

## 97

## 空気式太陽熱エネルギー利用システムに関する JIS 開発

## （第一報）集熱試験装置の開発と機器の概要

会員 ○相曾 一浩（OM ソーラー）

会員 吉野 允（OM ソーラー）

会員 盧 炫佑（OM ソーラー）

会員 城出 浩作（ソーラーシステム振興協会）

Development of JIS on Solar Thermal System using Air Heating Collectors

Part 1 Development and Verification of Test Equipment for Efficiency of Air Heating Collectors

Kazuhiro AISO\*, Hyunwoo ROH\*  
Makoto YOSHINO\*, Kousaku SHIRODE\*\*

\* OM Solar, Inc.

4601 Murakushi-cho, Nishi-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 431-1207, JAPAN

FAX:+81-53-488-1556, E-mail:aiso@omsolar.jp

\*\* Japan Solar System Development Association

#### ABSTRACT

In recent years, Japanese market of the solar thermal system is relatively smaller than European and Chinese markets in spite of the well solar radiation. In order to popularize the solar thermal system, the solar thermal simulator for testing the thermal performance of air heating collectors is developed in this study. This paper describes the development and the verification of the test equipment for efficiency of air heating collectors as the solar thermal simulator.

キーワード：空気集熱器、効率試験、屋外試験

Keywords : air heating collectors, efficiency test, outdoor test

#### 1. はじめに

省エネルギー性に優れ、建築の暖房や給湯などに使用されている太陽熱エネルギー利用システムは、2020年の省エネ基準の義務化に向けて、その必要性が見直されており、普及拡大が急がれる。また近年においては技術開発により高効率化、低コスト化、施工性の向上に加え、太陽光発電と組み合わせた太陽光発電機能付き集熱器（PVT）など新たな製品が登場しており、JIS A 4112（太陽集熱器）においてもこうした背景に即した形に改正する必要がある。本報では、JIS（日本工業規格）改正に向けた空気集熱用集熱試験装置の開発と機器の概要について報告する。

#### 2. 事業概要

太陽集熱器の性能試験はこれまでに、日本品質保証機構（JQA）浜松ソーラーテクノセンターの大型人工気象室で実施されていたが、2000年頃に廃止されており、以降太陽集熱器の性能試験を担える第三者機関は存在していない。本事業は、大規模な人工気象室を必要としない屋外において、太陽集熱器の性能試験が可能な集熱試験装置を開発し、専門家及び第三者機関の協力を得ながら試験方法の構築を行い高性能集熱器、PVTのような多機能集熱器などを含む JIS A 4112（太陽集熱器）の改正を目的とする。

なお、本事業は経済産業省による高機能 JIS 等整備事業の委託を受けた日本規格協会（JSA）からの再委託事業であり、実施期間は平成 28 年度から 30 年度までの 3 カ年、実施体制は工学院大学名誉教授宇田川光弘先生をはじめとする第三者委員会及び一般社団法人ソーラーシステム振興協会、OM ソーラー株式会社から構成されている。



写真 1 屋外試験装置

### 3. 集熱試験装置の概要

#### 3.1 周辺環境及び装置架台

表 1 に集熱試験装置の概要を示す。集熱試験装置は静岡県浜松市内の周囲に日射を遮蔽・反射する障害物のない開けた場所に設置されている。架台寸法は幅 2400mm×全長 2600mm であり、傾斜角は 0°（水平時）～55°、方位角は 90°（東）～180°（西）の間で調整することで、日中に長時間計測できる。

また、試験体は同時に 2 台まで設置可能で、その内の 1 台は過去に JQA の屋内試験において、集熱効率が明らかになっているものと同型器を設置しており、基準集熱器としている。なお、試験体は幅 1200mm（横）×全長 2320mm（縦）まで対応可能である。

表 1 集熱試験装置の概要

|       |                |
|-------|----------------|
| 設置場所  | 静岡県 浜松市        |
| 土台寸法  | 3000×3000[mm]  |
| 架台寸法  | 2400×2600[mm]  |
| 傾斜角範囲 | 0°（水平）～55°     |
| 方位角範囲 | 90°（東）～180°（西） |

#### 3.2 機器構成

図 1 に現行の JIS A 4112（太陽集熱器）に規定されている空気集熱器用屋外試験装置の構成の一例を示す。JIS で挙げられている屋外試験装置は人工太陽（ソーラーシミュレータ）や送風装置を用いることにより、外乱の影響を最小化し安定的に試験を行うことが可能な屋内試験装置を踏襲して定められている。集熱媒体を外気から取り入れる開放型は外乱による影響が大きいため、温度制御及び流量制御が難しい。

