大規模風力発電の導入事例とその特長 —苫前グリーンヒルウィンドパーク—

株式会社トーメン 電力事業本部第一部 中 村 成 人

Model Case of Large Scale Wind-farm and its Features —Tomamae Green-Hill Wind-farm—

Shigehito Nakamura

Business Development Dept. I, Power & Utility Projects Division,
Tomen Corporation

1. Present Situation of Wind-power Generation

Being backed up by the growing concern about the global-warming, the US and the EU countries have been greatly forwarding the introduction of renewable energies such as Wind-power generation since middle of 90'. The total installed capacity of Wind-power generation world-wide is expected to have reached 12,500 MW. However, the same in Japan seems around 100 MW. This is because Wind-power generation in Japan is just coming to the stage of take-off.

Tomen has started its activities in Wind-power generation in the US in 1987, and has been expanding its business in 6 countries (US, EU and Japan) with total generating capacity around 700 MW.

2. Tomamae Green-Hill Wind-farm

Tomen has completed construction and started commercial operation of the Japan's 1st large scale Wind-farm with the capacity of 20 MW in Tomamae, Hokkaido in November, 1999. The Wind-farm was approved by the Japanese government as a new energy source project and identified as a 1st Wind-power project in Japan which wholesales all the electricity generated to the utility company. The project can be featured as below.

- Large scale enabled the remarkable cost reduction.
- Stationed operators can assure stable and safe operation.
- Designs considered for the harmony with circumstances and surroundings.
- Sustainable cohabitation with the local society.

3. Future of Wind-power Generation

Wind-power generation may have technical and economic hurdles to clear so that it could be further and remarkably introduced to the Japanese society. However, growing concern about the renewable energy is boosting up the subject to the nation-wide controversy.

分類：U₁ 電気, U₂ 省エネルギー一般

1. 主要国の風力発電の現状

1997年のCOP3（地球温暖化対策京都会議）以来我が国においても急速に地球環境に関する国民的な関心が高まりつつあるが、このような状況は独り日本のみならず、欧米を中心とするいわゆる主要先進国には共通のものである。

一方で、「電気」は今日の生活に不可欠なものとなっているが、上記の地球環境への関心の高まりから、発電に際してCO₂等の温暖化ガスを排出しないクリーンエネルギーとしての風力発電の導入が急速に進んでいる。取り分け90年代の欧米諸国でこの傾向が顕著であるが、下記に日本を含む主要先進各国の昨年末までの導入状況の推移をまとめた。

なお、1999年末における全世界の設置済設備容量の

合計は概ね12,500 MW程度と報告されている。

表1の通り各国とも、90年代半ば以降急速に風力発電の導入が促進されているのが明らかであるが、日本においても京都会議を契機として政府による補助金制度の拡充並びに電力会社による自主的な新たな買取制度の導入等により、著しい進展をみせている。この点の詳細については後述することとしたい。

2. トーメンの風力発電事業

トーメンの電力事業本部の歴史は、1987年の秋米国カリフォルニア州モハベ砂漠で単機250 kWの風車20台が廻り始めた時に始まった。以来約15年に亘って米国、欧州、アジアそして日本の合計10ヶ国で風力発電や天然ガス焚の火力発電を中心に電力事業（ほとんどが卸電力事業）を展開して来た。

表 1 主要各国の風力発電導入推移

(単位：MW)

	米 国	ドイツ	デンマーク	スペイン	日 本
1991	1,450	110	409	15	1
1992	1,470	175	454	22	3
1993	1,550	325	483	52	5
1994	1,650	632	537	75	6
1995	1,703	1,132	635	133	9
1996	1,715	1,552	835	249	13
1997	1,811	2,081	1,116	512	17
1998	2,141	2,874	1,420	880	32
1999	2,445	4,445	1,738	1,812	70

