

冬期の新庄における日射量の測定および太陽エネルギーの集熱とそれによる融雪の可能性について

阿部 修*・中村 勉・中村秀臣*

国立防災科学技術センター新庄支所

On Measurements of Solar Radiation, Collection of the Solar Energy and Feasibility for the Snow Melting by the Energy in Winter of Shinjo Area

By

Osamu Abe, Tsutomu Nakamura and Hideomi Nakamura

Shinjo Branch, National Research Center for Disaster Prevention

No. 1400, Tokamachi, Shinjo-shi, Yamagata-ken 996, Japan

Abstract

Two flux densities of global solar radiation onto a horizontal surface and a southward vertical surface, nominated as J_H and J_V , respectively, were measured as the potential thermal energy for melting snow of snowy countries of Japan in winter. The measurements of the two flux densities were carried out by two pyranometers while preventing snow from accretion on them by independently blowing wind onto the two sensors laterally using two blowers. The measurement of J_H was started on January 1977 and that of J_V was started on February 1979. From the measurements, it was found that the mean values of J_H in December, January, February and March were 918, 1,237, 1,822 and 2,580 kcal m⁻² day⁻¹, respectively, in Shinjo-shi, Yamagata-ken (38°47'N, 140°19'E), and that the mean value of J_H was larger than that of J_V in March, but in February this relationship was inverted. Therefore, it is expected that J_V is larger than J_H in January and December because the sun is lower in altitude in these months than in March.

The measurement of thermal energy which will be gathered by a solar collector on the market was started on February 14, 1979 to estimate the quantity of energy available for snow melting. The collector, 0.97 by 1.97 meters in size, which was used in this experiment was of a flat-type and was set vertically facing southward. The experiment to collect the solar energy was carried out in the following two methods:

- (1): a pump for the circulation of the water in a circuit is always operated,
- (2): a pump is started to flow the water when the temperature at the top of the

* 雪害防災研究室

collector exceeds the temperature of the energy storage tank (water tank) by 5.1°C .

Results of the measurement show that the average amount of the collected thermal energy was $1,000\text{kcal m}^{-2}$ in a day from the last decade of February to the first decade of March in the case of non-stop operation of the pump.

A calculation using the experimental results shows that as much snow as equivalent to 168mm of water will be melted away by the thermal energy collected by this collector in a month of February, if snow melting is carried out in the same area as this solar collector and if the efficiency of snow melting is equal to 0.5.

はじめに

1973年の石油危機以来、日本各地で太陽エネルギーの利用がさかんに行なわれるようになり、今や給湯だけでなく、暖房や冷房の熱源として利用されるまでに至っている。

雪国においても、太陽熱を利用して融雪を行なおうとする実験が始められているが(木村・清水, 1978), この太陽熱利用の融雪法の実用化の成否の鍵は冬期に入手しうる日射量に依存するといえよう。ところが新庄での日射量については、その入手しうる計算値はあるが(例えば吉田・篠木, 1978), 実測値はない。それゆえ、当新庄支所では1977年1月から、構内の気象観測露場で、水平面での1時間積算全天日射量を測定するとともに、1979年2月から同年6月迄は平板型太陽集熱器による集熱実験も行なった。太陽熱を利用した融雪の可能性を調べるために平行して行なった日射量測定と、太陽集熱実験の結果をここに報告するものである。ただしここでは便宜上日射量測定を初めに、次に太陽集熱実験について述べ、最後にこれの融雪用熱源としての可能性について述べる。

1. 日射量の測定

1.1 水平面全天日射量

1.1.1 測定方法

新庄支所 ($38^{\circ}47'N$, $140^{\circ}19'E$) 構内にある気象観測露場内の高さ5mの鉄塔に、太陽電池式全天日射計(中浅測器1971年製, 1976年再検定)を水平に取り付け、全天日射量の瞬時値および1時間積算値を測定した。1時間積算値は、瞬時値をアナログ積算演算器(英弘精機製, MP-20)で1時間毎に積算したものである。その際、日射計のガラスドーム上への冠雪による測定誤差を除去するために、送風機を用いてガラスドームの頂部へ横方向から常に 9m sec^{-1} 程度の風を送った。しかし、それにもかかわらず湿雪の降る時にはドーム上に雪が付着し、人手によって雪を取り除いたことがあった。

1.1.2 測定結果

1977年1月から1979年3月までの、3冬期の新庄における水平面全天日射量の実測値の日変化を、図1から図3に示した。これらの図から分るように、冬至の12月20日前後には、日

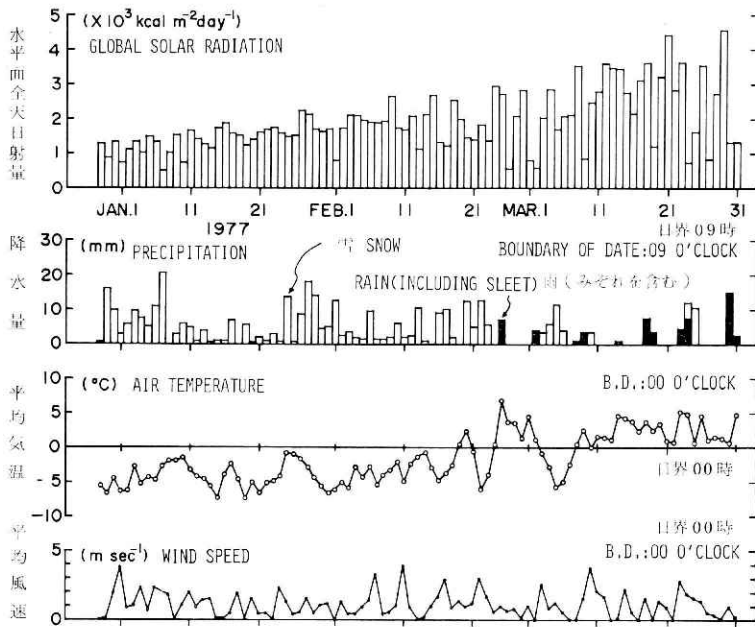


図 1 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速の日変化 (1976年~1977年冬期)

Fig. 1 Daily change of the flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo (winter of 1976 to 1977)

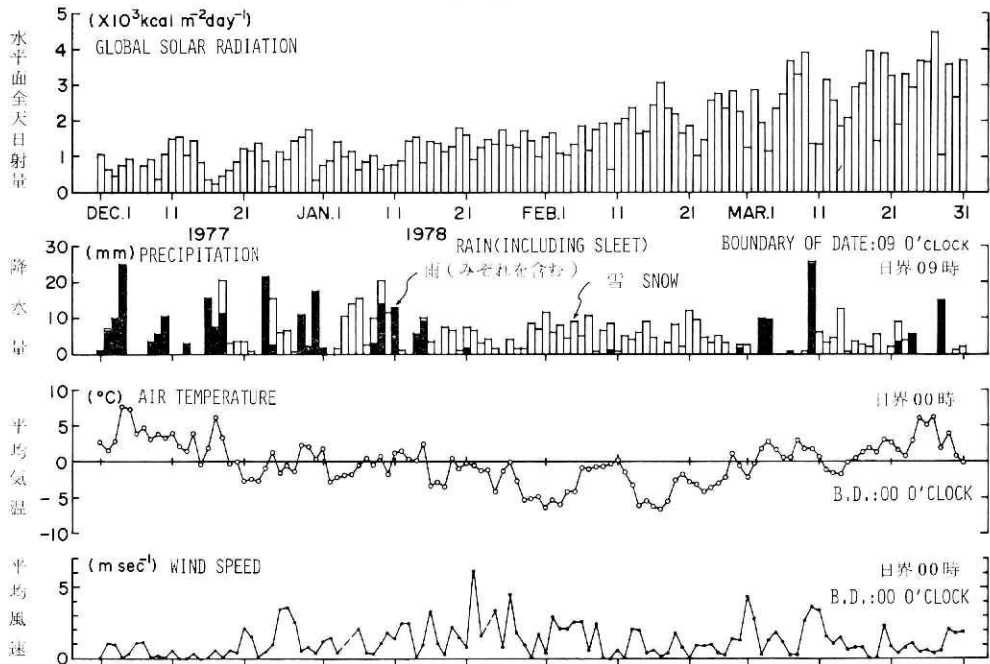


図 2 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速の日変化 (1977年~1978年冬期)

Fig. 2 Daily change of the flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo (winter of 1977 to 1978)

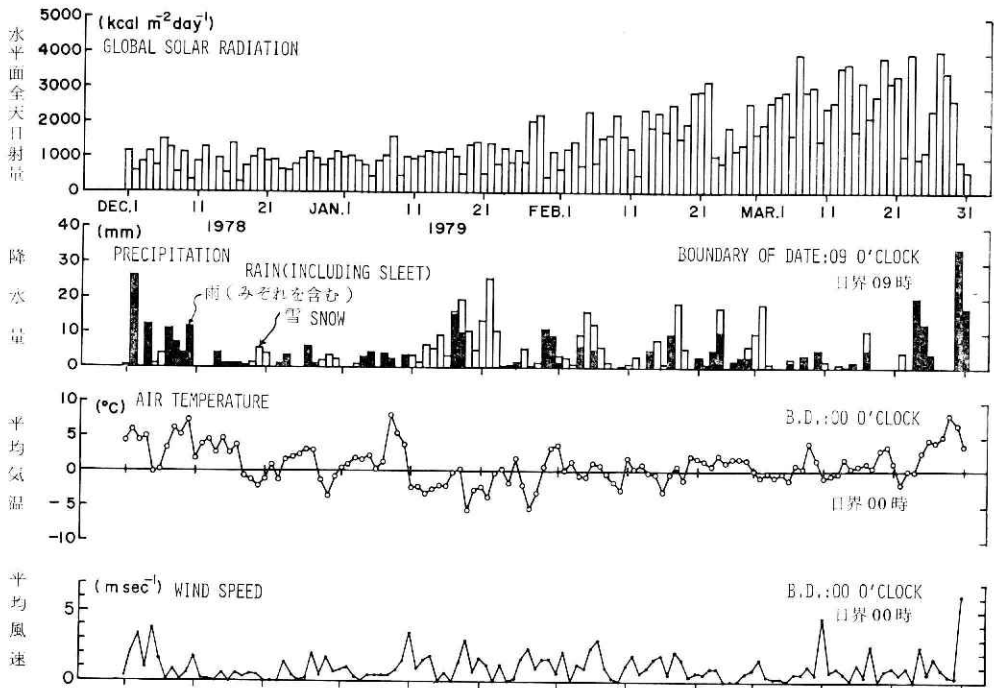


図3 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速の日変化 (1978年~1979年冬期)

