

都市環境における太陽光発電システムの日陰評価法

学生員 登守 利征 (東京農工大学)
会 員 作田 宏一 (産業技術総合研究所)
飯田 昇一 (日本設計)

会 員 大谷 謙仁 (産業技術総合研究所)
会 員 大野 二郎 (日本設計)
会 員 黒川 浩助 (東京農工大学)

Estimation of shading characteristics of PV systems in urban area

Toshiyuki Tomori*, Kenji Otani**, Koichi Sakuta**, Jiro Ohno***, Shoichi Iida*** and Kosuke Kurokawa*

*Tokyo University of Agriculture and Technology
2-24-16 Naka-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8588 Japan
E-mail: Toshiyuki@cc.tuat.ac.jp

**National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568 Japan

***Nihon Sekkei. INC.
Nishishinjyuku, Shinjyuku Tokyo, 163-1329 Japan

ABSTRACT

Recently, rooftop and wall-on PV systems installed in the urban area have increased rapidly and these systems are often affected by shadow. It is important to consider the effect of shadowing by surroundings to estimate the energy output of such systems. However, it is difficult to survey obstacles precisely without expert knowledge and its costs are high. In this research, the authors proposed an easy photo survey method by using fisheye (hemispherical) photographs to capture the whole surroundings. Based on the results of the survey, the effect of shadowing and energy output of the systems can be estimated.

For a case study of this method, the authors estimated the shading factor and energy output of systems installed soon on Whanchai Tower in Hong Kong.

In conclusion, the results showed good possibility that this method can be applied for performance analysis of shading PV systems.

キーワード : 日陰, システム評価, 写真測量
Keywords : shading, system evaluation, photo survey

1. はじめに

一般家庭の屋根や都市部のビルの壁面などに設置する, 建材一体型の太陽光発電 (以下 PV) システムが増加している。屋根はスペースが限られていること, ビル周辺は建築物が密集していることが多いこと, それぞれの理由でアレイに日陰がかかってしまう場合が

ある。今後, このようなシステムの性能評価の必要性が高くなると考えられる。日陰はアレイ全面を時々刻々と変化していくので, 障害物とアレイの位置関係を把握しなければ評価できない。詳細な障害物測量には, 専門的な知識, 実施費用が必要となる。また, アレイは高所に設置することが多い為, 測量時の足場・手間の問題がある。

本研究では, 障害物の写真測量を行い, 影を予測することにより, 日陰影響の評価法を開発することを目的とした。ケーススタディとしてビルの密集地帯を想定し, 香港の Whanchai Tower に設置予定の PV システムの性能評価を行った。

2. 日陰影響の解析方法

2.1 影の予測方法^[1]

2枚の魚眼写真から三角測量の原理で, 障害物の位置を測量する。

アレイと2点の撮影点の位置関係から, アレイと障害物の位置関係を確認する。

太陽位置を計算する。

からアレイ上での影の位置, 大きさを予測する。

Fig1 に概要図を示す。

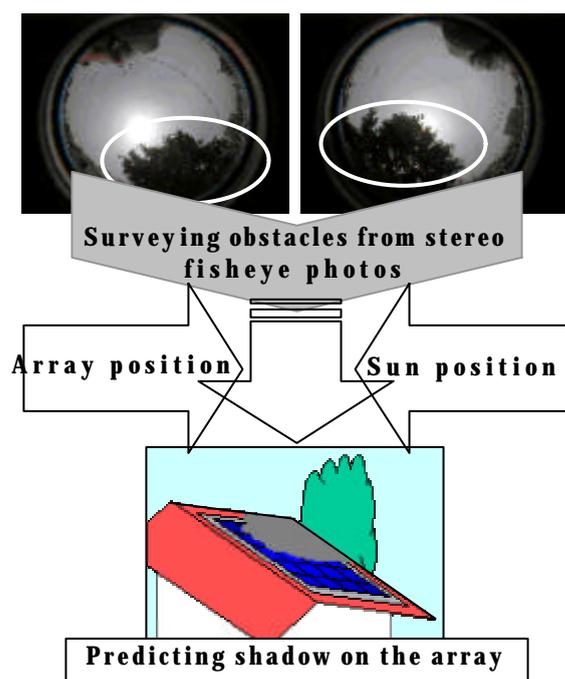


Fig. 1. Conceptual diagram of shading estimation

2.2 日陰補正係数の算出^[2]