表 2 トーメンの風力発電実績

国 名	プロジェクト名	設備容量(MW)	完成年度
米 国	ToyoWest, Mojave 他	234	1987～1999
英 国	P&L, Hagshaw Hill 他	60	1993～1996
スペイン	Paxareiras, Vicedo 他	165	1997～2001
ポルトガル	Lagoa Funda	10	1998
イタリア	IVPC	169	1997～2000
日 本	苫前, 岩屋, 浜頓別, 遠別	58.4	1999～2001
合 計		696.4	

(注) * 末尾に詳細実績表を添付した

(2000年12月末現在)

風力発電について言及すれば、表2にとりまとめたように、欧米と日本の6ヶ国で合計約700 MWの発電所を運転又は建設中で、その全世界の設置容量に占めるシェアは概ね5～7%程度と推測される。

上記に加えて、スペインでは最大545 MW迄の開発権を既に取得しており、ギリシャでも既に50 MW規模の開発に着手済み、また米国や英国においても新たな導入支援策に応じたプロジェクトを開発中である。更に、日本においても100ヶ所を超える場所で風況を調査中であり、政府や電力会社の政策、制度の推移に合わせて積極的に開発を進めて行く方針である。

3. 苫前グリーンヒルウィンドパーク

3.1 実現の制度的背景

冒頭で世界及び日本における風力発電の導入の推移を見てきたが、各国ともにCOP3京都会議を契機に、導入進展が顕著なものとなっている。我が国においても、それ以前は自治体或いは電力会社が研究開発用に設置した小規模な設備がほとんど全てであったが、上述の通り通産省資源エネルギー庁（当時）によるいわゆる「新エネ法」による補助金制度の拡充に続き、各電力会社が一斉に大規模風力発電により発電された電力を長期の契約に基づき一定の価格で買い取る自主的な制度を発表した。これにより、日本においても初めて、大規模な事業としての風力発電が実現する条件が整うところとなった。

3.2 プロジェクト実現の社会的背景

苫前町は北海道西北部に位置する日本海に面した人口約4,000人の町で、古くから風の強いことで有名である。町ではこの迷惑者でもある「風を逆手に取った町興し」を目指しており、町自身でも600 kW×2基及び1,000 kW×1基による合計2,200 kWの風力発

電に取り組んでいるが、町の南部に位置する総面積300 haの広大な町営牧場を活用した大規模な風力発電を行う民間事業者を待ち受けていた。ここに、制度的な条件が整った日本での風力発電事業の適地を探していた当社との出会いがあり、日本で最初の大型集合型風力発電施設（ウィンドファーム）が実現するところとなった（写真1）。

3.3 プロジェクトの概要

以下に本プロジェクトの概要を記述する。

プロジェクト名：苫前グリーンヒルウィンドパーク

事業会社名：株式会社トーメンパワー苫前

事業・会社所在地：北海道苫前郡苫前町字上平15-1（上平模範牧場内約100 haを借用）

発電設備総容量：20,000 kW

営業運転開始：1999年11月（建設工期約1年）

3.4 導入機器・設備概要

風力発電機 単機1,000 kW×20基（デンマーク・ボナス社製、写真2）

誘導発電機搭載3枚羽、ローター径54.2 m、ハブ高さ45 m

変圧器 20基

連係変電所 1式

航空障害塔 3基

写真1 苫前グリーンヒルウィンドパーク全景

写真2 風力発電機の外観

地中埋設電線 1式

管理棟・倉庫 1式

3.5 本プロジェクトの特長

本プロジェクトには幾つもの特長が挙げられるが、ここでは主として下記の四点を列記することとしたい。

3.5.1 日本初の大規模導入

繰り返し述べてきた通り、本プロジェクトは日本における始めて且つ最大（当時）の風力発電所であり、また発電電力の全量を卸売りする我が国初めての風力発電事業である。

風力発電機の単機容量もここ数年、急速に大型化の傾向を強めているが、ここで使用した風車も建設当時では日本に導入された最大のものであった。即ち、大型風車の起用により設置する基数を減らし基礎、据付等の工事費の削減に努めると共に大規模な発電所とすることで使用した20基を一括発注し、最大のコスト要因である風車の費用も軽減し、イニシャルコストの大幅な低減を実現した。