Fig. 3 Daily change of the flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo (winter of 1978 to 1979)

射量が一番少なく, 約 $1,000 \text{kcal m}^{-2} \text{day}^{-1}$ の値であり, やがて太陽の南中高度の増加と共に日射量も増加し, 3月下旬には $4,000 \text{kcal m}^{-2} \text{day}^{-1}$ の値となっている. これらの数値は表として, 付表1~6に示してある. 水平面全天日射量はこれらの図からも分かるように, 天候にも左右されるので, 以下は月別および時刻別に検討してゆく. この期間での月別, 時刻別全天日射量の3冬期 (12月のみは2冬期) の平均値を図4に示した. 同図からは, 12月

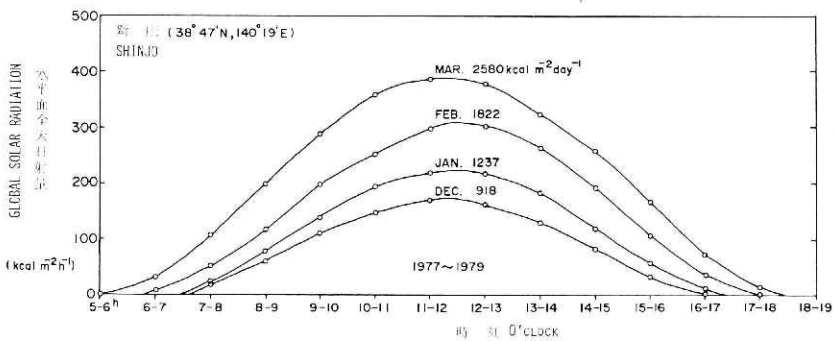


図4 新庄で測定された月別, 時刻別水平面全天日射量の3冬期間 (1977~1979) の平均値
Fig. 4 Hourly variation of the monthly average amount of flux density of global solar radiation on a horizontal surface which was measured in Shinjo. Average period: three winter seasons from 1977 to 1979.

図5 新庄で測定された水平面全天日射量の強度別出現頻度の月変化(1977~1979年の3年の平均)

Fig. 5 Monthly change in distribution of the flux density of global solar radiation on a horizontal surface measured in Shinjo (average in 1977 to 1979).

から3月に移るにつれて全天日射量は918から2,580 kcal m^{-2} day $^{-1}$ と変ると共に, その日照時間も順次増加している様子が知られよう. 図5には月別の, 一日当りの全天日射量の強度別出現頻度の推移を示す. 同図から分かるように12月は日射量は少ないがその分布の幅は狭く, 3月には日射量は多くかつ分布の幅も広がっている.

1.1.3 水平面全天日射量の降雪量依存性

冬期の降雪中における日射量は, その時の降雪強度によっても大きく左右されるはずである. 図6は日中(7時から17時まで), 0.5mm以上の降雪量のあった日の同時時間帯における降雪量とその日に測定された水平面全天日射量との対応関係を示したものである.

これらのデータの集積期間は1977年1月1日から1979年3月22日までで, 図から分かるように1日の降雪量がたとえ同じであったとしても, 水平面全天日射量にはちがいがあ

る. 又日中の降雪量が大きくなるにしたがい, そのときに現われる水平面全天日射量の上限値が減少しているのがわかる. 日中の降雪量の大小にかかわらず, 水平面全天日射量の最小値は約 500kcal m^{-2} day $^{-1}$ となっていることもうかがわれる.

図中の直線Aは, 今仮に到達した水平面全天日射量を全て集熱できたとして(つまり, 集熱効率は1=100%), この熱で融雪を行なう場合に, 融雪効率を1としてその時融かしうる雪の水柱換算値を示す. 例えば, 1,000kcal m^{-2} day $^{-1}$ の熱では12.6mm 相当の雪を融かしうる

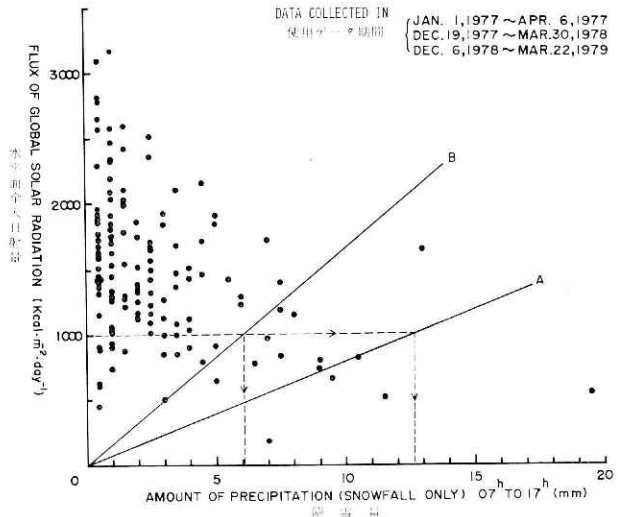
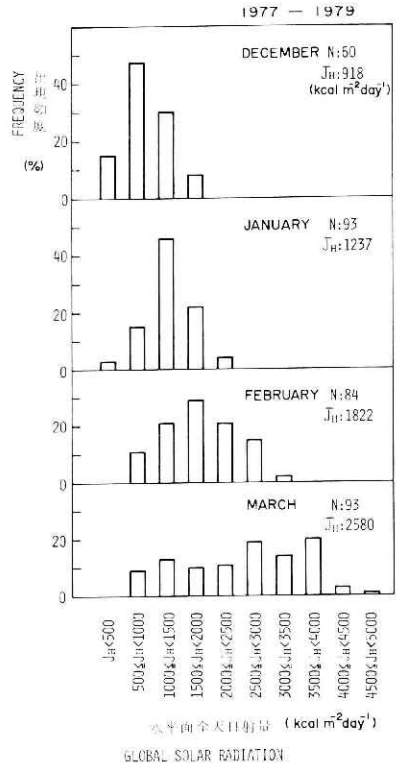


図6 水平面全天日射量の降雪量依存性
Fig. 6 Precipitation dependency of flux density of global solar radiation on a horizontal surface.

ことになる。ただし集熱面積と融雪面積とは同じと仮定して計算したものである。直線Bは融雪効率を0.5とした場合の値である。この融雪効率0.5という値は種々の融雪方法の実験で得られた平均値である(中村, 1980)。この場合には $1,000\text{kcal m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ で前述の値の半分が融解されることになる。

1.2 南向き鉛直面日射量

雪国で、冬期に太陽エネルギーを利用するという観点からは、水平面で日射を受けることは、集熱面に降雪が積もって日射が遮ぎられるので得策ではない。そこで雪の付着しづらい鉛直面で集熱することが最善ではなからうかという観点から1979年2月14日から、南向き鉛直面での全天日射量も測定した。

1.2.1 測定方法

水平面全天日射量の測定の場合と同じように、モル・ゴルチンスキー式全天日射計(英弘精機, CN-1)を後述の太陽集熱器の側に、集熱器の面と日射計の面とが平行になるように取り付け、これにより南向き鉛直面日射量の瞬時値とその1時間積算値を測定した。また、この日射計にも冠雪防止用の送風機を取り付けた(写真参照)。

1.2.2 測定結果および水平面全天日射量との比較

図7-(a)には、2月下旬から3月末までの南向き鉛直面日射量(J_V)の実測値を示す(これの数値は付表6に示した)。図7-(b)には、南向き鉛直面日射量の水平面全天日射量(J_H)に対する比の日変化を示す。この期間内では時間がたつにつれ(春に近づくにつれ)太陽高度

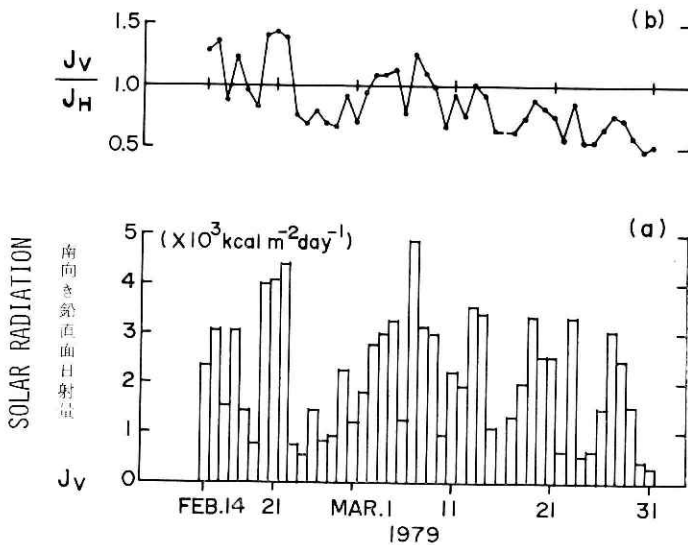


図7 毎日の南向き鉛直面日射量(J_V)および水平面全天日射量(J_H)との比
 Fig. 7 Daily change of flux density of global solar radiation on a southward vertical surface, J_V in Shinjo and the ratio of it to the flux density of global solar radiation on a horizontal surface.

が大きくなるので、それに応じて水平面全天日射量が増加することが分かる。図8には、この期間内の、毎日の水平面と南向き鉛直面にそれぞれ入る日射量の大きさの対応関係を示す。この図から分かるように、南中時の太陽高度 h が 35° から 40° の範囲(白丸印)では、水平面全天日射量が、約 $2,000\text{kcal m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ を越えたとき、南向き鉛直面日射量の方が水平面でのものより大きくなって

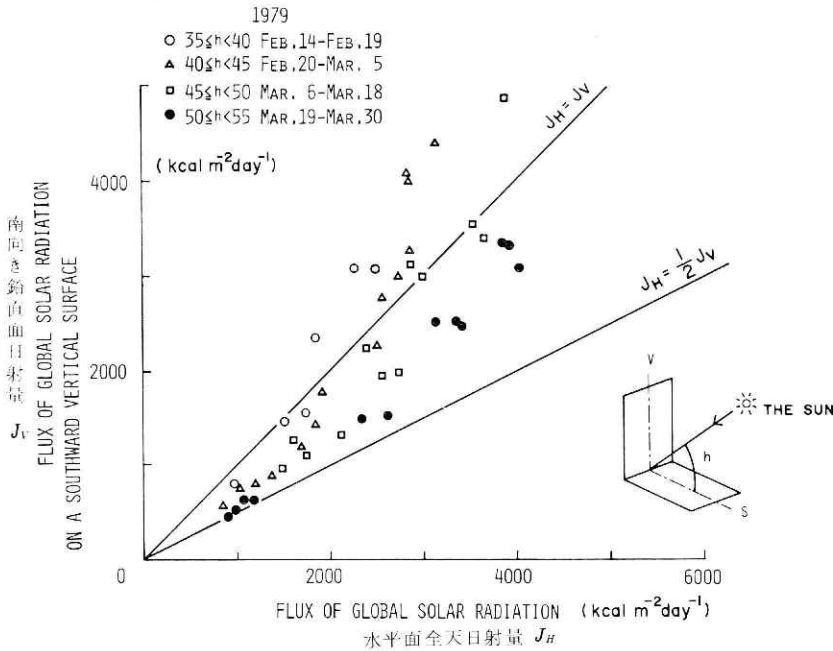


図 8 測定された水平面全天日射量と同じ日に測定された南向き鉛直面日射量との対応関係. h は南中時の太陽高度を, S は南を, V は鉛直方向を表わす.

