

駅舎に設置した太陽光発電システム — 神戸市交通局 地下鉄“総合運動公園駅”へ納入 —

児嶋 勝* 黒川 憲一*
二ノ宮 宏則** 内田 哲夫**

Photovoltaic Power Generation System for Subway Station — Developed for Kobe City Transportation Bureau —

by Masaru KOJIMA, Kenichi KUROKAWA, Hironori NINOMIYA, & Tetsuo UCHIDA

A new type photovoltaic power generation system has been developed for use at subway stations. This system features a compact, transformer-less power conditioner and computerized data analysis and retrieval. This system has been installed at Kobe's Sogoundo Koen Station. The following introduces and discusses this system.

Keywords: Photovoltaic module, Photovoltaic array, Support structure PV module, Foundation for photovoltaic array, Transformer-less, Power conditioner, Data measurement system, Software of data measurement, Trend screen, Display panel of generating data

1. ま え が き

総合運動公園駅は、1985年6月に神戸市営地下鉄西神山手線の延伸時に開業した駅である（写真1）。この駅は、神戸総合運動公園、Yahoo! BBスタジアム、ユニバー記念競技場、グリーンアリーナ神戸、テニスコートなどの競技施設の最寄駅となっている。2006年に兵庫県



04-120 01/205

写真1 総合運動公園駅駅舎全景
Photo 1 General view of station

にて開催される“のじぎく国体”があり、会場の一部としても予定されていることから、多くの人の利用が見込まれている。この地下鉄西神山手線を管理、運営する神戸市交通局は、神戸市の推進する“CO₂ダイエット作戦”に基づいて、地球環境保全のための省エネルギー化事業を展開してゆく中で、今回、総合運動公園駅の照明設備の省エネルギー化工事と、当社の太陽光発電システム（10 kW）の導入が行われた。

以下に、駅舎に設置した太陽光発電システムについて紹介する。

2. 神戸市交通局納入の太陽光発電システム （10 kW）の概要と構成

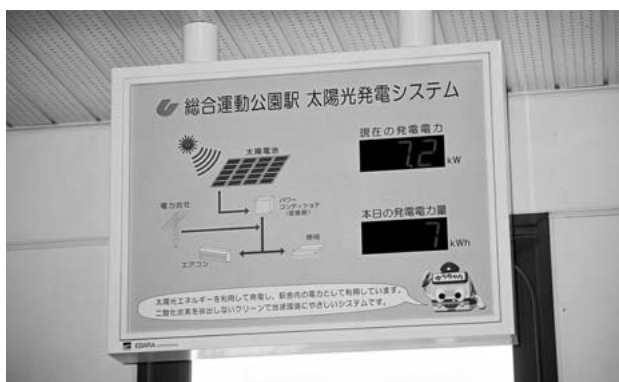
総合運動公園駅は南に神戸総合運動公園を配した地上区間の駅であり、プラットホーム上に駅舎、コンコースがある。システムは、コンコース屋上に太陽電池モジュールアレー、トランスレスパワーコンディショナを配置し、発電した交流電力を駅舎内電気室の分電盤から駅舎内の動力線系統に連系している。太陽電池モジュールは、1枚あたり126 Wのものを80枚、16直列×5並列に構成して使用している。太陽電池モジュールによって発電された直流電力は、太陽電池モジュール架台に取り付けた接続箱によって1系列にまとめられ、パワーコンディシ

* 新エネルギー事業本部 太陽光発電事業室 システム技術部
** (株)荏原電産 開発センター 開発部
** 同 環境事業部 技術第1部

ヨナに供給される。パワーコンディショナは、定格出力10 kWの能力をもち、出力トランスを用いないコンパクトタイプのもので、供給された直流電力を系統側電力に適合する交流電力に変換し、系統に供給するものである。発電データ計測システムは、日射計や気温計からの計測データをパワーコンディショナにおける種々データと共に、デジタルデータとして駅長室に設置したパソコンに送り、パソコンにインストールされたソフトによって収集、分析、保存を行うものである。

