

北見市における太陽温水器による太陽熱の利用

馬 場 弘*

金 山 公 夫*

石 谷 博 美*

(昭和 46 年 3 月 31 日受理)

Utilization of Solar Energy with Solar Water Heaters in Kitami

by Hiromu BABA, Kimio KANAYAMA
and Hiromi ISHITANI

Experiments on the utilization of solar energy in the city of Kitami were performed with a flat type solar water heater, available on the market, and a focussing type solar water heater of the authors' own making. A Sekisui Heater was used for the flat type solar water heater, and the period of measurements lasted 7 months, from May the 19th till November the 19th, 1970. The period of measurements on the focussing type solar water heater lasted about two months, from October the 1st till November the 25th, 1970.

The following results were obtained.

- (1) The flat type solar water heater can reliably be used from June to September.
- (2) The solar water heater, in case of being used in a cold region, has to be improved as far as the heat insulation and the draining mechanism are concerned and the expansion of the receiving area of sun rays is also needed.
- (3) The efficiency of the focussing type solar water heater is less than that of the flat type solar water heater, caused by the low reflection factor of the mirror.

1. ま え が き

著者ら¹⁾は先に、北見市における日射エネルギーの測定を行ない、北見市において11月から1月の3カ月間をのぞいて、温水器等により太陽熱を利用しうる見通しを得た。しかし実際に温水器を試作使用する場合、温水器の受光面カバーの透過率、保温性、臨界温度、設置条件および春秋の凍結防止など多くの問題点がある。

これらの点を含めて温水器使用の実態を知るために、昭和45年5月19日から同年11月19日まで、市販の温水器(セキスイヒータ)による太陽熱利用の実験を実施した。

一方、ほう物面反射鏡による集光型温水器を当研究室で試作し、同年10月1日から11月25日まで実験を実施したので、それらの結果をまとめて報告する。

* 北見工業大学機械工学科

2. 温水器の受熱量および効率の算式

2.1 平板型温水器

平板型温水器は一定の受光面を持つ保温箱で、受光面から入射した日射エネルギーを受熱板に受け、内部の水を加熱するものである。

図-1に示すように、受光面が真南から角度 α 、法線と天頂との角度 Ψ の条件で設置されている平板に入射する日射エネルギーの強度 G_{hs} は、次式で求められる²⁾。

$$G_{hs} = G_0 \tau_0^m \sin h \cos i \quad \text{kcal/m}^2\text{h} \quad (1)$$

ただし

$$\cos i = \cos(A_z - \alpha) \cos h \sin \Psi + \sin h \cos \Psi$$

$$A_z = \sin^{-1}[\cos \delta \sin t / \cos h]$$

ここで G_0 : 太陽定数 1200 kcal/m²h τ_0 : 大気透過率

m : 大気経路 (air mass) h : 太陽高度 deg.

A_z : 太陽の方位角 (真南を基点に西向きに測る) deg.

t : 地球の自転角度で表わした時間 deg./hr

δ : 地球の自転軸と公転面のなす角度 deg.

したがって設置条件 (α, Ψ) の温水器が時間 t_1 から t_2 の間に受ける受熱量 Q_p^* は

$$\begin{aligned} Q_p &= A \int_{t_1}^{t_2} G_{hs} dt \\ &= AG_0 \int_{t_1}^{t_2} \tau_0^m \sin h \cos i dt \quad \text{kcal} \end{aligned} \quad (2)$$

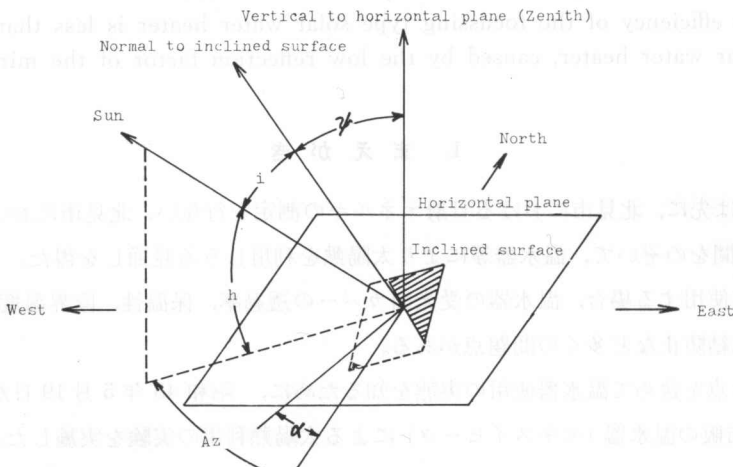


図-1 傾斜平面に対する太陽角と面角の定義

Fig. 1. Definition of solar and surface angles for an inclined surface.

