

兵庫県立芸術文化センター太陽光発電システム (214 kW)

児嶋 勝* 江川 裕二** 内田 哲夫**

Photovoltaic Power Generation System for Hyogo Arts & Culture Association

by Masaru KOJIMA, Yuji EGAWA, & Tetsuo UCHIDA

Ebara's large-scale, grid-connected, photovoltaic power generation system had been installed at Hyogo Arts & Culture Association, Hyogo Prefecture. Compared to conventional such systems for industrial use, which are typically 10-30 kW in capacity, this system features an amazing total capacity of 214 kW (160 kW from rooftop and 54 kW from wall mounted photovoltaic modules). The power generated from the modules is transformed into AC power by rooftop power conditioners. An incoming panel in the basement power reception room supplies power for firefighting and security within the facility. The system's the grid-connected design allows excess power generated by the system to be sold to the local electric company.

Keywords: Photovoltaic power generation, Photovoltaic (PV) module, Power conditioner, Solar irradiation, Array, Multi crystal (poly crystal), Grid-connected, Data collecting device, Solar simulator, Shadow cover rate

1. はじめに

2005年2月16日地球温暖化防止のための京都議定書が発効した。日本に課せられた温室効果ガス排出量の削減目標は、2008年から2012年の5年間に1990年比で6%である。しかし、2003年の排出量は削減どころか、逆に8%増加しており、実際は14%削減しなければならない。そもそも京都議定書が合意に至ったのは、IPCC*が第二次評価報告書の中で、「温室効果ガスの排出を今後とも継続した場合、21世紀末には大気中の二酸化炭素濃度は、1990年の約3倍になり、その結果、地球全体の平均温度は約2℃上昇し、海水面は約50 cm上昇すると共に、生態系、水循環、食料生産、国土、人間の健康などに対して様々な影響を与える可能性がある」と予測したことによる(2001年の第三次評価報告書では、平均温度は1.4~5.8℃上昇し、海面水位は9~88 cm上昇すると指摘)。

政府は既に、地球温暖化対策の基本方針である「地球温暖化対策推進大綱」の見直しを行っており、今後は目標達成のため様々な施策が打ち出されると予想される。

温室効果ガス排出量が少ない太陽光発電・風力発電・燃料電池・バイオマスなどの新エネルギーの活用には大きな期待が寄せられており、中でも特に太陽光発電システムは最も普遍的なエネルギー活用法として着実な普及が有望視されている。政府の導入目標として2010年までに累積482万kWの設置が設定されており、今後の市場拡大も大いに期待できる。

このような背景の中、今回、兵庫県立芸術文化センター(新設)に太陽光発電システムとして、214 kWの大容量設備を納入したので以下に紹介する。

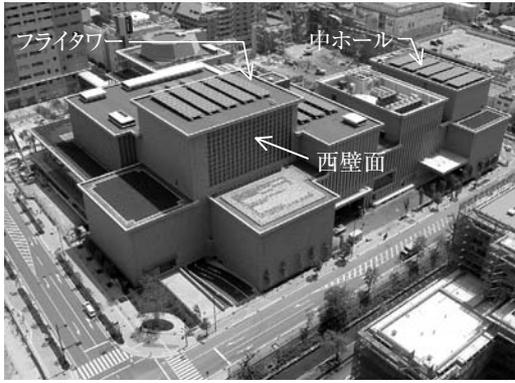
* IPCC : 気象変動に関する政府間パネル
(Intergovernmental Panel on Climate Change)

2. 芸術文化センター太陽光発電システム (214 kW) の概要と構成

兵庫県立芸術文化センター(写真1)は、優れた舞台芸術の創造と交流の場をめざした大・中・小ホールから構成された複合ホール(2005年5月末竣工、2005年10月開館)である。交通至便(阪急西宮北口駅南口すぐ)で多くの市民に利用が予想されるこの芸術文化センターでは、環境への貢献、市民への教育などの目的で太陽光発電システムの導入が行われた。