計測データの内、発電電力（現在の発電量）と発電電力量（本日の発電電力量）については、改札口を出たコンコース突当りに表示盤を設置し、駅利用者に向けて太陽光発電設備による発電量を掲示すると共に、神戸市交通局が環境保全を推進していることをアピールする役を担っている（写真2）。

全体のシステム概要を図1、主要機器の仕様を表に示す。



04-120 02/205

写真2 発電電力表示盤
Photo 2 Display panel

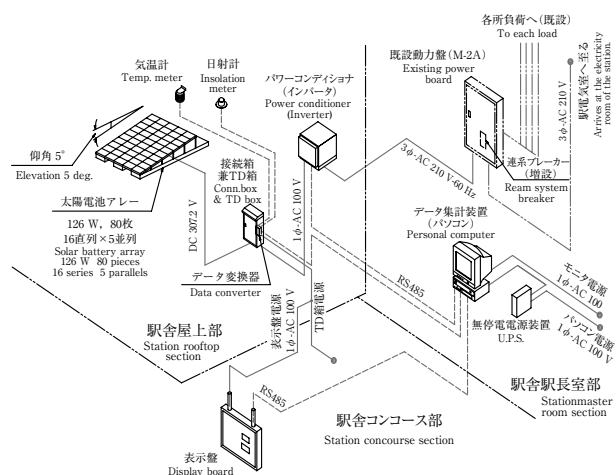


図1 システム概要（フロー図）
Fig. 1 System flow

3. 主要機器の特徴

本システムとして、特徴となる太陽電池モジュール、架台と基礎、トランスレスパワーコンディショナ及びデータ計測システムについて説明する。

3-1 太陽電池モジュール

本システムで使用した太陽電池モジュールは、某モジュールメーカーとOEM契約に基づき、当社のブランド名で市場に供給しているものである。公称最大出力126 W、多結晶シリコン太陽電池セルを用いたもので、傾斜屋根用と陸屋根用がある。本システムには、陸屋根用のものを80枚用いてある。

3-2 太陽電池モジュール架台と設置

総合運動公園駅は、1985年に建設されたもので、太陽電池アレイの設置場所であるコンコース階屋上部は、70 mmのシンダーコンクリート下に防水層のある構造となっている。屋上部は建設以来、上部に重量物を設置した経緯はなく、太陽電池アレイの基礎設置による防水層への影響と床面強度の経年変化に伴う低下を考慮して、据置き構造を採用した。すなわち、太陽電池アレイの投影面を全面基礎としたベタ基礎方式を用いることにより、床面に作用する単位面積あたりの荷重を軽減し、内部の防水層への影響を最小限にする構造をとることとした。太陽電池アレイは、太陽の光を効率よく受けるように南方向に傾斜している構造のため、風により水平方向の荷重が発生する。この水平移動を防止するために、本設備においては、床面強度の限界と建物への負荷を考慮し、基礎設置面の摩擦抵抗によって固定する方法を採用した。このことから、基礎の滑動荷重を最小限とするため、太陽電池アレイの仰角を5°に設定、基礎の設置面総面積を81.9 m²とした。

ここに、太陽電池アレイの仰角5°における水平荷重は、順風時=56512 N、逆風時=98112 Nとなり、この荷重に対する基礎設置面の摩擦抵抗力は、順風時=123690 N、逆風時=112140 Nである。水平荷重より摩擦抵抗力が大きいので、滑らないと結論付けられる。

神戸市における設計風速は、改正建築基準法平成12年告示1454号によって、34 m/sと定められており、計算上の最大瞬間風速は54 m/sとした。しかし、自然界では、これ以上の風速が発生する可能性も否定できないことから、更なる安全性を考慮し、屋上床面のシンダーコンクリートと基礎とをアンカーボルトで結合する構造を採用した（図2）。

