

PVパネルにおける裏面通気層厚さと パネル温度の関係

A Study of the relation between vent layer thickness and panel temperature in the PV system

上野 兼吾^{*1}
Kengo UENO

中上 英俊^{*2}
Hidetoshi NAKAGAMI

酒井 孝司^{*3}
Koji SAKAI

石原 修^{*4}
Osamu ISHIHARA

Abstract

It is known that the generating efficiency of PV system lowers by the weather conditions, installation situations of the system, and so on. The lowering of the generating efficiency with PV panel temperature rise is one of the factors. As one of the methods for suppressing the rise in the panel temperature, it is considered that the back of panel is equipped with the vent layer, and it has been adopted actually PV system. However, the guideline or knowledge of the thickness and length of vent layer is in little present state. Then, the examination was carried out using experiment and numerical analysis in order to clarify the relationship between thickness and panel temperature of panel vent layer. From the results, it was confirmed that the control of the panel temperature rise was possible by the vent layer installing, and design guidelines on thickness and length of vent layer were obtained.

キーワード : PV システム, PV パネル温度, 通気層厚さ, シミュレーション

Key Words : PV system, PV panel temperature, Vent layer thickness, Simulation

1. はじめに

太陽光発電システムにおいて、PVパネル温度と発電効率が密接な関係にあることが知られており¹⁾、筆者らもPVパネル温度の上昇に伴う発電効率の低下を確認している²⁾。

パネル温度低下を試みる研究が多くなされており³⁻⁶⁾、住宅用PVシステムでは、パネルと屋根面の間に通気層を設ける例が報告されている^{2,6)}。これは高温となったパネル面から通気層内の空気が熱を奪うことにより温度上昇の抑制を期待するもので、同様の手法として太陽熱を空気で集熱する方法があり、有用性が確認されている⁷⁾。しかし、PVシステムの場合、実際の設置状況下における通気層の効果や、通気層厚さ等に関する指針は少ない現状にある。

そこで本研究では、PVパネル裏面に自然通気層を設けた場合におけるパネル温度上昇抑制効果の定量的把握を目的とし、通気層厚さの異なるPVパネルを屋外に暴露して実測を行った。また、通気層を持つPVシステムの計算モデルを作成し、熱収支解析を行った。本論文では、実測・解析結果の比較検討により、通気層の冷却効果、通気層厚さとパネル温度の関係について検討した結果を報告する。

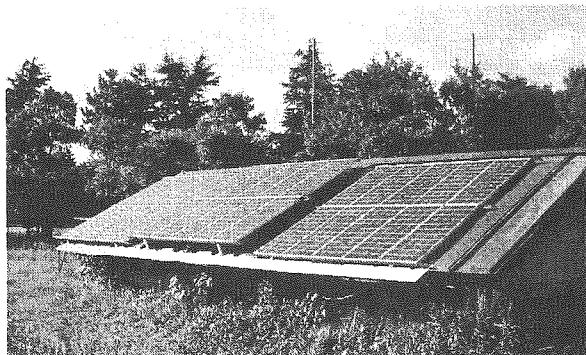


Fig.1 PV system (Attic model in Kumamoto)

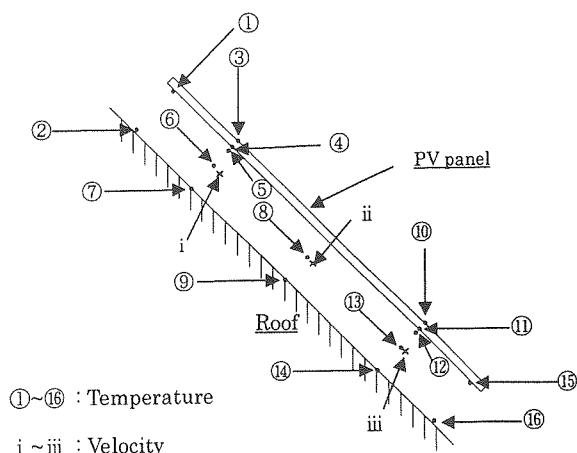


Fig.2 Measurement points of Attic model

*1 当時熊本大学大学院生
現テクノ工営(〒160-0023 新宿区西新宿7-7-6)
e-mail: k-ueno@techno-knet.co.jp

*2 住環境計画研究所所長

*3 大分大学工学部助教授

*4 熊本大学工学部教授

(原稿受付: 2004年3月12日)

Table.1 Experimental condition

	Type-B	Type-C	Type-A
Thickness of layer	100mm	200mm	60mm
Connection			

Table.2 Characteristics of the PV panel

Module Type	Poly-crystalline
Output	61.3W
Optimum Voltage	20.7V
Optimum Current	2.96A
Dimension	1195×445×36mm
Product Date	Dec, 1991
Constitution	Tempered glass : 3.2mm EVA resin : 1mm, PV cell : 0.3mm Polyethyleneterephthalate film : 2mm

Table.3 Power generation and Generation efficiency

	Power generation [Wh]	Generation efficiency [%]
Type A	550	7.8
Type B	560	8.0
Type C	570	8.1

2. 通気層を有する PV パネル設置実験

2.1 実験概要

2002年8月より熊本大学地域共同センター敷地内の小屋裏実験模型⁸⁾の屋根に通気層を設けてPVパネルを設置した。模型は、小屋裏内の温熱性状把握を目的として屋根部分のみ建築されたものである(以下、小屋裏模型と略す)。

図1にPVパネル設置状況、表1に実験タイプとPVパネル結線図、表2にPVパネル特性を示す。実験では、通気層厚さ60, 100, 200mmの3種(以下、タイプA, B, C)を南屋根面(傾斜角20°)に設置し、同時に測定している。なお、各タイプは、PVパネル縦2枚、横5枚の計10枚で構成しており、通気層下端から上端までの長さは2390mmで、通気層側面は、横風の影響を防ぐため閉じている。発電量計測にはIVカーブトレーサ(英弘精機・MP-123s)を用い^{注1)}、各タイプを上下に分け、中央部の3枚を測定対象とした。また、各PVパネル温度、通気層内温度や外界気象も併せて計測している^{注2)}。図2に通気層断面と温度・風速測定点を示す。計測は5分間隔で、風速計測には熱線風速計(カノマックス・6242)、日射量計測にはソーラーメータ(英弘精機、MS-100)を用いた。

