

集合住宅における太陽光発電の実測と外部風速が発電量に及ぼす影響の検討

Measurement of PV system for collective housing and Influence on power generation by outside wind velocity

西村 欣英¹
Yoshifusa NISHIMURA

酒井 孝司²
Koji SAKAI

Abstract

In this study, aiming for further introduction of PV system in collective housing, measurement was conducted on the PV system for collective housing. Based on the measurement, PV temperature estimation formula and the influence of wind velocity on power generation were verified, and followings were clarified; 1) The dwelling units power supply system, which is becoming to be introduced in collective housing recently, has little difference in power supplied among the dwelling units. 2) The panel temperature including the influence of the wind velocity can be estimated in high accuracy by solving the heat balance between the front side and the back side of PV panels. 3) Even in single crystal panels, influence on Power generation by wind velocity is limited to small amount of around 2-4%. 4) The influence of wind velocity on power generation in collective housing has little difference compared to that in detached houses.

キーワード：集合住宅，太陽光発電，屋外風速，発電量

Key Words : Collective housing, PV system, Wind velocity, Power generation

1. はじめに

近年、自然エネルギー利用への関心が高まっている。政府は温室効果ガスを2020年までに2005年比で3.8%削減することを表明しており、その達成のために太陽光発電システム（以下、PVシステム）の導入が期待される。住宅分野では国や地方公共団体の導入支援策により普及が進んでいるが、戸建住宅が大部分を占めており、集合住宅では限られている。この理由には、コストの他、建築的な制約（設置可能面積が限られる）や維持管理（大規模修繕時の更新対応）等が挙げられる。ここで、集合住宅におけるPVシステムの導入形態を整理すると、大きく分けて3つの方式がある¹⁾ (Fig.1)。システム①は共用のパワーコンディショナ（以下、PCS）を介し共用部のみ供給する方式、システム②は電力供給事業者が受変電設備と共に一体運営し、共用PCSを介して各住戸と共用部に供給する方式、システム③は戸建住宅と同様に各住戸にPCSを設置し供給する方式である。現在、導入方式の多くはシステム①であるが、近年では住戸専用部への事例²⁾も増えており、その特性を

把握することは重要であると考えられる。一方、PVシステムの発電特性は、気象条件によって変わることが知られており、PVパネル（以下、パネル）温度の影響³⁾⁴⁾、経年劣化の影響⁵⁾⁶⁾、入射日射角の影響⁷⁾⁸⁾などがある。中でも温度依存性は一般的に知られており、散水によるパネル冷却⁹⁾やパネル裏面への通気層設置¹⁰⁾などパネル温度上昇抑制に向けた取り組みも報告されている。又、屋外に暴露されたPVシステムは外部風速（以下、風速）による対流熱移動によりパネル温度が低下する。この風速によるパネル温度の影響は、酒井ら¹¹⁾がシミュレーションにより試算し報告している。又、JIS C 8907¹²⁾では規格ではないものの、その影響を考慮した推定式を規定している。しかし、実測により風速によるPVシステムの発電量への影響を検討した例は少ない。近年では、建築物のZEB、ZEHに向けアメダス等で入手可能な気象条件から簡易に精度の高い発電量を推定することが求められており、この風速の発電量への影響も把握することは重要であると考えられる。

そこで、本研究では集合住宅におけるPVシステムの更なる普及促進を目的とし、まず、集合住宅向けに設置されたPVシステムの実測結果を述べる。次に、実測結果を基にパネル温度推定式の検証を行い、風速による発電量への影響について検証を行った。

*1 長谷工コーポレーション 技術研究所(〒343-0822 越谷市 西方2968) e-mail:Yoshifusa_Nishimura @haseko.co.jp

*2 明治大学理工学部教授

(原稿受付：2014年12月18日)

2. 集合住宅向けPVシステムの実測結果

2.1 測定概要

PVシステムはパネル1：単結晶、パネル2：多結晶、パネル3：薄膜ハイブリッド、パネル4：アモルファスの4種で埼玉県越谷市にある建物の屋上に設置した。設置方位は全て南向きとし、設置角度はパネル1、パネル3が 30° 、パネル2が 10° 、パネル4は防水シート一体型で水平である。パネル2はFig.1中のシステム③を想定し、設置建物（3階建てRC造の実験用実大集合住宅）の3住戸（1住戸当り1.45kW。1住戸のみ1年間の測定）に各戸供給方式で供給し、他のパネルは共用部への供給を想定したシステム①としている。Table 1にパネルの性能値を示す。測定項目は交流・直流電力の他、パネル表面・裏面温度、入射日射量（パネル1～パネル3はパネルの設置角度に合わせて日射計を設置。パネル4は水平面のため、水平面全天日射量を入射日射量とした。）を、外気条件はパネル2設置建物の屋上で外気温度、風向風速（測定高さは屋上から3m）、水平面全天日射量を測定しており、測定間隔は1分である。PVシステムは2010年から適宜設置し、設置後3～4年程度経過している。本報では2010年3月～2014年4月までのデータを用いた。

