

光・熱複合パネルの冷却特性

Cooling characteristics of composite panel with photovoltaic - thermo modules

町田 諭^{*1}
Satoshi MACHIDA山岸 隆之^{*2}
Takayuki YAMAGISHI松永 洋一^{*1}
Youichi MATSUNAGA谷 辰夫^{*3}
Tatsuo TANI

Abstract

Composite panel with photovoltaic - thermo modules is radiant of cooling and heating panel which is driven by solar energy as clean energy.

The radiation panel for heating and cooling is a new air conditioning system. This panel directly exchanges thermal energy between the panel and human bodies by electromagnetic wave. In this study, the prototyped has been designed and tested for cooling mode of operation in summer season. And, we have developed the simulation program for radiation panel for cooling which is driven by the output power of photovoltaic module.

As a result, when two photovoltaic modules in parallel of 12W are connected, the average of temperature difference between air and the cooling panel was 8.1°C during June to September in Tokyo.

It is found that this panel is useful panel as radiant of cooling and heating one.

Key Words: new air conditioning system, radiation panel for heating and cooling, photovoltaic module, thermo module

新型空調システム, 輻射冷暖房パネル, 太陽電池モジュール, 熱電素子モジュール

1. はじめに

21 世紀を目前に控え、資源エネルギーの枯渇問題や環境問題等はますます深刻になっている。なかでもエアコン等の普及による電力需要の増大は脅威であり、電力のピークカットを早急に行う必要がある。筆者らはこの問題を重く受け止め、熱電素子モジュールによって構成された輻射冷暖房パネルと太陽光発電パネルを組み合わせた光・熱複合パネルの開発を目的とした研究を進めている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。図 1 は光・熱複合パネルの概念図である。



図 1 光・熱複合パネルの概念図

光・熱複合パネルの特徴として、次の事項が挙げられる。
①従来の対流型空調設備とは異なり、2 物体間の温度差により発生する輻射熱伝達と対流熱伝達により熱を移動させるため、効率よく冷暖房することができる。
②電源に太陽電池アレイを利用しているため、将来このパネルが広く用いられるようになれば昼間における電力のピークカットに貢献できる。

本論文は光・熱複合パネルの設計・試作と冷却特性を論述したものである。

まず、直流電源によって動作する小型の実験装置を試作し、基礎特性を取得した。次いで、これらのデータをベースにし、光・熱複合パネル(冷暖房面積 0.072m²、閉空間容積 0.0288m³)を設計・試作し動作させた。その際の冷却特性と MPPT 機能を有した DC/DC コンバータを介した場合の同特性を計算によって求め考察した。

その結果、光・熱複合パネルによる夏の冷房は十分可能であることが明らかになった。

*1 学生会員 東京理科大学 大学院 工学研究科
(現 太陽無線機勤務)

*2 非会員 東京理科大学 工学部 電気工学科

*3 会員 東京理科大学 工学部 教授
(原稿受付: 平成12年 1 月 6 日)

2. 小型実験装置の基礎特性

2.1 装置の概要

図2は小型実験装置の外観図、図3は小型実験装置の断面図である。この装置はアルミヒートシンク、熱電素子、断熱材などによって構成されており、直流電源によって動作する。また装置の外には空冷用のAC用ファンが取り付けられている。冷暖房面には熱電素子モジュールがシリコン接着剤(東レ・ダウコーニング・シリコン(株)製 SE4486)で取り付けられてあり、隙間には厚さ 2.8mm の断熱材がはさんである。また、冷暖房パネルの下部には断熱材で覆われた閉空間(200mm×120mm×100mm)が設けられている。



