/kWh)	30Kwpから (Ct/kWh)	100Kwpから (Ct/kWh)	
直接消費 >30%	12.43	11.23	9.98	
直接消費 <30%	8.05	6.85	5.60	
PV(平地設置)				
	営業地、営業用建物の 屋根など (Ct/kWh)	転換地(Ct/kWh)		
2012年1月1 日より	17.94	18.76		

※営業地、営業用地建物とは営業施設（工場など）やビジネスパークなどの屋根などを利用するケースを指す。

転換地は 2012 年 1 月 1 日より国立公園やその他自然保護地域の場合には適用されなくなった。

出所：各種資料より作成

表 6 固定価格買い取り制度による風力発電の買い取り価格

オンショア風力(低減率1.5%) 買取期間20年					
	基本補償額 (Ct/kWh)	当初補償額 (Ct/kWh)	システム サービス・ ボーナス (Ct/kWh)	リバワリン グボーナス (Ct/kWh)	容量50kW までの小型 風力発電機 (Ct/kWh)
2012年1月1 日より	4.87	8.93	0.48	0.5	8.93
オフショア風力(低減率7%) 買取期間12年					
	基本補償額 (Ct/kWh)	当初補償額 (Ct/kWh)			
2012年1月1 日より	3.5	15			

出所：各種資料より作成

図 7 は、消費者が負担する固定価格買い取り制度割り当て金の内訳である。2012 年の消費者の負担額は 1kwh あたり 3.592 ユーロセントとなっており、その内の 1.860 ユーロセントが太陽光発電の負担額となる。風力発電は 0.482 ユーロセントとなっている。2012 年には初めて流動性準備金が割り当て金に盛り込まれた。この流動性準備金とは為替相場の変動によるリスクを軽減することを目的として盛り込まれたものであり、純粋な再生可能エネルギーの普及のための消費者負担額は 3.312 セント/kWh となる。これは 2011 年よりも減少しており、このことからドイツ国内の再生可能エネルギー発電コストは減少していることが伺える。

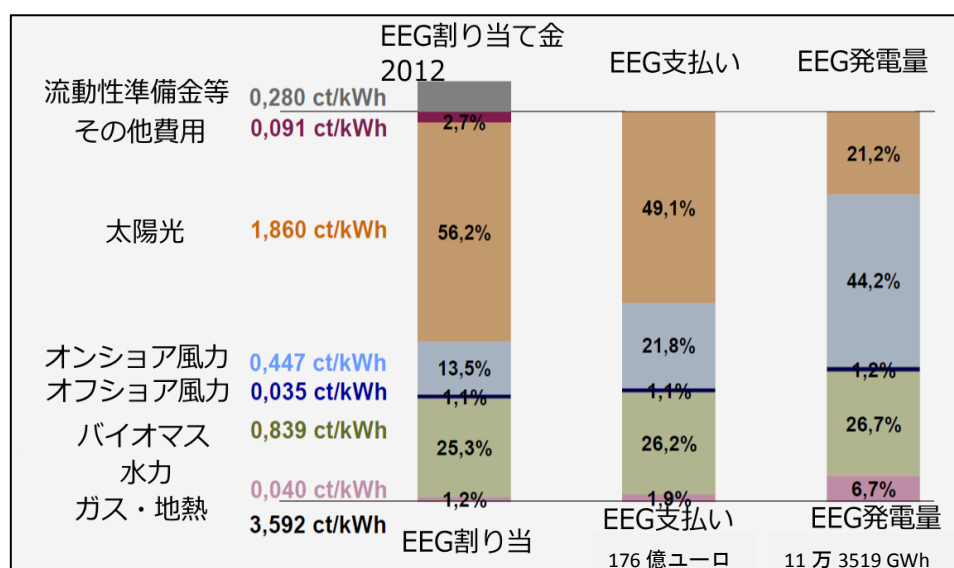


図 7 固定価格買い取り額の消費者負担内訳

出所：(BDEW 2011)

ドイツ連邦政府は市場メカニズムの導入によって再生可能エネルギーを普及させる先例を示したといえる。その後、この固定価格買い取り制度は世界中で普及し、2011 年には少なくとも 61 の国と 26 の地域で導入されている (REN21 2011)。

ドイツ連邦政府では固定価格買い取り制度以外にも多くの支援策を実施している。ドイツ金融復興公庫 (KfW) による金融支援策や主に中小企業を対象とした税控除、再生可能エネルギー発電設備導入にかかる費用に対する低利子融資や補助金などである。これらの制度の多くは日本企業であっても利用可能である⁶。

また、ドイツ連邦政府が重点的に支援している技術研究開発は以下 (表 7) のようなものがある。

⁶ ただし、現地の法人格を取得する必要がある場合もある。

表 7 ドイツの各省による研究開発援助資金とその対象分野

	計画年			
	2011	2012	2013	2014
経済技術省	195,764	183,074	252,474	270,074
エネルギー利用の合理化	119,294	120,894	115,144	122,494
E-モビリティ	21,190	—	—	—
エネルギーと気候基金	22,000	28,500	103,250	113,500
原子力発電の安全性、廃炉技術研究	33,280	33,680	34,080	34,080
環境省	150,866	164,866	229,766	249,366
再生可能エネルギー	128,866	148,866	158,366	158,366
エネルギーと気候基金	22,000	16,000	71,400	91,000
食料農業消費者保護省	34,000	31,500	54,300	62,000
バイオエネルギー	25,000	25,000	25,000	25,000
エネルギーと気候基金	9,000	6,500	29,300	37,000
教育研究省	70,000	69,500	105,900	112,923
エネルギー効率	15,300	15,800	16,300	12,300
再生可能エネルギー	18,700	18,200	17,700	18,623
原子発電の安全性、廃炉技術研究	10,000	10,000	10,000	10,000
技術融合	11,000	14,000	14,000	11,000
エネルギーと気候基金	15,000	11,500	47,900	61,000

(単位 1,000 ユーロ)

出所：Bundesanzeiger、2011 年 8 月 9 日、Bekanntmachungen No. 134、3109 ページ

4. 地方自治体の再生可能エネルギー支援策

再生可能エネルギー支援では、連邦政府と並んで地方自治体も重要な役割を果たしている。エネルギー政策は国の管轄となっているが、再生可能エネルギー発電に利用する土地の利用計画策定などは地方政府の権限となっている。例えば風力発電を例にとると、ドイツ国内であればどこでも（例えば民家の隣など）発電用風車を建てて良いというのではなく、建てて良い地域と建ててはいけない地域が区画化（ゾーニング）されており、建設可能な地域にしか風車は立てられない。これは例えば日本で問題となっている低周波による健康被害対策などに有効であるとされる。このゾーニングの権限は地方自治体にある。そのため、地方自治体の政策が再生可能エネルギーの発展にも重要な役割を果たしている。

また、ドイツでは電力市場が発電と送電に分割されており、かつ自由化されている。ドイツの地方自治体には伝統的に電力公社を持っているものもあり、これらの電力公社では再生可能エネルギーの導入が盛んになっている。これには経済的な理由もある。1 つには再生可能エネルギー導入施策には国、州政府、ひいては EU からの補助金を得られる可能性がある点、2 つ目には自治体の経済基盤の強化という点である。

1 つ目の補助金という点だが、ドイツでは各地方自治体がエネルギーコンセプトを策定している場合も多い。

ドイツでは地方自治体が自前の電力公社を有している場合もある。電力公社は発電部門と送電部門の両方を持っているものもあれば、送電だけを行なっている場合もある。送電部門だけを事業としている電力公社の場合には大手電力会社から電力を買っている場合も多い。

こういった自治体では再生可能エネルギーを導入すれば国や州政府、EU に対して設備の建設費用などについて補助金の申請ができるため、大手電力会社との契約を打ち切り、中小の再生可能エネルギー発電事業者と契約する、自前の再生可能エネルギー発電設備を建設するといった場合もある。

2 つ目の自治体の経済基盤強化という観点から見ると、火力発電所などでは石油を購入するため、発電にかかる費用の多くが地域外に流れていた。しかし、再生可能エネルギーではこれらの電力購入費用がそのまま地元の再生可能エネルギー発電事業者や個人に落ちるため経済の活性化につながるという。石油の価格は長期的に見れば上昇を続けており、今後はますます自治体の財政を圧迫していくと見られるため、再生可能エネルギーへの転換が進められているのである。

ドイツの地方自治体はエネルギー政策に関して積極的に関与している。日本企業がドイツに進出する際に窓口となるのは連邦政府ではなく地方自治体のほうが一般的であろう。各地方自治体が再生可能エネルギーの中でも何に力を入れているのか、どのような支援を行なっているのか、どのような土地利用計画を持っているのかは重要な意味を持つはずである。

4.1 バイエルン州とバーデン・ヴュルテンベルク州の再生可能エネルギー政策

ここではバイエルン州とバーデン・ヴュルテンベルク州（BW 州）の再生可能エネルギー政策を紹介する。ドイツには全部で 16 の州があるが、この 2 州は経済的にドイツを支える重要な 2 州である。

4.2 バイエルン州

バイエルン州は 2011 年 5 月に新しいエネルギーコンセプトを公表した。このエネルギーコンセプトは日本の原子力発電所事故の影響を受けて改定されたもののようである。「Bayerisches

Energiekonzept „Energie innovativ “と名付けられたエネルギーコンセプトには再生可能エネルギー電源ごとに目標が設定されている。

ドイツの南に位置するバイエルン州は伝統的に原子力発電に電力の多くを依存してきた。2009年には電力の 57.6%を原子力発電から得ている。ドイツで最も大きな経済力を持つバイエルン州は電力消費の 43%が産業部門で消費されている。家庭部門が 26%であり、公共の建物や営業用の建物が残りの 31%を消費している。再生可能エネルギーが占める割合は一次エネルギー消費で 10.1%、電力ベースで 23.3%となっている。再生可能エネルギーでは最も大きい電源が水力（電力全体の 13.3%）であり、次いでバイオマス（3.4%）、太陽光発電（2.8%）と続く。風力は少なく 0.6%である。太陽光発電はドイツ全体の 40%に及ぶ。

太陽光と風力に絞ってしてみると、バイエルン州の目標は非常に高い。

風力発電

- ・目標：2021年までに地域内の風力発電容量を全電力量の6-10%に引き上げる
- ・手法：環境保護法制に基づいた許認可手続きを簡素化し、自然公園内における風車の建設を可能にする。
土地利用計画も絡めた風力発電用地の開発に努める。
市民風車を促進する。
地域内の電力公社が、地域外の再生可能エネルギーに投資することを強化する。

太陽光発電

- ・目標：2021年までに送電線と送電負荷を適合化した系統接続を実現し、発電量を全電力量の16%にまで高める。
- ・手法：再生可能エネルギー法の枠組みを拡大し、エネルギー効率や費用効率に注意した技術支援を行う。
研究開発に総額で1300万ユーロの支援を行う。
空き地利用を促進する。
市民発電所を促進する。
建材一体型システムのデモンストレーションを行う。

図 8 バイエルン州の目標と手法（太陽光と風力）

出所：(Bayerische Staatsregierung 2011)

バイエルン州は風力のポテンシャルが低く、今までオンショア風力の開発に積極的ではなかった。しかし、脱原発と脱温暖化を同時に達成するには再生可能エネルギーを今後ますます推進する必要がある、非常に高い目標を掲げている。また、風力に関連して北のオフショア風力発電所の電

力をバイエルン州に送るための送電線の整備についてもバイエルン州も負担すべきであると主張している。ユニークな点として、地域内の電力公社が地域外の再生可能エネルギーに投資をする場合にもそれを支援するというものが挙げられる。

太陽光発電に関してはドイツ国内の設備の 40%がバイエルン州に設置されていることもあり、従来から非常に積極的であった。今後はこの路線をさらに強化するため、連邦レベルの仕組みで固定価格買い取り制度を拡充させていく方針である。そのため、連邦レベルでは固定価格買い取り制度による支援の対象外となっている転換地を利用した太陽光発電などにも支援を行う予定である。

また、どちらの場合でも市民による発電設備の所有という点が強調されており、そのための社会的合意の形成が必要であると述べている。

またデモンストレーションを積極的に行い、市民の意識を高める方針も明確に示されており、建材一体型の太陽光発電などが公共建築物のファサード部などに設置されていく予定である。

4.3 バーデン・ヴュルテンベルク州

バーデン・ヴュルテンベルク州はバイエルン州と並び、ドイツで最も経済的に豊かな州であり、世界的に有名な自動車産業や機械産業、化学産業などが集積している。

バーデン・ヴュルテンベルク州のエネルギーコンセプトには、目標としてエネルギー効率性を 2020 年まで年平均 2%ずつ向上させることを定めている。再生可能エネルギーに関してはコジェネレーションシステムを 2020 年までに 20%に倍増させることを目指している。また、これとは別に気候保護コンセプトとして再生可能エネルギーの導入目標が掲げられており、それによれば 2020 年までに再生可能エネルギーのシェアを電力で 20%、熱エネルギーで 16%にまで高めることを目標としている。再生可能エネルギーがエネルギーではなく気候保護の枠組みで扱われており、温室効果ガス削減に向けた取り組みと一体化したプログラムが実施されている。

2010 年の再生可能エネルギーのシェアは 1 次エネルギー消費で 9.6%、最終エネルギー消費で 10.9%となっており、バイオマスが最も普及している。電力で見た場合に最も普及しているのは、導入設備容量で太陽光発電が再生可能エネルギー全体の 60.2%であり、風力発電が全体の 10.1%となっている。実際の発電量では水力が 46.4%、ついでバイオマスが 26.3%、太陽光発電が 18.5%、風力が 4.9%となっている。

バーデン・ヴュルテンベルク州の再生可能エネルギーへの投資額は年々増加しており、2010 年には総額で 33 億 8,000 万ユーロにのぼった。そのうち最も多いのが太陽光で全体の 80%強を占めている。

バーデン・ヴュルテンベルク州では、建物における省エネ、暖房エネルギーとしての再生可能エ

エネルギーに力を入れており、特にコジェネレーションシステムの普及に意欲的である。

第二部 技術動向編

1. ドイツにおける再生可能エネルギーの拡大

近年のドイツの再生可能エネルギーの拡大は太陽光発電と風力発電の拡大によるところが大きい。また、ドイツ連邦政府もこの2つの電源を積極的に支援してきた。

図9は、1991年の電力供給法と2000年の再生可能エネルギー法の再生可能エネルギー促進効果を図で示したものである。電力供給法とは水力、風力、太陽光、バイオマス、ガス、などから発電した電力を買い取るよう電力事業者に義務付けるものであった。2000年の固定価格買い取り制度との大きな違いは、買い取り価格が電力の小売価格の平均額との比率で決まっていた点である。例えば太陽光発電や風力発電では小売価格の90%となっていた。その後、この価格決定方式は普及効果が十分でないとして2000年に改められたものが再生可能エネルギー法（EEG）である。

