

傾斜角度の小さい太陽電池アレイに作用する風力特性

地上設置型の場合

相原 知子^{*1}・寺崎 浩^{*1}・中村 良平^{*1}

Keywords : Photovoltaic array, Wind tunnel test, Wind force coefficient

太陽電池アレイ, 風洞実験, 風力係数

1. はじめに

近年, 地球温暖化の原因である温室効果ガスの排出削減対策として, 再生資源でもある太陽光発電のさらなる導入促進が期待されている。(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の太陽光発電導入ガイドブック(2000年改訂版)によれば, 太陽電池アレイ(以下, アレイと呼ぶ)の傾斜角度 θ は, 太陽電池の発電量が最大となる年間最適傾斜角(那覇 17.9 度, 鹿児島 27.7 度, 大阪 29.7 度, 金沢 25.3 度, 東京 32.7 度, 札幌 35.5 度)を目標とし, アレイ面に日陰が生じない配置とすることが望ましいとされている。しかし, 限られた領域により多くのアレイを設置するためには, θ を小さくした方が有利である。仮に, 東京都に $\theta=5$ 度のアレイを南向きに複数配置する場合, $\theta=30$ 度のアレイを配置する場合と比較すると, 約 2 倍のアレイを配置することができ, アレイ 1 枚当たりの発電量は 1 割減程度に過ぎないため, 同じ敷地面積において約 1.8 倍の発電量を得る事が可能となる。また, θ を小さくすることでアレイに作用する風荷重が緩和されることが推測される。

一方, JIS C 8955: 2004 の太陽電池アレイ用支持物設計標準では, モジュール, 支持物などに作用する風圧荷重が定められており, 地上設置の場合, アレイに作用する風力係数は θ が 15 度以上 45 度以下の範囲において近似式により求めることが出来る。

そこで, θ が 15 度以下のアレイに作用する風力特性を把握する事を目的とし, アレイ単独および複数配置の 2 ケースについて風圧実験を行った。本論文では, アレイ単独の風力係数および複数配置した場合における配置場所別の風力係数について述べる。

2. 実験概要

2.1 実験模型

実験対象となる太陽電池アレイの概要を図-1に示す。寸法は幅 9m, 奥行 4m, アレイの傾斜角度 θ は 5 度, 10 度, 15 度の 3 種類である。風圧模型は縮尺率を 1/35 とし, 上面 21 点, 下面 21 点, 計 42 点の風圧測定点を設けた。

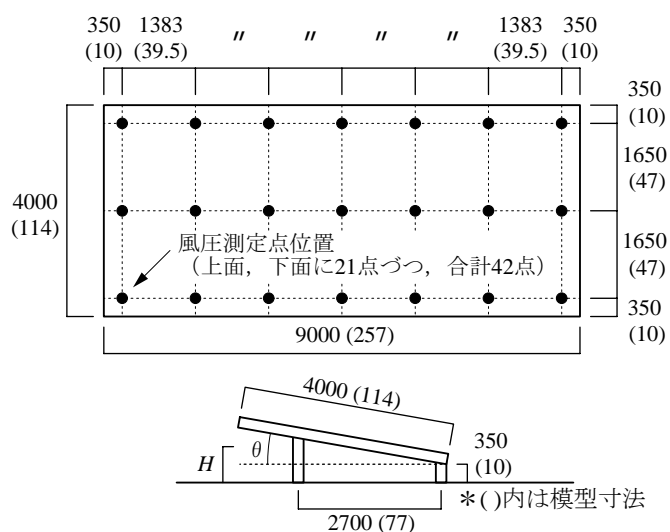


図-1 太陽電池アレイの概要

Fig.1 Summary of photovoltaic array

2.2 使用風洞および実験気流

本実験は大成建設(株)技術センター保有のエッフェル型風洞を用いて行った。実験気流は日本建築学会の建築物荷重指針・同解説(2004)に定められている地表面粗度区分Ⅱ(田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域, 樹木・低層建築物などが散在している地域)を目標とし, 実験気流の平均風速の鉛直分布および高さ H ($\theta=5$ 度の場合, 実寸法で 524mm)