日陰影響の尺度として、後に示すパラメータ分析法^[3]で用いる日陰補正係数 K_{HS} を求める。 K_{HS} は日陰がない場合の日射量に対する日陰がある場合のアレイ面日射量の割合を表す。以下の (1) 式で算出する。

$$K_{HS} = \frac{H_{in}}{H_A} = \frac{(1 - R_s)H_{Ab} + H_{Ad} + H_{Ar}}{H_A} \dots (1)$$

H_{in} : 日陰有アレイ面日射量(kWh 期間⁻¹)

R_s : アレイ全体に対する影の面積率

$H_A, H_{Ab}, H_{Ad}, H_{Ar}$: 日陰なしアレイ面全天, 直達, 散乱, 反射日射量(kWh 期間⁻¹)

R_s はアレイ全体に対する影の面積率の瞬時値 $R_s(t)$ のある期間内の平均値である。 $R_s(t)$ は以下の式から求まる。

$$R_s(t) = \left\{ \sum_{m=1}^M \dot{a}(m,t) \right\} / M \dots (2)$$

M : アレイのモジュール枚数

m : モジュールのインデックス番号

$\dot{a}(m,t)$ は影がないときを 0, あるときを 1 とし, 「2.1」で予測した影の位置を元に判断する。

例えば, アレイの半分に影がある場合 $R_s(t)$ は 0.5 となる。

2.3 発電電力量の算出^[4]

発電量の算出には, パラメータ分析法を用いる。パラメータ分析法とは, 入力と出力のエネルギーの比を補正係数として表すことにより, PV システムの動作を線形として考える分析法である。システム全体の補正係数は総合設計係数 K と呼ばれ, 構成要素全ての補正係数の総積で定義される。発電電力量は以下になる。

$$E_P = P_{AS} \cdot H_A / G_S \cdot K \dots (3)$$

E_P : 発電電力量(kWh 期間⁻¹)

P_{AS} : 標準状態における太陽電池アレイの出力(kW)

H_A : ある期間に得られるアレイ面日射量(kWhm⁻² 期間⁻¹)

G_S : 標準状態における日射強度(1kW m⁻²)

本研究では, 特に影の影響が大きいシステムを扱うので, 影以外の補正係数を K_{oth} とする。計算時には, $K = K_{HS} \cdot K_{oth}$ として考える。 K_{oth} は各構成要素の特性や他システムの計測データの平均値などから, 参考文献^[4]を参考に推測する。

3. 実験

香港の Whanchai Tower (北緯 22° 16' 50", 東経 114° 10' 30") に設置予定のシステムの日陰評価を行った。アレイは Fig2 に点線で示す箇所 (a), (b), (c) に設置する。(a) は屋上に傾斜をつけ, (b) は壁面に垂直にそれぞれ設置する。(c) については, 拡大図の太線のように, 傾斜と垂直両方を設置する。各アレイの定格値は未定であるので, 4.2 に示す発電性能評価に

