

## 21世紀に羽ばたくドイツの風力発電

アンドレ・ワグナー  
ドイツ風力発電推進協会代表

### はじめに

2000年2月25日は、ドイツにおける再生可能エネルギーの新しい時代、そしてさらなる旅立ちを明示する日となった。この日、ドイツ議会は、2000年4月1日に施行された「再生可能エネルギー法」(the Renewable Energy Law, REL)を採択したのである。1990年の「電力供給法」(the Electricity Feed in Law, EFL)の成功の上に立つ「再生可能エネルギー法」が、新しく自由化された市場において、クリーンなエネルギー対象に、最大限の援助をし続けることとなった。これによって、1990年のドイツにおける風力発電の前例の無いほどの成長パターンに続いて、多くの再生可能エネルギー源の伸び率が劇的に加速されるだろうと見込まれる。

1999年12月末で4,400MW以上の導入設備容量を持ち、ドイツは、風力発電ではダントツの世界一だ。ドイツが、アイルランドやその他の殆どのヨーロッパ諸国と比べてかなり貧弱な風力資源しか持たないことを考えると、特にそれが際だつ。議会での最終読会において、社会民主党と緑の党の発言者たちは、「再生可能エネルギー法」は「ソーラー時代への道を舗装するものである」と述べている。

### 1. 再生可能エネルギー法 1.1 新しい政策ガイドラインの採択

新しい「再生可能エネルギー法」(REL、あるいは Erneuerbare-Energien-GEsetz, EEG)により、ドイツ政府は、1990年代の成功した政策を増強した。この法律の総合的な目的は、再生可能エネルギーの電力市場に占める割合を、2010年までには現在の5%から少なくとも10%へ倍増するという目標を実現することである。これは、欧州委員会の1997年の「再生可能エネルギー：白書」で定められた目標と一致するものである。

「再生可能エネルギー法」は、それぞれの再生可能エネルギー技術に対し、真のコストに基づいた特定の料金を設定している。これによって、「再生可能エネルギー法」は、風力のようなクリーンなエネルギー技術が、温室効果ガスを削減し、枯渇性の化石燃料の蓄えの節約に貢献するということを、はっきりと認めているのである。この法律の主要な目的は、再生可能エネルギーの自立的持久力のある市場の創始である。この戦略の基礎となっているのは、再生可能エネルギーへの投資を経済的に魅力あるものにするために法的に修正された「再生可能エネルギー供給料金」(Renewable Energy Feed In Tariffs, REFITs)である。これらのREFITsは、伝統的な電力市場におけるゆがみに対する補償だと考えられている。少なくとも、中期的そして長期的な観点から見ると、納税者に全く新たな負担を負わせないこのような枠組みによって、再生可能エネルギーは、今までのエネルギー源と競争可能になる。また、「再生可能エネルギー法」は、程度差や相違点も取り入れており、それは、技術やコストや市場の進展具合に応じて、REFITsを定期的に調整可能にする年ごとの定期見直し手続きのなかでも同じである。

### 1.2 新しい法的枠組みに対する幅広い支持

環境保護団体、貿易労働組合、農業者連合、再生可能エネルギー産業界のすべてが、この法律を大歓迎している。世界的に見ても、この法律は、クリーンで再生可能なエネルギーに対する最も先進的な法律であり、ドイツにおける持続可能なエネルギーの未来を躍進させるものである。ドイツの再生可能エネルギー連合は、中期的に見ても、2010年までに、80億ドイツマルク(以下、DM。約4400億円)の再生可能エネルギー技術の市場が生まれ、8万人の雇用を創出すると期

待している。すでに、風力産業界は、総販売量の 20%までに成長した輸出を含めて、1999 年には 40 億 DM(約 2200 億円)の市場を創出しているのである。