本来、このような置き基礎タイプは、板状コンクリー

表 主要機器仕様
Table Specifications of main equipment

| 機器名称 Equipment | 項目 Item | 仕様 Specifications |
|--|--|---|
| 太陽電池 モジュール Solar module | 太陽電池セル Solar cell | 多結晶シリコン太陽電池セル Multicrystal silicon solar cell |
| | 構造、型式番号 Structure & form number | ガラスカバー型、PSOM-126F Glass cover type, PSOM-126F |
| | 公称最大出力 Nominal maximum output powers | 126 W |
| | 外形寸法 External size | L 1248 mm × W 803 mm × t 46 mm |
| | モジュール総数 Number of solar module | 80枚 |
| | 直列数×並列数 Number of series × number of parallel | 16 × 5 |
| | モジュール合計最大出力 Total maximum output power | 10.08 kW |
| | 設置角度 Tilt angle (deg.) | 5° |
| | 設置方位 Installation azimuth | 南南西 South-south west |
| 系統連系パワー コンディショナ Utility-tie power conditioner | 形式、外形寸法 Type & external size | 屋外壁掛け型 W 750 mm × H 500 mm × D 450 mm Outdoor wall hanging type |
| | インバータ方式 Inverter system | 電圧型電流制御方式（連系運転時） Voltage type current control method (at utility-tie operation) |
| | 定格出力 Rated output | 10 kW |
| | 直流入力電圧範囲 DC input voltage range | DC 0～500 V |
| | 定格出力電圧－周波数 Rated output voltage-frequency | AC 210 V－60 Hz |
| | 電気方式 Electrical system | 三相3線式 3 phase - 3 wire system |
| | スイッチング方式 Switching system | 正弦波PWM方式 Sine wave PWM method |
| | 電力変換効率 Power conversion efficiency | 93%以上 ≥ 93% |
| | 電流歪率 Current distortion ratio | 総合5%、各次3%以下 Total ≤ 5%, each harmonics ≤ 3% |
| | 絶縁方式 Insulation system | 非絶縁 Non-insulation |
| | インバータ保護機能 Inverter protection function | 直流部過電圧、直流部過電流、交流部過電流、温度異常等 DC section : Over voltage, DC section : Over current, AC section : Over voltage, Abnormal temperature, etc. |
| | 連系保護機能 Utility protection function | 過電圧、不足電圧、周波数上昇、周波数低下 Over voltage, Under voltage, Over frequency, Under frequency |
| | 単独運転検出機能 Stand-alone operation detection function | 受動的方式：電圧位相跳躍方式 Active method : Voltage phase jump method 能動的方式：周波数シフト方式 Passive method : Frequency shift method |
| 制御方式 Control system | 最大電力追従制御、ソフトスタート、自動運転・停止 Maximum power tracking control, Soft start, Automatic operation/stop | |
| 接続箱 Connection box | 形式、外形寸法 Type & external size | 屋外壁掛け型 W 500 mm × H 830 mm × D 160 mm Outdoor wall hanging type |
| | 回路数 Number of circuits | 5回路 Five circuits |
| | 避雷保護機能 Lightning protect function | サージアブソーバ Surge absorber |
| | その他の附属機能 Other attached functions | 測温抵抗体変換器、日射計変換器、バリスタ内蔵 Resistance thermometer converter, Insolation meter converter Varister |
| データ集計装置 Data collecting device | 収集データ Collection data | 発電電力、発電電力量、日射量、気温 Power generation electric energy, Amount of power generation electric energy, Quantity of solar radiation, Atmospheric temperature |
| | 日射計 Insolation meter | 全天傾斜設置型 All heaven-Incline mount type |
| | 気温計 Atmospheric temperature meter | Pt測温抵抗体式 Pt-resistance thermometer type |
| | 無停電電源装置（UPS） Uninterruptive power supply | 500 VA/300 W、シール鉛蓄電池（パソコン電源用） 500 VA/300 W, Seal-lead accumulator (for power supply of personal computer) |
| | パーソナルコンピュータ/ディスプレイ Personal computer/Display | マイクロタワー型、40 GB HDD、Windows 2000 OS/15型 TFT カラー Microtower type, 40 GB of HDD, Windows 2000 OS/15inch TFT color monitor |
| 発電電力表示盤 Electric energy display board | 形式 Type | 屋内天井吊下型 Indoor ceiling hanging type |
| | 外形寸法 External size | W 800 mm × H 600 mm × D 120 mm |
| | 表示内容 Content of display | 発電電力 1点、積算電力量（一日分）1点 1 display for power generation electric energy 1 display for Amount of power generation electric energy (1 day) 説明文、イラスト付き Explanation with illustration |
| | 表示器 Display board | LED-57型、3桁、7セグメント式 LED 57 type, Treble, Seven segment type |