図2 小型実験装置の外観図

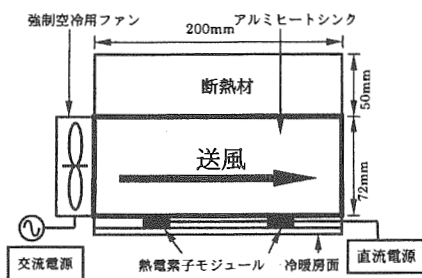


図3 小型実験装置の断面図

表1に小型実験装置の寸法、表2にシリコン接着剤の特性、表3に熱電素子モジュール(コマツ製: KSM-0631A)の物性値を示す。

表1 小型実験装置の寸法

装置名	縦 [mm]	横 [mm]	高さ [mm]
冷暖房パネル	200	220	126.8
熱電素子	20	20	3.8
アルミヒートシンク	200	120	72.0
冷暖房面	200	120	0.3
空冷用ファン	25	25	25

表2 シリコン接着剤の特性

製品名	SE4486
熱伝導率[W/m・K]	1.59
接着強さ[N/cm ²]	128

表3 熱電素子モジュールの物性値

材質	ビスマステルル
寸法[mm]	20×20×3.8
最大冷面温度差Δtmax[k]	63
Qcmax[W]	13.1
最大電流Imax[A]	6.0
最大電圧Vmax[V]	3.6

2.2 実験方法と結果

図3に示した小型実験装置に直流電源(最大電流:5A、最大電圧:25Vの定電流・電圧両用電源)を用いて0.2A~4.0Aの電流を入力し、定常状態における冷房面の温度、冷暖房パネルの端子電圧、外気温度を測定した。また、測定中はファンによりアルミヒートシンクを平均風速 2.0m/s で空冷した。外気との熱移動をなくすため、冷暖房パネルに取り付けたアルミヒートシンクは全体を厚さ 50mm の断熱材(熱伝導:0.032W/mK)で覆っている。

なお、素子数の違いによる特性変化を求めるため1、2、4、6個のモジュールを直列に接続してパネルに設置し実験を行った。図4は熱電素子モジュールの設置位置を示したものである。

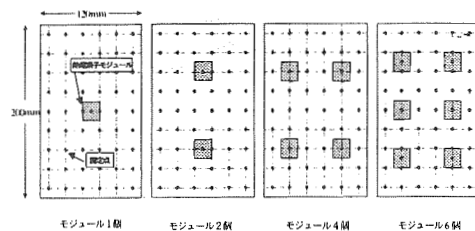


図4 熱電素子モジュール設置位置

図5に小型実験装置の電流電圧特性を示す。

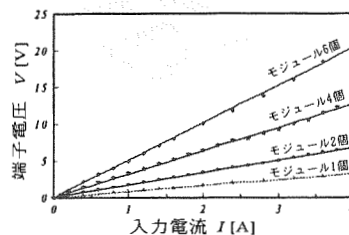


図5 小型実験装置の電流電圧特性

図よりモジュールの個数に関わらず、モジュール1個あたりの抵抗値は0.79Ωであった。

図6(a)、(b)、(c)、(d)は冷却面の温度勾配を3次元の形で示したものである。これらの図は電流が2.0Aのときのもので、図の縦軸に示した冷面温度差は冷却面の温度と外気温度の差である。なお本論文では、熱平衡状態における室内温度と冷面温度は等しいとしている。

