

数値解析による1枚ガラスおよび2枚ガラスCFシート空気式コレクターの集熱性能の検討

Collecting Performance of Air-Type CF-sheet Solar Collector
with 1-Glass and 2-Glass Cover by Numerical Analysis

姜 希 猛*¹
Xi-meng JIANG

馬 場 弘*²
Hiromu BABA

金 山 公 夫*²
Kimio KANAYAMA

遠 藤 登*²
Noboru ENDOH

Abstract

The collecting performance of the 1-glass and 2-glass cover air-type solar collectors using carbon fiber sheet as collecting material (air-type CF-sheet solar collector) have been analyzed numerically. Based on a structure of the collectors, a mathematical model is designed, the heat balance equations are given, and then collector efficiency is calculated under the various conditions. As a result, the overall heat loss coefficient U_L of the 2-glass CF-sheet collector was smaller than the 1-glass CF-sheet collector, and also F' and $(\tau\alpha)_{eff}$ could be given. Collector efficiencies of both the 1-glass and 2-glass CF-sheet collectors become higher along with the higher intensity of radiation, higher rate of air flow and ambient temperature, and decreases with higher inlet temperatures. Comparison between these two calculated results, it was found that collector efficiency of the 2-glass CF-sheet collector is always higher than that of the 1-glass CF-sheet collector when those parameters are assumed to be constant.

Key Words: Solar Energy, Collector Efficiency, Air-Type CF-Sheet Collector, Numerical Analysis

1. まえがき

CFシート空気式コレクターは太陽光の吸収および熱伝達が良い炭素繊維シートを集熱材とする平板型集熱器である。図1に示すように、コレクターは内部に1枚のCFシートが熱媒の空気の流れに交差するように5段に挿入され、もう1枚のCFシートが底面の断熱材の上に張られ、表面をカバーガラスで覆われた構造である。この構造をもとに設定されたコレクターモデルを用いて数値解析により熱収支計算を行い、その集熱性能が既に明らかにされた⁽¹⁾。一方、屋内において大型ソーラーシミュレータの安定した条件のもとで性能測定を行い、その集熱性能が実験的に明らかにされた⁽²⁾。

つぎに、集熱器内部から表面上部への対流および放射による熱損失を防ぐためにガラスをもう1枚加え、2枚ガラスCFシート空気式コレクターの集熱性能を明らかにすることを試みた。すなわち、本研究では、1枚ガラスおよび2枚ガラスCFシートコレクターの集熱性能を比較するため、日射強度、

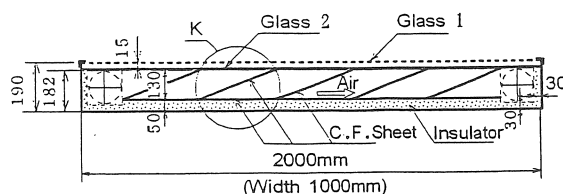


Fig.1 Structure of the air-type CF-sheet collector

熱媒空気の温度、流量および環境温度などの一定条件のもとで集熱効率の解析を行い、算出された両コレクターの集熱性能の比較、検討を行った。同時に損失係数によるCFシート空気式コレクターの集熱性能の検討を行った。

*¹ 会員、北見工業大学大学院

*² 会員、北見工業大学工学部(〒090-8507 北見公園町165)

(原稿受付 平成10年9月29日)

Graduate Course of Engng., Kitami Institute of Technology
Dept. of Mech. Engng., Kitami Institute of Technology

2. 数値解析

コレクターの集熱性能を解析するために、図1に示す5段からなるCFシート集熱部の1段を取り出し、図2に示すような熱解析のための集熱モデルとする。

図2において、(a)は1枚ガラスCFシートコレクターのモデルを、(b)は2枚ガラスCFシートコレクターのモデルを示す。それぞれ2枚のCFシート集熱材と1枚のカバーガラス、および2枚のCFシート集熱材と2枚カバーガラスによって構成される。

解析モデル内の熱授受の概要は次の通りである。強度 J の入射光が集熱器に照射するとき、一部がガラス $G1$ で反射または吸収され、大部分がガラスを透過し、それぞれCFシート $S1$ 、 $S2$ に吸収される。1枚ガラスの場合は、ガラス $G1$ に吸収された熱量は一部が外部へ放射され、一部が $S1$ および $S2$ に吸収される。2枚ガラスの場合は $G1$ からの熱量は外部へはほとんど放射されず、ガラス $G2$ および $S1$ 、 $S2$ に吸収される。