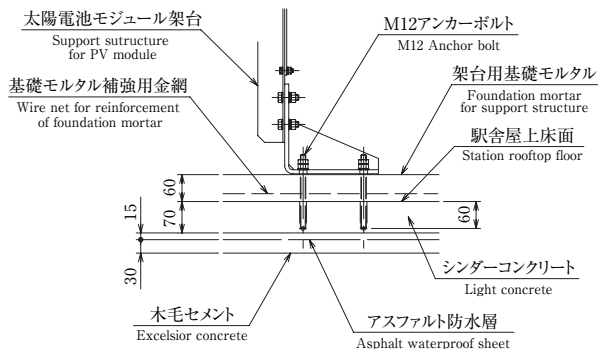


図2 基礎部の構造
Fig. 2 Construction of foundation

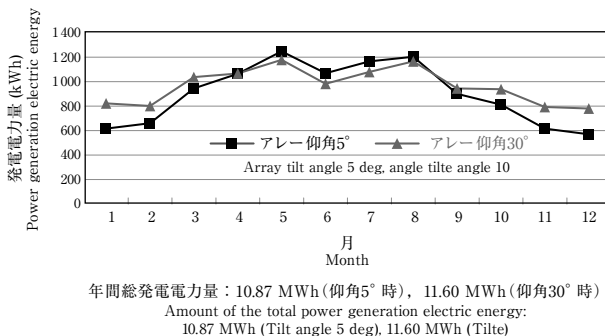


図3 年間予想発電電力量の比較
Fig. 3 Comparison of forecast power generation



写真3 基礎モルタル打設完了風景
Photo 3 Completion of mortar foundation placement

04-120 03/205

トを利用するのであるが、屋上床面との間に隙間が生じると、基礎設置面の摩擦抵抗力が得られなくなる。このため、本設備では、現地でモルタル敷設施工を行い、計画した摩擦抵抗力を得るようにした(写真3)。また、屋上床面の許容荷重は、荷重条件を考慮して、1770 N/m²以内と指定されており、施工した基礎の質量を含めた太陽電池アレー全質量が、上記許容値を十分満足していることも確認した。

建物の強度と風荷重の影響からその仰角を5°にしたことによる、年間の予想発電量は、10.87 MWhであり、一般的なアレー角度30°を100とすると、93.8%に相当する。図3は、神戸市におけるアレー仰角5°と30°の場合の月別年間予想発電電力量と比較したものである。図3に示すように、太陽高度が高くなる4月から9月は、アレー仰角5°の方が発電効率がよいことが分かる。年間で約6.2%発電電力量が低下するが、既存の建物を改造や補強する費用を考慮すれば、本件のような基礎の構造とアレー仰角を下げる(5°～10°程度)工法も有効であると考えられる。

架台は、一般構造用炭素鋼の軽量形鋼に溶融亜鉛めっきを施工した材料を使用した組立て方式のものであり、太陽電池モジュール80枚をすべて組込んだ1ユニット方式である。写真4は総合運動公園駅駅舎屋上部に設置した太陽電池アレーの全景である。

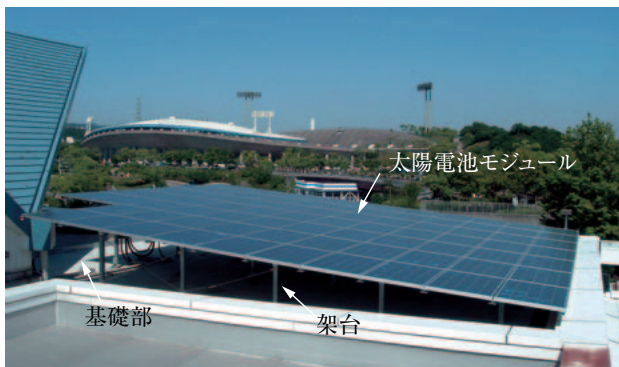
3-3 トランスレス系統連系パワーコンディショナ

本装置は、当社と(株)荏原電産で共同開発した10 kW トランスレス系統連系パワーコンディショナ(以下パワーコンディショナと略す)を採用し、その特長はトランスレス方式の採用により、小型軽量で壁掛タイプを実現した(体積比70%ダウン:当社10 kWトランスタイプとの比)。