2.2 測定結果

(1) 発電量と入射日射量

Fig.2に発電量（パネル1kW当りの日積算交流電力）と入射日射量の関係を示す。各パネル入射日射量が大きくなるにつれ、発電量の増加割合が小さくなり、特に、パネル1とパネル4はその傾向が強い。季節別にみると、パネル1～パネル3は外気温の低い冬期は入射日射に対する発電量の低下割合が小さいが中間期、夏期と外気温が高い季節になるにつれ、低下割合が大きくなりパネル1が最も顕著に表れている。一方で、パネル4では季節差が表れていない。これは、アモルファス太陽電池のアニール効果¹³⁾とも考えられるが、原因の特定は出来なかった。なお、パネル2に対し、パネル1、パネル3の発電量が小さいが、これはパネルの性能やPCSの変換効率の違いであると考えられる。

(2) システム出力係数とパネル温度

Fig.3に入射日射量別のシステム出力係数¹⁴⁾（以下、k値）とパネル裏面温度の関係を示す。図をみると原則、入射日射量が $100\sim300\text{W/m}^2$ ではパネル温度の上昇に伴うk値の低下は小さいが、 $300\sim700\text{W/m}^2$ 、 700W/m^2 以上と入射日射量が大きくなるに従い、k値の低下が確認できる。パネル2の入射日射量 $100\sim300\text{W/m}^2$ は、パネル温度上昇に伴いk値が増加しているが、これは決定係数が低いことが要因であると考えられる。各パネルのk値の低下はパネル温度 20°C を基準として 60°C と比較すると、 $300\sim700\text{W/m}^2$ の場合、パネル1が0.07、パネル3が0.01と小さいが、 700W/m^2 以上の場合にはパネル1が0.22、パネル3が0.11となり、パネル温度の上昇によるk値の低下が確認できる。

(3) 風速とパネル温度

Fig.4に外気温基準パネル温度（パネル温度－外気温：以

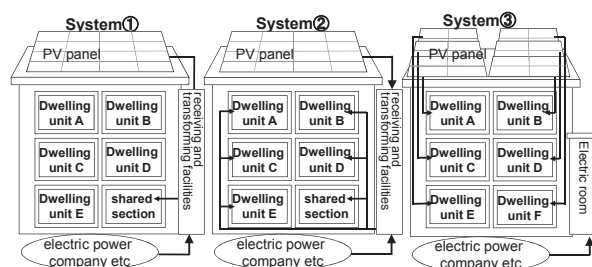


Fig.1 Mode of introduction in collective housing

Table 1 Characteristic for PV system

	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4
Module	Monocrystal	Polycrystalline	Thin-film hybrid	Amorphous
Capacity	1.4kW × 3parallel (1.75W × 8pieces)	1.45kW × 3set (208W × 7pieces)	1.20kW (200W × 6pieces)	0.45kW (90W × 5parallel)
PV Efficiency	13.7%	14.0%	15.6%	5.1%
Max operating voltage	286.4V (35.8V/piece)	186.2V (26.6V/piece)	240.0V (40.0V/piece)	316.9V (316.9V/piece)
Max operating current	14.7A (4.9A/piece)	7.84A (7.84A/piece)	5.0A (5.0A/piece)	1.42A (0.284A/piece)
Inclination Angle	30°	10°	30°	Horizontally
Area	30.72m ² (1.28m ² /piece)	20.80m ² (1.49m ² /piece)	7.68m ² (1.28m ² /piece)	8.75m ² (1.75m ² /piece)
Direction	South			
Setting date	February, 2010	August, 2011	February, 2010	July, 2011

