

太陽光発電簡易エンジニアリングツール

Simplified Engineering Tool for Photovoltaic Power Generation System

塩谷正樹
伊藤正

要 約

太陽光発電は、クリーンで再生可能なエネルギー源であり、建設分野でも、地球環境保全に対する社会的ニーズの高まりを背景に今後の適用拡大が期待される。このたび、当社がこれまで展開してきた「太陽光発電エンジニアリング」の一環として「簡易エンジニアリングツール」の開発整備を行った。本ツールは、建物・太陽電池に関する基本情報の入力により①年間発電量計算②太陽電池モジュールの仕様検討③概略コストの提示ができるものである。今後、営業段階や基本計画段階での活用が期待できる。

目 次

- I. はじめに
- II. 簡易ツールの構成と基本機能
- III. 簡易ツールの計算方法
- IV. 試算例
- V. おわりに

I. はじめに

太陽光発電は、大気汚染物質・騒音振動・廃棄物を排出しないクリーンで再生可能なエネルギー源として、導入普及が促進されている。多様な設置形態が可能のため、建設分野でも土木・建築を問わず幅広い適用が期待できる。これまで当社は、ソフト・ハード技術を併せた総合エンジニアリング技術の開発整備を行ってきた。

太陽光発電の普及促進を図るためには、基本計画段階で簡易なデータ入力のみで①年間発電量、②太陽電池モジュール仕様、③概略コストを試算できる簡易ツールが必要である。「太陽光発電簡易エンジニアリングツール」(以下、本ツール)は、これを受けて作成したもので、建物・太陽電池に関する簡単なデータを入力するだけで、①年間発電量、②発電ピーク日の時刻別発電量、③環境貢献度(CO₂発生抑制量、石油換算削減量)、④太陽電池モジュール仕様、⑤概略コストが算出でき、計算結果がA3版シートに自動レイアウトされ出力されるものである。代表的な太陽電池メーカーの標準的な太陽電池モジュールと意匠上の観点から検討されることの多い採光型モジュールの2種類を対象としている。本報では、本ツールの操作方法に関する詳細な記述は割愛し、計算根拠及び太陽電池モジュールとコストに関するデータベースの内容を紹介する。

II. 簡易ツールの構成と基本機能

簡易ツールはExcelシート上で動作し、Fig.1に示すように、建築条件や太陽電池モジュールデータの「入力部」と計算結果の「出力部」から構成されている。気象データとしてNEDOが整備し、CD-ROMを媒体に配布している太陽光発電シミュレーション用気象デー

タ、METPV (Meteorological Test data for Photovoltaic System)が必要である。以下に簡易ツールの基本機能について述べる。

1. 入力部

(1) 建物条件

気象官署150地点から該当する地域を選定すると、緯度・経度が自動的に表示される (Fig.2 入力部①)。

(2) 太陽電池モジュールデータ (Fig.2 の入力部②)

(a) 標準モジュール

太陽電池種類(単結晶・多結晶・アモルファス・ハイブリッドの4種類)と太陽電池モジュール種類を選択し、太陽電池メーカー(現在12社)を指定すると相当する型番がリスト表示される。型番指定すると、モジュール最大電力、短絡電流、開放電圧、最大動作電流、最大動作電圧、定格アレイ効率、温度係数がデータベースから読み込まれて表示される。

(b) 採光型モジュール

採光型モジュールとは、合わせガラスの中に太陽電池セルを一定の間隔をとって配置して充填したもので、意匠上の点から採用

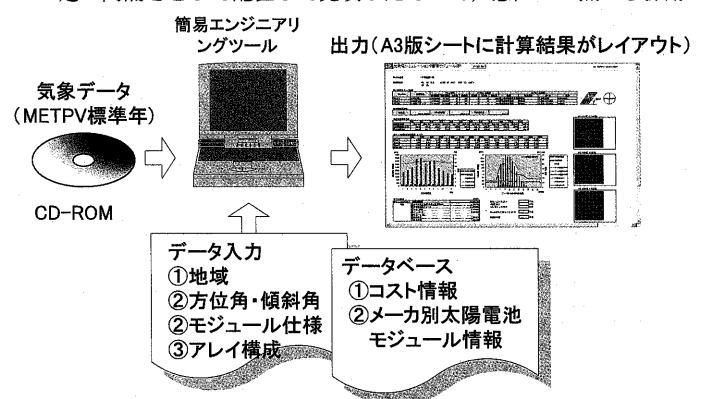


Fig.1 太陽光発電簡易エンジニアリングツールの基本構成
(Structure of Simplified Engineering Tool for Photovoltaic Power Generation System)