*1 技術センター建築技術研究所防災研究室

における乱れの強さ（風速の標準偏差／風速の平均値）を目標値と一致させた。ただし、実験気流の乱れの空間的な広がりを表す長さの尺度である乱れのスケール L_H は、実寸法に換算すると 9.7m（ $\theta=5$ 度、 $H=524\text{mm}$ ）であり、目標値（100m）の約 1/10 程度である。しかし、低層建物の屋根面に作用する風圧を測定する場合、 L_H が実験結果に及ぼす影響は少ない事が既往の研究結果^{1),2)}により示されているため、本実験においてもその影響は小さいと判断した。

2.3 実験条件

実験風向はアレイ単独および複数配置共に 0 度～330 度までの 30 度ピッチ 12 風向とした（図－2 参照）。実験ケースは、アレイ単独の場合 $\theta=5$ 度、10 度、15 度の 3 ケース、アレイ複数配置の場合 $\theta=5$ 度のみの 1 ケース、合計 4 ケースである。図－3 にアレイ複数配置の場合の配置図を示す。アレイ（ $\theta=5^\circ$ ，実物寸法：4m×9m）は南北方向に 5 列、東西方向に 3 列配置し、風圧実験用模型は図－3 に黒で示した 6 体（A1～A3、B1～B3）であり、残りの 9 体は同形状とした風圧測定

孔のないダミー模型である。東西方向のアレイの間隔は実物寸法で 1m、南北方向のアレイの間隔は 1.4m（冬至の 15 時における太陽高度を 14 度とし、アレイ同士の日射障害を回避するように設定）とした。

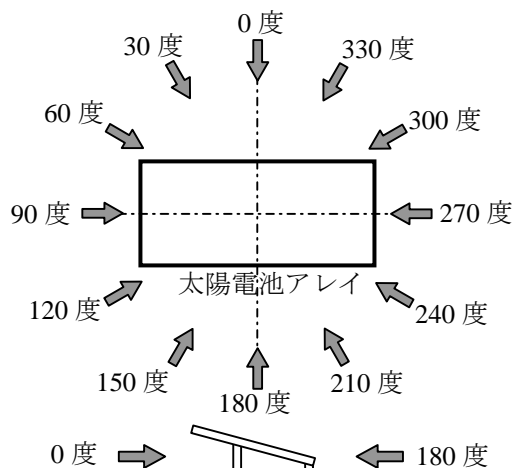
2.4 解析条件

風圧データのサンプリング条件は 200Hz，65,536 data/ch である。測定した風圧はアレイの上面圧と下面圧の差圧（風力）とし、各測定点の外圧係数 C_{pp} と風力係数 C_{fp} およびアレイ 1 枚分の面積（9m×4m）で空間平均を行った風力係数 C_{fa} として評価した。統計値は評価時間を 10 分間相当とし、5 回のアンサンブル平均により求めた。なお、時間の縮尺率 λ_t 、長さの縮尺率 λ_l 、風速の縮尺率 λ_u には $\lambda_t = \lambda_l / \lambda_u$ の関係があり、本実験では $\lambda_t = 1/9$ ， $\lambda_l = 1/35$ ， $\lambda_u = 1/4$ （ $\theta=5$ 度の場合、高さ H の実験風速 U_H は約 8.0m/s，JIS C 8955 に準拠して求めた設計用風速は 30.6m/s）となる。