* 添字 p は平板型温水器を示す。

ただし

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t$$

$$m = \operatorname{cosec} h$$

ϕ : 実験地点の緯度 deg.

A : 温水器受光面積 m^2

で表わされる。

平板型温水器で実際に吸収した熱量 q_p は

$$q_p = c W_p (T_{p2} - T_{p1}) \quad \text{kcal} \quad (3)$$

ここで c : 水の比熱 $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

W_p : 採湯量 kg

T_{p1} : 給水温度 $^\circ\text{C}$ T_{p2} : 採湯温度 $^\circ\text{C}$

で表わされる。

温水器効率 η_p は、次式で表わされる。

$$\eta_p = q_p / Q_p \times 100 \quad \% \quad (4)$$

2.2 ほう物面集光型温水器

ほう物面反射鏡による集光型温水器は、ほう物面反射鏡で受けた日射エネルギーを、その焦点にある受熱管に集めて高温度の湯を得る装置である。

集光型温水器が受ける日射エネルギー Q_f^* は、反射鏡の投影面積と垂直面日射エネルギーの積と時間で表わされ、時間 t_1 から t_2 では

$$Q_f = \int_{t_1}^{t_2} B G_0 \tau_0^m dt \quad \text{kcal} \quad (5)$$

ただし B : 反射鏡の投影面積 m^2

となる。

一方受熱管で吸収される日射エネルギー Q_{ff} は、 Q_f に反射鏡の反射率 γ 、受熱管の吸収率 a および反射鏡の集光率 d をかけた値で

$$Q_{ff} = \gamma a d \int_{t_1}^{t_2} B G_0 \tau_0^m dt \quad \text{kcal} \quad (6)$$

で表わされる。

つぎに集光型温水器で実際に吸収した熱量 q_f は、次式で表わされる。

$$q_f = c W_f (T_{f2} - T_{f1}) \quad \text{kcal} \quad (7)$$

ここで

W_f : 採湯量 kg

* 添字 f は集光型温水器を示す。

T_{f1} : 実験開始時の貯水タンク内の水温 °C

T_{f2} : 実験終了時の貯水タンク内の水温 °C

集光型温水器の効率 η_f は、次式で表わされる。

$$\eta_f = \frac{q_f}{Q_f} \times 100 \quad \% \quad (8)$$

受熱管で吸収されたエネルギー Q_{ff} と実際の吸収熱量 q_f との割合を保温効率と呼んで集光型温水器の保温性を表わす。

$$\eta_{ff} = \frac{q_f}{Q_{ff}} \times 100 \quad \% \quad (9)$$

3. 実験装置および測定方法

3.1 平板型温水器

図-2は平板型温水器の外観、図-3はその詳細を示す。受光面積は 1.53 m^2 、容積は 180ℓ で、設置条件を表-1に示す。受熱量 Q_p は、式(2)から求めた。 τ_0 は当研究室で求めた月平均透過率³⁾を用いた。

測定は夕方適時に温水をバケツに取り1ばい (17 kg) ごとの温度を記録した。採湯量

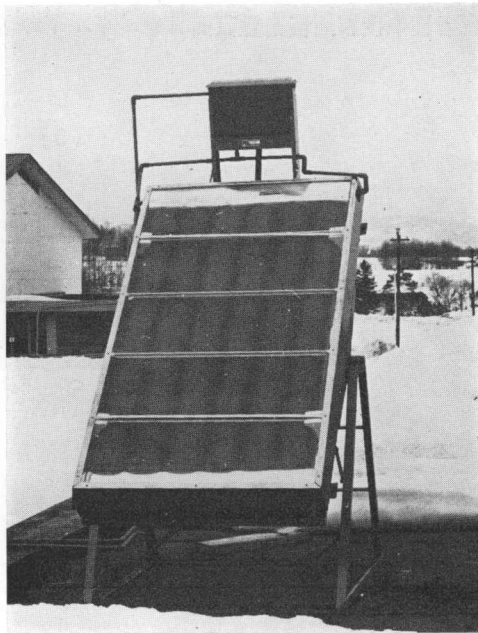


図-2 平板型温水器 (セキスイヒータ)

Fig. 2. Photograph of the flat type solar water heater (SEKISUI HEATER).