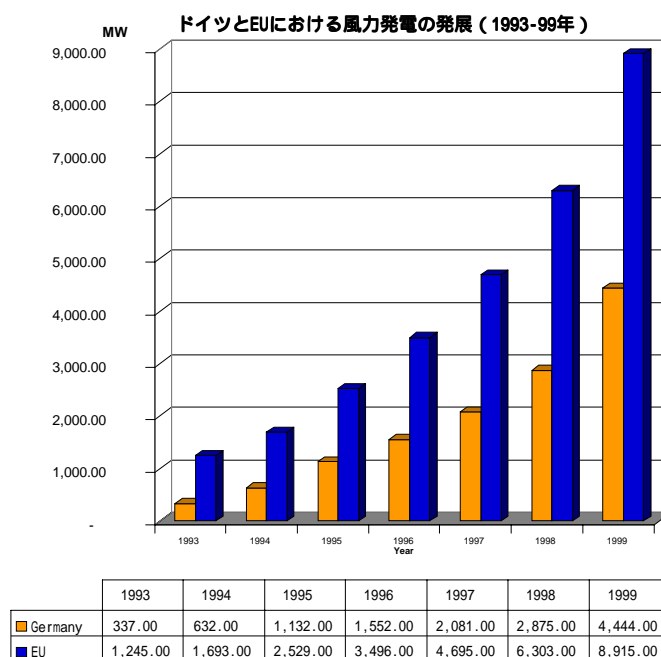
## 2. 背景-1990 年代におけるドイツの風力発電の伸び

### 2.1 市場の伸び

1989 年にはわずか数基の風力発電機とたった 10 メガワット(1万 kW)の総設備容量から始まったが、10 年後には状況は劇的に変化した。1990 年代の終わり頃には、ドイツでは、新しい風力発電の設備容量に前例の無いほどの伸びが見られた。1999 年だけで、1,568MW(156.8 万 kW)が設置された。これは、12 ヶ月間で建設されたものとしては、世界で最大の容量で、世界記録である。今までの記録だった 793MW(79.3 万 kW)の伸びという、1998 の数字の約2倍でもある。そしてドイツの風力発電の総容量は、4,400MW(440 万 kW)以上となっている。

過去7年間で見ると、EU 全体で 38%という同じように見事な伸びと比べても、ドイツにおける風力の年間の市場の伸びは、50%以上(平均で 58%)に達している。

グラフ 1



ヨーロッパ全体から見ると、ドイツの風力エネルギーは、「見事」以上のものである。1990 年の終わりには、わずか 55MW(5.5 万 kW)、ヨーロッパの容量のたった 10%しかなかったのに、ドイツの風力エネルギー容量は 1990 年代に劇的に増加し、1999 年末にはヨーロッパ全体の風力エネルギー容量の 50%に達している(グラフ1)。世界全体から見ると、ドイツの風力エネルギー容量は、1999 年末の世界の総容量 13,000MW(1300 万 kW)の三分の一にあたる。

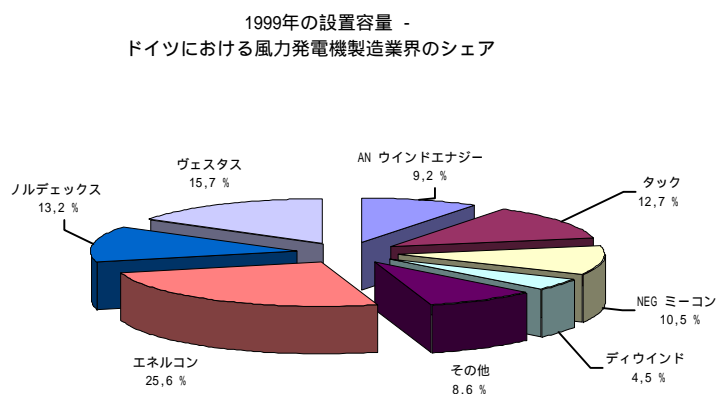
### 2.2 産業界の発展

1999 年に、ドイツにおける風力市場の売上高は、20 億ユーロ(約 2200 億円)にもものぼった。10 年前には、風力発電はもっぱら環境理想家たちの遊びにすぎないと見なされていた。最近では、

風力ビジネスは、多くの地域、特にドイツ北部では真剣なビジネスかつ重要な経済的要素の一つとなっている。

雇用という観点から見ると、ドイツの風力エネルギー産業は、約 25,000 の新しい持続可能な仕事を、直接的・間接的に作り出してきた。例えば、製造・供給産業において、建設業や電線業において、そして開発業者や経済団体などにおいてである。風力産業の競争力は、過去に成し遂げたコスト削減の反映であるだけでなく、ドイツ市場を代表する製造業者の幅広さにもある。(グラフ2)

グラフ2:



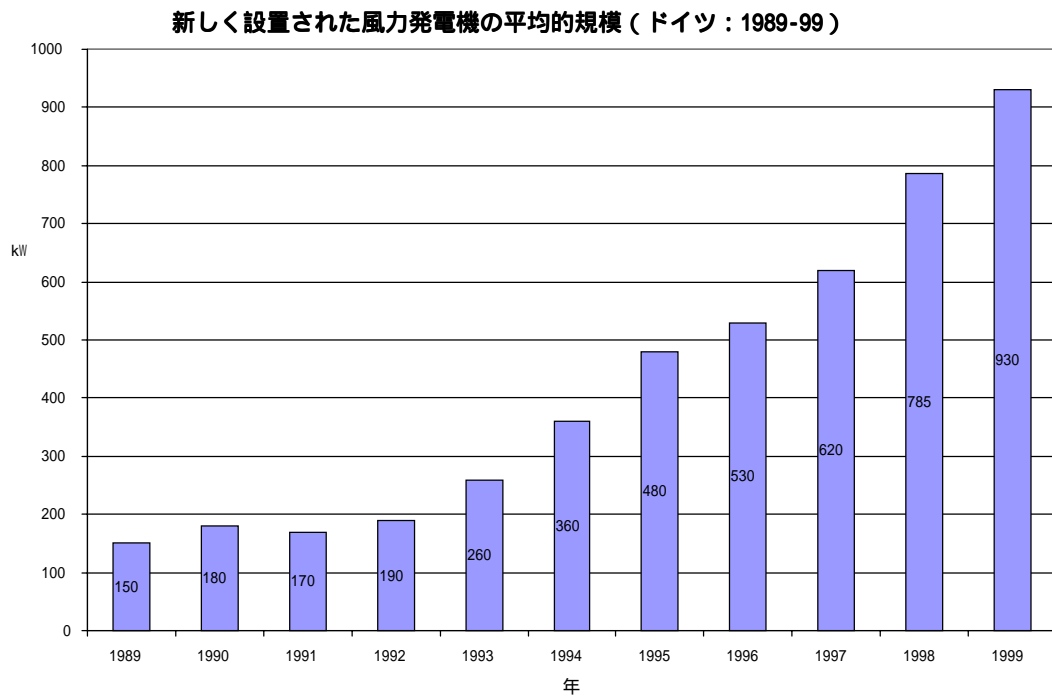
### 2.3 遠隔地にとっての新しい期待

ドイツの風力エネルギーブームのなかで最も重要な特徴の一つは、主に深刻な経済問題に見舞われていた遠隔地で生み出された電力が売買され、これらの地域に経済発展がもたらされたことである。特にドイツ北部の多くの農業者たちが、風力エネルギーを、二次収入源あるいは主要な収入源として取り引きしている。伝統的な農業ビジネスは儲けが少なくなっているためである。農業者たちは、今や風力ファーム開発業者に土地を貸したり、自ら開発して自分たちの風力協同組合やコミュニティ所有の風力ファームを実現したりしているのである。

### 2.4 技術的達成と風力供給

1999年には、ドイツにおける新しく設置された風車の容量の平均値は、さらに伸びてほぼ1 MW (987kW) になった。1998年には785万kWで、1995年には、グラフ3に見られるように、現在の約半分のわずか457万kWにすぎなかった。

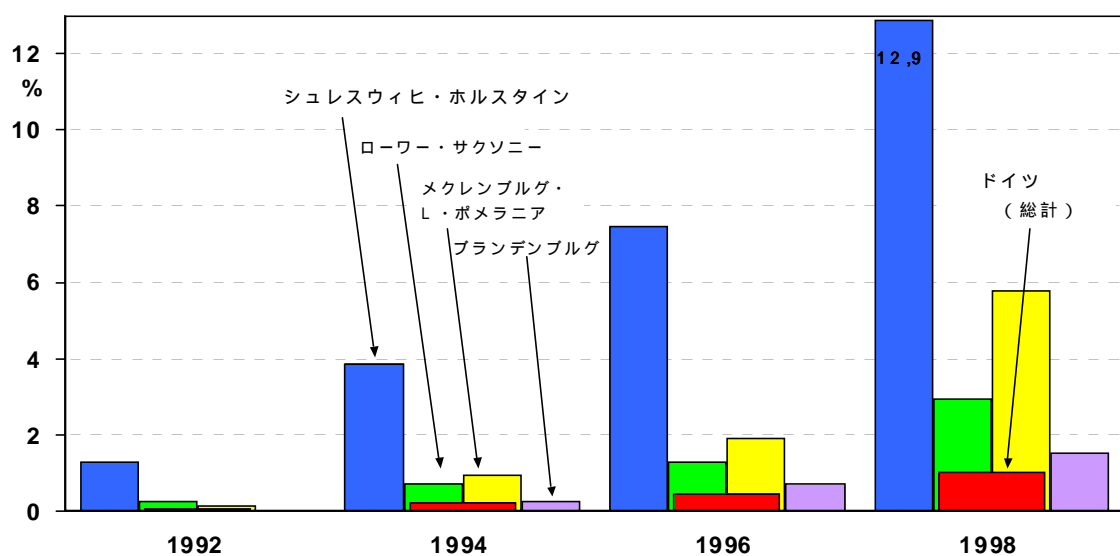
グラフ 3:



平均的な風力の年の間に、国中に設置された風車の数は 7,879 となり、80-90 億 kWh の電力を生産した。これは国の年間電力需要の殆ど 2% にあたる。グラフ 4 は、ドイツの総電力消費と比べた風力の伸びと、ドイツ北部の州における風力の増加を比べたものである。

グラフ 4:

ドイツ・総電力消費における風力発電のシェア (1992-98)



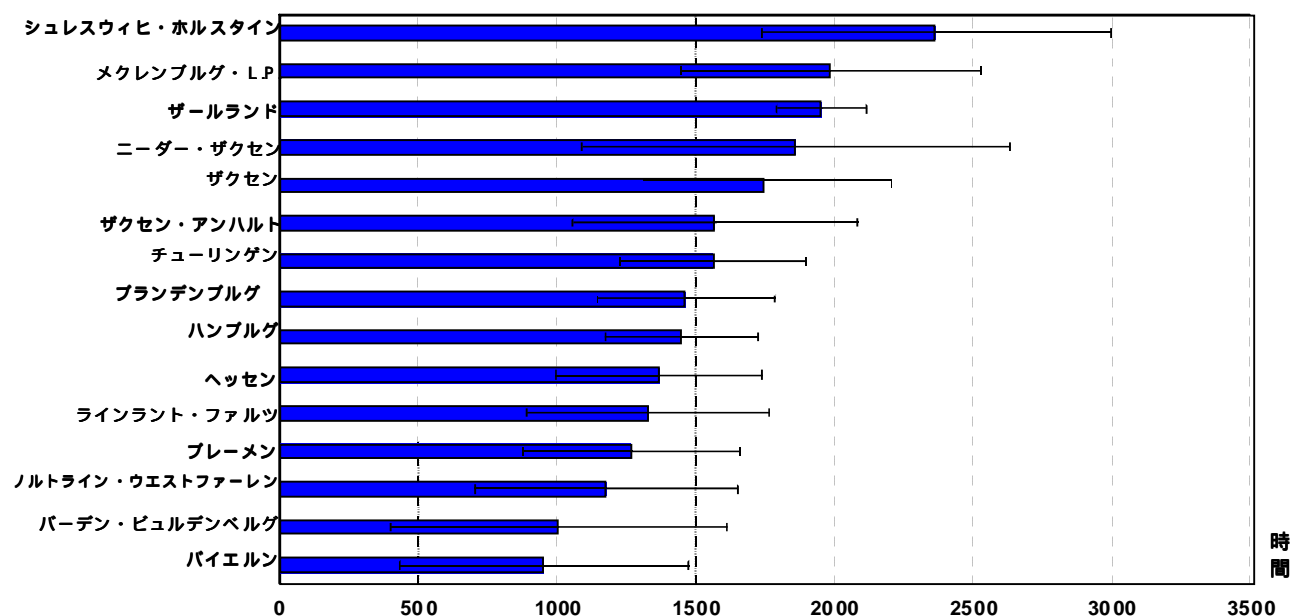
最北部の州であるシュレスウィヒ・ホルスタイン州(デンマーク国境にある)では、1999 年までに、約 1,000MW(100 万 kW)が設置され、急速に 20%へ近づいている。10 年前に、州政府が風力発電のシェアを 2010 年までに 20%に高めると発表したときには、多くの人に冷笑されたものだ。しかし、現在では、2010 年までに 1,400MW(140 万 kW)という州政府の目標は、ここ2、3年で達成できそうだ。結果として、風力エネルギーは、北部ドイツの主要な経済的要素となっているのである。