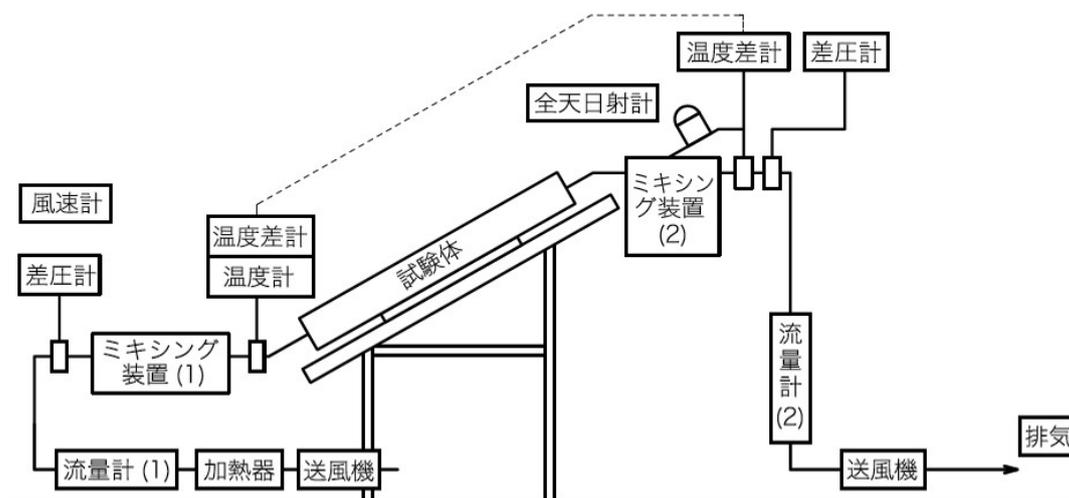


図 1 空気集熱器用屋外試験装置の構成の一例<sup>1)</sup>

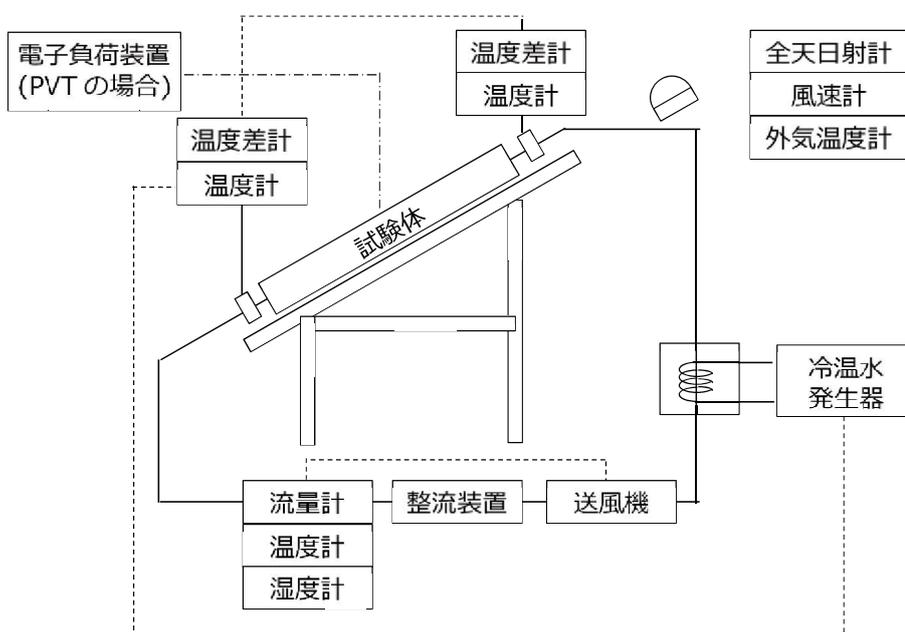


図 2 開発した屋外集熱試験装置の構成

また、装置規模が大きく、固定式になると、一日で試験可能な時間がわずかとなり、実用性に欠ける。

本開発の屋外集熱試験装置は図2に示すように、集熱熱媒を循環型とすることで、外乱による集熱熱媒流量や集熱媒体入口温度の乱れを抑制し、安定的な試験を可能とした。また、装置を小型化、可動式とし、日中に長く試験ができるようにした。

### 3.3 計測概要

表2に現行JISの集熱試験装置における計測機器の要求精度及び選定機器、写真2～写真7に集熱試験装置の各部位を示す。各計測機器は現行JISが定めている要求精度及び校正期間を満たしているものを使用している。集熱媒体入口温度は冷温水コイル（写真4）及び冷温水発生器（写真5）で制御し、高精度に変換しながら試験する。図1に示す差圧計やミキシング装置は、熱媒経路を循環型にして整流装置を取り付けたことにより、熱媒体温度及び流量の安定化が図られたことで省略した。

実際の計測は、散乱日射が少ない快晴日の10時～14時頃に行い、集熱媒体の流量と温度を安定させた後、写真2の日射照準器を用いて集熱面に対する日射の入射角を0°になるように装置架台を調整し計測を開始する。なお、計測間隔は3秒ごととし、表3

