

# 太陽熱コレクターを兼ねた無雪屋根の研究

A Study of roof type snow melter which  
can be used as solar collector

梅宮 弘道\* ・羽賀 恵寿\*\*  
Hiromichi UMEMIYA Eiji HAGA

宮沢 隆亀\*\*\* ・漆谷 昌己\*\*\*\*  
Ryuuki MIYAZAWA Masami URUSHIDANI

貴田 啓太郎\*\*\*\*\*  
Keitaro KIDA

## Summary

In districts along the coast of the Sea of Japan where heavy snow falls, the development of such collectors, that can be used for warm energy collectors in summer and for snow melters in winter, have been expected sincerely.

The experiments of roof type snow melter which also serves as solar collector have been continued for three years. A mat of flexible tubes which were made from polyacetic vinyl was spreaded over the roof and combined with two wells A and B. Ground water, pumped up from one well A, flowed through the collector tubes and the water was injected into the B well. Fundamental experimental data of heat transfer of bare type collector were obtained and rearranged as a empirical formula.

Experimental data and analytical results showed the conclusions as follows.

- i) Simple analytical results, obtained from the steady state heat transfer phenomena between the ground water and surroundings through pipe wall, can be used for the thermal design of such snow melter collector with full accuracy for the practical use.
- ii) Although the bare type collector is inferior in efficiency when hot water higher than 45°C is demanded, it is superior when a huge amount of warm water neare the atmospheric temperature is demanded because it collects thermal energy not only sun shine but also from sensible heat of air.
- iii) In winter, when the ground water of 13°C was used, the collector acted as a strong snow melter of which maximum power was 300 Watt/m<sup>2</sup>, which corresponded to the power necessary to melt away a snow fall of 155 cm per a day, assumed the density of the snow to be 0.05 g/cm<sup>3</sup>.

## 1. 緒 言

日本の約 1/3 を占める裏日本地域では、冬期間の屋根雪の始末は、住民にとって悩みの種である。特に最近、地方の生活様式が急激に変化し、i) 家屋の密集化が進行して雪捨場を失なった。ii) 共働き世帯が増加し、雪降ろし作業が過重労働になってきた。iii) 核家族化が進行し、一戸あたりの人手が減少している。これらの現象が重なり合って、屋根雪の始末は '56 豪雪を思い起すまでもなく、雪国の大きな社会問題の一つである。

一方、資源にも恵まれていない日本海側の環境で、

除雪エネルギーを模索するとき、これといったものが見当らず、自然エネルギーの利用だけがかすかな明か

\* 山形大学工学部精密工学科 助教授  
Dept. of Precision, University of  
Yamagata, Assistant Professor

\*\* 山形大学工学部精密工学科 技官  
Dept. of Precision, University of  
Yamagata, Technical Official

\*\*\* 三菱油化株式会社  
Mitsubishi Oil Chemical Co., Ltd.

\*\*\*\* 高砂熱学工業株式会社  
Takasago Netsugaku Industry Co., Ltd.

\*\*\*\*\* 新菱冷熱株式会社  
Shinryo Reinetsu Co., Ltd.

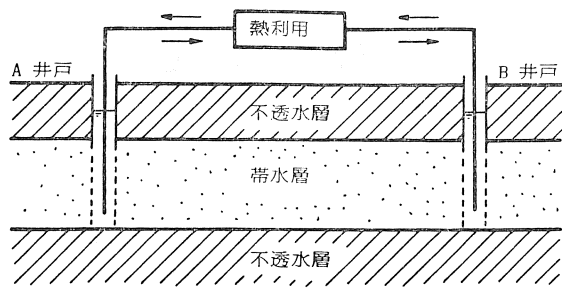


図1 地下水利用クローズドシステムの原利図

りとして見えている。豪雪地帯といえども夏の暑さは温熱源としては極めて希薄であるが、冬の融雪熱量をまかなうのには十分な量である。逆に冬の降雪も又、夏の冷房用冷熱を賄って余りある。この半年遅れの自然エネルギーをなんとか活用する方法はないものか、誰もが一度は考える問題である。

著者らは、先に帯水層の極めて大きな熱容量を活用

することにより、自然エネルギーを地下に貯え、半年遅らせて熱利用することが可能であることを実験的に確認した<sup>(1)</sup>。本方法では、地下の化学汚染を避ける意味から、地下水を汚したり、空気に晒したりしないで熱だけを利用して再び地下に戻すことを大前提としている。すなわち、地下帯水層による自然エネルギーの蓄熱利用に於ては、そのクローズドシステムの開発が地下水質保全の意味から、極めて重要な課題である。

そこで著者らは、図1に示すように、2本の井戸を結ぶクローズドシステムにおいて、屋根上に露出型コレクターを設置し、夏期においては太陽熱コレクターとして利用し、冬期においては、屋根雪を始末する無雪屋根として用いることを考え、3年間の野外実験を行った結果、実用的価値が極めて高いことが明らかになったので、その内容をここに報告する。



図2 実験場近くの地形図

記号表

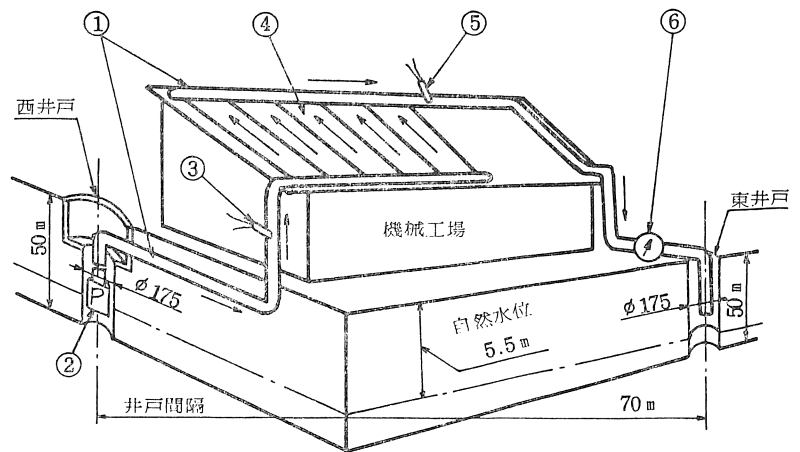
- $q$  : 熱流束 [W/m<sup>2</sup>]
- $\alpha$  : コレクターの日射吸収率 [-]
- $K$  : 熱通過率 [W/(m<sup>2</sup>·°C)]
- $\theta$  : 温度 [°C]
- $r$  : 半径 [m]
- $d=2r$  : 管外径 [m]
- $h$  : 熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·°C)]
- $\eta$  : コレクター集熱効率 [-]
- $I$  : 全天日射量 [W/m<sup>2</sup>]
- $C_p=4.2$  : 水の比熱 [kJ/(kg·°C)]
- $\gamma=1000$  : 水の密度 [kg/m<sup>3</sup>]
- $f$  : コレクターチューブ1本当たりの通水量 [cc/本]
- $L=335$  : 水の融解潜熱 [kJ/kg]
- $F$  : 降雪強度 [kg/(m<sup>2</sup>·s)]
- $Nu$  : ヌッセルト数 [-]
- $Re$  : レイノルズ数 [-] :  $(Re)_0$  風のレイノルズ数
- $w$  : 流速 [m/s]
- $\nu$  : 流体の動粘性係数 [m<sup>2</sup>/s]
- $\lambda$  : 流体の熱伝導率 [W/(m°C)]
- $\lambda_c$  : コレクター材料の熱伝導率 [W/(m·°C)]