は等価システム稼働時間を用いた。(c) については, 傾斜面と垂直の定格の比を面積比から 1 : 3 とし, 以下に行く推定に用いた。

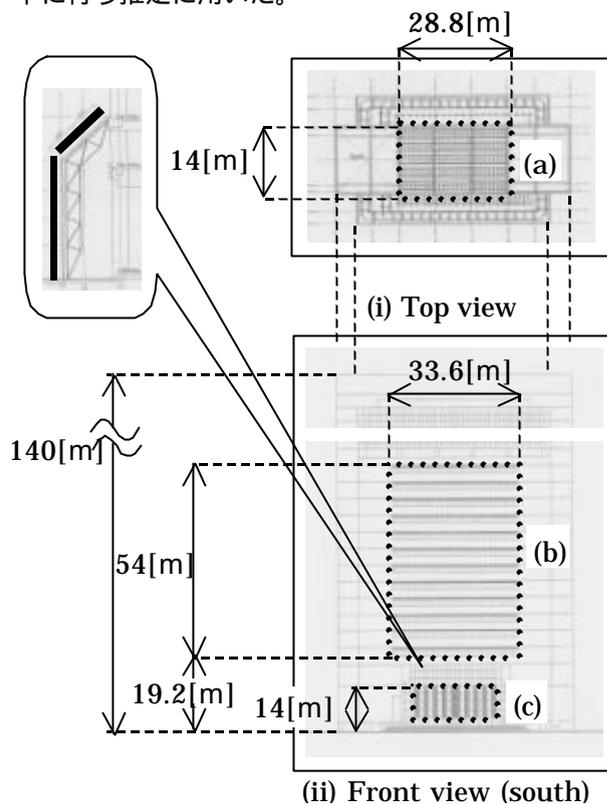


Fig. 2. Overview of Whanchai Tower and array positions

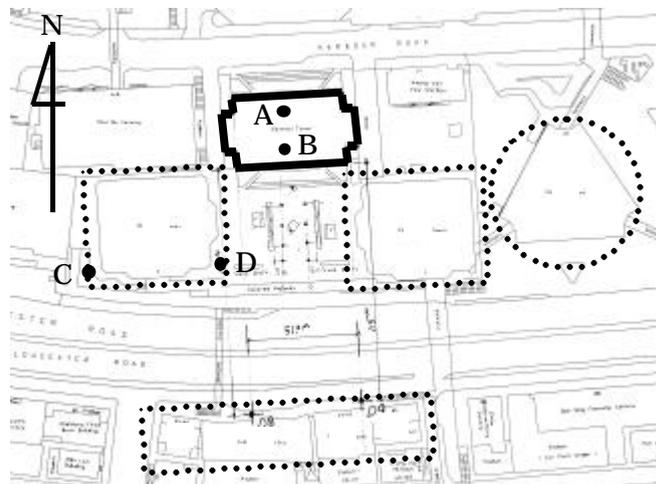


Fig. 3. Map around Whaichai Tower and camera positions

Whanchai Tower は高さが 140[m] である。目視では, 障害物になりうる建物は, 南の両サイドに位置する建物 (), 道路をはさんで更に南の建物 4 つ (), 東の三角形の建物 (), (それぞれ Fig3 中の点線) と推測されたので, これらの建物の測量を行った。測量に用いたのは, Fig4 に示した 4 枚の魚眼写真である。屋上において A・B を, 地上において C・D をそれぞれ撮影した。カメラは水準器を用いて真上方向に保った。Fig3 中の で示した箇所がカメラの撮影位置である。撮影点間距離は A・B が 13[m], C・D

は 62[m]である。

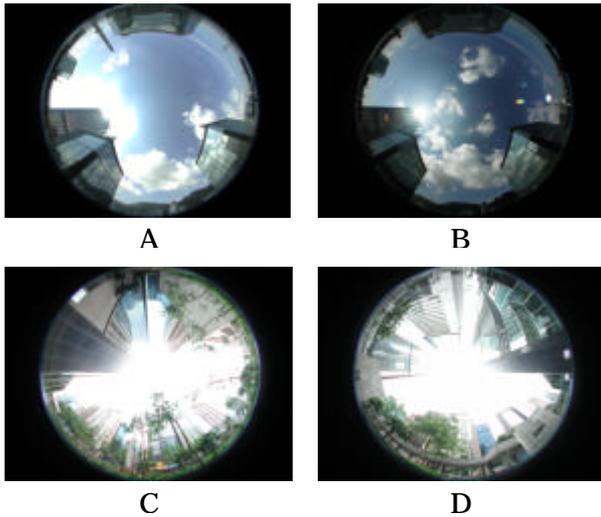


Fig. 4. Two pairs of fisheye photographs for surveying

4. 推定結果

4.1 障害物測量

の測量結果を Fig5 に示す。Fig3 と比較した結果、良好な値であると判断したので、これを基に日陰評価を行った。、は Whanchai Tower よりも高く、影の大きな要因となると思われる。