Fig. 8 Correlation of flux density of global solar radiation on a horizontal surface to that on a southward vertical surface. h : altitude of the sun at the meridian passage; S : southward, V : vertical direction.

いる. 太陽高度がこれよりも大きいときには, 水平面全天日射量が $2,000 \text{ kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上にならなければ, 南向き鉛直面日射量が水平面全天日射量よりも大きくはならない. 一方, 12月, 1月については, 南向き鉛直面日射量を測定していないが, この図によれば, h の値がさらに小さいこれらの期間には, 水平面全天日射量が $2,000 \text{ kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以下のときでも南向き鉛直面日射量の方が水平面でのものより大きくなることがあると予想される. この事は木村・清水(1978)の測定にも表われている.

今この事を数的に平均値についてみてみよう. 南向き鉛直面日射量の測定値の1979年の2月下旬および3月における平均値は, それぞれ $2,107 \text{ kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $2,111 \text{ kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ となっている(付表6を参照されたい). これと同じ期間の水平面全天日射量の平均値は, それぞれ $1,907 \text{ kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, $2,521 \text{ kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ となっており(付表6参照), この平均値を比べると太陽高度が高くなった3月こそ水平面全天日射量の方が大きいものの, これより太陽高度の低い2月下旬には南向き鉛直面日射量の方が大きくなっている. さらに太陽高度の低い1月, 12月においても, 南向き鉛直面日射量の方が大きくなると予想される. 図8は1日当りの日射量についてのものであるが, 次に図9には1時間当りの日射量の比較を示す.

新庄において太陽光線が水平面および南向き鉛直面となす角度 h_H , h_V がそれぞれ共に 40° から 50° の範囲にある時に, それぞれの面に同時に入射した1時間の積算日射量のそれらの

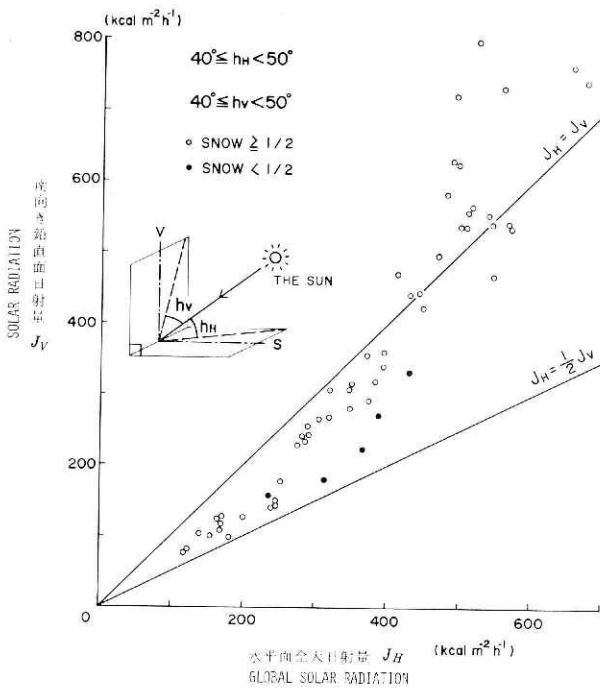


図9 測定された水平面全天日射量と同時刻に測定された南向き鉛直面日射量との対応関係(太陽の入射する角度が共に40度から50度の範囲にあるとき)

Fig. 9 Correlation of flux density of global solar radiation on a horizontal surface to that on a southward vertical surface which was measured in Shinjo.

れていよう。ゆえに、地上が積雪で覆われていれば、この積雪による太陽光の反射の影響は大となる筈である。そこで図9には、南向き鉛直面日射量を測定した日射計の南向き前方の半径約100m四方に含まれる地面の全面積に対する積雪の占める面積が1/2未満と以上とに分けて日射量を図示してある。黒丸印は1/2未満を、白丸印は1/2以上の場合を示す。黒丸印は1979年3月17日以降の値であり、白丸印はそれ以前の値である(但し、3月23日には朝9時で6cmの積雪がこの全地域内にあったので、この日の値は白丸印に入れてある)。これによると、水平面全天日射量が同程度の場合、黒丸印の南向き鉛直面日射量は白丸印に比較して小さい値を示している。これは、地面が現われたことにより、地表面のアルベドが減少したためと思われる。

2. 平板型集熱器による太陽エネルギーの集熱実験

2.1 実験装置および実験方法

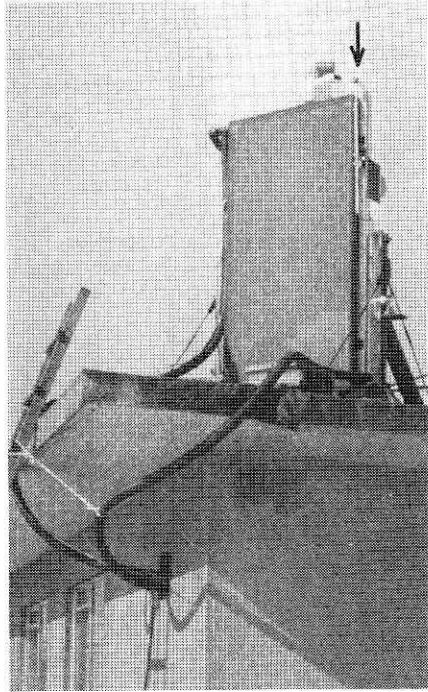
集熱面積が1.9m²の平板型集熱器(矢崎資源株式会社製)1面を、写真に示すように当支所構内にある高さ3.8mの建物の屋上に、南に面して傾きを変えられるように設置した。この集熱器は、中のパイプに水を循環させて集熱する型式のもので、集熱器のみの保有水量は

間の関係を図9に示す。ただしこの測定値は1979年2月下旬から同年3月下旬までのものである。ここで太陽光線がそれぞれの面となす角度すなわち h_H および h_V を求めるために、まず新庄における毎日の太陽の1時間毎の地平座標を、太陽の赤緯及び東京での南中時刻(東京天文台編, 1979)から算出した。水平面と太陽光線とのなす角度 h_H は、地平座標の高度そのものである。他方南向き鉛直面と太陽光線がなす角度 h_V は上に算出された太陽の地平座標を用いて計算で求めた[計算式は村井(1978)を参照されたい]。

ところで、南向き鉛直面日射量には地面からの反射光も含ま

写真 平屋建て建物屋上に設置した平板型太陽集熱器
(矢印は集熱器と平行に取り付けられた全天日射計, その左が冠雪防止用送風機)

Photo A flat-type solar energy collector mounted on a flat roof of a one-storied house. Arrow indicates a pyranometer. A wind blower for protecting snow accretion is shown at its left.



2.5lである。集熱器に入射する日射量は、前述したように、集熱器と平行に取り付けた全天日射計によって測定した。この実験装置の水の循環系統図を示せば図10のとおりで、蓄熱槽、流量計、循環ポンプはこの建物の屋内に設置し、これらと集熱器を内径 14mm の 2 本(往復)のポリエチレン管によって接続した。温度は、図10に示した各点(記号 t_w および t_a の脇の黒点個所)において、すべて銅—コンスタンタン熱電対を用いて測定した。集熱器は裏面のみ厚さ 6.5cm のスタイロフォームで覆い、配管は厚さ 1.8cm のウレタンフォーム、蓄熱槽は厚さ 23cm のスタイロフォームで覆って断熱した。

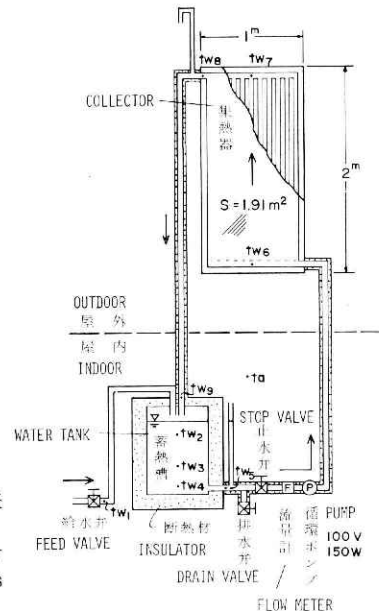
循環水には水道水を用いることとし、その循環水量、循環速度はそれぞれ $82l, 14.8l \text{ min}^{-1}$ である。これらの値は使用した蓄熱槽および循環ポンプの能力でこうなったものである。集熱実験は、循環ポンプを連続的に作動させた場合(連続運転と呼ぶ)と、集熱器内温度 t_w

(図10参照)と蓄熱槽内水温 t_w の差 Δt に応じて、循環ポンプの作動を制御した場合(温度差運転と呼ぶ。この時は $\Delta t > 5.1^\circ\text{C}$ で送水を開始し、 $\Delta t < 3.6^\circ\text{C}$ で送水停止とした)の2種類の運転方法により行なった。実験は、毎朝 8 時 30 分ごろ開始し、原則として日中のみ運転した。その際、前日の集熱実験で作られた温水は廃棄し、常に新しい水道水を給水し、使用した。これは、なるべく一定の初期水温で実験を行ないたいためにとった処置である。

2.2 実験結果

図10 集熱器の熱媒の循環系統図。温度差運転時の温度差 Δt は $(t_w - t_w)$ である。

Fig.10 A circuit diagram of water in the solar energy collector. Temperature difference Δt at this operation system is equal to $(t_w - t_w)$.



