太陽集光装置における集光部の熱流束計測 (熱流束計測システムの開発)

Heat Flux Measurement of Light Collecting Portion in the Solar Concentrator -Development of Heat Flux Measurement system-

○学 原川 剛志 (宮崎大学院) 正 長瀬 慶紀 (宮崎大) 正 友松 重樹 (宮崎大)
正 河村 隆介 (宮崎大) 正 木村 正寿 (宮崎大)

Tsuyoshi HARAKAWA, University of Miyazaki, Nishi-1, Gakuenkibanadai, Miyazaki-shi, Miyazaki
Yoshinori NAGASE, University of Miyazaki
Shigeki TOMOMATSU, University of Miyazaki
Ryusuke KAWAMURA, University of Miyazaki
Masatoshi KIMURA, University of Miyazaki

Key Words: Solar Energy, Heat Flux Measurement, Heat Flux Sensor, Gardon Gage, Calibration System,

1. 結論

近年、再生可能エネルギーに注目が集まっており、その中でも鏡を使用して太陽光エネルギーを集光し、熱として利用する太陽熱エネルギー利用は、同じ太陽光エネルギーを利用する太陽光発電と比べ、一度太陽光エネルギーを熱に変換することで用途が発電だけに限定されず、多様性からも期待が高まっている。太陽熱エネルギー利用にあたり、効率を左右する要素となるのが光エネルギーを熱に変換するレシーバと呼ばれる受熱部である。レシーバは熱の用途に応じ、さまざまな形状のものが存在するがレシーバの評価を行う際、レシーバへの程度の太陽光エネルギーが入射しているのかを知る必要がある。

現在、太陽光エネルギーの計測には一般的にガードン式熱流束計が使用されている。しかし、ガードン熱流束計は基本的に水冷が必要であり、熱流束の計測は定常状態である必要があるため、計測に時間を要する。太陽光強度は時々刻々変化するため、太陽集光装置に入力されている太陽光エネルギーを装置稼働中に計測することが必要であるが、ガードン式熱流束計では不可能である。

本研究においては無冷却かつ非定常状態での熱流束計測が可能な薄膜型熱流束計¹⁾を用い、短時間での熱流束計測が可能な計測システムを開発し、太陽集光装置を模擬した太陽シミュレータでの熱流束計測結果をガードン式熱流束計と比較して評価することを目的とする。

2. 計測原理

2.1 ガードン式熱流束計 ガードン式熱流束計は円形薄膜型の計測装置であり、図1に示すヒートシンクに水を流して冷却することにより、外周部と中心部の熱接点に温度差を生じさせる。この温度差を2組の熱電対で計測することによって、軸対称の熱伝導方程式から導出される式(1)より熱流束値が算出できる。また、熱流束の計測は温度変化のない定常状態で行う必要がある。

$$q = \frac{4\delta\lambda}{R^2}(T_0 - T_w) \quad (1)$$

ただし、 q : 熱流束 [W/m^2]、 δ : 薄膜の厚さ [m]、 λ : コンスタントの熱伝導率 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]、 R : ガードン熱流束計の半径 0.005m 、 T_0 : 中心部の温度 [K]、 T_w : 外周部の温度 [K] とする。

2.2 薄膜型熱流束計 図2に薄膜型熱流束計の構造を示す。薄膜型熱流束計は、直径 3.2mm 、長さ 10mm のコンスタン

タン製母材金属において、表面及び表面から 5mm の内部の2箇所では熱電対を構成している。表面は電解銅めっきにより表面接点を形成し、表面から 5mm の内部では点溶接により内接点を形成している。薄膜型熱流束計は表面の銅めっきが $10\mu\text{m}$ と十分薄く、断熱されているため半径方向に熱の逃げがない次元熱伝導であると仮定し、非定常の熱伝導方程式から導出した式(2)²⁾より薄膜型熱流束計表面での熱流束値を算出する。

Fig.1 Gardon heat flux gage (cross section view)