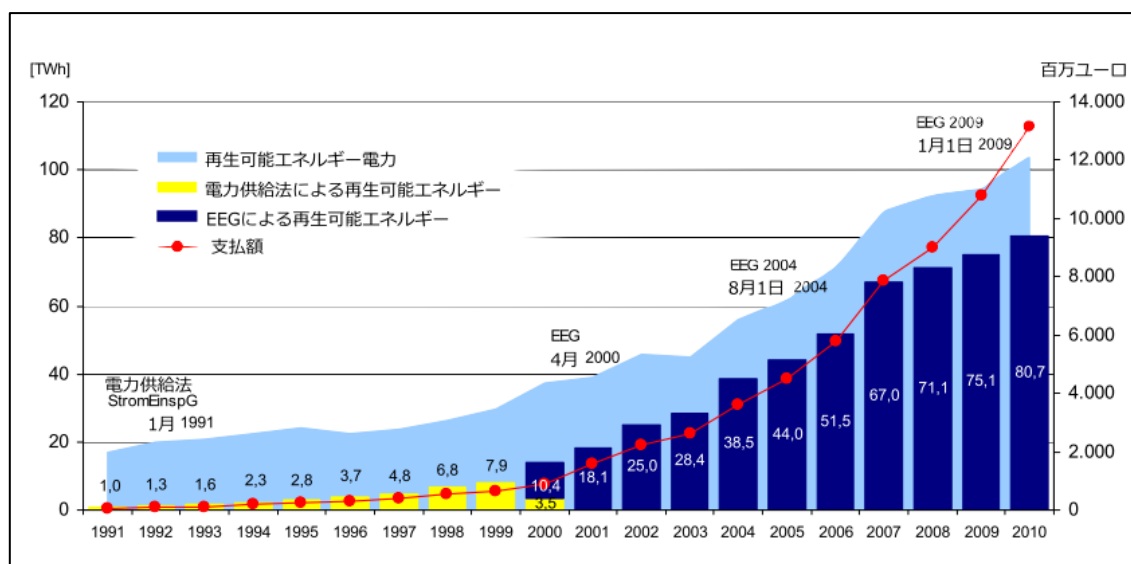


図9 電力供給法と再生可能エネルギー法による再生可能エネルギーの拡大と支払額の推移

出所：(BMU 2011)

図9を見ると、特に2000年以降再生可能エネルギーの普及速度が急激に増してきており、固定価格買い取り制度の効果は明らかである。また赤の折れ線グラフは固定価格買い取り制度により生じた電力買い取り額を示している。これを見ても再生可能エネルギーの発電量の伸びが増加していることが伺える。

再生可能エネルギー電力（図の背後、青い部分）はEEGのもとでの固定価格買い取り制度利用分に加え、同制度を利用していない再生可能エネルギー発電電力量（具体的にはマーケットプレミアなどを利用したものや純粋に自家消費を目的として導入したもの）を含む。

1990 年代にも再生可能エネルギーは存在していたが、特に 2000 年以降急拡大し、そのほとんどが固定価格買い取り制度の導入効果によるものといえる。

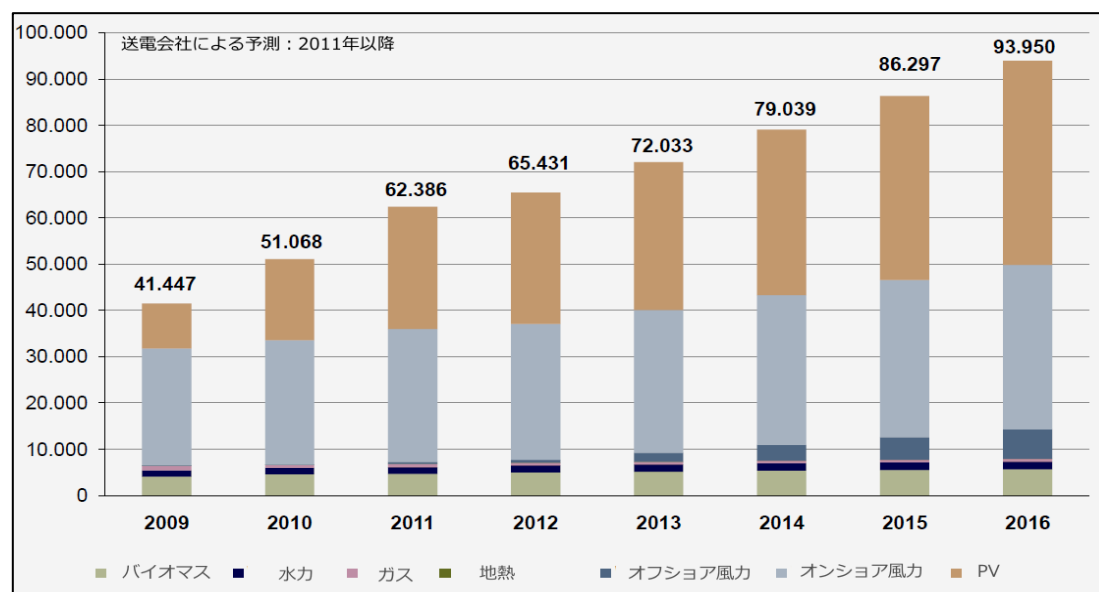


図 10 再生可能エネルギー法による再生可能エネルギー導入効果

(MW)

出所：(BDEW 2011)

図 10 は 2016 年までの再生可能エネルギー導入予測を示したものである。これによると短期的には太陽光発電（PV）、オフショア風力発電、オンショア風力発電が伸びると見られている。ただし、固定価格買い取り制度を利用しない再生可能エネルギーは含まれていない。

オフショア風力発電とは海上に建設される風力発電所であり、大型の風車をたくさん並べるものが多い。一定の強い風を発電に利用できるため、その他の再生可能エネルギーよりも安定的に発電できるとされているが高圧送電線が必要になる。オンショア風力発電は陸上に建てられるものである。



図 11 ドイツ初の洋上風力発電所 アルファ・ヴェントゥス

出所：アルファ・ヴェントゥスウェブサイト ([URL:http://bildarchiv.alpha-ventus.de](http://bildarchiv.alpha-ventus.de))

1.1 太陽光発電と風力発電

図 12 は 2000 年から 2011 年の太陽光発電の伸びを示したものである。青の折れ線グラフが各年の新規設置容量、赤の棒グラフが発電量である。2010 年と 2011 年には新規設置容量が 7GWp（7000MW）を超えている。

ドイツの太陽光発電のこの数年の伸びは過熱気味であった。ドイツ国内の太陽光発電市場が好況であったために、ドイツ国内の太陽光パネルメーカーは内向き経営を行っていたと批判されている。その結果、2012 年初頭には中国の安いパネルメーカーに押されるドイツの大手太陽光発電パネルメーカーの苦境が日本でも話題となった。

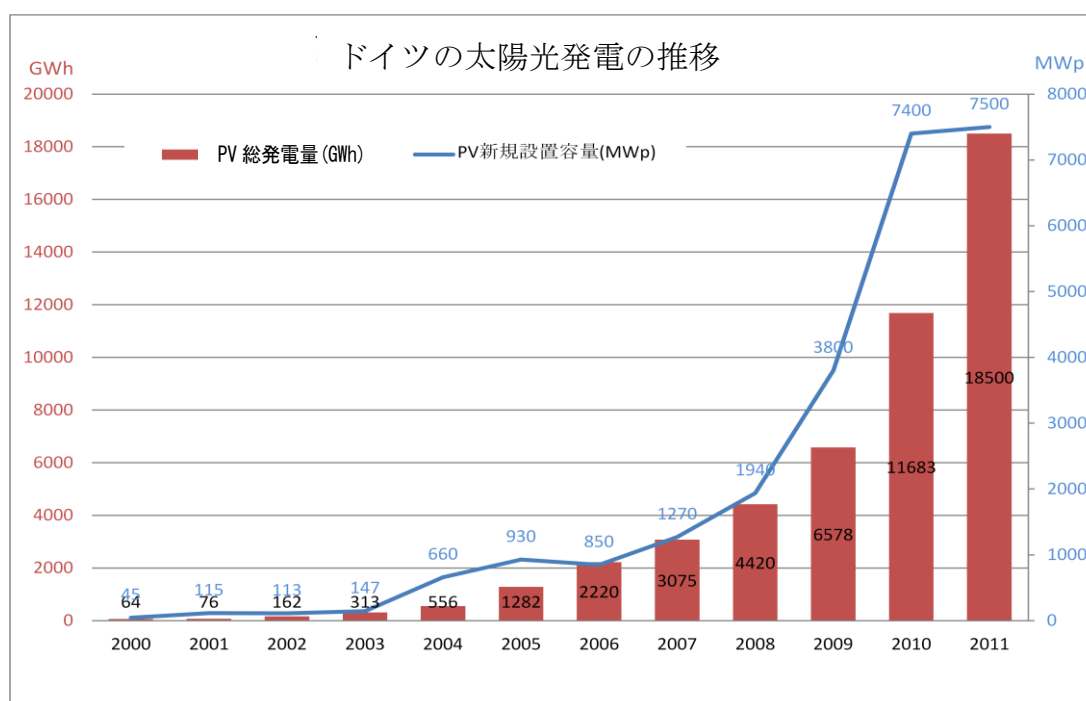


図 12 ドイツの太陽光発電の推移

(2000 年 - 2011 年)

出所：(BMU 2011)

図 13 は世界の太陽光発電におけるドイツのポジションを示すものである。2009 年末時点でのドイツの累積設備容量は 9.7GWp を超え世界一である。さらに、2010 年の新規設置容量でも 7.4GWp を超え、世界一となっている。2010 年の新規設置容量だけで日本の累積設備容量をはるかに超えている。

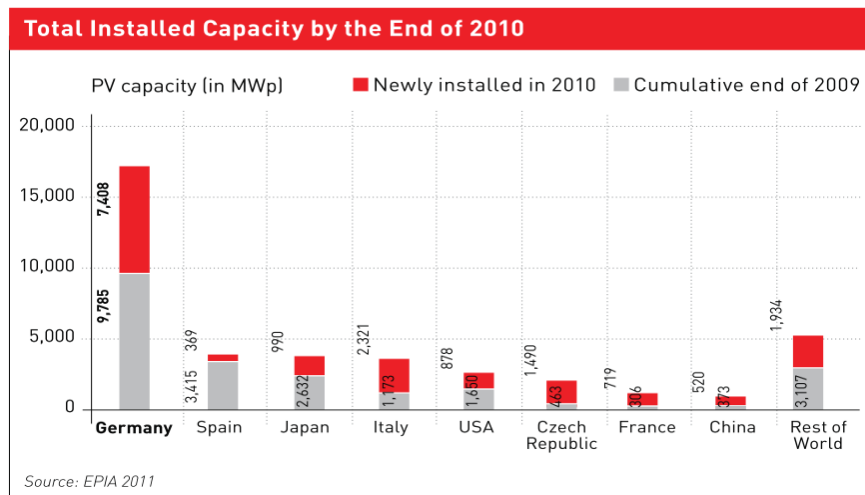


図 13 2010 年末の世界の太陽光発電累積発電容量と 2010 年の新規設置容量

出所：(GTAI 2011a)

図 14 に示される風力発電容量の推移を見てみると、近年は 2000 年代初頭のような新規設置ラッシュは一段落しているが、それでもほぼ同水準で推移している。これはドイツ国内のオンショア風力発電用地がある程度開発されたことが原因とされる。第一部でも述べたように、ドイツでは土地利用計画等に基づいて風車の建設が可能な地域が定められており、風が吹けばどこでも風車を建てて良いわけではない。そのため、ドイツ国内の陸上風力発電ポテンシャルはすでにかなりの程度開発されていると言われている。

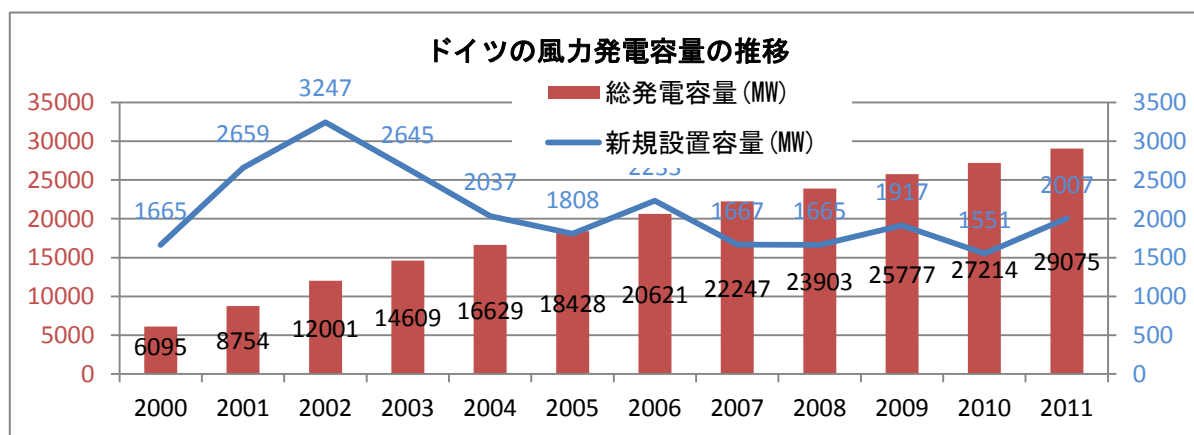


図 14 ドイツの風力発電容量の推移

出所：(BMU 2011)

そこで今後はオフショア風力発電所の開発とリパワリングの促進が進められる見通しである。

オフショアでは海上の風況の良い地域に大型の風車をいくつも建てることが多く、ひとつの発電所の発電容量はオンショア（陸上）風力発電所よりも大きい。また、地域住民への配慮もオンショアに比べれば少なく済む。バードストライク（ブレードに渡り鳥などが激突して怪我や死亡

してしまうこと) など、オフショア風力発電所の環境への影響は十分考慮する必要があるが、化石燃料に依存し続けることによる気候変動がもたらす生態系への影響と比較すれば小さく、有意義なものであるとする NGO の報告などもあり、ドイツでは英国と並んで大々的に推進されている。図 15 は 2011 年 6 月時点で認可済みのオフショア風力発電所の発電容量である。これを見ると欧州ではドイツが突出していることがわかる。ドイツ初のオフショア風力発電所であるアルファ・ヴェントゥスは 2010 年 4 月に稼働を開始し、60MW の発電容量を持つ。ドイツでは今後 300MW 級以上のオフショア風力発電所も次々と計画されている。

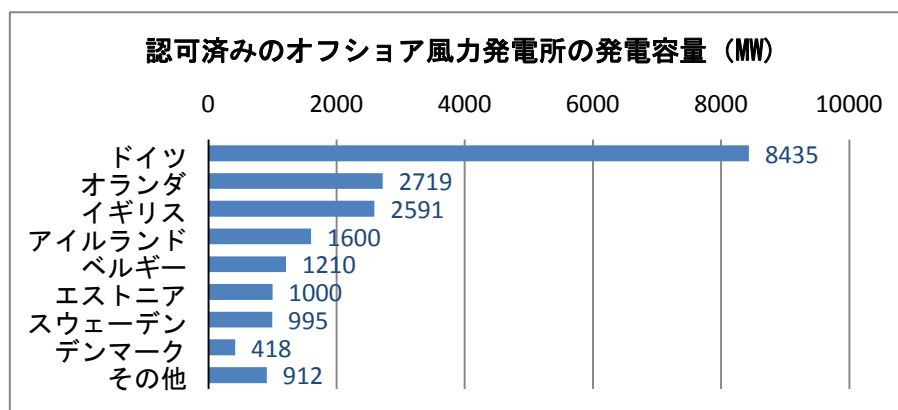


図 15 認可済みのオフショア風力発電所の発電容量

出所：(WAB 2011)

一方リパワリングとは、古い比較的小型の風車を最新の大型の風車に取り替えることを指す。2000 年初頭に建設されたドイツのオンショア風力は当時の技術力から比較的小型の風車が多い。近年は技術革新が進み、風車 1 基あたりの発電能力は大きく向上している。ドイツのオンショア風力用地はすでにかかなりの程度開発されていると言われており、古い小型の風車を新しい大型の風車に建て替えることによって全体の発電容量を底上げすることが行われている。これがリパワリングである。