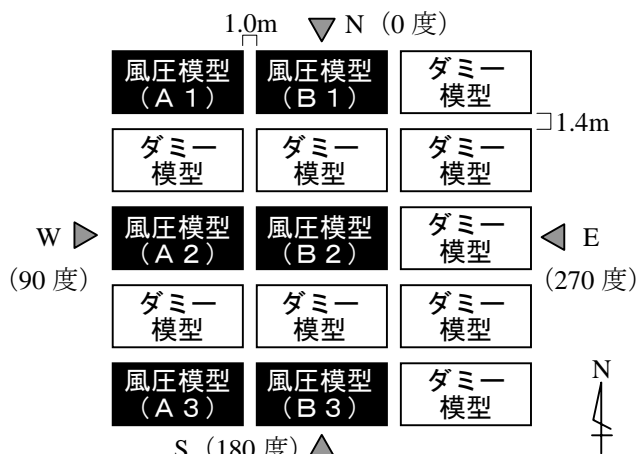
3. 実験結果

3.1 アレイ単独の場合

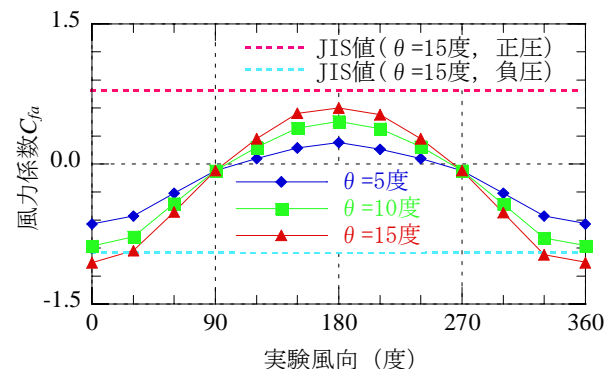
図－4 には、アレイ 1 枚分の空間平均を行った風力係数 C_{fa} の風向変化を示す。 C_{fa} は θ によらず、実験風向 0 度で最小値、実験風向 180 度で最大値となっている。 C_{fa} の最大値を $\theta=15$ 度時の値に対して比較すると、 $\theta=10$ 度の場合は 77%， $\theta=5$ 度の場合は 38%，同様に C_{fa} の最小値を $\theta=15$ 度時の値に対して比較すると、 $\theta=10$ 度の場合は 83%， $\theta=5$ 度の場合は 60%であった。なお、 $\theta=15$ 度の場合の実験値と、JIS の近似式により求めた $\theta=15$ 度の JIS 値を比較すると、負側の絶対値は実験値の方が大きく、正側の絶対値は JIS 値の方が大きい。JIS 値の基となっている実験³⁾では、アレイの大きさやアレイ面の平均高さが異なること、実験気流が一樣流である等、本実験と実験条件が異なっている。



図－2 実験風向の定義
Fig.2 Definition of wind direction



図－3 太陽電池アレイ配置図（ $\theta=5$ 度）
Fig.3 Layout of photovoltaic arrays ($\theta=5$ degrees)



図－4 アレイ 1 枚分の空間平均を行った風力係数 C_{fa}
Fig.4 Wind force coefficient C_{fa} spatially averaged over a photovoltaic array

