

ウインド・フォース 12 の紹介

千葉大学工学部都市環境システム学科

佐藤 建吉

1. はじめに

「ウインド・フォース 12」(WIND FORCE 12)¹⁾は、2020年までに風力発電で世界の全電力の12%をまかなおうとする計画書である。2002年9月、南アフリカのヨハネスブルグで開催された“持続可能な開発に関する国連世界首脳会議”での再生可能エネルギーを2010年には10%に拡大する国際的数値目標としての基礎をなすものである。アナン国連事務総長は同サミットを、世界の政府による会議であり「持続可能な未来をつくるための探求を刷新する好機」であると述べていたが、アメリカ合衆国・日本などの国々が、数値目標とすることへ反対したため、この「ウインド・フォース 12」も、注目度を下げているが、本報では、その背景を概括し、内容と意義を紹介する。

2. 「ウインド・フォース 12」の背景

「ウインド・フォース 12」(以下、WF12)は、1999年にEWEAから公表されていた「ウインド・フォース 10」(以下、WF10)の改訂版である。WF12は、2002年5月にヨハネスブルグ環境サミットのプレ・ミーティングがインドネシアのバリで開催された際に公表された。そこでは、“The Will for Wind”²⁾(拙訳、「風力への決意」³⁾)を発表し、その趣旨を説明し、強調している。

WF10は、1998年のデンマークのエネルギーと開発のためのフォーラム(FED)に際し、デンマークの風力エネルギーコンサルタント会社TM Consultによってまとめられた。これは翌年、FEDやグリーンピースGP・ヨーロッパ風力エネルギー協会EWEAによる詳しい分析のモデルとなった。1998年の最初の調査では、二つのシナリオに基づいて、世界の総電力需要の10%までを風力発電でまかなうための可能性を見出し、翌年1999年の報告書では、将来の電力需要を国際エネルギー機関IEAの「世界エネルギー展望」(1998)を採用し、2020年までに電力消費は2倍になると見積もっていた。

WF12の目的は、後で詳述するように、世界の電力システムのうち、風力発電が、20年以内に将来の総電力需要の12%に到達した時の、技術的・経済的・資源上の結果を評価することで、さらに、20年以内に12%まで到達することが可能か否かを評価することである。

WF10とWF12では、三つの点で違いがある。一つめは、IEAの「2000年世界エネルギー展望」に基づき修正された電力需要見積りがされたことである。世界の電力需要が、最新の予測では、1998年よりわずかに低くなり、結果として風力の世界の総電力に対する寄与率が12%に向上した。二つめは、過去3年における風力産業の成長率はWF10の見積りよりも高いということである。三つめは、WF12では、2004年から2015年までの期間での年成長率を低めにしている。例えば2008年から2010年までの成長率は30%ではなく20%とされている。これら三つがWF12での改定内容、新目標を定めている。

3. 「ウインド・フォース 12」 WF12 の構成

WF12は、写真と図表を挿入した50ページに及ぶpdfファイルとして公開されている。その構成は、「目次」(p1)、「まえがき」(p2)、「序文」(p4)、「実行計画の要約」(p5)、「1. 方法論」(p8)、「2. 世界の風力発電状況」(p10)、「3. 世界の風力資源および電力需要」(p23)、「4. 風力で世界の電気の12%をまかなう」(p28)、「5. 2020年までに12%の風力発電—投資、費用、雇用」(p33)、「6. 2020年までに12%の風力発電—環境への貢献」(p38)、「7. 政策的勧告」(p41)、「付録」(p46)になっている。

「まえがき」では、G8の再生可能エネルギー部会のSir Mark Moody-Stuart議長、「序文」ではEWEAの代表Arthouros Zervosとグリーンピースの代表Sven Teskeの責任者が署名をして、この報告書の目的と意義について正当化し、権威づけている。これはWF12の効果を考えると重要である。Sir Stuartは、「気候変動への脅威」と「増大するエネルギー需要」への挑戦において「風力エネルギー」が重要な役割を果たしえることを述べている。Arthouros ZervosとSven Teskeの両名は、WF12は、世界の消費電力は20年以内に2倍になると予測しており、風力発電で世界の電力の12%を供給できることを証明する「世界的な行動計画書」であり、さらに、風力には世界的な利益があると主張している。そして今日、まさに、風力が健全な成長産業になっていることを力説している。この際、補助金策ではなく、国際財務機関と証書輸出入機関を導入し、再生可能エネルギープロジェクトへの健全な融資保証が重要であると述べている。さらに民意の形成が必須であると、この利益を獲得するには、政治レベルでの行動が緊急であるとしている。

