

# 太陽光発電システムによる空調負荷軽減効果についての研究

芳村 恵司

YOSHIMURA Keiji

## 1. はじめに

近年、地球環境の保全に対する意識が高まる中、主要なエネルギー源として電力の重要性が増してきている。しかし電力を供給すべき発電所の建設は、原子力の安全性、化石燃料による酸性雨、CO<sub>2</sub>増加による地球温暖化などの環境問題のため、ほとんど進まない状態にある。このため、環境負荷の少ないクリーンで無公害な発電システムの開発、普及が必要不可欠である。これに対する有効な手段の一つとして太陽光発電システムが挙げられる。このシステムは多くの建物に組み込まれ住宅、劇場、工場、大型事務所ビルなどで採用され、NEDOをはじめとするエネルギー関連の研究者により、発電データの測定や検討が続けられている。

太陽光発電システムの発電効率やセルの素材については、種々の研究がなされており、発電量の予測や実測も数多くなされ、データの蓄積や解析も数多く行われている。従来、建物に設置した太陽光発電システムの評価は、主に発電量、発電効率について評価されており、そのシステムが建物の消費エネルギーに与える影響については必ずしも言及していなかった。そこで、本報では建物で消費されるエネルギーの低減や平準化の効果を明らかにするため、中型の事務所ビルをモデルとして、屋上と壁面に太陽光発電パネルを設置し、その日射遮蔽効果についてシミュレーションによって検討した。ここでシミュレーションの信頼性を検討するため、発電量と負荷計算の算定のポイントとなる太陽光発電パネルの表面温度の実測を行い計算値と実測値の照合をした上でシミュレーションを行った。この結果、設置面積、場所、方位などの条件によっては太陽光発電パネルの日陰による日射遮蔽効果が大きく、空調エネルギーのピークカット効果が大きいことが明らかになったので報告する。

## 2. モデルビルの概要

### 2.1 建築概要

シミュレーションを行う建物の概要は表-1に示し、基準階平面図を図-1、東西断面図を

図-2に示す。モデルビルは東京の区部に所在し、地下1階に店舗を有する中型の事務所ビルであり、1階はエントランスホール・防災センター、2～13階は事務所となっている。建物の2階部分以上は日射を遮るものは周辺にはない。構造は鉄筋コンクリート造・鉄骨造である。室内の空調設計条件は夏期では26℃DB、相対湿度50%に設定しており、冬期では22℃DB、相対湿度40%に設定している。空調時間は事務室部分では9:00～21:00である。また共用部分も9:00～21:00の時間帯で、空調がなされている。計算は夏期ピーク日について行っており、その時の外気条件を表-2に示す。

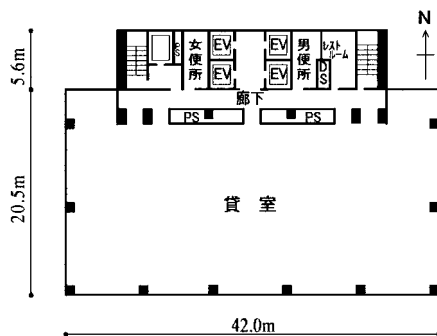


図-1 基準階平面図

表-1 建物概要

名称	内容		
建物用途	事務所・店舗		
工事種別	新築		
用途	商業	防火指定	防火
構造	鉄筋コンクリート造・鉄骨造		
階数	地下3階・地上13階・塔屋2階		
敷地面積	1,503.26 m <sup>2</sup>	延床面積	16,187.46 m <sup>2</sup>
建築面積	1,062.28 m <sup>2</sup>	基準階面積	1,029.56 m <sup>2</sup>

表-2 夏期の外気条件

時刻	乾球温度 (°C)	絶対湿度 (g/kg)	法線面直達日射量 (W/m <sup>2</sup> )	水平面天空日射量 (W/m <sup>2</sup> )	水平面夜間放射量 (W/m <sup>2</sup> )
1	26.8	19	0.0	0.0	59.0
2	26.1	18.6	0.0	0.0	60.1
3	25.8	18.4	0.0	0.0	60.8
4	25.6	18.5	0.0	0.0	60.2
5	25.3	18.3	20.9	10.5	53.2
6	26.3	18.6	238.4	69.8	49.1
7	28.2	18.6	557.0	100.0	38.8
8	30.6	18.8	395.3	133.7	23.9
9	32	18.4	343.0	151.2	53.7
10	33	19.3	459.3	165.1	58.8
11	32.9	20.1	364.0	167.4	22.4
12	32.4	18.5	439.5	170.9	53.6
13	33.6	19.4	390.7	166.3	35.5
14	32	20.1	291.9	151.2	33.0
15	31.5	20.7	132.6	124.4	21.0
16	31.7	19.6	20.9	66.3	22.9
17	30.4	20.3	0.0	11.6	21.4
18	30.4	20.8	0.0	0.0	20.6
19	29.8	20.2	0.0	0.0	21.4
20	26.8	19	0.0	0.0	22.4
21	25.6	17.5	0.0	0.0	24.5
22	25.5	17.4	0.0	0.0	24.6
23	25.4	17.1	0.0	0.0	41.5
24	25.4	17.1	0.0	0.0	66.0

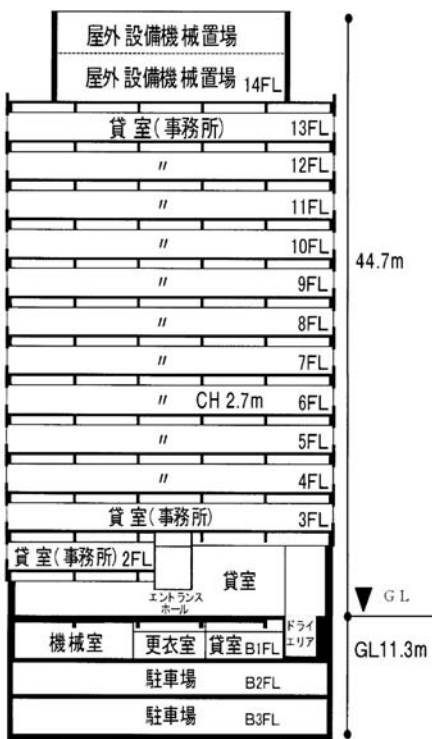


図-2 東西断面図

## 2.2 太陽光発電パネルの仕様と設置方法

### (1) 太陽光パネルの仕様

本報で採用した太陽光発電パネルの太陽電池セルは多結晶型である。その標準モジュールを表-3に、アレイの断面図を図-3に示す。アレイの表面は可視光透過率91%の3.2mm厚の白板強化ガラスで覆われており、発電効率は14.0%である。太陽光発電パネルは、屋上と東、西、南面、の外壁に設置されている。