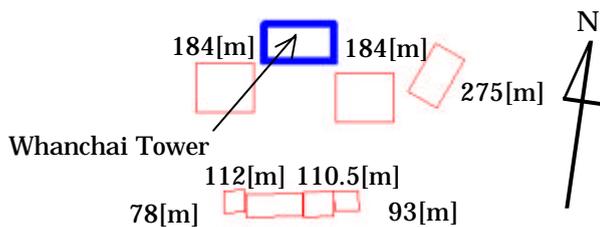


Fig. 5. Estimated obstacle positions and height

4.2 影の推定

4.1 の結果から影の推定を行った。冬至における各時刻の影を、Fig6 のように推定した。図は（図中太線）周辺を真上から見たもので、影（図中斜線）は地面上のものである。Fig7 はアレイ上の影と R_s を示したのものである。黒くなっている部分が、影のある場所である。10:00 には、太陽は東にあるので、障害物によりアレイ上に影がかかる。12:00 には、太陽はほぼ南に位置しているので、障害物による影はかからない。の影も届いてないと推定した。14:00 には、太陽は西にあるので、障害物によりアレイ上に影がかかる。

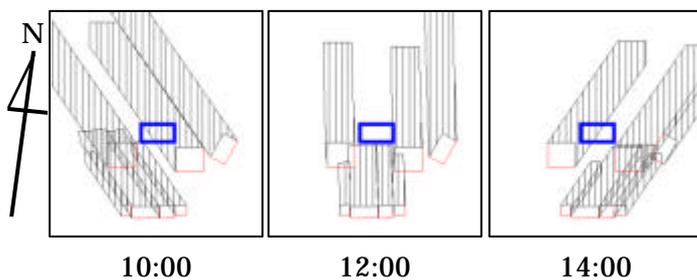


Fig. 6. Shadows on the ground on Dec. 21

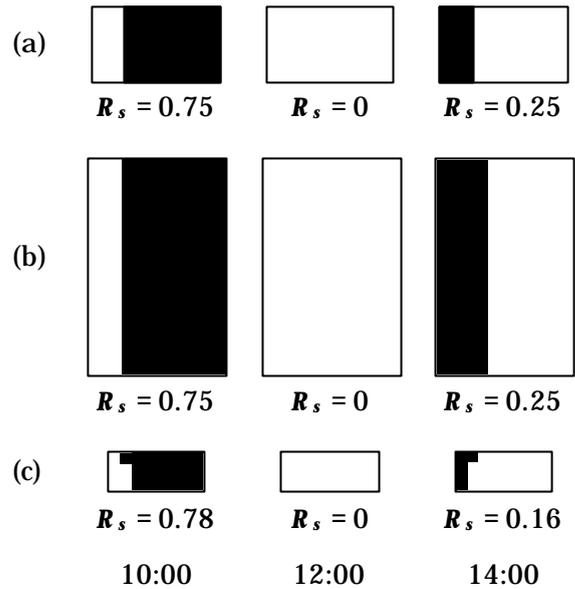


Fig. 7. Shadows and R_s of the each array on Dec. 21

影推定を 1 年間 1 分刻みで行い、各アレイの影の大きさから R_s を一分値で求め、月毎に平均したものを Fig8 に示す。

影は、太陽高度の高い夏場は短く、太陽高度の低い冬場は長くなるため、 R_s は一般に夏場大きく、冬場小さくなる。(a)はその傾向を示している。(b),(c)については、年間通じて一定であり、(b)については7月に大きくなっている。Fig9 に夏至における Whanchai Tower 自身の影の時間変化を示す。影が南にのびていることから、太陽が北に位置しており、ビルの南面は日が当たらない事がわかる。Table1 に 4~9 月の太陽の方位角を示す。方位角は南を 0 とし西まわりに+とした。(a)以外で R_s が 6, 7 月でも大きいのは、太陽が北にあるので、ビルの南面に設置してあるアレイ (b), (c)は影になっていることが原因と考えられる。