4. 「ウインド・フォース 12」 WF12 の内容

4. 1 方法論

この調査目的は、2020年までに、世界の電力需要の12%まで風力発電を普及させることができるかどうかを評価することであり、その評価過程では、技術・経済・資源の密接な関係が検討されている。この調査で取り上げられた因子は、以下のものである。

- 世界の風力資源とその地理的分布の評価
- 要求される発電量のレベルとその配電網での適合可能性
- 風力エネルギー市場の現状とその潜在的成長率
- 風力エネルギー技術とそのコスト面の分析
- 「習熟曲線理論」を用いた他の発展技術との比較。

これは1999年に発表された以前の調査の最新版である。それは単なる予想ではなく、フィジビリティ・スタディ(FS、可能性調査)であり、その実行は世界の各国政府が行う政策決定に左右されることを指摘している。

4. 2 世界の風力発電状況

最初のWF10レポートが発表されてから、風力発電は世界で最も急成長しているエネルギー源としての地位を維持してきた。設置容量は30%を超えた年率で増え続けている。2001年には、1年で新規設備容量は6,800MWに達し、電力配電網に追加された。

2002年の前半までに、世界の風力エネルギー設備は25,000MWに達していた。これは、1,400万世帯、3,500万人以上のニーズを満たすのに十分な電力を供給できる量である。ヨーロッパではこの容量の70%を占めており、他の地域は重要な市場として登場しつつある。世界で45カ国以上が、世界合計としての容量計算に寄与しているが、その産業に従事している人の数は7万人前後になると推定されている。

風力エネルギーの発展の背景としての起動力は、気候変動に立ち向かうための緊急かつますます高まる必要性に由来している。大半の国は、現在、環境の大災害を防ぐために温室効果ガスの排出が徹底的に削減されなければならないということを認めている。風力エネルギーは主な温室効果ガスである二酸化炭素の排出を完全に防ぐ動力源を提供するだけでなく、化石燃料や原子力による発電に関係した汚染物質を一切作り出さない。風力発電は産業規模の配電容量を生み出すことができる。

1997年の京都議定書から始まって、一連の温室効果ガス削減目標は地域や国家レベルにまで下りてきた。風力を含んだ再生可能なエネルギーの割合を増やす目標に読み替えられてきている。

目標の達成のために、ヨーロッパやその他の国々はいろいろな市場支援メカニズムを採用してきた。単位出力あたりに優遇価格を支払うメカニズムから、再生可能エネルギーの電力供給割合をより高めることを義務づける、より複雑なメカニズムまで、広範囲に及んでいる。

市場が大きくなるにつれて風力エネルギーはコスト面で劇的な低下を示した。風力エネルギーの1キロワット時(kWh)の生産コストは20年前の5分の1である。風力発電はすでに新しい石炭火力発電と競争しており、場所によってはガス火力発電に競合している。個々の発電風車も容量が増えてきている。最も大きな発電風車は現在2,500kWに達している。

急に景気づいた風力エネルギー業界は、銀行業や投資市場も真剣に注目し、石油会社のような会社も新規に市場参入している。

風力発電での“サクセスストーリー”は、ヨーロッパではドイツ、スペイン、それにデンマークで、アメリカ大陸ではアメリカ合衆国、発展途上世界の国々の中ではインドに見られる。新しい市場としては、北ヨーロッパ周辺の海域で提案された20,000MW以上のウインド・ファームのように、沖合の海上に出現しようとしている。

4.3 世界の風力資源および電力需要

多くの評価により、世界の風力資源は莫大でほぼ全ての地域や国にうまく分配されていることが確認されている。技術的に利用可能な風力資源の総量は年間53,000TWh(T:テラ 10¹²)になると見積もられている。これは2020年での全世界の電力需要推定の2倍以上である。ゆえに風力発電を行う上で、風力資源の不足は制限要因になりそうもない。

風力発電の可能性については、特定の国に対してより詳細な見積りを行うと、広範地域に対してよりもはるかに高い可能性が得られる傾向にある。例えばドイツの経済省は、OECD各国の1993年の研究で示されたよりも5倍高い可能性を示した。ヨーロッパでは、2020年までの電力需要の、少なくとも20%に見合う十二分の可能性がある。これは、新しいオフショア風車の市場を考慮す

