

追尾式太陽光発電システムの時間平均空力特性に関する考察

○宮崎大・工 正会員 小園茂平¹, 同大学院 三原将功

1. 序

太陽の放射光を利用する発電は有力なエネルギー生成法の一つである。集光型の太陽光発電方式は1970年代に考案され、レンズで太陽光を収束させる機構のゆえに必然的に追尾式が採用されてきた。追尾式では大きなパネルを1本のシャフト(支柱)で支える構造がとられることが多く、その形状からシャフトへの風力の負荷が大きいことが予想され、強風が発生する地域ではその耐風性が問題となる。欧州や日本でこの方式の大型の太陽光発電パネルが建設されつつあるが、量産に必要な設計指針はいまだ確立されていない。本報告では縮小模型を風洞内に設置して主流に相対的なパネルの姿勢をいろいろ変えてその空力特性を調べ本システム固有の特性を考察する。

2. 実験方法

本実験では室内開放型押込式の「マルチファン型風洞」(測定部断面は横2.54m×縦1.80m)を使用した。図1に模型の形状と座標系を示す。使用した模型は実際の追尾式太陽光発電システムを1/20に縮小した模型である。アスペクト比は $A_s = W/H = 1.45$ である。実機の形状に合わせて片面に碁盤の目状の粗度を持たせた。シャフトの直径は25mmで、パネル中央を支持している。パネルを水平に支持する時、床面からパネル上面までの鉛直距離 Z_0 は222mmであり、無次元鉛直距離は $Z_0/H = 0.62$ であった。図1のように主流と相対的なパネルの姿勢は迎角 ϕ と偏揺れ角 θ とで定義した。 ϕ と θ どちらか一方を動かすとき「傾斜角の基本的変化」と呼ぶ。パネルが正方形で床面と十分離れて設置されているなら ϕ と θ の回転は同等でありどちらか一方を調べればよいが本研究のパネルは長方形であり床面近くであるのでいずれの変化も調べる必要がある。

正方形の木製テーブル(一辺1.6m)を風洞床面から上方に308mm離して設置し中央に穴を開けて床下の3分力計とジグで接続し縮尺模型にかかる空気力とモーメントを検出した。計測した範囲は $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$, $0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ でありソーラーパネルに必要な十分な1/4球をカバーし、 θ と ϕ とともに 5° おきに測定した。主流方向にかかる力 F_x , 主流と直角方向にかかる力 F_y と、 $X-Y$ 面内の力であり模型中心の水平線と直交する力 F_s , Z 軸まわりモーメントを M_z とし、 F_x 係数を $C_x = F_x / (0.5\rho U^2 A)$, F_y 係数を $C_y = F_y / (0.5\rho U^2 A)$, 横力係数を $C_s = F_s / (0.5\rho U^2 A)$, モーメント係数を $C_{M_z} = M_z / (0.5\rho U^2 A H)$ とした。 ρ は動粘性係数、 A は見付面積で $A = WH$ である。これらの空気力係数を決定するものはアスペクト比 A_s と床面とパネル間の距離 Z_0/H 以外に、1) レイノルズ数 Re , 2) シャフトの影響, 3) パネルの表面粗度, 4) 閉塞効果, 5) 風洞の乱れなどが考えられる。今後、これらの効果を順次検討する予定である。主流速度は $U = 8.14\text{m/s}$, H に基づくレイノルズ数 $Re = 1.93 \times 10^5$ であった。本計測では3分力計の計測値はシャフトにかかる空気力も含んでいるのでパネルとシャフトを切り離してパネル部をステンレスワイヤーで吊って固定しシャフトにかかる力だけを計測し、2) の効果の補正を試みた。

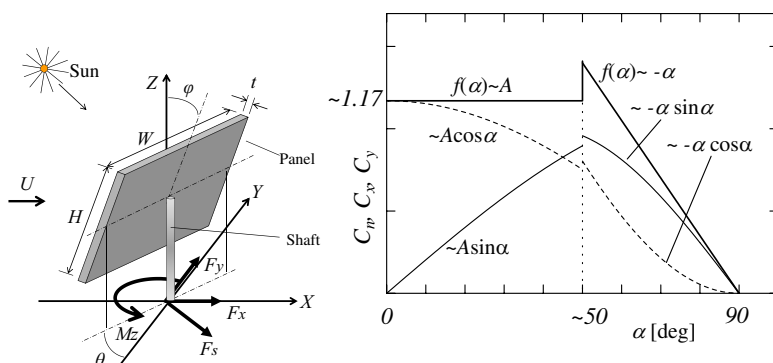


図 1: Reference frames.