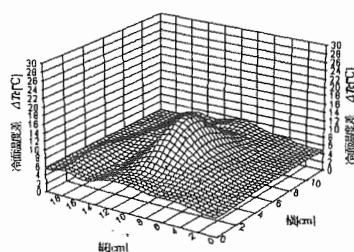


図 6(a) モジュール数 1 個

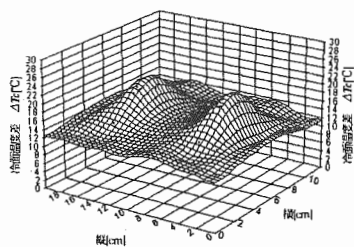


図 6(b) モジュール数 2 個

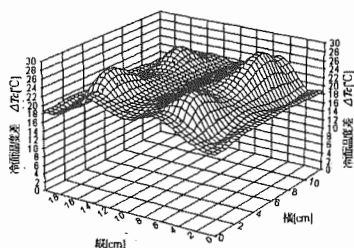


図 6(c) モジュール数 4 個

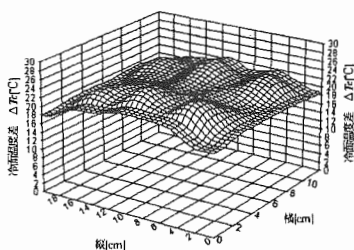


図 6(d) モジュール数 6 個

図より、モジュール数を増やせば増やすほどパネルの温度勾配は平坦化されている。しかし、冷却効果はモジュール数 4 個の時がもっとも良い。この理由は、モジュール数を増やしすぎるとモジュールからの放熱がアルミヒートシンクを介して十分できなくなることによる。図 7 は消費電力と冷却特性の関係である。ここでいう消費電力とは熱電素子モジュールへの投入分のみで、ファン動力は含まれていない。

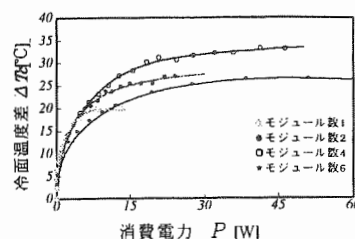


図 7 消費電力と冷却特性

図より図 6(c)と同様、モジュール数 4 個の時にパネルは最も高い温度差を示している。以上の結果よりモジュール数 4 個(モジュール 1 個あたりの冷却面積 0.006m^2)の特性を用いて光・熱複合パネルを設計した。

3. 光・熱複合パネルの設計・試作

3.1 設計条件

冷却面積 0.072m^2 、閉空間容量 0.0288m^3 の光・熱複合パネルを設計した。光・熱複合パネルを設計するための条件は次のとおりとした。

- (1) 表 4 に示す面積が 0.123m^2 の多結晶太陽電池モジュールを 2 枚並列に接続したものを動作源として使用する。そのため、冷暖房パネルとの面積比は 3.5 対 1 である。
- (2) 冷却面に 12 個の熱電素子モジュールを取り付けた。図 8 はモジュールの設置位置である。
- (3) 冷暖房パネルは外気温度 30°C 、日射強度が $1000\text{W}/\text{m}^2$ 時に動作(太陽電池モジュールの出力最大点 P_{max} と冷暖房パネルの電流・電圧特性との交点)するようにした。
- (4) 外気温度は 30°C 一定とし、風の影響を考慮しないものとした。また、太陽電池モジュールのセル温度は外気温度と日射強度から(1)式によるものとした。

$$T = T_a + 0.03 I r r \quad \dots(1)$$

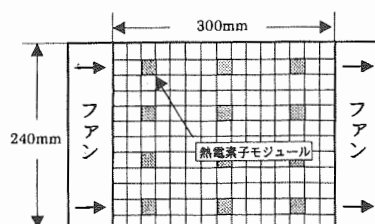


図 8 モジュールの設置位置

3.2 光・熱複合パネル

図 9 は設計・試作した太陽電池モジュールによって動作する冷暖房パネルの外観図である。この装置は本学 1 号館屋上(地上

70m)に傾斜角 35.5 度で真南に向けて設置してある。冷暖房パネルには風速 2.0m/s のファンが取り付けられており常時アルミヒートシンクを空冷している。また、冷暖房パネルの下部には断熱材で覆われた閉空間(300mm×240mm×400mm)が設けられている。



図9 光・熱複合パネルの外観図

3.3 太陽電池モジュールと基礎方程式

表4はパネルの設計に使用した太陽電池モジュール(シャープ(株)製 NE-H12s)の仕様である。

表4 太陽電池モジュールの仕様

分類	多結晶太陽電池
寸法	308×400mm
直並列数	1 並列 36 直列
最大電力	12.1W
最大動作電流	0.72A
最大動作電圧	16.8V
短絡電流	0.76A
開放電圧	20.5V

(日射強度 1000W/m²、セル温度 25°C、A.M.1.5)