パワーコンディショナは、エネルギーを太陽電池モジュール(以下太陽電池と略す)から効率良く取り出すことを目的とした最大電力追従制御(Maximum power point tracking = MPPT)もしくは出力電圧一定制御により制御運転される制御部、直流電力を交流電力に変換するインバータ(電力変換)制御部、電力変換と商用電源系統への連系を安全に行うことを目的とした保護機能制御部とから構成される。

(1) 最大電力追従制御(MPPT)

太陽電池は、図4のような基本出力特性カーブを持っており、特性は日射量により常時変化する。パワーコンディショナは、常に最大のエネルギー量を太陽電池より取り出すために最大電力追従制御(MPPT)を行っている。制御方法は、50 mm秒間隔でインバータ部出力を微増減し太陽電池動作点をわずかに変動させ、変動の前と変動の後での出力電力をモニタし、出力電力が増加した場合はインバータ部からの出力を増加させ、出力電力が減少した場合は、出力を減少させる。太陽電池の出力特性を有する擬似電源装置を用いて、日射量変動時(図5)と日射量一定時(図6)の最大電力追従制御特性測



04-120 04/205

写真4 太陽電池アレー全景
Photo 4 General view of Solar array

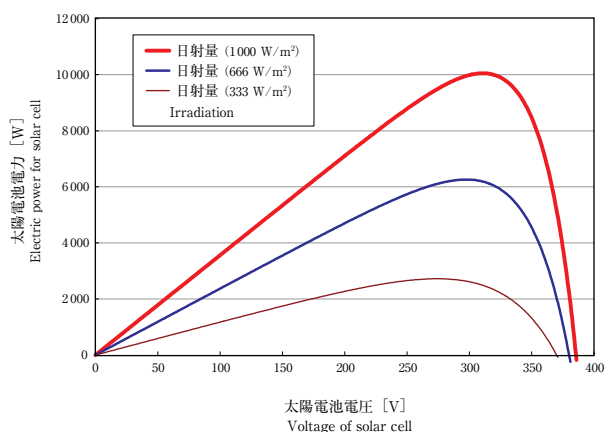


図4 太陽電池基本出力特性カーブ
Fig. 4 Solar Battery output characteristic curve

定値を示す。なお、最大電力追従制御範囲は電池出力電力1 kW以上かつ、電池電圧DC210 V～DC450 Vとなっている。また自立運転時は出力電圧一定制御となる。

(2) インバータ制御部

インバータ制御部は電圧型電流制御方式により出力電流を制御し、出力電圧は系統電圧値に合わせた出力値となる。構成は太陽電池から得た直流電圧を昇圧し、系統電圧出力に必要となる電圧を発生させるチョップ部、その直流電圧を交流電圧に変換するDC/AC変換部に分かれる。また、電流制御を行うために電流値を検出する電流検出器 (CT) と出力からキャリア成分を分離するためのACフィルタによって構成される。図7にシステム構成図を示す。