本システムは、大ホール及び中ホールの屋上部分と、大ホールの舞台上部(以下フライトワーと称す)の建屋

* 新エネルギーカンパニー 燃料電池事業部 開発・生産室
** 同 太陽光発電事業室 プロジェクトグループ
** (株)佐原電産



05-105 01/208

写真1 芸術文化センター全景
Photo 1 View of association facility

壁面部に太陽電池モジュールを配し、屋上部のパワーコンディショナで交流に変換した後、地下の配電盤でホール内の保安系システムに連系している。

太陽電池モジュールは、1枚あたり167 Wのものを1284枚、12直列×107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及び集合箱によってエリアごとに1系列にまとめられ、パワーコンディショナに供給される。パワーコンディショナは、定格出力30 kW×2台、40 kW×1台、50 kW×2台、20

kW×1台の合計6台で、エリアごとの直流電力を交流電力に変換すると同時に、エリアごとのデータを送信する。

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防災センターに設置したパソコンでデジタルデータとして受け取り、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（その時点の発電量）、発電電力量（その日の発電電力量）、日射強度や外気温度などについては、1階エントランスのインフォメーションディスプレイに並んで設置される太陽光発電システム用表示装置（50インチプラズマディスプレイ）に表示し、施設利用者に兵庫県が新エネルギーの利用を推進し、省エネルギー化を推進していることを広報する役割を担っている。全体のシステム概要を図1、主要機器の仕様を表1に示す。

3. 主要機器の特長

本システムの特長となる太陽電池モジュール、架台と基礎、パワーコンディショナ、データ収集装置及び表示装置について紹介する。

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のうち屋上部分に設置したタイプのものは、OEM契約に基づき、