(2)式は熱電素子モジュールを m 直列・n 並列(以降 mS-nP とする)で構成した場合の電流電圧特性である。

$$V_p = \frac{R}{n} \cdot m \cdot I_p \quad \dots(2)$$

また、(3)(4)(5)式に太陽電池モジュールの電流電圧特性を示す。

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right\} \quad \dots(3)$$

$$I_L = 0.0034 \cdot Irr \{ 1 + 0.001(T - 298) \} \quad \dots(4)$$

$$I_0 = C_0 \cdot T^3 \cdot \exp \left(- \frac{qE_g}{nKT} \right) \quad \dots(5)$$

これらの式を用いて光・熱複合パネルの設計を行った。図10は設計手順を示したフローチャート図である。

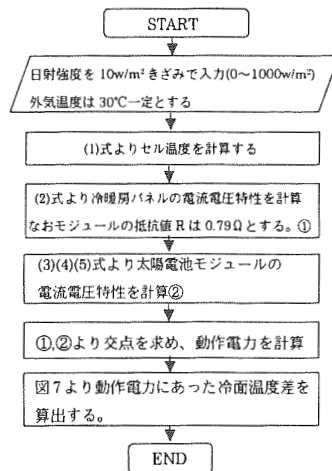


図10 フローチャート図

図11は輻射冷暖房パネルの電流電圧特性と太陽電池モジュールの電流電圧特性である。この図は外気温度 30°C時のもので、mS-nP 接続の並列数を 1~3 に設定し 3 種類の負荷を想定した。

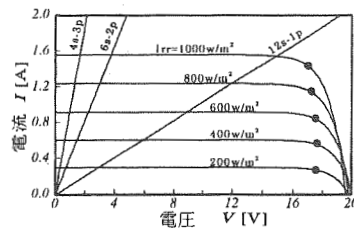


図11 太陽電池と冷暖房パネルの電流電圧特性

図12は日射強度と冷面温度差の関係である。

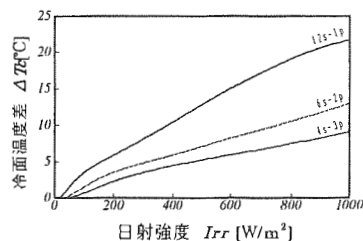


図12 日射強度と冷面温度差の関係

図より、全ての日射強度において熱電素子モジュールの配列は 12s-1p(12 直列・1 並列)時に最も温度差を取得できている。そのため、本論文では熱電素子モジュールの配列を 12s-1p(12 直列・1 並列)とした。

4. 測定結果と考察

4.1 測定結果

図13に、測定した99年9月30日の6時～18時の環境データ(日射強度と外気温度)を示す。この環境データと図12の特性を用いて光・熱複合パネルを動作させた場合の冷却特性を求めた⁽⁴⁾。図14に測定結果と計算結果を、図15に日射強度と冷面温度差の関係を示す。

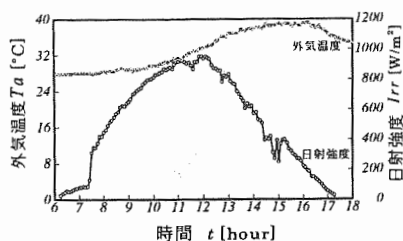


図13 本学にて取得した環境データ(99年9月30日)

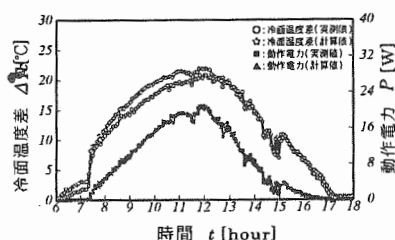


図14 パネルの冷却特性(測定結果と計算結果)

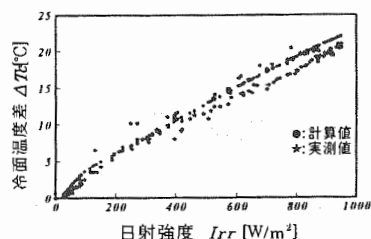


図15 パネルの冷却特性(日射強度と冷面温度差)