同様にシート $S1$ の熱量は一部がガラスに吸収され、一部がシート $S2$ に吸収される。シート $S2$ の熱量は一部がシート $S1$ に吸収され、一部がガラスに吸収される。しかし、シート $S1$ およびシート $S2$ の熱量は大部分が熱媒の空気に伝えられる。これらの熱授受の結果、平衡状態に達したときに各部材の温度は一定となる。ここで、ガラスやCFシート内部の熱伝導は省略し、またガラスおよび各部材間の多重反射も無視する。集熱器の熱損失はガラス $G1$ から外部への放射による Q_{CG1} と対流による Q_{CG10} および底面からの熱伝導による Q_{CB0} により構成される。ただし、側面の影響は Q_{CB0} に面積割合の係数を掛けることで修正する。

以上の熱授受の結果、各部材において次のような平衡式⁽¹⁾が成立する。

1枚ガラス：

$$Q_{CS1} + Q_{GIS1} - Q_{SG1} - Q_{S10} - Q_{S12} + Q_{SS1} - Q_{FAG1} + Q_{FAS2} - Q_{FAE} = 0 \quad \text{シート } S1 \cdots (1)$$

$$Q_{CG1} - Q_{G10} - Q_{GIS1} + Q_{SG1} - Q_{GS2} + Q_{SG1} - Q_{CG10} + Q_{BAG1} = 0 \quad \text{ガラス } G1 \cdots (2)$$

$$Q_{CS2} + Q_{GIS2} + Q_{SS2} - Q_{SG2} - Q_{S20} - Q_{S22} - Q_{FAS2} - Q_{CB0} = 0 \quad \text{シート } S2 \cdots (3)$$

2枚ガラス：

$$Q_{CS1} - (Q_{S10} - Q_{GS1}) - (Q_{S12} - Q_{SS1}) - (Q_{SG1} - Q_{GIS1}) - Q_{S10} - Q_{FAG2} + Q_{FAS2} - Q_{FAE} = 0 \quad \text{シート } S1 \cdots (4)$$

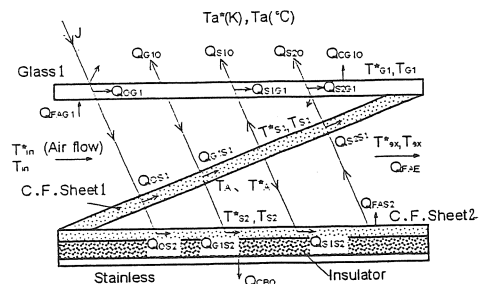
$$Q_{CG2} - (Q_{G20} - Q_{GIS2}) - (Q_{GS2} - Q_{SS2}) - (Q_{GS2} - Q_{SS2}) - Q_{CG2} - (Q_{CG20} - Q_{CG10}) + Q_{FAG2} = 0 \quad \text{ガラス } G2 \cdots (5)$$

$$Q_{CG1} - (Q_{G10} - Q_{GIS1}) - (Q_{GIS1} - Q_{SG1}) - (Q_{GS1} - Q_{SS1}) - Q_{G10} - (Q_{CG10} - Q_{CG20}) - Q_{CG10} = 0 \quad \text{ガラス } G1 \cdots (6)$$

$$Q_{CS2} - (Q_{SS2} + Q_{SG2}) - (Q_{SS2} - Q_{GS2}) - (Q_{SG2} - Q_{GIS2}) - Q_{GS2} - Q_{FAS2} - Q_{CB0} = 0 \quad \text{シート } S2 \cdots (7)$$

上記の式(1)～(7)において各項の内容は次の通りである。 Q_{CS1} 、 Q_{CG1} 、 Q_{CG2} 、 Q_{CS2} はそれぞれCFシート $S1$ 、ガラス $G1$ 、ガラス $G2$ およびCFシート $S2$ における日射の吸収熱量である。 Q_{S1G1} 、 Q_{S1G2} 、 Q_{S10} 、 Q_{S12} は温度 T_{S1} のCFシート $S1$ からそれぞれ $G1$ 、 $G2$ 、外部および $S2$ への放射熱量である。 Q_{G10} 、 Q_{G1G2} 、 Q_{G1S1} 、 Q_{G1S2} はそれぞれ温度 T_{G1} の $G1$ から外部、 $G2$ 、