2.2 実測結果

晴天日であった2003年9月4日のデータを用い、通気層の効果について検討を行う。図3に外界気象、図4に外部風の状況を示す。なお、風向は測定していないため、熊本気象台の測定値を参考として示す。図5にPVパネル表面・

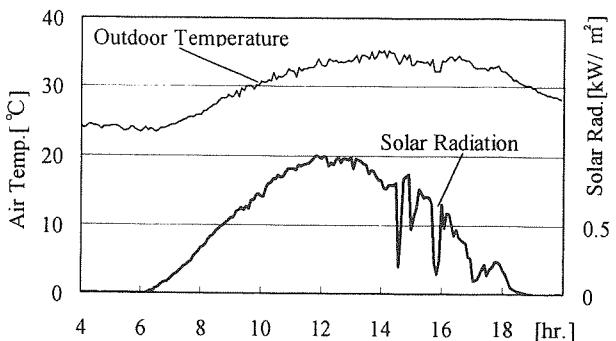


Fig.3 Weather condition (Sep.4th, 2003)

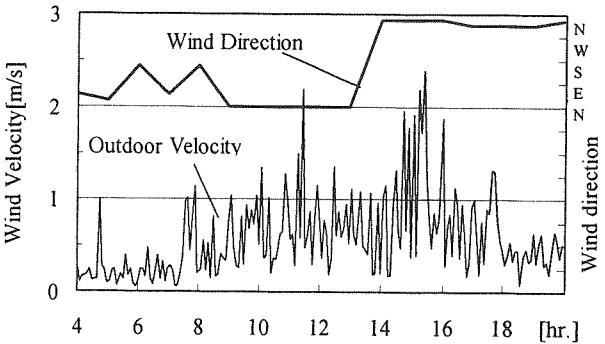


Fig.4 Outside wind condition (Sep.4th, 2003)

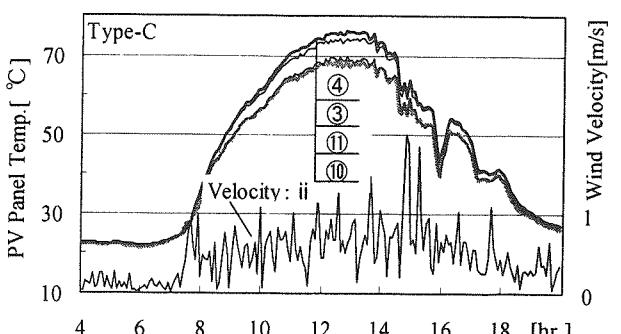
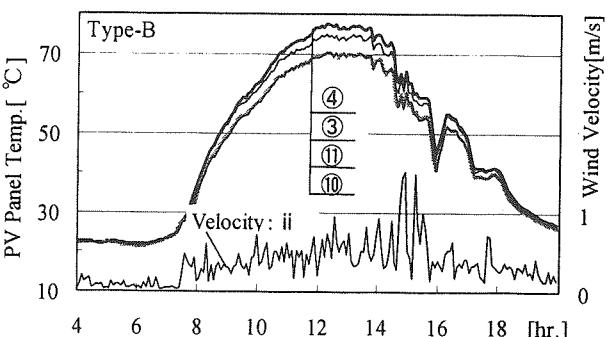
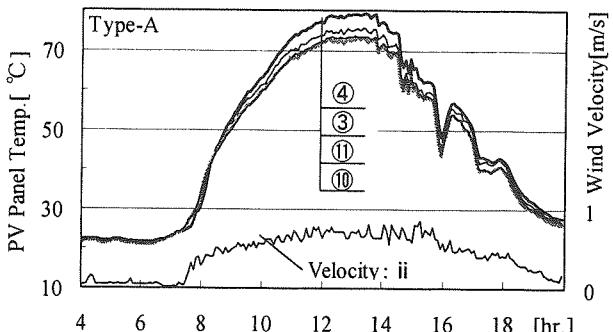


Fig.5 PV panel temp. and inside velocity (Type A, B, C)

裏面温度(タイプA～C)の経時変化、表3に日積算発電量と発電効率を示す。図中の③④等は、図2の測定位置を表す。

各タイプのパネル温度は、正午頃70°C以上となることがわかる。表面と裏面温度を比較すると、表面よりも裏面温度の方が2～5°C高い結果となり、タイプAの上部パネルではピーク時で6°C程度高い。これは、外部風に比べて通気層内の風速が小さいため、通気層内の対流熱伝達量が少なくななり、パネル温度が上昇したものと考えられる。また、パネル上下間の比較では、下部パネルに比べて上部パネルが5～7°C高い結果となる。通気層内空気が集熱により高温となった結果、上部での対流熱伝達量が少なくなったものと思われる。

タイプ別の比較では、通気層厚さが大きくなるに従い、上部裏面温度が低くなる傾向が確認できる。最も通気層厚さが大きいタイプCは、タイプAに比べて最大5°C程度低い値となる。また、発電量、発電効率ともタイプCが他に比べて僅かに高い結果となった。

タイプAの通気層内風速は、安定に推移しており、外部風の影響が少ない結果となった。タイプB,Cの層内風速には外部風の影響が若干みられる。このことから、通気層厚さが小さい場合、浮力が気流の駆動力として働き、厚さが大きくなると外部風速の影響が加わると考えられる^{注3)}。

3. 热収支シミュレーション

3.1 シミュレーション概要

通気層厚さや通気層長さがパネル温度に及ぼす影響の把握を目的とし、通気層を有するPVパネルの熱収支シミュレーションモデルを作成した^{9,10)}。図6に本論文で想定したPVパネルの熱収支概念図を示す。PVパネルに入射した日射の一部は電気エネルギーに変換され、残りは熱として吸収される。パネルに吸収された熱は、対流熱伝達により層内空気を暖め、一部は屋根面への放射熱となる。層内の空気は、パネル・屋根からの対流熱伝達により暖められる。その結果、通気層出入口に温度差による浮力が生じ、更に外部風による風圧力が加わって層内で上昇気流が形成される。この通気層内上昇気流によりPVパネル温度の温度上昇の抑制がなされるものと想定した。通気層下部から上部の温度上昇を考えるため、PVパネルおよび通気層を1枚当たり3分割し、各部における熱収支を考える。