図 16 は 2020 年までの風力発電の推移を予測したものである。これを見ると 2010 年からの 10 年間で新たに累積設備容量の倍近くの風力発電所が建設される見込みとなっている。灰色がオンショア風力発電所、赤色がオフショア風力発電所の発電容量 (いずれも MW) である。この予測を見ると 2020 年には風力による年間発電電力量はトータルで 150TWh⁷に達する。

⁷ TWh は GWh の 1000 倍である。

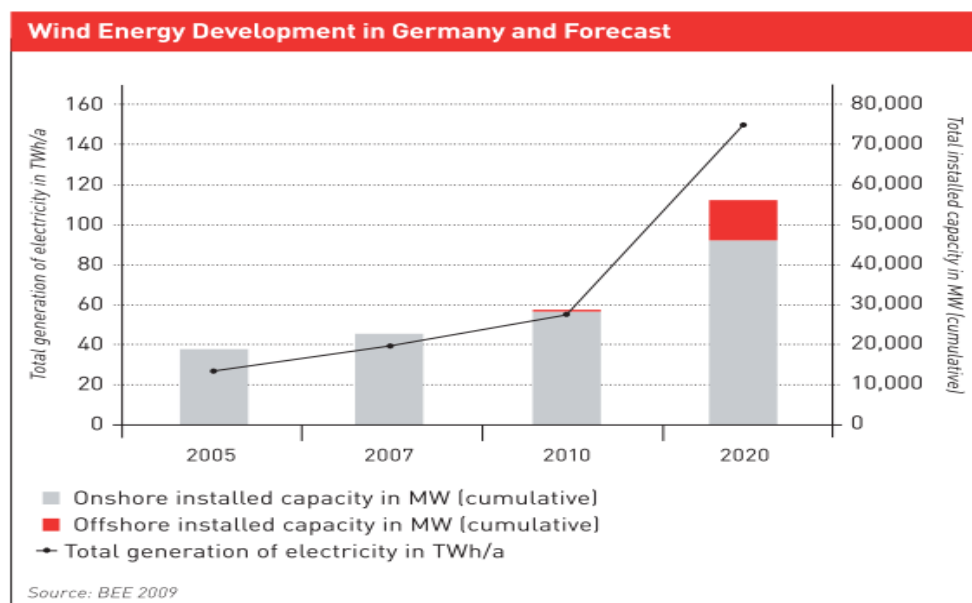


図 16 ドイツにおける風力発電の推移予測

(2020 年)

出所：(GTAI 2011b)

図 17 は 2010 年の州別の風力発電と太陽光発電の電力量を州別に示したものである。風力発電は北ドイツ、太陽光発電は南ドイツで開発が進んでいることがわかる。

縦棒グラフは風力発電が左から風車の数、発電容量 (MW)、年間系統接続電力量 (GWh) である。オフショアには風車 16 基、発電容量で 80MW が設置されており、年間系統接続電力量は 174GWh であった。

太陽光発電は左から太陽光発電設備の数 (単位は 1000)、発電容量 (再生可能エネルギーMW)、年間系統接続電力量 (GWh) である。

また、塗り分けられた色は発電容量密度 (kW/km^2) を表す。太陽光発電に限って見るとベルリンは非常に密度が高い。これは政府所有の建物がデモンストレーションの意味を込めて積極的に太陽光発電を導入しているからである。

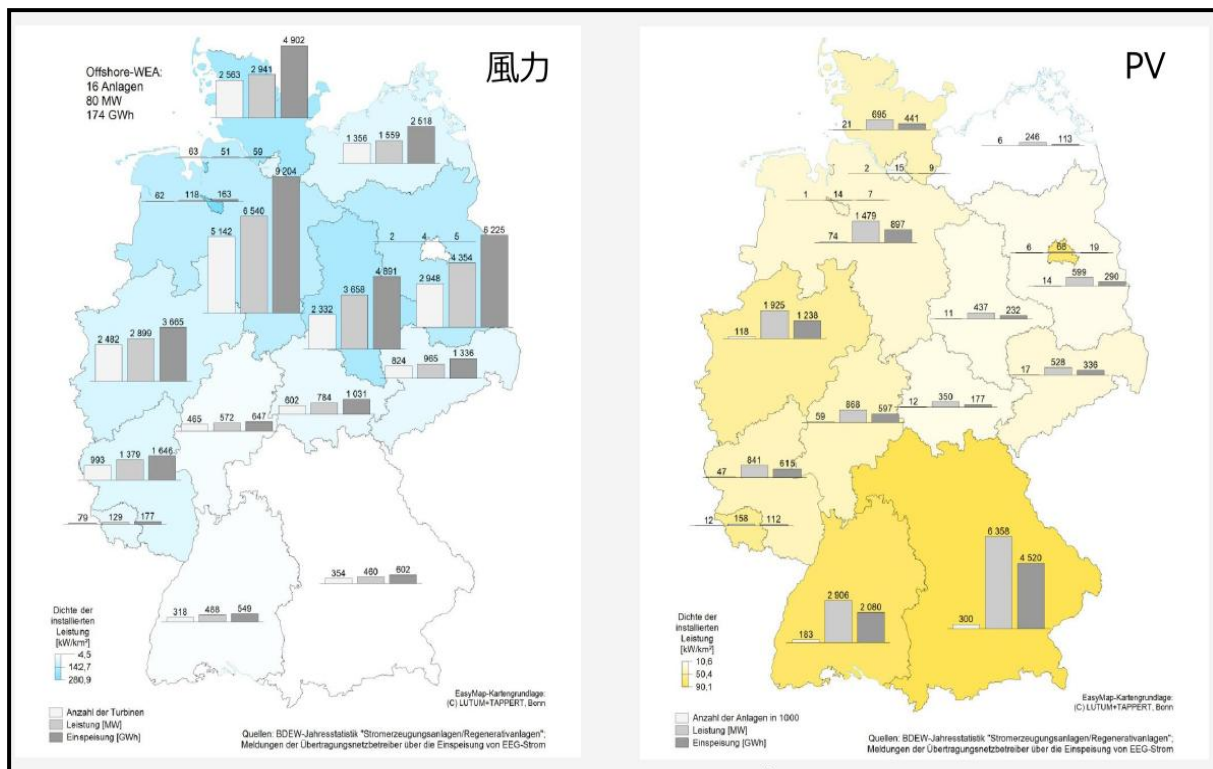


図 17 州ごとにみた太陽光発電と風力発電の設置容量

(2010 年)

出所：(BDEW 2011)

図 18 は分野別に見た再生可能エネルギーの発展予測である。EEG 買い取りとは再生可能エネルギー法の定める固定価格買い取り制度の促進効果を示している。マーケットプレミアとは、再生可能エネルギー発電事業者に対して、再生可能エネルギー電力を通常の電力の卸値価格にプレミアを付ける形で電力卸業者に販売することを認める制度である。価格を固定するのではなく、卸値に一定額の上乗せをするので、販売価格は変動する。ドイツ連邦政府は 2012 年より電力生産者に対して固定価格買い取り制度かマーケットプレミアのどちらを利用するか毎月変更できると定めている。グリーン電力特典は、電力事業者の総電力ポートフォリオにおける再生可能エネルギーシェアが 50%を超える場合には、再生可能エネルギー負担金の支払いを免除する制度である。

発電事業者が再生可能エネルギーを用いて電力を生産する場合、固定価格買い取り制度かマーケットプレミアかを毎月選択できるようになったことにより、より利益の上がる方法で売電できる仕組みになっている。市場での売電が増えていくことは、再生可能エネルギー発電に係る費用がその他の発電費用にくらべて十分に競争できる価格まで低下してきていることを示している。特に風力はすでに発電費用単価が化石燃料を使用する火力発電などとほぼ変わらない水準にあると言われている。

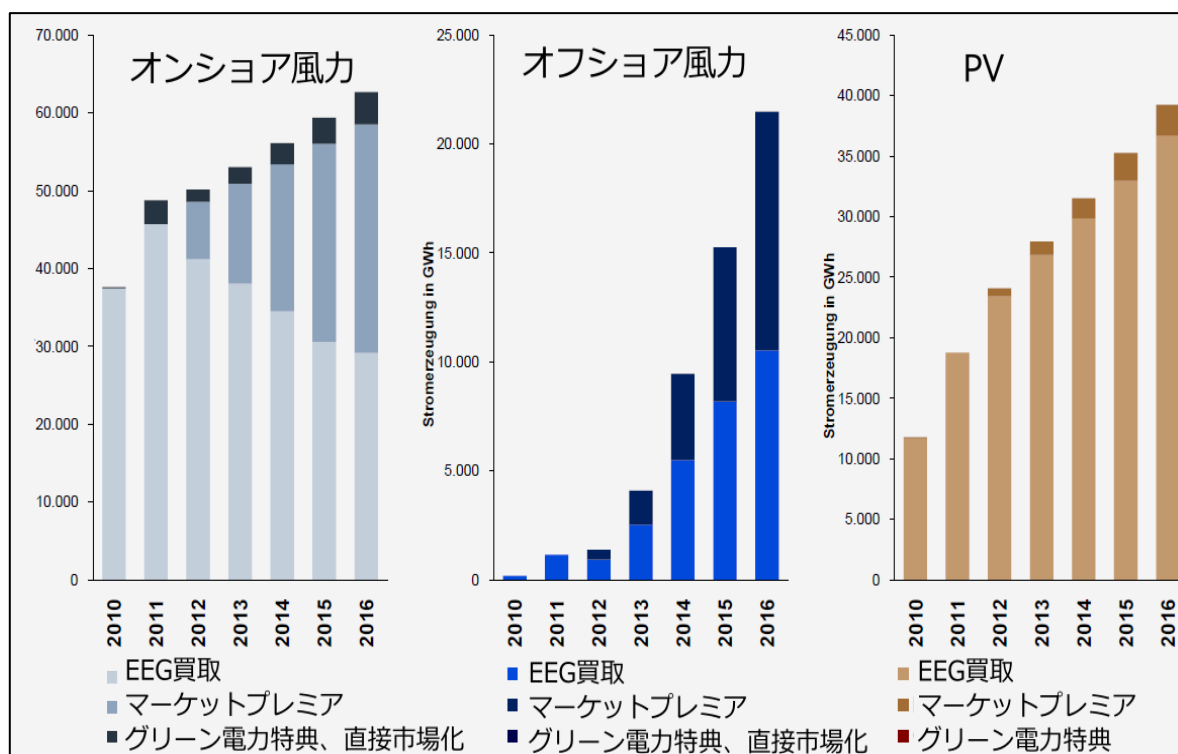


図 18 オンショア風力、オフショア風力、PV の増加要因

(2016 年までの予測)

出所：(BDEW 2011)

図 19 は 2010 年の世界各国の再生可能エネルギーへの投資額について示したものである。これを見ると、第 1 位は中国だが、第 2 位のドイツも非常に多くの投資を再生可能エネルギーに対して行なっていることがわかる。また、ドイツは投資の多くを太陽光発電に対しておこなっており、風力が続く。その他再生可能エネルギーとバイオマスに対する投資はわずかであり、省エネ対策への投資も太陽光発電と風力に比べれば少ない。

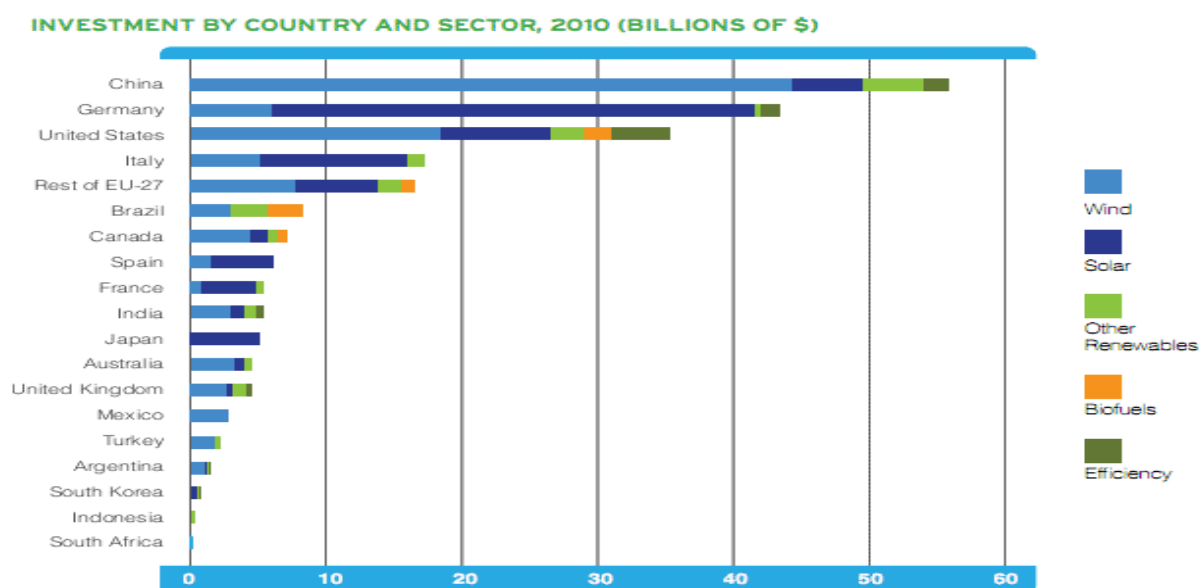


図 19 世界の再生可能エネルギーへの投資額

(2010 年、10 億ドル)

出所：Forbs オンライン記事「U. S. Drops To Third Place in Clean Energy Investment」

(2011 年 3 月 29 日付)

(URL：<http://www.forbes.com/sites/jeffmcmahon/2011/03/29/u-s-drops-to-third-place-in-clean-energy-investment/>)

2. 太陽光発電技術動向

ドイツでは再生可能エネルギー法によって太陽光発電が爆発的に普及し、それにとまなう技術革新も進んでいると言われている。ここでは技術動向と市場動向を概観していく。

図 20 は太陽光発電設備の種類と設備あたりの発電容量にみる 2009 年のマーケットセグメントである。ドイツではこれまでのところ多くが複数の家族が同居する建物や、公共施設（学校や市役所など）、工場、営業用設備（大型店舗）などの屋根に設置されてきた。発電容量 10～100kWp のルーフトップ太陽光発電設備が全体の 59%を占めている。次に多いのが小型の建物（主に一軒家などの居住用家屋）の屋根に設置するタイプで発電容量は 1～10kWp となっている。これが全体の 18%である。近年はさらに大型の工場などに設置する 100kWp 以上の発電容量を持つ大型のルーフトップ太陽光発電も増えてきている。

地上設置（Ground-mounted）とは、農地や転換地などの遊休地に大規模な太陽光発電所を設置するものでメガソーラーとも呼ばれる。メガソーラーの名の通り、MW 級の発電容量を持つものもある。

最後に BIPV とは Building-integrated Photovoltaics の略であり、建材一体型とも呼ばれる。建物の設計段階からファサードや窓ガラス、屋根などと一体化した太陽光発電設備を設置する方

式で、建築コストや保守管理コストが従来型のルーフトップに比べて安くなるとされている。ドイツでの普及はこれから（現時点では 1%以下）であるが、フランスなどでは注目されているようである。