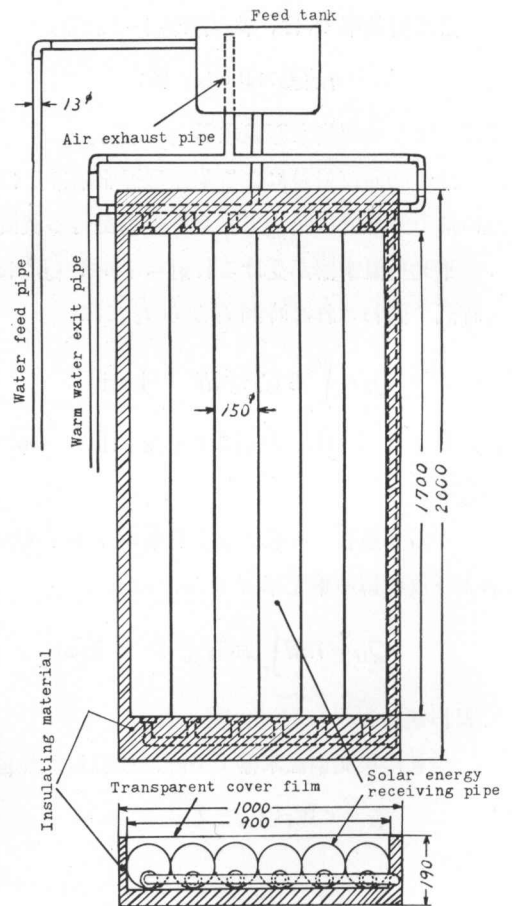


図-3 平板型温水器の詳細

Fig. 3. Details of the flat type solar water heater.

が7はい以上になると温水器の機構上給水が混合して、急激に温度が低下する。このため7はい (120 kg) までの平均温度を採湯温度 T_{f2} とし、給水温度 T_{f1} は 12°C 、採湯量は温水器容積から 180 kg とし式 (3) より吸収熱量を求め、さらに式 (4) から効率を求めた。

3.2 集光型温水器

図-4および図-5は、集光型温水器の外観とその詳細を示す。

反射鏡の反射率は0.65、受熱管は真鍮のパイプに耐熱塗料を塗ったもので吸収率は0.9である*。反射鏡の集光率は0.9と仮定した。実験装置全体の構成は図-6に示す。

表-1 平板型温水器の設置条件

Table 1. Setting Conditions of the Flat Type Solar Water Heater

Month	α (deg.)	Ψ (deg.)
May	36.6	45.0
June, July, Aug.	36.6	30.0
Sept., Oct., Nov.	25.5	43.0

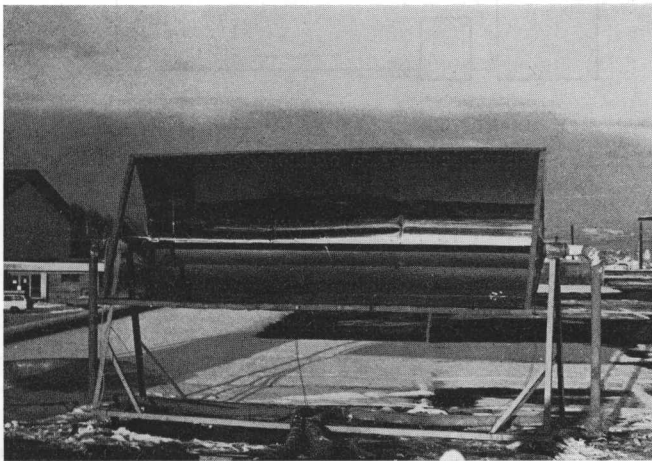


図-4 集光型温水器

Fig. 4. Photograph of the focussing type solar water heater.