この結果従来25～30万円/kWと言われていた建設コストをkW当たり20万円程度に抑えることが可能となった。

3.5.2 安全運転への配慮

発電容量が20MWと大きいため、順調且つ安全運転を確実なものにすることは事業性の確保のみならず、連系している電力会社の系統への悪影響を回避するためにも極めて重要なことである。本プロジェクトでは事前に北海道電力㈱と十分な打ち合わせを行い、設備立ち上げの方法、更には過電流、過電圧が発生した際の保護装置を複数設置する等可能な限り電力系統への悪影響を回避する仕様としている。

また、日本の風力発電においては従来は遠方監視による運転・制御が普通であったが、本プロジェクトにおいては数名の複数の運転員を常駐させる体制を敷き、万一の事故やトラブルに対しても即時必要な措置が取れるような体制を確保している。現在では、所長の他に当社の運転員が3名、更にトレーニングを兼ねて風力発電機メーカーの技術者2名が発電所に常駐している。

かような体制を敷くことにより、運転のみならず風車他のメンテナンスも充実し、設備のダウンタイムの低減が可能となり、事業としても充実した安全且つ長期の取り組みが可能となったのである。

3.5.3 周辺環境との調和（農牧業との共存）

既述の通り本プロジェクトは町から借用した約100haの牧場用地において建設、運営されている。従って、建設時の設計においても大型機の採用により出来

るだけ使用する面積そのものを少なくする努力をするとともに、機器の配置についても可能な限り完成後の農牧業の邪魔にならないように配慮を行った。また、景観の問題にも充分配慮し、発電所内の配線はほぼ全てを地中埋設としている。

なお、自然のエネルギーである風を動力源とする風力発電は、発電中には一切CO₂などのいわゆる温暖化ガスを排出しない。因みに20MWの苫前グリーンヒルウィンドパークは、一般の石油火力と比べて年間約2.4万t、また石炭火力に比べて年間約3万トンのCO₂の削減効果があるものと計算されている。この点においても、本プロジェクトは地球環境に少なからず貢献しているものと自負している。

3.5.4 地域社会との共生

苫前町は「風による町興し」を標語にして努力を続けている。本プロジェクトもその一旦を担っており、既に完成後一年にして「苫前グリーンヒルウィンドパーク」には数千人の訪問者を受け入れている。今後共町にある施設の一つとして、種々の情報を外部に向けて発信する情報基地の役割も担っていきたいと考えている。

また、当社は発電所の所在地に事業会社を設立することを方針としており、本プロジェクトにおいても現地に㈱トーメンパワー苫前を設立し事業を運営している。更に、当社の運転員のほとんどが家族と共に苫前町に居住しており、その子供たちは町の保育園に通っている。このように、本プロジェクトは町と民間企業であるトーメン・グループの共同作業として実現したものであり、これこそ自然エネルギーを利用する風力発電事業に相応しい形の典型例であろうと考えるものである。

4. 風力発電の将来の見通し

4.1 主要各国の導入目標量

先に述べた通り、90年代半ばから欧米主要国及び日本における風力発電の導入は急速に進展している。この主たる理由としては、80年代半ばの石油ショックを契機に本格的な導入が開始された風力発電のコストが大きく低減したこと、更に当初は石油代替エネルギーとしての位置付けが主であったものが、最近では地球環境問題との絡みからその価値が大きく見直されたことにも求められるであろう。

近時米国、EU各国は電力買取制度、税制等の法的措置を含めて極めて積極的な動きを見せており、今後供風力発電は大きな成長を遂げていくものと予測されている。因みに、欧米主要各国の導入目標を表3に示