添字

- $m$  : 平均
- $i$  : 内側及び入口
- $o$  : 外側及び出口
- $a$  : 周囲
- $s$  : 雪

2. 実験設備及び実験方法

地下帯水層による自然エネルギーの蓄熱利用を最終目標として、その熱利用部分を、夏は太陽熱コレクター、冬は無雪屋根として活用するというような使用例は見当らず、設計のための基本データも皆無に近い。このような問題に対しては、室内模型実験よりも、野外実規模実験によって、大づかみな特性を調査することがまず先決であると考え、裏日本型気候の代表都市に山形



- |             |              |                           |
|-------------|--------------|---------------------------|
| 1 塩化ビニール管   | 4 酢酸ビニールコレクタ | 屋根面積 : 1100m <sup>2</sup> |
| 2 水中ポンプ     | 5 出口水温測定熱電対  | コレクター : 310m <sup>2</sup> |
| 3 入口水温測定熱電対 | 6 オーバル流量計    | 設置面積                      |

図3 地下水利用クローズドシステムの実験場

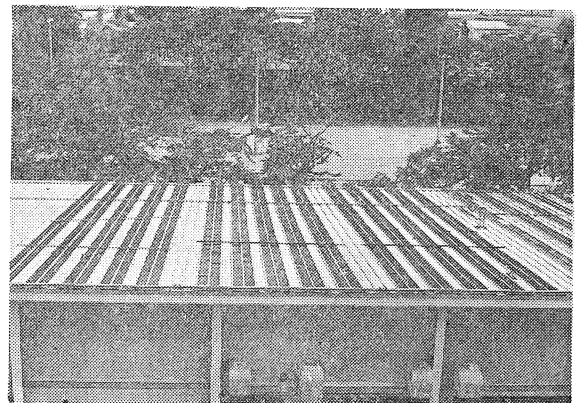


図4 無雪屋根全景

酢酸ビニールコレクター断面図

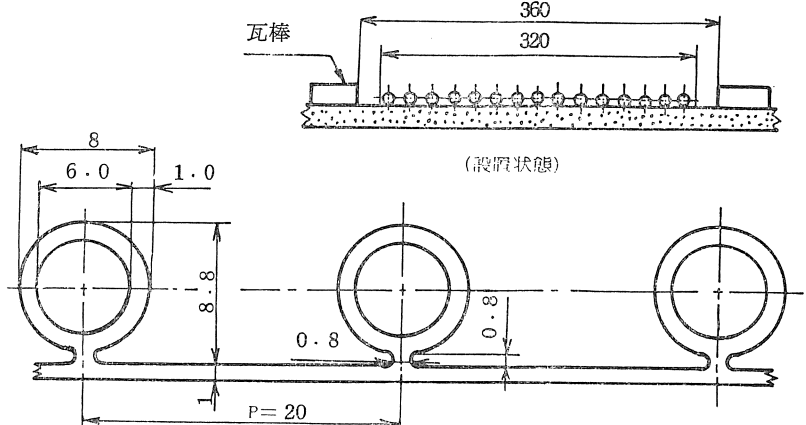


図5 ポリ酢酸ビニール製コレクター

県米沢市を選定し、野外実験設備を建設した。

実験場は、米沢盆地の南、山形大学工学部敷地内にある。図2に示す通り、実験場は三方を山に囲まれた扇状地であり、地下水の豊富な地域である。また当地

表1 観測機器

測定量	計器
気温・水温	千野製作所 DRO30 デジタル記録計
全天日射量	英弘精器 MS-42 ネオ日射計
風速	英弘精器 S-11 光電風速計
降雨・降雪量	英弘精器 S 転倒ます型雨量計

は最大積雪深の53年間の平均が 130.8 cm に達する豪雪地帯としても有名である。

図3に地下水利用クロードシステムの実験場を、図4にその無雪屋根全景を示す。本回路は地下水を東

井戸より汲み上げ、図5に示す総面積 310 m<sup>2</sup> の酢酸ビニールコレクター内を、下から上に流し、重力による自然流下法で西井戸から地下還元するという完全密閉回路になっている。季節ごとに水中ポンプを東西両井戸で入れ換え、配管を若干変更して、東井戸と西井戸をそれぞれ温水井・冷水井として使い分ける。

この間、コレクター入口・出口水温は熱電対温度計(C-C)、流量はオーバル流量計で測定する。又、気温をはじめ、全天日射量、風速、降雨量は表1に示すような計器を用い、常時自動記録する。又、冬期間の降雪量は、雨量計を白色ライト(500W)で照射すると同時に、ヒータを取付けて融雪し、降雨量として測定した。

実験は、夏期の温熱集熱実験と冬期の融雪実験から成る。すなわち

(1) 夏期、本コレクターの集熱量と、日射量、風速及び降雨量との対応関係を分類して露出型コレクターの集熱特性を評価する。

(2) 冬期、無雪屋根入口・出口温度変化より、放熱量を求め、風速及び降雪強度との対応関係に整理して融雪性能を評価する。

上記(1)(2)を総合すると、コレクター及び無雪屋根としての性能をパイプ壁を介して、地下水と外気との熱通過現象として統一的に評価することを試みるものである。

### 3. 実験結果

#### 3.1 夏期の温熱集熱

コレクターに地下水を流し、出口水温の変化を観測した代表例を、気象条件とともに図6に示す。入口水温(△印)は13°Cで一定である。出口水温(▽印)は、日射量(○印)の増加に伴って上昇し、気温(□印)をはるかに越え最大41°Cまで上昇した。コレクター集熱効率(●印)