キーワード：太陽光発電、簡易エンジニアリングツール、標準モジュール、採光型モジュール

Fig. 2 標準モジュール入力画面
(Input data of Typical PV Modules)

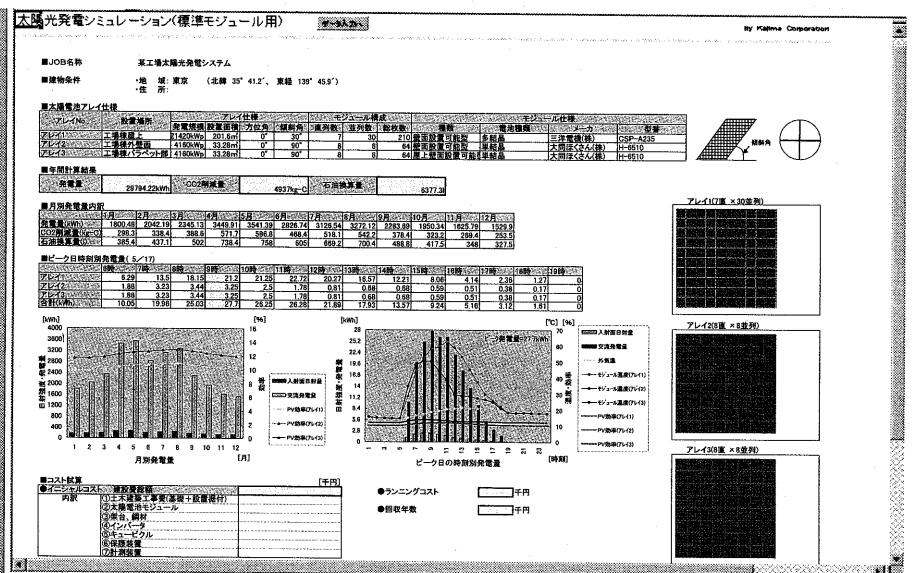


Fig. 3 本ツールの出力例 (Output Example)

される事例が多い。標準品は少なく、ユーザーが物件毎にモジュール仕様を決定する事例が多い。このため、本ツールでは、標準モジュールと同様、市販の採光型モジュールの型番を指定する入力のほか、ユーザーが、モジュール寸法、セル配置、太陽電池セルの定格データ（セル1枚当りの最大出力、最大動作電圧、最大動作電流）を入力して、モジュール仕様を決定できる機能も付加している。

(c) 太陽電池アレイデータ (Fig. 2の入力部③)

太陽電池モジュールの直並列構成を入力し、「アレイ設計計算」ボタン (Fig. 2 ③) を押下すると発電規模とアレイ設置面積が自動計算されて表示される。この発電規模に基づいて概算コストが算出される。アレイ設計計算終了後、太陽電池設置高さ、アレイの絶対方位角（真東を0°と、時計回りに15°刻み）及び傾斜角（0°から90°まで10°刻み）を入力し、「発電量計算実行」を押下する。

2. 出力部

データ入力部で選択した、太陽電池のモジュールの仕様と下記の計算結果がA3版シートに自動レイアウトされ出力される。

- (1) 年間発電量
- (2) 発電ピーク日の時刻別発電量
- (3) 環境貢献度 (CO₂発生抑制量, 石油換算削減量)
- (4) 概略コスト (費目別イニシャルコスト, ランニングコスト)

