

竜洋町向け風力発電設備の概要

Outline of Wind Turbine Completed at Ryuyo-cho

田 中 博 道 エネルギー・プラント事業本部電力事業部エネルギーソリューション部
藤 井 衛 エネルギー・プラント事業本部電力事業部エネルギーソリューション部 部長
坂 本 寿美雄 エネルギー・プラント事業本部電力事業部電力プラントエンジニアリング部

当社では初となる可変速・可変ピッチ制御の風力発電機である IN-1900 において、プロジェクトの概要、輸送、据付け、試運転結果について報告する。IN-1900 は定格出力 1 900 kW、ロータ直径 80 m の国内でも最大級の風車である。当社は本プロジェクトを EPC コントラクタとして静岡県竜洋町から受注し、設置計画から土木・基礎工事、輸送、電気工事、据付け、試運転を実施した。2003 年 1 月から建設、試運転を開始し、2003 年 3 月に客先へ引渡し、商用運転を開始した。

The IN-1900 project is the first wind turbine with variable speed and variable pitch control for IHI. The outline of the project, transportation, installation, and test run of this turbine are described. The IN-1900 is one of the largest wind turbine in Japan. The rated output is 1 900 kW, and the rotor diameter is 80 m. IHI received the order from Ryuyo-cho, Shizuoka Prefecture, as the EPC contractor, and carried out engineering work including installation planning, groundwork, transportation, electrical construction, installation, and test run of this turbine installation started from January 2003, and delivery to the customer and commercial operation started from March 2003.

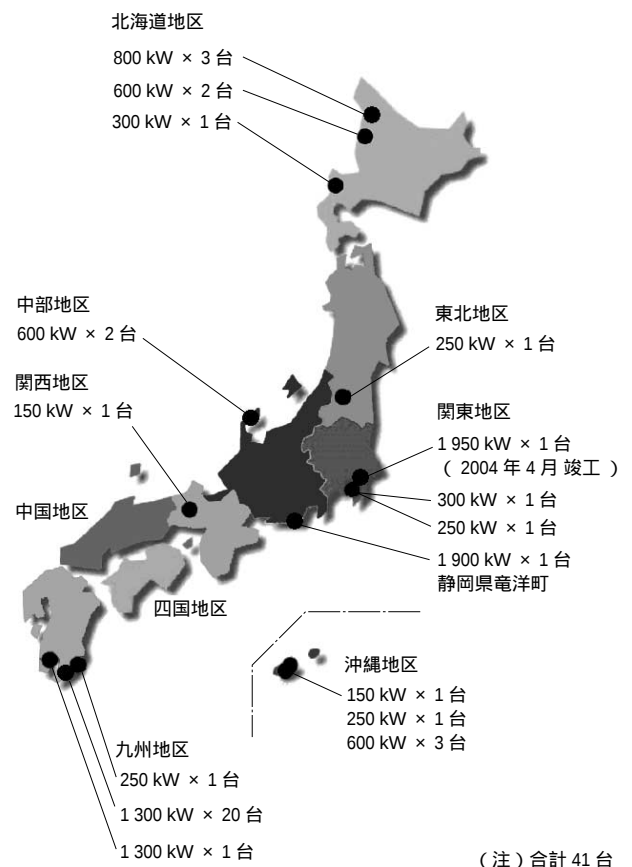
1. 緒 言

当社は 1993 年に、当時としては大型の 300 kW 機（ピッチ制御機）を開発し、電力会社に 2 基納入した実績があり、現在はこの技術を基に NORDEX 社（本社ドイツ）と提携し、ストール制御機とピッチ制御機を国内向けに販売している。当社の風車事業は、EPC（Engineering Procurement Construction）コントラクタとして建設前の風況調査から計画、風車建設および引渡し後の運転支援を含めたアフターサービスまでをビジネスとしている（第 1 図）。

2. プロジェクトの成立

本プロジェクトは静岡県竜洋町から受注した案件であり、風車は天竜川と遠州灘を望む竜洋海洋公園内に設置された。風車を設置した竜洋海洋公園には、国内でも有数のオートキャンプ場をはじめ、サッカー場、テニスコート、野球場、レストハウスなどがある。

風車本体はドイツの NORDEX 社製であり、タワー高さ 60 m、ロータ直径 80 m、単機出力は 1 900 kW であり国内最大級である。本機は当社が販売する 3 枚翼風車では



第 1 図 納入実績

Fig. 1 Installation of wind turbines in Japan

初の「可変速・可変ピッチ制御機」であり、また NORDEX 社においても同型機では初の 60 Hz 機である。機体は 2 500 kW 機であるが、6.6 kV 系統との接続を考慮して 1 900 kW に仕様変更している。

本プロジェクトに関する当社の供給範囲は、次のとおりである。

- ・風車本体 IN-1900 1 台
- ・系統連系設備（公園用受変電盤を含む電力会社との連系点まで）
- ・遠隔監視装置
- ・上記にかかわる基礎および土木工事