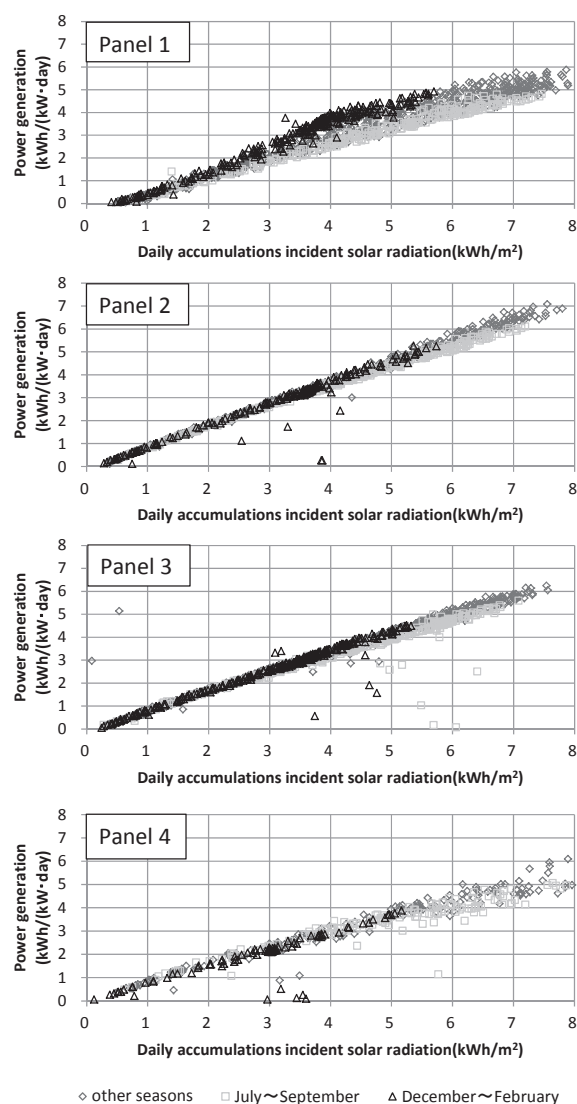


Fig.2 Incident solar radiation and power generation

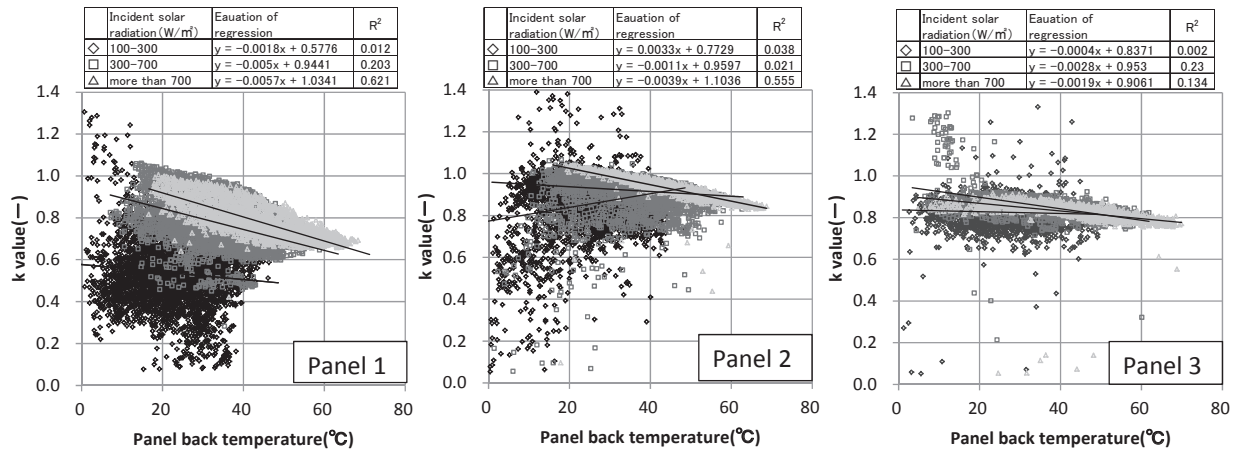


Fig.3 Panel back temperature and k value

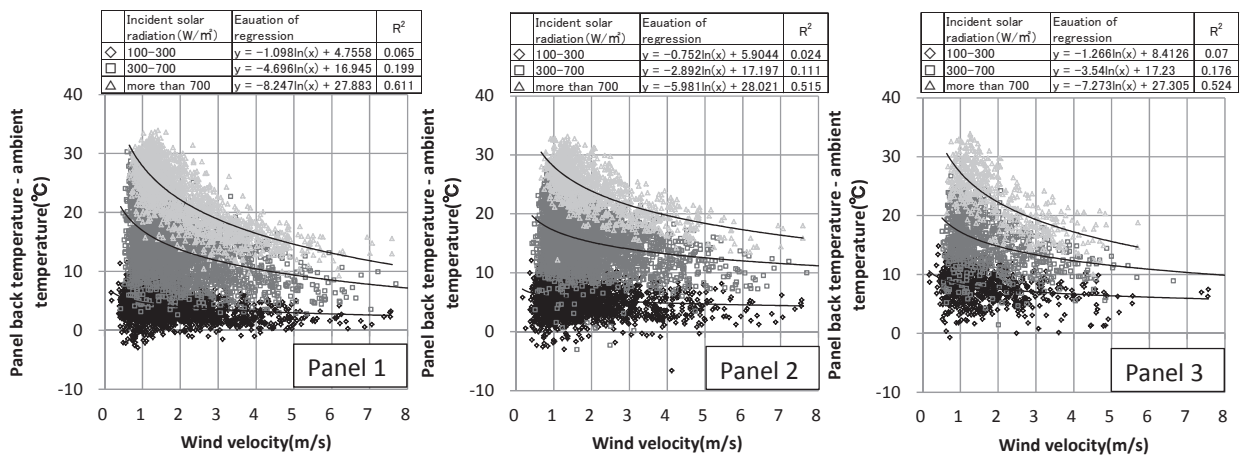


Fig.4 Wind velocity and Panel back temperature on ambient temperature basis

下、基準温度)と風速の関係を示す。なお、敷地の周囲はPVシステムを設置した建物より高い建物があったため、風向は南北にある程度限定されていた。又、比較したパネルは全て架台設置であり、パネルに風速を妨げる障害物等はない。図をみると、いずれのパネルも風速の増加に伴い、パネル温度の低下が確認でき、基準温度の低下は風速1~4m/sの間が最も大きくなっている。入射日射量別に風速1~4m/sのパネル温度の低下をみると、100~300W/m²の基準温度は風速による低下がほとんどなく基準温度は5℃前後で推移している。300~700 W/m²では風速による基準温度の低下が確認でき、基準温度が8℃前後下がり、低下後の基準温度は10℃前後となっている。700 W/m²以上では基準温度が15℃前後下がり、低下後の基準温度は15℃前後となっていることから、風速がパネル温度に一定の割合で影響することが確認できる。