出力例をFig. 3に示す。

3. データベース

(1) ユーザー定義の定数設定

太陽電池の温度係数や石油火力発電量の二酸化炭素排出原単位など、発電量や環境貢献度計算のために必要な定数を設定する。

(2) 太陽電池モジュールデータ

Fig. 4に示すように、メーカーデータをもとに、太陽電池モジュールの型番毎に、モジュール最大電力、短絡電流、開放電圧、最大動作電流、最大動作電圧、定格アレイ効率、温度係数がデータベース化されている。

	C	D	E	G	H	I
1	太陽電池区分	太陽電池種類名	太陽電池種類名			
2	001	多結晶モジュール	多結晶モジュール			
3	002	単結晶モジュール	単結晶モジュール			
4	003	薄膜モジュール	薄膜モジュール			
5	004	有機薄膜モジュール	有機薄膜モジュール			
6	005	ペロブスカイトモジュール	ペロブスカイトモジュール			
7	モジュール区分	モジュール種類名	モジュール種類名			
8	001	標準型	標準型			
9	002	薄型	薄型			
10	003	曲面型	曲面型			
11	004	曲面型	曲面型			
12	005	曲面型	曲面型			
13	006	曲面型	曲面型			
14	007	曲面型	曲面型			
15	モジュール形式	モジュール形式	モジュール形式	最大出力	開放電圧	短絡電流
16	001	標準型	標準型	55.0	26.8	8.40
17	002	薄型	薄型	55.0	26.8	8.40
18	003	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
19	004	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
20	005	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
21	006	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
22	007	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
23	008	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
24	009	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
25	010	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
26	011	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
27	012	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
28	013	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
29	014	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
30	015	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
31	016	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
32	017	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
33	018	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
34	019	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
35	020	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
36	021	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
37	022	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
38	023	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
39	024	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
40	025	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
41	026	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
42	027	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
43	028	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
44	029	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
45	030	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
46	031	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
47	032	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
48	033	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
49	034	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40
50	035	曲面型	曲面型	55.0	26.8	8.40

Fig. 4 太陽電池モジュールデータベース
(Data Base of PV modules)

Ⅲ. 簡易ツールの計算方法

1. 気象データ

簡易ツールでは、発電量計算の簡易化のため、前述のMETPVを用いている。これは、1996年にNEDOの委託研究として（財）日本気象協会が整備したもので¹⁾、全国の気象官署150地点における、①水平面全天日射量②水平面全天日射量③水平面拡散日射量④日照時間⑤気温⑥風向⑦風速⑧降水量⑨積雪深さ⑩傾斜面日射量の10要素の毎時気象データがCD-ROMに格納されている。方位角は、真東を0°として15°刻みに真西までの13方位、傾斜角は、10°刻みで90°までの10傾斜、すなわち1地点について、水平面全天日射量を含め118個の傾斜面日射量データが用意されている。発電計算にあたっては、入力画面で、気象官署150地点から計算対象地域を指定し、太陽電池アレイの方位角と傾斜角を入力すると相当する傾斜面全天日射量データが読み込まれる。なお、METPVでは、平均年、寡照年、多照年の3種類が整備されているが、簡易ツールでは平均年データを用いている。「平均年データ」とは、日照計の精度が向上した1986年～1994年までの9年間に

において、平均的な日射状況を持った年を月別を選び出し、それらをつなぎ合わせた毎時気象データであり、太陽光発電システムからの平均的な出力予測に有用である。

2. 年間発電量計算

発電量計算を簡易化するため、下式(1)～(5)に示すように、METPVから読み込んだ傾斜面日射量に、太陽電池アレイ面積と実効アレイ効率を乗じて発電量を算出している。「実効アレイ効率」という用語は一般的に用いられていないが、ここでは、標準状態（日射強度1kW/m²、太陽電池（セル）温度25℃、エアマス1.5）の太陽電池アレイの効率（以下、定格アレイ効率）を、外気温度から推定した太陽電池モジュール温度で補正した効率と定義して用いている。なお汚れや劣化などの経時変化やアレイ直並列のアンバランス及び最大動作点追尾動作の不良による効率低下は無視している。

$$P_w = G_A \times A_{ary} \times \eta_t \times T_{op} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

$$\eta_t = \eta_{st} \times K_{pt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$K_{pt} = 1 - \alpha_{pmax} (T_{cr} - T_s) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$T_{cr} = T_{air} + p \cdot G_A \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\eta_{st} = P_{RT} / (A_{mdl} \times 10) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、

