

## むつ小川原ウィンドファーム 及び岩屋ウィンドパークの竣工

石 居 宏 志\* 山 賢 二\* 横 田 彰\*\*

### Wind Turbine Systems for Mutsu-Ogawara Wind Farm and Iwaya Wind Park

by Hiroshi ISHII, Kenji YAMASAKI, & Akira YOKOTA

The Mutsu-Ogawara Wind Farm and Iwaya Wind Park located in Shimokita Peninsula, Aomori Prefecture, constitute Japan's largest-scale wind turbine power generation facilities. Ebara has used its accumulated knowledge and expertise, as well as leading edge techniques to design and manufacture a total of 60 large-scale wind turbine systems (1500 kW) installed at these two locations. These facilities are expected to become models of future large-scale wind farms in Japan.

**Keywords:** Wind turbine generator, Mutsu-Ogawara, Iwaya, Wind Farm, Wind Park, Large scale

#### 1. はじめに

2000年11月及び2001年10月にエコ・パワー㈱から受注したむつ小川原ウィンドファーム及び岩屋ウィンドパークが2003年2月に竣工した。両ウィンドファームの合計設備容量は6万 kWとなり、これは日本国内の風力発電総設備容量46万 kW（2003年3月末現在）の約13%を占める。年間予想発電電力量は約10000万 kWhであり、売電先である東北電力㈱の年間販売電力量（1999年度実績）の約0.14%分を供給する（写真1）。

両ウィンドファームは、風車単機及びウィンドファームの規模共に大型であるために、効率化とコストダウンを考慮した新しい設計・施工方法を取入れた。これは今後のウィンドファーム設計・施工の方針を位置付けるものである。ここでは、その概要と特長について紹介する。

#### 2. 国内外の風力発電の動向

風力発電は1990年代初めから技術的に実用段階に入り、2002年末現在、世界の風力発電設備容量は約3100万 kWに達している。国別ではドイツ（約1200万 kW）、

アメリカ（約464万 kW）、スペイン（約483万 kW）、デンマーク（約256万 kW）、インド（約170万 kW）などで導入が進んでいる。

わが国における風力発電は当初、小規模な試験・実証



04-84 01/203

写真1 むつ小川原ウィンドファーム(上)及び岩屋ウィンドパーク(下)  
Photo 1 Mutsu-Ogawara Wind Farm and Iwaya Wind Park

\* 新エネルギー事業本部 風力発電事業統括 技術第一部  
\*\* 同 電気・制御エンジニアリング室  
風力発電電気・制御部

研究用のものとして1980年代後半から導入された。1995年頃から電力会社の「余剰電力メニュー」により、風力エネルギーによる電力の一部購入が認められ、売電事業として小規模な風力発電が普及してきた。その後は、電力会社による電力長期購入制度（平均約11.5円/kWhで購入）の整備に加え、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による助成制度などを背景として風力

発電の導入が急激に進み、2003年3月末現在の導入設備容量は約46万kWに至った。経済産業省では国の導入目標を、2010年までに約300万kWと定め、2003年4月に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（通称RPS法；電気事業者による新エネルギー買い取り義務を定めた法律）のもと導入促進に更に拍車がかかっている。