### (2) 太陽光パネルの設定方法

太陽光発電パネル（以下、パネルと略記）の屋上における設置状況は図-4に示す。パネルの総面積は、屋上面積1,030m<sup>2</sup>に対して約48%の494m<sup>2</sup>（38m×13m）である。パネルは裏面にある電力装置の点検などを考慮して屋上面から870mm離している。パネルの外壁への設置状況は図-5に示す。外壁はコンクリートで窓は連窓となっている。パネルは、階高4mのうち2.4mの部分に取り付けられている。またパネルの裏面に60mmの空気層を設け、常に空気が通過するようになっている。南面、西面、東面ともにディテールは同じである。北面にはパネル設置されていない。パネルの面積は南面では924m<sup>2</sup>（42m×2.2m×11階）西面と東面では451m<sup>2</sup>（20.5m×2.2m×11階）である。

表-3 太陽光発電パネルの仕様

項目		仕様
公称最大出力		167.0W
公称最大出力動作電圧		23.2V
公称最大出力動作電流		7.20A
公称開放電圧		28.9V
公称短絡電流		8.00A
外形寸法	縦	1,290mm
	横	990mm
	セル面厚	5.25mm
質量		16.0kg

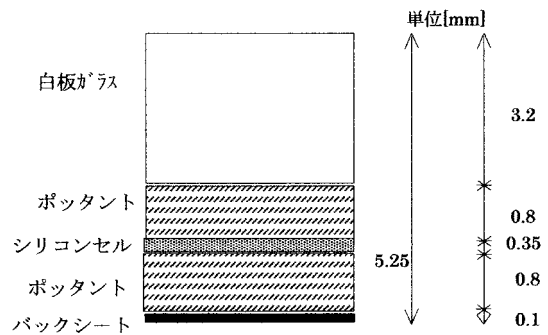


図-3 太陽光発電パネルのアレイ断面図

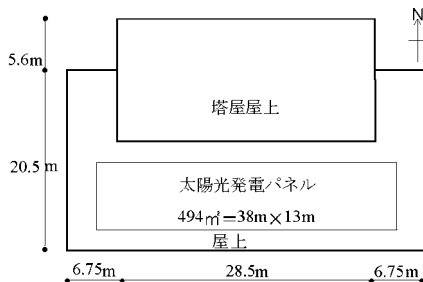


図-4 屋上設置太陽光発電パネルの設置状況

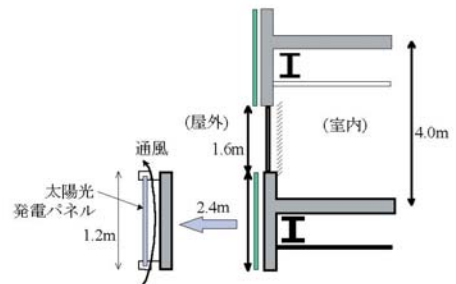


図-5 外壁への設置状況

### 3. 太陽光発電パネルの空調負荷低減と太陽光発電量の再評価の検討

#### 3. 1 シミュレーションの概要

##### (1) シミュレーションの内容

外壁や屋上にパネルを設置することにより、発電するだけでなく、パネルによる日射遮蔽効果により、建物外部からの貫流熱量を減らすことができる。この効果は、日射量が多いほど低減量が大きくピークの低減に寄与する。すなわち、冷房設備に使用する電力量を抑えることで、ピークカットによる電力の平準化に寄与する。これらのことは定性的には知られていたが、必ずしも定量的に把握できていないのが実情である。このため、熱負荷計算と発電量計算を併用したシミュレーションにより、両者の効果を明らかにする。すなわち、太陽光発電を発電量だけでなく空調負荷の低減も含めて評価する。ここでは、パネル日射遮蔽による空調負荷の低減量を、日射遮蔽効果相当電力量として使用電力量に換算し評価することも試みる。

##### (2) 基礎式

外壁に設置したパネルを図-5に示す。パネルと外壁の間には60mmの通気層を設けているため、この間是对流と放射による熱伝達とし、パネル部分と外壁部分は熱伝導として図-6に示す $\theta_1 \sim \theta_{10}$ の各部位温度及び空気温度は下式(1)～(11)で算定される。

$$2\lambda_d/LI(\theta_2 - \theta_1) + \alpha_o(\theta_o - \theta_1) + Bs \cdot J + Ep = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$L_1 \cdot C_s \cdot \gamma_{sf}(\theta_2 - \theta_2')/\Delta t = 2\lambda_d/L_1(\theta_1 - \theta_2) + 2\lambda_d/LI(\theta_3 - \theta_2) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$2\lambda_d/LI(\theta_2 - \theta_3) + \alpha_r(\theta_5 - \theta_3) + \alpha_c(\theta_4 - \theta_3) = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$C_a \cdot \gamma_a \cdot Q_a(\theta_o - \theta_4) + \alpha_c(\theta_3 - \theta_4) + \alpha_c(\theta_5 - \theta_4) = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$2\lambda_d/L_3(\theta_6 - \theta_5) + \alpha_c(\theta_4 - \theta_5) + \alpha_r(\theta_3 - \theta_5) = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$L_3 \cdot C_c \cdot \gamma_{cf}(\theta_6 - \theta_6')/\Delta t = 2\lambda_d/L_3(\theta_5 - \theta_6) + 1/\{L_3/(2\lambda_c) + L_3/(2\lambda_c)\}(\theta_7 - \theta_6) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$L_3 \cdot C_c \cdot \gamma_{cf}(\theta_7 - \theta_7')/\Delta t = 1/\{L_3/(2\lambda_c) + L_3/(2\lambda_c)\} \times (\theta_6 - \theta_7) + 1/\{L_3/(2\lambda_c) + L_3/(2\lambda_c)\}(\theta_8 - \theta_7) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$L_3 \cdot C_c \cdot \gamma_{cf}(\theta_8 - \theta_8')/\Delta t = 1/\{L_3/(2\lambda_c) + L_3/(2\lambda_c)\} \times (\theta_7 - \theta_8) + 1/\{L_3/(2\lambda_c) + L_3/(2\lambda_h)\}(\theta_9 - \theta_8) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$L_4 \cdot C_h \cdot \gamma_{hf}(\theta_9 - \theta_9')/\Delta t = 1/\{L_3/(2\lambda_c) + L_4/(2\lambda_h)\} \times (\theta_8 - \theta_9) + 1/\{L_4/(2\lambda_h) + R + L_4/\lambda_p + 1/\alpha_i\}(\theta_{10} - \theta_9) \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$Q = \beta A \cdot 2gh\{(\theta_4 - \theta_o)/(273.2 + \theta_4)\} \times 3,600 \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\beta = 1/\{\zeta_1 + \zeta_2 + \kappa(\lambda/D)\} \quad \dots\dots\dots(11)$$