(a) 1-Glass Cover



(b) 2-Glass Cover

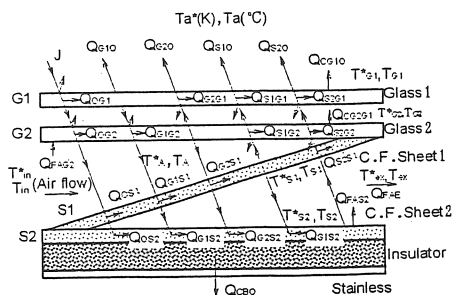


Fig.2 Heat balance in two models of the 1-glass and 2-glass collectors (Extracted from K in Fig.1)

S1 および S2 への放射の熱量である。

Q_{G20} 、 Q_{G2G1} 、 Q_{G2S1} 、 Q_{G2S2} はそれぞれ温度 T_{G2} の G2 から外部、G1、S1 および S2 への放射熱量である。 Q_{S20} 、 Q_{S2G1} 、 Q_{S2G2} 、 Q_{S2S1} はそれぞれ T_{S2} の S2 から外部、G1、G2 および S1 への放射熱量である。

熱量 Q_{CG10} 、 Q_{CG1G2} 、 Q_{CG2G1} 、 Q_{FAG1} 、 Q_{FAG2} 、 Q_{FAS2} はそれぞれ G1 から外部へ、G1 から G2 へ、G2 から G1 へ、内部空気から G1 へ、内部空気から G2 へおよび S2 から内部空気への対流による放熱量である。 Q_{FAE} は集熱器中を流動する空気の単位面積の当たりの有効集熱量で、 Q_{CBO} は側面の影響を含む底面からの損失熱量である。

3. 集熱効率の計算⁽¹⁾

以上の 1 枚ガラス集熱器の熱収支式 (1) ~ (3) および 2 枚ガラス集熱器の熱収支式 (4) ~ (7) に関して、日射強度、外気温度、熱媒空気の入口温度および流量などの所定の条件のもとで、各部材の温度を微小づつ変化させ、反復法による繰返し計算を行う。

式 (1) ~ (3) および式 (4) ~ (7) を用いて平衡状態における各部材の温度 T_{G1} 、 T_{G2} 、 T_{S1} 、 T_{S2} および 1 段当たりの集熱量がそれぞれ得られる。図 1 の丸枠で示される段の集熱部の出口温度は次の段の集熱部の入口温度となり再び計算され、5 段の集熱部の集熱量を平均すると全体の集熱量 Q_{FAE} が得られ、これを日射強度 J で割って集熱効率を求めることができる。

図 3 は外気温度 10°C、入口温度 60°C、空気流量 3m³/min および日射量 800W/m² の条件のもとで計算した集熱器各部の温度および各成分熱量である。図において、集熱器表面からの放射および対流による熱損失は、1 枚ガラスの場合は、

$$\begin{aligned} & Q_{CG10} + Q_{G10} + Q_{S10} + Q_{S20} \\ & = 370.0 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

2 枚ガラスの場合は、

$$\begin{aligned} & Q_{CG10} + Q_{G10} + Q_{G20} + Q_{S10} + Q_{S20} \\ & = 256.8 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

また、1 枚ガラスおよび 2 枚ガラス集熱器の底面からの熱伝導による損失 Q_{CBO} はそれぞれ 64.7 W/m²、67.1 W/m² である。従って、集熱器からの熱損失 Q_U は

1 枚ガラス：

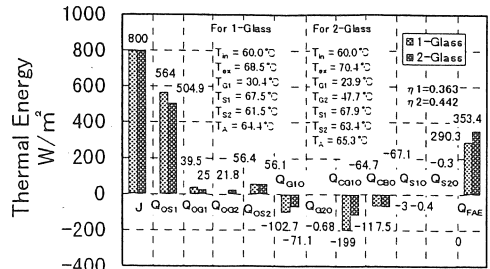


Fig.3 Partial thermal energies and various temperatures for 1-glass and 2-glass collectors

$$\begin{aligned} Q_U &= Q_{CG10} + Q_{G10} + Q_{S10} + Q_{S20} + Q_{CBO} \\ &= 434.7 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

2 枚ガラス：

$$\begin{aligned} Q_U &= Q_{CG10} + Q_{G10} + Q_{G20} + Q_{S10} + Q_{S20} + Q_{CBO} \\ &= 323.9 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