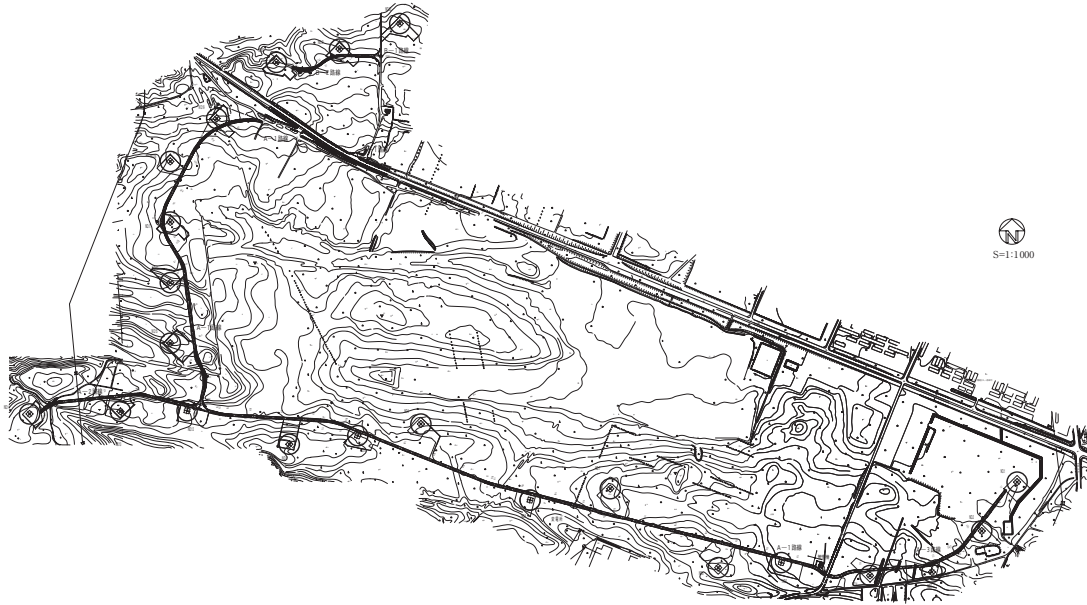


図1 むつ小川原ウインドファーム配置図  
Fig. 1 Layout of Mutsu-Ogawara Wind Farm

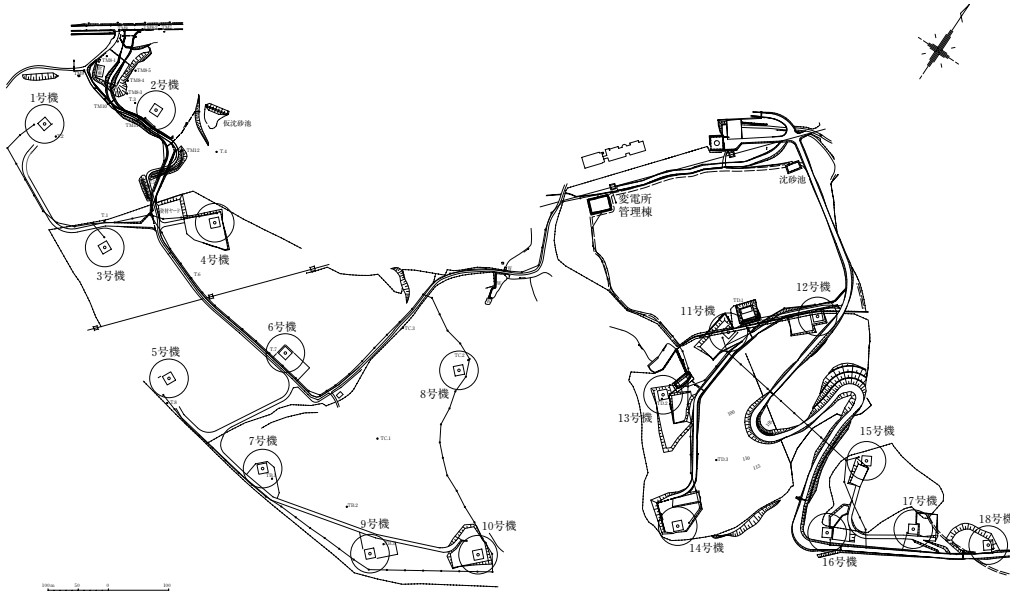


図2 岩屋ウインドパーク配置図  
Fig. 2 Layout of Iwaya Wind Park

### 3. 設備概要

#### 3-1 両ウィンドファームの概要

むつ小川原ウィンドファームは青森県六ヶ所村に位置し、近隣には国家石油備蓄基地や核燃料再処理工場（建設工事中）がある。むつ小川原港や片側2車線道路などのインフラが整備された広大な工場誘致地帯の一郭にウィンドファームを建設した。43トンのナセル、分割後27 mのブレードなど大型風車の輸送に有利であった（図1）。

岩屋ウィンドパークは下北半島の東側北端、尻屋崎にほど近い青森県東通村に位置する。特に風況に恵まれた地域であるが、建設時においては強風のためにクレーン作業の中止を余儀なくされる日が多く、工事工程の維持に苦労した。また、風車のほぼ半数は丘陵地の斜面に、残り半数は畑の中に建設したが、両エリアとも搬入路を整備したうえでの大型重機の搬入及び据付作業には細心の注意を要した（図2）。