ここに

$\lambda$ :熱伝導率	$[W/(m \cdot K)]$
$t$ :時間	$[h]$
$\theta_n$ :温度( $n=1 \cdots 10$ ) 図-6 参照	$[^{\circ}C]$
$\theta_n'$ : $\theta_n$ の $\Delta t$ 時間後の温度	$[^{\circ}C]$
$L_n$ :厚さ( $n=1 \cdots 6$ ) 図-6 参照	$[m]$
$a_r$ :放射熱伝達率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$a_c$ :対流熱伝達率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$a_i$ :室内側熱伝達率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$a_o$ :外気側総合熱伝達率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$\lambda_d$ :太陽光発電パネル熱伝導率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$\lambda_c$ :コンクリート熱伝導率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$\lambda_h$ :発泡ポリスチレン熱伝導率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$\lambda_p$ :プラスターボード熱伝導率	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$R$ :空気層熱抵抗	$[m^2K/W]$
$J$ :日射量	$[W/m^2]$
$B_s$ :日射吸収率	$[-]$
$E_p$ :発電量	$[W/m^2]$
$Ca$ :空気比熱	$[Wh/(kg \cdot K)]$
$Cc$ :コンクリート比熱	$[Wh/(kg \cdot K)]$
$Cs$ :太陽光発電パネル比熱	$[Wh/(kg \cdot K)]$
$\gamma_a$ :空気密度	$[kg/m^3]$
$\gamma_c$ :コンクリート密度	$[kg/m^3]$
$\gamma_s$ :太陽光発電パネル密度	$[kg/m^3]$
$Q$ :空気層流量	$[m^3/h]$
$g$ :重力速度	$[m/s^2]$
$h$ :高さ	$[m]$
$A$ :開口部面積	$[m^2]$
$\beta$ :開口部流量係数	$[-]$
$\zeta_1$ :流入口の形状抵抗係数	$[-]$
$\zeta_2$ :流出口の形状抵抗係数	$[-]$
$\kappa$ :摩擦係数	$[-]$

- $l$ : 流入口と流出口の距離 〔m〕  
 $D$ : 開口部の幅 〔m〕

平行平板間の放射熱伝達率は $4.65W/(m^2 \cdot K)$ 、対流熱伝達率はユルゲスの式から算定し、外気側総合熱伝達率は $23.3W/(m^2 \cdot K)$ 、室内側熱伝達率 $8W/(m^2 \cdot K)$ とする。また、流入口および流出口の形状抵抗係数はそれぞれ0.35、1.0とする。またパネルの物性値は表-4に示す。

パネルの外壁への設置状況の詳細は図-6に示す。パネルと外壁コンクリートの間は60mmとし、上下が開放状態で設置されている。

屋上におけるパネルの設置状況の詳細を図-7に示す。パネルは、屋上の仕上げ面と870mmの間隔で設置され、通気層を構成している。

一般的にパネルはメンテナンスと通風を考慮し、仕上面から800~1000mm離れて設置され、周囲は開放されている例が多い。このとき、パネルの裏面側の空気温度は外気とほとんど同じである。これに準じて、屋上の通気層温度を外気温としたときの各部位の温度を外壁の場合と同様に算定している。また、その物性値は表-5に示す。

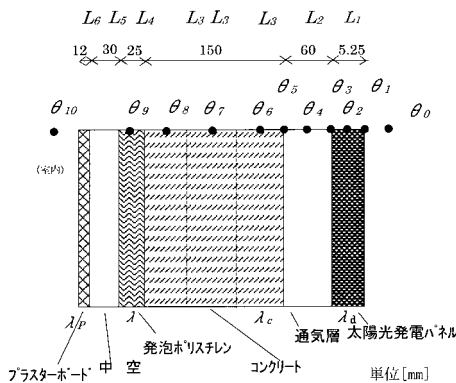


図-6 外壁部分の仕様の詳細 (太陽光発電パネルが有る場合)

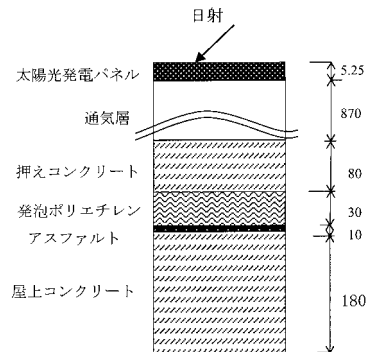


図-7 屋上の仕様の詳細 (太陽光発電パネルが有る場合)

表-4 太陽光発電パネル取付外壁の詳細部分の物性値

材料名	厚さ m	熱伝導率 $W/(m \cdot K)$	容積比熱 $MJ/(m^3 \cdot K)$
太陽光発電パネル			
白板強化ガラス	0.0032	1	2.0222
ポツタント(EVA)	0.0016	0.116	
シリコンセル	0.00035	168	
バックシート	0.0001	0.17	
通気層	0.060		
外壁コンクリート	0.150	1.637	2.013
発泡ポリエチレン	0.025	0.055	0.063
中空層	0.030	0.069	0
プasterボード	0.012	0.213	0.854

表-5 屋上の詳細部分の物性値

材料名	厚さ m	熱伝導率 W/(m・K)	容積比熱 MJ/(m <sup>3</sup> ・K)
太陽光発電パネル			
白板強化ガラス	0.0032	1	2.0222
ポツtant(EVA)	0.0016	0.116	
シリコンセル	0.00035	168	
バックシート	0.0001	0.17	
通気層	870		
押さえコンクリート	0.080	1.637	2.013
発泡ポリエチレン	0.030	0.055	0.063
アスファルト	0.010	0.106	1.067
屋上コンクリート	0.180	1.637	2.013