(4) 設置年数別の発電量

Fig.5 にパネル 2 における設置年数別の発電量と入射日射量の関係を示す。図をみるとパネルの設置年数による発電量の違いはほとんど表れず、既報⁵⁾⁶⁾と異なる結果であった。これは、測定期間が設置後4年未満と比較的年数が短いことが要因であると考えられる。他のパネルも同様の傾向(図省略)であったことから、本報では経年劣化の影響

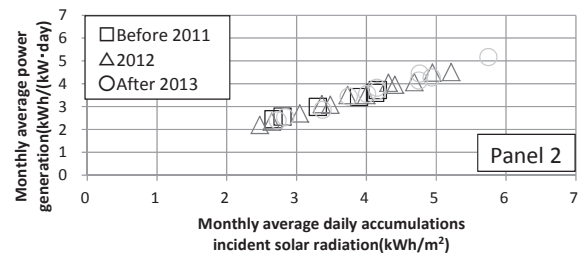


Fig.5 Incident solar radiation and power generation by years

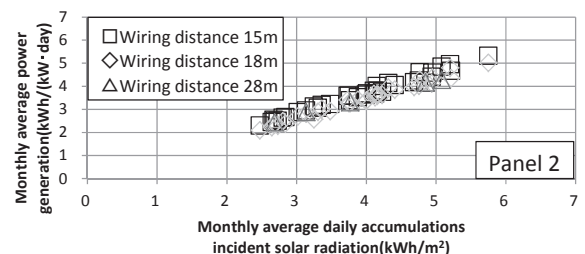


Fig.6 Power generation of dwelling unit (Panel 2)

はないものとして扱った。なお、パネル 4 (防水シート一体型)については屋上躯体に設置され、勾配がほとんどないことから汚れがたまりやすく、経年による性能低下が他のパネルに比べ大きいことが予想される。

(5) 住戸間の発電量の違い

集合住宅で PV システムを導入する場合、ほとんどの場合が屋上設置となるため、配線距離、部分日陰、PCS の経年劣化等、複合的な影響で住戸毎の発電量が異なる可能性がある。そこで、パネル 2 を用いて住戸毎の発電量（パネル 2 の計 21 枚のモジュールを下段から 7 枚ずつ (1.45kW) 各住戸に割り当て住戸毎に設置した PCS で各々系統連係：住戸までの配線距離はそれぞれ 15m, 18m, 28 m) の発電量を比較した (Fig.6)。図をみると発電量に差はほとんどみられないことから、各戸供給方式としても住戸の公平性は保たれると考えられる。但し、今回の測定は低層の実験集合住宅で実施しており、配線距離が大幅に異なる場合や、PCS の経年劣化を含めた検証は今後必要であると考えられる。

3. パネル温度の推定 (パネル 1)

パネルの発電量には温度依存性がある。PV システムの運転特性の評価や発電量への影響を把握するために、パネル温度を予測することは重要であり、これまでも様々な推定式が提案されている。本報では、最も温度依存性の強かったパネル 1 の結果を用いて、既存の提案を含めたパネル温度推定式の検証を行った。Table 2 にパネル部材毎の熱伝導率から算出した表面・裏面の熱伝導抵抗及び熱貫流率を示す。なお、比較に用いたパネル温度は、実測値はパネルの裏面温度、計算値はパネル自体の熱貫流率が大きい、パネルの表面と裏面の温度にほとんど差はないとみなし、パネルの代表温度として扱った。

3.1 相当外気温度と表面熱収支との比較

酒井ら¹¹⁾は計算の簡便さを目的に、相当外気温度 (以下、SAT) とパネル温度が等しいとみなして式 (1) を用いて評価を行っている。

$$\theta_{pa} \doteq SAT = \theta_0 + (a_s J - \varepsilon J_n F_s) / \alpha_0 \quad (1) \quad \text{注 1)}$$

ここで、 θ_{pa} ：パネル温度[℃]、 α_0 ：外表面総合熱伝達率[W/m² K]、 θ_0 ：外気温度[℃]、 a_s ：日射吸収率[-]、 J ：入射日射量[W/m²]、 ε ：放射率 [-]、 J_n ：夜間放射量[W/m²]、 F_s ：パネル傾斜面における天空の形態係数[-]

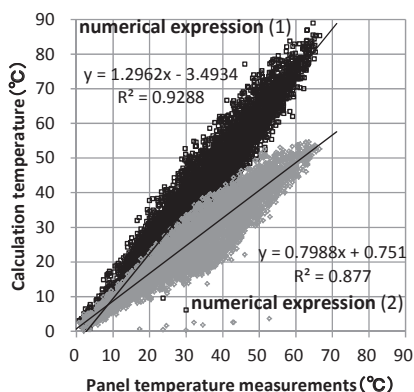


Fig. 7 Panel temperature comparison by expression (1) and (2)