両ウィンドファームは、同一型式風車を、むつ小川原向けに22基、岩屋向けに18基採用しており、そのほか電気設備仕様も共通点が多い。発注者が同一、工期も重複しており、更に両ウィンドファームは直線距離で約50 km、自動車で移動すると2時間程度と近いため、下北半島地域の一つの大規模ウィンドファームとして計画、設計、購買、施工、試験を進めた。

#### 3-2 風車設備概要

風車はデンマークNEG MICON（エヌイージー・ミーコン）社製の定格出力1500 kWの新型機NM64C/1500を採用した（表1）。この風車の最大の特長はナセルの小型軽量化であり、ナセルを分割して輸送、据付を行う同社の旧型1500 kW機と比較し、輸送費、据付費の大幅な削減が可能となった。

#### 3-3 電気設備概要

電気設備は、変電設備、構内電線路、風車タワー内電気設備の三つの設備から構成されており、それぞれの設備概要を表2に示す。

風力発電機で発電された電力は、風車タワー内で690 Vから22000 Vへ昇圧後、変電設備に送電され、更に66000 Vへ昇圧後、東北電力㈱の66000 V送電線に系統連系され、東北電力㈱に売電される（図3）。

### 4. 特長

#### 4-1 構内通路の建設及び風車基礎

従来の風力発電所では既存の道路沿いに風車を配置計

画し、必要に応じて枝状の新規搬入路を造成してきた。今回の大規模ウィンドファームでは、まとまった風車建設可能地帯に発電電力量が最大となるように適切な風車

表1 1500 kW 風力発電機仕様  
Table 1 Main specification of the 1500 kW wind turbine

定格出力 Rated power	1500 kW
ロータ直径 Diameter of rotor	64 m
ブレード枚数 Number of blade	3枚
ブレード材料 Material of blade	木/エポキシ樹脂/ガラス Wood/Epoxy/Glass
ブレード長さ Length of blade	31.2 m
ブレード面積 Blade area	63 m <sup>2</sup>
ロータ中心高さ Hub height	68 m
増速機型式 Type of gear box	遊星1段、ヘリカル2段 1 step planet, 2 step helical
増速比 Gear ratio	1 : 87.554
タワー材料 Material of tower	鋼製 Steel plate
タワー形状 Type of tower	モノポール Conical, tubular
タワー分割数 Number of partial tower	3
タワー上部直径 Diameter of top tower	2.3 m
タワー下部直径 Diameter of bottom tower	4.2 m
ロータ回転速度 Rotor speed	17.3/11.5 min <sup>-1</sup>
出力制御 Power control	ストール Stall
カットイン風速 Cut-in wind speed	約3 m/s
カットアウト風速 Cut-out wind speed	25 m/s
極値風速（2秒平均） Extreme wind speed	59.5 m/s
耐風速（10分平均） Survival wind speed	42.5 m/s
総質量 Total weight	185 t
ロータ質量 Weight of rotor	32 t
ナセル質量 Weight of nacelle	43 t
タワー質量 Weight of tower	110 t
発電機形式 Type of generator	三相交流誘導発電機 Asynchronous three-phase 2 speed generator
発電機極数 Pole number of generator	4/6
発電機回転速度 Generator rotation speed	518/1008 min <sup>-1</sup>