(3) 発電量の算定

太陽光発電は、日射を電気に変換する光起電力効果を利用した半導体のため、日射量により発電量が変化する。発電量は、空調負荷計算で用いた「空気調和：衛生工学会」の標準気象データ（東京）から算出した受光面の日射量における最大出力に、低下要因を掛けて算出する。なお、低下要因に関する値は下記の値を採用する。

$$E_p = K \cdot P_{as} \cdot J/G_s \dots\dots\dots(12)$$

$$K = K_{qd} \cdot K_{qs} \cdot K_{pd} \cdot K_{pt} \cdot K_{pa} \cdot K_{pm} \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e = 0.915 \{ (1 - 0.0041) (\theta_o - 25) \} \dots\dots(13)$$

ここに

- $E_p$ : 発電量 [W/m<sup>2</sup>]
- $K$ : 低下要因 [-]
- $P_{as}$ : 標準状態におけるアレイ出力 (140) [W/m<sup>2</sup>]
- $\theta_o$ : 太陽光発電パネルの表面温度 [°C]

また各係数は下記の通りである。

- $K_{qd}$ : 日射量年変動係数(1.0) [-]
- $K_{qs}$ : 日陰補正係数(1.0) [-]
- $K_{pd}$ : 変動効率変動補正係数(0.978)汚れ補正係数 [-]
- $K_{pt}$ : 出力温度補正係数は  
 実験式  $1 - 0.0041(\theta_o - 25)$  を用いる [-]
- $K_{pa}$ : 回路電圧効果率(0.99) [-]
- $K_{pm}$ : 最大出力点からのずれによる補正係数(1.0) [-]
- $K_b$ : 蓄電池回路補正係数(1.0) [-]

$Kc$ :パワーコンディション回路補正係数(0.945)	[ - ]
$Kd$ :アレイ取付方位の補正係数(1.0)	[ - ]
$Ke$ :アレイ取付傾斜角の補正係数(1.0)	[ - ]
$G_s$ :標準状態における日射強度(1,000)	[ $W/m^2$ ]

### 3. 2 太陽光発電パネル廻りの温度状況に関する実測調査

#### (1) 実測調査概要

熱負荷計算や太陽光発電量を算出するに当たり、パネルの表面温度、裏面温度、パネルとコンクリート間の通気層温度が算定のポイントとなる。そこで、これらの箇所について実測を行いシミュレーションの計算過程の途中で求めた値との差異を確認し次ステップに反映する。計測はパネルを垂直と水平に設置した場合について行う。計測日は2001年8月13日～9月19日の一週間である。

図-8、写真-1に、コンクリート壁から60mm離れたところにパネルが垂直に設置された状況と、表面温度、裏面温度、パネルとコンクリート間の通気層温度の計測状況を示す。

図-9は、コンクリート床から870mm離れたところにパネルを設置し、表面温度、裏面温度、パネルとコンクリート間の通気層温度（裏面から40mm、天端から435mm）の計測状況を示す。また合わせてパネル面の日射量を計測している。実測に採用したパネルの仕様を表-6に示す。

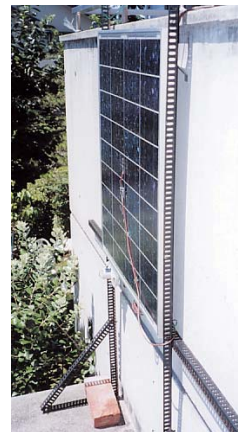
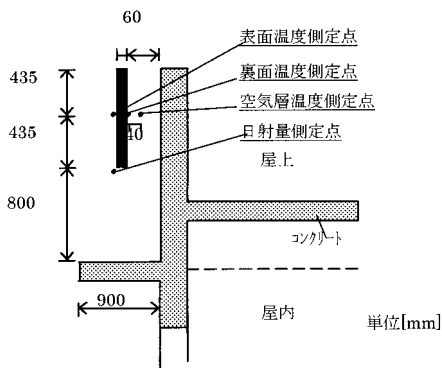


図-8 垂直設置太陽光発電パネルの実測状況

写真1 太陽光パネルの垂直設置の状況

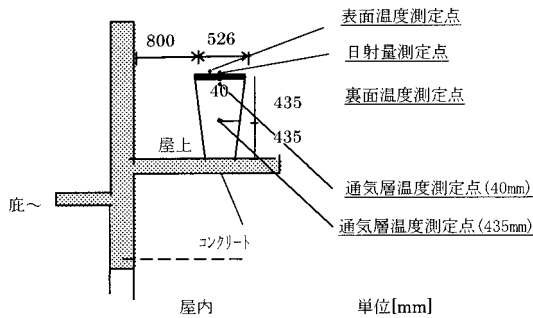


図-9 水平設置太陽光発電パネルの実測状況

表-6 実測に採用した太陽光発電パネルの仕様

垂直設置太陽光発電 <sup>パ</sup> セル			水平設置太陽光発電 <sup>パ</sup> セル		
項	目	仕 様	項	目	仕 様
公 称 最 大 出 力		60W	公 称 最 大 出 力		40W
公 称 最 大 出 力 電 圧		16.9V	公 称 最 大 出 力 電 圧		16.9V
公 称 最 大 出 力 電 流		3.55A	公 称 最 大 出 力 電 流		2.34A
公 称 開 放 電 圧		21.5V	公 称 開 放 電 圧		21.5V
公 称 短 絡 電 流		3.73A	公 称 短 絡 電 流		2.48A
外形寸法	たて	652mm	外形寸法	たて	652mm
	よこ	751mm		よこ	526mm
	セル面厚	5.25mm		セル面厚	5.25mm
質 量		6.0kg	質 量		4.5kg

(2) 垂直設置の太陽光発電パネルの実測結果

図-10に、晴れた日の2001年8月17日における時刻ごとの温度変化を示す。表面温度と裏面温度の差は1℃以内に収まっており、表面温度は最高50℃近くまで上昇している。通気層温度は日射のある時間帯では外気温度に比較して1～3℃高くなっているが、日射のない時間帯では逆に1～3℃低くなっている。

図-11は、各部位における一日の最高温度の日変化を示す。表面温度は43.6～49.7℃、裏面温度は42.9～48.6℃であり、表面温度と裏面温度の差は1.1℃以内である。通気層温度は35.3～40.6℃、外気温度は34.7～41.6℃であり、通気層温度と外気温度の差は0～3℃となっている。