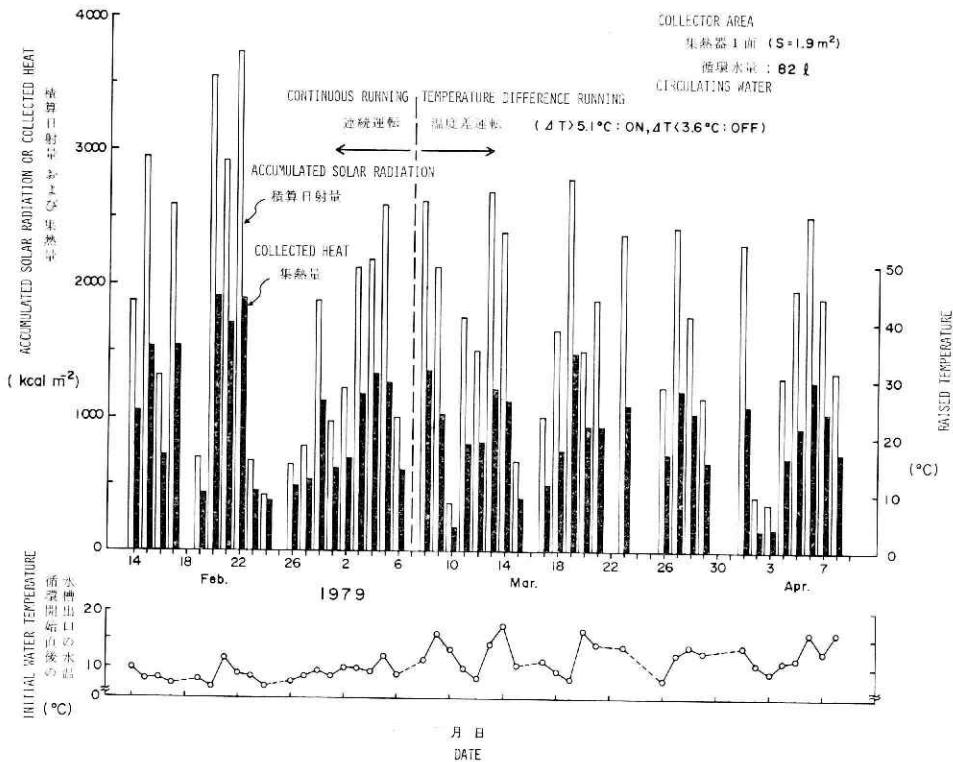


図11 毎日の9時から循環水温が最高に達した時までの南向き鉛直面での積算日射量と集熱量 (3月7日以前は“連続運転”を以後は“温度差運転”を行なった)。

Fig.11 Total flux density of global solar radiation on a southward vertical surface from 9 o'clock to the time when the water temperature reached the maximum and the amount of the solar energy collected in the same period (by “continuous running” before March 7; by “temperature difference running” after that day).

集熱器を南向きでかつ鉛直にした1979年2月14日から4月8日までの、日ごとの集熱実験結果を図11に示した(これらの数値は付表7および8に掲げてある)。図の中で積算日射量は白角柱で、集熱量は黒角柱で表わしている。前者が大の時には後者もそれに応じて大であるが、毎日のそれぞれの値はその日の気象条件に影響されて変化が大きい。前者の最大値は $3,800 \text{ kcal m}^{-2}$ であるが、後者の集熱量はそれの約半分の $2,000 \text{ kcal m}^{-2}$ である。積算日射量および集熱量は9時から循環水温が最高となった時(15時頃)までの積算値である。この時間帯の集熱効率を総合集熱効率と呼ぶことにする。それは $\{(\text{集熱量} \div \text{積算日射量}) \times 100\}$ として表わせよう。そうすると実験装置全体の総合集熱効率の平均値は、連続運転の場合で61%、温度差運転の場合で51%であった。この測定期間の実験装置の熱媒(水)の、循環開始直後の蓄熱槽出口の水温(図10中の t_{w_3})の日変化も合せて同図中に示した。

2.3 集熱効率

作田(1978)によると、一般的に太陽集熱器の集熱効率 η_c は次式で表わされる。

$$\eta_c = a - b(t_w - t_a) / J \quad (1)$$

但し、 J ：集熱面日射量、 t_w ：循環水温、 t_a ：外気温、 a 、 b ：集熱特性を表わす定数であり、それらの間には次のような関係がある。

$$a = Q_{in}/J \quad (2)$$

$$b = Q_L/(t_w - t_a) \quad (3)$$

$$\eta_c = Q_c/J = Q_{in} - Q_L \quad (4)$$

但し、 Q_{in} ：集熱器に吸収された熱量、 Q_L ：失熱量、 Q_c ：集熱量。

ここでは集熱器のみの集熱特性ではなく、循環系統の全てを含んだこの装置全体の集熱特性である。

ところで、連続運転と温度差運転時における η_c (%) と $\{(t_w - t_a)/J\}$ との関係を示すと図 12、13 のようになり、これらの図から、それぞれの a 、 b を求めてみると次のようになる。

$$\text{連続運転時：} \eta_c = 77 - 170(t_w - t_a)/J \quad (5)$$

$$\text{温度差運転時：} \eta_c = 77 - 438(t_w - t_a)/J \quad (6)$$

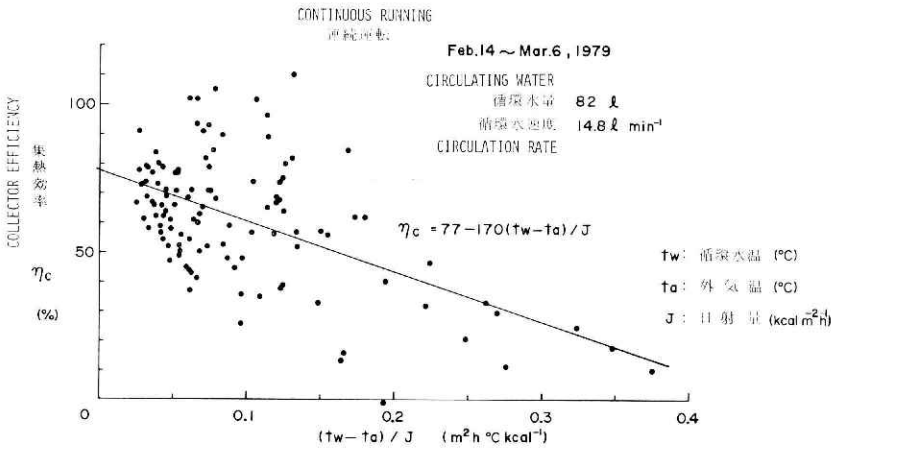


図12 連続運転の場合の集熱効率
Fig. 12 Results of collector performance tests in continuous running.

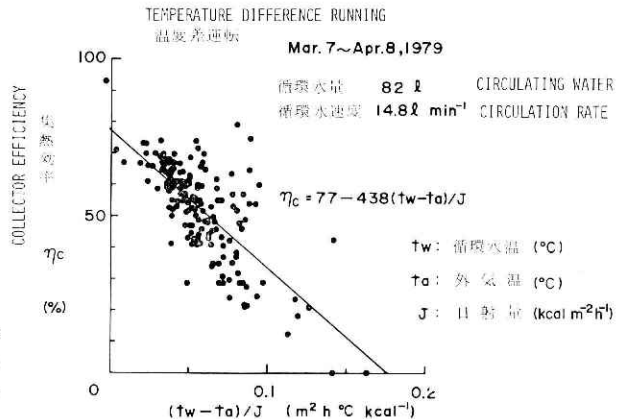


図13 温度差運転の場合の集熱効率
Fig. 13 Results of collector performance tests in temperature difference running.

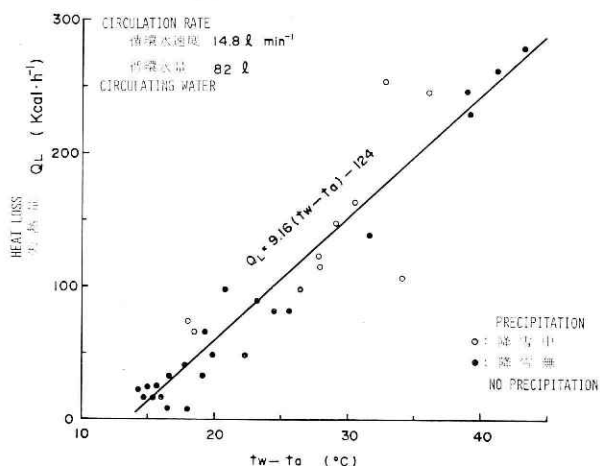


図14 連続運転時において日射がないとき(夜間)の循環システムからの失熱量

Fig.14 Amounts of heat loss from the collector in the night during continuous running tests.

14のように分布しているので、これらの値を用いると失熱量 Q_L を表わす実験式は次のように表わされる。

$$Q_L = 9.16(t_w - t_a) - 124 \quad (7)$$

この式で右辺の(-124)は、 $(t_w - t_a)$ に比例して増減する失熱量に対して、常に124の熱量がこの循環システムに流入していることを意味している。しかし、この実験装置では外部からの熱流入は考えられないので、これは、この循環系に組み込まれている循環ポンプが熱の発生源であると考えてよいだろう。このため、循環ポンプの稼働時間が温度差運転よりも長くなっている連続運転の方が、循環ポンプからの熱をより多く受けたことが大きな要因となって、結果的に集熱効率がみかけ上良くなったものと思われる。図12中の黒丸印で集熱効率が100%をこすものがあるのはこのためであろう。

2.4 1日の集熱量およびそのときの総合集熱効率の試算

2.2 で述べた集熱実験結果は、気温、集熱面日射量および循環開始時の水温(初期水温)がそれぞれ異なるために、集熱量、総合集熱効率もまちまちである(付表7, 8参照)。そこで、集熱可能量のある一定条件を設定して計算で求めてみた。まず当新庄支所で測定した気象要素等を使うことにするので、計算場所は新庄、計算時期は2月、集熱器は南向きで鉛直、運転方法は連続運転と仮定する。気温については、新庄支所における過去8年間の2月の実測値の時刻別平均気温を、また南向き鉛直面日射量については、今冬の2月の実測値を用いて、快晴時、曇時および全ての時刻別平均値の三種を用いることにした。それぞれの実測値の平均値の時間変化は図15-(b), (c)の通りである。その際、 η_c は(5)式を用いて計算することとし、循環水量は100%、初期水温を5, 10および20°Cの3種類とした。集熱は8時から16時まで行なうことを想定した。