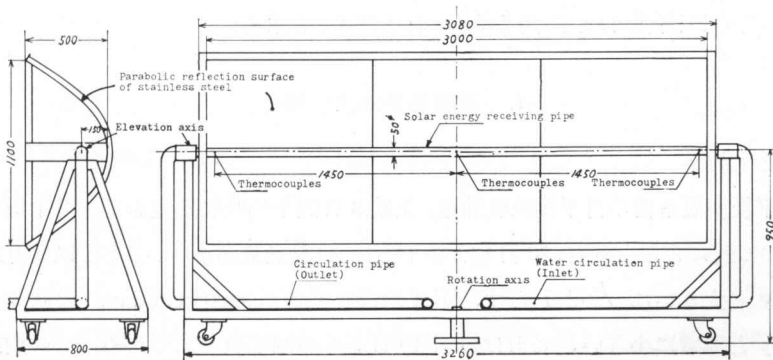


図-5 集光型温水器の詳細

Fig. 5. Details of the focussing type solar water heater.

* 反射率および吸収率は当研究室の実測値。

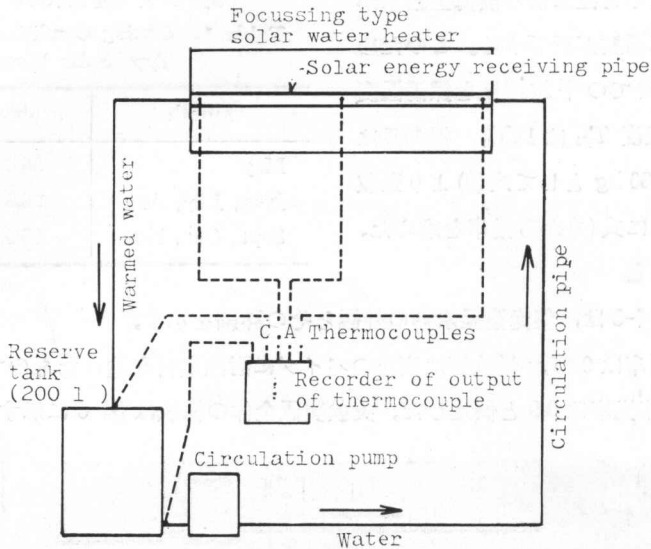


図-6 実験装置の概略図

Fig. 6. Schematic diagram of the experimental equipments.

貯水タンクは容積 200 l 入で、循環用ポンプ (川本ポンプ KK) とともに実験室内に設置した。水の循環流量は 16 l/min である。各部温度は受熱管に 6 点、貯水タンク出入口に 2 点ととり 0.32 mm ϕ C-A 熱電対で測定し、自記平衡記録計で記録した。このとき気温および平板型温水器の上部および下部の温度も同時に測定した。集光型温水器は、水の循環量が多いために、8 点の測定点はいずれもほとんど等しい温度を示した。

実験は天候の影響を強く受けるために実験時間は一定していない。集光型温水器の実験中は反射鏡を 15 分ごとに方向を修正して太陽を追尾した。

実験実施の日時より式 (5) および (6) から Q_f および Q_{ff} を計算し、測定結果より式 (7) から q_f を求めて、さらに式 (8) および (9) から η_f および η_{ff} を求めた。

4. 測定結果および検討

4.1 平板型温水器

図-7 は平板型温水器の月平均吸収熱量、快晴 3 日間平均吸収熱量および月平均受熱量の計算値を示す。これによると 5 月、10 月および 11 月の吸収熱量が小さい。とくに 5 月は受熱量が 8000 kcal/day と大きいにもかかわらず、月平均吸収熱量が 3200 kcal/day、快晴 3 日間平均で 4400 kcal/day と非常に小さい。これは 5 月 19 日からの測定値であるため、この期間に真の快晴日にめぐまれず測定値が偏ったことが考えられる。5 月、10 月および 11 月は、気温が低いために温水器の保温が不十分であることも考えられる。