4. 熱損失係数 U_L および集熱器係数 F' の検討⁽³⁾

4.1 U_L および F' の計算式

平板型の CF シートコレクターに対する集熱効率は次の式で表すことができる。

$$\eta = F' \{ (\tau \alpha)_{\text{eff}} - U_L (T_A - T_a) / J \} \quad (8)$$

ここで、 $(\tau \alpha)_{\text{eff}}$ は透過率と吸収率の有効積である。 T_A は集熱器入口および出口における熱媒空気の平均温度で、 T_a は外気温度である。熱損失係数 U_L および集熱器係数 F' を計算するために、 $(\tau \alpha)_{\text{eff}}$ を計算しなければならない。表面ガラスによる熱量の吸収を無視する場合は、 $(\tau \alpha)_{\text{eff}}$ は次の式により計算される。

1 枚ガラス：

$$\begin{aligned} (\tau \alpha)_{\text{eff}} &= \tau \tau^* \alpha + \tau (1 - \tau^*) \tau^* \alpha \\ &= 0.818 \quad (9) \end{aligned}$$

2 枚ガラス：

$$\begin{aligned} (\tau \alpha)_{\text{eff}} &= \tau^2 \tau^* \alpha + \tau^2 (1 - \tau^*) \tau^* \alpha \\ &= 0.715 \quad (10) \end{aligned}$$

ここで、 τ はガラスの透過率、 α は CF シート素材の吸収率、 τ^* は CF シートの光トラップ率である。上記式 (9) および式 (10) は $\tau=0.87$ 、 $\alpha=0.95$ 、 $\tau^*=0.9$ として計算した値である。一方、集熱器表面ガラスの熱吸収によりガラス温度が上昇し、これにより集熱器内部から外部への熱損失

が少なくなる。ここで、表面ガラス板の吸収を考慮しさらに修正すると、 $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$ は次のようになる。

1枚ガラス：

$$(\tau\alpha)_{\text{eff}} = \tau\tau^*\alpha + \tau(1-\tau^*) \times \tau^*\alpha + \alpha_g / (1+\xi_1) \quad (11)$$

2枚ガラス：

$$(\tau\alpha)_{\text{eff}} = \tau^2\tau^*\alpha + \tau^2(1-\tau^*) \times \tau^*\alpha + \alpha_g / (1+\xi_2) + \alpha_g \times \tau / (1+\xi_3) \quad (12)$$

ここで、 α_g はガラスの吸収率である。

ξ_1 、 ξ_2 、 ξ_3 はそれぞれ式(13)～式(15)で求めることができる。

$$\xi_1 = Q_{G10} / (Q_{G1S1} + Q_{G1S2}) \quad (13)$$

$$\xi_2 = Q_{G10} / (Q_{G1S1} + Q_{G1S2} + Q_{G1G2}) \quad (14)$$

$$\xi_3 = Q_{G20} / (Q_{G2S1} + Q_{G2S2} + Q_{G2G1}) \quad (15)$$

ξ_1 、 ξ_2 、 ξ_3 はガラスに吸収された熱量の外部への損失量とCFシートに吸収された熱量の割合である。その値は表1に示される。

U_L および F は集熱量 Q_{FAE} および熱損失 Q_U により求めることができる。式(8)に日射量をかけて熱量で示すと、

$$Q_{FAE} = FJ(\tau\alpha)_{\text{eff}} - F'U_L(T_A - T_a) \quad (16)$$

ここで熱損失部分 $Q_U = F'U_L(T_A - T_a)$ は既知であるため、

$$F' = (Q_{FAE} - Q_U) / [J(\tau\alpha)_{\text{eff}}] \quad (17)$$

F を式(16)に代入すると U_L も求めることができる。

4.2 U_L および F' の計算結果

図4は1枚ガラスおよび2枚ガラス集熱器の熱媒空気の入口温度と熱損失係数の関係を示す。図において、3つの外気温度 -20°C 、 10°C 、 40°C に対して、入口温度が $-10^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 、 $50^\circ\text{C} \sim 140^\circ\text{C}$ の間で 10°C ずつ変化させる。一定の外気温度および入口温度に対して日射強度を200

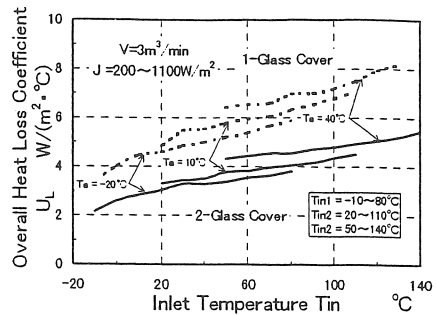


Fig.4 Overall heat loss coefficients U_L of 1-glass and 2-glass CF-sheet collectors