P_w : アレイ発電量 [kWh]

G_A : アレイ面入射日射量（傾斜面日射量）[kW/m²]

A_{ary} : アレイ面積 [m²]

η_t : 実効アレイ効率 [-]

T_{op} : 運転時間 [h]

η_{st} : 定格アレイ効率 [-]

K_{pt} : 温度補正係数 [-]

α_{pmax} : 温度係数 [1/℃] で、

主要メーカー資料³⁾（1999年11月時点）より

多結晶 0.0047（5社42製品）

単結晶 0.0038（5社41製品）

7モルファス 0.0026（5社13製品）

T_{cr} : モジュール温度 [℃], T_{air} : 外気温度 [℃]

T_s : 標準温度（25℃）

P : 回帰係数（本ツールでは45.0と設定している）

G_A : 日射強度 [kW/m²]

P_{RT} : 太陽電池アレイの定格発電量（標準状態発電電）

A_{mdl} : 太陽電池モジュール面積 [m²]

なお、太陽光発電導入によってどの程度電力消費量のピークカットが可能かを評価するため、年間計算結果から、毎時発電量が最大となる日を抽出し、これを「発電ピーク日」としている。

3. 環境貢献度

太陽光発電導入の第一の目的は地球環境保全と化石燃料（石油、石炭、天然ガス）の消費量の削減であり、その効果の定量的な表示が必要である。太陽光発電のCO₂排出量は、製造工程まで考慮したライフサイクルで比較しても化石燃料よりかなり小さく²⁾、導入普及による地球環境の保全効果が期待できる。簡易ツールでは、地球

環境保全の貢献度を示す指標として、「二酸化炭素排出抑制量」と「年間原油節約量灯油缶換算量」を、それぞれ式(6)、式(7)から算出している。なお、ここでの二酸化炭素排出原単位は、発電施設の建設・運転・廃棄などライフサイクルベースのものである。

$$S_{co2} = \frac{P_w}{PTL_{co2} - PV_{co2}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$S_{oil} = \frac{P_w \times CI}{HGR} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし、

S_{co2} : 太陽光発電による二酸化炭素年間排出抑制量 [g-C/kWh]

P_w : 年間発電量 [kWh]

PTL_{co2} : 石油火力発電量の二酸化炭素排出原単位 [g-C/kWh] (=200²⁾)

PV_{co2} : 太陽光発電（電気事業用）の二酸化炭素排出原単位 [g-C/kWh] (=34.3²⁾)

S_{oil} : 太陽光発電による年間原油節約量 [kl]

CI : 原油換算係数 [kcal/kWh] (=2250³⁾)

HGR : 原油発熱量 [kcal/l]

4. 概算コスト

Fig.5に示すように、NEDO（新エネルギー産業技術総合開発機構）が実施している産業等用太陽光発電フィールドテスト事業（FT事業）のコスト情報をデータベース化として整備している。これから屋根架台型、屋根直付型、ガラス一体型など、太陽電池アレイの設置形態に応じて、費目別に単位発電規模kW当りの単価を求め、太陽電池モジュールの最大出力と太陽電池アレイ構成（直並列）から算出した太陽電池アレイの発電規模を乗じて概算コストとしている。ガラス一体型など事例の少ないものは、特定の事例に影響されやすく、また太陽光発電システムのコストは年々変動しているため、本ツールで算出したコストは、あくまでも概算の目安として参考にされたい。