### 3. ドイツにおける風力エネルギー源の分布パターン

世界の多くの場所とは逆に、ドイツの風力エネルギー資源はさほど豊富ではない。島々、北部の沿岸地帯、バルト海沿岸地帯においてのみ、風速がヨーロッパの平均的状況と近くなる。グラフ5にみられるように、ドイツ本土の風力発電所と比べると、大きな差がそれぞれの生産高に見られる。

グラフ 5:

ドイツ・風力エネルギーの最大負荷時間の分布



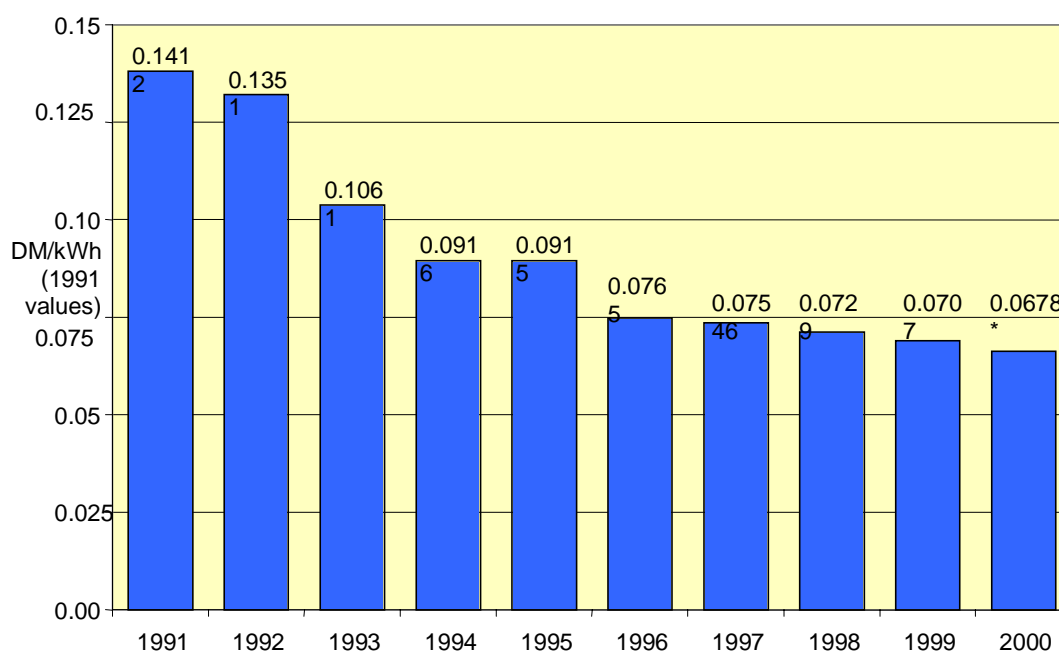
### 4. 電力価格の低下への挑戦

ドイツの電力市場において、自由化と勢いを増す競争が、1998 年から急速に進んだために、再生可能エネルギーに関する新たな懸念が起こってきた。消費者が払う電気料金が下がっていくと同時に、「再生可能エネルギー供給料金」(Renewable Energy Feed In Tariffs, REFITs)も同じように低下してきた。REFITs は、電気料金の平均と連動していたからである。電気料金の急激な定価は、特に経済団体を懸念させたが、製造業者や風力所有者や潜在的開発業者も同様であった。実際、この状況は、既存・計画中のプロジェクト両方の存続の可能性を危険に晒しはじめた。もっと風速の強い沿岸部の用地が限られているために、既存・計画中のプロジェクトが内陸部にだんだん移ってこようとしていたからである。

グラフ6では、風力からの電気に対して払われた料金の低下を反映して、ドイツにおける風力発電コストが下がったことがわかる。この分析は、特に1990年代初頭に、北部ドイツで与えられた、州政府・連邦政府の風力発電に対する助成金の最大助成可能性を考慮したものである。

グラフ 6:

シュレスウィヒ・ホルスタインとニーダー・ザクセンの沿岸部における  
REFITs の平均値、州・連邦政府の助成金を含む  
(1991 の価格, \* 2000 年までインフレ率 1.5 %)