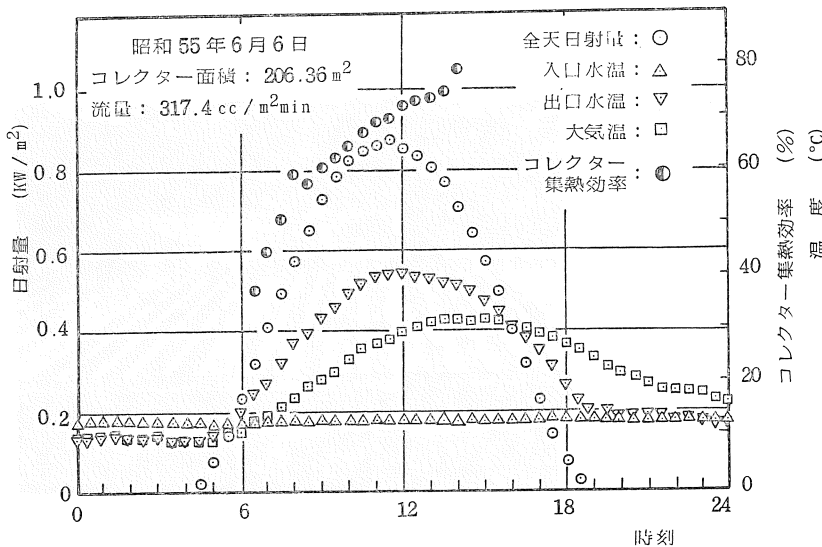


図6 晴天時の温熱集熱代表例

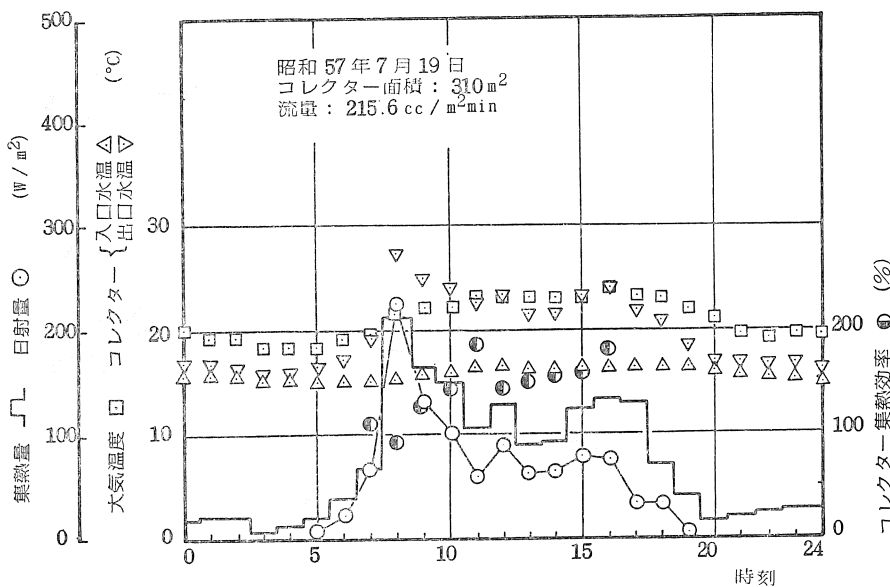


図7 曇天時の温熱集熱代表例

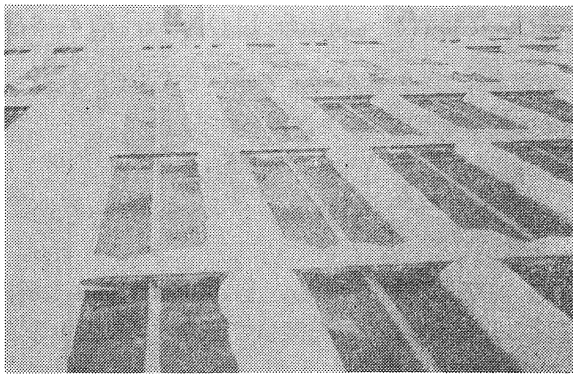


写真1 Aタイプ融雪状態

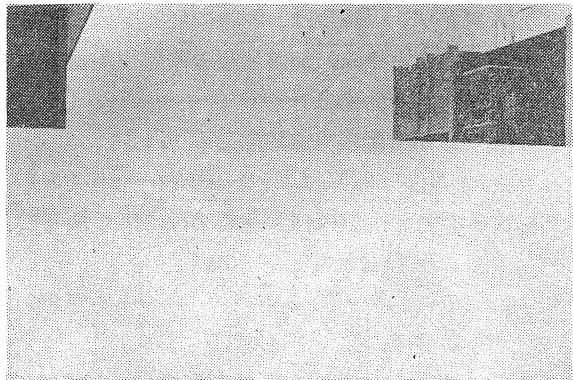


写真2 Bタイプ融雪状態

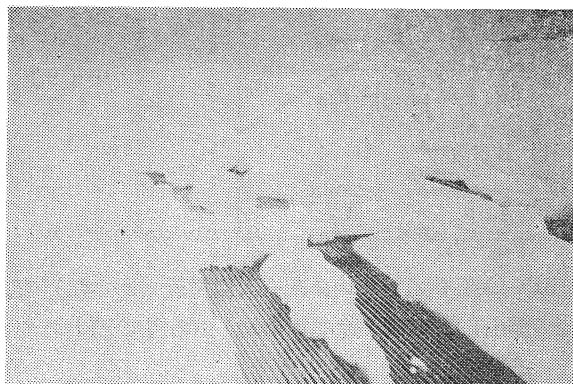


写真3 Cタイプ融雪状態

は、日射の強い時間帯で約50%、夕方になって、出口水温が外気温度に近づくと増大し、やがて100%を越える。同じく、曇天時及び雨天時の集熱実験代表例を図7に示す。出口水温は大気温度より低いものの集熱効率も100%を越え、しかも、集熱量(∟印)自体も無視し得ない量である。

すなわち、露出型コレクターの集熱特性として

i) 出口水温は、あまり上げることはできず、ほぼ45°Cどまりであるが洗濯用水あるいは風呂水としては、十分活用することができる。しかも、貫流型であるから、得られる温水の量は大量である。

ii) 出口水温が大気温度以下の集熱に対しては、日射のみならず、空気および降雨の顕熱までも、熱源と

して活用し得る余地を残している。

大気温度以下の微温水は夏期には、さほど利用価値はないが、帯水層による蓄熱にとっては、自然地下水温度以上の温度であるかぎり、融雪エネルギーとしての価値はそれだけ増大する。

### 3.2 融雪状況の分類

無雪屋根コレクターによる融雪状況は、気温、降雪強度の大小により写真1～3に示すように、ほぼ3形態に分類される。

(i) 無雪屋根全体が露出するAタイプ(写真1)

これは、降雪がない場合か、あっても微弱で無雪屋根に附着すると瞬時に融解する形態である。

(ii) コレクター全体が冠雪するBタイプ(写真2)

外気温度、降雪強度に較べ、水温が低く、雪と無雪屋根との界面はシャーベット状になるものの、瞬時には融けきらず、その上に雪が降り積っていく形態である。

(iii) 無雪屋根の入口近傍で露出し、それ以後冠雪しているCタイプ(写真3)

水温に較べ、降雪強度が強くと、入口付近ではAタイプをとるものの、流れに沿って水温が低下し、融雪能力が低下してそれ以後はBタイプをとる場合、すなわちAとBの中間形態である。

