

# 空気を熱媒体とした太陽電池を用いた熱利用システムの測定と分析

齋藤研究室 1316215 佐々木聖汰

## 1. 背景と目的

福島第一原子力発電所の事故以降、環境にやさしい再生可能エネルギーへの関心は高まっており、電力自由化により企業の新規参入も増えている。なかでも、太陽光発電は広く普及しているが、結晶 Si 太陽電池が光を電気に変換する効率は約 20%程度であり、残りのほとんどが熱として放出されてしまう。これは太陽光のスペクトル幅が広いこと、材料のバンドギャップより過大な光子エネルギーの領域が多く、電子の過剰な運動エネルギーが熱となるためである。これを簡単に解決することは困難である。

本研究では、電気エネルギーに加えて、空気を熱媒体として熱エネルギーも利用することで、総合的なエネルギー利用効率を高めることを目指した。赤外線による放射損失を抑制する効果が期待される Low-e ガラスについては、同条件下でその有無によって、保温効果がどれくらい異なるかを検証した。

## 2. 研究方法

### 2. 1. 測定方法

上記のような考えに基づき共同研究相手企業（株吉岡）工場の屋根に屋根一体型の太陽光発電モジュールを設置し、熱の利用に関する実証的実験を行った。太陽電池を用いた熱利用の方法として、発電モジュール屋根の下部にダクト穴を接続し温められた空気を暖房に利用する「そらどま屋根集熱システム」（共同研究者の 1 級建築士丸谷博男氏設計）を設置した。

D 列 1~3, 7 行目と、E 列 1~3, 7 行目に温度センサを設置し、以下の期間温度を測定した。  
(G タイプ)2015 年 7 月 30 日~10 月 23 日  
(H タイプ)2015 年 7 月 30 日~2016 年 1 月 17 日

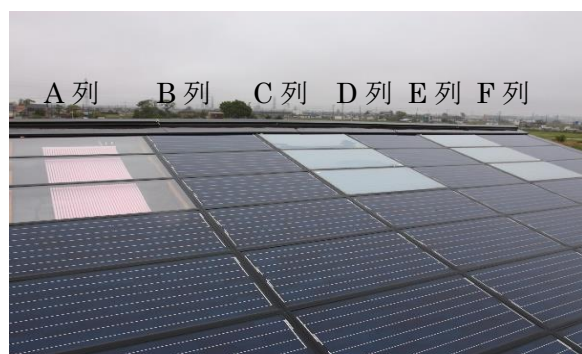


図 1 工場南面屋根に設置した太陽光パネル写真。D 列 1~3 行目は通常モジュール。E 列 1~3 行目は通常モジュールの表面に Low-E ガラス付。

D1~D3, E1~E3 の 2 か所の太陽光発電パネル下の空間にある空気を取り入れて利用するため、パネルを設置した屋根下地にダクト穴を開け、それぞれ長さ約 11 m、直径 150 mm の空気ダクトを屋根下に向け 1 本ずつ取り付け付けた。温められた空気は、独立した 2 系統の全熱交換器（協立エアテック 24HEC20）に接続され暖房に利用される。

### 2. 2. 効率測定

屋根集熱の熱出力パワー  $P$  は、 $P = \Delta T H S$  で見積もられる。ここで、 $\Delta T$  は温度差、 $H$  は比熱容量、 $S$  は流量である。本研究においては、空気の比熱として  $H = 1.21 (\text{kJ/m}^3\text{K})$ 、熱交換器の仕様中の風量から  $S = 335 (\text{m}^3/\text{h})$  である。

一方、入力としての放射パワーは次のようにして評価した。気象庁の過去データより仙台での対象日時の直前 1 時間当たりの水平面日射量  $a (\text{MJ}/\text{m}^2)$  を観測値として利用する。NEDO の日射量データベースを用いて、使用したパネルの傾斜角  $14^\circ$ 、方位角  $182^\circ$  の斜面日射量  $b (\text{MJ}/\text{m}^2)$  に換算する。これに面積を掛けることにより放射パワーが求められる。ちなみに太陽光発電モジュール 1 枚の面積は  $1.365 \times 0.7 \text{ m}^2$  である。熱利用効率は(屋根集熱パワー(W)/太陽光入射パワー(W))で求めることができる。