Table 1 Calculation results of $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$ and F'

(a) $T_a = -20^\circ\text{C}$

T_{in}	1-Glass Cover				2-Glass Cover			
	ξ_1	F'	$(\tau\alpha)_{\text{eff}}$		ξ_2	ξ_3	F'	$(\tau\alpha)_{\text{eff}}$
-10	0.0628~0.1961	0.854	0.867	0.0449~0.1812	0.0001~0.0003	0.870	0.801	
0	0.1073~0.2318	0.893	0.866	0.0683~0.2064	0.0001~0.0004	0.867	0.800	
10	0.1426~0.2659	0.894	0.865	0.0919~0.2192	0.0002~0.0004	0.890	0.799	
20	0.1917~0.3033	0.893	0.865	0.1226~0.2297	0.0002~0.0004	0.916	0.798	
30	0.2307~0.3382	0.912	0.864	0.1538~0.2349	0.0003~0.0004	0.922	0.797	
40	0.2888~0.3752	0.908	0.864	0.1895~0.2591	0.0004~0.0005	0.947	0.796	
50	0.3349~0.4101	0.909	0.864	0.2225~0.2866	0.0005~0.0006	0.947	0.795	
60	0.3817~0.4436	0.912	0.864	0.2578~0.3156	0.0006~0.0007	0.959	0.795	
70	0.4279~0.4794	0.938	0.863	0.2925~0.3437	0.0007~0.0009	0.959	0.793	
80	0.4716~0.5144	0.958	0.863	0.3268~0.3738	0.0009~0.0010	0.976	0.793	
Averaged		0.907	0.865		Averaged		0.925	0.797

(b) $T_a = 10^\circ\text{C}$

T_{in}	1-Glass Cover				2-Glass Cover			
	ξ_1	F'	$(\tau\alpha)_{\text{eff}}$		ξ_2	ξ_3	F'	$(\tau\alpha)_{\text{eff}}$
20	0.0575~0.1810	0.874	0.867	0.0427~0.1564	0.0001~0.0005	0.892	0.800	
30	0.1052~0.2166	0.906	0.866	0.0667~0.1794	0.0002~0.0006	0.884	0.800	
40	0.1410~0.2544	0.899	0.866	0.0928~0.194	0.0003~0.0007	0.890	0.799	
50	0.1858~0.2833	0.913	0.865	0.1214~0.2062	0.0004~0.0008	0.929	0.799	
60	0.2302~0.3183	0.910	0.866	0.1498~0.2219	0.0006~0.0008	0.933	0.798	
70	0.2749~0.3526	0.903	0.864	0.1813~0.2395	0.0007~0.0009	0.949	0.797	
80	0.3066~0.3618	0.911	0.864	0.2130~0.2724	0.0009~0.0011	0.940	0.797	
90	0.3648~0.4178	0.923	0.864	0.2473~0.2998	0.0011~0.0013	0.940	0.795	
100	0.4077~0.4476	0.934	0.864	0.2797~0.3241	0.0013~0.0015	0.958	0.794	
110	0.4492~0.4742	0.929	0.864	0.3133~0.3543	0.0015~0.0017	0.957	0.793	
Averaged		0.910	0.865		Averaged		0.927	0.797

(c) $T_a = 40^\circ\text{C}$

T_{in}	1-Glass Cover				2-Glass Cover			
	ξ_1	F'	$(\tau\alpha)_{\text{eff}}$		ξ_2	ξ_3	F'	$(\tau\alpha)_{\text{eff}}$
50	0.0581~0.1704	0.890	0.867	0.0405~0.1344	0.0002~0.0008	0.923	0.801	
60	0.0963~0.2034	0.898	0.866	0.0658~0.1606	0.0004~0.0010	0.905	0.800	
70	0.1431~0.2373	0.891	0.866	0.0921~0.1750	0.0006~0.0011	0.930	0.800	
80	0.1822~0.2693	0.912	0.865	0.1191~0.1880	0.0008~0.0012	0.938	0.799	
90	0.2240~0.3019	0.891	0.865	0.1476~0.2058	0.0010~0.0013	0.957	0.798	
100	0.2634~0.3315	0.882	0.865	0.1766~0.2359	0.0012~0.0016	0.954	0.797	
110	0.3066~0.3618	0.896	0.864	0.2058~0.2608	0.0014~0.0018	0.955	0.796	
120	0.3486~0.3910	0.962	0.864	0.2374~0.2855	0.0017~0.0021	0.955	0.795	
130	0.3840~0.4140	0.965	0.864	0.2682~0.3081	0.0020~0.0023	0.955	0.794	
140	0.4295~0.4450			0.2995~0.3318	0.0023~0.0026	0.986	0.793	
Averaged		0.910	0.865		Averaged		0.946	0.797