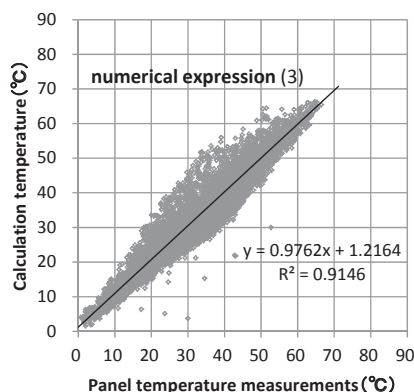


Fig. 8 Panel temperature comparison by expression (3)

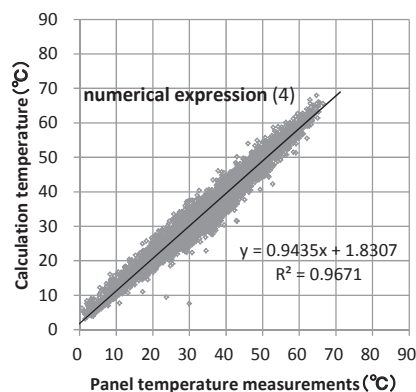


Fig. 9 Panel temperature comparison by expression (4)

Fig.7 に実測値との比較を示す。図をみると実測値に対し計算値が高くなる傾向がみられ温度が高くなるほどこの傾向が強い。これは、SAT は日射量が大きく風速が小さい場合、実際の表面温度に比べ高くなるためであると考えられ、既報¹¹⁾の結果とも一致している。そこで、式 (1) を基にパネル表面の熱収支から以下の式 (2) で比較を行った。

$$\theta_{pa} = -q_s / \alpha_0 + \theta_0 + (a_s J - \varepsilon J_n F_s) / \alpha_0 \quad (2) \quad \text{注 2)}$$

ここで、 q_s ：パネル表面から大気への放熱量[W/m²]

図をみると、実測値より計算値が低くなり温度が高くなるほどこの傾向が強い。これは、パネル表面からの放熱量を過大評価したためだと考えられる。

3.2 JIS C 8907 (附属書 3) との比較

JIS C 8907 (附属書 3) では規定外ではあるが、以下の推定式が提案されている。

$$\theta_{pa} = \theta_0 + (A / (B \times v^{0.8} + 1)) + 2 \times J - 2 \quad (3) \quad \text{注 3)}$$

ここで、 A ：係数(=46)[-]、 B ：係数(=0.41)[-]

Fig.8 に実測値との比較を示す。図をみると近似式では、実測値とよく一致しているが、30℃～50℃の温度では 20℃前後の誤差が表れている。Fig.3 を基にパネル温度と k 値の関係を見るとパネル温度が 20℃変わること、 k 値は 0.1 以上変わることになる。

3.3 パネル表面、裏面の熱収支式との比較

パネル表面のみの熱収支式では実測値と計算値の誤差が大きくなったため、パネルの表面・裏面の熱収支による以下の推定式を用いて比較を行った。

$$a_s J - E = (1 / (1 / \alpha_0 + R_1) + 1 / (1 / \alpha_0 + R_2)) (\theta_{pa} - \theta_0) \quad (4) \quad \text{注 4)}$$

ここで、 E ：発電量[W/m²]、 R_1 ：パネル表面熱貫流抵抗[m²K/W]、 R_2 ：パネル裏面熱貫流抵抗[m²K/W]

Table 2 Heat physical properties value (Panel 1)

coefficient of overall heat transmission	10.35	W/m ² ·K
surface side thermal resistivity	0.005	m ² ·K/W
back side thermal resistivity	0.004	m ² ·K/W

Fig.9 に実測値との比較を示す。図をみると実測値と計算値がよく一致している。式 (4) にはパネルの熱特性値と厚さが必要となるが、式 (3) に比べ誤差が小さく、誤差は概ね $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内となった。本報では、風速の影響を考慮して最も精度の良かった式 (4) を予測式として用いた。

4. 風速のPVシステムへの影響 (パネル1)

4.1 k 値への影響

風速による k 値の影響を推定するため、本報では風速による k 値の変化量 (以下、 k_v 値) で評価を試みた。Fig.10 の k_v 値は Fig.3 の回帰式に Fig.4 の回帰式を入射日射量別に代入後、風速にかかる項を抽出 (式 (5)) し、k 値に与える影響を比較したものである。なお、入射日射量が低い場合は相関が低いが、その場合、風速がパネル温度に与える影響も小さくなる (Fig. 4 参照) ため、回帰式の値はそのまま使用した。

$$\begin{aligned} k_v &= 0.0020 \cdot \log_e(v) \quad (100 \leq J < 300) \\ k_v &= 0.0235 \cdot \log_e(v) \quad (300 \leq J < 700) \quad (5) \\ k_v &= 0.0470 \cdot \log_e(v) \quad (J \leq 700) \end{aligned}$$

図をみると、入射日射量大きい場合は風速の増加に伴い、 k_v 値が上昇しており風速によっては k 値が 0.1 程度変動することが確認できる。

次に、式 (4) を用いて、風速がある場合のパネル温度と風速がないと仮定した場合のパネル温度を算出し、Fig.3 の回帰式に代入することで、計算で求めたパネル温度による k_v 値を算出した (Fig.11)。図をみると入射日射量が 300 $\sim$ 700 W/m^2 で 0.05 程度、700 W/m^2 以上で 0.1 $\sim$ 0.15 程度となり Fig.10 に比べ若干大きいものの同様の傾向が表れている。このため、風速による発電量の影響は、パネル温度による k 値の影響が事前に分かれば、パネル温度を実測していなくてもある程度予測できると考えられる。