図 2: Schematic variation of C_n for a square flat plate and expected variation of C_x and C_y .

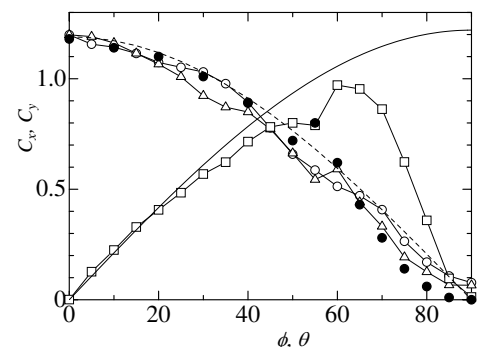


図 3: Variation of $C_x(\phi, 0^\circ)$ and $C_y(0^\circ, \theta)$. $\square$, $C_x(\phi, 0^\circ)$; $\triangle$, $C_y(0^\circ, \theta)$; $\diamond$, $C_y(0^\circ, \theta)$; Broken line, $1.22 \cos \theta$ or $1.22 \cos \phi$; Solid line, $1.22 \sin \theta$; $\bullet$, reference 2).

¹連絡先 〒 889-2192 宮崎市学園木花台西 1 - 1 宮崎大学工学部 Tel=0985-58-7361, キーワード: 集光型太陽光発電システム, 3 次元平板, 抗力

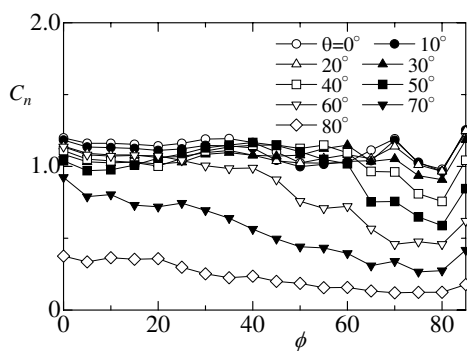


図 4: Variation of C_n with ϕ for $0^\circ \leq \phi < 90^\circ$.

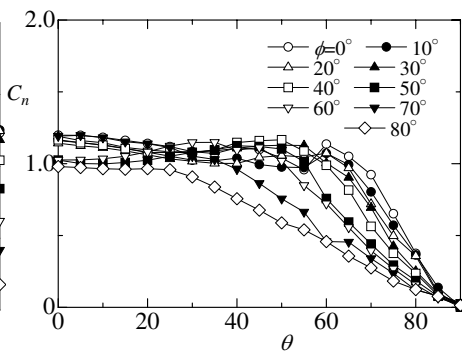


図 5: Variation of C_n with θ for $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$.

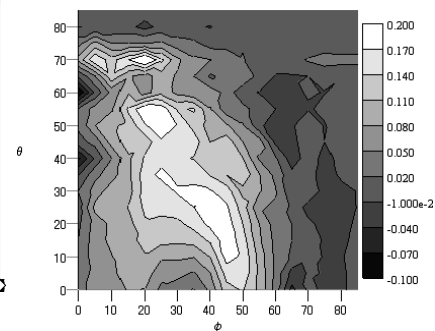


図 6: Distribution of ΔC_x

3. 結果

3.1 傾斜角の基本的変化の空力特性

壁面から離れて置かれた理想的な正方平板にかかる空気力特性は古くから調べられている．平板に垂直な方向の合力を F_n としそれを無次元化した $C_n = F_n / (\frac{1}{2} \rho U^2 A)$ を F_n 係数とする．流れに対し平板の傾いた角度（傾斜角）を一般的に α とすると空力係数は α の関数と見なせる．図 2 に図式的に示すように $C_n (= f(\alpha))$ は α が小さいときは約 1.17 の一定値をとり， α が 50° 辺りで少し大きな値にジャンプしそこから α にほぼ比例してゼロに漸近する¹⁾．