$W/m^2 \sim 1100W/m^2$ に変化させ計算したものである。図から、1枚ガラスCFシート集熱器および2枚ガラスCFシート集熱器の熱損失係数はそれぞれ $2.86 \sim 8.13$ 、 $2.14 \sim 5.36$ の間で変化し、入口温度の増加につれて、ともに増大する。また、同じ入口温度に対して2枚ガラス集熱器のほうが1枚ガラス集熱器より熱損失係数が小さくなり、両者の差が入口温度の増加とともに、やや増大する。外気温度が上昇するとコレクター内部集熱温度も高くなり、熱損失係数が大きくなる。

図4の条件で計算した $(\tau\alpha)_{eff}$ および F の値を表1に示す。表より、 $(\tau\alpha)_{eff}$ の値は入口温度が増加すればやや低下するが、ほとんど一定である。さらに、外気温度が変化してもその値は変わらない。集熱器係数 F は入口温度が大幅に増加するとそれぞれ $0.85 \sim 0.96$ 、 $0.87 \sim 0.98$ の範囲でやや増大の傾向になる。この結果、集熱器係数 F は熱媒空気の入口温度の関数と考えられ、使用の際に平均値をとると、1枚ガラスにおいて $F=0.91$ および2枚ガラスにおいて $F=0.93$ となる。

5. 計算結果と考察

図5は外気温度による集熱効率の変化を示す。集熱器の入口温度を $20^\circ C$ の一定に設定し、空気流量が $3.0m^3/min$ のときに、外気温度が $0^\circ C \sim 18^\circ C$ に増加すると、集熱効率が増加することが分かる。2枚ガラスおよび1枚ガラス集熱器のそれぞれ3つの点群は日射強度が $200W/m^2$ 、 $500W/m^2$ 、 $800W/m^2$ の場合に相当する。図から、日射強度が小さいときに、外気温度の増加による効率の増加率は大きい。また、同じ外気温度に対して、2枚ガラス（黒印）のほうが1枚ガラス（白印）より集熱効率が大きい。両者の差は、日射強度が小さいときに大きくなることが分かる。

図6は流量をパラメータとして日射強度と集熱効率の関係を示す。外気温度 $10^\circ C$ 、入口温度 $20^\circ C$ の条件で日射強度が $200W/m^2$ から $1100W/m^2$ に増加すると、集熱効率はいずれも増大する。4つの点群はそれぞれ空気流量 $0.5m^3/min$ 、 $1.0m^3/min$ 、 $3.0m^3/min$ 、 $5.0m^3/min$ の場合である。図より、同じ日射強度に対して空気流量が大きいと集熱効率も大きい。また、流量が大きい場合は、日射強度の変化による集熱効率の変化がやや大きいことが分かる。特に、日射強度が小さいところで、