各表裏面の対流・放射熱授受を考慮し、パネル温度に関する非定常熱収支を考えると式(1)が定まる。通気層内で、下部からの流入熱量、上部への流出熱量、PVパネル裏面と屋根面からの対流熱伝達、および層内空気の温度上昇分がバランスするものと仮定すると式(2)が得られる。屋根内部の熱伝導は1次元熱流と仮定し、式(3)で評価した。なお、屋根表面では、対流・放射による熱流と屋根内伝導が釣り合うものとし(式(4,5))、パネル-屋根表面間の放射熱授受は無限平行平板を仮定している(式(6))¹¹⁾。

通気層内の気流速は、層内表面や出入口の形状、外部

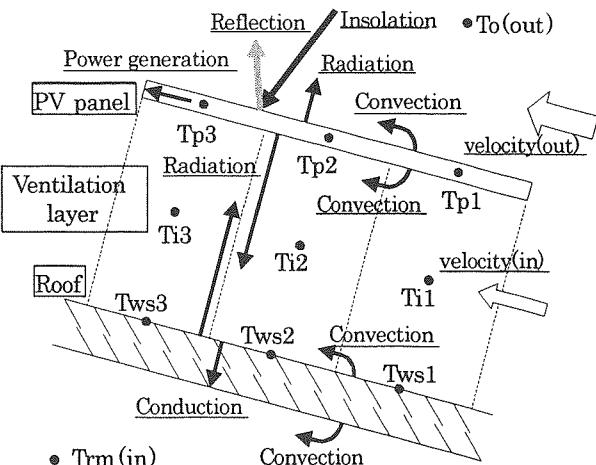


Fig.6 Heat balance and transfer model of vent layer

Table.4 Basic equation of heat balance model

$$c_p \rho_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = \frac{1}{dx_p} \left\{ a_s J - \varepsilon Jn - (\alpha_o + \alpha_{ro})(T_p - T_o) - \alpha_i(T_p - T_i) - \alpha_{ri}(T_p - T_{ws}) - Pg^* \right\} \quad (1)$$

$$c_a \rho_a \frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{1}{dx_a} \left\{ \alpha_i(T_p - T_i) + \alpha_i(T_{ws} - T_i) + c_a \rho_a \frac{v_i}{dy_a} (T_{i-1} - T_i) \right\} \quad (2)$$

$$c_w \rho_w \frac{\partial T_w}{\partial t} = \lambda_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial z^2} \quad (3)$$

$$\lambda_w \frac{\partial T_{ws}}{\partial z} \Big|_{z=z_o} = \alpha_{ri}(T_p - T_{ws}) + \alpha_i(T_i - T_{ws}) \quad (4)$$

$$\lambda_w \frac{\partial T_{wr}}{\partial z} \Big|_{z=z_r} = -\alpha_i(T_{rm} - T_{wr}) \quad (5)$$

$$\alpha_r = \frac{\varepsilon_p \varepsilon_{ws}}{\varepsilon_p + \varepsilon_{ws} - \varepsilon_p \varepsilon_{ws}} \sigma (T_p^3 + T_p^2 T_{ws} + T_p T_{ws}^2 + T_{ws}^3)^* \quad (6)$$

$$P_{io(n)} = P_i + (\gamma_o - \gamma_{i(n)}) h - C_{w(n)} \frac{\gamma_o}{2g} V^2 \quad (7)$$

$$Q_{m(n)} = \gamma_o \text{sign}(P_{io(n)}) \beta_{(n)} A \sqrt{\frac{2g}{\gamma_o} |P_{io(n)}} \quad (8)$$

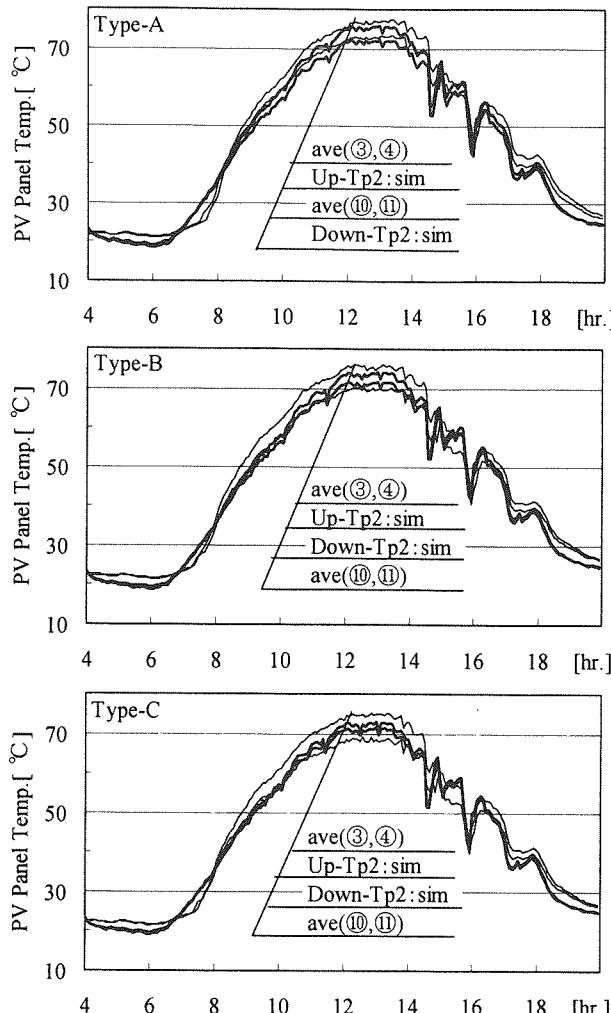
$$\gamma = \frac{353.25}{T + 273.15} \quad (9) \quad \beta_{(n)} = \left(\zeta_{(n)} + \lambda_r \frac{dy}{2dx} \right)^{-1/2} \quad (10)$$

$$\alpha = 5.6 + 3.9v \quad (v \leq 5.0) \quad \alpha = 7.1v^{0.78} \quad (v \geq 5.0) \quad (11)$$

$$Pg = \eta J \{1 + \mu(T_p - 25)\} \quad (12)$$

記号

J : 入射日射量[W/m²K], Jn : 夜間放射量[W/m²K], T : 温度[°C], Pg : 発電量[W/m²], v : 層内風速[m/s], V : 外部風速[m/s], a_s : 日射吸収率(0.85)[-], ε : 長波長放射率(0.9)[-], α : 対流熱伝達率[W/m²K], α_r : 放射熱伝達率[W/m²K], $c\rho$: 容積比熱[J/m³K], dx : 厚さ[m], dy : パネル長[m], λ_w : 壁材の熱伝導率[W/mK], dt : 時間差分(300)s, P : 圧力[Pa], Q_m : 換気質量[kg/s], γ : 空気密度[kg/m³], ζ : 形状抵抗係数(通気層入口0.48、出口0.81)[-], λ_r : 摩擦抵抗係数(0.04)[-], C_w : 風圧係数(通気層入口0.55、出口-0.15)[-], n : 分割番号(1～n), z : パネルに鉛直な座標[m], η : 変換効率(0.12)[-], μ : 温度係数(多結晶:-0.0055)[-], 添字p: パネル, 添字i: 通気層, 添字ws: 屋根外表面, 添字wr: 屋根内表面, 添字o: 外気, 添字rm: 屋根裏, *: 反復計算の前回値