共同研究者	規模	設置形態	1. 土木・建築工事費			
			a.基礎関係	b.設置据付等	c.太陽電池	d.インバータ
1 (福) 淡路園	100	屋根直付	6,950,000	24,000,000	50,000,000	20,000,000
2 丸戸(株)	100	屋根直付	0	15,750,000	55,000,000	20,000,000
3 佐賀三洋工業(株)	100	屋根架台	13,400,000	19,630,000	53,420,000	20,000,000
4 小山脳神経内科病院	80	屋根架台	3,500,000	20,640,000	49,410,000	16,000,000
5 土浦都市開発(株)	80	屋根架台	0	28,376,000	42,224,000	20,800,000
6 (株) 大阪合金工業所	50	屋根直付	0	7,755,000	31,600,000	9,000,000
7 ザントリ(株)	50	屋根架台	0	13,100,000	25,000,000	10,000,000
8 カーレックウエスト(株)	50	屋根直付	0	12,200,000	30,600,000	9,500,000
9 京都精密工業(株)	50	屋根直付	4,880,000	10,245,000	26,000,000	9,500,000
10 (福) 和泉の会	40	屋根架台	0	3,269,000	22,176,000	7,800,000
11 社団法人 恵生会	30	屋根架台	0	6,037,500	16,312,500	6,800,000
12 (学) 高城学園	30	屋根架台	2,100,000	5,875,000	17,325,000	6,000,000
13 (学) 明治大学	30	屋根直付	0	5,419,048	17,508,571	3,177,14
14 岩手企業局	30	屋根架台	2,106,614	6,469,545	13,939,093	5,257,77
15 (学) ひかり学園	30	屋根直付	150,000	7,350,000	15,422,000	6,100,00
16 栗田工業(株)	20	屋根架台	1,688,000	6,472,000	11,550,000	4,000,00
17 阪急不動産(株)	20	屋根架台	0	5,210,000	13,500,000	4,000,00
18 鴻池運輸(株)	20	屋根直付	0	0	0	0
19 (福) 安芸会	20	屋根直付	0	0	0	0
20 (福) 電子工業(株)	20	屋根架台	0	0	0	0

Fig.5 太陽光発電システムのコストデータベース
(Cost Data Base of PV System)

IV. 試算例

ここでは、簡易ツールを用いて、実建物における年間発電性能評価を行った事例を示す。なお、簡易ツールでは、本来計算結果はFig. 3示したフォーマットで出力されるが、ここでは、代表的な計算結果を示す。また、概算コストの算出結果は割愛する。

1. 太陽光発電システム概要

本システムは、①屋上架台設置型②外壁一体型③パラペット一体型の3種類の太陽電池モジュールから構成されている。

(1) 地域 名古屋 (北緯35度10分, 東経136度58分)

(2) 太陽電池モジュール仕様

(a) 屋上設置型

- ・太陽電池メーカ 三洋電機株式会社
- ・セル種類 アモルファスと単結晶のハイブリッド型
- ・方位 真南 (本ツールでは90°)
- ・傾斜角 30°

(b) 外壁及びパラペット一体型

- ・太陽電池メーカ 松下精工株式会社
- ・セル種類 多結晶グレーセル
- ・方位 真南 (本ツールでは90°)
- ・傾斜角 垂直 (90°)

Table 1に各モジュールの定格値を示す。

(3) 太陽電池アレイ構成

(a) 屋上架台設置アレイ

- ・定格発電量 75.6kWp
- ・アレイ構成 7直列×30並列×2アレイ

(b) パラペット一体型アレイ

- ・定格発電量 13.8kWp
- ・アレイ構成 8直列×9並列×2アレイ

(c) 外壁一体型アレイ

- ・定格発電量 6.1kWp
- ・アレイ構成 8直列×8並列

2. 計算結果

(1) 発電量

本システムの年間発電量は、112MWhと試算される。これを月別に算出したものをFig. 6に示す。また、発電ピークは6月17日に出現し、ピーク発電量は90.6kWと算出された。ピーク日の発電量の時刻推移をFig. 7に示す。太陽光発電の実効アレイ効率は、外気温変動の影響を受けるが、年間平均で見ると、屋上架台設置アレイで15%程度、外壁及びパラペット一体型8%程度となっている事が分かる。