表 3 欧米主要国の導入目標

国 名	導 入 目 標
米 国	2010 年までに 10,000 MW を導入
ドイツ	2010 年までに総電力量の 10% を導入
デンマーク	2005 年までに 1,500 MW を導入 (一昨年達成済み) 2030 年までに 5,500 MW を導入
スペイン	2010 年には約 9,000 MW を導入(全電力量の約 30%)

表 4 風力発電による雇用創出効果
(風車メーカーの多いデンマークの例)

	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年
風力発電機製作	2,700 人	3,650 人	5,632 人	7,800 人
建設工事関連	150	150	231	316
コンサルタント他	200	250	300	300
合 計	3,100 人	4,100 人	6,000 人	8,500 人
新規風車設置規模	45 MW	29 MW	54 MW	98 MW

す。

日本の現在の公式な導入目標量は「エネルギー大綱」謳われている 300 MW であるが、この数字は現状の普及のスピードからすると今年中にもクリアされるものと推測されており、各方面より見直しの声が上がると共に、現在経済産業省の諮問機関である総合エネルギー調査会・新エネルギー部会でも議論がなされているところである。

4.2 風力発電の経済的効果

上記の通り風力発電は石油代替エネルギーの一つとして注目され、最近では地球環境問題への貢献という新たな側面からもその価値が見直されている、と述べた。しかるに急速に導入が進む欧米ではもう一つの側面である経済的な波及効果にも焦点を当て、この点からも風力発電の更なる普及に政策的な意味を見出している。風力発電の普及による雇用の創出効果はその典型である。風力発電による雇用創出効果の算出は複雑であるらしく色々な数字が挙げられているが、その効果が期待される職種としては主設備である風力発電機の設計・製作に始まり工事関連、運転・保守、コンサルタント等多岐に亘っている。

ここではその一例として、世界でも最大の風力発電機産業を抱えるデンマークの機関が公表している雇用の創出効果を表 4 に示した。

上記から単純計算すると 1 MW の新規風力発電設

備の設置は、デンマークにおいては概ね 100 人前後の新規雇用を創出して来たことがわかる。但し、これは風車メーカーの多いデンマークの例であり、かなり特殊なケースとも言えよう。一方、EU の風力発電事業者等の集まりである欧州風力エネルギー協会 (EWEA) が公表している試算では、同じく 1 MW 当たりの風力発電が新設される雇用創出効果は 15~19 人程度となっている。

いずれにせよ、毎年数千 MW 単位で風力発電の新設が進む欧州において、この効果は無視できない数字であり、この新しい産業の創出・育成という観点からも風力発電の普及に政策的な後押しをする十分な意味合いを見出しているものと思われる。

4.3 日本における風力発電

4.3.1 将来への視野

日本における風力発電は 1999 年末で約 70 MW、これが昨年末では 70 MW そして今年末では 300 MW を超える勢いで導入が進んでいる。しかしながら、これも我が国の総発電設備容量である約 200,000 MW に占める割合では 0.1% にも満たない数字であり、未だ離陸期にあるものと言える。

既に述べて来た通り、現在の風力発電のある種のブームは、特に日本においては地球環境問題に関連したクリーンエネルギーの側面に焦点の多くが当てられている。確かに、風力発電を始めとするいわゆる自然エ

エネルギー或いは再生可能エネルギーは、その発電の過程においてCO₂に代表される温暖化ガスは排出しない。しかしその効果を純粋に数値化すれば、他の選択肢の方が絶対量では多くの貢献をするとの結論を導くことも十分に可能である。また、風力発電は自然の風を動力（一種の燃料）としていることから出力変動が不可避であり、且つ火力発電等従来型発電施設とのコスト競争力も未だ十分とは言い難い面も、取り分け日本においては否定できない。今後欧米諸国に近い大量の導入を目指すためにはこれらの技術的、経済的な諸課題を確実にクリアして行くことが不可欠なものとなる。