るとより高い結果である。

将来の電力需要は IEA（国際エネルギー機関）が定期的に見積っている。IEA の 2000 年世界エネルギー予測（World Energy Outlook）は、「Business as Usual（一般業務）」としてのシナリオの下では、2020 年までに世界の需要は 25,800TWh に達することを示している。風力エネルギーで世界の電力消費の 12 %をまかなうためには、2020 年までに年間 3,000TWh 程度の発電が必要となるだろう。

このように増加している風力の電力を配電網に連系することに本質的な障害はない。デンマークの西部地方では、強風シーズンになると、風力発電により電力需要ピークの 50 %までは問題なく供給されている。熟慮して仮定された 20 %という風力連系限界は、問題なく維持できる値であることを示している。

4. 4 風力で世界の電気の 12 %をまかなう

最近の動向によると、2002 年から 2007 年までの期間は、年 25 %の成長率で風力発電が増加することが期待できる。これは調査期間内では最大の成長率である。2007 年末までには、総計 120,600MW が運転可能となる。

2008 年から 2012 年までの年成長率は 20 %まで低下し、2012 年までの設備容量は 352,241MW という結果になる。その後、年成長率は 15 %、2016 年には 10 %までの低下が予測される。しかし風力発電は、高い年間設置量を維持し続ける。

2020 年以降は、年間設置量は 150,000MW で横ばいになるだろう。これは 2030 ~ 40 年までは、風力エネルギーの世界総計は 3,000GW 程度になることを意味しており、その時には世界の電力消費の 20 %を発電していることになる。

12 %シナリオも世界の諸地域に対して分析されている。OECD 諸国は、シナリオの実行でリードすることが期待されている。特にヨーロッパや北米、それに中国、その他の地域も、大きな貢献をするだろう。

このシナリオの基礎として選択された要素や条件は、風力エネルギー産業と他のエネルギー技術との歴史的な経験に基づいている。主な条件は以下の通りである。

- ・年間成長率：重機械産業では 20 ~ 25 %の高い成長率を示しているが、風力産業では初期段階で、これよりずっと高い値を示している。風車の年間設備成長率の平均は、過去 5 年にわたり 40 %に届こうとしている。シナリオでの成長率は 2013 年以後 15 %に、そして 2016 年には 10 %にまで低下することになっている。ヨーロッパにおける風力利用における重要な要因は、オフショア風力市場の開始であろう。風力産業界からの主張では、発展途上国に台頭する市場を形成させるために、安定した政治的骨格を形成する必要がある。
- ・価格低下率：産業の習熟曲線理論は、生産単位数が倍になるとコストは約 20 %減少することを示している。この調査で想定している進歩率は、2010 年までは 0.85 であるが、その後 0.90 になり、2026 年には 1.0 となり、コストダウンはなくなるとしている。
- ・風車サイズの増加：新しく設置が予測される風車の平均的な大きさは、現在の 1,000kW（1MW）

から 2007 年の 1.3MW や 2012 年の 1.5MW まで、今日から 10 年にわたって大きくなると予想されている。風車のサイズが大きくなれば必要となる台数は減らすことができる。

- ・他のエネルギー技術との比較：原子力エネルギーや大規模の水力発電は比較的短期間で実用レベルに達成したエネルギー技術である。現在、原子力は世界で 16 % の段階に達しており、大規模水力発電は 19 % に達している。風力エネルギーは今日、主流になることが可能な発電産業である。12 % シナリオの時間軸（タイム・ホライズン）は、これら二つの技術の歴史的発展と一致している。

4. 5 2020 年までに 12 % の風力発電—投資、費用、雇用

風力エネルギーの発展を達成するために必要とされる年間投資額は、2001 年の 52 億ドルに始まり、2020 年までに最高の 670 億ドルまで増大する。2020 年までに 1,200GW のレベルに達するのに必要とされる投資の 2020 年までの総計は、6,286 億ドルと見積もられている。これはとても大きな数字であるが、1990 年代のエネルギー分野における年間投資額の 1,700 ~ 2,000 億ドルに匹敵するものである。世界的に必要とされる将来の投資額も地域に基づき分析されている。

風力発電の単位当たりのコストは、製造コストや他のコストの減少と同様に、大幅に減少している。この調査は、最適な立地条件で、2001 年の最新型風車が、定格出力ベースで kW 当たり 765 ドルの設置コスト、また 3.61US セント/kWh の発電コストを持っていることを基礎においている。