Fig.2 Heat flux gage (cross section view)

$$q_{(t_n \leq t_{(n-1)})} = \frac{2\lambda}{\sqrt{\pi a}} \sum_{j=0}^n (k_{(j-1)} - k_j) \sqrt{(t_{(j-1)} - t_j)} \quad (2)$$

ここで、 q ：熱流束[W/m²]， λ ：熱伝導率[W/(m・K)]， k ：温度の時間勾配[K/s]， a ：熱拡散率[m²/s]， t ：時間[s]とする。

3. 校正実験

3.1 校正装置 図3に示す校正実験装置を用いて薄膜型熱流束計の表面薄膜の吸収率を求める。校正装置は、太陽に対して垂直に置かれた凸レンズにより集光した太陽光を薄膜型熱流束計に照射するものである。

Fig.3 Calibration system

3.2 吸収率算出 校正装置を用いて計測した薄膜型熱流束計での熱流束値 q' と直達日射計で計測した熱流束値（直達日射量） q より、式(3)から薄膜型熱流束計の吸収率 α を算出する。

$$\alpha = \frac{q'}{q \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \times \tau} \quad (3)$$

ただし、 α ：熱流束計の吸収率， τ ：レンズの透過率 0.9， q ：直達日射量 [W/m²]， q' ：熱流束[W/m²]， d_1 ：レンズの直径 70mm， d_2 ：集光部の直径[mm]とする。

計測結果から、吸収率 α の値として 0.518 を得た。

4. 太陽シミュレータでの熱流束計測

4.1 熱流束計測システム 太陽集光装置において集光部の熱流束を計測するシステムを設計・製作した。図4に示すように薄膜型熱流束計が取り付けられたアームは、ステッピングモータによって回転し、薄膜型熱流束計が移動しながら熱流束分布を計測することのできる構造となっている。なお、集光部の中心位置を確認するため、アームにはフォトカップラが取り付けられている。

Fig.4 Heat flux measurement system

4.2 太陽シミュレータ 太陽シミュレータは図5に示すように、太陽集光装置を模擬するため、光源として太陽光と同様の分光分布を持つキセノンショートアークランプを使用している。さらに、楕円鏡を用いてビームダウン式太陽

Fig.5 Illustration of solar simulator

Fig.6 Heat flux measured by thin film type of heat flux sensor

集光装置と同様の集光方法と光路を再現している。なお、熱流束計測位置は、集光部でその直径は 30mm である。

4.3 熱流束計測結果 太陽シミュレータにおいて、薄膜型熱流束計およびガードン式熱流束計でそれぞれ熱流束計測を行った。なお、薄膜型熱流束計は、図4の装置で移動するがその周速度は 1m/s で、データのサンプリング間隔は 50 μ s である。

薄膜型熱流束計による計測結果を図6に示す。図6において 0.6 秒付近で熱流束が大きく変化しており、ここで薄膜型熱流束計が太陽シミュレータの集光部を通過している。図6における熱流束の最大値は 400 kW/m² である。

一方、ガードン熱流束計は、太陽シミュレータの集光部に固定して計測した値は 460~470 kW/m² であった。

両者の計測結果は、近い値を示したが一致したとは言いがたいので、さらに薄膜型熱流束計計測システムの改良が必要である。

5. 結論

太陽集光装置を稼働しながら装置に入力される太陽光エネルギーを計測するための熱流束計測システムを開発することを目的とし、次の結論を得た。

- (1) 非定常かつ無冷却で計測できる薄膜型熱流束計による計測システムを開発した。
- (2) 薄膜型熱流束計の薄膜の吸収率を求めるための装置を開発した。
- (3) 太陽シミュレータによる実験を行い、ガードン式熱流束計の計測結果と比較したところ、両者は近い値を示した。

文 献

- 1) 長瀬ほか，機論 B 編 76 巻 765 号，pp.859-864.
- 2) 一色ほか，機論 B 編 39 巻 328 号，pp.3760-3769.