

# デンマークの風力発電市場

---

Danish Wind Turbine Manufacturers Association

訳 インター・ドメイン株式会社

## 風力資源

平均的に4.9 ~ 5.6 m/s (at v=10m) 50mに換算すると6.5 m/s。オフショアの風力資源は豊富である。海に囲まれており、経済水域も広い。水深は5 ~ 15 mと浅く、立地条件がよい。50mの高さで8.5 ~ 9 m/sの平均風速が見込まれる。

## 風力発電の構成

地理的に全土にわたって広がっているが当然強風地帯に多い。単機設置もしくはクラスター設置が多い。ウィンドパークは比較的少ない。その理由は政策によるところもある。法律上、結果的に単機設置が有利になる。デンマークの風力発電容量の80%は個人もしくは協同組合、残りが電力会社の保有。

## 風力利用の方針

エネルギーの長期計画が重要と考え政府は Energy 21 という西暦2030年に向けた長期計画を策定した。電力の部分で特筆すべきは、将来の電力システムには大きな割合で不安定な再生可能エネルギーを受け入れることができるようにしたことである。

1980年代なかばより、2005年の国内電力消費の10%を風力発電から供給することが目標となった。設置容量では1500 MWになる。この目標は2000年には達成できる見通しとなった今、2030年にこれを50%に引き上げることが目標となった。増加分の大部分はオフショア設置によるものとなる。

## 電力会社の役割

政府は電力会社に対して強力な支配力を持つ。規制のひとつにエネルギーの効率化と需要側マネジメント (DSM: 負荷調整) がある。総合立地計画 (IRP) は新規発電所の許可取得にかかわる方法を規制する。

政府はこれまで陸上設置で400MWの風力設置を電力会社に課した。最近では200MWを2000年までに設置せよとの指示が1996年に出た。1998年、750MWのオフショア設置の指示が出た。

電力会社からの発注形態は、従来電力会社の主導だったが、最近では風力発電機メーカーのターンキー一括契約の形態をとっている。コスト削減効果が著しく大きいため。この方式は英国のNFFOやSROに近い。

## 電力会社の所有権

電力会社は非営利の法人であり、ほとんどはその地域の電力需要家が所有する。多くの地域電力会社は風力発電所に関する相互間のシェア割り当てを持っている。これはプールされ、優良な風力立地地点への風力エネルギー開発に一役買っている。

## 電力会社の取り組み

デンマークの場合は、ドイツのように個人投資家中心に風力発電が発展してきたかもしれないが違う。デンマークの場合は電力会社を巻き込んだことが大きい。専門性と規模が期待できたため。しかし過去では経済的にメリットの出ない風力発電には電力会社内にも反発はあった。

ただし現在は違う。電力会社が環境保護義務に対する要求を満たす上で、風力発電はもっとも経済的に優れた選択肢であることがわかった。今や電力会社は政府に対して、風力発電は電力会社が推進すべきであることを主張している。750MWのオフショア風力発電開発にしても、政府の指示が出るより前に開発許可の申請が電力会社より出された。独立風力発電事業者から電力を買うより自ら風力発電を行なったほうがはるかに安上がりとなる税制構造になっている。

電力会社の風力発電コスト	0.28-0.34DKK/kwh(0.04US\$/kwh)
免税額(0.10DKK/kwh)を引いた場合	0.18-0.24DKK/kwh
一方、これに対し	
I P Pからの買電単価	0.30-0.37DKK/kwh

ただし金利5～6%、事業機間20年、系統増強のためのコストは電力会社の発電コストに加味されていないことに注意必要。

## 公共サービスにおける義務

EU欧州連合の電力融通自由化では、電力のコスト負担は消費者に分けられることになっている。デンマークの場合、再生可能エネルギーにおける余計なコスト負担は消費者が負担する。他の電力資源との公平性を保つため。

## 自治体の取り組み

政府は自治体に対して風力発電の立地調査を行なうように要求してきた。その結果として2600MWを超える風力発電適地が把握されている。このシステムは北ドイツの開発方法にも生かされている。

## 風力資源マップ

自治体の風力エネルギー開発調査を支援するため、1991年に初期的な全国風力マップが作られた。

1997年から98年にかけて、それよりもはるかに優れた最新の技術で、全国詳細にわたる分析方法が開発されようとしている。100m×100mのセルを単位として20kmの範囲の地表粗度を自動的に評価するものである。

このシステムはすでに4800ヶ所の風力発電機設置地点が入力されており、その結果は1500ヶ所の風力発電機からの実働データと照らし合わされ、相関調整がなされている。

## 導入促進

1980年代当初、政府はいくつかの風力発電導入促進策を制定した。新規設置に対して30%を補助するというものであった。その後徐々に補助率は引き下げられ、10%補助を最後に1989年に打ちきりとなった。