### 2. 3. 測定器具

使用した主な測定器具は以下の通りである。

- 標準モジュール「ETRO1SN(雪止めなし)
- ボタン型温度データロガーサーモクロ G タイプ
- ボタン型湿度データロガーハイグロクロン
- AVH-24V1DF 熱交換器 24HEC20
- サーモアイ U 用温度センサー
- HOT-WIRE ANEMOMETER RS-1340
- LDM-86D Linkman

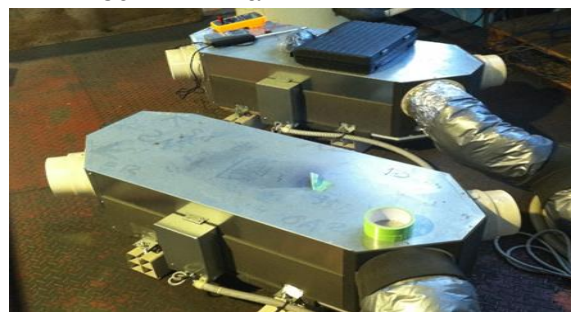


図 2 全熱交換器  
全熱交換器の D, E 列出口にボタン型温度測定ロガー G43 と G44 を設置した。(測定期間は 2016 年 1 月 18 日から 2 月 29 日)

### 3. 結果と考察

#### 3. 1. Low-e ガラスの効果

Low-e ガラスの有無 (D 列 1 行目と E 列 1 行目) による温度の違いについて、経時変化を図 3、両者の温度の相関を図 4 に示す。

図 3 から熱交換器出口の温度が真冬の日中に約 18°C となることが分かった。Low-e ガラスが付加されている E 列の温度が高くなっている様子がわかる。

図 4 において、黒線は青点の最小二乗近似直線、橙線は横軸と縦軸で同じ温度を表す傾き 1 の線である。近似直線の傾きが 1.09 と 1 より大きいことから、Low-e ガラスを付けたパネルのほうが熱をより集められたことを示している。

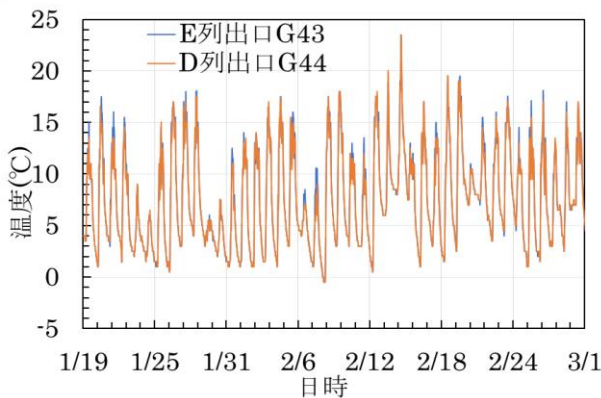


図 3 全熱交換機の温度変化

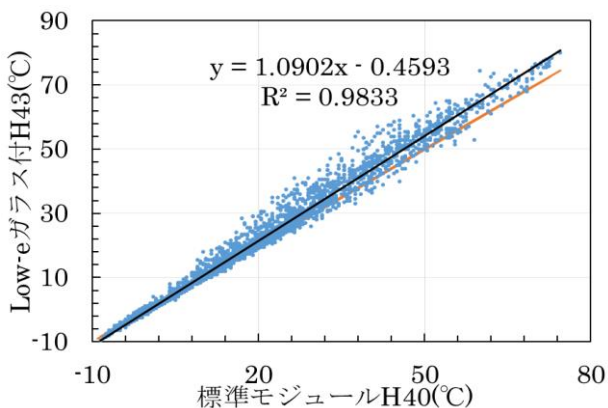


図 4 Low-e ガラスの有無による温度間の相関

#### 3. 2. 屋根集熱パワーと効率

2 月 26 日の場合、13 時のとき、 $\Delta T=12K$  と最大になった。そのときの集熱パワー  $P$  は、

$$P = \Delta T H S$$

$$= \{12 \times 1.21 \times 335\} / 3600$$

$$\approx 1.35 \text{ (kW)}$$

一方入力は、2 月 26 日 13 時の斜面日射量が 2.27 (MJ/m<sup>2</sup>) だから、太陽光の入射パワー  $P_r$  は、

$$P_r = \{2.27 \text{ (MJ/m}^2\text{)} \times (1.365 \times 0.7) \text{ m}^2 \times 7 / 3600\}$$