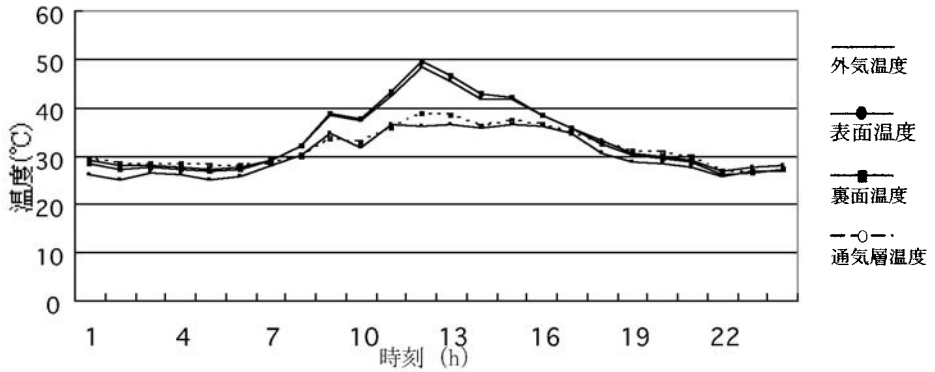


図-10 垂直設置における各測定ポイントの温度時刻変動

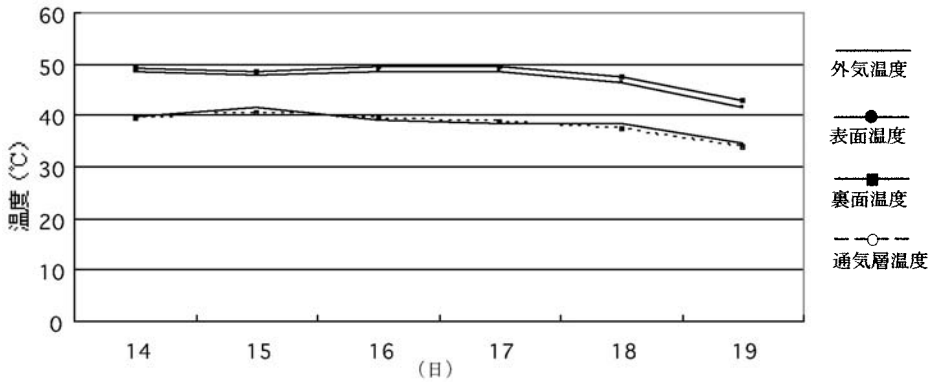


図-11 垂直設置における最高温度の日変動

(3) 水平設置の太陽光発電パネルの実測結果

図-12に、晴れた日の8月17日における時刻による温度変化を示す。表面温度は64.0°Cまで上昇している。

裏面温度との差は1°C以内に収まっており垂直設置の場合と同様である。通気層温度はパネ

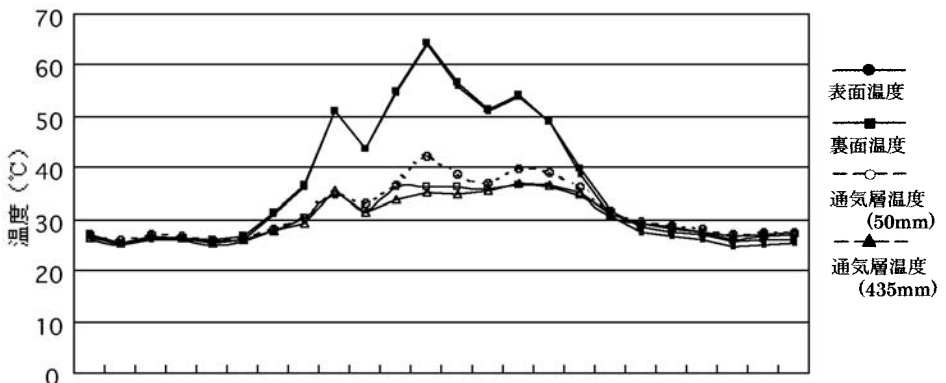


図-12 水平設置における温度の時刻変動

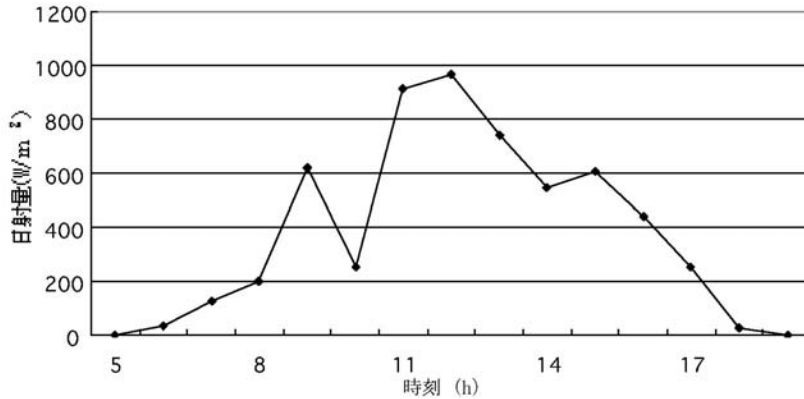


図-13 水平面全天日射量の時刻変動

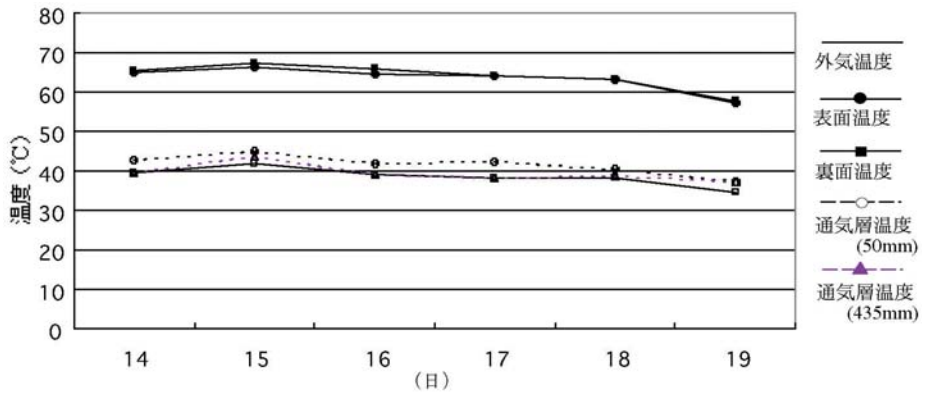


図-14 水平設置における最高温度の変動

ルから40mm離れたところでは、日射を受けている時間帯では外気温度より2～4℃程度は高くなるが、パネルの日射遮蔽による影響をうけパネルの表面温度を大きく下回っている。パネルから435mm離れた空気層では、パネルの日射遮蔽の影響により、外気温度とほぼ同一になっている。同時測定をした日射量を図-13に、示す。表面温度と日射量はほぼ一致した挙動を示しているが、表面温度の方が滑らかになっている。