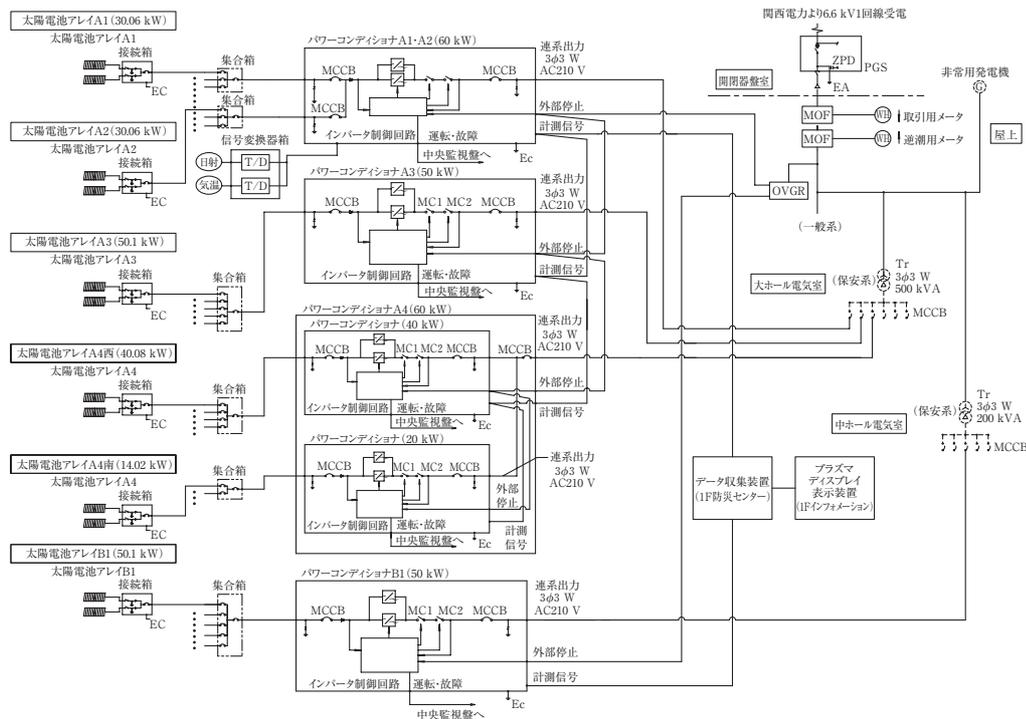


図1 システムフロー図
Fig. 1 System flow diagram

表1 主要機器仕様
Table 1 Specifications of main equipment

機器名称 Equipment	項目 Item	仕様 Specifications	機器名称 Equipment	項目 Item	仕様 Specifications		
太陽電池 モジュール (屋上用) Photovoltaic module (Rooftop part)	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	系統連系 パワー コンディショナ Grid connected power conditioner	電力変換効率 Power Conversion efficiency	92%以上 ≧ 92%		
	構造、型式番号 Structure, Model name	ガラスカバー型、PSOM-167F Glass cover type, PSOM-167F		電流歪率 Current distortion ratio	総合5%、各次3%以下 Total ≦ 5%, each harmonics ≦ 3%		
	公称最大出力 Maximum power rating	167 W		絶縁方式 Insulation system	非絶縁 Non-insulation		
	外形寸法/質量 Dimensions/Mass	L1 580mm × W800mm × t46mm /15.5kg		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		
	モジュール総数 Number of modules	960枚		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		
	直列数×並列数 Number of series × number of parallels	12 × 80		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		
	モジュール合計出力 Total capacity	160.32 kW		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		
	設置角度 Mounted angle	5° (A1, A2エリア), 0° (A3, B1エリア)		接続箱 Connection box	形式 Type	屋外壁掛け型 Outdoor wall mounted type	
	設置方位 Installation direction	南 South			外形寸法 Dimensions	W700 mm × H500 mm × D160 mm	
	特記 Special note	鉛フリー Pb free			回路数 Number of circuits	5回路	
太陽電池 モジュール (壁面用) Photovoltaic (Wall part)	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	集合箱 Assembling box		形式 Type	屋外壁掛け型 Outdoor wall mounted type	
	構造、型式番号 Structure & Model name	ガラスカバー型、SPG167-13F ※防眩タイプ Glass cover type, SPG167-13F Glare-proof type			外形寸法 Dimensions	W400 mm × H500 mm × D160 mm (A1, A2, A4-2) W500 mm × H500 mm × D160mm (A3, A4-1, B1)	
	公称最大出力 Maximum power rating	167 W			回路数 Number of circuits	2回路 (A4-2), 3回路 (A1, A2) 4回路 (A4-1), 5回路 (A3, B1)	
	外形寸法/質量 Dimensions/Mass	L1 290 mm × W990 mm × t36 mm /15.5kg			信変換器(TD)箱 Transducer box	形式 Type	屋外壁掛け型 Outdoor wall hanging type
	モジュール総数 Number of modules	324枚				外形寸法 Dimensions	W700 mm × H500 mm × D160 mm
	直列数×並列数 Number of series × number of parallels	12 × 27				付属機能 Other equipment	測温抵抗体変換器、日射計変換器 Resistance thermometer converter & Insolation meter converter