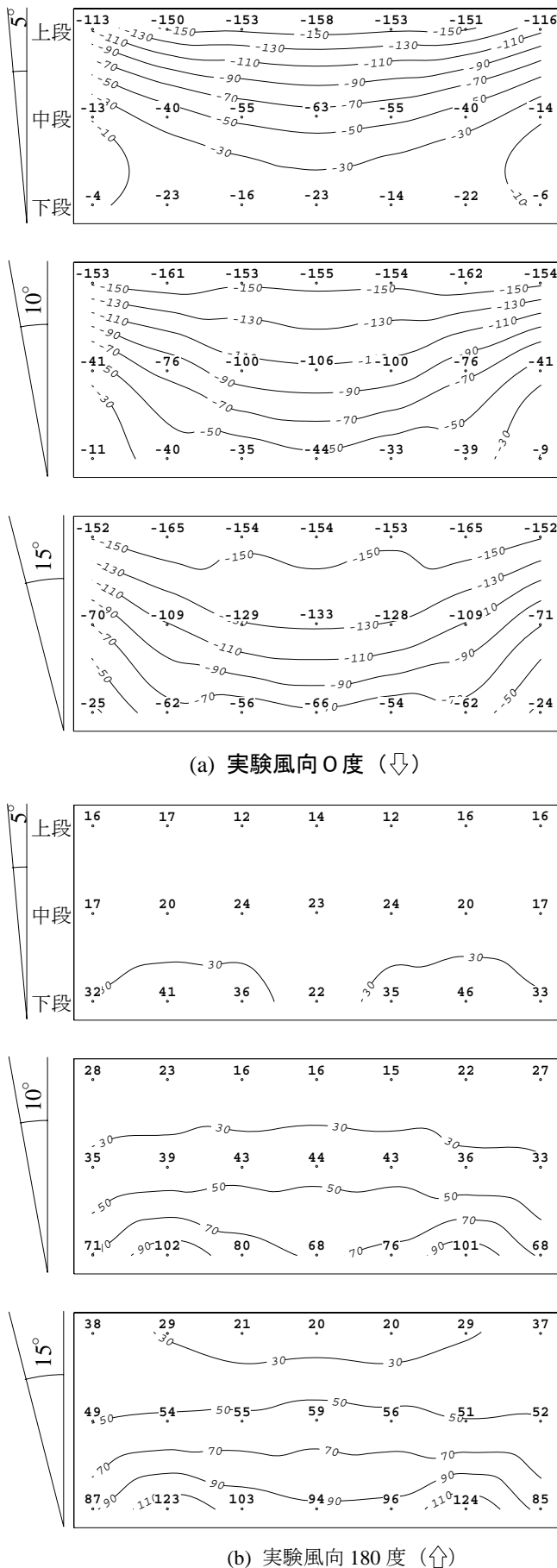


図-5 各測定点における風力係数

Fig.5 Wind force coefficient of each measurement point

図-5には、 C_{fa} が最小値および最大値を示した実験風向 0 度(a)と 180 度(b)の時の B 列(図-3の B1~B3)における各測定点の風力係数 C_{fp} を示す。図中の数字は $C_{fp} \times 100$ である。実験風向 0 度(a)では、風上側となる上段において C_{fp} の絶対値が大きくなり、中段、下段と風下側になるほど C_{fp} 絶対値が小さくなる。また、上段の中央部付近においては θ による違いがあまり見られないが、中段、下段においては θ が小さくなるほど C_{fp} の絶対値が小さくなっている。同様に、実験風向 180 度(b)においても、風上側となる下段において C_{fp} が最大となり、中段、上段と風下側になるほど C_{fp} が小さくなる傾向がみられる。このため、実験風向 0 度および 180 度では、 θ が小さくなるにつれ C_{fa} の絶対値が小さくなる。

以上の結果から、アレイの傾斜角度 θ を小さくすることでアレイに作用する風力が低減することがわかる。

3.2 アレイ複数配置の場合

図-6にアレイ1枚の面積で空間平均を行ったアレイの風力係数 C_{fa} の風向変化を示す。B 列では、風向 0 度で最小値、風向 180 度で最大値となるが、A 列(図-3の A1~A3)では 30 度ずれた風向で発生する場合もあった。 C_{fa} の最大値は、風向 180 度の場合に風上に向って最後列端部となる位置 A1 では単独とほぼ同じ 0.2 程度であり、その他の位置では A1 の半分以下であった。なお、風向 180 度における最前列アレイ(A3,B3)の上面圧と下面圧は共に負圧であり、単独の場合よりも上面圧の絶対値が大きく、下面圧の絶対値が小さいため C_{fa} が小さくなっている。 C_{fa} の最小値は風向 0 度の場合に風上に向って最前列となる位置 A1 と B1 では単独とほぼ同じ-0.6 程度、中央列となる位置 A2 と B2 では最前列の約 4 割減となる-0.4 程度、最後列となる位置 A3 と B3 では最前列の 5 割減となる-0.3 程度であった。

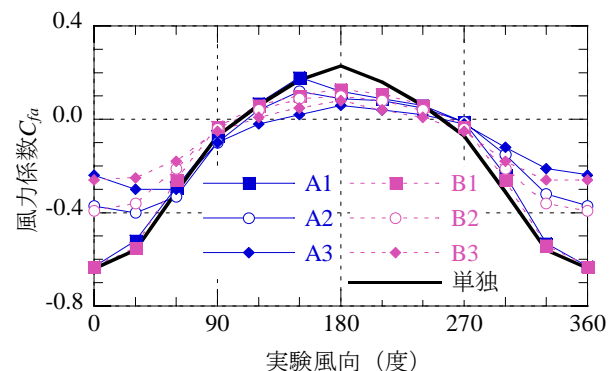


図-6 アレイ1枚分の空間平均を行った風力係数 C_{fa}
Fig.6 Wind force coefficient C_{fa} spatially averaged over a photovoltaic array