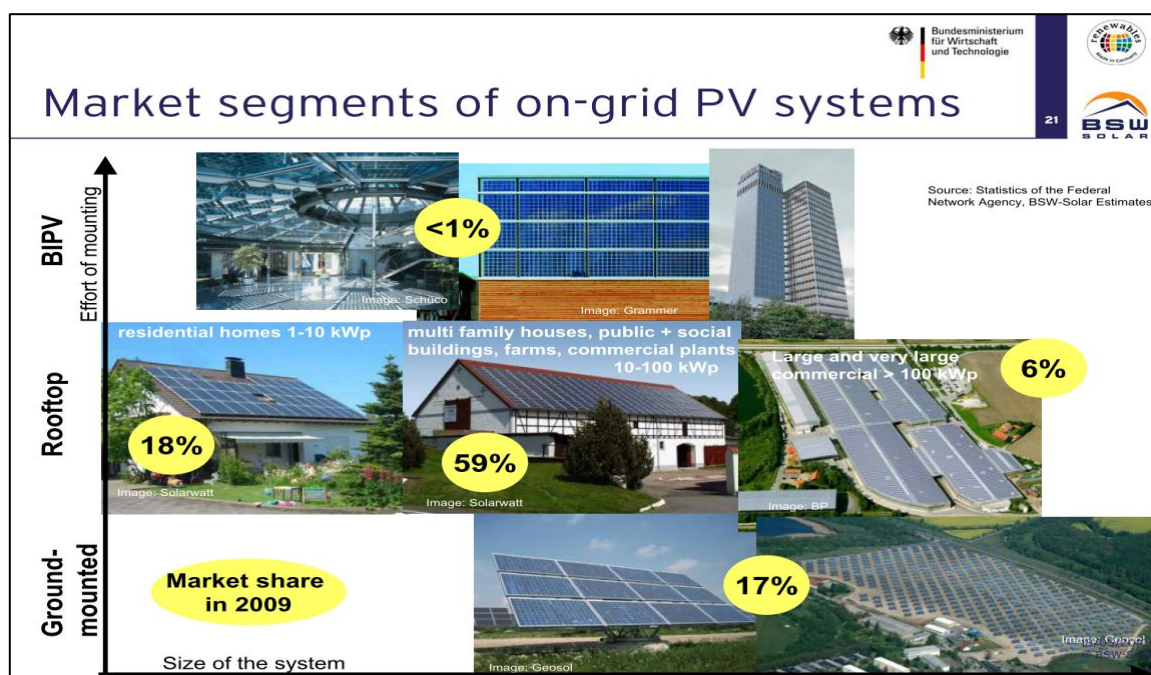


図 20 ドイツの太陽光発電のマーケットセグメント

出所：(BSW-Solar 2010)

図 21 は太陽光発電パネルメーカーのメーカー別シェアである。これを見るとシリコンは Wacker Chemie がほとんどすべてを生産している。Wacker Chemie はミュンヘンに本部を置く企業コンツェルンで 1914 年に設立された。2010 年の売上高は 47 億 4,800 万ユーロにのぼる。

ウェハーの生産では Solar World のシェアが大きい。セルでは Q-Cells が大きくシェアを伸ばしていたが、競争が厳しく、2012 年 4 月 3 日に破産申請した。モジュール分野ではさらに多くの企業が参入し、激しい競争が行われている。近年はこれらのうちの多くの分野に中国メーカーが加わり、競争はますます激化している。

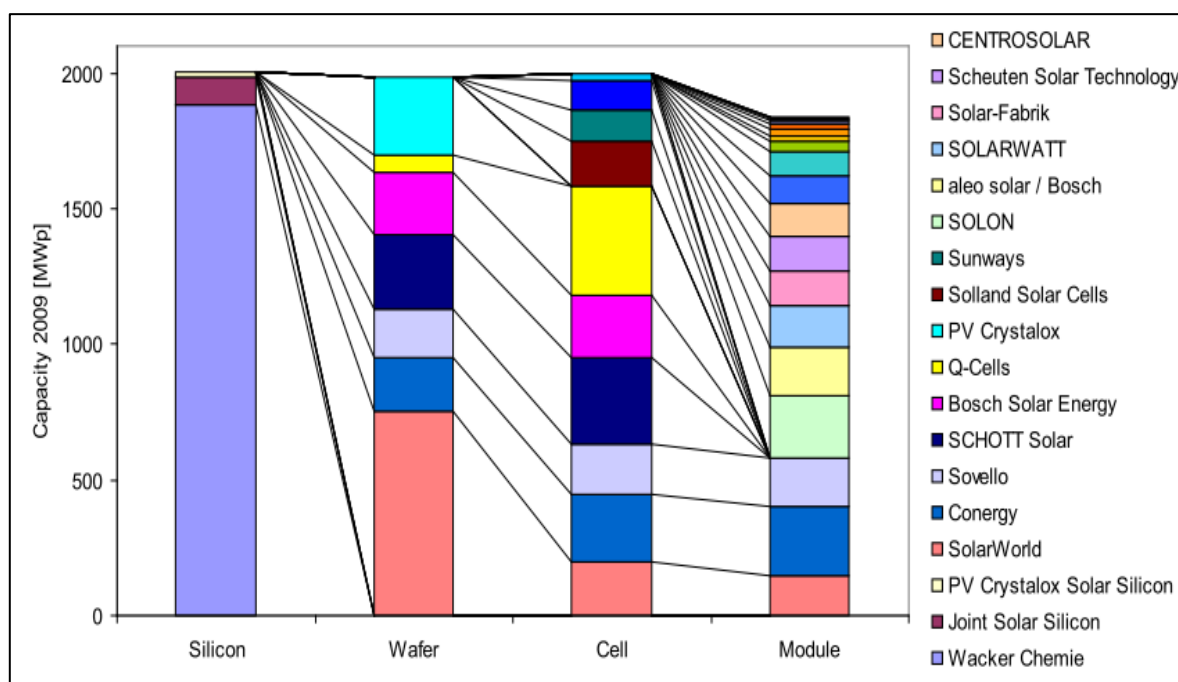


図 21 太陽光発電パネルのメーカーごとのシェア

(2009 年)

出所：(DIW Berlin, ZSW, and AEE 2010)

図 22 は太陽光発電関連メーカーのドイツ国内の分布を示したものである。これを見るとドイツ国内の太陽光発電産業は旧東ドイツに集まっていることがわかる。とりわけドレスデン、ライプチヒのあるザクセン州、北隣のザクセン・アンハルト州、テューリンゲン州はソーラーバレーと呼ばれており、太陽光発電産業が集積している。この傾向はシリコン結晶系よりも薄膜系でより顕著に見られる。これは偶然ではなく、補助金が旧東ドイツ地域により多く振り分けられるようになっているからである。

ドイツ国内の太陽光発電産業は EU、ドイツ連邦政府、州政府の 3 主体から補助金を受けることができる。これらの補助金は欧州域内の経済格差をなくすための産業への補助金として交付され、太陽光発電産業もその恩恵を受けることができる。これに加えてドイツ連邦政府の掲げるハイテク産業支援策の一貫としても太陽光発電産業には補助金が降りる仕組みになっている。その結果、旧東ドイツ地域が太陽光発電産業の投資先として一番良い地域になる。これらの地域に投資を行おうという企業はドイツ企業以外でも補助金申請の対象とされるため、多くの海外企業もドイツに進出している。こうした補助金制度は日本企業も利用できる。

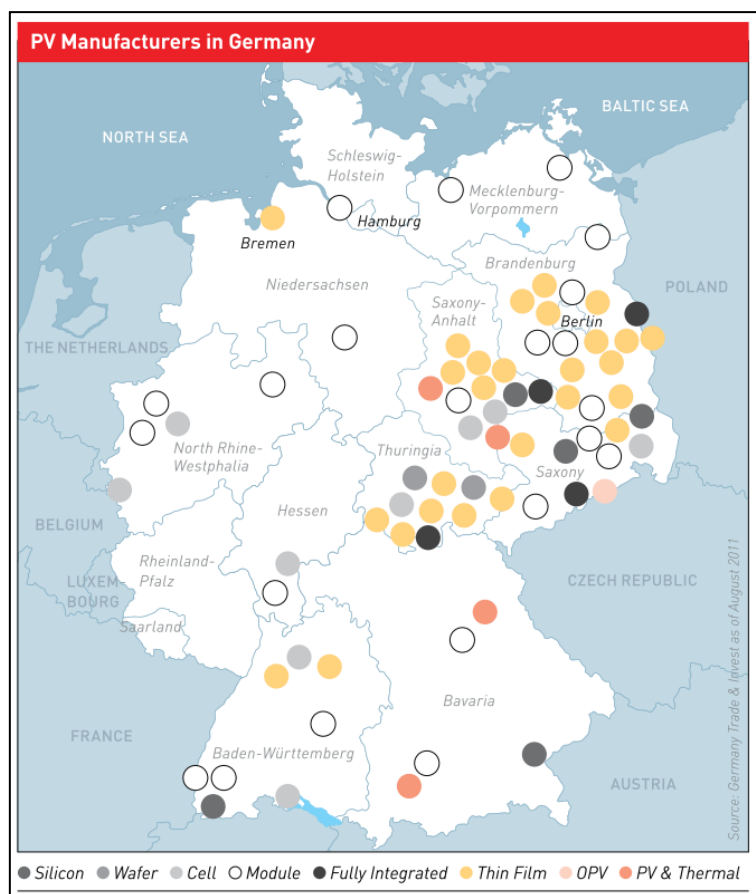


図 22 ドイツ国内の太陽光発電メーカー

出所：(GTAI 2011a)

太陽光発電の技術革新は目覚しく、日々より効率の高い発電パネルが開発されている。図 23 は 2007 年のパネル技術ごとのシェアとその技術的ポテンシャルを示している。2007 年のセル技術は 87.4%をシリコン結晶系が占めていた。そのうち、42.2%が単結晶シリコン、45.2%が多結晶シリコンである。

さらに薄膜系電池としてアモルファスシリコンが 5.2%、テルル化カドミウムが 4.7%、CIGS が 0.5%のシェアを持っている。

発電効率は表の下部 2 段に記されている数字で、上がモジュールとしての効率性（結晶系の場合は上がセルの標準試験条件（Standard Test Condition）における効率性、下がモジュールの効率性）で、下が実験室における達成効率である。

近年は単結晶シリコンよりも多結晶シリコンさらには非シリコンの無機化合物系太陽光電池の普及が進んでいる。今後は高価なシリコンの利用が極力少なくてすむような方向に技術開発が進んでいくだろう。単結晶シリコンは確かに変換効率が高いが高価なシリコンをより多く使う。これに比べて多結晶シリコンは変換効率が落ちるものの価格が安いいためより多く用いられるようになっている。

Table 2.1: Photovoltaic technologies, with cell technology shares, cell and module efficiencies							
Photovoltaic technologies							[*]
Technology	Crystalline wafer based (single-junction solar cells based on silicon wafers)		Thin Film (single-junction)			Multi- junction	
	Monocrystal- line/ single crystal (c-Si)	Multicryst. silicon (mc-Si)	Amorphous silicon (a-Si)	Cadmium telluride (CdTe)	Cl(G)S/ CuIn (Ga)Se ₂		
Cell techno- logy shares (in 2007)	42,2%	45,2%	5,2%	4,7%	0,5%		[1] [2]
Cell Efficiency (at STC)	16-19%	14-15%	5-7%	8-11%	7-11%	49-51%	[2] [3]
Module Efficiency	13-17%	12-14%					
Module Efficiency** (laboratory)	22,9% ± 0,6%	15,5% ± 0,4%	10,4% ± 0,5%	10,9% ± 0,5%	13,5% ± 0,7%	55,9%	[4] [5]

** Confirmed terrestrial module efficiencies
 [*] Sources: [1] Photon 2008, [2] EPIA 2008, [3] Industry interview, [4] Green et al. 2008, [5] Green 2006 (for multi-junction)

図 23 太陽光発電技術とセル技術、モジュール技術の効率性

出所：(DIW Berlin, ZSW, and AEE 2010)

近年はシリコンを用いず、他の無機化合物を用いた技術開発が進んでおり、日本ではシャープや産業技術総合研究所が世界的に優れた技術を持っている。今後は光吸収層に有機化合物を用いた太陽電池の開発競争も進んでいくと言われている。有機化合物を用いた太陽光発電パネルは柔軟性や着色性に優れているとされ、本格的に実用化されれば非常に大きなインパクトを持つとされる。

有機化合物は太陽光発電パネルに新たな利用可能性をもたらすとして期待されている一方、太陽光発電パネルの技術開発を進める重要な要因の1つは価格圧力である。

表 8 太陽光発電モジュール価格（2011 年 1 月）は 2011 年 1 月のモジュール価格と 2010 年 1 月からの変化率を示している。これからも明らかなようにわずか 1 年でモジュールの価格は Wp あたりで最大 23%、最低でも 14%下落している。この激しい価格競争に勝ち抜くための技術開発が重要となる。

表 8 太陽光発電モジュール価格 (2011 年 1 月)

モジュールタイプ	ユーロ/Wp	2010 年 6 月との比較	2010 年 1 月との比較
ドイツ産結晶系	1.46	-6.0%	-14.6%
中国産結晶系	1.12	-5.7%	-23.8%
日本産結晶系	1.38	-2.7%	-15.6%
CdS/SdTe 薄膜	1.03	-0.2%	17.8%
a-Si 薄膜	0.90	-3.8%	-15.9%
a-Si/ μ -Si 薄膜	1.00	-8.6%	-20.9%

出所：Solarenergie.de

(URL:<http://www.solaranlage.de/preise-kosten/photovoltaik-modulpreise>)

ドイツ国内で現在 1 家族が 1 年間で使用する電力量はおよそ 4,000kW 時であり、これをまかなえる太陽光発電設備をつけるとすると、パネル価格は約 5,800～8,500 ユーロである。実際に電力を利用するにはさらにインバータと取り付け工事費用が必要になってくる。平均的なインバータの価格は約 2,000 ユーロであり、取り付け工事も含めるとトータルで 12,000～14,000 ユーロかかる。2012 年に自宅の屋根に太陽光発電パネルを取り付けたとすると買い取り価格は 24.43 ユーロセント/kW 時で 20 年間保証されるので毎年 4,000kW 時発電すると仮定して投資回収期間は約 15 年となる⁸。

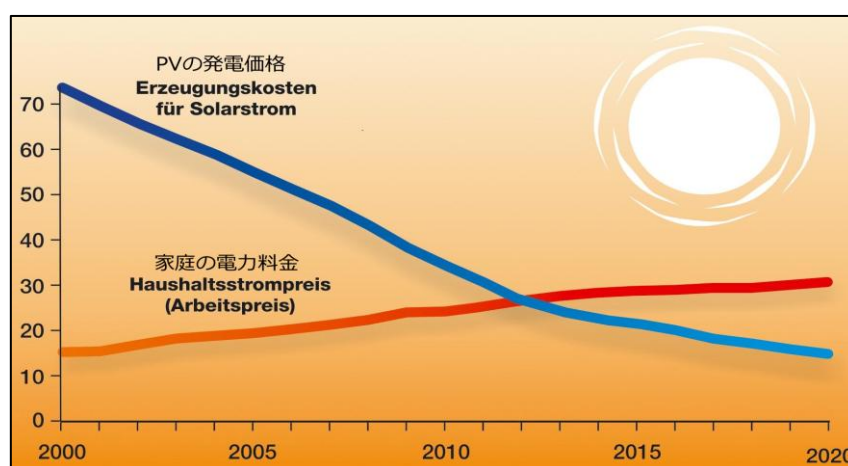


図 24 太陽光発電の発電費用と電力料金

(2000 年～2020 年、ユーセント/kWh)