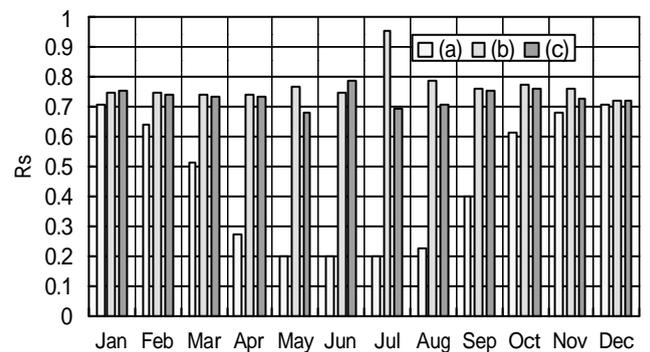


Fig. 8. R_s per month in a year

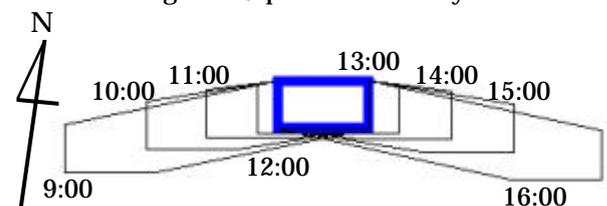


Fig. 9. Shadow of Whanchai Tower on Jun. 21

Table 1. Sun azimuth in Hong Kong

Time	May.15	Jun.1	Jun.15	Jul.1	Jul.15	Aug.1
9	-95.93	-100.14	-101.84	-101.60	-99.52	-94.96
10	-91.20	-96.81	-99.06	-98.74	-95.97	-89.92
11	-84.50	-93.56	-97.22	-96.69	-92.19	-82.46
12	-63.11	-89.34	-100.71	-99.06	-85.10	-58.57
13	67.42	89.89	99.55	98.18	86.16	62.29
14	85.29	93.84	97.31	96.80	92.50	83.17
15	91.67	97.09	99.26	98.94	96.24	90.31
16	96.32	100.44	102.09	101.84	99.79	95.28

4.3 日陰補正係数，発電性能の推定

4.2の結果から， K_{HS} を算出した結果をFig10に示す。日射データは，香港のKing's Parkで計測した1999年（一時間値）のものを使用した。(a)の値が若干大きいものの，3つのアレイでそれほど差はなかった。 K_{HS} は，影が少ない時に高くなるので， R_s の傾向とは逆になり，夏場大きく，冬場小さくなる。