図 3 は図 2 に対応する本システムの実験結果を示す．主流に直角に面している矩形平板の空力特性は過去にも研究されており正方平板の抗力は Hoerner¹⁾ で 1.17 であり，本研究の $C_x(0^\circ, 0^\circ) = 1.22$ がわずかに大きい．本実験の $C_x(\phi, 0^\circ)$ と $C_x(0^\circ, \theta)$ の曲線は同様な挙動を示し図 2 の予想された曲線に近い． θ を変化させた時は文献 2) のように $\theta \sim 55^\circ$ 辺りの特異点が観察される．図 3 には $C_y(0^\circ, \theta)$ の変化もプロットされている． $\theta = 60^\circ$ のときに C_y が最大値をとりその後， ϕ とともに急速に 0 に近づくなど予想された曲線に近い挙動をとっている．

3.2 F_n 係数の特性

図 4 は $\theta = \text{一定}$ に対して迎角 ϕ を変化させた時の，図 5 は $\phi = \text{一定}$ に対して偏揺れ角 θ を変化させた時の C_n の変化を示す． C_n は水平横力 F_s から求めた ($F_n = F_s / \cos \phi$, $C_n = F_s / (\frac{1}{2} \rho U^2 W H \cos \phi)$)．図 4 では $0 \leq \theta \leq 50^\circ$ の範囲では $\phi \leq 60^\circ$ で $C_n \sim 1.2$ のほぼ一定値をとるが， $\phi \geq 60^\circ$ では 0 に漸近せず，Hoerner の C_n 曲線の傾向からの逸脱が明らかに見られる．これとは異なり，図 5 では最初 θ とともにほぼ一定の値をとり，ある θ から $C_n = 0$ に向かって直線的に減少している．減少が開始する θ は ϕ の値によって $25^\circ \sim 65^\circ$ の広い範囲に渡っているがいずれの場合も Hoerner の C_n 曲線の傾向に一致している． θ が変化するとき，空気力の挙動は平板に近いと言えるが ϕ が変化するとき，本システム特有の効果が作用している．

3.3 床面効果

迎角が一定で θ を変化させるとき模型の姿勢が次式を満たす鏡映の関係にある二つの偏揺れ角 θ_1, θ_2 が存在する．

$$\theta_1 + \theta_2 = 180^\circ, \quad 0^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ < \theta_2 \leq 180^\circ \quad (1)$$

$0^\circ \leq \theta_1 < 90^\circ$ と $90^\circ < \theta_2 \leq 180^\circ$ の範囲の空力特性を比較した．図 6 は $\Delta C_x(\phi, \theta) = C_x(\phi, 180^\circ - \theta) - C_x(\phi, \theta) = C_x(\phi, \theta_2) - C_x(\phi, \theta_1)$ の $\phi - \theta$ 面での分布を示す． $\phi < 50^\circ$ で ΔC_x は大きな値をとっている．さらに子細に見ると $55^\circ < \theta_1 < 80^\circ$ ($100^\circ < \theta_2 < 125^\circ$)， $15^\circ < \phi < 30^\circ$ の領域で大きな ΔC_x をとる領域が見られる．パネル下辺が風上に位置する時は，パネル下辺から剥離した剪断層の巻き込みが床面の存在により抑制され，上下の剥離剪断層の干渉が弱まると考えられる．

4. 結び

広範囲の偏揺れ角 θ や迎角 ϕ に対して，追尾式太陽光発電システムの模型の空気力特性を風洞実験で調べたことが分かった．

1) 偏揺れ角 θ だけが変化するとき，空気力の挙動は平板に近いが， ϕ だけが変化するとき，本システム特有の効果が作用している．

2) 鏡映の関係にある空気力を比較し $\phi < 30^\circ$ で床面による渦放出抑制効果が存在する．

参考文献

1) S. F. Hoerner, "Fluid-Dynamic Drag", 2nd Ed., Newyork (1965), 3-16. 2) M. Tachikawa, M. Fukuyama, Transactions of the Architectural Institute of Japan, No. 302 (1981), 1-11.