の現行JISの測定条件を満たす、連続する5分間の平均値を集熱効率計算に用いる。

表2 計測機器概要

| 測定項目               | 要求精度  | 選定機器                          | 選定機器精度                            |
|--------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| 日射量                | ISO2 次標準<br>または1級   | 英弘精機<br>MS-801                | ISO2 次標準                          |
| 集熱媒体入口温度           | T型熱電対<br>クラス1<br>測温抵抗体<br>クラスB<br>サーミスタ階級3<br>精度±0.5度、<br>分解能0.1度 | CHINO<br>測温抵抗体<br>クラスA        | 測温抵抗体<br>クラスA                     |
| 集熱媒体<br>入出口<br>温度差 | 精度±0.1度、<br>分解能0.05度  | 熱電堆<br>(二宮電線<br>T型熱電対)        | 熱電堆<br>T型熱電対<br>×12倍              |
| 周囲風速               | 精度±0.5m/s   | 英弘精機<br>MA-110                | 精度±0.5m/s<br>@10m/s以下             |
| 集熱媒体<br>流量         | 精度±2%   | 超音波流量計<br>愛知時計<br>TRX65R-C/5P | 精度±2%<br>@24-240m <sup>3</sup> /h |
| 湿度計                | 精度±5%RH   | TDK<br>CHS-UPS                | 精度±3%RH                           |

表3 現行JISの測定条件

| 測定項目      | 測定条件  |
|-----------|---|
| 集熱面日射強度   | 平均:630W/m <sup>2</sup> 以上<br>変動:50W/m <sup>2</sup> 以内 |
| 集熱媒体入口温度  | 変動:±0.5K/分  |
| 集熱媒体流量    | 約0.02kg/(s・m <sup>2</sup> )<br>変動:±1%以内               |
| 太陽直達光の入射角 | 30°以内   |
| 周囲風速      | 平均:4 m/s以内  |

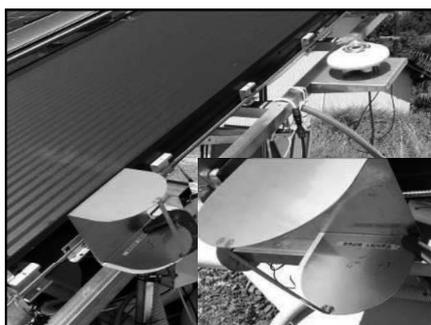


写真2 日射計・日射照準器



写真4 冷温水コイル



写真6 超音波流量計

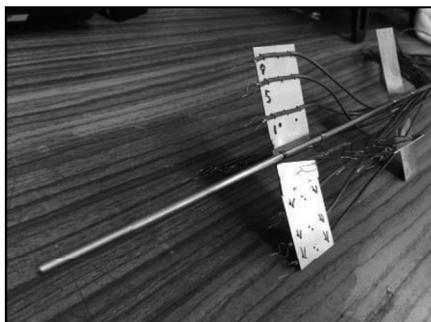


写真3 集熱媒体温度計・温度差計



写真5 冷温水発生器



写真7 整流装置

#### 4. 試験精度検証

作成した集熱試験装置の試験精度検証のため、過去に日本品質保証機構（JQA）浜松ソーラーテクノセンターの屋内試験装置で行った集熱試験結果との比較を行う。

図 3 に屋外集熱試験装置による基準集熱器の試験結果を示す。試験日は2017年9月19日で、集熱媒体入口温度を35℃～50℃まで5℃ずつ変化させ試験を行った。集熱媒体流量0.02kg/(s・m<sup>2</sup>)に基準集熱器の集熱面積を乗じた147.6[kg/h]を目安として流量調整を行い、前述の測定条件を満たす計測①～計測④のそれぞれの平均値を用いて集熱効率を算出している。また、入口温度変動は0.5[℃/min]以内、集熱媒体流量変動は1%以内といずれも測定条件を満たしており、熱媒体温度及び流量が安定している。

集熱試験結果を用いて、集熱効率の関係式（一次式）から求めた値と、過去に行ったJQAの屋内試験結果の値から求めた集熱効率特性線図を図4に示す。また、表4に示すように両者の試験結果は屋外試験で43.41%、JQA屋内試験で43.48%と概ね一致しており、今回開発した屋外集熱試験装置の精度が実用可能なことを証明できた。

#### 5. まとめ

本報では集熱試験装置の測定精度において過去に行ったJQA屋内試験に匹敵する精度で測定が可能であることを確認できた。本屋外試験装置は現行JISの例の内容を一部簡略化することと、高精度な冷温水発生器や整流装置などの制御機器を組み入れて現実的で実現可能な構成とした上で測定精度についても高精度で試験が可能であることを示した。

次報では多様な試験体を用いて集熱試験を行い、その結果について報告するとともに、JISの改正点について考察を行う。

#### [参考文献]

- 1) JIS A 4112 : 2011 太陽集熱器
- 2) 盧ら：空気集熱式太陽集熱器の集熱性能試験に関する研究 その2) 試験装置の製作と検証，太陽/風力エネルギー講演論文集 2015