	モジュール合計出力 Total capacity	54.1 kW				データ収集装置 Data collecting device	形式 Type
	設置角度 Mounted angle	90°		外形寸法 Dimensions			A1: W800 mm × H2300 mm × D1000 mm A2: W800 mm × H2300 mm × D1000 mm A3: W1600 mm × H2300 mm × D1000 mm A4-1: W1600 mm × H2300 mm × D1000 mm A4-2: W1300 mm × H2300 mm × D1000 mm B1: W1600 mm × H2300 mm × D1000 mm
	設置方位 Installation direction	南、西 South & West		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 grid connected operation)
	特記 Special note	鉛フリー、防眩タイプ Pb free, Glare-proof type		定格出力 Rated output			30 kW (A1), 30 kW (A2), 50 kW (A3) 40 kW (A4-1), 20 kW (A4-2), 50 kW (B1)
太陽電池架台 Solar array	材質 Material	鋼製溶融亜鉛メッキ (HDZ-45) Steel (hot dip zincing: HDZ-45)	直流入力電圧範囲 DC input voltage range	DC 0 ~ 500 V			
	設置場所 Installation location	・ A1 (30 kW) 大ホール大リハーサル室屋上 ・ A2 (30 kW) 大ホール客席屋上 ・ A3 (50 kW) 大ホールフライタワー屋上 ・ A4 (54 kW) 大ホールフライタワー壁面 (西面, 南面) ・ B1 (50 kW) 中ホール舞台屋上	定格出力電圧 - 周波数 Rated output voltage - Frequency	AC210 V 60 Hz			
	系統連系 パワー コンディショナ Grid connected power conditioner	形式 Type	屋外自立型 Outdoor self-supported type	電気方式 Electrical system			三相3線式 3 phase - 3 wire system
		外形寸法 Dimensions	A1: W800 mm × H2300 mm × D1000 mm A2: W800 mm × H2300 mm × D1000 mm A3: W1600 mm × H2300 mm × D1000 mm A4-1: W1600 mm × H2300 mm × D1000 mm A4-2: W1300 mm × H2300 mm × D1000 mm B1: W1600 mm × H2300 mm × D1000 mm	スイッチング方式 Switching system	正弦波PWM方式 Sine wave PWM method		
		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 grid connected operation)	表示装置 Display board	形式 Type		屋内壁掛け型: プラズマディスプレイ P50XSA40J Indoor wall mounted type: Plasma display P50XSA40J
		定格出力 Rated output	30 kW (A1), 30 kW (A2), 50 kW (A3) 40 kW (A4-1), 20 kW (A4-2), 50 kW (B1)		外形寸法 Dimensions		W1 216 mm × H726 mm × D100 mm
		直流入力電圧範囲 DC input voltage range	DC 0 ~ 500 V		表示内容 Contents of display	太陽光発電システムの運転状況 (日射量、発電電力量等) Operation condition of photovoltaic power generation system (Irradiation, Amount of power generation electric energy, etc.)	
		定格出力電圧 - 周波数 Rated output voltage - Frequency	AC210 V 60 Hz		説明文、イラスト付き With caption and illustration		