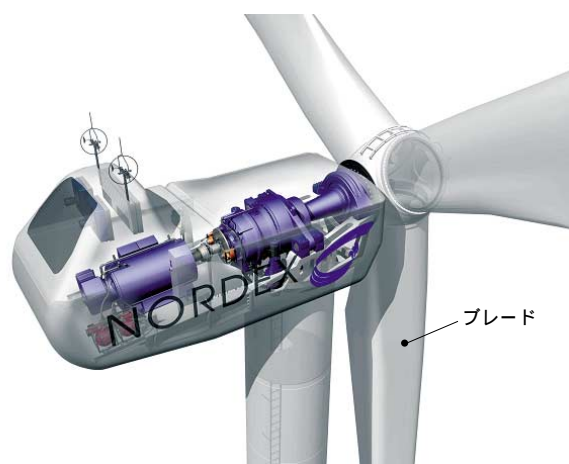
プロジェクトは風車の設置計画から土木・基礎工事、輸送、電気工事、据付け工事、試運転までを含む EPC コントラクタとして受注している。系統連系は既設の公園設備の連系点を使用したが、風車の設置によって設備容量が変更になったため、既設の受変電設備の交換工事も含んでいる。風車の発電機電圧は 660 V であり、変圧器を介して 6.6 kV に昇圧し送電している。

3. 風力発電機 IN-1900 の特徴

本機は、NORDEX 社が製作している定格出力 2 500 kW 風車の仕様変更機であり、商用機では世界最大級である。2 500 kW 機の開発においては、1 号機がドイツの Grevenbroich（デュッセルドルフの近く）にある風車試験所で 1999 年 12 月に据付けを開始し、2000 年 1 月末に運転を開始した。なお、この 1 号機の系統連系開始の式典では、ドイツのシュレーダ首相が系統連系のボタンを押している。同型機は 2004 年 4 月現在、ドイツ、ノルウェー、イギリス、フランスなどで 101 台の稼働実績がある。

第 2 図に IN-1900 ナセル鳥かん図を示す。ブレードには 1 本ごとにコンバータによる駆動装置があり、ブレードのピッチ角制御を行うことによって、低風速時の発電効率の向上と強風時の出力制御を行っている。ブレードで得たトルクは、動力伝達軸と増速機を介して発電機に伝達される。ピッチ駆動装置には非常用バッテリーを接続しており、停電時はバッテリー駆動によって安全に風車を停止できる。風車の停止機構としては、ブレードによる空力ブレーキと機械ブレーキで構成される。非常時以外は空力ブレーキが主となるため、ピッチ制御機と比べ駆動系に加わるねじれ応力が少ない利点がある。

発電機は二重巻線形誘導発電機であり、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor：絶縁ゲートバイポーラトランジ



第 2 図 IN-1900 ナセル鳥かん図
Fig. 2 Nacelle aerial view of IN-1900

スタ）コンバータによって回転数・トルク制御を行っている。また、IGBT コンバータにて力率制御を行っているため、ストール制御機で必要とした力率改善コンデンサが不要となっている。本機はピッチ制御と IGBT コンバータによる発電機制御を組み合わせることで、ストール制御機と比べて起動時の突入電流が抑制され、また風速の変化に対する出力の変動が少ないという大きな優位点がある。

風速の計測は、超音波式風向風速計と風杯型風速計を使用し二重化している。風速に対する風車本体の強度としては、ヨーロッパ規格の最高水準である IEC CLASS I を満たしている。タワーは我が国の建築基準法に準拠している。

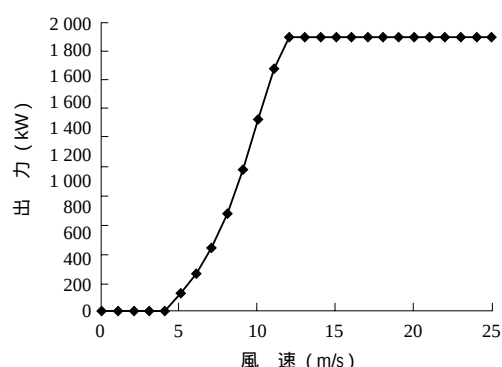
第 1 表に、本機ピッチ制御機 IN-1900 と当社で最も販売実績のあるストール制御機 IN-1300 との仕様比較を示す。また、第 3 図に IN-1900 のパワーカーブを示す。出力を 1 900 kW に仕様変更しているため、2 500 kW 機よりも低風速で定格出力となる。高風速においては出力一定に制御するため、ストール制御機のように突出した出力特性ではなく、電気設備を最高出力に合わせて設計できる優位性がある。