米沢のように、最大積雪深の53年間の平均値が130.8 cmにも及ぶ地方でも、一日10 cm以下の新積雪深出現ひん度は図8に示すように一冬期39.8日に及び全降

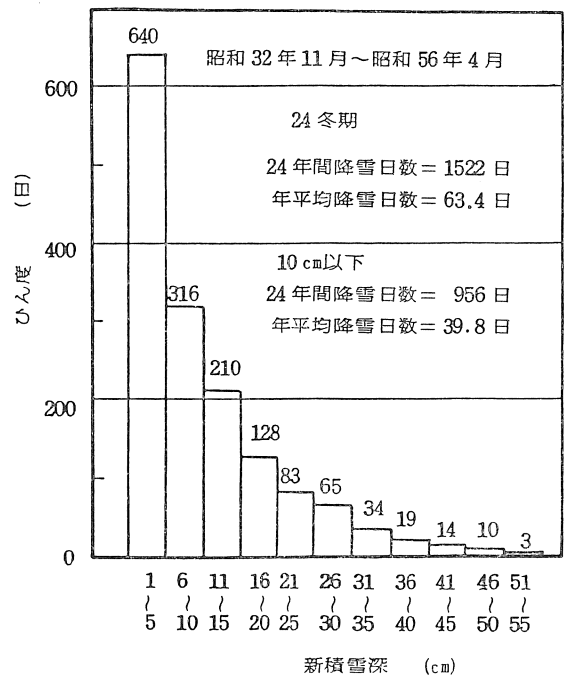


図8 米沢市における24年平均新積雪深出現ひん度 (山形地方気象台による)



雪日数63.4日の62%を占める。毎日雪が降ってはいても、その降雪強度は、思いの外微弱なものである。この傾向は雪国全域に共通している。

したがって、融雪コレクターの特性は、Aタイプでの性能と、ドカ雪時、すなわちBタイプでの性能を詳しく調べることで十分であると考ええる。

#### 4. 実験結果の検討

##### 4.1 理論解析

地下水を貫流させる露出型コレクターの温熱集熱器及び無雪屋根としての性能を、パイプ壁を介して地下水と外界との簡単な熱通過現象として統一的に評価することを試みる。

日射を受ける露出型コレクターの受熱量  $q$  は、ほぼ次式で表現される。

$$q = \alpha I + K(\theta_a - \theta) \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{r_o}{r_i h_i} + \frac{r_o}{\lambda_c} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{h_o} \dots\dots\dots (2)$$

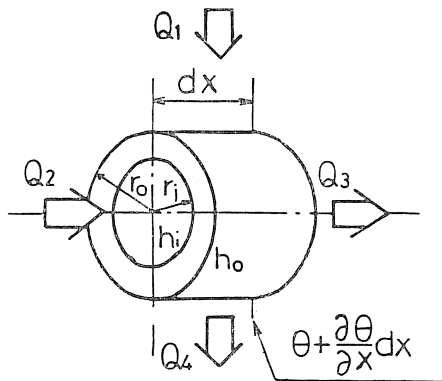
したがって、コレクター集熱効率  $\eta$  は、次のように整理される。

$$\eta = \alpha + K(\theta_a - \theta) / I \dots\dots\dots (3)$$

一方、コレクター微小部分における伝熱現象を簡略化し、図9のようにモデル化して流れ方向の温度分布から出口水温を求める。

$$Q_1 = 2\pi r_o \alpha I dx \quad Q_3 = C_p \gamma f \left( \theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx \right)$$

$$Q_2 = C_p \gamma f \theta \quad Q_4 = 2\pi r_o K (\theta - \theta_a) dx$$



$h_i$ : 管内熱伝達率  $r_i$ : 内半径  
 $h_o$ : 管外熱伝達率  $r_o$ : 外半径

図9 定常熱収支モデル図

ここで、受熱面は、管の全周、管外温度は外気温度にとり、屋根材料との熱授受は無視する。

定常状態で熱平衡を考えると

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \dots\dots\dots (4)$$

ここで

$$Q_1 = 2\pi r_o \alpha I dx, \quad Q_2 = C_p \gamma f \theta,$$

$$Q_3 = C_p \gamma f \left( \theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx \right), \quad Q_4 = 2\pi r_o K (\theta - \theta_a)$$

境界条件  $x=0$  で  $\theta = \theta_{in}$  を用いて式(4)を解くと極めて簡単な解式(5)が得られる。

$$\frac{\theta - \left( \theta_a + \frac{\alpha I}{K} \right) - \frac{2\pi r_o K}{C_p \gamma f} \cdot x}{\theta_{in} - \left( \theta_a + \frac{\alpha I}{K} \right)} = e \dots\dots\dots (5)$$

又、冬期間の降雪時にも、上記の極めて簡単な解析解を、降雪強度ごとに分類して適用することを試みる。

すなわち、

i) Aタイプ 降雪は、瞬時に無雪屋根表面で融解することから、無雪屋根の冷熱受熱量  $q$  は  $q = LF + K(\theta - \theta_a) \dots\dots\dots (6)$

したがって、無雪屋根冷熱集熱効率  $\eta_s$  は

$$\eta_s = 1 + K(\theta - \theta_a) / (LF) \dots\dots\dots (7)$$

ii) Bタイプ 雪は無雪屋根表面に降り積ることから、融雪項を熱伝達項に繰込

$$q = K(\theta - \theta_s) \dots\dots\dots (8)$$

$\theta_s$ : 雪温度

したがって、流れ方向の温度分布および出口水温は、

i) Aタイプ

$$\frac{\left( \theta_a + \frac{L \cdot F}{K} \right) - \theta - \frac{2\pi r_o K}{C_p \gamma f} \cdot x}{\left( \theta_a + \frac{L \cdot F}{K} \right) - \theta_{in}} = e \dots\dots\dots (9)$$

ii) Bタイプ

$$\frac{\theta - \theta_a}{\theta_{in} - \theta_a} = e^{-\frac{2\pi r_o K}{C_p \gamma f} \cdot x} \dots\dots\dots (10)$$

iii) Cタイプ (コレクター入口付近 ( $x < x_L$ ) で、露出しており、途中  $x = x_L$  から雪で覆われている場合)

$0 < x < x_L$  で

$$\frac{\theta - \left( \theta_a + \frac{L \cdot F}{K} \right) - \frac{2\pi r_o K}{C_p \gamma f} \cdot x}{\theta_{in} - \left( \theta_a + \frac{L \cdot F}{K} \right)} = e$$

$x > x_L$  で

$$\frac{\theta - \theta_a}{\theta_L - \theta_a} = e^{-\frac{2\pi r_o K}{C_p \gamma f} \cdot (x - x_L)}$$

ここで  $\theta_L$  は  $x = x_L$  での温度  $\dots\dots\dots (11)$

##### 4.2 温熱集熱特性

コレクター通水量を一定に保持し、風速がほぼ一定時の観測結果を式(3)にしたがって整理し、図10に示す。測定値は、ほぼ直線上にのっている。式(3)から明らかのように、この直線の縦軸切片がコレクタ