図-14に、一日の最高温度の日変化を示す。表面温度は58.3～66.3℃、裏面温度は58.6～67.3℃であり、その差は1℃以内である。裏面から40mm離れた通気層温度と外気温度の差は3～5℃となっており、裏面から435mm離れた通気層温度はほとんど外気温度と変わらないことがわかる。

図-15に、最高温度になった時の日射量の日変動を示す。パネル表面温度の1日の最高温度とは日射量の最高値と必ずしも一致していないのは、風速の影響やその時刻までの累積日射量などの影響によるものと思われる。

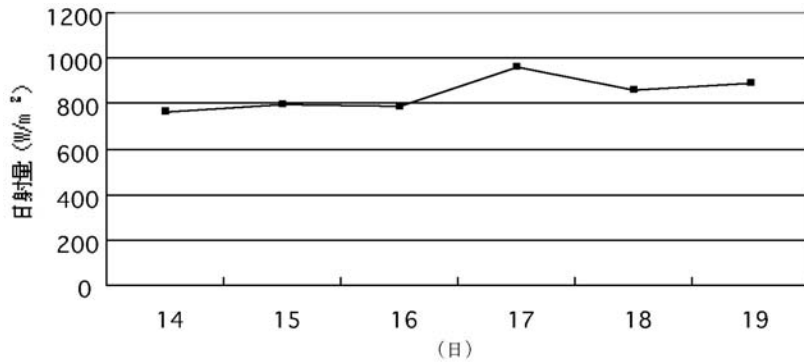


図-15 最高温度時の日射

### 3.3 実測値とシミュレーションの比較

本報で行ったシミュレーションにおける熱負荷計算の妥当性を検討した。実測の日射量や外気温度を用いて本計算手法で導かれる垂直、水平に設置したパネルの表面温度、裏面温度とパネルとコンクリート間の通気層温度について実測データとの照合を行った。その結果のうち、パネルを垂直に設置した場合を図-16, 17に示す。垂直に設置した場合では計算値と実測値の差は、パネルの表面温度、裏面温度共に1~1.5℃、通気層温度も1.2~1.8℃の範囲にあり、パネルの表面温度、裏面温度、通気層温度共に計算値と実測値はほぼ一致することが判る。

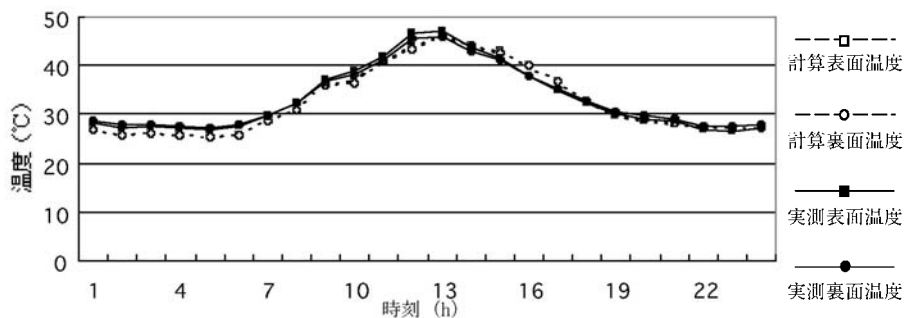


図-16 垂直設置の場合のパネル表面、裏面温度の計算値と実測値の比較

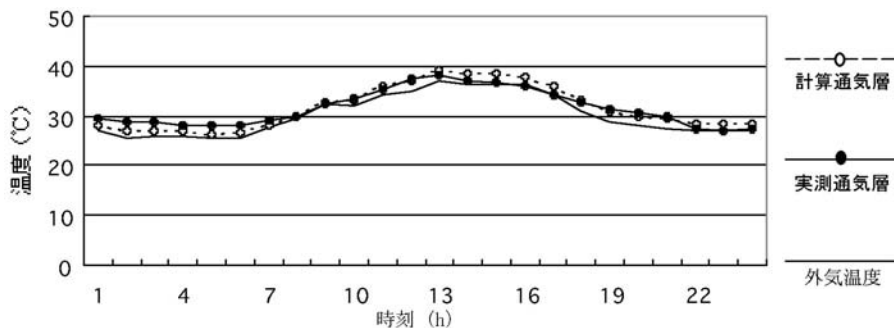


図-17 外気温度と垂直設置パネル通気層(60mm)温度の計測値と実測値の比較

### 3.4 モデルビルに対するシミュレーション結果

#### (1) 太陽光発電パネルが外部貫流熱量におよぼす影響

設備機器容量は、負荷がピークになる時期によって決定している。図-18では年間を通じて最も外気温度が高く冷房負荷が大きいと思われる8月18日における空調時間帯の貫流熱量の時刻変動を示す。ここでは、貫流熱量をパネルの有無や方位ごとに示している。パネルの無い場合、貫流熱量のピークは方位によってその時間帯が異なるが、いずれも17:00以前となっている。一方、パネルの有る場合の貫流熱量は方向に関わらず、いずれも夕方方の17:00以降にピークになり、東、西、南、共ピークの山は小さくなり明確でなくなる。これは、パネルの日射遮蔽効果によって、日射のある時間帯では外部からの流入熱量が大きく抑えられているためである。流入熱量のピーク時におけるその効果は、南側では約35%低減しておりピークカット効果は大きく、ペリメーター側の機器容量の選定に影響し1~2サイズ小さくなる。屋上からの貫流熱量はパネルの有無にかかわらず朝の9:00にピークを示す。これは屋上面が図-7に示すように外断熱の仕様となっており、夜間の非空調時間帯に屋上コンクリートに大きく蓄熱されるため、空調立ち上がり時にコンクリートから屋内へ流入する熱量が大きくなるためと考えられる。