日射量の測定と太陽エネルギーの集熱—阿部・中村(敏)・中村(秀)

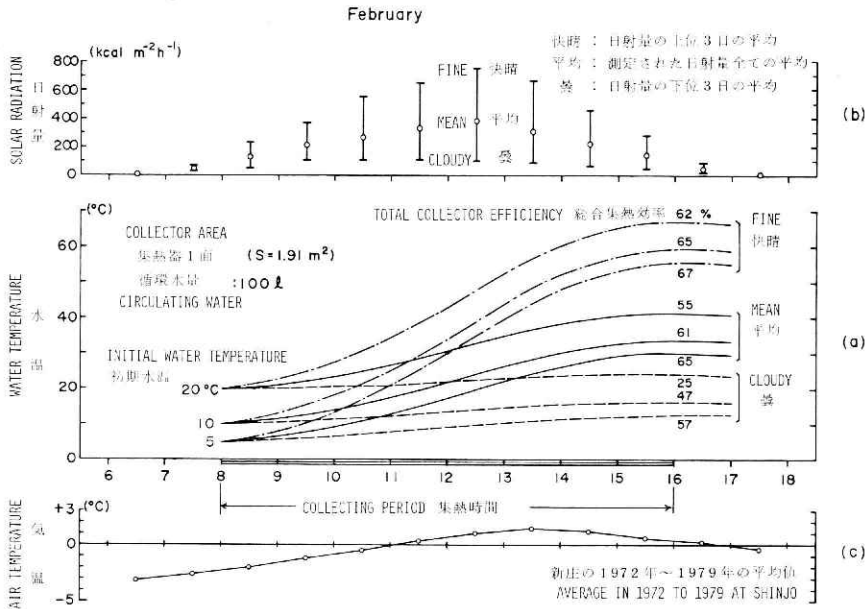


図15 新庄の2月における南向き鉛直面日射量と気温の実測値と仮定した初期水温とから連続運転の場合について計算で求めた水温の上昇過程。8時から16時までの総合集熱効率は%で示す。

Fig. 15 Increasing processes of computed water temperatures which were obtained by the use of both the measured mean flux density of global solar radiation on a southward vertical surface and the measured mean air temperatures in February of Shinjo. Calculations were carried out in the combinations of three initial water temperatures and three different values of solar radiation. Total collector efficiency of the system was also calculated and is shown in %.

このようにして、計算で求めた水温の上昇過程は 図15-(a) に示した通りであり、日射量の最大値の出現する時刻と最高水温の出現する時刻との間には、おおよそ3時間のずれがある。この図で例えば初期水温が5°Cで快晴時には、水温は約55°Cまでに上昇し、その時の総合集熱効率は67%であることを示す。一方、曇の時には、同じ初期水温でも水温は13°Cまでしか上昇せず、その時の総合集熱効率は57%であることを示す。

次に、今、仮に8時から16時までにある値の日射があった場合の、この太陽集熱器による集熱量を計算し図示したのが図16-1である。これは4種類の初期水温および3種類の日射量の場合について集熱量を計算したもので、それらの中間の値は線で結んである。各計算値の側の数値はその時の総合集熱効率を表わしている。この図は循環水量を100lの一定量とした場合の値である。この図から分かるように初期水温が高くなると、外気温との温度差が大きくなり、失熱量が増大することから、総合集熱効率は低下している。このことから、集熱効率を増大させるには、温度差を小さくすればよいことがわかる。そこで、今仮に循環水温をある一定温度に保ったままで集熱した場合(集熱器によって採熱された熱量を、ただちに融雪等に使いきって、元の温度にもどした循環水を再び集熱器に送り込むという方式)の集熱量と総合集熱効率を計算してみたのが、図16-2に示したものである。この図から、循環

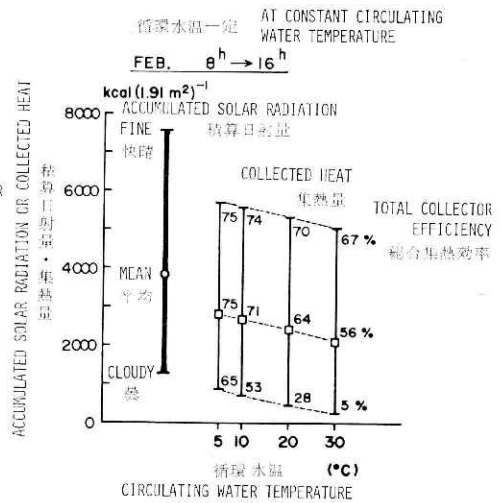
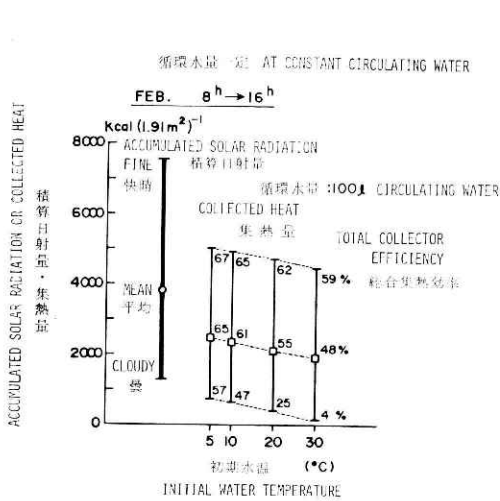


図16 循環水量を一定とした場合(左)と循環水温を一定とした場合(右)の計算で求めた集熱量。総合集熱効率は%で示してある。

Fig. 16-1 Calculated amount of heat for given amounts of solar energy. Amount of the circulating water is assumed constant.

Fig. 16-2 Calculated amount of heat for given amounts of solar energy. Circulating water temperature is assumed constant. Total collector efficiency of the system was also calculated and is shown in %.

水温を10°Cに保って集熱した場合には、初期水温を10°Cとして集熱した場合に比べて、総合集熱効率が計算上約10%増大することがわかる。

2.5 集熱器を傾斜させた場合の日射量と集熱量

今までは、すべて集熱器を南向きで鉛直にした場合について述べてきた。しかし冬期の新庄において、太陽が南中する高度は約27度から54度の範囲にあるから、これらと集熱面が直角になるようにすれば、より多くの日射量を得ることができるものと期待される。しかし他方、集熱器を傾斜させると、降雪が積もり易くなって、集熱量が減少する恐れがある。このようなことから、今回一時期ではあるが、集熱器を71度に傾斜させて実験を行なったので、その結果を次に述べる。

図17は北の方角から天頂方向へ71度傾斜した南向き面と南向き鉛直面に入ってくる日射量を、そのときの水平面全日射量と比較して図示したものである。ただし、傾斜角度を71度にして測定したのは2月5日から12日まで、鉛直にしたのは2月14日以降6月までであるが、ここには2月14日から2月28日までのものを選んで示してある。太陽が南中しているときの各面に入射する太陽の入射角度は、それぞれ74°と51°である。この図から71°に傾斜した面(太陽の南中時の入射角度74°)での日射量の方が、鉛直面のものよりもわずかに大きくなっているのがわかる。他方南向きの鉛直な集熱面と傾斜した集熱面(傾斜角度71°)それぞれに平行な面で測定された日射量(集熱面日射量)およびそれぞれの面での集熱量との関係を図18に示す。ただし、この集熱量は実測した集熱量から、計算で求められた失熱量を差引

図17 南向き鉛直面と傾斜した面（水平面となす傾斜角が71度）で測定された日射量とそのときの測定された水平面全天日射量との関係

Fig. 17 Correlation of flux density of global solar radiation on a southward surface which inclines by 71 degrees against the horizontal plane and that on a southward vertical plane, to that on a horizontal surface. The values were measured in Shinjo.

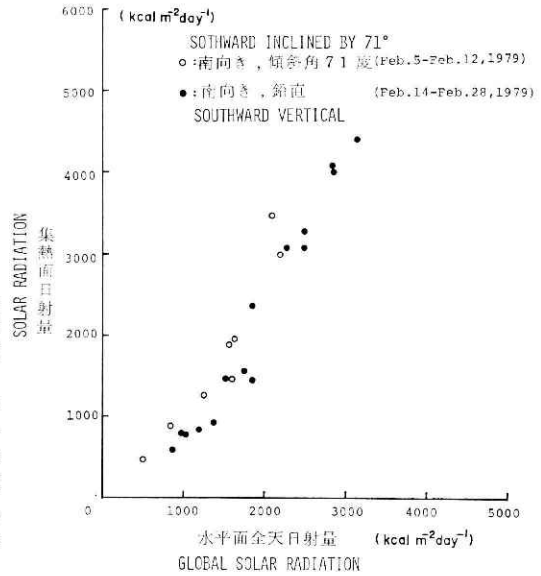
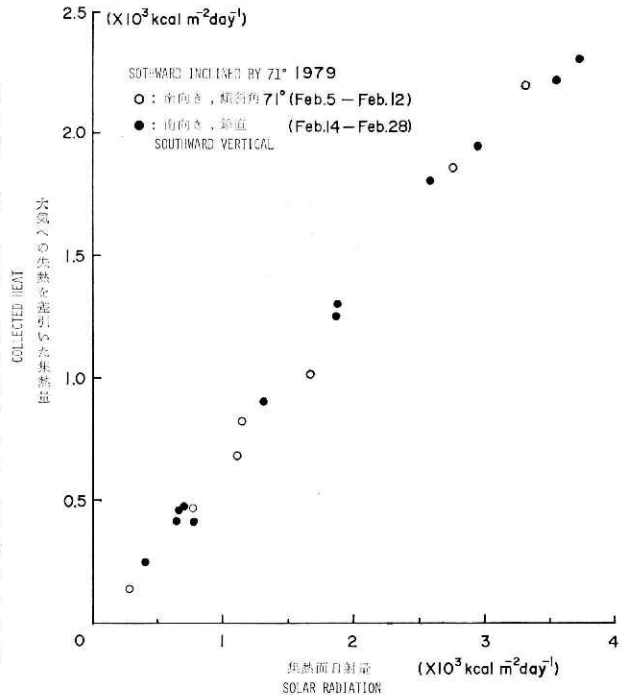


図18 南向きの傾斜した集熱面（傾斜角度：71度）および鉛直な集熱面それぞれに平行な面で測定された日射量（集熱面日射量）とそれぞれの面での集熱量との対応関係。ただし、この集熱量は実測された集熱量から計算で求められた失熱量を差引いた値である。

Fig. 18 Correlation of the measured flux density of global solar radiation on a southward surface which inclines by 71 degrees against the horizontal plane and that on southward vertical plane, to the amount of collected solar energy. This amount is equal to the difference between the amount of collected solar energy and the calculated amount of heat lost into the atmosphere.