6 月の月平均吸収熱量は、4700 kcal/day と低いが、快晴 3 日間平均は 6400 kcal/day で 8

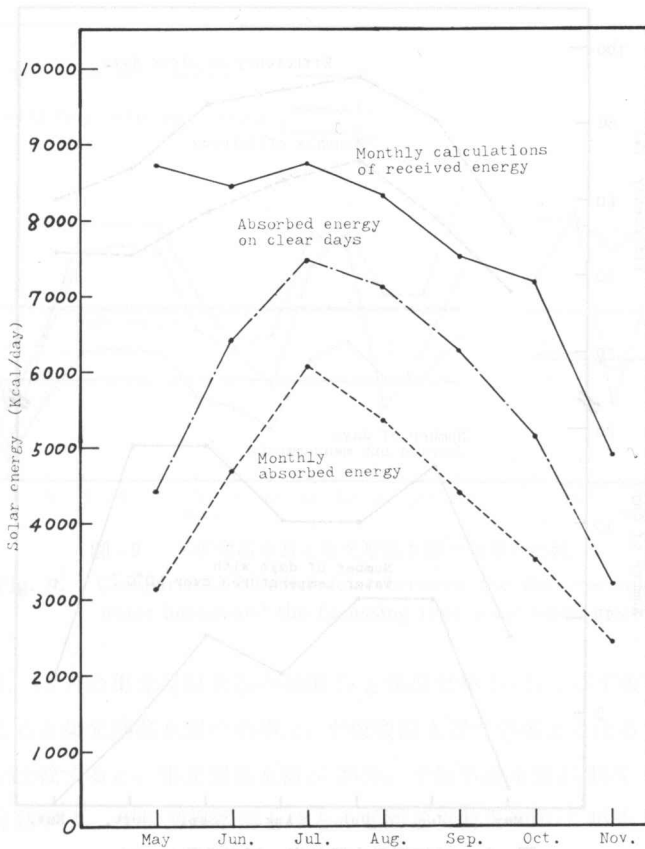


図-7 平板型温水器の月平均理論受熱量，晴天日
吸収熱量および月平均吸収熱量

Fig. 7. Monthly average calculations of received energy, absorbed energy on clear days and monthly absorbed energy of the flat type solar water heater.

月、9月と比較して小さな値ではない。このことは6月の晴天日が少ないために月平均吸収熱量を低下させていると考えられる。

7月の吸収熱量は、月平均6100 kcal/day、快晴3日間平均7500 kcal/dayといずれも実験期間中を通じて最も大きい。これは受熱量が大きく、気温も高いという好条件によるものと思われる。

ついで8月、9月、10月と吸収熱量は低下していくが、受熱量との差はほぼ一定で安定した性能を示している。

11月からは受熱量が低下するために吸収熱量が低下し、温水器の効果的な利用は困難となる。その上11月に入ると朝夕の冷え込みのために給排水管が凍結し、取扱いに注意が必要となる。このため温水器の保温を高めるとともに、温水器と給排水管の夜間の水抜きを容易にかつ完全に行なえるようにする必要がある。

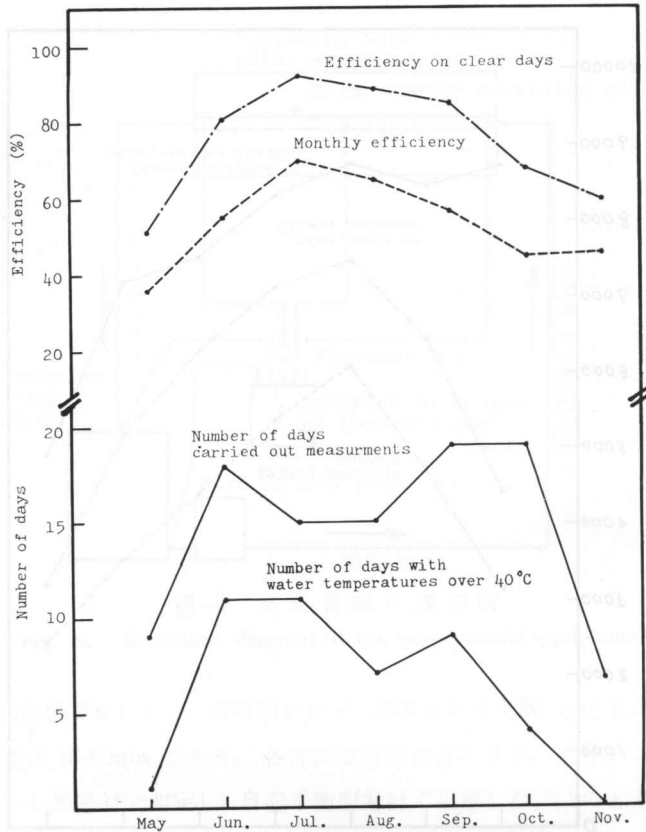


図-8 平板型温水器効率，測定日数および温水器水温 40°C 以上の日数

Fig. 8. Efficiency of the flat type solar water heater, and number of measuring days as well as the number of days with warm water temperature above 40°C.