表2 電気設備概要  
Table 2 General outline of electrical facilities

名称 Name of wind farm	むつ小川原ウィンドファーム Mutsu-Ogawara Wind Farm	岩屋ウィンドパーク Iwaya Wind Park	
電気設備 Electrical facilities			
変電設備 Substation equipment	連系電圧 Grid voltage	66 kV	66 kV
	主変圧器定格 Main transformer	30 MVA(ONAN)/34 MVA(ONAF) 66 kV/22 kV	24 MVA(ONAN)/28 MVA(ONAF) 66 kV/22 kV
	特高配電機器 High voltage SWGR	66 kV C-GIS 一式 22 kV スイッチギヤ 一式 66 kV and 22 kV SWGR 1 lot	66kV C-GIS 一式 22 kV スイッチギヤ 一式 66 kV and 22 kV SWGR 1 lot
	無効電力補償装置 Static Var compensator	自励式インバータ 3000 kVAR Self-excited inverter SC 2000 kVA	自励式インバータ 6000 kVAR Self-excited inverter SC 5000 kVA
	直流電源装置 DC supply	一式 1 lot	一式 1 lot
	励磁用発電機 Generator for main transf. excitation	ディーゼル発電機 Diesel engine generator 420 V, 4P, 260 kVA	ディーゼル発電機 Diesel engine generator 420 V, 4P, 200 kVA
	電気設備監視制御装置 Electrical SCADA	一式 1 lot	一式 1 lot
	転送遮断装置 Breaker intertrip system	一式 1 lot	一式 1 lot
	CDT装置 Data transmission system	一式 1 lot	一式 1 lot
	構内配電線路 Power distribution line	配電電圧 Distribution voltage	22 kV
配電方式 Cable installation		地中埋設配電線 Buried in underground 硬質合成樹脂管 (FEP) Corrugated PE pipe	架空配電線 Overhead コンクリート電柱 Concrete pole
ケーブル/電線種類 Type of cable		22 kV CVTケーブル 22 kV 3 core × LPE/PVC cable	22 kV OC電線 22 kV × LPE insulated wire
風車タワー内電気設備 Tower internal equipment	風車変圧器閉閉器盤 Ring main unit	SF <sub>6</sub> 絶縁型 22 kV 22kV SF <sub>6</sub> gas insulated ケーブルフィーダ盤 44面 ケーブルフィーダ盤 44面 トランス 2次盤 22面 Transf-feeder 22 pne	SF <sub>6</sub> 絶縁型 22 kV 22kV SF <sub>6</sub> gas insulated トランス 2次盤 18面 Transf-feeder 18 pne
	風車変圧器定格 Step-up transformer	モールドタイプ Resin mold type 1600 kVA, 22/0.69 kV	モールドタイプ Resin mold type 1600 kVA, 22/0.69 kV
	電気設備監視制御用PLC PLC for electrical SCADA	一式 1 lot	一式 1 lot
	航空障害灯 Air craft warning light	8基に設置 Installed at 8 turbines	—
	発電機定格 Generator	誘導発電機 690 V Induction generator 400 kW(6P)/1500 kW(4P)	誘導発電機 690 V Induction generator 400 kW(6P)/1500 kW(4P)



04-84 03/203

写真3 ブレード輸送架台  
Photo 3 Transportation stands for blades



04-84 04/203

写真4 港仮置き  
Photo 4 Storage yard in the port



04-84 02/203

写真2 コンクリート基礎工事写真  
Photo 2 A concrete foundation under construction

の配置計画を行い、これら風車を結ぶ構内通路を造成した。構内通路の総延長は、むつ小川原が約5 km、岩屋が約4 kmである。

また、風車と共にコンクリート基礎も底部16 m × 16 m、高さ4 m、体積約430 m<sup>3</sup>と大型化し、更に軟弱地盤対策としてむつ小川原では22基中20基、岩屋は18基中12基を杭基礎（φ600コンクリート杭20本、杭長平均20 m）とした（写真2）。