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167 W、多結晶シリコン太陽電池セルを用いたもので、本システムには陸屋根用のものを960枚用いている。無鉛はんだを使用しており、廃棄時の環境負荷低減を図っている。

一方、フライタワー壁面に設置された太陽電池モジュールについては、建築工事が既に進んでおり寸法的に当社の太陽電池モジュールが使用できなかったため、他社製のモジュールを採用した。こちらも公称最大出力167 W、多結晶シリコン太陽電池セルを用いたもので、本システムには陸屋根用のものを324枚用いた。今回は、建物上層部壁面に垂直に設置されることと近隣のマンションに配慮して、表面の光反射について対策を行った。太陽電池モジュールの表面は一般的に太陽光の反射を抑えた特殊な強化ガラスで覆われているが、今回の壁面用太陽電池モジュールについては、強化ガラス表面を特殊加工して更にまぶしさを抑えた防眩タイプモジュールを採用した。

また、本システムでは建屋壁面という建築意匠に大きく関係する部位に太陽電池モジュールを設置するため、壁面用太陽電池モジュールについては、建屋外壁を覆うレンガと色の調和を図るべく、太陽電池セルの色についても発注者及び建築設計者との入念な打合せのもとに決定した。

3-2 太陽電池モジュール架台と設置

(1) 架台設計

①屋上部分

屋上部分の太陽電池モジュールは、当該工事で設置の基礎上に組んだ架台上に設置される。架台は、溶融亜鉛

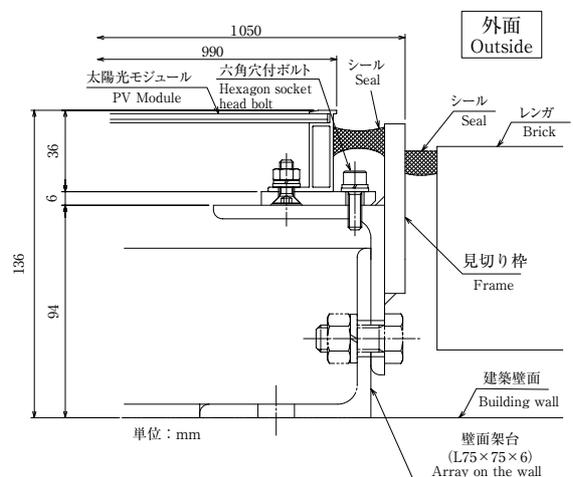


図2 壁面太陽電池取付図

Fig. 2 PV module installation drawing for the wall

めっきをした一般構造用炭素鋼の形鋼材料を使用した組み立て方式のものである。今回の物件では建屋外観との調和を図るため、地上から見てあまり建屋から飛び出ないように、アレイの高さ、傾斜角度(0°, 5°)、配置などが設定されている。モジュールの寸法は各社異なるため配置に苦慮するケースも多いが、大型モジュールの採用と屋根面への荷重を考慮した架台設計により限られたスペースに効率よく配置できた。

②壁面部分

壁面については、太陽電池モジュール異常時対応として施工後に取り外しが可能な取付構造とするため、建屋壁面に後施工アンカーで固定された架台(鋼材:溶融亜鉛メッキ処理)に、前面からビス留めで固定することとした。建屋の外壁は全面レンガ施工されるため、レンガとレンガの間に太陽電池モジュールが配置される構造である。

架台の構造はアングル2組で構成されるボルト締結構造とし、レンガと太陽電池の間に意匠としての見切り枠も併せて設置した(図2)。

壁面の太陽電池固定については構造上はめ込み固定となるため、まず太陽電池を垂直面に確実に固定するための固定用ツバ(フラットバー)を太陽電池モジュールフレームの長手方向両面に設け、固定用ツバと架台の取り付けは表面から六角穴付きビスで固定する方法とした。

また、太陽電池モジュール間の直列ケーブル取り付け・引廻しは太陽電池モジュールと壁との隙間100 mm間で行い、外壁表面には出ないように太陽電池モジュール縦方向各列ごとの上端部に埋込んだプルボックスまで配線した(写真2)。西面側は南面の西寄り、南面側は南面の東寄りの下端にプルボックスを介して取り出し、A1エリアの架台に設置(壁面の外観を良くするために壁面以外に設置)した接続箱に接続することにした。



05-105 02/208

写真2 壁面太陽電池アレイ用配線

Photo 2 Wiring for solar array on the wall



05-105 03/208

写真3 屋上基礎
Photo 3 Substructure at rooftop



05-105 05/208

写真5 壁面太陽電池モジュール
Photo 5 PV modules on the wall



05-105 04/208

写真4 太陽電池モジュールビス留め固定
Photo 4 PV module screwed on support structure



05-105 06/208

写真6 パワーコンディショナ (B1)
Photo 6 Power conditioner (B1)

(2) 架台基礎工事と架台設置工事

①屋上部分

屋上部分については、建屋屋上コンクリート打設と同時期に、立ち上げタイプの鉄筋入りコンクリート基礎を施工した(写真3)。太陽電池取り付け用架台は、基礎施工後にケミカルアンカーにより立ち上げた架台フットと固定した。