## 5. 法制度における進展

そのため、政府は、新しい「再生可能エネルギー法」(the Renewable Energy Law, REL)では、新しい方法を取り入れた。REFITs が電気料金の平均と連動するシステムから離れて、さまざまな再生可能エネルギー技術ごとの真の発電単価に基づいた、より明瞭に固定化された価格へと近づいたのである。

1999年秋中の長々とした議論ののち、経済団体と潜在的開発業者たちの両方に疑いが高まるなかで、ついに、2000年2月終わりにドイツ連邦議会で、3月17日にドイツ連邦参議院で、「再生可能エネルギー法」は採択された。再生可能エネルギーに対する新しい法的枠組みが最終的に施行されたのは、2000年4月1日である。

## 6. 「再生可能エネルギー法」-風力発電に対する固定的な差額料金

ドイツの風力発電業界からの提案とコスト分析に基づいて、「再生可能エネルギー法」は、風力発電所への支払いを、以下の固定価格に定めた;

・最初の五年の運転に対して、0.178ドイツマルク(以下、DM。約10円)/kWh。その後、サイトの状況に従って、料金は低く抑えられていく。例えば、最も状況の良い沿岸部においては、最初の五年後を過ぎたのちは、0.121 DM(約6.7円)/kWhに下がる。

- ・ドイツにおいて最も状況の良い場所では、発電所の期待稼働年数 20 年を越えて、支払われる料金の平均は、0.135 DM(約 7.5 円)/kWh。
- ・ドイツ本土の風車は、サイトでの風速が遅いためにより高い支払いを受ける(例:新法で明らかにされている参考サイトでは、年間平均風速 30 メートル地点で 5.5 メートル/秒、摩擦係数 0.1)。引用されている参考サイトでは、風車の所有者は、平均料金 0.167 DM(約 9.4 円)/kWh を、20 年を越えて受け取る。これは、旧電気供給法の下で 1999 年に支払われていたレベルとほぼ同じである。
- ・風速 5.5 メートル/秒以下の非常に状況の悪いサイトだけが、それ以上の REFIT を 20 年間まで受け取る(例えば、20 年間平均で 0.174 DM(約 9.7 円)/kWh)。
- ・新しい風車に対しては、2002 年から、REFIT の 1.5% ずつの減額が見込まれている。
- ・既存の風車に対しては、現在から 2004 年までの移行期間が見込まれている。

## 6.1 洋上風力

新奇性とかかるコストの高さのために、ドイツ沿岸海上で実現した最初の洋上風力計画について、2006 年までに設置された風力発電所には、最初の九年間にわたって 0.178 DM(約 10 円)という高い料金が設けられる予定である。ドイツ風力発電研究所(DEWI)は、短期的に見ると、これらの優遇期間を設定すれば、北海やバルト海でのプロジェクトは実現すると予測している。将来的には、技術的進歩とコスト削減が期待できるので、2006 年を越えて実現する洋上風力は、さらに安い料金を受け取ることになる(平均で 0.135 DM(約 7.5 円)を 20 年間)。

## 6.2 太陽、バイオマス、地熱による発電を奨励

新法は、風、太陽、地熱源によるものすべて、5MW(5000kW)以下の小水力、埋め立てガス、下水汚物ガス、鉱山ガス発電所、20MW(2万 kW)以下のバイオマス発電所によって発電された電力のすべてに適用される。地熱発電が追加され、バイオマス発電所に対する見積もり容量は、5MW から 20MW(2万 kW)へと拡大された。政府は、これら再生可能エネルギー源に対する新しい料金体系で、1990 年代の風力発電ブームが他の再生可能エネルギー技術でも繰り返されることと、同時に、風力の過去の伸び率を確固としたものにするを狙っているのである。繰り返すが、差別化や、新規設置に対する定められた年ごとの等級付けによって、料金は固定化され、もう電気料金とは連動しなくなった。

最も卓越した改良点は、太陽光発電(PV)についてなされた。現在では、PV は 2002 年以降に設置される 5% に対しては、0.99 DM(約 55 円)/kWh を受け取ることになる。これは、未だにすべての再生可能エネルギー源の中で最も経済的でない PV 技術について、予測されるコスト削減の可能性を反映したものである。10 万ルーフトッププログラム(ゼロ金利ローン)と合わせることで、PV は経済的な投資になった。350MW(35 万 kW)の PV の設備容量が達成され次第、新しい計画が作られる予定である。