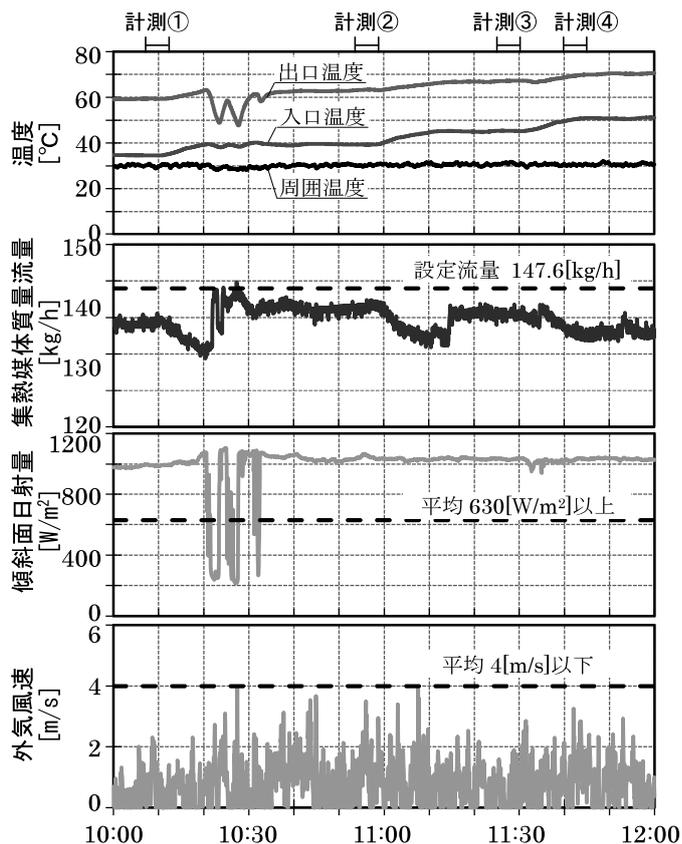


図 3 屋外集熱試験装置による基準集熱器の試験結果 (9/19)

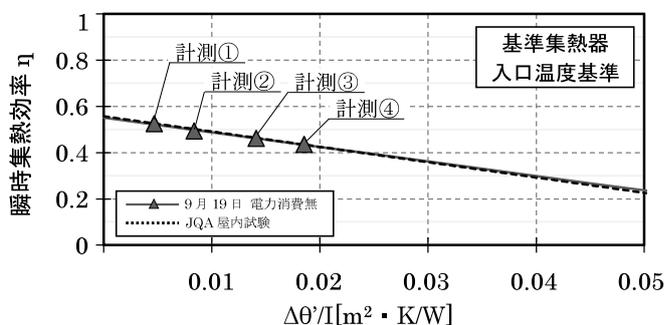


図 4 屋外試験と JQA 屋内試験の比較 (基準集熱器)

表 4 各測定値及び日集熱効率

|                         |                                  | 計測①   | 計測②    | 計測③    | 計測④    |
|-------------------------|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| 入口温度 [°C]               | 平均                               | 34.9  | 39.3   | 45.3   | 49.6   |
|                         | 変動                               | 0.5   | 0.5    | 0.3    | 0.5    |
| 出口温度 [°C]               | 平均                               | 59.4  | 63.3   | 67.2   | 68.7   |
|                         | 変動                               | 0.3   | 0.2    | 0.3    | 0.4    |
| 集熱媒体流量[kg/h]            | 平均                               | 145.6 | 146.6  | 146.1  | 145.5  |
|                         | 変動                               | 0.7%  | 0.7%   | 0.9%   | 0.6%   |
| 日射量 [W/m <sup>2</sup> ] | 平均                               | 992.2 | 1045.3 | 1028.1 | 1020.3 |
|                         | 変動                               | 17.3  | 37.1   | 46.1   | 30.8   |
| 外部風速 [m/s]              | 平均                               | 0.6   | 1.2    | 0.9    | 0.9    |
| 日集熱効率                   | <b>43.41%</b><br>(JQA 結果:43.48%) |       |        |        |        |

# 98

## 空気式太陽熱エネルギー利用システムに関する JIS 開発

### （第二報）集熱試験装置による屋外試験の結果

会員 ○吉野 允（OM ソーラー）

会員 相曾 一浩（OM ソーラー）

会員 盧 炫佑（OM ソーラー）

会員 城出 浩作（ソーラーシステム振興協会）

Development of JIS on Solar Thermal System using Air Heating Collectors  
Part 2 Test Result using Outdoor Test Equipment for Efficiency of Air Heating Collectors

Makoto YOSHINO\*, Hyunwoo ROH\*  
Kazuhiro AISO\*, Kousaku SHIRODE\*\*

\* OM Solar, Inc.