(3) 保護機能制御部

保護機能には、パワーコンディショナが安全に電力変換を行えるためのインバータ保護機能と商用電源に連系する際に必要となる国土交通省の系統連系技術要件ガイ

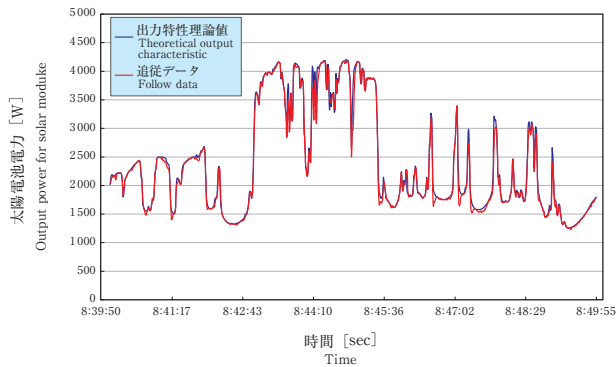


図5 MPPT特性 日射量変動時
Fig. 5 MTP control at variable daylight

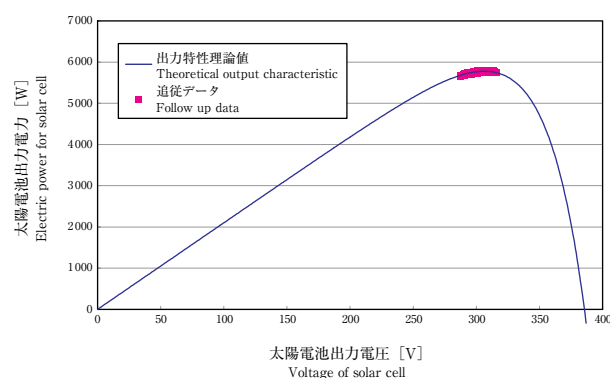


図6 MPPT制御 日射量一定
Fig. 6 MTP control at constant daylight

ドラインに基づく系統連系保護機能とがある。インバータ保護機能の中では、本パワーコンディショナは、トランスレスのため従来機の保護機能に加え、直流出力検出と直流地絡検出の保護機能が追加されている。

3-4 太陽光発電のデータ計測システム

NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) 対応型の計測ソフトをパワーコンディショナと同時開発を行い、パワーコンディショナからの直流電圧、直流電流、直流電力、インバータ電圧、インバータ電流、インバータ電力、傾斜面日射強度、気温をすべてシリアル通信 (RS485) で計測及び監視ができる。これにより、従来のアナログ信号 (DC4～20 mA) による計測誤差の発生が改善され、配線工事の削減にもなった。計測周期は6秒ごとに行い、演算周期を1分間及び1時間としている。また、システムは、最大250 kWまで監視できるようになっている。

(1) パソコンモニタの画面構成

モニタの第一画面はスケルトン画面で発電状況や使用

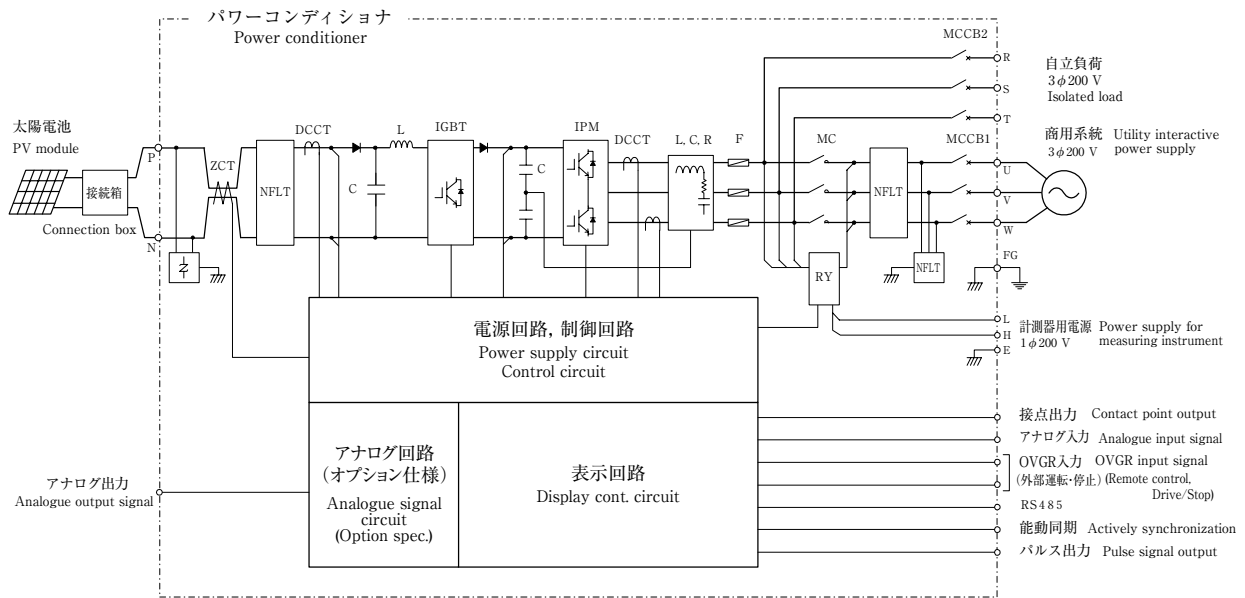


図7 システム構成図
Fig. 7 System configuration

している電力の流れが一目で分かるように構成されている。画面下部にはその他の画面を選択するアイコンが表示されており、カーソルを合わせクリックすると画面が変更できる (図8)。