小水力、埋め立てガス、鉱山ガス、下水汚物ガスに対する REFIT は、既存の発電所に対する 0.13 DM(約 7 円)/kWh から、500kW を下回る小規模のものに対する 0.15 DM(約 8 円)/kWh まで、さまざまである。バイオマスに関する料金は、500~2000kW の大きな規模のものについては 0.17 DM(約 9.5 円)/kWh、より小さいものについては 0.18 DM(約 10 円)、500kW までの最も小さいものについては 0.20 DM(約 11 円)/kWh、に分類されている。地熱からの電力は、0.14 DM(約 7.5 円)/kWh~0.175 DM(約 9.5 円)/kWh を受け取ることになる。

## 6.3 費用の公的配分

1999 年の二番目の大きな懸念は、1997 年に「電力供給法」の改正条項として導入された、いわゆる「5%規制条項」によるものだった。北部ドイツの幅広い地域が、プロイセンエレクトラの供給域に属していた。プロイセンエレクトラは、1999 年秋に、再生可能エネルギーのシェアが 5%に達するだろうと発表していた。旧「電力供給法」の規定によれば、公益事業者は、5%を越えるい

かなる新規の風力やその他の再生可能エネルギー設備も受け入れる義務はなく、結果として、それ以降の年に導入された新規の設備については REFITs を払う必要はなくなるはずだった。

この制度の変更なしには、ドイツの風力ブームは、2000 年には直ちに停止していただろう。「再生可能エネルギー法」は、これ以上の規制を設けず、すべての系統網運用者間での再生可能エネルギーの配分を行うものだ。再生可能エネルギーからの総エネルギーは、それぞれの消費者に対する総電力供給量に基づいて(フレキシブル・クォータ制)、すべての電力供給者に均等に配分される。最初の段階では、系統運用者が再生可能エネルギー発電所からの電力を集めるのだが、最終的に料金を払い電力を受け取るのは電力供給者である。このシステムは、だからこそ、自由化されたエネルギー市場と完全に協調するものである。市場に何のねじれも作らない、競争的に中立的合意である。

#### 6.4 系統連系ルール

系統連系のためや、系統の強化や拡張のための料金が、信頼できる公平な条件に基づき、この法律のなかに初めて定められることになった。系統連系のために、開発業者は独立した第三者機関に対し、風力発電ファームの技術的連系面の準備をするよう要請する権利があるため、情報の透明性が拡大されることになる。

系統の強化や拡張のための料金は、ある場合においては根本的には要求されるが、託送費用にこれらの費用を上乗せすることができる系統運用者が負担することになる。

#### 6.5 REFITs に適する公益事業者

前法律からのもう一つの重要な変更は、電力会社もまた、この新しい REFITs に対して適応するだろう、という事実である。政府は、これで、再生可能エネルギーに関する法律に対する電力会社の反対が終るだろうと望んでおり、「再生可能エネルギー法」の範囲を広げることで、追加的な市場への刺激となることを期待している。しかし、いくつかの再生可能エネルギーの団体は、不完全な電力業界の自由化や公的な電力規制当局の不在という現状のままでは、再生可能エネルギー独立発電事業者の系統連系を妨害するなど、系統運用者がこの状況に乗じる可能性があるのではないかと懸念している。

#### 6.6 見直し条項

「再生可能エネルギー法」によると、二年ごとに、経済、環境、農業の各大臣は、議会に対して、法律によって成しえた事柄を評価する共同レポートを作成する。市場への導入やコストの発展の程度によって REFITs の見直しも提案できることになっている。

### 7. ドイツとヨーロッパにおける風力発電の発展の展望

1990 年代において、ドイツは、世界で最も活気のある風力エネルギー市場だった。わずか数メガワットから始まり、今では世界規模での風力エネルギーの発展を先導している。

将来に対する必要と挑戦から採択された新しい法律は、風力だけではなく他の再生可能エネルギーに関しても、21 世紀最初の 10 年、この景気が続くのを証明するというすばらしい機会を提供するだろう。最後の表 1 にみられるように、風力エネルギーは、少なくとも電力部門では、先駆者のままで留まるだろう。今からわずか数年後には、風力がドイツの総電力需要の 5% を供給するのを見ることができよう。技術革新や系統曲線、過去の伸び率も勘案して、1998 年に太陽エネルギー技術研究所がこのシナリオを開発した。