大規模ウィンドファームでは構内通路、大型コンクリート基礎のほかに特高受変電所のコンクリート基礎、管理棟など、これまで以上に土木建築工事が重要な要素となった。

#### 4-2 風車の海上輸送、港仮置き

ナセル、ハブ、ブレードは欧州から、タワーは北九州から各ウィンドファームの最寄港まで海上輸送した。従

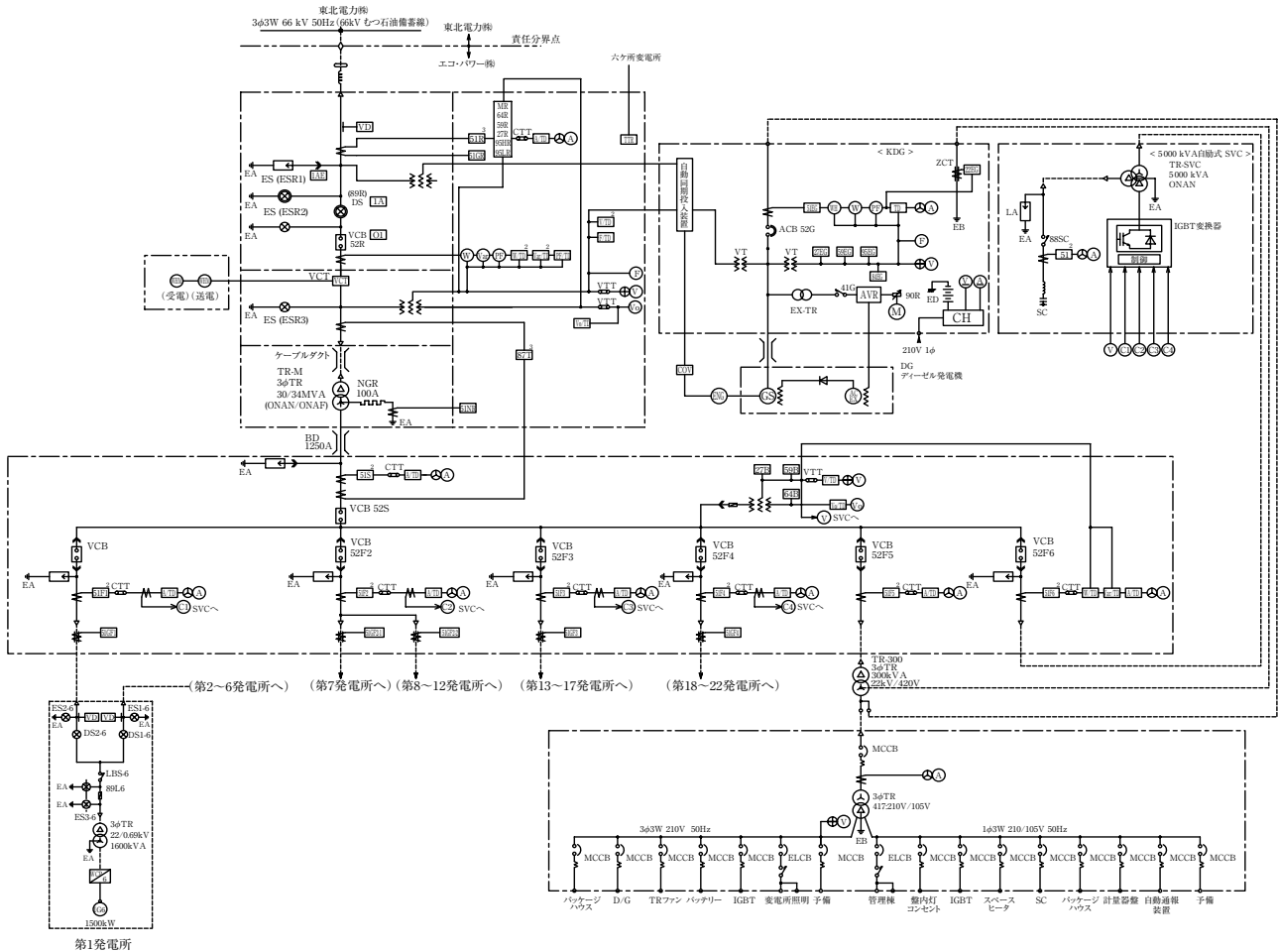


図3 むつ小川原ウィンドファーム単線結線図  
Fig. 3 Single diagram of Mutsu-Ogawara Wind Farm

来、風車は定期コンテナ船で輸送してきたが、風車の大型化により、特にブレード（輸送時の長さ27 m、高さ2.7 m、幅2.7 m）はコンテナ形状（40 ftコンテナの場合、長さ12.2 m、高さ2.6 m、幅2.4 m）から大幅に外れることになった。一方で輸送する風車数量が増えたこともあり、工程を含めた総合的な検討を行い、在来船による輸送を決定した。

ブレード輸送に関しては、特殊な輸送架台を採用した。円形のブレード根元部と細長いブレード先端部の交互組合せ、更に2階建て積み上げが可能となり、輸送体積の大幅減量化、輸送コスト削減が可能となった。

風車は海上輸送後、全数を港に仮置き保管し、風車建設工程に合わせ、トレーラで現場へ夜間輸送した（写真3, 4）。

4-3 無効電力補償装置

風力発電機は出力が常時変動し、かつ誘導発電機の場合は有効電力を出力すると同時に無効電力を消費するた

め発電機の出力変動に伴い電力会社送電線において電圧変動が発生する。

通常電力会社の運用は特高送電線の場合、変動範囲を2%以内に抑えていることから、風力発電機を連系することにより前記変動幅を超えることが予想される場合は、風力発電事業者側で無効電力補償装置を設置している。むつ小川原、岩屋両ウィンドファームにおいても同様の理由により東北電力(株)との協議に基づき、無効電力補償装置を設置している（図4）。