いた値である。ただし、大気への失熱量は(7)式を用いた。これによると、両者共ほぼ一直線上に並んでいるので、傾斜した面でも鉛直にした場合に比べて、集熱量が少なくなったということは認められなかったといえる。一方、毎朝9時の雪の集熱板への付着状況を見ると、鉛直にした集熱器のガラス面には、たとえ降雪があってもほとんど付着していなかったのに対して、傾斜させた場合には、時々積雪で一部あるいは全面が覆われていた。それにも

拘わらず、両者の集熱量に差が生じなかったことは、今年が暖冬寡雪年であったことから、付着した雪の量も少なく、かつ傾斜角度が大きいためたとえ付着してもすぐに滑り落ちたものと思われる。なお、この点に関しては、今後さらに観察と実験を継続する予定である。

3. 太陽エネルギーの融雪用熱源としての利用の可能性

付表7にみられる通り、南向き鉛直面での2月下旬から3月上旬までの1日の集熱量は連続運転の場合で平均約 $1,000 \text{kcal m}^{-2}$ であり、これだけの熱量で集熱面積と同面積の融雪を100%の融雪効率で行なうとすると、融雪量にして12mm(水柱換算値)にあたる。融雪効率を0.5としても1日6mmの融雪量となり、2月の1カ月間では168mm(6mm×28日)の融雪量が期待できる。これは積雪の密度を 0.3g cm^{-3} (東浦他, 1978)とすると、56cmの積雪深に相当する。新庄市においては、積雪相当水量は2月下旬に最大となり、その16年間の平均値は約460mm(仙台管区气象台, 1977)であるから、2月の太陽エネルギーだけで融雪したとすると、残りは約290mm(積雪荷重 290kg m^{-2})となる。

今回は、南向き鉛直面での集熱実験は2月下旬から開始したので、12月、1月の集熱量については不明であるが、試みに今冬期の12月、1月の水平面全天日射量と、今回の実験から得られた総合集熱効率61%の値から集熱量を計算してみると次のようになる。すなわち、12月と1月の9時から16時までの水平面全天日射量の実測値の平均値は、それぞれ 819kcal m^{-2} 、 958kcal m^{-2} であり、期待される集熱量はそれぞれの61%即ち約 500kcal m^{-2} 、 580kcal m^{-2} となる。これから、前述の2月の場合と同じようにして集熱面積と同面積での融雪を50%の融雪効率で行なうとする。このようにして融雪量を計算すると、それぞれ、97mm、113mmとなり、これらを合計すると210mmとなり、残っていた290mmの積雪の大半を融かし得ることがわかる。集熱面を鉛直にすれば、さらに多くの日射が得られることが期待されることから、太陽エネルギーは融雪用熱源として有望であると思われる。ただし、まれにみる豪雪や急な大雪に備えるためには、融雪面積に対して集熱面積を雪の量に応じて大きくとらなければ、太陽エネルギーのみで融雪することは困難となる。

ま と め

新庄における過去3冬期の水平面全天日射量の測定結果および1979年2月に始めた平板型集熱器を用いた集熱実験の結果から、太陽エネルギーの融雪用熱源としての可能性について調べた。

(1) 1977年から1979年までの12月から3月までの水平面全天日射量の平均値は、 $918 \sim 2,580 \text{kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ と順次大きくなっていった。2月以降の水平面全天日射量と南向き鉛直面日射量の比較では、2月中旬で $2,000 \text{kcal m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ をこすと南向き鉛直面の方が水平面よりも大きくなるが、12月、1月については測定値がなく、今後の観測を待たなければならぬ

い. 水平面全天日射量の降雪量依存性は, 日中の降雪量が大きくなるに応じて, 水平面全天日射量が減少すること, 水柱値にして20mm以下の降雪量の場合には, いずれの時にも日射量の最小値は約 $500\text{kcal m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ であることがわかった.

(2) 集熱実験については, 循環水を連続的に循環させた連続運転の方が, 集熱器と蓄熱槽の温度差により断続的に循環させた温度差運転よりも, 集熱効率が大きかった. これは, 循環ポンプの発熱によって連続運転の集熱効率がみかけ上大きくなったためと思われる. 連続運転の場合の1日の総合集熱効率は平均61%であり, 温度差運転のそれは51%であった. また1日の集熱量の平均値は前者の約 $1,000\text{kcal m}^{-2}$ に対して, 後者のそれは 900kcal m^{-2} であった.

(3) 集熱特性を表わす式を実験的に求め, 気温, 日射量, 循環水温, 循環水量を仮定し, 集熱量と総合集熱効率を計算してみた. その結果, 水温を常に一定として集熱した場合の方が, 水量を一定として水温を上昇させた場合よりも, 総合集熱効率が約10%大きくなることが計算上わかった.

(4) 平板型集熱器を南中時の太陽に垂直に向くように傾斜させることによって, 受ける日射量は増大するが, 雪が付着し易くなって集熱量が減少することも考えられる. 今回, 水平面に対して71度に傾斜させた集熱実験では, 付着した雪による集熱量への影響はみられなかった. しかし, 今回は暖冬寡雪で付着した雪の量が少なかったことと, また付着していた時間も不明だったので, 今後のより一層の研究が望まれる.

(5) 今回の実験で得られた連続運転時の集熱量をもとにして, 融雪可能量を計算すると, 2月の1カ月間で水柱換算値にして約168mmの融雪量が期待できることがわかった. ただし, 集熱面積:融雪面積=1:1とし, 融雪効率を0.5とした場合である. 今回得られなかった12月, 1月の集熱量については, 仮に水平面で集熱するものとし, 今年の水平面全天日射量を用い, 総合集熱効率を61%として計算して, 両月の値を合計するとその融雪量は210mmとなった. 集熱面を南向き鉛直面として集熱すれば, これ以上の集熱量が得られることが期待できる. このことから, 12月から2月までに太陽エネルギーでまかなえる融雪量は約380mm(=210+168mm)となり, この値は, 新庄において最大となる2月下旬の積雪相当水量の平均値460mmの8割以上に相当することになる. これらにより, 冬期の太陽エネルギーによる融雪方法は有望であると思われる. ただし, まれにみる豪雪や急な大雪に備えるためには, 融雪面積に対して集熱面積を大きくとらなければ, 太陽エネルギーのみによって全て融雪することは困難となる.

謝 辞

太陽エネルギーの集熱実験装置の作製にあたり, 種々ご協力して下さった東浦将夫主任研究官およびこの報告の作成に協力して下さった沼野夏生研究員に深く感謝致します.

参 考 文 献

- 1) 木村忠志・清水増治郎 (1978): 太陽熱による屋根雪融解に関する予備実験. 国立防災科学技術センター研究報告, No. 19, p. 191-199.
- 2) 作田宏一 (1978): 平板型集熱器の理論と実際. 太陽エネルギー学会編「太陽エネルギーの基礎と応用」第一版, オーム社, 304pp. p. 59-84.
- 3) 仙台管区气象台 (1977): 東北地方の積雪と降雪, その2. 解説資料第4号, 102pp. p. 90-92参照.
- 4) 東京天文台編 (1979): 理科年表, 第52冊, 丸善株式会社, 暦10-12.
- 5) 中村秀臣 (1980): 風呂の廃湯による庭先融雪を目的とした野外融雪実験. 国立防災科学技術センター研究報告, No. 23, p. 231-243.
- 6) 東浦将夫・阿部修・中村勉・中村秀臣 (1978): 新庄の平地における積雪断面観測 (昭和49年~50年冬期). 防災科学技術研究資料, No. 33, 26pp.
- 7) 村井潔三 (1978): 太陽エネルギーの量と強さ. 太陽エネルギー学会編「太陽エネルギーの基礎と応用」第一版, オーム社, 304pp. p. 1-34.
- 8) 吉田作松・篠木誓一 (1978): 日本における月平均全日射量およびその年々の変動度のマップの作成. vol. 25, No. 5, p. 375-389.

(1979年12月24日 原稿受理)

日射量の測定と太陽エネルギーの集熱—阿部・中村(勉)・中村(秀)

付表 1 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速
(降水量の日界のみ9時, 他は0時)

Table 1 Flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo.

1976~1977年冬期

日	月	12 (December)				1 (January)			
		水平面全天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降水量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹	水平面全天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降水量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹
1					740	3.0	-6.4	3.8	
2					1115	6.0	-6.3	0.8	
3					(1335)	9.5	-2.9	1.1	
4					1015	7.5	-5.3	2.3	
5					1495	5.0	-4.3	0.7	
6					1370	(11.0)	-4.7	2.3	
7					505	20.5	(-2.8)	欠	
8					1050	0	-1.9	1.8	
9					1550	3.0	-2.0	0.1	
10					740	6.0	-1.5	1.1	
11					1640	5.0	-3.1	2.0	
12					1425	1.0	-4.2	0.9	
13					1285	4.0	-4.5	1.4	
14					1185	0.5	-5.6	1.5	
15					1755	1.0	-7.3	0.2	
16					1900	1.0	-4.0	0.1	
17					1585	7.0	-2.5	0.5	
18					1505	0	-4.6	1.9	
19					1275	5.5	-7.4	0.1	
20					1405	0.5	-5.1	1.6	
21					1625	2.0	-6.7	0.4	
22					1705	1.0	-5.1	0.5	
23					1760	3.0	-4.8	0.1	
24					1600	0.5	-4.3	2.3	
25					1495	13.5	-0.8	1.3	
26					1535	0.5	-1.0	0.4	
27					2265	8.5	-1.7	0.6	
28					2150	18.0	-3.0	1.6	
29		1290	0.5	-5.3	0.1	1740	14.0	-4.3	0.5
30		915	16.0	-6.7	0.2	1650	4.5	-5.5	1.1
31		1350	10.0	-4.5	1.9	1725	5.0	-6.8	1.4
月合計					45125	167.5			
月平均					1456		-4.2		1.2

・: 雨 (みぞれを含む) のみ

+: 雪と雨 (みぞれを含む)

印なし: 雪のみ

付表 2 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速
(降水量の日界のみ9時, 他は0時)