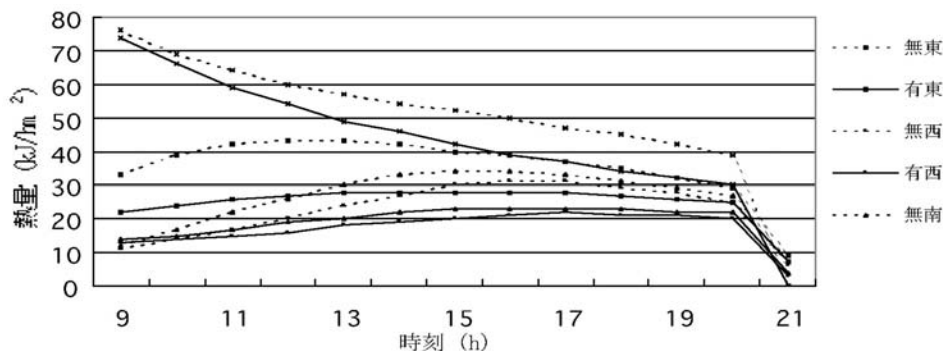


図-18 各ケース毎の貫流熱量

図-19に、パネルの有無による貫流熱量の差を屋上、南側、東側、西側について示した。屋上からの貫流熱量の差は、午前中は時間と共に増加し、15:00~19:00ではほぼ一定となり、日没後もかなり大きい値を示す。東側からの貫流熱量の差は9:00から11:00まで急激に増加し、その後は直線的に減少する。西側からの貫流熱量の差は9:00~15:00では直線的に増加し、それ以降は比較的ゆるやかに減少する。南側からの貫流熱量の差は9:00から増大し14:00~16:00にピークを達し、その後は時間と共に減少していく。

図-20に、建物の基準階におけるパネルの有無の差による貫流熱量を、東側、西側、南側の貫流熱量の合計したものを示す。空調時間開始の9:00からほぼ直線的に貫流熱量差すなわち

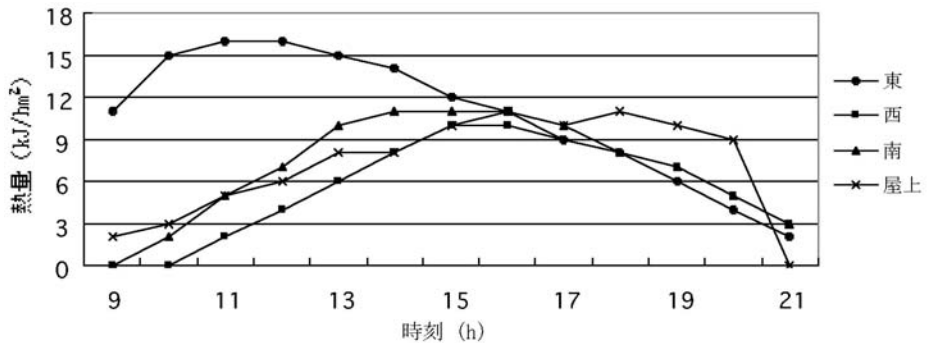


図-19 太陽光発電パネルの有無による貫流熱量の差

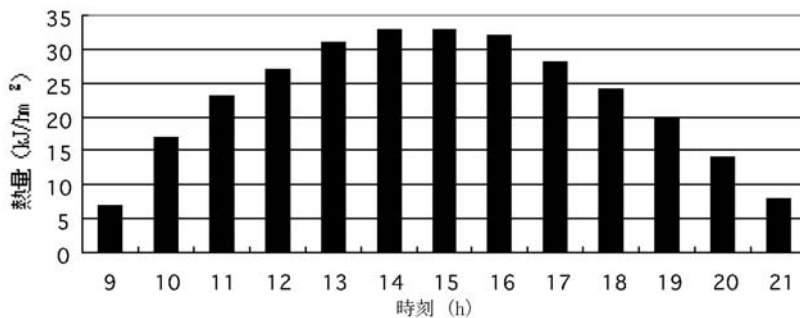


図-20 基準階における太陽光発電パネルの有無による貫流熱量

パネルの日射遮蔽効果は増加し、18:00に最大値を示す。それ以降21:00まで直線的に減少するが、日没後もその効果はかなり大きい。蓄熱による影響が少なくなり残業時間における運転経常費の減少につながる。

## (2) 太陽光発電量と空調電力量

発電量と空調で用いる熱量は単純には比較することはできないが、空調システムのCOP(成績係数)を考慮することによって関連づけることは可能である。パネルの日射遮蔽効果によって、低減される冷房負荷の熱量に相当する電力量を、日射遮蔽効果相当電力量とすると、日射遮蔽効果相当電力量 = 日射遮蔽効果熱量 × COPで表せる。最近では機器のCOPは4~5であるが、空調システム全体でとらえた場合は2~3になることが多くまた受変電設置なども考慮して、本報では2.0とする。

図-21に、太陽光発電量の方位ごとの時刻変動を示す。屋上の発電量と南側の発電量はよく似た傾向を示している。どちらも10:00と12:00にピークを示しており13:00から急激に減少し18:00には発電を停止している。東側の発電量は9:00にピークを示し11:00までは急激に減少し、それ以後はゆるやかに下降しており、18:00に発電を停止している。西側の発電量は9:00から増加し14:00に最大となりそれ以後は急激に下降し、18:00に発電を停止してい

る。

図-22に、日射遮蔽効果相当電力量の方位ごとの時刻変動を示す。屋上の日射遮蔽効果相当電力量は16:00~18:00にピークを示しており日射量のピーク時とは大きく遅れて発生している。その値は9:00~12:00で太陽光発電量の1%, 13:00~16:00で2~15%となっている。南側の日射遮蔽効果相当電力量については14:00~16:00に大きな値を示している。またその値は9:00~13:00で太陽光発電量の0~4%, 14:00~16:00で6~30%となっている。

東側についてはピークは11:00~12:00に示しており、むしろ日射量のピークより早めになっている。その値は9:00~13:00で太陽光発電量の3~14%, 14:00~16:00で15%~29%となっている。西側については15:00~16:00にピークを示し日射量のピークとは大幅にずれている。その値は9:00~13:00で太陽光発電量の0~3%, 14:00~16:00で3~19%となっている。いずれの方位の場合も日没後も日射遮蔽効果相当電力量が発生しており21:00まで続く。

これらのことから太陽光発電の発電量を評価する場合、方位、時刻などによっても異なるが日射遮蔽効果によって最大では30%近く発電量が増加し、空調用エネルギーとして有効に活用