このように大変野心的なシナリオにおいても、すでに最初の段階においてすら、現実に追い越されてしまっているということは興味深い。再生可能エネルギーのための新法によって、ドイツにおける風力エネルギーの5%のシェアは、2007年ではなく2005年の初めには達成されるだろう。そのとき、風力発電は、ドイツにおいて200億kWh以上を供給しているのである。これは、1997年の白書「未来のためのエネルギー、再生可能エネルギー源」で定められた2010年におけるEUのための欧州委員会目標よりも、25%も多い。

## 8. 要約

過去10年間にわたって、ドイツの風力エネルギー分野は、大変先進的な産業であることを証明した。風力発電機の信頼度は、98-99%までに改善され、平均的な風力発電機のサイズは10倍に達し、コストは半減された。例えば、1999年に設置された新しい発電機の平均的なサイズはほぼ1MW(931kW)である。

1993-1999年の間に平均58%という、ドイツの風力発電の伸び率は大変印象深いものであり、比較できるのはコンピューター産業と電気通信分野のみである。今から数年後には、風力はドイツの電力供給の5%を容易に供給できるようになるだろう。シュレスウィヒ・ホルスタイン州では、風力のシェアは16%に達しており、すでに風力は、ドイツ北部の電力需要の実質的な量を構成している。1990年に発表された、2010年までに25%の風力のシェアというこの州の公式目標は、もっと早く、多分2003年までに実現するだろう。成功の秘訣は、すでにドイツ風力産業分野において25,000の雇用を創出した、安定かつ優遇的な、法的枠組みである。1999年には、20億ユーロ(約2000億円以上)の売上高に達している。新しい「再生可能エネルギー法」は、ドイツに対して、風力発電の発展という成功の道を歩ませ続けるだけでなく、その他の再生可能エネルギーについても、この成功例を繰り返させるだろう。

ワールドウオッチ研究所の著名なエネルギーの専門家であるクリストファー・フレイビン氏の言葉で締めくくるとしよう。

“1990年代における風力発電の劇的な伸びは、固定価格で風力発電を系統に連携することを補償した、いわゆる「電力供給(フィードイン)法」に由来するものである。提示された料金は、再生可能エネルギー技術が環境に対して貢献しているという認識に立って、通常化石燃料発電よりも高い。

世界の風力市場の70%程度が、わずか3つの国、ドイツ、スペイン、デンマークに集中している。この現状は、法律が存在しているところの成功と、法律を受け入れられなかったより広い範囲の両方を反映している。(主流になる風力エネルギー、「風の方向、2000年1月号」)

表 1:

## ドイツにおける風力発電の発展シナリオ (1997-2007)

年	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
新しい発電機の数	800	850	900	950	930	910	890	870	850	830	810
容量平均値 [kW]	600 kW	700 kW	800 kW	900 kW	1,000 kW	1,100 kW	1,200 kW	1,300 kW	1,400 kW	1,500 kW	1,600 kW
新しく設置された容量 [MW]	510 MW	595 MW	720 MW	855 MW	930 MW	1,001 MW	1,068 MW	1,131 MW	1,190 MW	1,245 MW	1,296 MW
発電機の数 (累積)	5,100	5,950	6,850	7,800	8,730	9,640	10,530	11,400	12,250	13,080	13,890
累積容量 [MW]	2,040 MW	2,635 MW	3,355 MW	4,210 MW	5,140 MW	6,141 MW	7,209 MW	8,340 MW	9,530 MW	10,775 MW	<u>12,071 MW</u>
年間発電量 (TWh)	3.0	4.7	6.0	7.5	9.3	11.1	13.1	15.2	17.4	19.7	22.2
風力発電の占める割合	0.7 %	1.1 %	1.4 %	1.7 %	2.1 %	2.5 %	3.0 %	3.5 %	4.0 %	4.5 %	<u>5.0%</u>
投資見積もり [百万 DM p.a.]	1,050	1,213	1,453	1,707	1,838	1,957	2,066	2,164	2,252	2,331	2,358.7
追加コスト [Pf / kWh]	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.28	0.31	0.35