今まで述べたように、風車の平均サイズと容量の発展を考えると、kWh 当たりの風力発電コストは、設備コストを kW 当たり 555 ドルと仮定して、2010 年までに 2.62US セントに下がると期待される。2020 年までには kW 当たり 447 ドルの設置コストの下で、発電コストは kWh 当たり 2.11US セントに下がると予想される。現在より 41 % の実質的な減少である。

風力エネルギーのコストは他のエネルギーと比べて、ますます魅力的に思われる。

12 % 風力エネルギーシナリオにおいて、雇用効果は、他のコストや利益と並べて考察する上で必須の要因である。2020 年までに、世界中でその産業に関係する製造、設置、その他の仕事を含めた全体で、147 万人分の仕事が生み出されるだろう。雇用人数の総計も、5 年毎に、世界の地域別に分析がなされている。

4. 6 2020 年までに 12 % の風力発電—環境への貢献

風力発電による最も重要な環境における利益は、世界の大气中での二酸化炭素の量を削減することである。二酸化炭素は温室効果をもたらす大きな原因となる気体であり、世界の気候変動を破滅的な結果へと導くものである。

従来型発電から風力発電に切り替えることによる二酸化炭素の削減効果が GWh 当たり 600 トンであると想定すると、このシナリオの下での年間削減量は 2020 年までに 18 億 5600 万トン、2040 年までには 48 億トンになるだろう。累積削減量は 2020 年までに二酸化炭素 117 億 6,800 万トン、2040 年までには 864 億 6900 万トンになるだろう。

環境負荷対策の外部コストは、発電用燃料の種類によって異なるが、風力ではコストダウンとな

り利益を得るが、他の種類の燃料ではコストアップになる。

4. 7 政策的指針

WF12では、再生可能エネルギーの健全な普及には政策が重要であること何度も強調している。その内容としては、各国・地域で取り入れる政策と国際的に導入すべき政策を掲げている。

国内政策としては、

- 再生可能エネルギーのための法的拘束力のある達成目標の制定
- 出資者への明確で安定した配当
 - ・再生可能エネルギーの価格は他の出資選択権と競合する損益側面を考慮しなければならない。
 - ・事業計画は出資者に投資の見返りを与えるために十分な存続期間を設けねばならない。
- 電力市場の改革
 - 新エネルギーに対するの電力分野での防壁の除去
 - 市場のゆがみの除去
 - ・化石燃料や原子力によるエネルギー資源への補助金をやめる。
 - ・汚染発生型エネルギーの社会的及び環境的コストを発電コストに含める。

国際的政策としては、

- 京都議定書の批准
- 証書輸取出取引所 ECAs (Export Credit Agencies)、国際開発銀行 MDBs (Multi-Lateral Development Banks) 国際財務機関 IFIs (International Finance Institutions) の改革
 - ・エネルギー分野全体の貸与金のうち、再生可能エネルギー事業に割り当てられる割合を明確に定め、その割合を引き上げる。
 - ・従来の汚染発生型エネルギー事業向け援助の迅速な削減。

このような広い世界レベルでの政治的主導権が重要である。

5. おわりに

「ウインド・フォース 12」(WF12) に盛り込まれている主題は、21世紀を展望した持続可能な地球のシナリオといえる。その中で再生可能エネルギーの利用は、他の資料文献でも共通する手段であり、特に風力の利用はオフショア開発、新型風車開発等と関連して益々脚光を浴びている。明確な数値目標を呈示した点において、WF12の意義は大きい。これを実現するには、従来型エネルギーから再生可能エネルギーへのシフトに向けて多くの政治・経済・法律改正と、事業者・取扱機関の構築と実施、ビジネスモデルの創設等の実現を必要とする。そしてその担い手としての事業や雇用の創出など、社会のしくみの修正を促すことになる。わが国の場合は特に「ウインド・フォース 12」に沿った政策転換が問われている。

なお、WIND FORCE 12の和訳は、千葉大学佐藤研究室のホームページ³⁾で公開している。

関連 HP

- 1) <http://www.ewea.org/doc/WindFoorcel2.pdf>
- 2) <http://www.ewea.org/src/press.htm>
- 3) <http://www.eureka.tu.chiba-u.ac.jp>