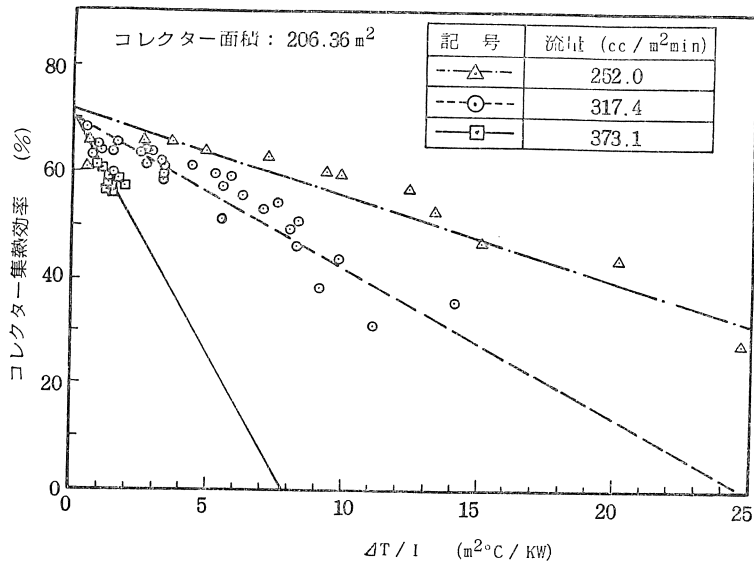


図 10 温度集熱性能

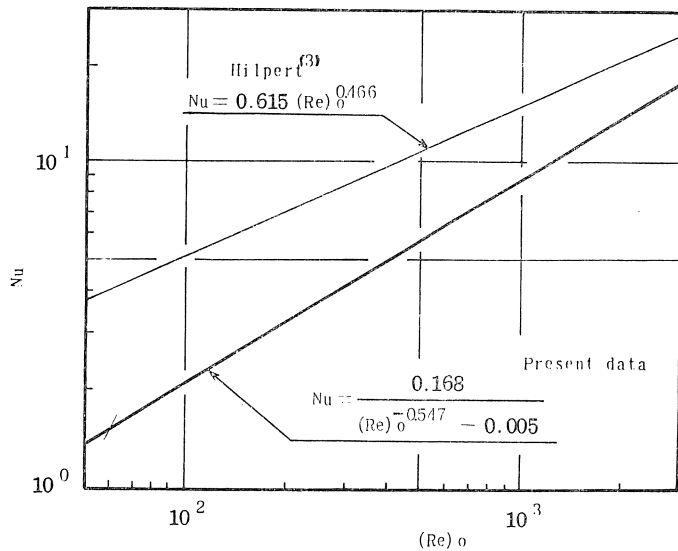


図 12 コレクター熱伝達特性

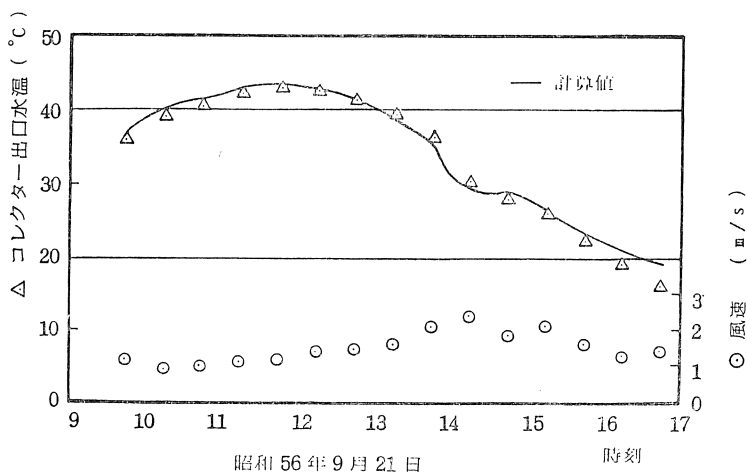


図 13 コレクター出口水温の計算値と実測値の比較

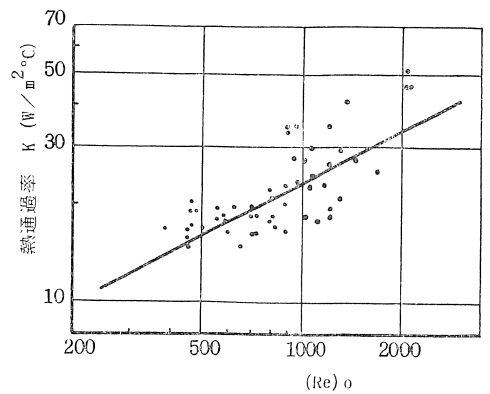


図 11 コレクター熱通過率と風速の関係

の吸収率  $\alpha$  を、傾きがコレクターの熱通過率  $K$  を表わしている。

熱通過率  $K$  は大気の見熱集熱特性を表わす状態値であるから、測定値をまず風速別に分類して熱通過率  $K$  と風速  $v$  の関係に整理し、図11に示す。

若干バラツキが見られるが  $\ln K$  と風速間には、直線関係が認められる。最小自乗法で直線近似し、実験式(12)を得た。

$$K = 0.46(Re)_0^{0.547} \dots \dots \dots (12)$$

管内水流は、 $(Re)_i < 2000$  であるから、管内熱伝達に Hausen の式(2)を適用し、式(2)より管外熱伝達率  $h_o$  を氷め、無次元整理して式(13)を得た。

$$Nu = 0.168 / [(Re)_0^{-0.547} - 0.005] \dots \dots \dots (13)$$

図12に式(13)と Hilpert の実験式(3)を示す。

両者を比較すると式(13)の方が風速に対して  $Nu$  数が低めの値を示していることがわかる。

これは、コレクターを屋根面に敷きつめているのに対し、風速計のローターが、屋根面より約 30 cm 上部に位置し、コレクター表面より速い風速を検出していることによるものと考えられる。風向きにより、式(13)は若干変わると思われるが、屋根面敷設コレクターの大まかな熱設計には式(13)が十分使用に堪えると考えられる。