図-8は，式(4)より求めた温水器効率 η_p の月平均値，快晴3日間の平均値，各月測定日数および温水器水温が 40°C をこえた日数を示す。快晴3日間平均効率は，5月が51%と低いほかは6月～9月までは80～90%，10月は68%，11月は60%となっており，これらの値は温水器がその機能を十分に果していることを示している。

測定日数は，5月および11月が少ないが6月から10月の測定日数は15～19日で，悪天日は測定を行なわなかったため，これらの結果は，ほぼ各月の特性を示していることと思われる。平板型温水器は主に家庭用風呂の熱源として使用される。したがって温水器採湯温度が，風呂の最低適温の40°Cをこえた日数を示した。これを見ると6月から9月はひと月のうちおよそ10日，温水器による風呂が使用できる。

4.2 集光型温水器

集光型温水器は，実験期間が短いため，10月と11月の平板型温水器の結果と比較して検討した。

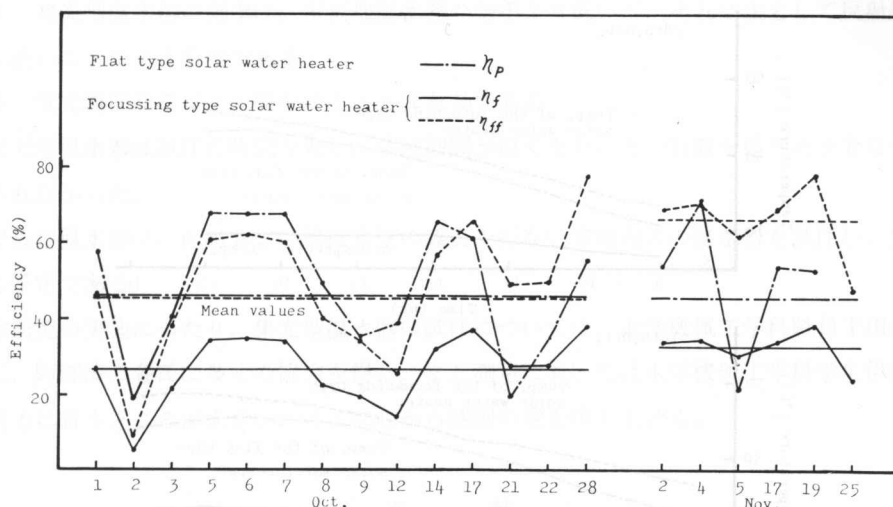


図-9 平板型温水器と集光型温水器の効率の比較

Fig. 9. Comparisons of efficiencies between the flat type solar water heater and the focussing type solar water heater.

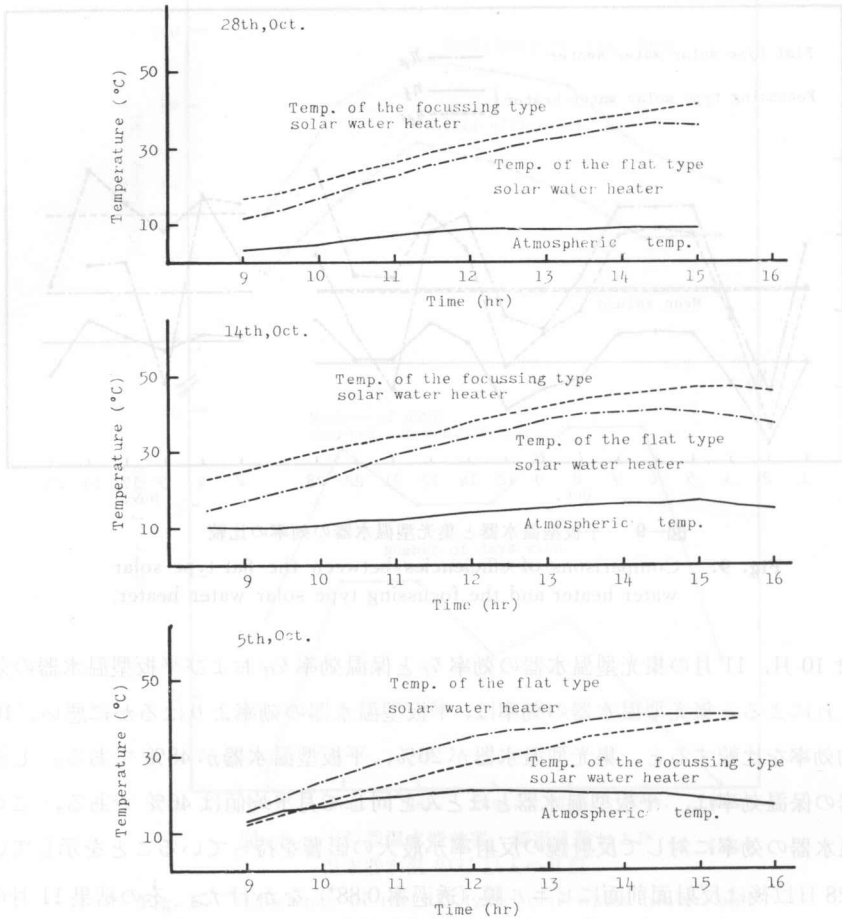
図-9は10月、11月の集光型温水器の効率 η_f と保温効率 η_{ff} および平板型温水器の効率 η_p を示す。これによると集光型温水器の効率は、平板型温水器の効率よりはるかに悪い。10月の両者の平均効率を比較すると、集光型温水器が26%、平板型温水器が48%である。しかし集光型温水器の保温効率は、平板型温水器とほとんど同じで月平均値は46%である。このことは集光型温水器の効率に対して反射鏡の反射率が最大の影響を持っていることを示している。