出所：(BSW-Solar 2010)

価格低下を別の側面から見たものが図 24 である。これは太陽光発電の発電価格と家庭の電力料金を比較したものである。一般的に高いと言われてきた太陽光発電だが、そのコストは年々劇的

⁸ 法律が改正されればこの限りではない。

に下がり、2012 年には発電価格（原価）が電力料金（販売価格）を下回るグリッドパリティになる。つまり、他の商品と同様に政府の援助がなくても十分採算がとれる水準までコストが低下しているのである。ドイツのような消費者の環境意識が高い市場であれば、採算性が高い再生可能エネルギーへの投資は自ずとすすんでいくだろう。

最後に、太陽光発電パネルのコスト構造を紹介する（図 25）。こちらはドイツ銀行が 2009 年に行った調査の結果である。これを見るとシリコンが 17%、ウェハーが 20%、セルが 22%、最後にモジュールが最も大きい 41%を占めていることがわかる。

Factor とは今後技術革新で費用低下が期待される要素である。シリコンではインゴット形成、ウェハーでは切り代、薄さ、サイズ、歩留まりの向上、セルではセルの効率性、安定性、耐用年数、歩留まりの向上が課題とされている。

Table 2.2: Production chain with cost shares and technology improvement opportunities (Cost shares from (Deutsche Bank 2009))		
<i>Supply chain</i>	<i>Cost share</i>	<i>Factor</i>
Ingot (silicon)	17%	Ingot casting
Wafer	20%	Kerf loss Wafer thickness Wafer size
Cell	22%	Yield Cell efficiency Stability Lifetime
Module	41%	Yield

図 25 太陽光発電パネルのコスト構造

出所：(DIW Berlin, ZSW, and AEE 2010)

3. 風力発電技術動向

ドイツには世界的な風力発電タービンメーカーが研究施設、生産拠点を置いていることが多く、ドイツの風力発電技術は世界の最先端にあるといえるだろう。ここではドイツの風力発電の技術動向と市場動向を概観していく。

図 26 は 2009 年と 2010 年に新規に設置された風力発電用風車の定格発電容量ごとのシェアを見たものである。これを見ると風車の大型化が進んでいることがわかる。近年では 2MW 級が主力になっているが、より大型化している。

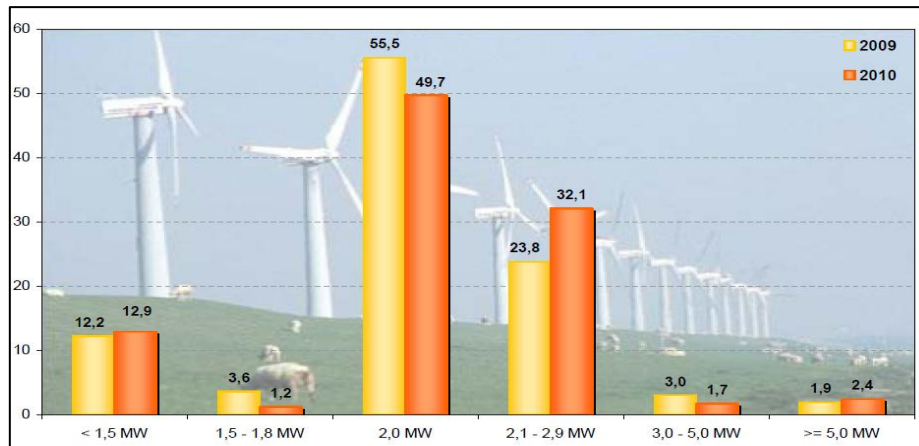


図 26 風車のサイズごとシェア

(2009 年、2010 年、%)

出所：(BMU 2011)

図 27 は新規設置風車のローターの直径サイズごとのシェアを表したグラフである。これを見ても近年の風車の急激な大型化が見て取れる。近年ではローターのサイズは最低でも 60m 以上になっており、90m 以上のものが少なくとも 10%ある。

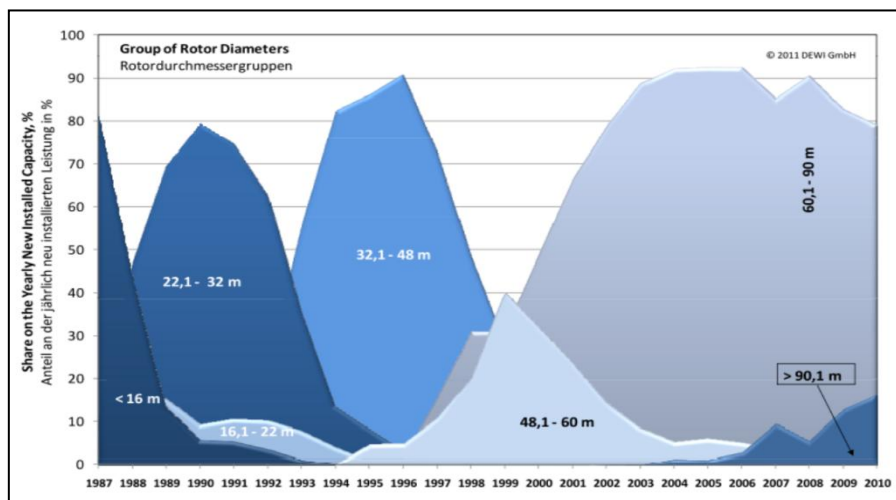


図 27 風車のローターの直径別シェアの推移

(1987 年 - 2010 年)

出所：(DEWI 2011)

図 28 はドイツ国内の新規設置風車のタービンメーカーシェアである。これを見ると Enercon 社が大きなシェアを占めている。次にデンマークに本社を置く Vestas、Repower Systems と続く。世界的には欧州の技術供与を受けた中国メーカーの台頭などが言われているが、少なくともドイツ国内では欧州、ドイツメーカーが強い。

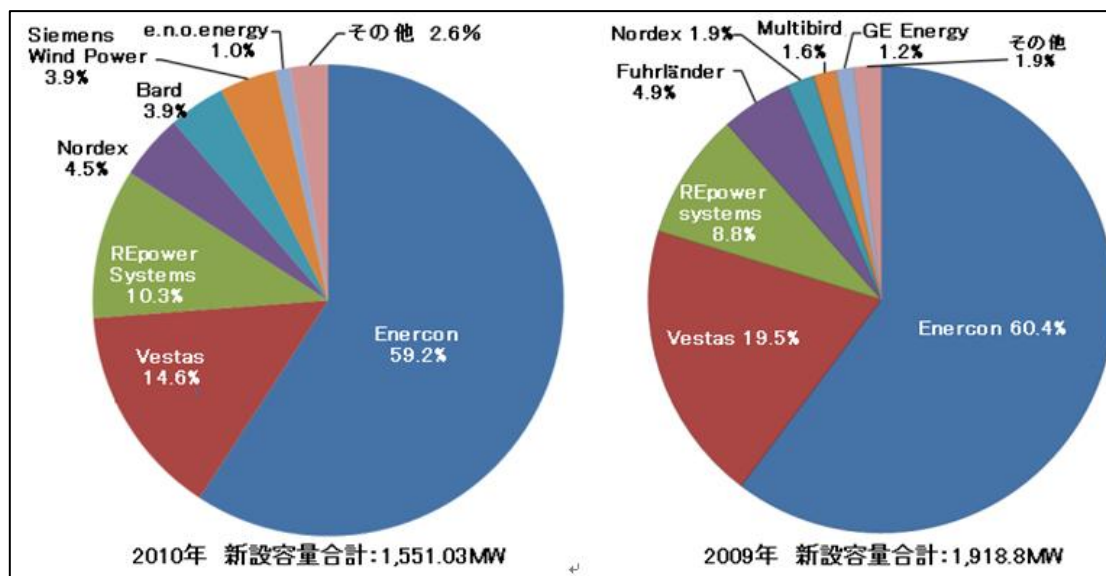


図 28 タービンメーカーシェア

(2009 年、2010 年)

出所：(DEWI 2011)

図 29 は風車のコスト構造を示しており、kW あたりの投資額を表している。左がオンショア、右がオフショアの風車 1 基あたりのコスト構造を割合で示したものである。オンショアでは 1kW あたり 1,200 ユーロの投資が必要なのに比べてオフショアでは 1,200～2,200 ユーロの投資が必要である。これを見るかぎり、やはりオフショア風車のほうがオンショア風車よりも高くつくようである。

上から順に見ていくと、タービンのコストがやはり大きく、オンショアで 70%、オフショアで 30～50%を占めている。基礎部分にはオンショアで 5%、オフショアで 15～25%である。ドイツでは現在までのところ、オフショア風車のほとんどが着床タイプである。オフショアではさらに据付・設置でもかなりばらつきが出ているが、これは海岸線からの距離によって必要とされる工事が変わってくるからと言われている。系統接続も同様に海岸線からの距離によって必要とされるケーブルの距離が変わるなどの理由でオフショアではばらつきが大きい。逆にオンショアでは必要な地代、風車設置地点までの道路建設などのインフラ整備はオフショアでは必要ない。

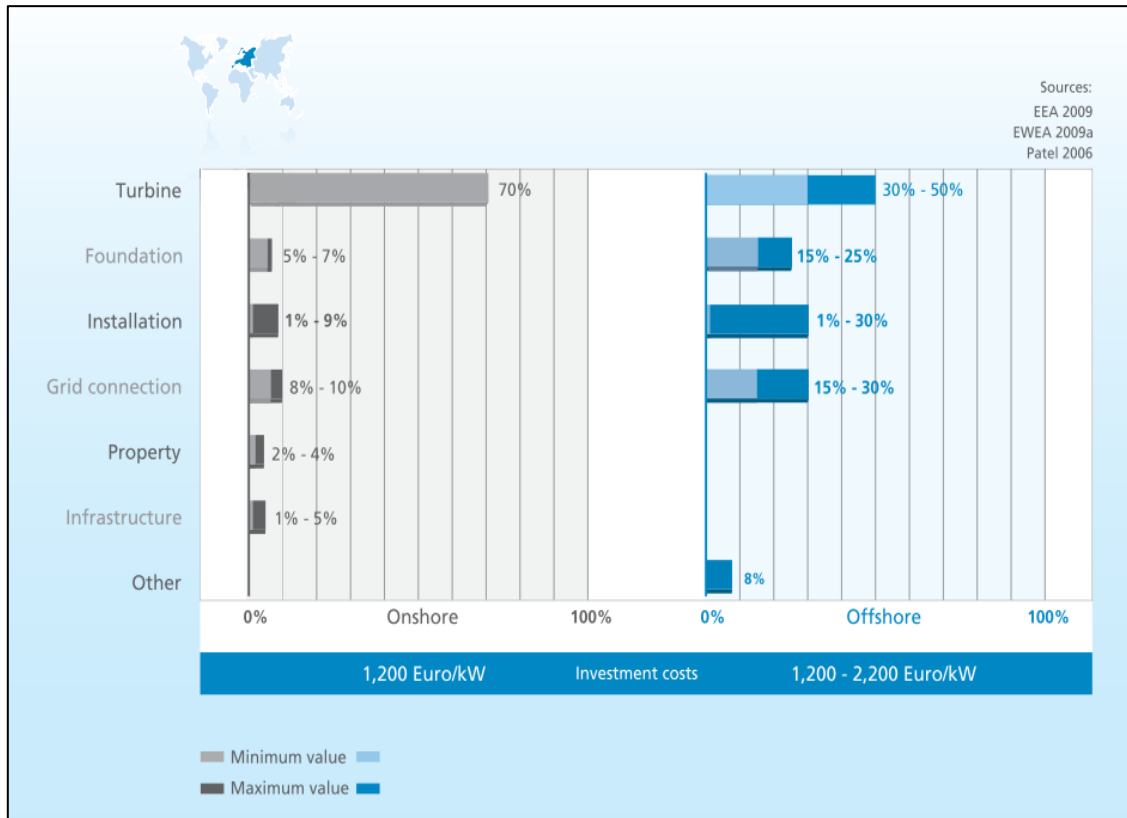


図 29 風車のコスト構造

出所：(DCTI 2009)

風力の発電単価は従来の発電技術と比較しても十分に下がったと言われているが、それでも技術開発は盛んに行われており、今後も開発競争と価格競争は続くものとみられる。

特にオフショア風車は支柱を海底に固定する着床タイプでは沖合の水深が深い地域に設置するとコストがかかりすぎるため、浮体式の支柱の開発もすすめられている。また、風車のブレードは工場で製造されたものをそのまま運搬するため、大型化するブレードを運搬するための技術開発も必要である。その他、海上の工事は困難を伴うことが多く、現在はコストもかかるため、今後は設置工事にかかる費用を削減する技術開発も必要となる。

4. 再生可能エネルギーの技術的問題点

ここまでドイツにおける再生可能エネルギーの成長と技術や市場の変化を見てきた。再生可能エネルギーは今後も成長を続けることは間違いないと思われるが、再生可能エネルギーにも問題がある。

再生可能エネルギーの最大の課題は安定供給である。これには 2 つの理由がある。一つには再生可能エネルギーはどうしても自然条件に依存するエネルギーであるという点、次にそのために再生可能エネルギーを電力消費者に送り届ける高圧送電線が特に不足している点である。今までの

電力インフラは大型火力、原子力を中心に作られてきたため、従来の発電所に適した地域と再生可能エネルギー発電所に適した地域は必ずしも一致しない。

4.1 高圧送電線の不足

ドイツ国内で再生可能エネルギー資源は均等に存在しているわけではなく、風力は北ドイツ、太陽光発電は南ドイツのほうがポテンシャルは大きい。また、電力消費から見ると北よりも南のほうがずっと大きい。そのため、北の風力によって発電した電力を南の電力消費者まで届ける高圧送電線の不足は深刻な問題となっている。2011 年のエネルギーコンセプトでは改めて送電線の整備が強調されることになった。

ドイツエネルギー機関（DENA）は、2010 年 12 月に DENA グリッド報告 II を公表した。それによると、蓄電設備が全く導入されなかったと仮定すると、2020 年までに新たに必要となる高圧送電線の距離は 3600km に及び、その設置費用は年間 9 億 4,600 万ユーロになると見積もっている。

DENA は 2005 年にも DENA グリッド報告 I を公表しており、その際には再生可能エネルギーの 20%を高圧線に接続するために必要とされる新規高圧送電線の総距離は 850km になると見積もっていた。過去 5 年間で電力を取り巻く事情が大きく変わってきているために、必要となる高圧送電線の距離も大幅に伸びている。送電線の不足は再生可能エネルギーのもたらす問題点として最近特にクローズアップされている。

DENA グリッド報告 II では DENA グリッド報告 I で提案された高圧送電線の約 10%、80km しか設置工事が完了していないことを報告している。2010 年には北の風力発電所で発電された電力のうち、150GWh が送電線の不足のために系統に接続できず、捨て電されたと考えられている。また 2011 年には捨て電される電力量は 69%増える見込みである。

図 30 は今後高圧送電線の建設が必要な地域と送電線のうち、特に重要とされるものである。赤色がすでに計画が進んでいる送電線であり、赤点線は現在計画中の送電線である。オレンジ色が 380kV 以下の送電線で、今後は地域と地域をつなぐ高圧送電線が必要になっていくことが伺える。