次に気象状態が安定している場合、気温、日射量、風速及びコレクター入

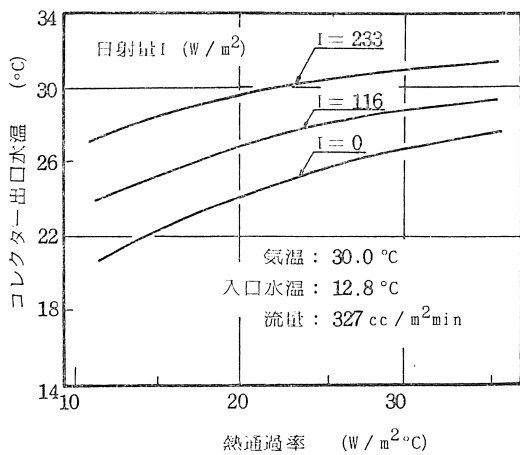


図 14 コレクター出口水温の熱通過率依存性

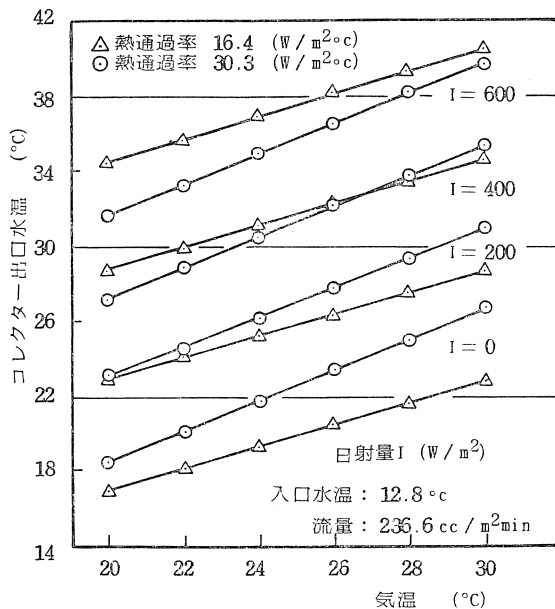


図 15 コレクター出口水温と気温の関係

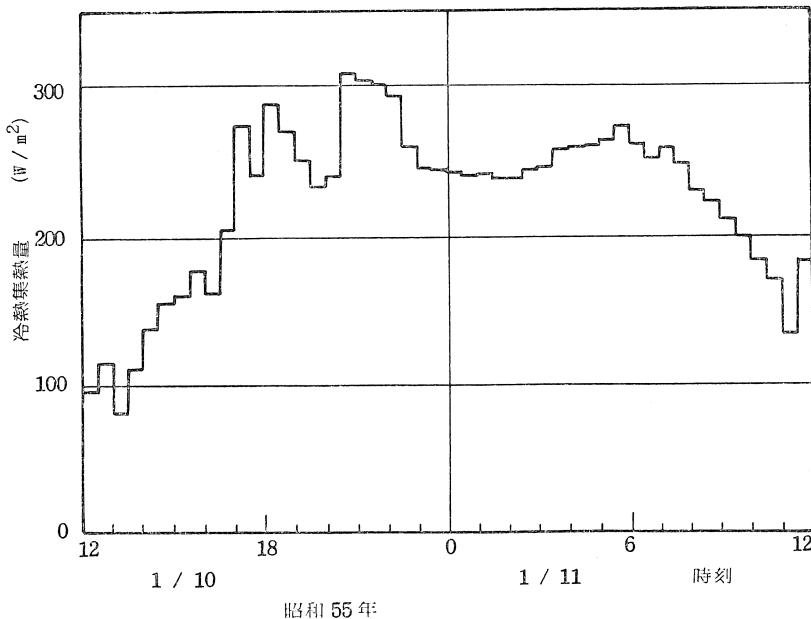


図 16 無雪屋根融雪能力の代表例

口水温及び式 (13), (2) より熱通過率  $K$  を算出して、式 (5) より出口水温を求めた結果を実測値 ( $\Delta$  印) とともに図13に示す。

両者は、かなり良い一致を示すことがわかる。したがって、気象状態が安定している場合には、コレクターの温熱集熱に対して、式 (1) 及び式 (4) で表わされるような簡単な定常温度場モデルが十分な精度で成立すると云える。

よって、露出型温熱集熱 コレクターの性能は、式 (5), (13) を用いてその最大性能を概算することができる。その一例として、コレクター入口水温  $12.8^\circ\text{C}$ 、外気温  $30^\circ\text{C}$ 、通水量を一定に保ち、出口水温と風速との関係を日射量をパラメータとして図14に示す。

又、コレクター出口水温と気温との関係を、日射量及び熱通過率をパラメータとして図15に示す。

両図より

- i) 日射量が強の場合、熱通過率が大きいことは、大気への熱損失が大きくなり、高温給湯には不利である。
- ii) 日射量が弱く、 $I \leq 400 \text{ W/m}^2$  の領域で、外気温度近傍の微温水を得る際には、熱通過率の増加は温熱集熱に対して著しい利得となる。

すなわち、本コレクターは風や雨からの採熱性能に秀れており、ヒートポンプと連動させれば一段と効果的であることを示唆している。

### 4.3 融雪性能

冬期間無雪屋根入口出口水温から、冷熱集熱量（視点を替えれば融雪量）を測定した代表例を図16に示す。

これは、昭和55年1月10日から11日までの冷熱集熱量経時変化である。図から明らかなように、コレクター入口水温  $13^\circ\text{C}$  一定、通水量  $800 \text{ cc/m}^2$  に対し、単位面積あたりの能力は  $300 \text{ W/m}^2$  を示した。これは降雪強度  $155 \text{ cm/d}$  (但し、新雪密度  $0.05 \text{ g/cm}^3$  とする) の融雪能力に対応する。又55年～56年にかけて、一冬の冷熱集熱日変化を図17に示す。平均出力は  $200 \text{ W/m}^2$ 、降雪強度に換算すると、 $103 \text{ cm/d}$  であった。なお同図で冷熱集熱量の負の部分は、太陽光による温熱集熱量を表わして



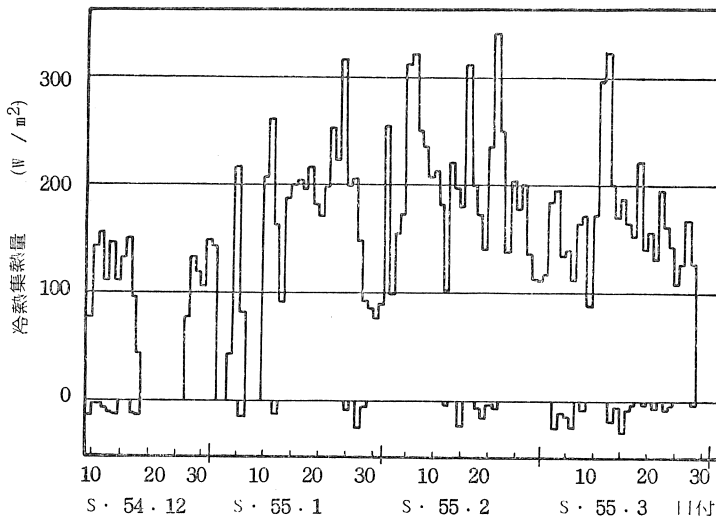


図 17 ひと冬の融雪データ

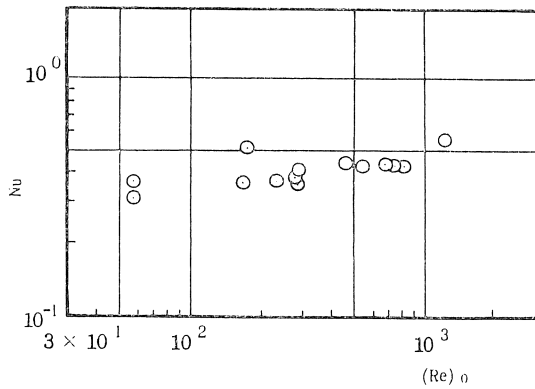


図 18 無雪屋根 熱伝達と風速の関係 (Bタイプ)