風速などの影響を受けて定まると考えられる。本論文では、通気層出入口の風圧力、層内温度差による浮力により生ずる圧力差を考え、換気量を求めた式(7~9)¹²⁾。なお、層出入口・層内形状は、抵抗係数を用いて評価した式(9,10))。

面および屋根表面における対流熱伝達率の評価にはユルゲスの式¹¹⁾を用い、PVパネル表面には外部風速を、PVパネル裏面、屋根表面には式(8)から求めた内部気流速を代入して対流熱伝達率を決定することとした式(11))。傾斜面全天日射量・外気温・外部風速には実測値を用いた。なお、初期値には実測値を用い、計算は5分間隔で行っている。

計算では、前回値より、通気層内気流速を算出して対流熱伝達率を決定する。次に式(1)~(5)を連立して収束計算させることで T_p, T_i, T_{ws} を算出する。算出された T_p を用い、式(12)より発電量を求める。これらを時間ステップで繰り返し、諸量を得ている。

3.2 シミュレーションの精度検証

前節で作成した熱収支モデルの妥当性を検証するため、筆者らが過去に実測を行ったPVシステムを対象として、シミュレーションを行い、実測値との比較・検討を行った。

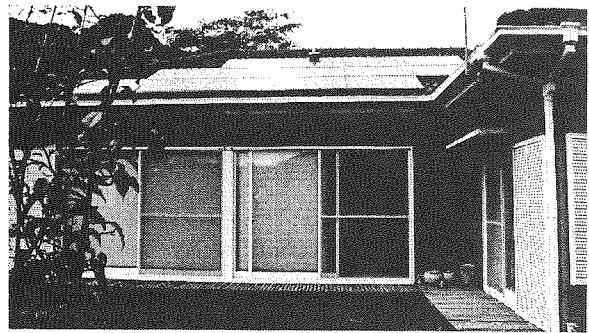


Fig.8 PV system (Kitago, South)

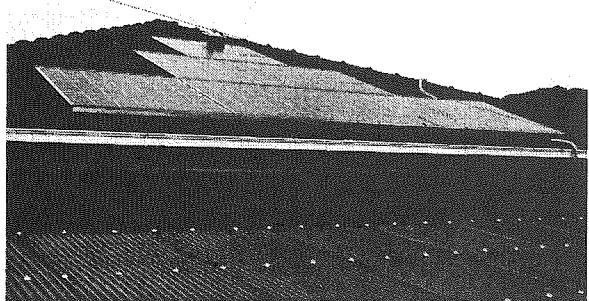


Fig.9 The PV system (Kitago, West)

比較対象は、2章で示した小屋裏模型および熊本大学地域共同センター敷地内にある重量鉄骨造(以下、実験棟)¹³⁾、宮崎県北郷町(以下、北郷町)の実測結果¹⁴⁾とした。

(1) 小屋裏模型との比較 前章で示した小屋裏模型の実測結果を対象に計算を行った。比較には前章で考察を行った2003年9月4日の測定データを用いた。図7にPVパネル温度の実測、計算結果の経時変化を示す。なお、図中のPVパネル温度は、パネル表面・裏面温度の平均値である。

パネル温度の計算結果は、3パターンとも実測結果と同様な変動を示しており、通気層厚さが大きいほどパネル温度が低下する様相が再現されている。タイプAでは正午付近で計算結果が1°C程度低く算出されている。またタイプCでは、計算が実測に比べて上部パネルと下部パネルとの差が小さく算出されており、計算が通気層厚さの影響を大きく評価していることがわかる。実測では層内風速の変動が大きいが、計算では比較的安定した値であった。このため、表面の対流熱伝達率が異なったものと考えられる。

(2) 北郷町との比較 北郷町のPVシステムでは、PVパネルが南面に14枚、西面に7枚分散設置してある。図8、9にPVパネル設置状況を示す。南面・西面の中央部を対象に計算を行い、実測値と比較検討した。北郷町では外部風速、屋根裏室温を測定していないため、外部風速は気象台観測データから、小屋裏室温は熊本大学実験棟の外気温と小屋裏室温の実測結果から推定することとした^{注4)}。

計算には日射量の比較的安定した2002年7月31日のデータを用いた。図10,11に外界気象、図12,13に南面パネル温度、西面パネル温度の計算、実測結果をそれぞれ示す。なお、北郷町の屋根面は丸瓦でしあげられており、通気層の厚さは、山部20mm、谷部40mmであった。計算では、通気層厚さをその平均から30mmと設定した。

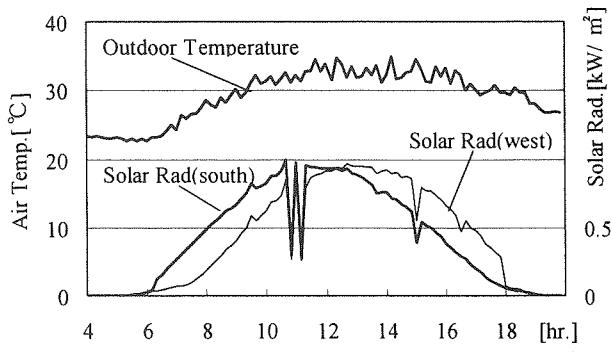


Fig.10 Weather condition (Kitagou, July 31th, 2002)

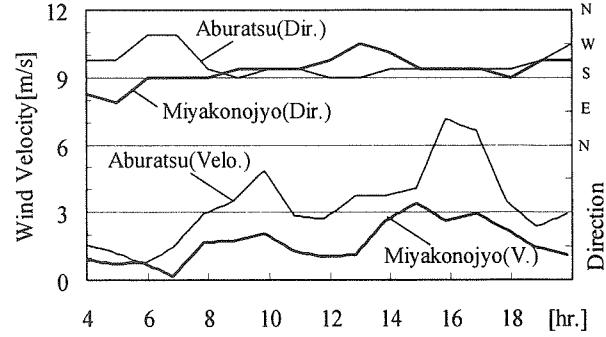


Fig.11 Outside wind conditon (Kitagou, July 31th, 2002)