4. アレイの配置領域

表－1 にアレイ単独の場合およびアレイ複数配置の場合における各配置場所（A1～A3, B1～B3）の全風向中最大および最小の C_{fa} を示す。最小値の場合、A 列と B 列の差はほとんどなく、最大値の場合、若干値は異なるが、A 列では A1,A2,A3 の順に小さくなり、B 列でも B1,B2,B3 の順に小さくなり、A 列と B 列共に同様の傾向を示した。JIS C 8955 では実験結果³⁾を基に、地上設置型のアレイの場合、“架台が複数の場合には周囲端部は近似式の値を、中央部は近似式の値の 1/2 を使用してもよい。”とされている。しかし、本実験で得られた $\theta=5$ 度のアレイに関しては、領域を周囲端部と中央部の 2 区分ではなく、北側端部（A1,B1）、中央部（A2,B2）、南側端部（A3,B3）の 3 区分とし、 C_{fa} は A 列の値を用いれば B 列に対しても安全側の値となる。

次に、本実験で行った複数配置の実験条件よりも更に多くのアレイを配置する場合について考察する。本実験の配置は、図－3 に示すように南北方向 5 列×東西方向 3 列であり、設置に必要となる敷地面積は 740 m² 程度であるが、メガソーラー発電所などではこの

100 倍以上の敷地面積となることも予想される。JIS に準拠して単独の値を配置領域によって低減して用いる場合には、図－7 に示すような A1,B1 に相当する■と A2,B2 に相当する■と A3,B3 に相当する□の 3 つの領域に区分に分け、各領域の C_{fa} は表－1 に示す A 列の C_{fa} を用いることが可能であると考えられる。なお、本実験条件において A2 および B2 の北側と南側にはアレイが各 2 枚存在していることから、■および□のアレイは 2 列とした。

5. まとめ

風洞実験を行い、傾斜角度 θ が 15 度、10 度、5 度の太陽電池アレイを単独で設置する場合と傾斜角度 θ が 5 度の太陽電池アレイを複数配置する場合において、各々の太陽電池アレイに作用する全風向中最大・最小の風力係数を得た。また、メガソーラー発電所のように数多くのアレイを設置する場合を想定し、風力係数を配置領域別に設定する方法について考察した。

謝辞

本研究は、環境省平成 21 年度地球温暖化対策技術開発事業『埋立終了後の最終処分場上部を活用した太陽光発電システム実用化に関する技術開発』による成果の一部である。

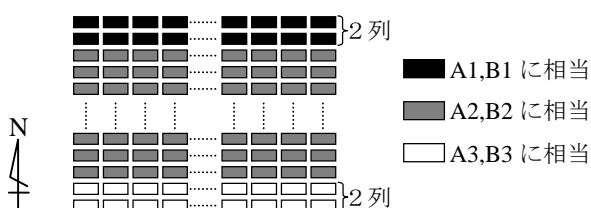
参考文献

- 1) Petarka, J.A., Hosoya, N., Dodge, S., Cochran, L. and Cermak, J.E., “Area-average peak pressures in a gable roof vortex region”, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 77&78, 1998, pp.205-215.
- 2) 岡田創, 大熊武司, 丸川比佐夫, 片桐純治, 低層建物模型の屋根面風圧測定における実験気流の影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.145-146, 2006.9
- 3) 株式会社関電工, “太陽電池架台の研究開発”, 平成 4 年度 NEDO 委託業務成果報告書(総括版), 1993.

表－1 全風向中最大および最小の C_{fa}
Table 1 Maximum and minimum values of C_{fa}
considering all wind directions

配置	単独	A 1	A 2	A 3	B 1	B 2	B 3
最大	0.23 [180]	0.18 [150]	0.12 [150]	0.06 [180]	0.13 [180]	0.10 [180]	0.08 [180]
最小	-0.64 [0]	-0.63 [0]	-0.40 [30]	-0.30 [30]	-0.63 [0]	-0.39 [0]	-0.26 [0]

* [] 内の数字は発生風向を示す



図－7 多数アレイの配置領域

Fig.7 Groupings of a large number of photovoltaic arrays