Table 2 Flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo.
1976~1977年冬期

日	月 項目	2 (February)			3 (March)				
		水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹
1		810	12.5	-6.3	0	810	0	4.5	1.0
2		1750	2.5	-5.2	1.3	590	4.0 ⁺	1.0	0
3		2155	3.5	-5.8	0.4	2040	3.5	-0.7	2.6
4		2105	2.0	-2.9	0.4	2885	6.0	-2.9	0.8
5		1995	1.5	-4.3	0.9	1720	11.5	-5.8	1.2
6		1920	9.5	-3.0	1.4	2100	4.0	-5.0	0.6
7		1920	1.5	-5.5	3.3	2125	0	-2.5	0
8		1955	1.5	-4.1	0.4	3535	1.0 [·]	0.4	0
9		2670	2.0	-3.2	0.6	865	3.5 ⁺	2.5	1.6
10		1775	6.0	-2.1	1.1	2490	3.5	0.1	3.8
11		1705	2.0	-5.1	3.9	2815	0	1.6	2.1
12		2100	2.5	-2.5	0.9	3620	0	1.4	1.7
13		1150	10.5	-1.5	0.1	3530	0	1.1	0
14		2015	1.0	-0.6	0.2	3480	1.0 [·]	4.6	0.1
15		2690	0	-3.0	1.0	2765	0	4.3	2.2
16		1320	9.0	-4.8	1.7	2170	0	3.8	0.6
17		1230	10.0	-3.8	2.9	3120	0	2.2	0
18		2565	2.0	-2.7	0.9	3645	7.5 [·]	3.6	1.5
19		2020	1.5	0.3	1.3	1210	3.5 [·]	2.4	0.1
20		1470	12.5	2.4	1.0	3240	0	3.4	1.3
21		1420	5.0	-0.7	1.2	4465	0	1.0	0.9
22		1845	12.5	-6.1	3.0	2850	0	0.7	0
23		1395	5.5	-4.0	1.7	3680	4.5 [·]	5.1	2.8
24		2975	0	0.4	0.6	750	12.0 ⁺	4.9	1.9
25		2740	7.0 [·]	6.8	1.0	1650	10.5	0.6	1.6
26		570	0	3.7	0.7	3575	0	4.5	1.3
27		2075	0	3.6	0.8	835	0.5 [·]	1.0	0.6
28		2830	0	1.4	0.2	2780	0	1.5	0.3
29						4600	0	1.2	0.1
30						1350	15.0 [·]	0.7	0.9
31						1395	2.5 [·]	4.6	0.2
月合計		53170	123.5			76685	94.0		
月平均		1899		-2.1	1.2	2474		1.5	1.0

·: 雨 (みぞれを含む) のみ

+: 雪と雨 (みぞれを含む)

印なし: 雪のみ

付表 3 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速
(降水量の日界のみ9時, 他は0時)

Table 3 Flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo.

1977~1978年冬期

月 日	12 (December)				1 (January)			
	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹
1	1045	1.0'	2.7	0	780	1.5'	1.8	1.2
2	620	7.0 ⁺	1.5	1.0	890	0	-3.0	1.4
3	450	10.0'	2.8	0.9	1410	1.5	-2.3	0.4
4	740	25.0'	7.5	0.1	1000	10.5	-1.9	欠
5	915	0	7.2	0.3	1160	14.0	-1.8	欠
6	欠	0	(3.9)	(1.1)	615	15.5	-0.6	2.1
7	710	0	4.6	1.1	850	2.5	0.3	0.4
8	915	3.5'	3.0	0.1	1025	10.0 ⁺	-0.6	0.3
9	375	5.5'	3.8	0.2	645	20.5 ⁺	0.6	1.1
10	1080	10.5'	3.1	0.1	775	11.5	-1.8	1.8
11	1505	0	3.9	0.5	775	13.0'	1.2	1.4
12	1550	0	2.1	0	900	1.0	1.3	2.4
13	1015	3.0'	1.4	0	1435	0	0.2	2.5
14	1455	0	3.9	0.3	1550	5.5'	0.1	0.1
15	820	0	-0.3	0	830	10.0 ⁺	2.4	1.0
16	365	15.5'	1.9	0.1	1415	3.5	-3.6	3.3
17	240	7.5'	6.1	0.6	1390	0	-2.9	1.1
18	480	20.5 ⁺	3.2	0.1	1135	7.5	-3.6	0.3
19	620	3.0	-0.3	0.6	1290	6.5	0.3	2.2
20	865	3.5	-0.1	0.4	1805	1.0	-1.0	1.4
21	1215	3.5	-2.7	2.1	1590	7.5 ⁺	-0.4	0.8
22	1150	0.5	-2.5	1.6	905	6.5	-0.7	6.2
23	1400	0	-2.9	0.1	1245	3.0	-1.4	1.6
24	895	21.5 ⁺	-1.0	0.5	1495	4.0	-1.3	欠
25	190	15.5 ⁺	1.1	1.0	1335	1.5	-4.2	3.3
26	1115	6.0	-1.6	3.4	1745	0	-1.5	0.8
27	910	6.5	-0.6	3.6	1320	4.0	-0.1	4.5
28	1445	0.5	-1.4	2.6	1290	1.5	-2.7	1.8
29	1560	11.0'	2.2	0.6	1715	1.5	-5.4	1.0
30	1775	2.0'	2.1	0.8	1425	8.5	-5.2	0.2
31	325	17.5'	0.2	0.4	1000	7.0	-5.0	1.7
月合計	27745	200.0			36740	180.5		
月平均	925		1.8	0.8	1185		-1.4	1.7

' : 雨 (みぞれを含む) のみ

+ : 雪と雨 (みぞれを含む)

印なし : 雪のみ

付表4 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速
(降水量の日界のみ9時, 他は0時)

Table 4 Flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo. 1977~1978年冬期

月 日	2 (February)				3 (March)			
	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹
1	1545	11.5	-6.3	0.4	(1275)	2.5	-2.4	4.3
2	1675	6.0	-5.4	2.9	2820	0	-0.3	2.8
3	1085	8.0	-6.0	(2.1)	1930	10.0*	1.6	0.3
4	1045	4.5	-4.4	2.1	1175	9.5*	2.6	1.3
5	1365	9.0	-4.4	2.6	2340	0	1.4	1.8
6	1865	5.0	-1.1	2.6	2745	0	0.5	1.2
7	1190	10.5	-1.1	0.6	3690	0.5*	0.4	0.3
8	1785	0.5	-0.8	2.4	3295	0	2.8	0.3
9	1960	6.5	-0.9	0.1	3925	0.5	1.7	2.7
10	655	8.5 ⁺	-0.3	0	1380	25.5 ⁺	1.7	3.7
11	1915	0.5	0.1	0.6	1340	6.0	0.5	3.4
12	2080	5.0	-1.5	0.1	3170	3.0	-1.2	1.6
13	2350	4.0	-3.4	2.1	2595	4.5	-1.7	1.1
14	1625	6.0	-6.1	2.0	1850	12.5	-1.7	1.5
15	1705	9.0	-5.7	0.4	2095	0.5	-0.2	0.7
16	2465	4.5	-6.4	0.6	2970	3.5	0.4	0.8
17	3090	0	-6.6	0.2	3020	2.5	1.2	0.8
18	2335	3.0	-5.7	0.4	3980	2.0	1.7	0.1
19	2195	8.0	-2.7	1.8	1470	5.5	1.2	0.1
20	1670	2.0	-1.9	0.8	3890	0	3.0	2.3
21	1835	12.0	-3.0	0.1	3235	2.0	2.5	0.9
22	1010	9.5	-3.3	(0.9)	1900	9.0 ⁺	1.6	0.4
23	(1475)	4.5	-4.1	0.9	3295	4.0	0.9	0.8
24	2590	3.0	-3.7	1.0	2915	5.5*	2.8	1.1
25	2780	5.0	-3.1	0.4	3665	0	6.0	0.5
26	2330	3.0	-2.2	0.3	3655	0	5.2	0.6
27	2845	0	1.0	1.4	4490	0	6.2	0.4
28	2280	2.5 ⁺	-0.6	1.3	1070	15.0*	1.9	0.6
29					3580	0	3.8	2.1
30					2645	1.0	0.7	1.8
31					3695	2.0	-0.2	1.9
月合計	52745	151.5			85100	127.0		
月平均	1884		-3.2	1.1	2745		1.4	1.4

*: 雨 (みぞれを含む) のみ

+: 雪と雨 (みぞれを含む)

印なし: 雪のみ

付表 5 新庄で測定された水平面全天日射量, 降水量, 平均気温および平均風速
(降水量の日界のみ9時, 他は0時)

Table 5 Flux density of global solar radiation on a horizontal surface, precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo.

1978~1979年冬期

月 日	12 (December)				1 (January)			
	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	降 水 量 mm	平均気温 °C	平均風速 m sec ⁻¹
1	1169	0.5	4.3	0.3	1004	0	0.3	0.8
2	586	26.0	5.9	2.1	1052	0	0.9	1.0
3	830	0	4.4	3.3	896	1.0	1.8	0.3
4	1138	12.0	4.9	1.0	794	3.0	1.5	0
5	752	1.0	-0.1	3.8	446	4.5	2.0	0.4
6	1510	4.0	0.1	1.6	911	0	0.2	0.4
7	1269	11.0	3.3	0.1	1055	4.0	1.3	0.4
8	553	7.0	6.0	0.8	1590	2.5	8.0	0.4
9	1131	4.0	5.1	0.1	488	0	5.3	0.8
10	347	11.5	7.3	0.6	1001	3.5	3.6	1.4
11	836	0	1.7	1.7	937	3.5	-2.5	3.4
12	1288	0	3.8	0.2	1034	1.5	-2.4	0.9
13	欠	0	(4.5)	0.1	1185	6.5	-3.3	1.5
14	965	4.0	2.7	0	1127	5.5	-2.8	1.8
15	527	1.0	4.5	0.6	1125	9.5	-2.1	0
16	1389	1.0	2.6	0	1266	3.5	-2.3	0.6
17	285	1.0	3.7	0.6	1019	16.0 ⁺	-0.2	0
18	724	0.5	-0.8	0.3	523	19.5 ⁺	0.2	1.3
19	986	1.5	-1.2	0.5	1369	10.5	-5.6	2.9
20	1214	5.5	-2.2	0.4	1424	5.0	-2.8	0.7
21	892	4.0	-1.2	0	506	13.5	-2.3	1.6
22	909	0	0.9	0	1400	25.5	-3.7	1.2
23	659	1.0	-1.3	0	803	10.5	-0.4	0
24	601	3.5	1.7	1.3	1259	0.5	0.1	1.2
25	788	0	2.0	0.4	836	0.5	-1.8	0
26	940	0	2.4	0.1	1202	1.5	1.7	0.2
27	1128	6.0	3.0	0.2	849	5.5	-2.0	1.6
28	949	1.0 ⁺	2.9	1.9	2048	0.5	-5.5	2.3
29	745	2.0	-1.3	0.4	2201	1.5	-3.2	0.9
30	920	3.5	-3.7	1.7	447	11.0	0.5	1.6
31	1161	2.5	-0.9	0.7	1177	9.0	3.2	1.6
月合計	27191	115.0			32974	179.0		
月平均	906		+2.1	0.8	1064		-0.4	1.0

・: 雨 (みぞれを含む) のみ

+ : 雪と (雨みぞれを含む)

印なし: 雪のみ

付表 6 新庄で測定された水平面全天日射量, 南向き鉛直面日射量, 降水量, 平均気温および平均風速 (降水量の日界のみ9時, 他は0時)

Table 6 Flux density of global solar radiation on a horizontal surface, J_H , that on a southward vertical surface, J_V , precipitation, mean air temperature and mean wind speed which were measured in Shinjo.