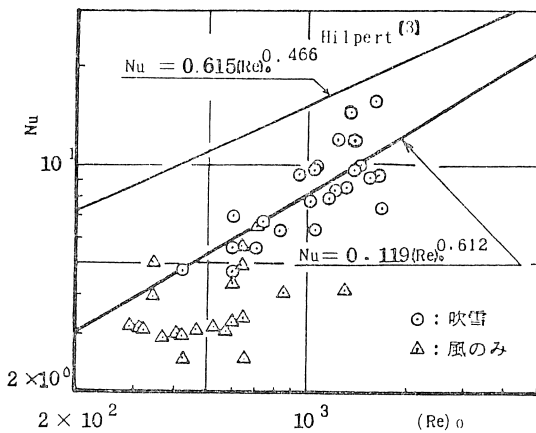


図 19 無雪屋根 熱伝達と風速の関係 (Aタイプ)

いるが、エネルギーとしてほとんど期待することができないことがわかる。

米沢市の最近24年間の平均の新積雪深出現頻度の累積分布によると、51 cm以上の降雪日数は、わずか0.1日にすぎず、10年間に1日程度の出現率である。

以上の状況から、本コレクターは、屋根雪の融雪器として十分な出力を発揮することが明らかとなった。

無雪屋根の融雪状態は、i) コレクター上に冠雪するBタイプ、ii) 表面露出状態で融雪するAタイプに分けられる。

Bタイプの場合、管外には0°Cの水が附着しているものとして、温熱集熱時と同じ手順で管外熱伝達率  $h_0$  を求め、更に無次元化してヌッセルト数  $Nu$  と風速レイノルズ数  $(Re)_0$  との関係に整理し、図18に示す。同図から明らかなように、 $Nu$  は、風速に左右されず、ほぼ一定である。

$$Nu = 0.4 \dots \dots \dots (14)$$

これは、コレクター外表面融雪により管外温度を一定に保持しながら積雪層が沈降していることによるものと判断される。

次に、Aタイプで、コレクター面が露出している場合、同じく管外熱伝達率を無次元化して、図19に示す。風速の強い影響を受けていることがわかる。

吹雪時のデータを最小自乗法で整理し、実験式(15)を得た。

$$Nu = 0.119(Re)_0^{0.612} \dots \dots \dots (15)$$

又、Hilpertによる管外平均熱伝達の実験式を図19に併記したが、両者を比較すると、本コレクターの測定値がかなり小さい。

これは、温熱集熱時と同じく、Hilpertが流れの中にある管外熱伝達率を求めたのに対し、本実験の場合は、コレクターを屋根面に密着させ、その上面だけ風雪が流れることによるものと考えられる。

次に、A、B両タイプについて温熱集熱と同様に、気象状態が比較的安定している場合、気象条件、コレクター入口水温から、無雪屋根出口水温を算出した結果を実測値とともに図20 a, bに示す。

図20 aは、昭和57年1月23日の夜間の記録である。降雪はないが風と共に粉雪が舞う、いわゆる地吹雪模様の天候であった。

又、図20 bは、昭和56年12月13日、無雪屋根に通水を停止し、約20 cm程度積雪させてから通水を開始した記録である。

両者とも実測値と計算値はほぼ良い一致を示していることがわかる。温熱集熱時と比較して特にAタイプで実測値と計算値との差異が目立つのは、冬期間、気象条件が極めて不安定なためである。