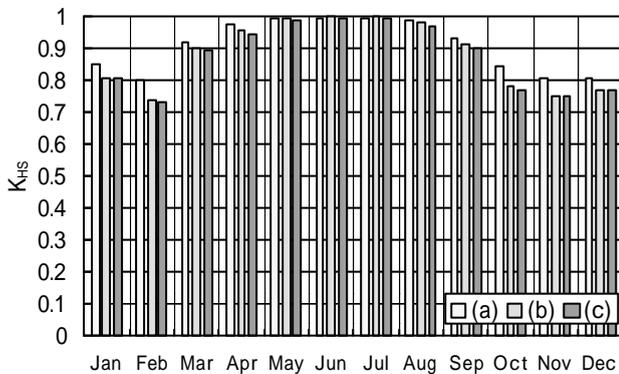


Fig. 10. K_{HS} per month in 1999

(b), (c)については4.2の傾向から，逆に夏場の値が小さくなると推測されるが，(a)~(c)全てにおいて夏場大きく，冬場小さくなっている。Table1にあるように，5月~6月前半と7月後半~8月においては，昼前後のみ太陽が北にあり，直達日射が入射する。昼前後は太陽高度が高いため，影にはならず， K_{HS} は高い値となる。他の時間帯は，太陽は北にあり，直達日射が0となる。 K_{HS} は(1)式より直達日射が0のとき，1となる。このため，ビルの南面に設置してあるアレイ(b), (c)は，夏場では高い K_{HS} しか算出されない。

2.3の手法に従って，計算した等価システム稼働時間の年間値をTable2，月間値をFig11にそれぞれ示す。

Table 2. Output energy of PV systems in 1999

	Final PV system yield[hour]
(a) (15[deg])	983.03
(b)	529.10
(c)	599.80

(b)は(a)の約半分の発電能力である。Fig12に15[deg]，90[deg]における月積算傾斜面全天日射量を示す。 K_{HS} は3つのアレイでそれほど差がないので，発電量の差は入射日射量の差であると考えられる。

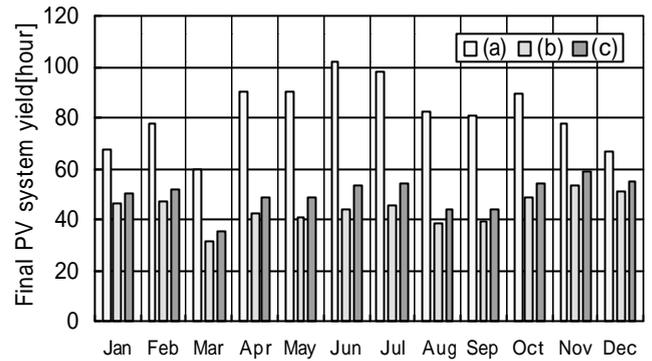


Fig. 11. Final PV system yield per month in 1999

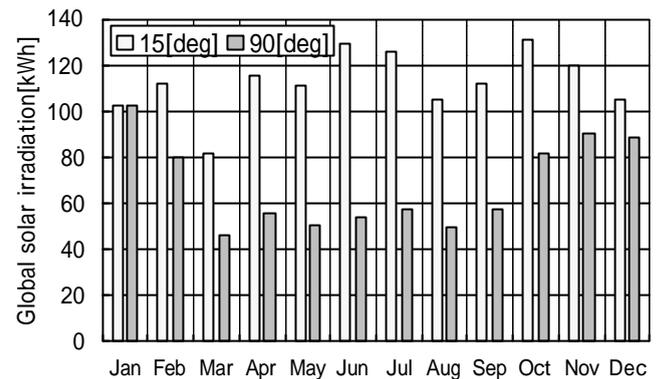


Fig. 12. Estimated solar irradiation on the 15 and 90 [deg] array in 1999

5. まとめ

ビルの密集地帯で簡便な障害物の写真測量を行った。影を予測することで，PVシステムの日陰影響評価を行い，性能評価を行った。結果，日陰補正係数は夏場大きく，冬場小さくなる年間の常識的な傾向が推定できた。ビルなどの形状が把握し易いものに関しては，本研究の手法により，日陰影響を含めた発電性能評価が十分できる可能性を確認できた。

参考文献

- [1]登守他，「写真測量法による太陽光発電システムの日照障害特性の推定」，H11 日本太陽エネルギー学会
- [2]T.Tomori et al.," On-site BIPV array shading evaluation tool using stereo-fisheye photographs", 28th IEEE PVSC
- [3]PVTEC 監修，黒川，若松共編：太陽光発電システム設計ガイドブック，オーム社(1993)
- [4]大谷他，「パラメータ分析法を基にした太陽光発電システム・シュミレーションの住宅用システムの検証」，H12 日本太陽エネルギー学会