## I P P の売電単価

法律により、電力会社は民間の風力発電機からの電力を、標準として年間2万kWhの一般家庭消費者向け平均電気料金の85%で購入することを義務付けられている。その結果電力会社の風力発電買電単価は、配電コストによって変化するが0.25～0.35DKK/kWh(0.036～0.05米ドル/kWh)となる。

この風力発電買電単価は他のI P P事業からの時間帯別買電単価を想定した場合に比べて遜色はない。時間帯別売電は需要のピーク時、中消費時、低消費時の時間帯によって発電機からの買電単価が異なる。北ヨーロッパでは風力発電の電力生産と需要とは重なる傾向があるため(夜間より昼間、夏よりはるかに冬、風が強い)、風力発電は系統にとって、ランダムな発電を想定した場合よりも40%も系統にとって価値があると言われる。最初、価格はデンマーク風力発電事業者協会とデンマーク電気事業者連合(電力会社)の交渉により決められていた。1992年、電力会社は交渉を打ち切り、風力発電事業者の交渉は歩み寄りを見ることなく失敗に終わった。それ以降、政府と国会が割って入り、再生可能エネルギーの買い取り義務や買電単価を取り決める基本規則を策定することになった。

## 二酸化炭素とエネルギー税の一部還元

デンマークの一般家庭は非常に高い電力料金を負担している。火力発電コストはヨーロッパでも最も低いレベルにあるにもかかわらず高い電力料金を払うの理由は、電力への間接税が極めて高いためである（グラフ参照）。政策として汚染の発生を押さえ込むことと、エネルギーの節約を図ることを目的としている。電気税は一般家庭からサービス産業まで、あらゆる需要者から徴収されるが、製造業のみ、ある一定レベルまで免税となっている。

再生可能エネルギー源からの電力には0.10 DKK/kWh（0.014米ドル/kWh）の二酸化炭素税還元がある。この還元は発電機の所有者に関係なく、電力会社、企業、個人に支払われる。

## 個人所有者（組合を含む）への特別規則

電力会社以外の風力発電機保有者、すなわちそれ以外の企業、個人そして協同組合は、加えて0.17 DKK/kWh（0.024米ドル/kWh）の電気税還元がある。還元の大きさは風力発電事業者にリーズナブルな利益が出るように設定されている。一方優れた立地条件下では風力発電に利益を回し過ぎになるところもあるとの声が政府内に上がっている。このような条件の発電所には今後の調整が避けられない状況にもなっている。

非電力会社の風力発電事業者への還元は合計で0.5～0.62 DKK/kWh（0.071～0.089米ドル/kWh）。電力会社とそうでない風力発電事業者にこのような差をつける理由は、デンマークの電力会社は非営利企業であるため免税業者扱いとなっているためである。電力会社には減価償却の前倒しが許されており、それは免税に他ならない。電力会社は実際に事業投資を行なう前に電力料金から投資を回収することを許されている。

## 系統連系と系統強化

1996年の風力発電機の系統連系に関する法律によると自治体が計画する1.5 MW以上の風力発電開発計画に則ったいかなる立地場所にも、配電会社は系統連系設備を配備する義務を負う。また電力会社は11～20 kVへの連系を受け入れなければならない。その場合、その風力発電機の設置地点まで系統を延長するコストは風力発電機の保有者が負担する必要がある。ただし、配電系統の通常整備として一般的な目的で系統を延長する場合、そのコストは電力会社の負担となる。

配電系統の強化は電力会社のコスト負担となる。系統強化が著しく非経済的であることを電力会社が証明できればその負担は免れる。風力発電事業者がこれについて電力会社に申し立てようとする場合、窓口はエネルギー・環境省のエネルギー庁が窓口となる。

風力発電事業者は11 kV系統に接続するための変圧器のコストは負担しなければならない。電力メーターのコストも風力発電事業者の負担となる。

## 風力発電への投資に関する税制

風力発電機には他の機械設備と同様、年間30%の減価償却が認められている。風力発電事業者には別の選択肢があり、特例として減価償却や他の関連コストの償却に制

限を設けない代わりに、年間売電収入のうち3000DKK(450米ドル)を超える部分について60%の課税を受け入れるという方法もある。これが意味するところは、風力発電事業者組合などで比較的出資が少ない人々は風力収入に対して課税されないということ。

## 負荷価値税(VAT)の原則

間違っ報告されることが多いが、デンマークには風力発電機や電力生産に関連する負荷価値税の特例はない。デンマークの負荷価値税は一律25%であるが、例外は新聞と5トンを超える造船の税率ゼロのみである。

## 個人所有の制限

風力発電機の個人所有には系統連系に関する法規により制約が設けられており、風力発電組合の構成員は当該風力発電機がある行政区もしくは近隣の住人でなければならないことになっている。また組合への出資にも制約をつけており、一人当たり年間発電量3万kWhを上限としている。これは12万DKK(17000米ドルに相当)にあたる。