4601 Murakushi-cho, Nishi-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 431-1207, JAPAN

FAX:+81-53-488-1556, E-mail:yoshino@omsolar.jp

\*\* Japan Solar System Development Association

#### ABSTRACT

In this part, the test results for the efficiency of air heating collectors are reported. And then, the amendment of the current JIS is considered based on the test results. The main points to revise the current JIS are to evaluate the high performance collectors and PVT collectors and to introduce a new evaluation method of the solar collectors.

キーワード：空気集熱器、効率試験、屋外試験

Keywords : air heating collectors, efficiency test, outdoor test

#### 1. はじめに

本報では現行の JIS A 4112 が定めている試験方法で通常の透過体付き空気集熱器や太陽光発電機能付き集熱器（PVT）など、複数の試験体を用いて集熱試験を行い、その結果について報告する。さらに、太陽熱利用促進のために、PVT の評価や集熱効率特性の算出方法の見直し、新たな集熱器能力表示方法などの課題点を挙げ、近年の太陽熱利用の動向を適切に反映し、JIS 改正に向けて検討を進めていくことを目的としている。

#### 2. 試験概要

##### 2.1 試験体概要

表 1 に集熱試験に用いた各試験体の概要と試験日を示す。基準集熱器は過去に JQA の屋内試験で用いた透過体付き空気集熱器と同一仕様である。PVT-A、PVT-B、PVT-C はそれぞれ集熱面積及び太陽電池最大出力の異なる太陽光発電機能付き集熱器（PVT）である。

本屋外集熱試験では、試験体の試験結果を担保するために、レファレンス用の基準集熱器と同時試験を行うようにしている。なお、PVT については発電による集熱への影響を考慮するため、電子負荷装置により発電した電力を消費させることで、実際の PVT の使用環境に合わせた計測を行う。なお、PVT-A については参考として発電した電力を消費しない試験も合わせて行った。

##### 2.2 集熱効率特性の算出方法

JIS A 4112 より、式(1)、式(2)から各々の瞬時集熱効率  $\eta$  が求められ、式(3)から得られる瞬時集熱効率変数を用いて、集熱効率特性の関係式が式(4)のように一次近似式で定義される。 $d_0$  及び  $d_1$  は一次近似式の定数として求められる。

$$\eta = \frac{Q_{GA}}{I_{GA}} \quad \dots (1)$$

$$Q_{GA} = \dot{m}_D \cdot C_P \cdot \theta_d \quad \dots (2)$$

$$\frac{\Delta\theta'}{I} = \frac{\theta_i - \theta_a}{I} \quad \dots (3)$$

$$\eta = d_0 - d_1 \left( \frac{\Delta\theta'}{I} \right) \quad \dots (4)$$

表 1 空気集熱器の試験体概要

|                       | 基準集熱器              | PVT-A                         | PVT-B              | PVT-C              |
|-----------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| 外形寸法[mm]              | 883×2322×78        | 1120×1650×80                  | 910×1038×57        | 910×733×57         |
| 集熱面積[m <sup>2</sup> ] | 2.05               | 1.848                         | 0.945              | 0.667              |
| 設定流量[kg/h]            | 147.6              | 133.1                         | 68.0               | 48.0               |
| 集熱器の種類                | 透過体付き集熱器           | 太陽光発電機能付き集熱器 (PVT)            | 太陽光発電機能付き集熱器 (PVT) | 太陽光発電機能付き集熱器 (PVT) |
| 太陽電池最大出力              | —                  | 280W                          | 130W               | 88W                |
| PV 種類                 | —                  | 単結晶シリコン                       | 単結晶シリコン            | 単結晶シリコン            |
| 試験日                   | 8/26、8/30、9/8、9/19 | 9/8 (電力消費あり)<br>9/19 (電力消費なし) | 8/26 (電力消費あり)      | 8/30 (電力消費あり)      |
| 外形図                   |                    |                               |                    |                    |

一方、液体集熱器や ISO 9806 2013 と同様に集熱媒体平均温度を用いる場合、式 (3), (4) の代わりに次の式 (5), (6) に置き換えることで求められる。

$$\frac{\Delta\theta}{l} = \frac{\theta_i + \theta_a/2 - \theta_a}{l} \quad \dots (5)$$