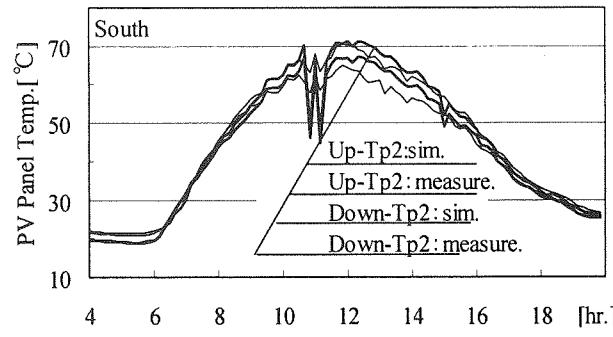


Fig.12 PV panel temperature (South, Kitagou)

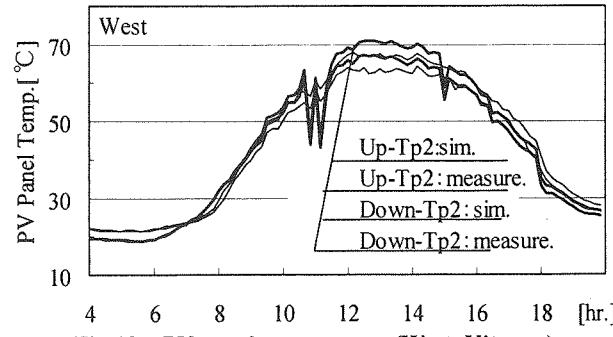


Fig.13 PV panel temperature (West, Kitagou)

実測結果のパネル上部(Tp8)・下部(Tp2)の温度を比較すると日射量が多くなる正午付近で最大 10°C の差が確認できる。計算結果においてもこの現象が再現されているが、正午付近を比較すると計算結果のほうが常に 5°C 程度高くなる結果となった。原因として、外部風速を気象台観測地点から推定値としたことが考えられる。

(3) 実験棟との比較 実験棟は重量鉄骨造の 2 階建て建物であり、陸屋根面に PV パネルを傾斜角 30° で北・南面にそれぞれ 60 枚設置してある。PV パネルは表面・裏面ともに外気にさらされている。図 14 に PV パネルの設置状

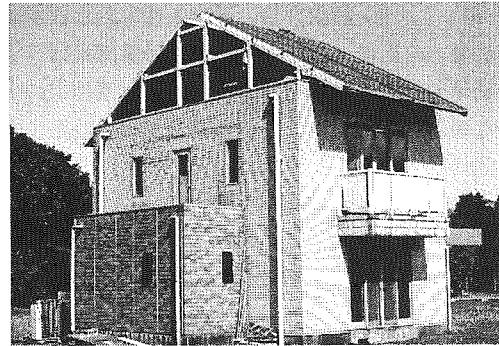


Fig.14 PV system (Experimental residence in Kumamoto)

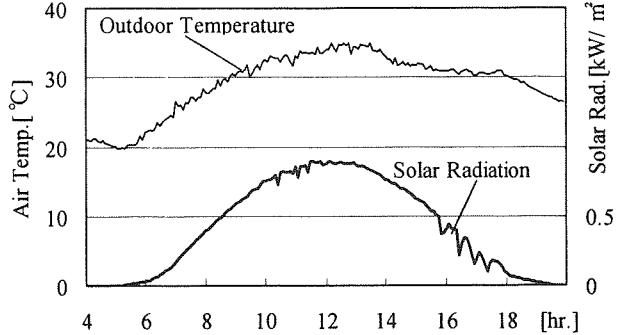


Fig.15 Weather condition (Kumamoto, July 11th, 2002)

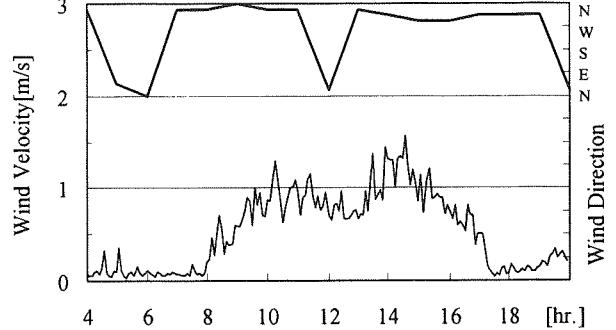


Fig.16 Outside wind condition (Kumamoto, July 11th, 2002)

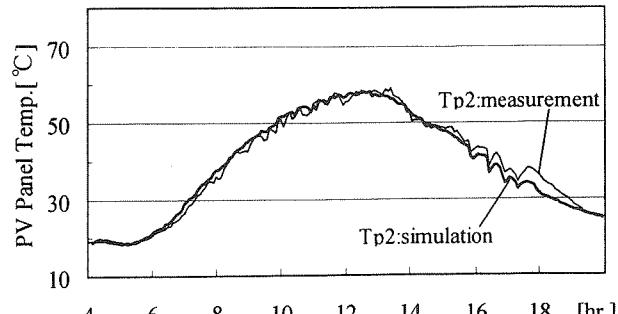


Fig.17 PV panel temperature (Kumamoto)

況を示す。

計算では、PV パネル裏面における対流熱伝達率を、パネル表面と同様であると想定し、外部風速を用いて評価している。計算には晴天日であった 2002 年 7 月 11 日のデータを用いた。図 15 に外界気象、図 16 に外部風速を示す。

図 17 に実測、計算で得られた PV パネル温度の経時変化を示す。計算結果と実測値は、夕方 18 時ごろを除き、よく一致している。実験棟の計算では設置地点の気象データを利用したため、実測と一致したものと考えられる。夕方の不一致は、外部風速データの低下が要因と思われる。

(4)まとめ 今回、設置方法の異なる住宅および実験棟での実測結果との比較・検討を行った。計算結果は、実測結果の変動傾向をよく再現しており、特に設置地点のデータを用いた場合では、実測と同等の結果が得られた。以上より、今回作成した計算モデルは、PVパネル温度推定法として十分な精度を有すると考えられる。