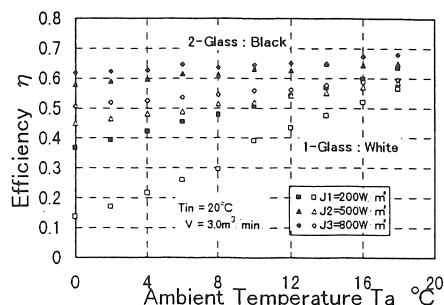


Fig.5 Collector efficiency vs. the ambient temperature

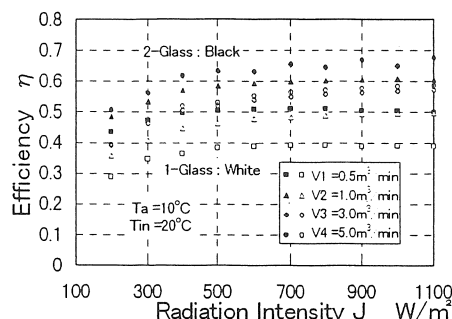


Fig.6 Collector efficiency vs. the radiation intensity

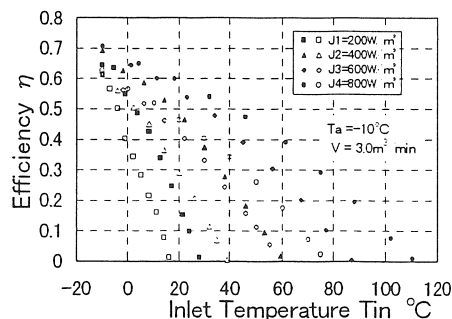


Fig.7 Collector efficiency vs. the inlet temperature of the air

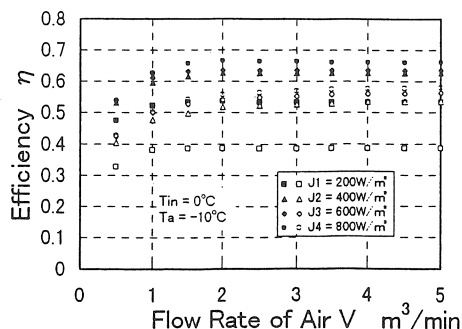


Fig.8 Collector efficiency vs. the flow rate of air

集熱効率の日射強度に対する増加率が大きい。図において空気流量が大きければ、2枚ガラスと1枚ガラスとでは効率が接近するが、空気流量の減少とともに、両者の効率差が大きくなることが分かる。

図7は外気温度 -10°C 、空気流量が $3.0\text{m}^3/\text{min}$ のとき、4つの日射強度 $200\text{W}/\text{m}^2$ 、 $400\text{W}/\text{m}^2$ 、 $600\text{W}/\text{m}^2$ 、 $800\text{W}/\text{m}^2$ に対して入口温度を $T_{in}=-10^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}\sim 59^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}\sim 87^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ (2枚ガラス)、 $T_{in}^*=-10^{\circ}\text{C}\sim 16^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}\sim 39^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}\sim 75^{\circ}\text{C}$ (1枚ガラス)の4段階に変えたときの結果である。図から、一定の外気温度、流量および日射強度に対して入口温度の増加とともに集熱効率が減少する。減少の割合は日射強度が小さいほど大きい。これは、入口温度が増大すると集熱温度が上昇し、集熱温度と外気温度の差が大きくなって外部への熱損失が増大し、集熱温度は上限の飽和温度に接近するためと思われる。また、同じ入口温度に対して日射強度が大きいと当然集熱効率が大きくなる。1枚ガラスと2枚ガラスとの比較により、同じ入口温度に対して、集熱効率が2枚ガラスのほうが大きく、入口温度の増加とともに、両者の差が増大することが分かる。

図8は空気流量による集熱効率の変化を示す。図から流量が増すと集熱効率も増大するが、 $0.5\text{m}^3/\text{min}\sim 2.0\text{m}^3/\text{min}$ の間で効率の変化割合が大きく、 $2.0\text{m}^3/\text{min}$ 以上では効率の変化割合が小さくなる。これは、空気流量が大きいほど集熱量が増すが、熱伝達による損失も増大することによる。また、1枚ガラスと2枚ガラスの比較により、同じ流量に対して2枚ガラスのほうが集熱効率が大きい。特に、日射強度が低いときに、この差が大きくなることが分かる。

図9は外気温度 $T_a=10^{\circ}\text{C}$ 、日射強度が $J=800\text{W}/\text{m}^2$ 、空気流量がそれぞれ $V=0.5\text{m}^3/\text{min}$ 、 $1.0\text{m}^3/\text{min}$ 、 $3.0\text{m}^3/\text{min}$ 、 $5.0\text{m}^3/\text{min}$ の条件を設定した場合の2枚ガラスおよび1枚ガラス集熱器の集熱効率を示す。流量が変化すると集熱器の入口温度の変化範囲が $T_{in}=10^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ (2枚ガラス)、 $T_{in}^*=10^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ (1枚ガラス)に変わるが、集熱効率の値は流量の変化に関係なく1本のゆるやかな曲線となる。特に、横軸値 $(\Delta T/J)$ が大きくなると、効率線図がやや右下がりに低下する。効率線図の勾配は、集熱器の熱損失係数 U_L を表すので、