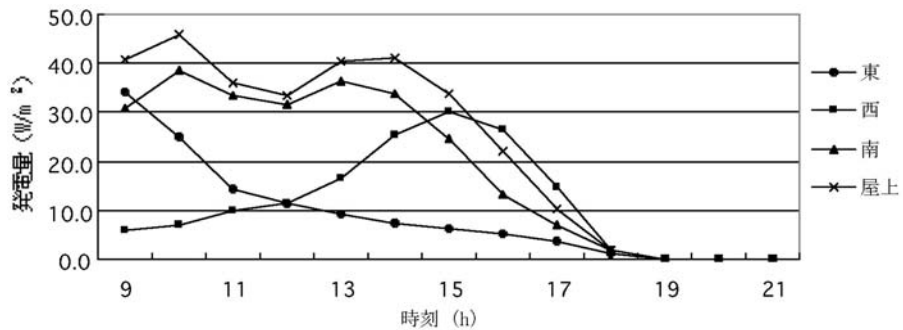


図-21 太陽光発電パネルの発電量

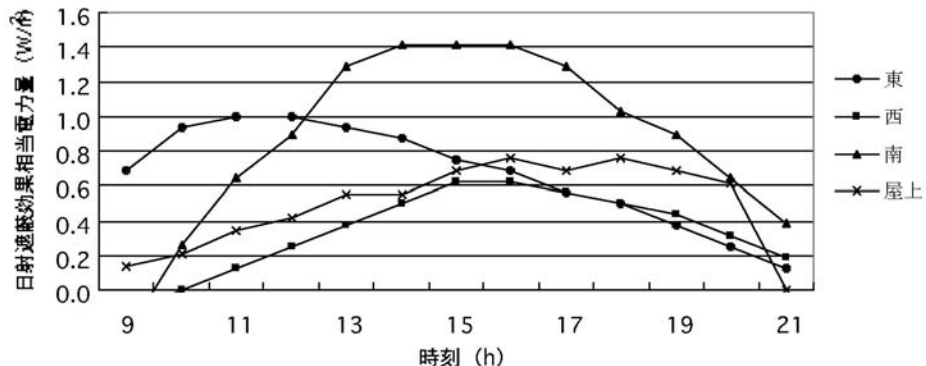


図-22 日射効果相当発電量

しているとして評価出来る。

#### 4. まとめ

太陽光発電システムを評価する場合、発電効率やセルの性能やシステムロスなど発電量に直接かかわる部分での検討が主であった。しかし建物にこのシステムを導入するときは空調負荷なども含めて総合的に評価する必要がある。太陽光発電パネルが建物の屋上や外壁において占める面積割合が少ない場合は、その建物の空調負荷に与える影響が少ないが、本シミュレーションのように外壁面積の1/2を占めるような大きな設置面積では無視できなくなる。

本報のモデルケースにおいて、以下のような知見が得られた。

- (1) 太陽光発電システムの日射遮蔽の効果が大きく、冷房時は屋上、外壁からの貫流熱量を約15～35%低減する効果がある。これはペリメーター機器を1～2サイズダウンすることが出来ることになる。
- (2) 日射遮蔽効果は、冷房負荷と連動する日射量が多いほどその効果が大きいことが分かった。
- (3) 日射遮蔽効果は、夜間における蓄熱の影響をおさえ、残業時間帯の運転経常費の低減にも役立つことがわかった。
- (4) 発電量は日射量が増加すれば大きくなるため、日射遮蔽の効果と太陽光発電は共に冷房負荷のピークカットに寄与しエネルギーの平準化に寄与することがわかった。

近年、事務所ビルではOA機器の空調負荷など冷房負荷が大きくなっており、暖房負荷がほとんど無いケースさえある。このため、冷房負荷の低減効果のある太陽光発電システムはますます有効になるものと思われる。さらに他のエネルギー源とは異なり数多く増えても地球環境を壊すことがないので、今後、より一層の活用がのぞまれる。

#### 謝辞

最後に、本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた名古屋工業大学水谷章夫教授、大阪市立大学大学院井川憲男教授に感謝いたします。またデータ整理など多大なご協力をいただいた(株)サンウェル・ジャパン、(株)竹中工務店、京セラ株式会社の方々に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 木村建一・宿谷昌則・野崎健次：窓面日除けの日射しゃへい係数の簡易測定法について その2 その3 日本建築学会大会学術講演梗概集 VOL.1981 (1981) pp.581～584

- 2) 北島壮一：普及著しい住宅用太陽光発電システム 建材一体型太陽電池モジュールの研究開発 エネルギー VOL.27-12 (1994) pp. 44~47
- 3) 黒川浩助・若松清司：太陽光発電システム設計ガイドブック 株式会社オーム社 (1994) pp.91~92
- 4) 近藤悟・小川洋・関井康雄・黒川浩助・津田泉・野崎健：独立形太陽光発電システムのシミュレーション 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集 VOL.1996 (1996) pp. 5~8
- 5) 松川洋・黒川浩助・中村洋之・杉浦忠敏・石川直揮：太陽電池を複数の方位角,および傾斜角に設置した太陽光発電アレイのシミュレーション 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集 VOL.1998 (1998) pp. 29~32
- 6) 豊川定海：太陽光発電の技術課題と普及状況 太陽光発電システム技術の開発中国の村落の電化太陽電池評価技術の研究へ 新エネルギー VOL.31- 7 (1998) pp. 36~37
- 7) 島袋清人：太陽光エネルギー利用の現状と将来展望 建材一体型太陽電池の技術動向建築設備と配管工事 VOL.37- 1 (1999) , pp. 12~16
- 8) 中村洋之・杉浦忠敏・作田宏一・黒川浩助：汚れ補正係数K P D Sによる太陽電池モジュールの汚れ評価 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, VOL.1998 (1998) pp. 133~136
- 9) 松川洋・黒川浩助・塩谷正樹・山田隆夫・杉浦忠敏：建築設計のための太陽電池アレイシミュレーション手法に関する検討 I - V カーブ合成法の検討と単セルモジュールを用いたアレイ実験による日陰損失分析, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集 VOL.1999 (1999) pp.57~60
- 10) 中村洋之・杉浦忠敏・山田隆夫・作田宏一・黒川浩助：多姿勢設置された太陽電池モジュールの発電特性評価 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集 VOL.1999 (1999) pp. 61~64
- 11) 相沢健実：エネルギーの有効利用シリーズ (4) 太陽光発電, 設備設計, No.419 (2000) pp. 2~13
- 12) 松川洋・塩谷正樹・黒川浩助・杉浦忠敏：太陽光発電システムの建築的利用に関する研究 部分日陰が発電特性に及ぼす影響評価 日本建築学会学講演梗概集 VOL.2000 (2000) pp.445~446