10月28日以後は反射面前面にビニル膜(透過率0.88*)をかけた。その結果11月の効率 η_f は平均32%と10月に比べて約6%上昇している。この場合保温効率 η_{ff} は平均70%で平板型温水器の平均効率43%よりも大きい。これはビニル膜の保温効果が著しいことを示している。しかし11月は配管系統の凍結により測定時間が短く実験日数も少ないことを留意しておかなければならない。

図-10は10月5日、14日および28日の3日について実験開始から終了までの平板型温水器平均温度、集光型温水器貯水タンク内の平均温度および気温を示したものである。平板型温水器と集光型温水器を比較すると気温が高ければ平板型温水器の温度が高く、気温が低くければ集光型温水器の温度が高い。これは平板型温水器の方が気温による影響を受けやすいことを示している。

温水器の受熱量と外部への放熱量が平衡になる温度を臨界温度⁴⁾というが、平板型温水器は14時30分ごろ臨界温度に達している。これより10月は15時ごろ採湯するのが効果的であると思われる。その他の月についてはデータがなく不明である。集光型温水器では、臨界温度

* 透過率は当研究室の実測値。



図—10 平板型温水器の温度と集光型温水器の温度および気温の変化

Fig. 10. Change in water temperature of the flat type solar water heater and the focussing type solar water heater, as well as in the atmospheric temperatures.

に達した様子は10月14日以外は見られない。これは貯水タンク内の水量が反射鏡の集光能力に比較して多過ぎたためではないかと思われる。

5. む す び

北見市における太陽熱利用の実験を、平板型温水器と集光型温水器を用いて行ない、つぎのような結果を得た。

- 1) 北見市において6月から9月までは市販の温水器を十分に使用できる。
- 2) 5月、10月の吸収熱量はいく分少ないが、家庭用補助熱源として利用できる。
- 3) 寒地用温水器としては次の点を改良すべきである。a) 保温方法, b) 排水機構, c) 受光面積の拡張。

4) 集光型温水器の効率は、平板型温水器の効率より低いが、それは主として反射鏡の反射率が低いことによるものである。

5) 受光面前面にビニル膜をはることは有効である。

集光型温水器は試作に時間を要し、実験期間が短くなり、その特徴を述べる十分なデータは得られなかった。

平板型温水器は、保温および給排水管の改良を行ない寒地向きの温水器を試作し、実験を進める予定である。

本研究の実施に当たり、集光型温水器の試作については、本学機械工学科職員千田栄、佐伯義二、阿部清の各氏に多くの協力を得た。また測定においては本学機械工学科学生伊藤利昭君の努力に負うところが大きい。ここに心から感謝の意を申し上げる。

文 献

- 1) 金山・馬場・石谷：北見工大研報，2-5，689 (1970).
- 2) F. Kreith：Radiation Heat Transfer, 63-64 (1962), Internal-textbook.
- 3) 1)に同じ，696.
- 4) 押田勇雄：太陽エネルギー，139 (1958), 日刊工業.



Fig. 1. Ordinary design of the solar collector.