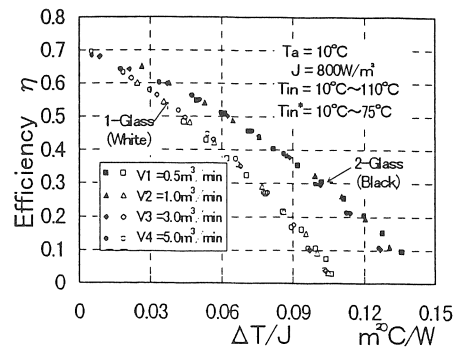
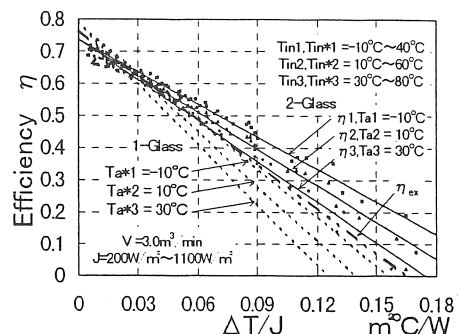


Fig.9 Collector efficiency when varying the flow rate of air



$$\eta_1 = 0.736 - 3.36 (\Delta T/J)$$

$$\eta_2 = 0.736 - 3.79 (\Delta T/J)$$

$$\eta_3 = 0.736 - 4.21 (\Delta T/J)$$

Multiple correlation coefficient

$$R = 0.993 \sim 0.995$$

$$\eta_{ex} = 0.763 - 4.63 (\Delta T/J)^{(4)}$$

Fig.10 Efficiency diagram using ambient temperature as parameter under wide ranges of inlet temperature and radiation intensity

入口温度の増大にともなう U_L がやや増大することが分かる。また、1枚ガラスコレクターと2枚ガラスコレクターの集熱効率の比較により、2枚ガラスのほうが1枚ガラスより熱損失係数 U_L は小さく、したがって効率が高いことが分かる。

図10に示す実線は外気温度をそれぞれ -10°C 、 10°C 、 30°C と一定にして、日射強度 $200\text{W}/\text{m}^2\sim 1100\text{W}/\text{m}^2$ 、流量 $3.0\text{m}^3/\text{min}$ の条件のもとで計算された2枚ガラスCFシート空気式コレクターの集熱効率線図である。すなわち外気温度が一定で十分な日射強度幅を与えた場合、効率線図がほぼ直線となり、3つの外気温度に対してそれぞれ直

線近似して図の下に示すような3本の効率線図式 $\eta_1 \sim \eta_3$ が得られた。これにより、広い範囲の外気温度に対して2枚ガラス空気式コレクターの集熱性能が明らかになった。図中の太い2点鎖線が2枚ガラスCFシート集熱器の過去に行った屋外での測定値による効率線図⁽⁴⁾であり、これは晴天日の正午付近の日射量が大きく、外気温度の高いときの測定結果である。図から、外気温度30℃の計算値による効率線図とほぼ一致する。また、点線は1枚ガラスのもので、2枚ガラスのほうが集熱性能が良いことが分かる。

6. むすび

以上、CFシート空気式コレクターの集熱性能の解析により、2枚ガラスの場合はガラスが1枚増えたことにより集熱器表面からの放射および対流による熱損失が抑えられ、熱損失係数 U_L が小さくなり、集熱性能が向上した。また、種々の条件に対して数値解析で得られた集熱効率線図により集熱性能が明らかになり、次の結論が得られた。

- (1) 入口温度、流量、日射強度および外気温度の変化による1枚ガラスおよび2枚ガラスコレクターの集熱性能は、集熱効率線図において同じ変化傾向である。つまり、日射

強度および外気温度の増加とともに効率は増大し、入口温度の増加により効率は低下する。

- (2) 一定の入口温度、外気温度、日射強度および流量に対して2枚ガラスコレクターの集熱性能が1枚ガラスのそれより常に高い。
- (3) 集熱効率の計算値と過去の測定値との比較により両者はほぼ一致する。

参考文献

- (1) 姜希猛、金山公夫、馬場弘、遠藤登、炭素繊維シートを集熱材とする空気式集熱器に関する熱性能の解析、太陽エネルギー、24-6、(1998)、55-62。
- (2) 姜希猛、金山公夫、馬場弘、遠藤登、ソーラシミュレータによる炭素繊維シート空気式集熱器の性能測定、太陽エネルギー、24-6、(1998)、63-69。
- (3) Duffie, J.D. and Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, New York, (1980), 237-239
- (4) K. Kanayama, Radiative Property of Absorbing Materials and its Collection Efficiency, Int. J. Solar Energy, 1, (1986), 353-368.