4. 通気層の変化によるPVパネル温度経時変化

2章の実測から、通気層厚さによりパネル温度上昇の程度が異なることが確認された。PVパネルの温度上昇要因として、通気層厚さに加えて通気層長さの影響も考えられる。そこで、前章で精度確認を行ったシミュレーション法を用いて、通気層厚さ、通気層長さがパネル温度に及ぼす影響について検討を行う。

計算は、通気層長さを3mとして通気層厚さを10, 30, 50, 70, 100, 125, 150mmに変化させた場合と、通気層厚さを30mmとして通気層長さを1, 2, 3, 4mと変化させた場合、比較対象として陸屋根面に架台設置した場合の総計12ケースについて行った。なお、通気層厚さ30mm、長さ3m(PVパネル3枚に相当)は、北郷町のPVシステムに相当する。外界気象データは、2003年9月4日熊本の外界気象を用いた(図3, 4)。

4.1 通気層厚さの影響

図18に、通気層厚さを変化させた場合におけるPVパネル温度の経時変化を示す。なお、グラフのPVパネル温度は最上部のパネル温度で、図18下は日中の変化を拡大表示したものである。参考として、陸屋根面に架台設置されたPVパネル温度(以下、架台設置)を併せて示す。

パネル温度は、架台設置が最も低く、通気層厚さが小さいほど温度が高くなる。通気層厚さ100mmでは、10mmと比較して最大で20°C程度低くなっている。通気層厚さを大きく設けることによるPVパネル温度上昇抑制効果が確認できる。また、通気層厚さ100~150mmの結果は、ほぼ同程度となった。これらより、PVパネルの温度抑制を考えた場合、通気層厚さとしては、30mm以上が望ましく、100mm程度でよいことがわかる。

4.2 通気層長さの影響

図19に、通気層長さを変化させた場合におけるPVパネル温度の経時変化を示す。なお、グラフは最上部パネルの温度である。通気層長さ1mの結果が最も低く、通気層長さが大きくなるに従い、上部パネルの温度が高くなっている。通気層長さ1mと4mの結果を比較すると、最大10°Cの差が確認できる。通気層内空気は、パネルから熱を取得しながら上昇する。そのため、通気層が長い場合、層上部で空気温とパネル温度の差が小さくなり、相対的に熱取得量が減少したものと考えられる。従って、PVパネルの温度抑制を考えた場合、通気層長さとしては、短いほうが望ましいことがわかる。

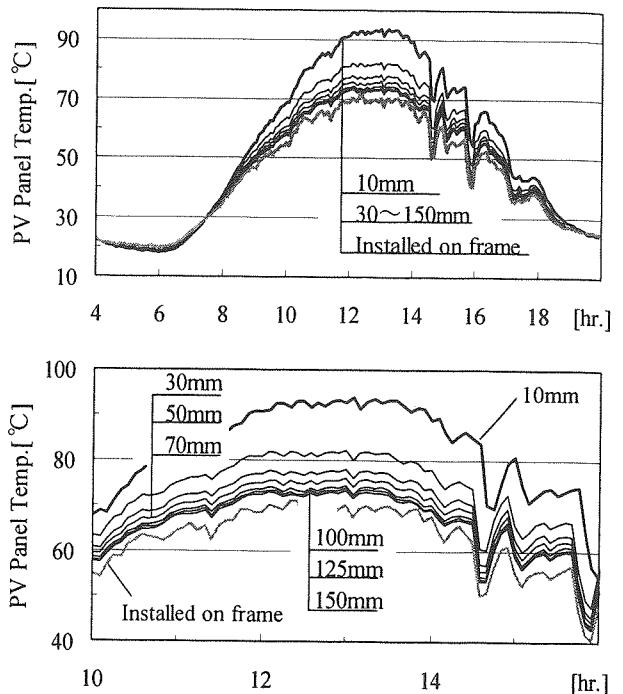


Fig.18 PV panel temperature (Thickness Change)

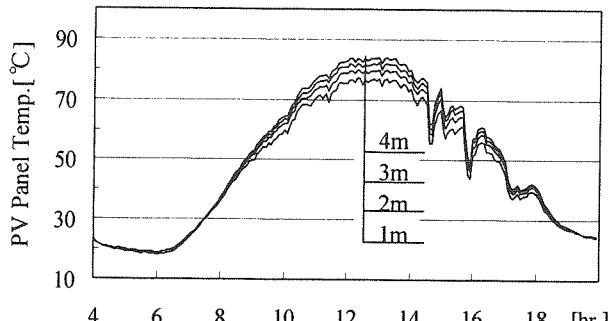


Fig.19 PV panel temperature (Length Change)

4.3 PVパネル温度ピーク時における熱収支

各検討ケースの13時におけるPVパネル表裏面・通気層内の熱移動量を模式化したものを図20に示す(一部省略)。全てのケースにおけるパネル裏面から層内空気への対流熱伝達量は、通気層下部に比べて層上部が小さい。また、層内空気は、層下部に比べて上部の温度が高くなっている。

通気層内空気温は通気層厚さが増すに従い、通気層内へ流入する風量が増加するため、外気温度に近い値を示すようになる。そのため、上部パネル裏面における対流熱伝達量が増加し、パネル温度上昇が抑制されていることが確認できる。

通気層厚さ10mmにおける通気層上部のパネルからの対流熱伝達量は58W/m²となり、他のケースの1/3~1/5程度である。層内空気温とパネル温度の差は5°C程度であり、通過空気との熱授受が行われていないことがわかる。また、屋根表面温度とパネル温度の差が他に比べて小さくなるため、パネルからの放射伝達量も小さくなるが、対流に比べれば差は小さい。