一方で、一つの視点として風力発電の持つ新しい産業及び雇用創出の可能性については既に述べた。更に、風力発電は地域に附存する優れてローカルなエネルギーを活用する分散型電源の典型とも言え、エネルギー・セキュリティの面からも積極的な評価に値すべき側面も有している。換言すれば、風力発電を含む自然エネルギーの導入可否の課題は、今日の日本が置かれた諸環境を考慮すれば、単に経済合理性のみで判断する課題ではなく、むしろ我々国民の一人一人が明日の自分のライフスタイルとエネルギーをどの様に選択するかの問題であると言うことができよう。

大規模風力発電の導入事例とその特長

— 苫前グリーンヒルウィンドパーク —

株式会社トーメン 電力事業本部第一部 中村 成人

1. 風力発電の現状

世界的な地球環境への意識の高まりを背景に、90年代半ば以降欧米先進各国を中心に風力発電に代表されるいわゆる再生可能エネルギーの導入が急速に進んでいる。現在全世界で設置されている風力発電の総容量は約 12,500 MW、最大のドイツで 4,445 MW であるのに対し、未だ離陸期にある我が国の設置済み容量は 100 MW 程度と推測される。

トーメンは 1987 年に米国カリフォルニア州におけるプロジェクトを始めとして、現在までに欧米、日本の 6 ヶ国で合計約 700 MW の風力発電設備を建設・運営中である。

2. 苫前グリーンヒルウィンドパーク

1999 年 11 月、トーメンは日本で初めて且つ最大規模の集合型風力発電施設（1 MW×20）を、北海道苫前町に完成し運転を開始した。この施設は通産大臣の新エネルギー事業者としての認定に基づく補助金対象事業であり、且つ 17 年に亘り発電電力の全量を北海道電力に売電する我が国初の風力発電による卸電力事業でもある。その特長は下記の 4 点である。

- ・大規模化による大幅なコストダウン（風車はデンマーク製を採用）
- ・複数の運転員を常駐させることによる安全・安定操業の確保
- ・周辺環境との調和
- ・地域社会との共生

3. 風力発電の将来

欧米各国は政策的支援を含めて、今後積極的に風力発電の導入を促進していく方針を明らかにしている。日本においても漸く風力発電を始めとする自然エネルギー導入に関する本格的な関心と議論が高まるところとなって来た。風力発電の本格的且つ大量の導入に当たっては技術的、経済的な課題もあるが、これらを踏まえて種々の観点から、国民の一人一人が自分自身の明日のライフスタイルとエネルギーを選択する時期に来ているものと考えられるものである。

（本文 64 ページ）

燃料電池の開発状況

株式会社東芝 電力システム社燃料電池事業推進部 白岩 義三

燃料電池は小型でも高い発電効率（40%：LHV）を有し、窒素酸化物の発生量が少なく、硫酸化合物やばいじんの発生量がなく、低騒音でしかも振動もほとんどないことから環境特性に優れた発電装置として、環境問題の重要さが増している現在、分散電源やコージェネレーションシステム、さらには電気自動車の電源などへの適用に期待が高まっている。中でも、りん酸形燃料電池（PAFC）は、その開発が完了し、本格的普及を推進すべき段階に到達している。都市ガスや LPG を原燃料とした、燃料電池の発電電力とそれに付随して生成される熱を使用するコージェネレーションとしての利用形態が進む中、食品・紙パルプ工場等の排水や下水汚泥の嫌気性処理の際に発生するバイオガスや消化ガス、半導体製造工場から排出される排メタノールのような未利用エネルギーを燃料電池の原燃料とする新しいアプリケーションが開発され、発電運転を開始している。さらに、燃料電池の特徴を生かした高品質・高信頼性電力供給システムへの適用など、新しいアプリケーションがどんどん開発されている。

また、固体高分子形燃料電池（PEFC）は定置用から自動車用まで幅広い用途に適用が可能であり、