②壁面部分

壁面部分に設置の太陽電池取り付け用架台は、建屋壁面完成後にケミカルアンカーで固定する。長手方向(鉛直方向)の墨出しと架台枠内々寸法を確認して、太陽電池モジュールを仮設置し、タップ穴を開けて太陽電池モジュールのケーブル結線後に六角穴付きビスで架台に固定した(写真4)。ボルト構造物同士の取り合いとなり精度を出すことが困難なため、架台の寸法測定、仮組や現場での位置決め等設置前の確認を十分に行った。

ビス固定部は太陽電池モジュールのフレームと架台に取り付く見切り枠との間に収まり、取り付け完了後にシ

ール材でカバーした(図2)。

壁面部分の太陽電池モジュールの設置については、建屋の外観として最も目につく部位となるために、太陽電池モジュールが並んで設置された際の、個々の面の平坦さ、上下左右の太陽電池モジュールとの直線性をいかに保てるかが施工を行う上での大きな課題となった。今回の工事では、建屋壁面の施工精度が優れていたこと、ベースとなる架台設置が精度良く仕上がったことにより、ライナなどによる調整や補正を行うことなくフラットに太陽電池モジュールを設置することができた(写真5)。

3-3 系統連系パワーコンディショナ

今回納入したパワーコンディショナの構成は20 kW用×1台、30 kW用×2台、40 kW用×1台、50 kW用×2台の合計出力220 kWである。これらのパワーコンディショナは大ホール側に5台(合計出力170 kW)、中ホール側に1台(50 kW)(写真6)設置した。

(1) パワーコンディショナの機能

パワーコンディショナのもつ特長的な機能を以下に述

べる。

①最大電力追従制御

(Maximum power point tracking = MPPT) :

太陽電池の温度変化や日射強度の変化に伴う出力電圧・出力電流の変化に対して常に太陽電池の出力を最大限引き出す機能。

②高調波抑制機能：

電力会社の配電線に悪影響を及ぼさないように高調波電流を抑制した電流を出力する機能。

③自動電圧調整機能：

余剰電力を逆流にuring場合には建物内の電圧を所定範囲に維持するため電圧調整を自動的に行う機能。

(2) その他機能

当施設は、太陽光発電システムのほかに非常用発電設備を併用しており、商用電源（電力会社側供給電源）が停電した場合、自動で非常用発電設備が立ち上がる。この際太陽光発電設備は受電側の停電検知により一時待機を行う。ただし非常災害時等にどうしても太陽光発電を使用したい場合に限り盤内のスイッチを切り替えることにより、非常用発電との系統連系を行うこともできるようにシーケンスを組んでいる。

また、水蓄熱設備において、夜間（夜10：00～翌朝8：00）の電力を使い冷凍機等の機器を運転するが、夜間電力との区切りを明確にするため（朝方ラップする可能性がある）に、水蓄熱設備夜間電力使用中は太陽光発電設備の一時待機を行うシステムとした。

3-4 データ収集装置

NEDO* 対応型の計測ソフトを使用し、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・日射強度・気温等様々なデータを計測できるシステムとした。



図3 表示装置メイン画面
Fig. 3 Main screen

特長として各種データをパワーコンディショナごとに収集し、事前に予測した発電量と実際の発電量を比較することを可能とした（予測発電量比較トレンド）。また、50インチのプラズマディスプレイをエントランスに設置し、現在の発電状況（図3）やエリア別発電状況、発電システム紹介・太陽光発電の説明などを表示させ、新エネルギーの導入を広報している。

* NEDO：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

4. 発電量のシミュレーション

今回の物件では、建屋の複数位置に太陽電池モジュールが分散設置され、壁面や水平等最適設置角度と異なる設置であったり、場所によっては建屋自身の影がかかるなど、日射と発電量の関係が懸念された。そのため、周囲のビル（本物件東側に位置するプレラにしのみや、西側に建設中のマンション）も含めて、影の影響も考慮し