$$\eta = d_0 - d_1 \left( \frac{\Delta\theta}{l} \right) \quad \dots (6)$$

|   |                          |
|---|--------------------------|
| $\eta$ : 瞬時集熱効率                             | [—]                      |
| $Q_{GA}$ : 時間当たりの集熱量                        | [W]                      |
| $I_{GA}$ : 集熱面日射強度                          | [W]                      |
| $I$ : 面積当たりの集熱面日射強度                         | [W/m <sup>2</sup> ]      |
| $m\dot{d}$ : 集熱媒体質量流量                       | [kg/s]                   |
| $C_p$ : 集熱媒体定圧比熱                            | [J/(kg · K)]             |
| $\Delta\theta$ : 試験体内熱媒平均温度と周囲温度との差         | [°C]                     |
| $\Delta\theta'$ : 試験体入口空気温度と周囲温度との差         | [°C]                     |
| $\frac{\Delta\theta}{l}$ : 集熱効率変数 (平均温度基準)  | [(m <sup>2</sup> · K)/W] |
| $\frac{\Delta\theta'}{l}$ : 集熱効率変数 (入口温度基準) | [(m <sup>2</sup> · K)/W] |
| $\theta_d$ : 集熱器出入口集熱媒体温度差                  | [K]                      |
| $\theta_i$ : 集熱器入口集熱媒体温度                    | [°C]                     |
| $\theta_a$ : 周囲温度                           | [°C]                     |
| $d_0$ : 一次近似の定数                             | [—]                      |
| $d_1$ : 一次近似の一次定数                           | [—]                      |

### 3. 集熱効率特性

図 1～図 5 に 2017 年 8 月 26 日～9 月 19 日に行った集熱試験の結果として得られた集熱効率特性線図、図 6、図 7 に各々の集熱効率特性から求めた時間帯別の集熱量と日集熱効率を示す。

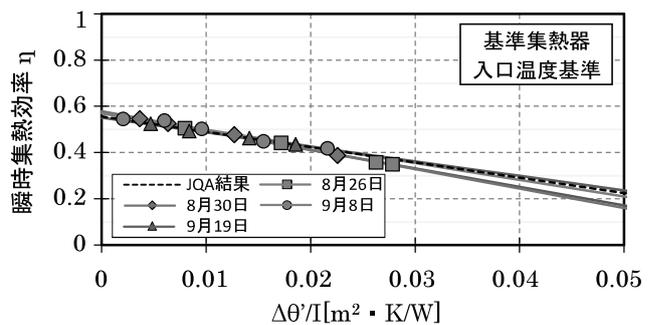


図 1 集熱効率特性線図 (入口温度基準)

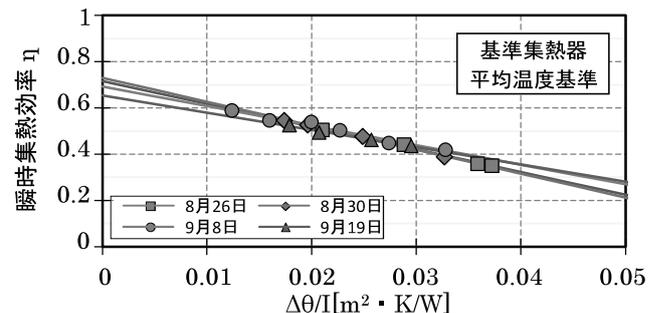


図 2 集熱効率特性線図 (平均温度基準)

入口温度基準は現行 JIS の算出方法によるもので、集熱効率変数に試験体入口空気温度と周囲温度との差を用いており、今回追加した平均温度基準は試験体内熱媒平均温度と周囲温度との差を用いる。

基準集熱器の試験結果は前報で述べたように、各計測日とも JQA による屋内試験結果と概ね一致しており、高精度で計測が行われたことを示している。

PVT-A においては太陽電池による発電の影響を検討するため電力消費無と電力消費有の比較を行い、日集熱効率は PV の発電により、入口温度基準で 12.96% から 10.32% に、平均温度基準では 16.03% から 12.86% にそれぞれ減少し、発電を行うことによって集熱効率が低下することが確認できた。

また、PVT-B の日集熱効率は入口温度基準で 5.31%、平均温度基準で 6.48%、PVT-C の日集熱効率は入口温度基準で 3.98%、平均温度基準で 4.83% であった。以上のことから、全長が短く集熱面積が小さくなると見かけ上、集熱効率が低いことが分かる。

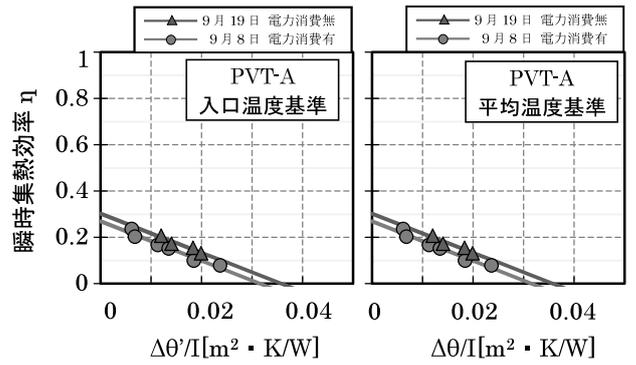


図 3 集熱効率特性線図 (PVT-A)