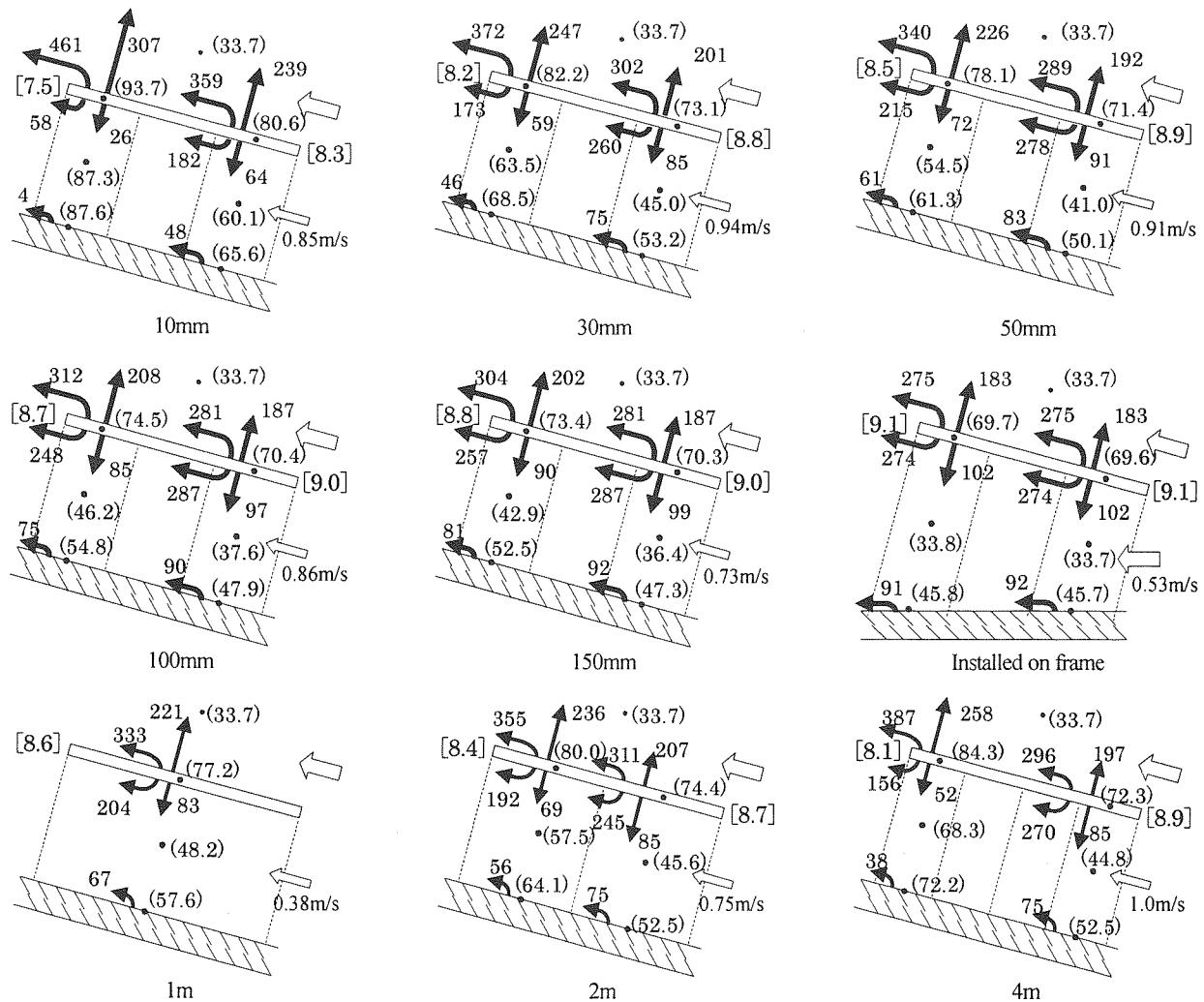


Fig.20 Convective heat transfer quantity and radiant heat transmission quantity in the upper/lower panel

Insolation : 986W/m². Outside velocity : 0.53m/s.(Numerical value indicate heat flux of surface[W/m²], () indicate temperature[°C], [] indicate generation efficiency [%])

通気層厚さ 100mm と架台設置時における PV パネル温度は、通気層厚さ 100mm では 74.5°C、架台設置 69.7°C であった。パネルからの対流伝達量は、それぞれ 248、274W/m²であった。通気層厚さ 30~150mm における下部パネルからの対流熱伝達量は、260~287W/m²とほぼ同程度となる。しかし、厚さ 10mm では 182W/m²と、他に比べて 100W/m²程度小さい値を示す。これは、通気層入口の形状抵抗の影響により流入風量が少なくなり、層下部の空気温度が高くなつたためである。

通気層上部の空気温度は、通気層 100mm に比べて 150mm が若干低い。しかし、対流熱伝達量はほぼ同程度となっている。従って、通気層厚さが大きいほどパネル温度低下が大きくなると考えられるが、100mm 以上としても大きな改善効果が期待できないことがわかる。PV パネル設置の際の屋根面形状、設置架台などの制約を考慮すると通気層厚さ 100mm 程度を設けるのが適当であると考えられる。

通気層長さ 1m と 4m を比較すると、パネル上部における裏面での熱放出分（対流熱伝達量、屋根面への輻射熱伝達量の和）は 287W/m²と 208W/m²、通気層出口温度は 77.2°C

と 84.3°C となる。また、パネル温度と通気層内空気温度を比較すると、通気層長さ 1m では 29°C、2m で 23°C、3m で 19°C、4m では 16°C と、その差は通気層長さが大きくなるに従って減少する。これは、通気層内空気が、パネルから熱を取得しながら上昇し、上部では空気温とパネル温度の差が小さくなつて相対的に熱取得量が減少したことを示している。

通気層長さ 1m と 4m の層内風速は、0.38m/s と 1.0m/s であった。通気層長さが大きくなるに従い、層内の摩擦抵抗が大きくなる一方、通気層出入口の温度差は大きくなり、空気密度差に起因する換気力が増大したためと考えられる。従って、上部パネル温度で考えると通気層長さは短いほうがパネル温度低下には有利となる。これらの検討は、通気層厚さ 30mm の場合についてであるが、厚さを 100mm にした場合、上部パネルの温度上昇は更に抑制されるものと類推できる。また、長さ 4m でも十分な換気量を有しているため、長さの影響は、実用上少ないと思われる。

通気層厚さを変化させた場合、通気層厚さ 10mm ではパネル上部温度 93.7°C に対して発電効率は 7.5% となり、

100mm では 74.5°C に対して 8.7% であった。通気層厚さを大きく設けることにより、パネル温度では 20°C 程度低くすることができ、発電効率では、1.2 ポイント程度向上可能であることがわかる。また、通気層長さを変化させた場合、通気層長さ 4m ではパネル上部温度 84.3°C に対して発電効率 8.1%，通気層長さ 1m では 77.2°C に対して 8.6% となる。通気層長さを 1m(PV パネル 1 枚に相当)延長する毎に、パネル温度が 2°C 程度上昇し、発電効率が 0.2 ポイント程度減少する結果であった。なお、パネル下部における発電効率は全パターンで、8.2~8.4% であった。これらより、PV パネルの温度上昇抑制効果および発電効率の向上から考えた場合、通気層長さに比べて、通気層厚さの影響が大きいと考えられる。