風力発電機が消費する無効電力は遅れ成分だけであり、無効電力補償装置に要求される補償量は進み成分だけとなる。両ウィンドファーム共、補償容量の半分程度をIGBTインバータ、残り半分を進相コンデンサという組合せにより構成し、コスト削減を図っている。

4-4 発電所構内の特高電線路

風力発電所内に設置される風車タワーは通常約300～400 m間隔で配置されており、これらを結ぶ構内の特高

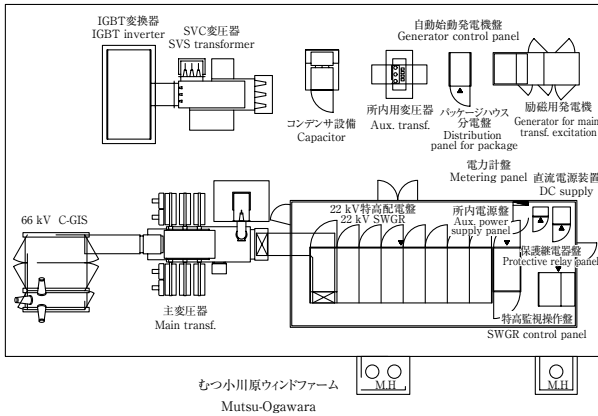


図4 むつ小川原ウィンドファーム変電所配置図  
Fig. 4 Substation of Mutsu-Ogawara Wind Farm



04-84 05/203

写真5 むつ小川原ウィンドファーム変電所  
Photo 5 Substation of Mutsu-Ogawara Wind Farm

電線路の亘長は、むつ小川原ウィンドファームでは約5000 m（埋設ケーブル）、岩屋ウィンドパークでは約14000 m（架空電線）に及ぶので電気工事金額のかなりの部分を構内電線路工事が占めている。

したがって基本設計の段階では、工事コストを抑えるための最短配線ルートへの設計及び潮流計算による線路インピーダンスを含めた発電所構内全体の電圧分布を把握し、電圧変動幅が各機器の許容範囲内に入ることを確認している。また、22 kV 配電電圧を採用するとともに、高品質・低価格の海外製配電機器を採用することによりコスト削減を図っている（写真5）。

#### 4-5 避雷対策

1500 kWクラスの風車ブレード高さは地上から約100 mに達するので、雷雲が発生すると風車タワーは避雷針の役割を担う形となることから、風車ブレード等に落雷するケースが多い。

風車ブレードに落雷があった場合、雷電流はブレード及びナセル内の接地線、タワーきょう体を通して風車タワー周辺の大地に流れ込み、その結果接地極を含めた大地全体の電位が上昇する。その際ブレード本体や風車内及び周辺の電気機器、制御システム、通信システムなどが絶縁破壊又は熱的破壊される危険性がある。

両ウィンドファームにおいては、次に挙げる避雷対策を講じている。

- 制御・通信回路における光ファイバーケーブルの採用
- 風車タワーの接地抵抗を下げるための環状接地の採用
- 構内配電線路に架空地線の採用（岩屋）
- 放電電流定格の大きな避雷器の採用
- 風車タワー直撃雷回数を記録するための落雷カウンタの設置

#### 5. おわりに

地球環境問題が声高に叫ばれるなか、大型風力発電設備は最も実用的で採算が取れるクリーンエネルギー発電設備として全世界に普及しており、我が国でも遅ればせながら法体制や設備容量の整備・促進などの点で欧米に追いつこうとスタートダッシュした段階である。

このような段階において2003年2月竣工時点の国内では最大規模となるむつ小川原ウィンドファーム及び岩屋ウィンドパークは、今後日本においてますます発展する大規模ウィンドファームの設計・施工方式の基礎となるものと考えられる。

完成までにはさまざまな問題もあったが関係者の努力と熱意のおかげで完工することができた。特に多大な助言を頂いたエコ・パワー(株)の皆様には謝意を表す。