これら制約は、風力発電に関する政府の援助の誤用を防ぐためとされているが、自然資源の開発に地元の所有権を優先するという基本的な政策から来るものである。これはデンマークの農政でも同様で、農場主はその農場の住人でなければならないこととなっている。

風力発電機の所有と、組合内での出資比率は互いに依存しない。

独立系電気事業における定数制限は、電力会社が強力な政治力にものを言わせた結果とみられる。

## 市場規模

総設置容量は1997年末時点で1100MW。ドイツ、米国に次ぐ第3位。1997年の300MW設置は、年間の設置記録。前年および前々年はそれぞれ200MW、98MW。

## 風車と部品の製造

1998年中間時点での国内風力発電機5000基はすべてデンマーク製。デンマークは世界のトップ10風車メーカーのうちその半分5社を擁する。NEG Micon, Vestas, Bonus, Nordex, Wind World。そのうち上位3社で容量ベースで見た世界の風車生産高の半分50%以上を生産する。ここに挙げたメーカーはほとんどがかつて農業機械を製造していた。唯一 Wind World のみ、ギアボックスと船舶技術の製造出身。

国内の競争が激しいばかりでなく、例えば2系統の独立したブレーキシステムが要求され、うち1系統は空力ブレーキであること、というような厳しい安全技術基準により、外国製品が入り込む余地はない。

部品では LM が世界第 1 のブレードメーカーで 1000 人以上を雇用する。風車の電子制御では世界の大きなシェアを占める。それ以外にもブレーキシステム、油圧システムのメーカーもある。

## 雇用

デンマークは風力発電機の全世界生産量のうち 60% の生産能力を持ち、生産量の 3 分の 2 は輸出される。1997 年の統計によると、デンマークの風力発電機メーカーでは 2200 人が雇用されている。周辺部品やサービスに 10000 人。海外への部品供給や設置作業などに 4000 ~ 5000 人。これらには海外での部品生産に関する雇用は含まない。

## 輸出政策

間違った見方をされることが多いが、デンマークには風力発電機の輸出振興のための輸出政策や助成制度、例えばドイツの Eldorado プログラムのようなものは過去から現在までない。通常の政府開発援助プログラムのもとで、インドや中国にデンマーク製風力発電機が輸出された例や、中国向けに O E C D 基準のソフトローンが組まれたことはあるが、特別な輸出政策があったわけではない。

## 製品開発における国内産業の役割

デンマークの国内市場は風力発電技術や生産技術、品質管理のための実験台としての役割も担ってきた。米カリフォルニアの風力開発が盛んだった 1980 年代当初、デンマークメーカーには実質的に世界で唯一、膨大な実績ができた。その結果がデンマークの機種が喜ばれ、カリフォルニアでの設置量の半分までもがデンマーク製となって表れた。カリフォルニア向けに何千という風力発電機を生産したことはデンマークのメーカーにとってこのうえもない貴重な経験となった。

## デンマーク風車のコンセプト

カリフォルニアでのデンマーク風車の実績は他社と比べておしなべて良好だった。今日の最新式のデンマーク風車に生きるデンマーク設計は、時々ニュースになったりする革新的技術の登場にもかかわらず、今まで以上に世界の風力発電市場に君臨している。垂直軸風車を生産していた最後の会社 Flowind は 1998 年に破産した。2 枚ブレードに固執していた WEG, Nedwind, Lagerwey は 3 枚ブレードに換えてきた。

デンマーク設計というのは、3 枚翼アップウィンド式で固定回転、系統に直結というもので、市場の 75 ~ 80% を占める。

可変速回転や系統非直結のような非デンマーク設計が市場に入り込んでくるかどうかはコスト、特にパワーエレクトロニクスのコスト次第ということになる。コストも量産効果で下がるのでなんとも言えないところだが、現時点での基本設計が来世紀に受け継がれることは確かである。

# デンマークの成功は二度起こるか

風力エネルギーにおけるデンマークの成功が他で起こるとは考えにくい。今日の技術開発は違う。市場も競争も異なる。ある意味でデンマークはちょうど良い時期、場所、考えということで幸運だったといえる。大きな市場分野の競争も厳しい中で、試行錯誤的に始めることはもはや難しい。そこでは大型機と大資本が要求され、また大きな開発リスクにも晒される。それに加え、現在技術の改良や生産コストの削減はできても風力発電の根本的な革新技術というものが見えてきていない。

## 個人が市場の屋台骨

デンマークは世界の風力市場の中でも少し特異な存在である。国民の代替エネルギー技術への関心から急速に発展した。その理由は核エネルギー利用への反発であり、1970年後半の石油エネルギー危機である。