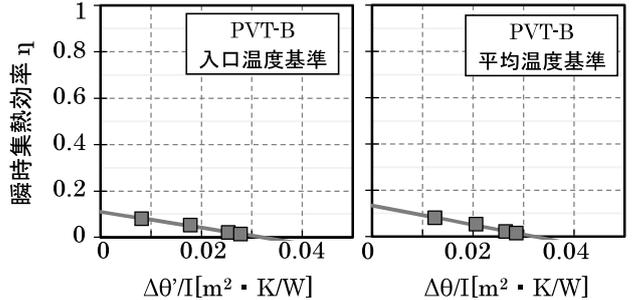


図 4 集熱効率特性線図 (PVT-B)

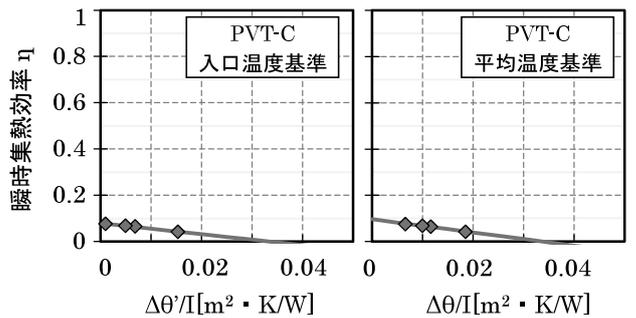


図 5 集熱効率特性線図 (PVT-C)

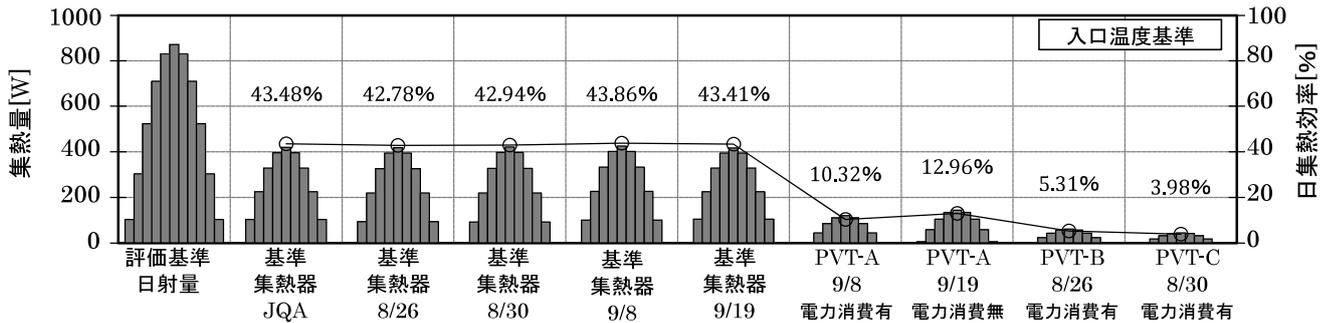


図 6 単位面積当たりの時刻別集熱量及び日集熱効率 (入口温度基準)

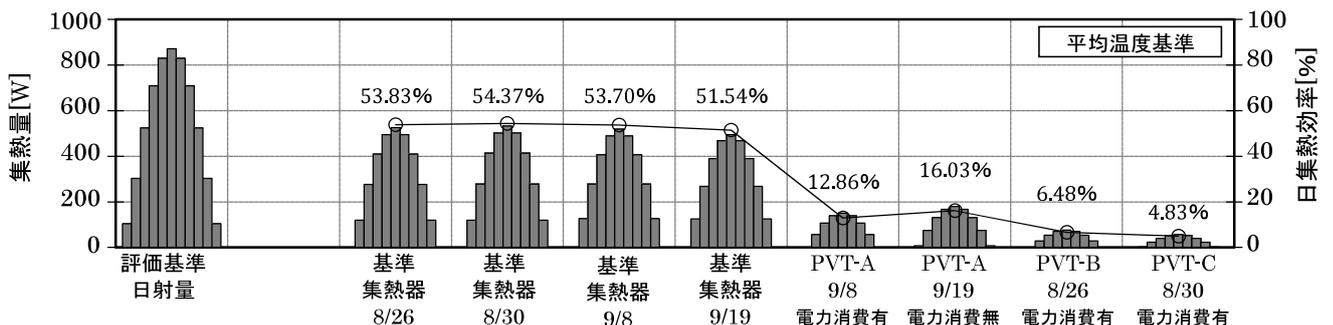


図 7 単位面積当たりの時刻別集熱量及び日集熱効率 (平均温度基準)

#### 4. JIS 改正に向けた検討事項

今後の太陽熱利用の普及のため、JIS A 4112 の改正において、空気集熱器は液体集熱器や国際規格 (ISO) の評価基準に合わせるとともに、新たな評価方法の提案が検討されている。

##### (1) 集熱効率変数の変更(平均温度基準の導入)

現行 JIS では空気集熱器の集熱効率特性算出のための集熱効率変数には入口温度基準(試験体入口空気温度と周囲温度との差)を用いているが、液体集熱器及び ISO 9806:2013 の空気集熱器と同様の平均温度基準(試験体内熱媒平均温度と周囲温度との差)を用いることで、集熱媒体の違いによる相違を無くし、ISO との整合性を確保しつつ、評価基準をわかりやすく見直すことが検討されている。