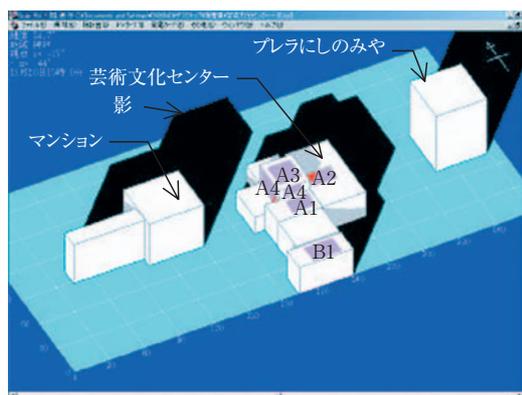


図4 日影図 (12月20日 PM3：00)
Fig. 4 Shadow data (Dec., 20. PM3:00)

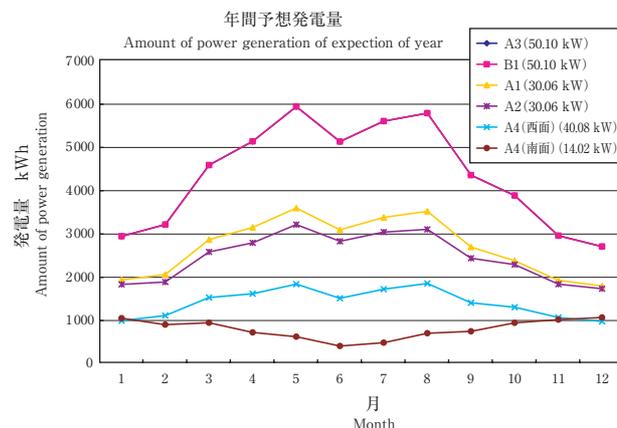


図5 予想発電量
Fig. 5 Prospect of power generation

た年間の発電量のシミュレーションを行った。

シミュレーションの条件として、太陽電池設置場所の緯度、経度、日射量及び気温のデータについては最も近い神戸のデータを使用した。影の影響確認は、夏至、冬至、春分、秋分の各日について1時間ごとの日影図(図4)を求め影の掛かり方について検討を行った(影の影響を考慮し発電量計算を行った)。

その結果、周囲のビルの影による影響はほとんどないことが確認された。この地域での太陽電池モジュールの最適設置角度が南向き約30°であるのに対して設置角度が0°、5°、90°とそれぞれ異なることや西壁面に設置していること、また本システムでは夜間電力を利用した水蓄熱設備が入っているために、太陽光発電システムは朝の8時までは起動しないようにタイマ制御を行っていることなども加味したうえで、年間の発電量(図5)は合計191 MWhと予想される。本予想発電量は計測システムにデータとして入力しており、表示画面上で実発電量と並べて表示を行う仕様となっている。

5. 温暖化防止効果

火力発電の代わりに太陽光発電を使用して電力を供給した場合、石油の消費を削減でき、その結果CO₂排出量が抑制され、地球温暖化防止に貢献できる。太陽光発電

表2 環境貢献効果 (年間)

Table 2 Environmental impact reduction effects (year)

項目 Items	数量 Quantity
原油削減量 [kJ] Oil reduction	46.0
CO ₂ 削減効果 [t-C] CO ₂ reduction	36.0
森林換算面積 [ha] Corresponding area to forest	36.9

注) 貢献効果の原単位はNEDO発行の太陽光発電導入ガイドブックによる。
Note : Basic unit of contribution effects are based on "Photovoltaic power generation introduction guide book" (NEDO issued)

システム導入による環境貢献効果 (年間) を表2に示す(前記年間予想発電量から算出)。

6. おわりに

正月を挟んで3.5箇月と短納期かつ新設建屋で各種工事が錯綜する中、無事工事を完了した。

終わりにあたり、本システムを計画・発注された兵庫県県土整備部まちづくり局及び設計・監理を行った株式会社日建設計の関係各位のご指導により無事に稼働まで終了できたことを深く感謝する次第である。

参考資料

新エネルギー大事典, 茅 陽一, 監修