図より測定値と計算値はほぼ一致した。すなわち実測値の最大冷面温度差は20.9°C、計算値のそれは21.3°Cであった。

METPV(東京)データの7月1日～31日(午前10時～午後3時までの平均日射量と外気温度)と図12の特性を用いて冷暖房パネルの平均冷面温度差を計算によって求めた。図16はその計算結果である。

図よりこの複合パネルの冷面温度差は最大で20.0°Cであった。また、1ヶ月間の平均日射量は556W/m²、平均冷面温度差は13.3°Cとなった。

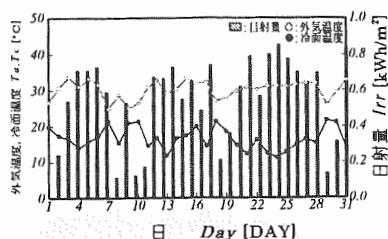


図16 各日の冷面温度差(7月1日～31日)

4.2 考察

筆者らはMPPT機能を有したDC-DCコンバータをシステムに挿入したと想定した。図17にシステム構成図を示す。なお本論文ではDC-DCコンバータの総変換効率を90%としている。

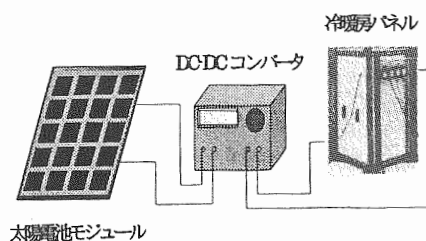


図17 システム構成図

輻射冷暖房パネルを用いて冷房する場合、天井面温度を22°C程度にすれば十分快適に生活できるという報告がある⁽⁶⁾。そのため前節と同様METPVデータを用いて夏期東京でもっとも頻度の多い日射量と外気温度時に冷却面の温度が22°Cとなるような太陽電池モジュールの容量を求めた。

図18は7月1日～31日の1時間当たりの日射量分布、図19は外気温度分布である。

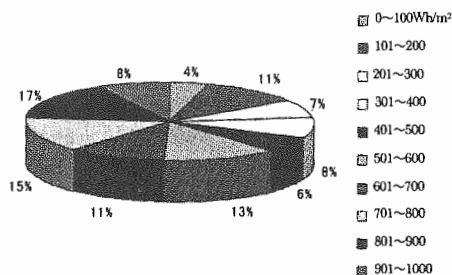


図18 日射量分布(7月1日～31日)

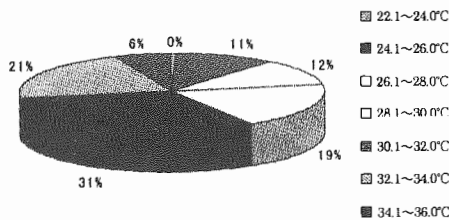


図19 外気温度分布(7月1日~31日)

以上の結果より、筆者らは日射量 800Wh/m^2 の時に 32°C から 22°C になるような太陽電池モジュールの容量を求めた。図20は太陽電池モジュールと冷面温度差の関係である。

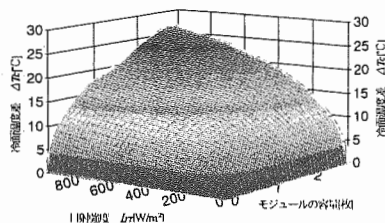


図20 太陽電池モジュールと冷面温度差

図より必要な太陽電池モジュールは0.5枚分の容量(6W)であった。そのため太陽電池モジュールと冷暖房パネルとの最適面積比はおよそ0.9対1であった。

7月1日~31日のMETPV(東京)データ(午前9時~午後3時までの平均日射量と外気温度)と図19の特性を基に冷暖房パネルの平均冷面温度差を計算によって求めた。図21はその計算結果である。