風力発電協同組合の構成員が、風力発電機の所有者の民間個人所有はデンマークの風力発電総設置容量の80%に相当する(1997年末現在設置容量1100MWのうち900MW)。10万世帯が風力発電に資本参加し、2000基が個人所有である。風力発電協同組合は無責任の合名会社の形態をとるが、風力発電機と建設のコストは通常完全に回収されるので、実質的にはリスクはないと見られる。

## 統計資料の利用

風力発電機の所有者はデンマーク風力発電所有者組合の中で有機的に結びついていて、組合組織は毎月1500基の風力発電機の電力生産と事故や故障に関する報告書を発行している。この優れたデータベースとユーザーグループそして技術コンサルタントが、厳しいメーカー間の競争原理に支えられた健全な市場を維持するための、強力な武器となっている。

風力発電機は通常5年間の電力生産保証がついて販売される。この保証は保険会社によるものである。このことで風力発電機メーカーはおいそれと発電性能を過大表示できなくなっている。特定機種に対する保険会社のハイリスク保証料金として跳ね返ってくるためである。

## 公的資金による研究開発の役割

他国と違い、デンマーク風力発電の初期段階での公的研究開発は大きな役割を果たしていない。後にデンマーク政府と欧州共同体が多くの基礎研究プロジェクトに出資し、開発プロジェクトも支援した。研究および事務合わせて60~80人が従事し、予算は年間わずか2百万ドルにも満たない。これに比べ、デンマークの風力発電機メーカーには合計約1000人が技術開発を担当している。

## 型式認定

1970年代終盤、Risoe 研究所（もとは核研究の機関）は公的投資の対象となりうる風力発電機の機種型式認定を担当していた。型式認定の過程は非常に効果的で、品質の低い製品や本質的な危険性を伴う製品を締め出し、メーカーに対しては設計および製造技術の向上への圧力をかけた。

Risoe の非常に厳しい安全基準、実物ローターブレードの試験要求、基礎的な構造計算の要求のおかげでデンマークの主要メーカーは、他の多くの外国メーカーが当初経験したようなマシンの倒壊などの運命をたどることはなかった。結果として、デンマークの風車は頑丈で安心な、しかし重量級のマシンとなった。軽量化の余地は多く、この5～10年間の大型化の間、kW当りの重量は半減した。

## Risoe 研究所の役割

Risoe 研究所は1980年代前半、風力発電機技術の基礎研究と風力資源評価調査の、おそらく世界第一の国際的な研究機関として進化した。ずっと小さいが、デンマーク工科大学の付属として流体力学研究所が誕生した。両者の共同開発による風力発電機設計ソフトウェアは多くの企業に実践的な道具として、また流体解析の証明作成の重要な道具として使われた。

## 研究開発分野における電力会社の役割

デンマークの電力会社は初期の風力エネルギーの開発段階でパイオニア的な役割を演じた。政府が1970年代半ばに実施した風力エネルギー研究プログラムでは、電力会社が当時では比較的大型の630 MW機の開発に参加し、1979年に実験機を2機（ピッチ制御型と失速制御型）Nibe の近郊に設置した。この2機は1997年まで使われた。1980年代初頭、750 kW機が5機、1990年代には1 MWと2 MWの実験機2機が作られた。これらの実験機の第一目的は商用機の開発というより、社内風力専門家の人材育成にあった。

## デンマークのシステムは経済的な成功か

デンマークの風力エネルギー経済システムは、エネルギー方針への公共の直接参加という観点からは成功してきた。政府からの指導により決められた、電力会社の風力発電の市場シェアも、機能しているといえる。ただし決められた予定より3年遅れている。

電力会社への0.10 DKK/kWh (0.014 US\$/kWh) の還元は、二酸化炭素税の徴収という名目上の政策的な考えに基づいている。今日この額は風力発電と化石燃料発電の平均的発電コストの差を埋める程度のものになっている。

## 制度から本当の市場効率を得られない

デンマークの風力エネルギー支援システムは風力発電機の個人所有者にあまりにも寛大過ぎる、また逆にエネルギー税制の還元高が過大だという政治的な反発の高まりが



最近になって出てきている。反発の裏付けるのが、強風地方のキャピタルゲイン（地代収入）である。政治的な反発のタイミングは、法律の抜け目の発見から発生した一時的な風力発電機設置ブーム（パニック的な駆け込み需要）の時期と関係する。このことは、農場主以外風力発電機を保有できないという分離主義政策が、堅実な投資家を市場から排除し、電力生産（強風地方）を必要以上に最優してきたという事実を明確に表した形となっている。同じように、風力発電協同組合における流動性証券と永久証券の価格的な差異が、風力発電機保有の地域優位性に見合うプレミアムの形になって表れている。

\*\*\*