Fig.12 に測定期間中における入射日射量 100 W/m^2 以上の場合の風速の発生頻度を示す。図をみると 4m/s 以下で 95% を占めていた。4m/s を超える風速がある場合、 k_v 値は 0.1 程度上昇するが、実際の風速の発生頻度をみると 4m/s 以下の割合が 95% となるため、現実的に、風速による k 値への影響は 0.05 以下がほとんどであると考えられる。

4.2 発電量への影響

風速の発電量への影響をみるため、実際の発電量を基にその影響を検討した (Fig.13)。図中の (1) は実測した発電量を、(2) は実測した発電量から時間別に k 値を算出し、Fig.10 で算出した k_v 値を 1 時間毎の風速別に発電量を減じることにより、風速の影響を排除して求めた発電量を、(3) は同様に、Fig.11 で算出した k_v 値を (2) 同様にして求めた発電量である。図をみると風速による日平均発電量の違いが Fig.10 を用いた場合で約 2%、Fig.11 を用いた場合で 4% 程度となった。既往の研究では年間の k 値は 0.74 程度であることが報告³⁾されており、その中で割合を考慮すると、発電量に及ぼす影響は設置場所が強風地域である場

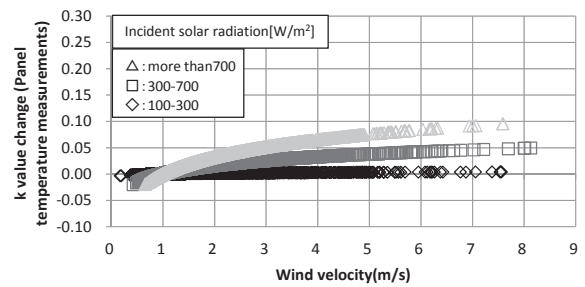


Fig. 10 k value change (Panel temperature measurements)

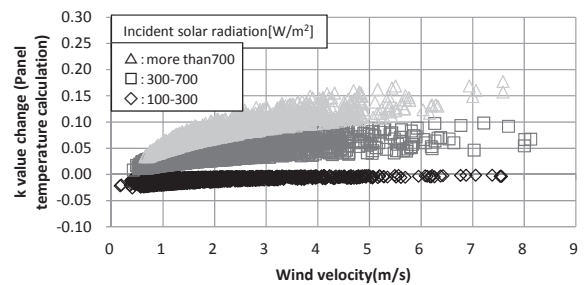


Fig. 11 k value change (Panel temperature calculation)

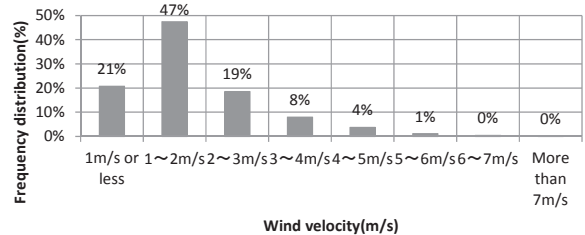


Fig. 12 Frequency distribution of wind velocity

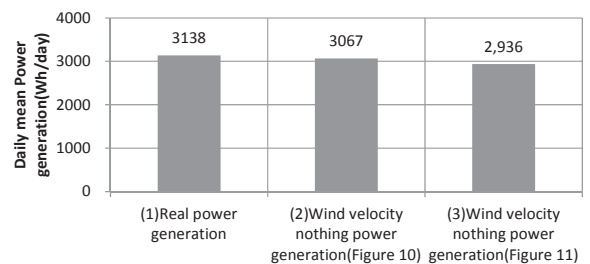


Fig. 13 Influence on power generation by wind velocity

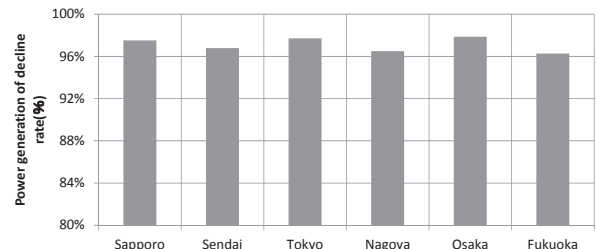


Fig. 14 Influence on power generation by wind velocity (City distinction)

合を除き、限定的であると考えられる。但し、運転特性等を評価する場合では、風速によるパネル温度への影響が大きいため、考慮が必要であると考えられる。

4.3 都市別の発電量への影響

気象データに拡張アメダス気象データ¹⁶⁾の標準年を用い、都市別に風速の発電量への影響を推定した。利用したデータは気温、風速、水平面全日射量の毎時値である。PVシステムはパネル1を想定し、設置角度は30°、設置方位は真南とした。水平面全日射量の直散分離、斜面日射量の算出にはPerezモデルを用い、地表面反射率は10%としている。発電量の算出に用いるk値は0.8（風速が0m/sであるものと仮定）し、風速による発電量の影響はk値0.8からFig.10で算出した風速別のkv値を1時間毎に加算して求めた。Fig.14に結果を示す。