$$\approx 4.20 \text{ (kW)}$$

効率  $E$  は

$$E = (1.35 / 4.20) \times 100 = 32(\%)$$

#### 3. 3. 日射パワーと入射角依存性

パネル面への入射角の関数として、モジュール

温度を表したグラフを図 5、効率を図 6 に示す。

図 5 から昼間にかけて放射照度が大きくなると、パネルの温度も上昇していることが読み取れる。入射角度が 24 度(11 時 30 分)以降は、Low-e ガラスモジュールの温度が標準モジュールよりも高いままとなった。

図 6 から入射角が 75 度付近で効率が最大となった。

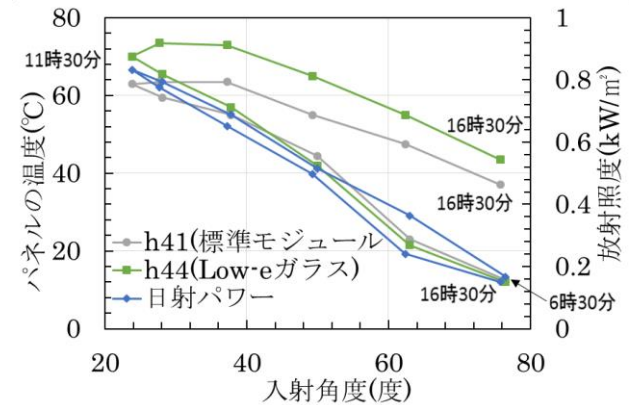


図 5 パネル温度の入射角依存性(9 月 22 日晴れ)

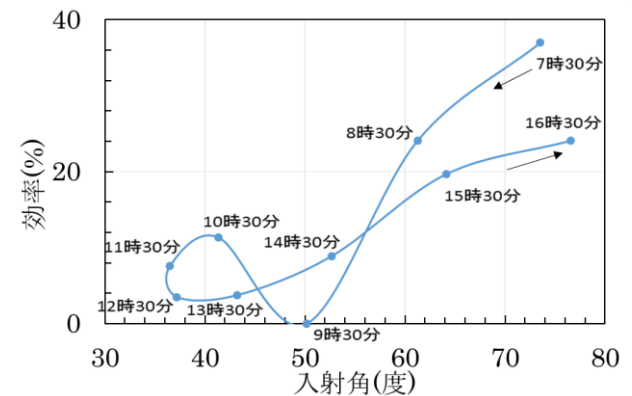


図 6 効率の入射角依存性効率(2 月 18 日)

### 4. まとめ

- Low-e ガラスモジュールの温度が、標準モジュールと比べて約 10 % 高い温度を示した。
- 晴れの日の場合、Low-e ガラス付モジュールの温度が標準モジュールよりも高いが、日射量が弱い日では、温度上昇があまり見られなかった。
- 熱交換器出口の温度が真冬の日中では約 18°C であった。
- そらどまシステムの熱利用効率は最大で 32 % と求まった。

#### 謝辞

本論文の作成にあたり、ご指導いただきました齋藤輝文教授、また、調査にご協力いただきました 1 級建築士 丸谷博男様、株式会社吉岡様に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

1. 丸谷博男編「そらどまの家」(萌文社、2013)
2. 気象庁(<http://www.mterm-pro.com/index.html>)
3. そらどま構成部材 プレゼン 2014\_6
4. NEDO 日射量データベース閲覧システム (<http://app0.infoc.nedo.go.jp/>)