第二画面は、発電データの1日分、1箇月分及び1年分を折れ線、面及び棒グラフで表示するグラフ画面となっている (図9)。

第三画面は、発電データを日報、月報及び年報の形式に取りまとめた帳票として表示される (図10)。

これらグラフ画面や帳票画面は、報告書やPRパンフレットなどに利用される。

以上の画面のほかに外部へのPR用として、大型スクリーンに表示するための写真画面や太陽光発電システム

などの説明画面がある。また、各画面の状態を設定する設定画面も設けられており、使用しやすくなっている。

(3) そのほかの計測ソフトの特長

本計測ソフトは、前記に示した基本仕様のほかに次の

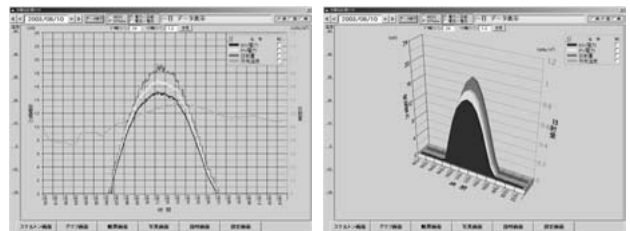


図9 グラフ画面
Fig. 9 Graph screen

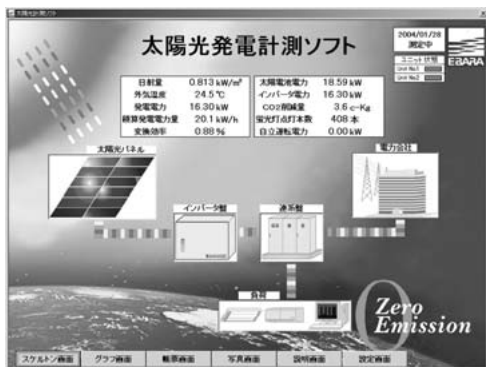


図8 スケルトン画面
Fig. 8 Skeleton screen

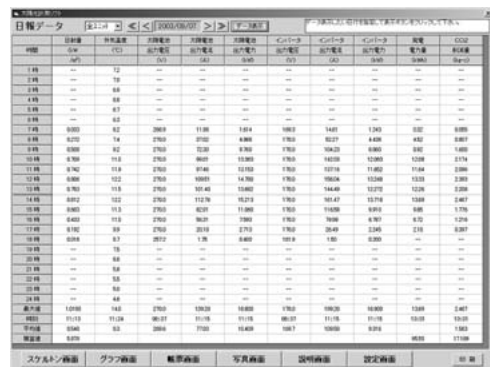


図10 帳票画面
Fig. 10 Slit screen

ような特徴を備えており、より一層使用しやすくなっている。

- ・接続されているパワーコンディショナすべての異常発生時の状態が分かる。
- ・四則演算機能があり、発電電力に対するCO₂の削減量の計算などができる。
- ・モニタ表示画面の写真や説明文にスクリーンセ이버機能を入れ、モニタ画面自体を大型液晶画面に表示できる。

4. おわりに

太陽光発電システムを施工するにあたり、太陽電池ア

レー設置方法として、既存建物を改造・改築せずに設置する方法を、確立できた。

また、パワーコンディショナのコンパクト化によって、設置場所が限定されることがなく、自由な設置が可能となり、また計測システムの充実によって、単に発電量の計測だけではなく、環境貢献具合など種々の利用が可能になった。本システムは、現在順調に稼動しており、今後、同様な既設建物を含めた施設への設置に広く活用することができるものとして期待される。

終わりにあたり、本システムをご採用頂いた神戸市交通局施設管理課の関係各位のご指導により、無事に稼動まで終了できたことを深く感謝する次第である。