図をみるといずれの地域をみても発電量が3~4%程度低下するが、地域差は小さいことが確認できる。これはFig.15に示す地域別の風速の発生頻度分布からもわかるように、いずれの地域も4m/s以下の風速が大部分を占めることから、発電量の低下が小さく、風速による発電量の地域差は小さいと考えられる。

4.4 設置高さによる影響

風速は周辺の地表粗度によって異なるが地表面から高さが高くなるとともに平均風速は大きくなる。一般的に、屋上に架台設置する場合が多い集合住宅では戸建住宅に比べてパネルが受ける風速が大きくなり、パネル温度の低下が大きくなることも考えられる。そこで、15階建ての集合住宅を想定（設置高さ45m相当）と戸建住宅の屋根に設置した場合（設置高さ9m相当）で風速の発電量への影響を確認した。風速は式(6)のべき法則に従い¹⁷⁾、地表面粗度区分はⅢ^{注5)}を想定し、べき指数は0.2とした。

$$U_z = U_{z0} (Z/Z_0)^\alpha \cdots (6)$$

ここで、 U_z [m/s]; 高さ Z [m] の風速, U_{z0} [m/s]; 基準高さ Z_0 での風速[m/s], α ; べき指数[-]

Fig.16に結果を示す。図をみると高さによる発電量の違いは、ほとんどないことが確認できる。これは、比較を行った高さ方向の風速を仮に戸建住宅で4m/sとした場合、高さ45mの場合は5.5m/s程度となり発電量への影響が小さいためである。このため、設置高さによる風速の発電量への影響はほとんどないと考えられる。

5. 結論

本研究では集合住宅におけるPVシステムの更なる普及を目的に検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- ・集合住宅で、近年導入されてきている各戸供給方式としても住戸間の発電量の差は小さく公平性は保たれる。
- ・風速を考慮したパネル表面とパネル裏面の熱収支を解くことで、精度の良いパネル温度の予測が可能である。
- ・風速の発電量への影響はパネル1の単結晶でも2~4%前後であり発電量に及ぼす影響は小さい。但し、パネル温度への影響は大きく、運転特性等を評価する場合は考慮する必要がある。

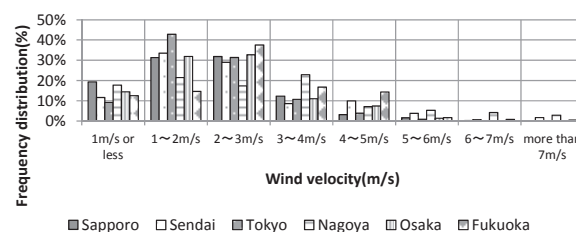


Fig. 15 Frequency distribution of wind velocity (City distinction)

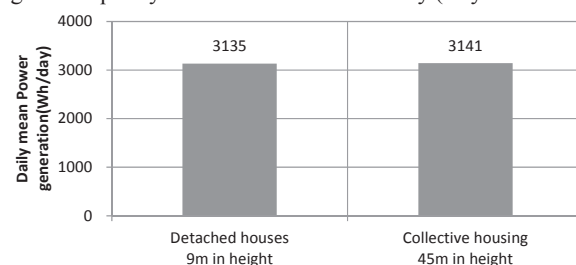


Fig. 16 Influence on power generation by wind velocity (Building height)

- ・集合住宅のような高層建物にパネルを設置する場合でも、風速は増加するが発電量への影響は小さく、戸建住宅と比べてもほとんど違いはない。

注

1) 日射吸収率 a_s は 0.9 [-], 放射率 ε は 0.9 [-], 夜間放射量 J_n は 100[W/m²], パネル傾斜面における天空の形態係数 F_s は 1 とした。総合熱伝達率 α_0 は対流熱伝達率 α_c と放射熱伝達率 α_r の合計となり、対流熱伝達率 α_c は風速 v により異なる。 α_c の算出にはユルゲス式¹⁵⁾ $\alpha_c = 5.6 + 3.9v (v \leq 4.9 \text{ m/s})$, $\alpha_c = 7.2v^{0.78} (v > 4.9 \text{ m/s})$ を用い、 α_r は建築分野で一般的に用いられる 5.1 とした。

2) 式(2)の θ_{pa} ($\equiv \theta_s$: パネル表面温度) は、パネル表面から大気への放熱量が $q_s = \alpha_0 (SAT - \theta_{pa})$ で求められ、瞬時定常状態を仮定すると $K(SAT - \theta_0) = \alpha_0 (SAT - \theta_{pa})$ (K は熱貫流率) が成り立つので、これを变形して求めた。なお、パネル面の熱収支を考えた場合、発電量を考慮する必要があるが、本論文では発電量の影響をみるためにパネル温度を算出していることから、実際のパネル面の熱収支とは異なるが、発電量はないものとして扱った。

3) JIS C 8907 (附属書 3) では運転特性の為の推定式とシステム発電電力量の為の推定式の 2 つが定義されているが、本報では風速の影響が考慮された運転特性の為の推定式を用いた。係数 A, B は太陽電池アレイ設置方式で架台設置形の値を用いた。