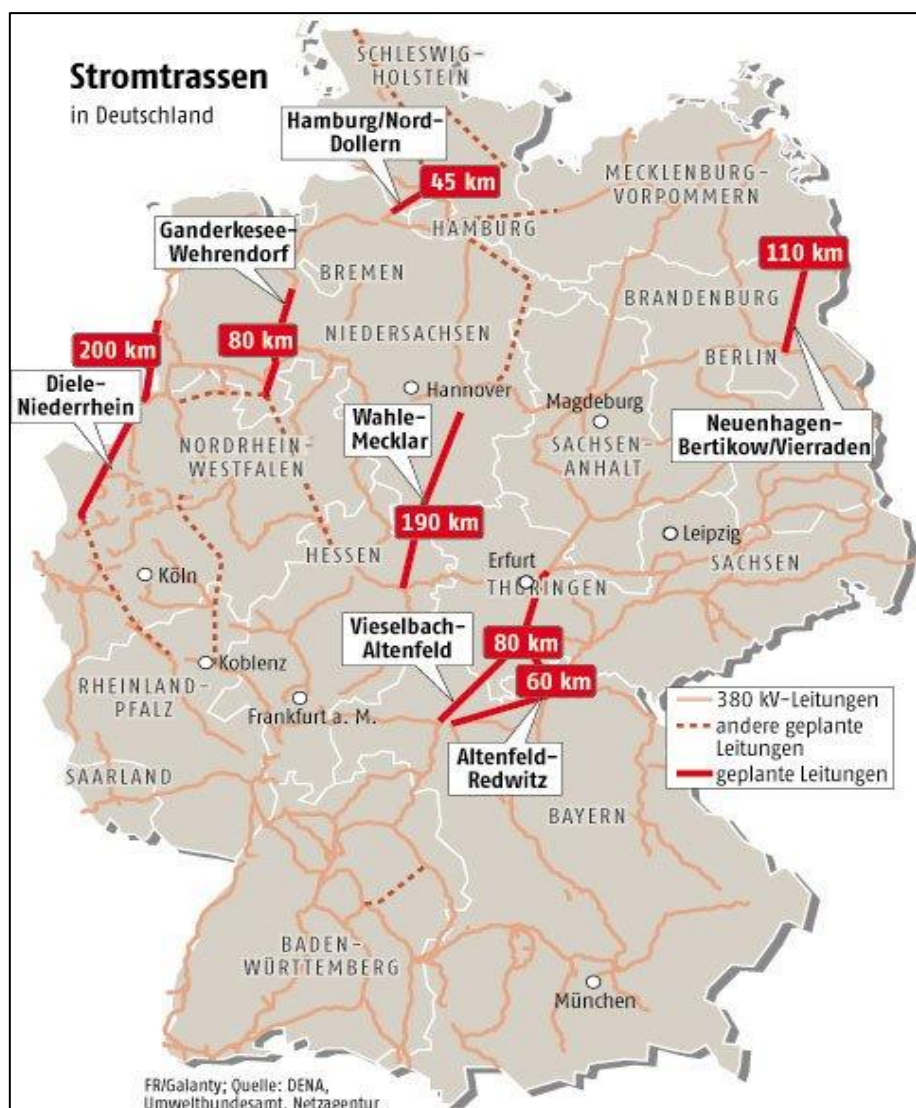


図 30 今後必要になる高圧送電線（抜粋）

出所：Fraunkfurter Rundschau オンライン記事「Ohne neue Leitungen keine Energiewende」
(2011 年 5 月 6 日付)

(URL:<http://www.fr-online.de/energie/fr-interview-mit-dena-chef-kohler--ohne-neue-leitungen-keine-energiewende-,1473634,8417560.html>)

4.2 蓄電技術への期待

高圧送電線でドイツ全体の電力網をつなぐ一方で、地域で作ったエネルギーを地域で消費する分散型エネルギーシステムの構築も重要視されている。そのためには蓄電技術の開発と普及が欠かせないとされている。ドイツ連邦政府はそのために「エネルギー・気候基金」を設立し、2013 年から二酸化炭素排出権取引で得る歳入から 30 億ユーロを電気自動車や蓄電設備に投資する計画である。

ドイツで現在議論されている蓄電技術は様々ある。技術的に最も安価なものは揚水発電である。これは日本の原発でも利用されているが、ドイツで実際に揚水発電設備を導入していくとなると、

環境的・社会的な問題も大きく推進は現実的ではない。近年は北欧との単一電力市場において、ドイツで発電した再生可能エネルギー電力などを北欧の水資源が豊富で土地の高低差が大きい地域での揚水発電に用いるという意見もあるが、こちらも社会・政治的な壁は大きいと思われる。

さらに、電力を圧力エネルギーに変換する圧縮空気式の蓄電方法もある。ドイツの岩塩や石炭の炭鉱跡地に余剰電力で空気を送り込み、圧を高めておいて、必要なときにその圧力で発電する方法である。しかし、こちらも現状はポテンシャルがあまり大きくないとされている。

次にガス化である。余剰電力で水を電気分解し、水素ガスを作って利用するかバイオマス、天然ガス発電施設から排出される二酸化炭素と反応させてメタンガスを作り、天然ガスのインフラで利用するというものである。

さらに、バッテリーを用いた蓄電技術もある。鉛蓄電池、リチウムイオン電池など技術的には多くのオプションがあるがそれらは基本的に金属資源を使うので供給サイドの問題が発生する可能性もある。一方で、ドイツ国内を走る 4,000 万台を超える自動車は電気自動車に置き換えれば、その蓄電可能量は膨大なものになる。これについてもドイツは推進していく予定である。

第三部ではこれらの電気自動車を取り上げて、ビジネスチャンスについて見ていく。

第三部 ビジネスチャンス編

1. ドイツ市場におけるビジネスチャンス

これまで、ドイツの再生可能エネルギー政策、再生可能エネルギー技術とその問題について見てきた。それでは日本企業はどこにビジネスチャンスを見出せるのだろうか。

ドイツ市場に参入するには、ドイツの再生可能エネルギーが抱える技術的課題を経済的な方法で解決できる技術を提供することが求められる。さらに、一方でドイツも世界を牽引する技術立国であるため、ドイツ市場参入にあたっては、自社の持つ技術優位を活かす戦略的なマーケティングが必要となってくる。第三部ではドイツ市場参入の糸口を探る。

2. 太陽光発電

図 31 は太陽光発電システム全体の模式図である。屋根の上に太陽光発電パネルを置き、発電した電力を実際に自家消費し、または系統に接続して売電するにはパネル以外にも多くの機器が必要となる。パネルを屋根に設置する架台、直流電気を交流に変えるインバータや自家消費に回すための分電盤などが必要となる。

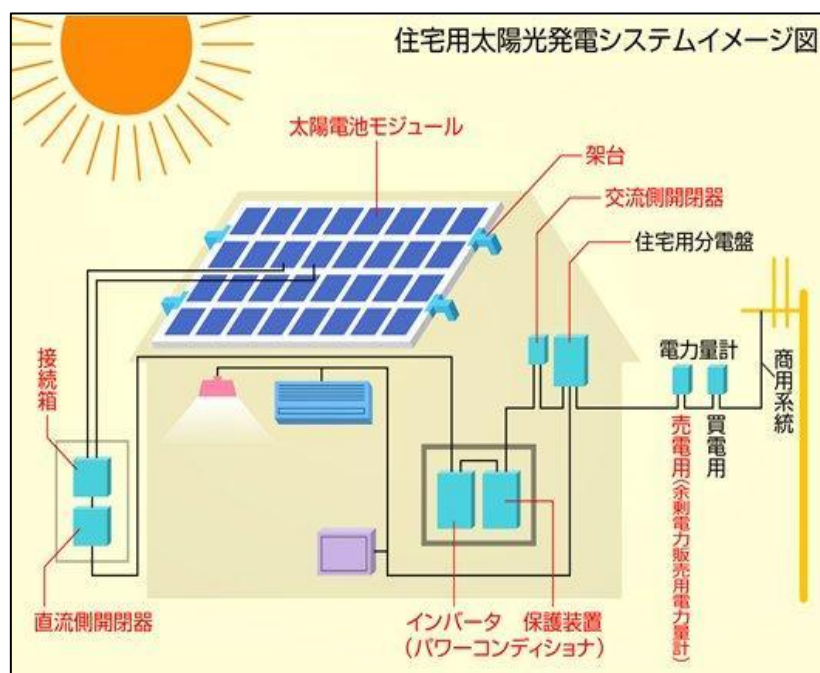


図 31 太陽光発電システム全体概略図

出所：エコボルウェブサイト（URL：<http://pv-tec.jp/up/0278-2.jpg>）

ドイツの固定価格買い取り制度は太陽光発電システムの使用期間を 20 年と想定している。実際には太陽光発電パネルは技術開発によって 40 年ほどは問題なく使用できると言われており、この使用期間はパネル以外の機器にとって意味を持つ。

太陽光発電パネルの関連技術開発は第二部でも述べたとおり、高価なシリコンを使わないパネル技術の開発と用途の幅を広げる技術開発が進んでいる。例えば透過型の太陽光発電パネルであれば、窓ガラスに設置する、もしくは窓ガラスの代替として使用することも可能になる。また、柔軟な素材であれば曲面にも設置できる。実際にそういった用途を目指した開発が進められており、今後の発展が期待されている。

太陽光発電パネル以外の技術に目を向けると、まず現在ボトルネックとなっているのが架台の供給である。太陽光発電パネルの技術開発、固定価格買い取り制度によるインセンティブの向上により太陽光発電パネルの供給能力は過去数年で増大した。しかし、架台の技術開発はそれに比べると弱い。1 つには参入メーカーの数が少ない点、次に屋根の形状は今後大きく変わることがないため、開発インセンティブが弱い点が問題としてあげられる。そのために架台の供給不足の影響で太陽光発電パネルが設置できないケースも起きている。さらに、架台の価格低下が思うように進んでいない点も課題である。

2011 年にミュンヘンで開催された世界最大規模の太陽光発電技術関連見本市 Inter Solar では大きなスペースが架台に割かれていた。新たな企業も架台市場に参入する意向を見せており、技術開発と価格低下は今後数年で進むものと見られる。ドイツの架台は日本のものと比べて重くて硬い印象である。そのため多くの金属を使い価格が高くなっている。この点については鉄ではなくアルミを使うなどの軽量化が進められているが、日本市場に比べれば頑健な製品が好まれるようである。技術開発の中心となるのはどのサイズ・タイプの屋根にも対応できる汎用性の高い製品、設置が簡便で工期が短くてすみ、その分工事費用が短縮できるものなどである。パネルの留め金とレールを一体化させるなどして部品数を減らすことも重要である。

次に開発が進む分野として建材一体型がある。建材一体型とは屋根と架台がセットになったものを言う。改築などで屋根を工事する際には屋根を張り替えてその上に架台を設置するよりも、一体型の製品を設置したほうが建築的にも良いし、コストも安くつく。また、屋根以外に設置する場合にも、例えば壁そのものを太陽光発電パネルにすることも可能である。その場合、壁に穴を開けて架台を設置するよりも壁そのものを太陽光発電パネルにしたほうが費用的にも建築的にも良いとされている。現在はむしろドイツ以外でこういったモデルの開発普及が進んでいるようであるが、今後はこういった建材一体型モデルがドイツ国内でも受け入れられていくだろう。



図 32 駐車場の屋根と一体となった太陽光発電パネル

出所：(Solarenergieförderverein Bayern)

太陽光発電パネルは 40 年使用可能であると述べたが、パネルに故障があった場合には故障箇所
の特定が難しい。

使われる技術によっては、設置された太陽光発電パネルのセル 1 つに不具合が発生するとモジュールそのものが発電しなくなる場合もある。セル 1 つに不具合が発生してもモジュールとしては発電を続ける技術もあるが、発電能力に影響が出ることは避けられず、故障箇所の早期発見は太陽光発電パネルの重要課題である。そのため、どの部分に不具合が発生しているのか確認するための太陽光発電パネルのモニタリング技術の開発も進められている。不具合が発生すればすぐに状況をユーザーに知らせる情報技術などは日本が得意とするところと思われる。

最後に、太陽光発電システムの寿命に最も影響を与えているのがインバータなどのパワコンや分電盤などの電力制御系の精密機器であると言われている。現在これらの使用寿命は 10 年ほどと言われている。今後分散型発電システムが普及すれば系統と双方向で電力の流れを制御するシステムも必要となり、そこにかかる負荷は非常に大きくなることが予想される。制御機器の長寿命、高性能化は重要な課題となっている。

よくある失敗としてあげられるのが、日本とドイツの市場の違いをよく理解しないままドイツ市場に進出して結局撤退するというケースである。

ドイツの太陽光発電市場は成長を続けているが、日本市場と比べて成熟していることも事実であ

る。ドイツの太陽光発電市場には多くの企業が参入しており、ユーザー側に大きな選択権が与えられている。

具体的には、日本で家庭の屋根に太陽光発電パネルを設置しようとした場合、多くの場合大手の太陽光発電パネルメーカーかハウスメーカーに一括して依頼する。彼らがシステムとして一括して販売しているので、ユーザー側の選択権は非常に限られている。

一方、ドイツでは太陽光発電パネルから電力量計まで市場が細分化されており、選択の決定権はユーザー側にあることが大きな特徴である。実際は太陽光発電設置業者などが決定することのほ
うが多いが、ユーザーも意見を述べたり、コンバータを選んだりできる。

その一番の理由は、太陽光発電のシミュレーションソフトウェアの開発が進んでいることであ
ろ。家庭の屋根に太陽光発電パネルを設置する場合でも家の形状、方向、庭木の状態、天候など
の細かいデータを入れた上で、各メーカーのパネル、パワコンなどを選択してコストと発電量予
測を見ながらユーザーが選択できるシステムが出来上がっている。

日本企業が単独でドイツ市場で販売していくことを考える場合、重要なことはこういったシミュ
レーションソフトウェアの製品リストに自社製品を載せることである。シミュレーションソフト
ウェアの開発会社はいくつかの企業連盟や太陽光発電関連団体の会員企業リストなどを通じて情
報を収集し、それらをもとに製品リストを作成している。もちろんこれら以外に独自にリストに
追加する製品もあると思われるが、日本企業製品がそういった例外的な扱いを受けることを期待
するのは難しい。したがって、まずはドイツの業界団体にコンタクトし、これらのシミュレーシ
ョンソフトウェアの製品リストに載るためにはどこにコンタクトすればいいのか、どの業界団体
の会員企業になればいいのかを確認すべきであろう。ドイツ国内にはいくつか海外の再生可能エ
ネルギー関連企業を支援している団体があり、いくつかは無料で相談に応じている。もちろ
んドイツ語、少なくとも英語となるが、利用価値は高い。

以下にコンタクトの有望先としていくつかの関連機関を挙げておく。

名前	BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V
概要	会員企業 890 社のドイツ最大の太陽光関連技術の業界団体。再生可 能エネルギー関連の業界団体の多くとパートナーシップを結んでい る。
ウェブサイト	http://www.solarwirtschaft.de
住所	Quartier 207 Friedrichstr. 78 10117 Berlin
電話番号	+49 30 29 777 88-0 (ただし、電話での問い合わせには応じてい ない)
メールアドレス	info@bsw-solar.de

名前	Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE)
概要	再生可能エネルギー全般の連邦組織。情報支援を主な活動の目的としている。
ウェブサイト	http://www.bee-ev.de
住所	Reinhardtstr. 18 10117 Berlin
電話番号	+49 30 2 75 81 70 - 0
メールアドレス	info@bee-ev.de