なお、ストール制御とは、風速が一定以上になるとブレード形状の空力特性によって失速現象が起こるため、これを利用して出力を制御する方法である。ブレードのピッチ角を変化させるピッチ制御に対し、ストール制御はピッチ角が固定のため、能動的な出力制御はできないが、ピッチ制御機構が不要で構造がシンプルとなる。

第 1 表 IN-1900（ピッチ制御機）と IN-1300（ストール制御機）との仕様比較

Table 1 Specification comparison of IN-1900/IN-1300

項 目	単 位	IN-1900 / IN-2500	IN-1300
定 格 出 力	kW	1900/2500	1300
ロ ー タ 直 径	m	80	60
ロ ー タ 回 転 数	min ⁻¹	10 ~ 19	19
ハ ブ 高 さ	m	60・80・100	46・60・69・85
定 格 風 速	m/s	12/14	15
カットイン風速	m/s	4	3
カットアウト風速	m/s	25	25
耐 風 速	m/s	70	70
出 力 制 御 方 式		可变速・可変ピッチ制御	ストール制御
電 流 制 御 方 式		IGBT コンバータ制御（常時）	SPC サイリスタ制御（起動時 / 低負荷時）
発 電 機 電 圧	V	660	690
発 電 機 形 式		二重巻線形誘導発電機	極数変換形誘導発電機
ブ レ ード 枚 数	枚	3	3
ブ レ ード 材 質		GFRP	GFRP
タ ワ ー 形 式		モノポール	モノポール



第 3 図 IN-1900 パワーカーブ
Fig. 3 Power curve of IN-1900

4. 輸送・建設

大型風車は通常、ナセル、ブレード、タワーに分割して輸送し、現地で組み立てられるが、しばしば質量や高さなどの輸送制限が発生する。

IN-1900 においても輸送時の分割方法は基本的に同様である。事前の現地調査結果から、輸送上の制限荷重として 60 tf 以下にしなければならないことが判明していた。IN-1900 のナセル質量は輸送経路の制限荷重を超えることが分かっていたため、工場で一度ナセルを組み立てた後、制限荷重以下に分解して輸送し、現場で再組立を行う工法を採用した。

また、ブレードの輸送については、数箇所の交差点で輸送用のトレーラが曲がりきれないことが判明していたため、地元地権者や関係機関のご協力を得て、道路の拡幅工事を行った。今後、風車はさらに大型化に進むと考えられる。

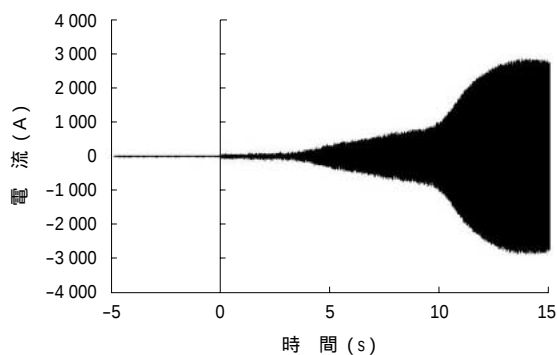
このため、事前の輸送経路の検討がより重要になってくる（第 4 図）。

5. 風車試運転

風力発電設備の試運転は NORDEX 社技術員が主体となり、コミッショニング（NORDEX 社の引渡し検査）を行うことから始まる。電気系統の絶縁・導通・結線状態を確認した後、制御設定値の確認、安全装置、ブレーキ、ヨー駆動装置、ピッチ制御などの動作を確認する。補機類の調整が終了した後、低風速において IGBT コンバータ起動状態



第 4 図 IN-1900 風車外観
Fig. 4 Overview of IN-1900



第 5 図 IN-1900 起動電流波形
Fig. 5 Starting current of IN-1900

で並入し、発電状態を確認した後、除々に高風速で発電状態を確認する。最終的に高風速でのピッチ機構の安定を確認し、コミッショニングが終了した。

コミッショニング終了後、社内自主検査を実施し、良好な結果を得た。主な試験項目は次のとおりである。

- (1) インターロック試験
- (2) 負荷遮断試験 (1/4 ~ 4/4 負荷)
- (3) 振動計測

(4) 負荷試験

第 5 図に風速 13 m/s 時における IN-1900 の起動電流波形を示す。ピッチ制御機の特徴である系統に優しい起動電流特性を得た。また、本風車の系統連系条件である力率 0.87 についても、IGBT コンバータによって良好に制御されていることを確認した。

6. 結 言

地元住民の風車への関心は高く、風車は竜洋町の公募によって「風竜」と名づけられ、町のシンボルともなっている。今後は安定的な運用のためにメンテナンス・サービスに尽力していく。

本機と同型機 (定格出力 1 950 kW) の風車を東京都江東区に納入し、2004 年 4 月 1 日から営業運転を開始し、順調に稼働している。

— 謝 辞 —

本工事の実施に当たっては、地元の関係各位から多大なご協力をいただきました。ここに記し深く感謝いたします。