(2) 環境貢献度

年間では、太陽光発電導入による二酸化炭素排出抑制量は、1.86t-C、原油換算節約量は240klと試算される。

V. おわりに

本簡易ツールを、太陽光発電の導入効果を簡易に検討できるツールで、営業段階や基本計画段階での活用が期待できる。一方、太陽光発電システムの市場は現在活発に動いているため、年々新しい太陽電池モジュールが市販され、コストも相当変動している。本簡易ツールで整備したデータベースはすぐに陳腐化してしまうので、随時メンテナンスを行っていききたい。

参考文献

- 1) 板垣, 岡村, 服部, 山田, 飯田; 全国150地点における時間積算斜面日射量データ (METPV) の整備, 太陽/風力エネルギー講演論文集, (1998), pp. 105-108.
- 2) NEDO; 太陽光発電導入ガイドブック, 1998.
- 3) 平成11年度第4回JQA作業部会資料.

Table 1 太陽電池モジュール仕様
(Specification of PV Modules)

仕様	屋上架台設置型	外壁・パラペット一体型
最大出力[W]	180	96
開放電圧[V]	56.4	51.8
短絡電流[A]	3.7	2.60
最大動作電圧[V]	54.0	40.6
最大動作電流[A]	3.33	2.37
温度補正係数[%/°C]	-0.330	-0.291
定格アレイ効率[%]	15.2	8.7
モジュール長さ[mm]	1320	1240
モジュール幅[mm]	895	894

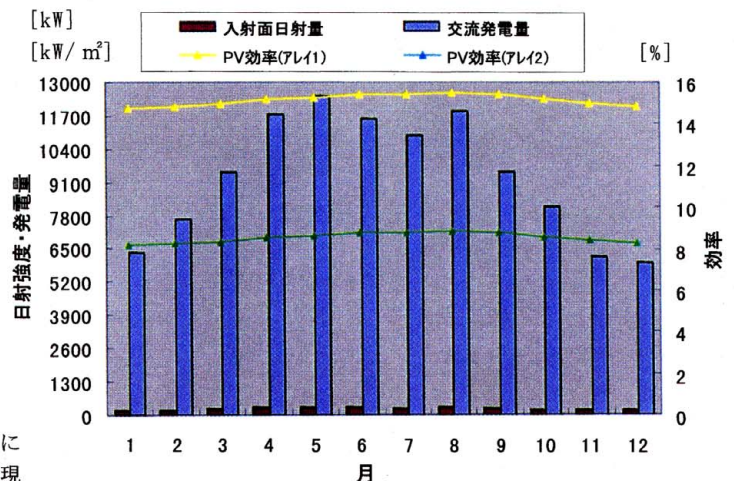


Fig. 6 月別発電量の計算結果
(Monthly PV Power Generation)

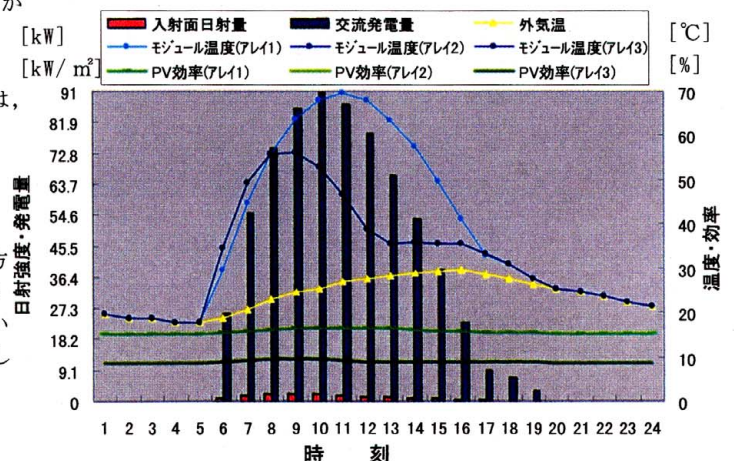


Fig. 7 ピーク日発電量の計算結果
(Peak Power Generation of PV System)