名前	Germany Trade and Invest - Gesellschaft für Außenwirtschaft und Standortmarketing mbH
概要	ドイツへの進出を検討している海外企業に対して無料でコンサルティングを行う経済省の下部組織。
ウェブサイト	http://www.gtai.de
住所	Friedrichstraße 60 10117 Berlin
電話番号	+49 30 200 099-0
メールアドレス	office@gtai.com

名前	在日ドイツ商工会議所
概要	日本にあるドイツ商工会議所の支社。ドイツへの進出支援や展示会情報の提供、ドイツ市場に関わる情報公開などを行なっている。
ウェブサイト	http://www.japan.ahk.de
住所	〒102-0075 東京都千代田区三番町 2-4 三番町 KS ビル 5 階
電話番号	03-5276-9811
メールアドレス	info@dihkj.or.jp

ソフトウェア開発会社に直接問い合わせるよりも丁寧に情報を提供してくれることも多い。

それ以外のパターンとして、ドイツ企業と協力して商品開発を行うことも考えられる。例えば、太陽光発電パネルメーカーと架台メーカーが協力してパネル架台一体型製品を開発する、または屋根材メーカーと架台メーカー、太陽光発電パネルメーカーが協力して建材一体型を開発するといった事例があげられるだろう。こういった形で参入する場合には時間がかかるが、共同開発したシステムが業界で受け入れられるとシステムを独占的に生産できるメリットがある。実際に中国の金属加工メーカーには欧州の太陽光パネルメーカーと共同でパネル架台一体型のシステムを開発している例もある。この場合、このパネルが売れば架台も自動的に売れるため、(架台を売るために) 自社の営業所をドイツに置く必要が無いことも利点である。

こういった共同開発には理解し合えるパートナーの発掘が重要となるだろう。そのためにはドイツ国内の展示会や、各企業の製品などを実際に見て、自社技術にあった製品を手がけているメー

カーを探すことが重要である。

また、こういったケースでは必ずしも太陽光発電システム関連の製品を扱った経験は必要なく、技術的課題に対応できる企業がビジネスチャンスを得る。例えば、分散型エネルギーシステムが普及すれば電力が頻繁に双方向に流れることになる。コンバータメーカーによればゼロコンマ何秒単位で双方向かつ大きさの異なる電力を問題なく制御するには技術開発が必要であるという。その場合には、制御機器の技術を持つ企業であれば太陽光関連技術の経験は必要なく、技術開発に取り組む太陽光関連企業を見つければ良い。技術的な壁に直面している企業に対して技術提携を提案できればより強固なパートナーシップが期待できる。問題解決提案型の海外進出である。

問題解決提案型の提携はパートナー探しは代理店探しよりもはるかに難しく、時間もかかるが、それでも挑戦する意味はある。一般的に最終製品であれ部品であれ、日本とドイツの技術差はほとんどない。市場が成熟したドイツで、品質のみでドイツ企業と競争することは難しい。おそらく、日本企業が提供できる製品のほぼすべてにドイツの競合メーカーがおり、技術力の差はほとんどないと考えてよい。製品を販売するのみでは、日本の技術力を活かしたビジネスができる余地はあまりないだろう。また、代理店契約や直接販売は、中国などの安価な製品との競争になるリスクが高い。

日本企業が持つ技術を用いた新しい商品開発、技術開発を提案するスタイルが必要になる。海外の企業とコンソーシアムを組み、必要な技術を持ち寄るというのは日本企業が比較的苦手としているやり方でもあるが、ドイツ市場への海外進出は製品を売るのではなく、技術を活かすという発想も必要である。

3. 風力発電

ドイツの風力発電市場は世界で現在最も成熟した市場であるといっても良いだろう。図 33、図 34 は風車の構造を模式的に示したものである。図 33 を見てみると、風車は大きく3つのパートから構成されている。ブレード、発電機、支柱部である。さらに系統周りの機器も含まれてくるがここでは省略する。

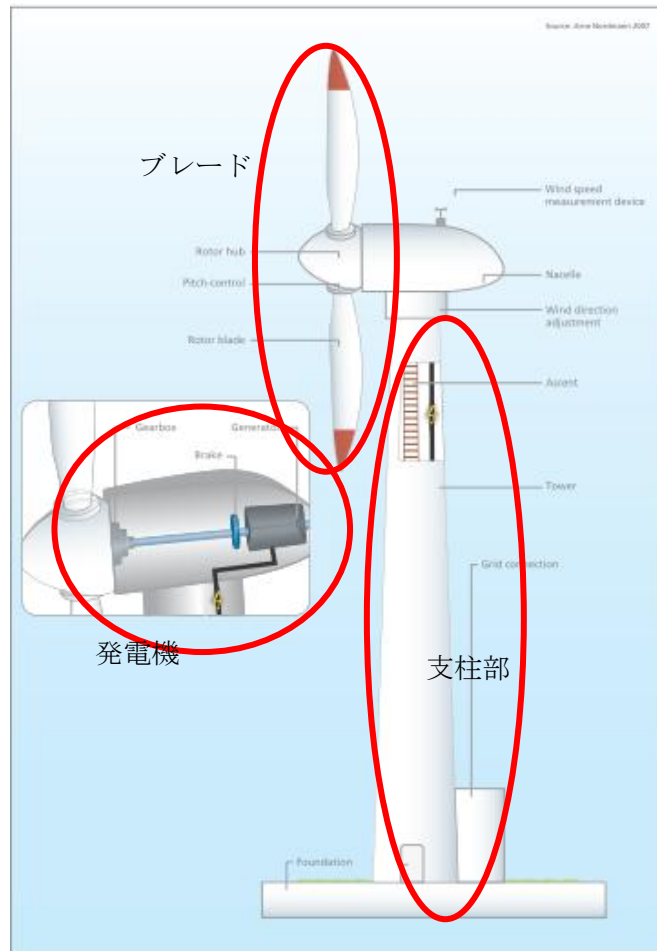


図 33 発電用風車の仕組み 1

出所：(DCTI 2009)

ブレードから見てみると、図 27 でも分かる通り近年発電能力の拡大に従いブレードのサイズも大型化している。そのため、ブレードの軽量化は技術的課題の中心となっており、日本でも炭素素材を用いたブレードの開発などがすすめられている。

支柱部もオフショア風力発電所の開発にともなって高耐久性、メンテナンスフリーにむけた技術的要求が高まっている。また、近海で比較的浅いところであれば海底に固定する着床タイプもあるが、沖合の水深のあるところでは浮体式の支柱が必要となってくる。現在日本でもオフショア風力発電向けの浮体式支柱技術の開発が進んでいる。ここでもやはり軽量化が重要なポイントになる。

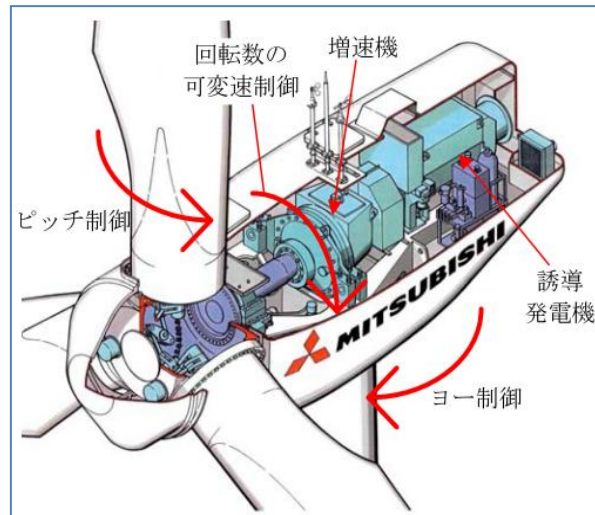


図 34 発電用風車の仕組み 2

出所：(上田 2011)

発電機は多くの歯車などの部品から構成される。風車 1 基で 1 万点近い部品が利用されており、その多くは発電機を含む精密機器を構成している。回転数の可変速制御機器、増速機、発電機と非常に多くの精密機器が使われている。さらに風車の大型化に伴い、ギア 1 つが 2m を超えるような場合もある。大型、軽量、長寿命、メンテナンスフリーという 4 つの技術的課題をすべてクリアできるような技術が求められている。例えば構成部品の数を減らすと故障のリスクが減り、軽量化、長寿命なども同時に達成できるとされる。特に故障の多い増速機をなくしたギアレス方式など、発想の転換が必要になってくる。

表 9 風力発電機の中で特に故障が多いとされる部位（日本の場合）

故障の多い部位（上位5つ）
•制御系 •駆動機系 •計測機器系 •ブレード •発電機

出所：各種資料より作成

日本で建てられた風車の場合では、故障の多い部位は上位から制御系、駆動機系、計測機器系、ブレード、発電機となっている。ブレードは強風に耐えかねて折れてしまうといった事象が報告されているが、ピッチ制御とヨー制御、さらには可変速制御によって調整ができるようになっている。故障の多い部位上位 5 つのうち、4 つは発電機関連の精密機器となっており、今後の技術開発が期待されている。

オフショアでは沖合 30km に風力発電所を作る場合もあり、保守点検が難しいような場所に設置されることもある。その場合、故障の多い機器ではメンテナンスコストが非常に大きくなってしまふ。したがって、故障の少ない信頼出来る機器の開発は重要であり、ライフサイクルコストの削減がテーマである。そこに技術力に優れた日本企業のチャンスがある。

3.1 ドイツ市場と日本市場の違いを理解する

風車開発は長年ドイツや日本で培われてきた技術の粋を結集する分野であり、近年の中国やインド企業の台頭はあってもまだ十分にチャンスは残されている。そして、風車に利用される技術の多くは発電機と制御機器、そしてそれらに使われるギアである。これらの部品の製造技術は長年日本の他の産業で培ってきた技術を転用することが十分に可能である。ドイツでも自動車メーカーの下請であった中小企業が同じ生産ラインを使って風車用の部品を製造しているケースが多くある。

ドイツ風力発電市場は成熟した市場の一つである。

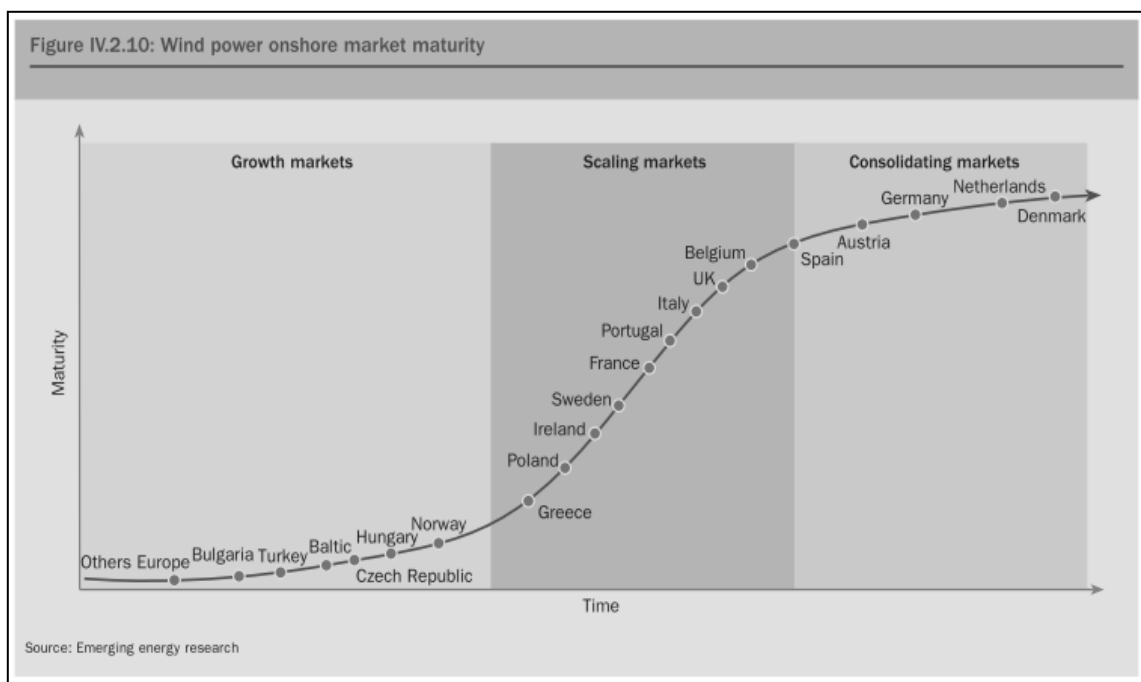


図 35 各国の風力市場の成熟度

出所：(GWEC 2011)

図 35 は欧州域内で比較した各国のオンショア風力市場の成熟度である。デンマークが最も成熟した市場となっており、次いでオランダ、ドイツの順となっている。さらにオーストリア、スペインまでが市場が十分に成熟しているとされる。それ以外の国々は現在市場がマス化の途上にあるか、市場が形成中の国々である。日本は世界で見ると累積発電設備容量も新規設置導入量もトップ 10 にも入っていない。2009 年時点でドイツが累積設備容量で世界の 23%のシェアを占めて

いるのに対し、日本は 0.7%しかないのが現実である。

したがって、太陽光発電と同様に、日本企業は進んだ技術と成熟した市場を持つドイツで、技術力を活かすやり方が求められるのである。

図 28 でも示したが、太陽光発電と違い、風力発電のタービンメーカーは大手を中心とした統合が進んでいる。その流れを受けてサプライチェーン全体の垂直統合も進んでいる。表 10 は、タービンメーカーから見たサプライヤーの一覧である。このうち、上から 3 社がドイツ企業であり、GE Energy も風力発電の事業所がドイツにある。

この表からも分かる通り、風力発電業界は垂直統合が進んでおり、今後もこの傾向が続くと見られる。現在は部品サプライヤーとタービンメーカーの統合が起きているが、今後は電力事業者や、システムインテグレーターを巻き込んだ統合が進む可能性もある。風力発電は太陽光発電と比べても発電所あたりの規模がはるかに大きく、そのために案件あたりの投資額も大きくなる。そのために統合が起きやすいと思われる。

表 10 風力発電タービンメーカーとそのサプライヤー

企業	ブレード	ギアボックス	発電機	コントローラー
Enercon	Enercon	Direct Drive	Enercon	Enercon
Siemens	Siemens	Hansen Winergy	Winergy ABB	Siemens KK-Electric
Nordex	Nordex LM Sinoi	Eikohoff Bosch Rexroth Winergy China High-Speed	VEM Winergy Elin	Nordex Mita Technic
Vestas	Vestas LM	Bosch Rexroth Hansen Winergy Moventas	Vestas Elin ABB LeroySomer	Vestas (Cotas) NEG (Dancontrol)
GE Energy	LM Tecsis MFG TPI Composite	Winergy Bosch Rexroth GE Deivetrain Technologies Moventas Eikohoff China High-Speed	ABB VEM Winergy GE Drivetrain Technologies	GE
Gamesa	Gamesa LM	Gamesa Winergy Hansen Bosch Rexroth	Cantrey Ingeteam ABB	Gamesa Ingeteam
Suzlon	Suzlon LM	Hansen Winergy Jahnel Kestermann China High-Speed	Suzlon (JV with Elin) Siemens	Suzlon Mita Technic
Sinovel	LM	Dalian Heavy Industry	Hanzhou	Windtec

	Zhongfu Lianzhong	China High-Speed Wikov	Yongji Dalian Tianyuan Elin	
Acciona	Tecsis LM	Moventas Winergy	Ingeteam ABB	Ingeteam
Goldwind	LM Huiteng Sinoma	Chongqing Gearbox China High-Speed	CSR Yongji	Goldwind

出所：(BTM Consult 2009)