##### (2) 空気集熱器の試験条件是正

空気集熱器において、現行 JIS では計測機器の要求精度以上の測定条件が設けられているところがある。計測機器の流量計の要求精度は精度 $\pm 2\%$ で、測定条件の集熱媒体流量の変動は $\pm 1\%$ 以内であると定められており、測定機器の精度以上の測定条件を満たす必要がある。一方、ISO 9806:2013 では測定条件の集熱媒体流量の変動を計測機器の精度と同じ $\pm 2\%$ 以内と定められている。現行 JIS を緩和することになるが、ISO 同様に集熱媒体流量の測定条件に是正することが検討されている。

##### (3) 高性能・多機能集熱器の評価

現在、現行 JIS では集熱器の最低性能よりも高性能な集熱器や近年普及しつつある太陽光発電パネルを集熱器としても利用する太陽光発電機能付き集熱器 (PVT) を評価する方法がないため、JIS の改正にあたり、これらの評価を新たに設け、太陽熱利用のさらなる普及につなげることが検討されている。

##### (4) 新たな集熱器能力表示の導入

これまでの慣習として太陽熱利用はその集熱器がもつ熱エネルギー量で表示されていたため、他の再生可能エネルギー源との比較が容易でない。例えば、集熱器には、PV パネル 1 枚の発電能力のような集熱能力表示をしていないため、PV に比べて集熱器能力がわかりにくい。そこで、PV のように集熱器 1 枚当たりの瞬時集熱能力を表示することが検討されている。

図 8、表 2 は集熱器の集熱能力を  $W_{th}$  表示とする例

を示す。集熱器の瞬時集熱能力は、各集熱器の集熱効率特性を算出し、集熱効率  $\eta$  に集熱面日射強度 ( $I = 1000 [W/m^2]$ ) と集熱面積を乗じた値になる。

集熱器の瞬時集熱能力を  $\Delta\theta = 10K$  の時とした場合、今回の集熱試験結果から基準集熱器の集熱能力は  $1246W_{th}$ 、PVT-A は  $340W_{th}$ 、PVT-B は  $87W_{th}$ 、PVT-C は  $45W_{th}$  となる。通常、熱と電気を直接足し合わせることはできないが、創エネルギーの観点から PVT-A の場合、発電  $280W$ 、集熱  $340W_{th}$  を合わせて  $620W$  の能力を持つと表現できる。

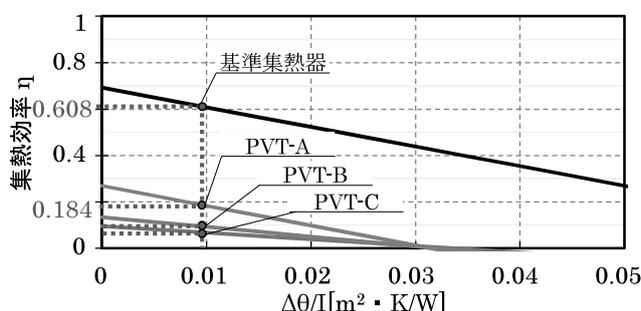


図 8 集熱効率特性線図 (平均温度基準)

表 2  $W_{th}$  表示の例 ( $I = 1000 [W/m^2]$ )

|       | $\Delta\theta$ | 0K    | 10K          | 20K   | 30K   | 40K   |
|-------|----------------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| 基準集熱器 | $\eta$         | 0.692 | <b>0.608</b> | 0.523 | 0.439 | 0.354 |
|       | $W_{th}$       | 1420  | <b>1246</b>  | 1073  | 900   | 726   |
| PVT-A | $\eta$         | 0.269 | <b>0.184</b> | 0.098 | 0.013 | -     |
|       | $W_{th}$       | 497   | <b>340</b>   | 182   | 24    | -     |
| PVT-B | $\eta$         | 0.134 | <b>0.092</b> | 0.050 | 0.008 | -     |
|       | $W_{th}$       | 127   | <b>87</b>    | 47    | 8     | -     |
| PVT-C | $\eta$         | 0.096 | <b>0.067</b> | 0.039 | 0.01  | -     |
|       | $W_{th}$       | 64    | <b>45</b>    | 26    | 7     | -     |

#### 5. まとめ

本報では、現行の JIS が定めている試験方法で複数の試験体を用いて集熱試験を行い、その結果からみえてきた JIS の改正すべき課題について検討を行った。

今後は、屋外集熱試験の季節特性の把握や測定条件緩和の妥当性について検証を行う予定である。

##### [参考文献]

- 1) JIS A 4112 : 2011 太陽集熱器
- 2) ISO 9806:2013
- 3) 盧ら: 空気集熱式太陽集熱器の集熱性能試験に関する研究 その 2) 試験装置の製作と検証, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2015