5. まとめ

本研究では、PV パネル裏面に自然通気層を設けた場合におけるパネル温度上昇抑制効果の定量的把握を目的とし、通気層厚さの異なる PV パネルを屋外に暴露して実測と通気層を持つ PV システムの熱収支シミュレーションを行った。また、実施工物件の実測とシミュレーションの比較検討により、通気層の冷却効果、通気層厚さとパネル温度の関係について検討を行った。得られた結果を以下に示す。

通気層厚さの異なる PV パネルの屋外暴露実測では、通気層厚さ 200mm では、厚さ 60mm に比べて最大 5°C 程度低い値となり、発電効率では 0.6 ポイント程度の向上する結果が得られた。また、PV パネル上下間での温度差を確認し、通気層下部で暖められた空気の上部パネル温度への影響が示唆された。これらより、通気層厚さを大きく設けることによる PV パネルの温度上昇抑制および発電効率向上が定性的に確認できた。

通気層を持つ PV システムの計算モデルを作成し、設置状況の異なる 3 地点での実測との比較検討を行った。計算結果は実測結果をよく再現しており、特に設置地点のデータを用いた場合には、実測と同等の結果が得られた。これらより、本論で提案した計算モデルは、PV パネル温度推定式として十分な精度を有することがわかった。

計算モデルを用いて、通気層厚さ・通気層長さに関する感度解析を行った。その結果、通気層厚さが大きいほどパネル温度を低下する効果があることや、厚さ 100mm 以上としても大きな改善効果が期待できないことを示した。また、集熱層長さが大きくなるとパネル温度が上昇するが、その影響は通気層厚さに比べて小さいことがわかった。

PV パネル温度が最大となる時間におけるパネル、通気層間の移動熱量を算出した。その結果、パネル裏面から層内空気への対流熱伝達量は、通気層下部に比べて層上部が小さいこと、層内空気が層下部から上部に流动するに従つて温度が上昇する状況等、通気層による冷却効果を確認した。

参考文献

- 1) 小林誠, 谷辰夫 : 環境因子の変化に対する太陽電池モジュールの出力特性, 「太陽エネルギー」, Vol.19, No.4, pp.39-46, 1993.7
- 2) 酒井孝司, 石原修, 他 : 九州地域の気候特性と住宅用太陽光発電システムの運用実績に関する調査研究, 第 3 報, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.113-116, 2000.11
- 3) 鎌田景行, 秋澤淳他 : 脱着反応を利用した太陽電池冷却効果の実験的検証, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.373-376, 1998.12
- 4) 古嶋薰, 稲所潤平, 糸田豊 : 冷却機能付き太陽光発電システムの性能評価, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.399-402, 2001.11
- 5) 岸本拓磨, 西村亮, 西森克巳, 石原永伯 : 散水による太陽電池パネル表面の冷却と発電性能の向上, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.403-406, 2001.11
- 6) 梅谷真理子, 宇佐見一夫, 杉浦忠敏 : 住宅屋根一体形太陽電池アレイの温度上昇の推定, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.339-342, 2000.11
- 7) 外気導入式ソーラーシステムの集熱部に関する研究, その 2, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.337-340, 2002.11
- 8) 酒井孝司, 石原修 : 夏季蒸暑地域における小屋裏空間の温熱性状に関する研究, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.233-236, 1998.12
- 9) 玄地裕 : 都市ヒートアイランドとエネルギーシステム, 「太陽エネルギー」, Vol.29, No.3, pp.3-8, 2003.5
- 10) 上野兼吾, 石原修他 : 太陽光発電システムの発電効率と影響因子に関する計測・解析(その 8), 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.173-176, 2003.11
- 11) 浦野良美, 中村洋編 : 建築環境工学, 森北出版, pp.196-216, 1997
- 12) 田中俊六, 他 : 最新建築環境工学, 井上書院, pp.154-164, 1999
- 13) 石原修, 酒井孝司, 平川真由美 : 創・省エネルギー住宅のエネルギー特性に関する研究, 第 3 報, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.37-40, 1997.11
- 14) 石原修, 中上英俊, 他 : 九州地域の住宅太陽光発電システムの運用実績に関する研究, 第 8 報, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 42 号, pp.265-268, 2003.3
- 15) 山口英知, 石原修 : 熊本県下の風環境に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 42 号, pp.341-344, 2003.3

注

- 1) IV カーブトレーサによる発電量測定では、電力負荷、インバータ等を付けていない。そのため、測定ソフトから出力される最適動作電圧、最適動作電流の積を発電量とみなしている。
- 2) 温度測定には、T 型熱電対(3mm φ)を用いている。表面温度は、熱電対を、接着剤および小さなアルミ箔で表面に密着させて測定している。空気温度の測定では、放射の影響を除去するように感部をアルミ製の小さな筒で囲っている。
- 3) 小屋裏模型、実験棟における実測では、外部風速が 1m/s 程度であったため、通気層内への影響が大きく現れなかった可能性がある。外部風向・風速と通気層内風速の関係については、測定環境を整えて、今後詳細に検討を行う予定である。
- 4) 北郷町では、外部風速・風向の測定を行っていない。そこで、北郷町近隣の気象台観測点である、都城・油津のデータを利用して解析を行った。油津の気象台観測点は海岸部に位置し、海風の影響が大きい。一方、都城の気象台観測点は内陸部に位置し陸風の影響が大きい。今回、北郷町の外部風速として両地点のデータの平均値を北郷町における外部風速とした。また気象台観測点は観測高に違いがあるため(都城(12.4m)・油津(18.9m))、次に示す補正式により地上高 5m に補正した(文献 15)。

$$V_1 = (H_1 / H_2)^{1/N} \cdot V_2 \quad (A)$$

V_1 : 北郷風速 H_1 : 北郷住宅屋根高(=5m)

V_2 : 気象台風速 H_2 : 気象台観測高 N : 変数数(=5)

また、気象台観測データは 1 時間間隔であるため、10 分間隔に線形補完している。屋根裏室温については実測データ(小屋裏模型)から外気温度と屋根裏室温との次の回帰式を求め、北郷町の屋根裏室温とみなしている。

$$Y = 1.0032X + 7.8944 \quad (B)$$

Y : 予測屋根裏室温[°C] X : 実測外気温度[°C] ($R^2 = 0.76$)