統合が進んでいくと競争が激しくなり、タービンメーカーが自社で研究開発資金や研究部門を確保することは難しくなる。そのため部品メーカーとの M&A や技術提携の持つ意味が大きくなっていく。

タービンメーカーは、自社内に全てのリソースを持つのではなく、不足部分は積極的に社外から調達するようにしなければ技術発展のスピードについていくことが難しくなるだろう。また、全部日本からドイツへ持っていくのではコストが高すぎてビジネスは成り立たない。そこで、ドイツの優れた技術を持つ企業と提携、ときには買収し、進出の足がかりを作ることにも必要となる。

一方、部品のサプライヤーは、自社の製品ではなく、自社の強みとなる技術を洗い出してどこにチャンスがあるのか見極める力が求められる。すでに述べたように風力発電の課題となる技術は数多い。ドイツ企業が求めているのは製品ではなく技術である。ここでもやはり問題解決提案型のビジネスが必要となってくる。

風力発電では、市場の構造からまずは大手タービンメーカーかそれに近い部品サプライヤーと交渉し、提携を結ぶことが検討課題となる。提供するものは製品ではなく、問題を解決する技術であるという意識が必要である。自社の技術が風力発電の技術的課題にいかに関与できるかという視点で交渉することが求められるだろう。

4. E-モビリティ

第二部で説明したとおり、ドイツは再生可能エネルギーの拡充を推し進めているが、再生可能エネルギーが直面している技術的課題も多い。

例えば、高圧送電線不足の問題がある。再生可能エネルギーと従来の化石エネルギーとでは発電所の立地条件が異なるため、化石エネルギーにあわせて整備されたインフラが再生可能エネルギー普及の妨げになっており、早期にインフラを作り替える必要がある。また高圧送電線からのロス可能な限り少なくするための送電線の開発や、高温に耐えうるケーブルの整備も必要になる。しかし、高圧送電線の建設は技術的課題と言うよりは社会的経済的課題といったほうが良いだろう。

う。

自然条件によって発電量が変動する再生可能エネルギーは、安定供給という点でより大きな技術的課題を抱えている。ドイツ国内でも再生可能エネルギーの出力が不安定である点は常に指摘されており、バックアップのための蓄電設備が求められている。

ドイツ国内で現在検討されている蓄電技術について第二部で紹介したが、第三部ではこの中でも電気自動車を中心としたE-モビリティについて紹介する。

図 36 はドイツにおける電気自動車の普及予測を示したものである。2000 年にはわずか 7,000 台しか走っていなかった環境性能の高い次世代自動車の数は 2010 年には 51 万 5,000 台まで増えており、その多くが天然ガス自動車である。近年ではハイブリッド車も大きく成長しており、2010 年にはフルハイブリッド車の数は 3 万 9,000 台まで増えている。今後はプラグインハイブリッド車が普及しはじめ、2020 年にはフルハイブリッド車の数とプラグインハイブリッド車の数はほとんど差がなくなる。電気自動車は 2020 年前後から遅れて普及が始まり、2025 年にプラグインハイブリッド車が最も普及が進んで 79 万 4,000 台となるのに比べて、電気自動車は 9 万 7,000 台が走行していると予測されている。その後も一番伸びが大きいのはプラグインハイブリッド車であり、フルハイブリッド車は 2030 年には減少し始め、ガス自動車も普及速度は鈍化する。一方で電気自動車市場は成長を続け、2030 年には 3 万台を突破する。またレンジエクステンダーも 2030 年には 3 万台を突破する。

レンジエクステンダーとは航続距離延長装置の意味で、電気自動車にエンジンを積んだ自動車をさす。特徴は車のサイズに比べて小さいエンジンを積んでおり、エンジンは発電用に使うということである。これにより、電気自動車の最大の問題である短い航続距離を補うことができる。ただし、明確な定義は存在せず、プラグインハイブリッド車との明確な区別もないが、電気自動車の一種に分類されることが多い。

レンジエクステンダーを電気自動車に分類すると 2030 年にはトータルで 60 万台以上の電気自動車と 18 万台以上のプラグインハイブリッド車が走っていると予想される。

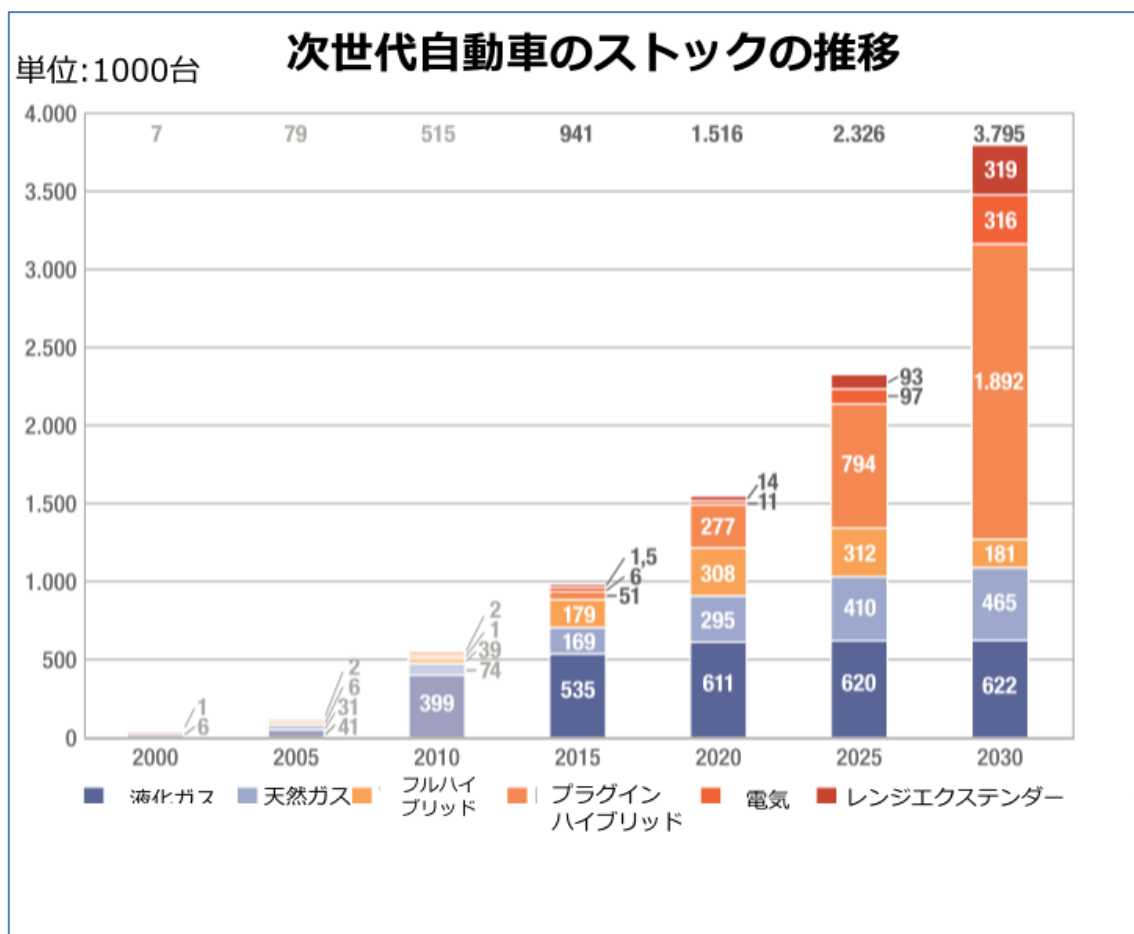


図 36 ドイツにおける電気自動車その他の普及実績と予測

(2000-2030 年)

出所：(ExxonMobil 2011)

電気自動車は現在技術的課題が多く、政府の支援なくして発展することは難しい。そこで、ドイツ連邦政府は E-モビリティと名付けて、電気自動車を中心とした交通システムの開発に力を注いでいる。

ドイツ連邦政府が 2011 年に公表した E-モビリティのための国家プラットフォームには、E-モビリティに関わるドイツ連邦政府の方針が示されている。図 37 はドイツ連邦政府の E-モビリティの目標を示している。それによると、2014 年までに研究開発とモデル事業を行い、E-モビリティ市場の形成を促す。2017 年までに電気自動車の技術を完成させるとともにインフラの整備を行い、市場を創出し、離陸させる。2020 年までには E-モビリティ市場が十分機能するようにマシ化させる、となっている。



図 37 ドイツ連邦政府の E-モビリティ市場の到達目標

出所：(Nationale Plattform Elektromobilität 2011)

そのために、ドイツ連邦政府は様々な支援プログラムを業界に対して用意している。図 36 はそれらを分野ごとにドイツ連邦政府の支援額と一緒にまとめたものである。これを見ると、バッテリーと駆動技術にそれぞれ 9 億 8,000 万ユーロ、車体の軽量化に 3 億 2,000 万ユーロ、インフラ整備に 7 億 5,000 万ユーロなど、総額で 39 億ユーロに上る支援計画となっている。

バッテリー 9.8億ユーロ	駆動技術 9.8億ユーロ	軽量化 3.2億ユーロ	インフラ整備 7.5億ユーロ	リサイクル 9000万ユーロ
↓	↓	↓	↓	↓
素材開発& セル技術	E-マシーン	軽量化向工房 開発	オフボード 充電技術	駆動部の リサイクル
新しいセル技術 コンセプト	高性能駆動 システム	構造の開発と 最適化	ネットワーク 統合	戦略的バッテ リーリサイクル
安全性 試験方法	オンボード 充電技術	EV軽量化 構造開発	エネルギーシ ステムIT技術	
長寿命化 モデル分析	パワーエレクトロニクス インバータ	大量生産技術 開発	交通IT技術	
プロセス技術 大量生産	生産技術			
技術統合 8.2億ユーロ				
電気自動車		レンジエクステンダー、その他電気自動車	プラグインハイブリッド	
総合エネルギーマネジメント				
総投資額 39億ユーロ				

図 38 ドイツ連邦政府の E-モビリティ支援計画

出所：(Nationale Plattform Elektromobilität 2011)

電気自動車の課題は 1 台あたりの性能を上げていくことと、社会的な電気自動車の受容度を上げていくことにある。

電池技術開発には品質の向上、希少資源の利用削減が求められている。駆動機の効率性を上げ、車体を軽量化することで航続距離を伸ばす、なども研究されている。電池技術そのものに加えて、駆動機系と車体の軽量化による航続距離の延長などにおいて日本企業にもビジネスチャンスがある。電気自動車はガソリン自動車とは違うコンセプトで動く車である。エンジンに強い企業に加えてモーターに強い企業も活躍できる分野である。ハイブリッド車もそうだが、自動車を制御す

るために最新の IT 技術が取り入れられている点も重要である。今後は自動車以外を手がけてきた IT 関連業界にもチャンスが広がっていくだろう。

中小企業が共同で電気自動車を開発する動きもある。ドイツでは Siegen 大学が中心となって StreetScooter というモデルカーを開発した⁹。この電気自動車は中小企業の持つ技術を持ち寄って作られた自動車であり、開発プロセスが従来の大手自動車メーカーのものと異なるために、開発費用も抑えることができ、販売価格も大幅に抑えられるという。成功の秘訣はモジュール化であるという。そして、さらに重要なことは従来自動車と関連のない業界にいた企業も参加できるという点である。

こういったプロジェクトはすぐに利益をもたらすものではない。しかし、こういった協力はドイツ市場での知名度と信頼度を上げるにはよい手段である。製品ではなく技術でドイツ市場に貢献するという考え方が必要である。

5. まとめ：ドイツ市場でチャンスを掴むには

第三部では、太陽光発電、風力発電、E-モビリティと 3 つの異なる分野でビジネスチャンスを検討してきた。これら 3 つの市場は異なる製品を扱っているが、最先端の技術が求められる市場という点では一致しており、ビジネスチャンスは長年その業界にいた企業以外にも広がっている点が重要である。太陽光発電では金属加工や建築業者、風力発電では金属加工や自動車部品メーカー、電気自動車では IT 関連業者などがそのチャンスを得る可能性が高い。

よく言われるように、再生可能エネルギー分野には中国などの企業も参入を始めており、中国企業との価格競争は日本企業にとって不利である。一方で、品質の高さだけでドイツ企業やドイツのユーザーの信頼を得ることも難しい。ドイツ人にとっては「メイド・イン・ジャーマニー」であり、「メイド・イン・ジャパン」の知名度は決して高くはない。

日本企業は製品ではなく技術を提供することを求められている。日本企業はそのことを頭に入れて、自社の技術がどのような課題の克服に貢献できるかを示すべきである。最終製品を製造する企業であれば、代理店や販売先を探すこともよいが、自社の弱みを克服できる技術を持ったドイツ企業と提携する道を探るのもひとつである。部品メーカーであれば自社技術の強みを活かせる技術提携を模索するのもよい。

⁹ <http://www.streetscooter.eu/>

文献リスト

- Bayerische Staatsregierung. 2011. *Bayerisches Energiekonzept “Energie Innovativ.”*
- BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft). 2011. Foliensatz Zur Energie-Info Erneuerbare Energien Und Das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2011).
- DIW Berlin (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung/German Institute for Economic Research), ZSW, and AEE. 2010. “Vergleich Der Bundesländer: Analyse Der Erfolgsfaktoren Für Den Ausbau Der Erneuerbaren Energien 2010 Indikatoren Und Ranking.”
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit /Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety) . 2011. *Entwicklung Der Erneuerbaren Energien in Deutschland Im Jahr 2010*. BMU.
- BSW-Solar (Bundesverband Solarwirtschaft/ German Solar Industry Association). 2010. *Photovoltaics in Germany – Market Development and Perspectives*.
- BTM Consult. 2009. “World Market Update 2009.”
- DCTI (Deutsches CleanTech Institut). 2009. “Band 2 Windenergie.”
- DEWI (Deutsches Windenergie Institut). 2011. “Status Der Windkraftenergienutzung in Deutschland - Stand 30.06.2011.”
- EPIA (European Photovoltaic Industry Association). 2011. “Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015.”
- ExxonMobil. 2011. “Energieprognose 2011-2030 Deutschland.”
- GTAI (Germany Trade and Invest). 2011a. “The Photovoltaic Industry in Germany.”
- . 2011b. “The Wind Energy Industry in Germany Issue 2010/2011.”
- GWEC(Global Wind Energy Council). 2011. “Global Wind Report Annual Market Update 2010.”
- Nationale Plattform Elektromobilität. 2011. “Zweiter Bericht Der Nationalen Plattform Elektromobilität.”
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). 2011. *Renewables 2011 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat. evernote.
- Solarenergieförderverein Bayern. “Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV/BIPV).”
- WAB (Windenergie-Agentur/Wind Energy Agency). 2011. “Branchenbericht 2011 Offshore-Windenergiemarkt in Deutschland.”
- 上田悦紀. 2011. “自然の風を活用 “風力発電” .” ツールエンジニア (April).
- 渡邊斉志. 2005. “ドイツの再生可能エネルギー法.” *外国の立法* 225: 61-86.

<その他参考となる文献>

- Roland Berger. 2010. “From Pioneer to Mainstream”
- 上田悦紀. 2010. “風力発電を支える機械要素のブレークスルー (1) 風力発電の概要”

<参考となるウェブサイト>

フライブルクから地球環境を考える～村上 敦のエコ・エッセイ～

<http://blog.livedoor.jp/murakamiatsushi/>

ゲーテ・インスティトゥート

“「100%地域」－地方自治体発のエネルギーシフト”

<http://www.goethe.de/ins/jp/lp/kul/mag/umw/ja7218059.htm>