1978~1979年冬期

月 日	2 (February)					3 (March)				
	J_H	J_V	降水量	平均気温	平均風速	J_H	J_V	降水量	平均気温	平均風速
	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	南向き鉛 直面日射 量 kcal m ⁻² day ⁻¹	mm	°C	m sec ⁻¹	水平面全 天日射量 kcal m ⁻² day ⁻¹	南向き鉛 直面日射 量 kcal m ⁻² day ⁻¹	mm	°C	m sec ⁻¹
1	669		3.5 ⁺	3.6	0.6	1684	1204	10.0	0.1	0.8
2	1233		3.0	0.1	2.1	1919	1804	18.0	-0.9	1.5
3	1421		1.0	1.4	0	2579	2781	1.0	-0.3	0.3
4	789		9.5 ⁺	-0.7	1.2	2750	2998	0	-0.8	0.2
5	2298		16.0	-1.0	0.9	2886	3269	0	-0.2	0.2
6	838		12.5 ⁺	1.1	2.3	1623	1272	2.5 ⁺	-1.1	0
7	1571		6.0	0.9	2.9	3918	4878	0	0.9	0.5
8	1607		1.5	-0.7	0.9	2890	3133	3.5 ⁺	0.5	0.5
9	2213		0	-1.7	0.2	3014	2992	0	4.1	1.1
10	1627		0.5 ⁺	-2.9	0	1476	968	5.0 ⁺	1.6	0.4
11	1265		1.0	1.8	1.1	2419	2229	2.0	-0.7	4.6
12	501		3.0	0.4	1.8	2574	1949	0	-0.5	0.7
13	2384		0	0.8	0.6	3542	3529	1.0	-0.1	0.9
14	1861	2355	5.0 ⁺	-0.3	0.9	3672	3396	0.5	1.9	0.6
15	2289	3079	8.0	-0.5	1.5	1744	1097	1.5 ⁺	0.6	0.1
16	1753	1551	1.0	-3.0	1.8	3130	欠	0	1.0	1.2
17	2504	3066	9.5 ⁺	-0.5	0.4	2126	1315	10.5 ⁺	1.2	0.3
18	1521	1460	18.5	0.6	2.1	2741	2007	0	0.8	2.6
19	979	797	5.5	-1.3	1.6	3868	3364	0	3.3	0
20	2863	3999	0	2.1	0.3	3139	2528	0	3.7	0.8
21	2854	4078	3.0	1.7	0.6	3348	2529	0	1.2	1.0
22	3154	4399	1.0 ⁺	1.5	0.5	1087	617	4.5	-1.7	0.6
23	1028	770	5.0 ⁺	0.9	0.9	3935	3328	0	0.1	1.0
24	858	580	17.5 ⁺	2.2	0.9	975	526	20.0 ⁺	0.1	0
25	1863	1447	0	1.3	0	1184	639	12.5 ⁺	2.9	2.5
26	1198	823	2.0 ⁺	1.9	0	2341	1499	4.0 ⁺	4.8	0.6
27	1375	922	3.0 ⁺	1.8	0.1	4029	3077	0	4.4	1.7
28	2505	2280	6.0 ⁺	1.6	0.6	3426	2465	0	5.1	0.9
29						2616	1516	0	8.1	0.4
30						908	425	34.0 ⁺	6.7	0.3
31						593	304	17.0 ⁺	3.9	6.2
月合計	47021	31606	142.5			78136	63334	146.5		
月平均	1679	2107		0.5	1.0	2521	2111		1.6	1.1

1907 (2月14日から28日までの平均値)

・: 雨 (みぞれを含む) のみ

+ : 雪と雨 (みぞれを含む)

印なし: 雪のみ

付表 7 連続運転の場合の集熱実験結果

(集熱器: 1面 (面積1.91m²), 集熱面の向き: 南向)
(き鉛直, 循環水量: 82l, 循環水速度: 14.8l min⁻¹)Table 7 Experimental results of solar energy collection in the case of continuous running tests. Collection area: 1.91m², onto the southward vertical surface, amount of the circulating water: 82l, circulating rate of water: 14.8l min⁻¹.

日 付	①9時の循環水温 (°C)	②最高循環水温 (°C)	③上昇水温 (°C)	④最高循環水温に達した時刻	⑤集熱量 (kcal m ⁻²)	⑥積算日射量 (kcal m ⁻²)	⑦総合集熱効率 (%)
2月14日	10.0	34.4	24.4	15時50分	1048	1870	56
15	8.0	43.7	35.7	16 05	1533	2953	52
16	8.3	25.0	16.7	15 25	717	1324	54
17	7.3	43.1	35.8	14 00	1537	2589	59
19	8.0	17.9	9.9	15 45	425	701	61
20	6.7	51.1	44.4	15 51	1906	3549	54
21	11.7	51.5*	39.8	13 28	1709	2919	59
22	8.9	53.0	44.1	14 55	1893	3743	51
23	8.7	19.2	10.5	16 10	451	675	67
24	7.0	15.9	8.9	14 13	382	416	92
26	7.8	19.1	11.3	16 00	485	647	75
27	8.6	21.2	12.6	16 25	541	786	69
28	9.5	35.9	26.4	14 35	1133	1883	60
3月1日	8.7	23.1	14.4	16 00	618	982	63
2	10.2	26.5	16.3	14 00	700	1229	57
3	10.1**	37.6	27.5	15 30	1181	2127	56
4	9.5	40.5	31.0	14 10	1331	2192	61
5	12.1	41.6	29.5	15 10	1266	2587	49
6	8.9	23.0	14.1	16 15	605	1007	60
平均***	8.7	31.4	22.7	15 20	975	1714	61

* さらに上昇したかも知れないが, 途中で運転を停止した。ビニル管のとけるのを恐れたからである。

** 10時での循環水温である。

*** 上記の*, **の時の値を除いた平均値である。

① Circulation temperature at 9 o'clock.

② Maximum circulation water temperature.

③ Increment of water temperature.

④ Time when the water temperature reached maximum.

⑤ Amount of collected solar energy.

⑥ Integrated amount of solar energy.

⑦ Total collection efficiency.

* The temperature must be increased to a larger value, but the system was stopped not to melt the vinyl tubes.

** Measured at 10 o'clock.

*** Mean values except the cases marked * and **.

付表 8 温度差運転の場合の集熱実験結果

(温度差 Δt は集熱器内上方温度と蓄熱槽水温との差, $\Delta t > 5.1^\circ\text{C}$ で送水開始, $\Delta t < 3.6^\circ\text{C}$ で送水停止, その他は付表7に同じ)

Table 8 Experimental results of solar energy collection in the case of temperature difference tests. Temperature difference Δt is equal to the difference ($t_{w1} - t_{w3}$). Water was started to circulate when $\Delta t > 5.1^\circ\text{C}$ and stopped $\Delta t < 3.6^\circ\text{C}$.

日付	①9時の循環水温 ($^\circ\text{C}$)	②最高循環水温 ($^\circ\text{C}$)	③上昇水温 ($^\circ\text{C}$)	④最高循環水温に達した時刻	⑤集熱量 (kcal m^{-2})	⑥積算日射量 (kcal m^{-2})	⑦総合集熱効率 (%)
3月8日	11.5	43.2	31.7	14時00分	1361	2618	52
9	16.0	40.0	24.0	14 25	1030	2127	48
10	13.2*	17.3	4.1	12 40	176	359	49
11	10.1	28.9	18.8	14 20	807	1762	46
12	8.2	27.3	19.1	13 40	820	1514	54
13	14.2	42.7	28.5	15 20	1224	2694	45
14	17.4	43.8	26.4	14 05	1133	2394	47
15	10.5	19.9	9.4	12 20	404	678	60
17	11.2	22.8	11.6	15 00	498	1014	49
18	9.5	27.1	17.6	15 25	756	1664	45
19	8.2	42.9	34.7	15 15	1490	2786	54
20	16.6	38.5	21.9	12 20	940	1511	62
21	14.1	36.0	21.9	14 40	940	1890	50
23	13.7	39.2	25.5	14 35	1095	2382	46
26	8.0	24.6	16.6	15 00	713	1239	58
27	12.3	40.5	28.2	15 05	1211	2413	50
28	13.7	37.9	24.2	13 30	1039	1765	59
29	12.7	28.3	15.6	16 00	670	1161	58
4月1日	13.8	39.1	25.3	14 50	1086	2314	47
2	10.7	14.3	3.6	14 40	155	407	38
3	9.2*	13.1	3.9	15 30	167	363	46
4	11.1	27.3	16.2	13 55	695	1309	53
5	11.6	33.2	21.6	15 35	927	1970	47
6	16.0	45.8	29.8	15 00	1279	2518	51
7	12.7	37.0	24.3	15 35	1043	1912	55
8	16.2	33.5	17.3	13 45	743	1349	55
平均**	12.5	33.9	21.4	14 30	919	1808	51

* 10時での循環水温である.

** 上記の*の時の値を除いた平均値である.

* Measured at 10 o'clock.

** Mean values except the cases marked *.