表 1 12%風力利用のシナリオ

| 年 | 成長率 | 累積容量 (MW) | 年間設置 容量(MW) | 風車平均 出力(MW) | 累積台数 | 設備利用 率% | 発生電力 量(TWh) |
|------|----------------|--------------|----------------|----------------|-----------|------------|----------------|
| 2001 | | 24,900 | 6,800 | | 56,000 | 25 | 54.5 |
| 2002 | 25% | 33,400 | 8,500 | 1.0 | 64,500 | 25 | 73.1 |
| 2003 | 25% | 44,025 | 10,625 | 1.0 | 75,125 | 25 | 96.4 |
| 2004 | 25% | 57,306 | 13,281 | 1.2 | 86,193 | 25 | 125.5 |
| 2005 | 25% | 73,908 | 16,602 | 1.2 | 100,027 | 25 | 161.9 |
| 2010 | 2008年以降 20% | 233,905 | 44,824 | 1.4 | 219,917 | 25 | 512.3 |
| 2015 | 2013年以降 15% | 610,001 | 98,168 | 1.5 | 473,209 | 28 | 1,496.2 |
| 2020 | 2016年以降 10% | 1,261,157 | 150,000 | 1.5 | 907,313 | 28 | 3,093.4 |
| 2030 | 2021年以降 0% | 2,571,277 | 150,000 | 1.5 | 1,906,032 | 28 | 6,306.8 |
| 2040 | | 3,044,025 | 150,000 | 2.0 | 2,654,066 | 30 | 7,999.7 |

表 2 地域別導入量と特徴

| 年 | 成長率 | 累積容量 (MW) | 年間設置 容量(MW) | 風車平均 出力(MW) | 累積台数 | 設備利用 率% | 発生電力 量(TWh) |
|------|----------------|--------------|----------------|----------------|-----------|------------|----------------|
| 2001 | | 24,900 | 6,800 | | 56,000 | 25 | 54.5 |
| 2002 | 25% | 33,400 | 8,500 | 1.0 | 64,500 | 25 | 73.1 |
| 2003 | 25% | 44,025 | 10,625 | 1.0 | 75,125 | 25 | 96.4 |
| 2004 | 25% | 57,306 | 13,281 | 1.2 | 86,193 | 25 | 125.5 |
| 2005 | 25% | 73,908 | 16,602 | 1.2 | 100,027 | 25 | 161.9 |
| 2010 | 2008年以降 20% | 233,905 | 44,824 | 1.4 | 219,917 | 25 | 512.3 |
| 2015 | 2013年以降 15% | 610,001 | 98,168 | 1.5 | 473,209 | 28 | 1,496.2 |
| 2020 | 2016年以降 10% | 1,261,157 | 150,000 | 1.5 | 907,313 | 28 | 3,093.4 |
| 2030 | 2021年以降 0% | 2,571,277 | 150,000 | 1.5 | 1,906,032 | 28 | 6,306.8 |
| 2040 | | 3,044,025 | 150,000 | 2.0 | 2,654,066 | 30 | 7,999.7 |

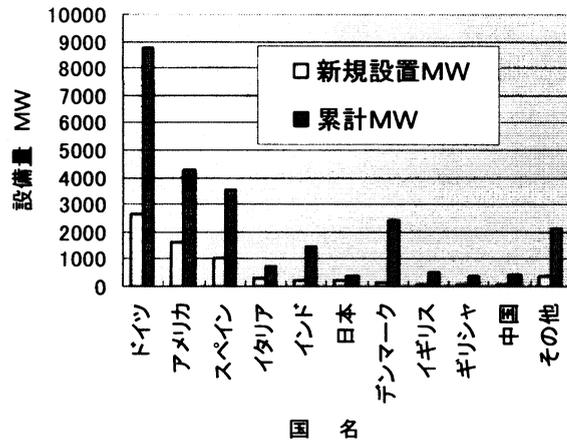


図1 2001年末の風力発電設備量（新規増設と累積容量）

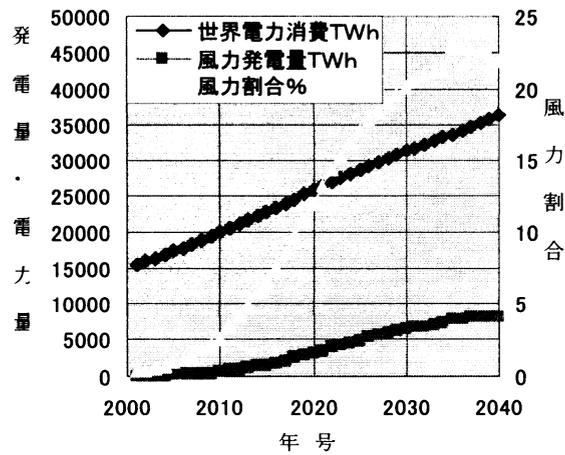


図2 風力発電導入推移（2020年までの12%のシナリオ）