よって、無雪屋根も気象状態が安定している場合には式(6)、(8)で表わされるような簡単な定常温度場モデルがほぼ成立するといえる。

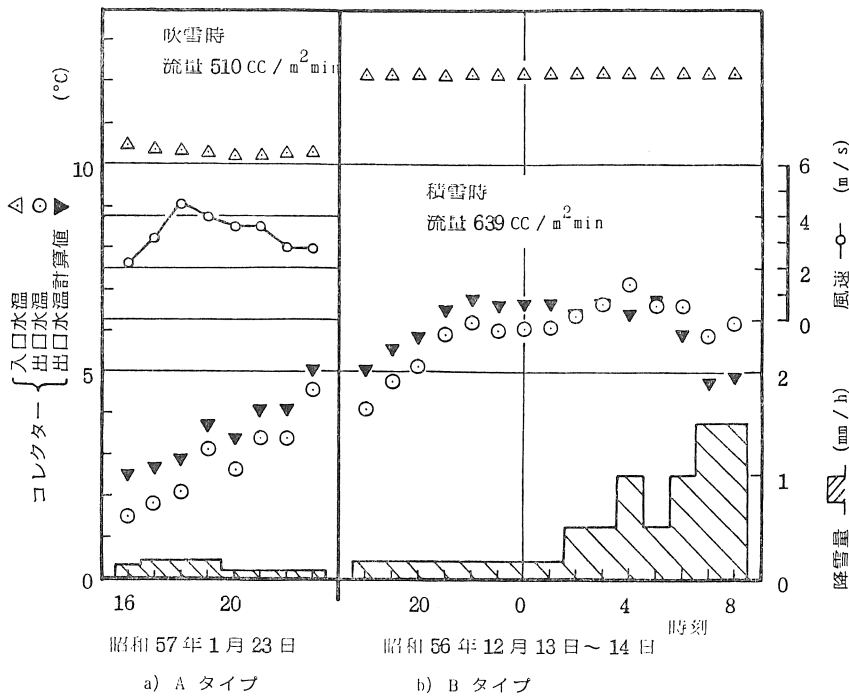


図 20 無雪屋根 出口水温の計算結果と実測値の比較

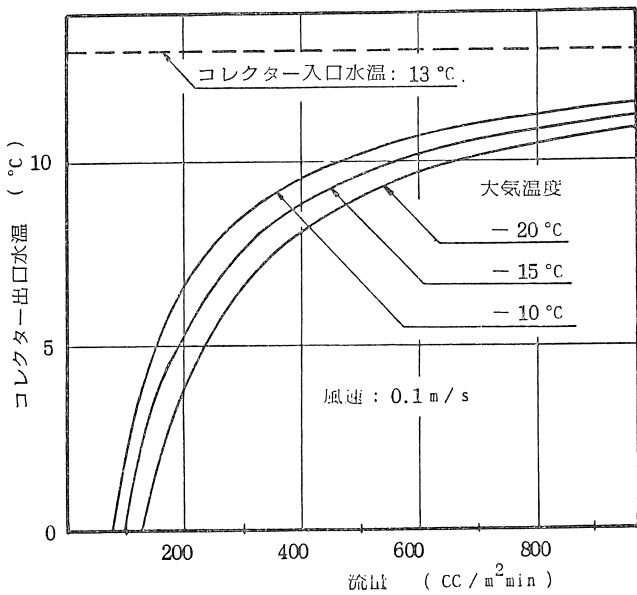


図 21 無雪屋根 出口水温と流量及び気温の関係

よって、無雪屋根の特性は、式(9)、(10)、(14)、(15)を用いてその最高性能を概算することができる。

Aタイプの場合、風が強く、しかも外気温度が極端に低い場合には、無雪屋根に流す地下水量をあまりしぼると凍結する恐れがある。

凍結を防止するうえで適正な通水量を得るために地下水温度 13°C、長さ 22mの無雪屋根を対象として通水量と無雪屋根出口温度の関係を風速及び外気温度を変数として算出し図21に示す。融雪能力を保持するには、これまでの経験上、5°C以上の通水温度を必要と

する。したがって、例えば外気温度 -15°C、風速 0.1m、の気象に対しては、十分条件として通水量 > 200 cc/(min. m²) が得られる。

Bタイプの場合、無雪屋根出口近傍でも、融雪能力が 50 W/m² 以上ないと、降雪強度 26 cm/d を処理しきれず新雪が次々降り積っていく。

このような状態を回避するためには、やはり通水量をある程度以上に保持しなければならない。

Aタイプと同様、長さ22mの無雪屋根に対して、式(10)、(14)、(6)より通水量と無雪屋根出口近傍の融雪能力との関係を使用する地下水温度を

変数として、図22に示す。例えば米沢地方の自然地下水 13°C を使用する場合、通水量 > 180cc/(m²min) が求められる。

又、地下蓄熱して 20°C の地下水を使用することができれば、同じ通水量に対して、融雪能力は 80W/m² と著しい向上を示す。

自然温度より、わずか 7°C 高い地下水でも、融雪能力は、格段の向上を示すことから明らかなように、地下帯水層による自然エネルギー蓄熱利用の経済効果は顕著である。その目的からしても、集熱部に、露出型コレクターを使用することは、適切であると云える。

### 5. 結 論

日本海側でも利用価値の高いコレクターの開発を目指し、ポリ酢酸ビニール製露出型コレクターを夏は温水器、冬は無雪屋根として利用することを考え、実規模野外実験を行ない、以下のような結論を得た。

1. 地下水を貫流させる露出型コレクターの温熱集熱器及び無雪屋根としての性能をパイプ壁を介して地下水と外界との簡単な熱通過現象として統一的に評価する方法を提示し、自然条件下で熱伝達基礎データを収録・整理し熱設計の基礎となるコレクター出口水温推算法を提示した。
2. 給湯性能として
  - i) (本コレクターは) 高温給湯用としては不利で

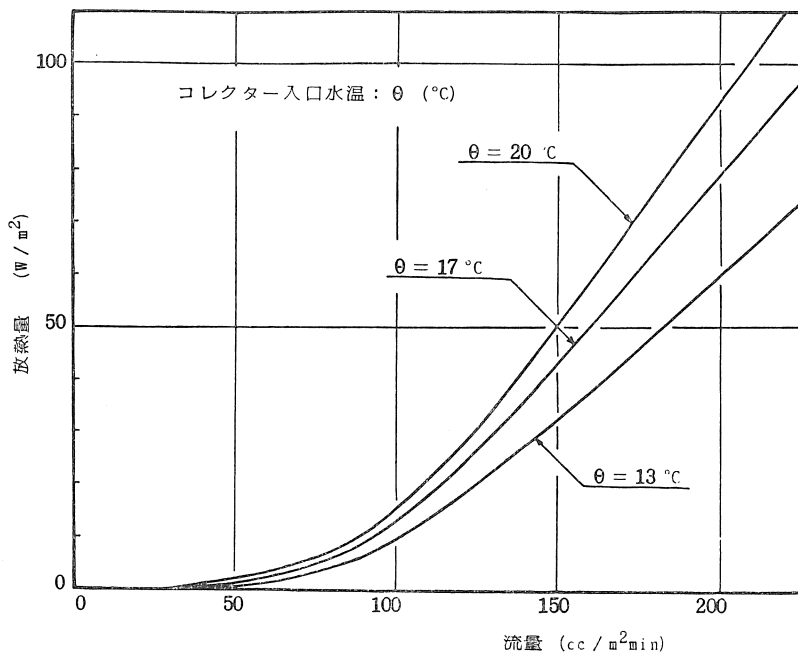


図 22 無雪屋根 出口近くの融雪能力 (Bタイプ)

あるが、45°C 以下で風呂水あるいは洗濯用水として十分活用することができる。

- ii) 出口水温が大気温度以下の集熱に対しては、日射のみならず、空気および降雨の顕熱まで、熱源として活用することができる。

したがって、本コレクターは、夏の間融雪熱源を地下帯水層に蓄える蓄熱利用システムのコレクターに適している。

3. 融雪性能として

- i) 13°C の地下水を流すだけで、本無雪屋根の融雪能力は 300 W/m² に達する。これは新雪密度を 0.05 g/cm³ とするとき、155 cm/d の降雪強度に対応し、十分な出力である。

- ii) 夏期のエネルギーを地下蓄熱しておき、冬期無雪屋根に通水することにより、融雪能力は格段に、向上する。

以上総合すると、太陽熱コレクターを兼ねた無雪屋根システムはわずかなポンプ動力(露出型コレクター面積 1,000 m² あたり約 2 kW のポンプ動力)により、膨大な量の熱エネルギーを集熱し、次シーズンにそなえる方式であることから、産業に例えれば農業に対応し、無雪屋根は、さだめしエネルギー畑ということになるのか。

残された問題は多々あるが、その中でも井戸掘費及びコレクターのコストダウンが緊急課題である。

なお、本研究費の一部は、文部省科学研究費エネルギー特別研究課題番号昭和55年度[505520]、昭和56年度[56045023]、山形県庁、

米沢地区・置賜盆地地下水利用協議会および昭和56年度岩谷直治記念財団からの研究助成金によることを附記し深謝する。

参 考 文 献

- (1) 梅宮ほか：地下帯水層による自然エネルギーの蓄熱利用，日本機械学会誌，83-738 (1980)，550.
- (2) Hausen, H., VDI-Z Berichte, Verfahrenstech, 4 (1943), 91.
- (3) Hilpert, R., Forch. Gebiete Ingenieurw., 4 (1933), 215.  
日本機械学会，伝熱工学資料 (改訂第3版)，(1975)，35.

(昭和57年9月4日 原稿受理)