4) 式(4)の θ_{pa} ($\equiv \theta_{in}$: パネル内部温度) は以下で算出した。なお、発電量 E は注 2) と同様の理由でないものとして扱った。

$$\begin{aligned} q_{in} &= a_s J - E, \quad q_1 = 1/R_1 (\theta_{in} - \theta_s), \quad q_2 = 1/R_2 (\theta_{in} - \theta_r) \\ q_s &= \alpha_{cs} (\theta_s - \theta_0) + F_s \alpha_{r1} (\theta_s - \theta_{sky}) + (1 - F_s) \alpha_{r2} (\theta_s - \theta_{gr}) \\ &\approx \alpha_0 (\theta_s - \theta_0) \\ q_r &= \alpha_{cr} (\theta_r - \theta_0) + F_s \alpha_{r3} (\theta_r - \theta_{roof}) + (1 - F_s) \alpha_{r1} (\theta_r - \theta_{sky}) \\ &\approx \alpha_0 (\theta_r - \theta_0) \\ q_1 &= q_s, \quad q_2 = q_r \text{ より} \\ a_s J - E &= (1/(1/\alpha_0 + R_1) + 1/(1/\alpha_0 + R_2)) (\theta_{in} - \theta_0) \dots (4) \end{aligned}$$

ここで、 q_{in} : パネル吸収熱量[W/m²], q_1 : パネル中心からパネル表面への伝熱量[W/m²], q_2 : パネル中心からパネル裏面への伝熱量

[W/m²], q_r ; パネル裏面から大気への放熱量[W/m²], α_{cs} ; パネル表面対流熱伝達率[W/m² K], α_{cr} ; パネル裏面對流熱伝達率[W/m² K], α_{r1} ; パネル面と大気との放射熱伝達率[W/m² K], α_{r2} ; パネル面と地表面の間の放射熱伝達率[W/m² K], α_{r3} ; パネル面とパネル下部地面の間の放射熱伝達率[W/m² K], θ_r ; パネル裏面温度[°C], θ_{gr} ; 地表面温度[°C], θ_{sky} ; 大気温度[°C], θ_{roof} ; パネル下部地面温度[°C]

5) ベキ指数は地表面粗度区分により異なり、粗度区分が大きいほど大きくなる。粗度区分Ⅲは樹木・低層建築物が多数存在する地域、中層建築物（4～9 階）が散在している地域であり、板状型の集合住宅はⅢ地域が多いため、粗度区分をⅢとした。

参考文献

- 1)立花, 山鹿, 木村, 木村: 太陽光発電搭載マンションに関する研究 その 1 導入形態と課題の抽出, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.159-160, 2010.9
- 2)宮田, 依田: 全世帯太陽光発電システム付集合住宅におけるエネルギー消費量と居住者の省エネルギー意識に関する調査研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.1305-1306, 2009.8
- 3)田中, 酒井, 中上, 石原: 首都圏に設置された住宅用太陽光発電システムの計測・解析結果: 太陽光発電システムの住宅への応用に関する研究 その 2, 日本建築学会環境系論文集, No.544, pp.39-46, 2001.6
- 4)赤木, 森山, 芝池, 竹林: 太陽光発電システム発電量の予測方法における太陽電池セル温度の影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.531-532, 2001.7
- 5)塩谷, 田中, 大関, 黒川: 太陽光発電の建築的利用に関する研究: (その 3) 屋根一体型太陽電池の長期発電性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.541-542, 2001.9
- 6)安藤, 龍: 太陽光発電システムの経年劣化とそのモデル化に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.477-478, 2008.9
- 7)松川, 塩谷, 黒川, 杉浦: 太陽光発電システムの建築的利用に関する研究: (その 2) 異傾斜角・異方位角の混在が発電特性に及ぼす影響評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.447-448, 2000.7
- 8)黒田, 曾我, 赤坂: 方位、傾斜角の異なる太陽電池発電量の同時測定と解析: 夏季における PV モジュールの反射ロスの分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.691-692, 2003.7
- 9)坂本, 川瀬: 太陽光発電モジュールの散水冷却による発電効率向上にかかわる実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-II, pp.673-674, 2005.7
- 10)上野, 中上, 酒井, 石原: PV パネルにおける裏面通気層厚さとパネル温度の関係, 日本太陽エネルギー学会誌, Vol.30, No.4, 162 号, pp.64-71, 2004.7
- 11)酒井, 中上, 田中, 真鍋, 石原: 九州地域における住宅用 PV システムの発電量推定, 日本太陽エネルギー学会誌, Vol.30, No.4, 162 号, pp.56-62, 2004.7
- 12)日本工業規格: JIS C 8907: 太陽光発電システムの発電電力量推定方法, 2005
- 13)太陽光発電協会: 太陽光発電システムの設計と施工(改訂 3 版), オ

ーム社, 2009

- 14)黒川, 若松: 太陽光発電システム設計ハンドブック, 太陽光発電技術研究組合, オーム社, 1994
- 15)田中, 武田, 足立, 土屋: 最新建築環境工学(改訂 2 版), 井上書院, 2003
- 16)日本建築学会: 拡張アメダス気象データ, 2000
- 17)日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2004