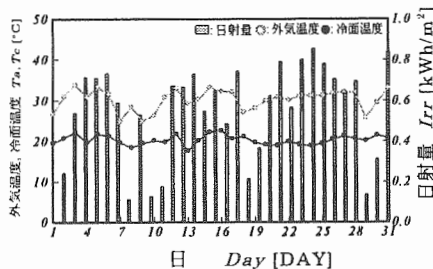


図21 各日の冷面温度差(最適設計後)

図よりこのパネルの冷面温度差は最大で 12.4°C で、1ヶ月間の平均冷面温度差は 10.0°C と計算された。

6月1日~9月30日のMETPV(東京)データ(午前9時~午後3時までの平均日射量と外気温度)を用い夏期4ヶ月間の平均冷面温度差を求めた。各特性の10日間隔の平均値を図22に示す。

図より夏期4ヶ月間では最大 9.4°C の平均冷面温度差を得ることができる。また、4ヶ月間の平均日射量は 394Wh/m^2 、平

均冷面温度差は 8.1°C であった。また、夏期4ヶ月間の目標達成率を(6)式により求めた。

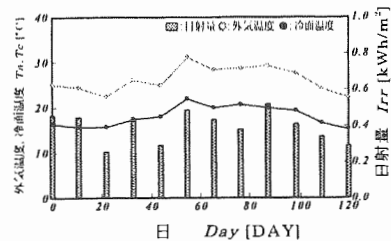


図22 夏期4ヶ月間の冷却特性(6月1日~9月30日)

$$\text{目標達成率} = \frac{\text{目標温度}(22^\circ\text{C})\text{を達成した時間}}{\text{太陽電池による動作時間}} \times 100[\%] \quad \cdots (6)$$

最適化後の達成率は86.0%であった。そのためこのシステムによる冷房は十分可能であると思われる。

5. まとめ

筆者らは、冷却面積 0.072m^2 、閉空間容量 0.0288m^3 をもつ光・熱複合パネルを設計・試作しそして動作させた。その結果、次の事が明らかになった。

- (1) パネルに設置する熱電素子モジュールの数を増すに従いパネル全体の温度勾配は平坦化される。しかし冷却効果はモジュール数4個の時の最も良好であり、その時の最大冷面温度差は 32°C であった。
- (2) 光・熱複合パネルを設計・試作し動作させた。99年9月30日に動作させた場合、最大で約 20.9°C の冷面温度差を得た。また7月に用いた場合の冷却特性を計算によって求めた。その結果、1ヶ月間の平均日射量は 556Wh/m^2 、平均冷面温度差は 13.3°C と計算された。
- (3) DC-DCコンバータを挿入しシステムの最適化を行った。最適化したシステムを夏期4ヶ月間に用いた場合、平均日射量は 394Wh/m^2 、平均冷面温度差は 8.1°C と計算された。また、この期間の達成率は86.0%であった。
- (4) 以上の結果より、光・熱複合パネルによる夏期の冷房は十分可能であると思われる。

6. 今後の展開

本論文は、光・熱複合パネルを冷房として用いた際の温度特性について報告してきた。今後は、パネルを暖房として用いた際の特性ならびに吸熱量、COP等の熱量的な特性についても報告していきたいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、数々の御協力をいただいたコマツ研究本部の今泉久朗氏と門谷純一氏に深謝します。

参考文献

- (1)町田諭・谷辰夫：「光・熱複合パネルの冷却特性」太陽/風力エネルギー講演論文集(1998) No.40(1998年12月)
- (2)松永洋一・谷辰夫：「光・熱複合パネルの暖房特性」太陽/風力エネルギー講演論文集(1999) No.40(1999年11月)
- (3)町田諭・谷辰夫：「光・熱複合パネルの冷却特性2」太陽/風力エネルギー講演論文集(1999) No.41(1999年11月)
- (4)町田諭・佐藤道秀・谷辰夫：「太陽電池と熱電素子を用いた複合冷却パネルの応答性に関する報告」平成10年電気学会全国大会、No.1803
- (5)栗山茂三：「天井冷暖房のすすめ」株式会社筑摩書房、p77(1990.9)