

ヒートパイプ屋根融雪装置

ヒートルーフ

技 術 資 料

昭和 61 年 6 月

フジクラ

目 次

1. 概 要	1
2. ヒートパイプとは	1
2-1 作動原理と構造	1
2-2 特 徴	1
3. ヒートパイプ屋根融雪装置ヒートルーフについて	2
3-1 構 造	2
3-2 標 準 仕 様	5
3-3 特 長	7
3-4 熱 設 計	8
3-5 系内圧力損失水頭について	13
3-6 フィールド試験例	18
3-7 機械強度について	20

1. 概要

フジクラのヒートパイプ屋根融雪装置ヒートルーフは宇宙工学の先端技術ヒートパイプを用いた全く新しい屋根の融雪装置です。熱の超伝導体であるヒートパイプにより、屋根表面に熱を均一伝達し、効率の良い無散水融雪を可能としました。

2. ヒートパイプとは

2-1 作動原理と構造

ヒートパイプとは、コンテナの内壁に毛細管ポンプ力を発生させるウィックを装着し、内部を真空排気した後、作動液（例 水、フロン、アンモニア等）を封入し密閉した簡単な伝熱素子である。構造及原理を図-1に示す。

ヒートパイプの片端を加熱すると、作動液が沸騰・蒸発し、蒸気は圧力の低い冷却部に流れ、凝縮して液体に戻る。この液体がウィックの毛細管力や重力により加熱部に還流される。ヒートパイプの内部では、蒸気流が温度の低い部分（低圧）に向かって流れこみ、バランスしようとするのでヒートパイプの長手方向に、等温性を維持している。

2-2 特徴

- (1) 熱伝導性が優れている。
(小さな温度差で大量の熱が輸送できる。)
- (2) 熱応答性が良い。
- (3) 温度均一性が良い。
- (4) メンテナンスフリー。
- (5) 軽量でコンパクト。
- (6) 運転動力不要。

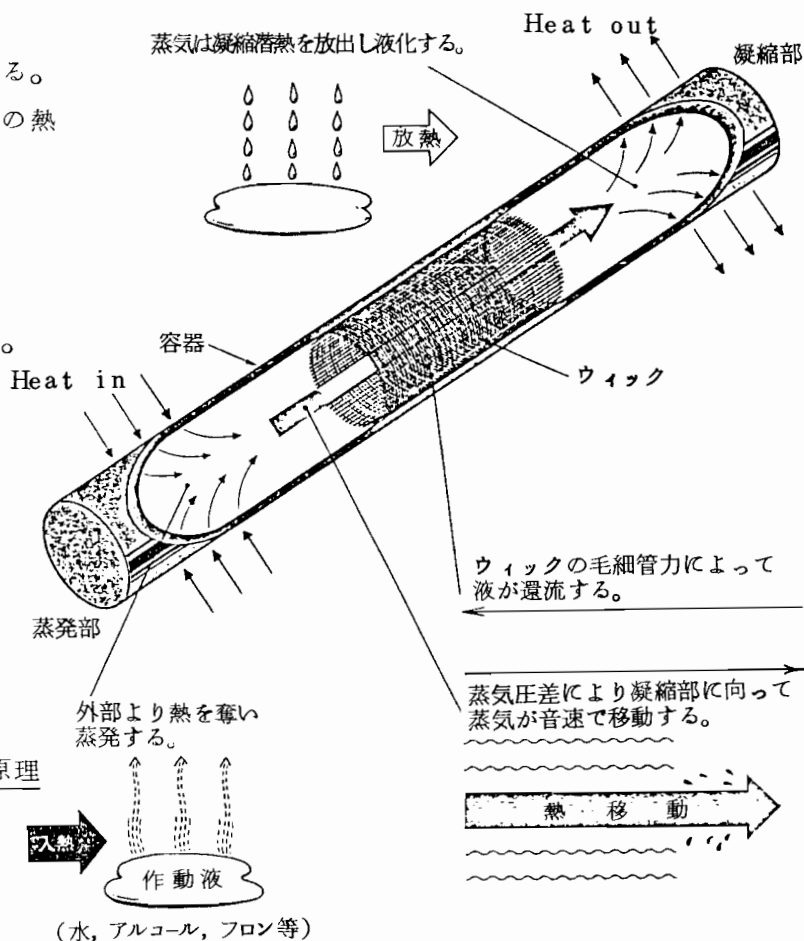


図-1 ヒートパイプの構造及原理

3. ヒートパイプ屋根融雪装置ヒートルーフについて

3-1 構造

ヒートルーフパネルの構造図を図-2に示す。

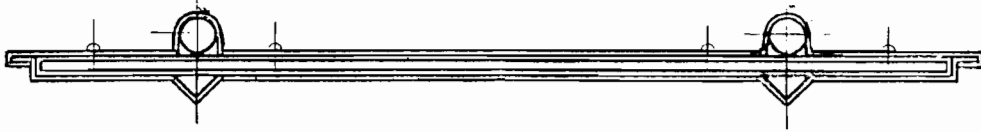
図-2の様にヒートルーフパネルは8つの部品から成る。

- ① …………… 加熱ヘッダー（2重管構造）
- ② …………… 上板（0.8 t ガルバリウム鋼板）
- ③ …………… 下板（0.27 t " ）
- ④ …………… ヒートパイプ放熱部（15.9φ×1.6 t STKM）
- ⑤ …………… 断熱材（10 t 硬質ポリウレタン）
- ⑥ …………… V構造支持部
- ⑦ …………… 上面戸（0.8 t ガルバリウム鋼板）
- ⑧ …………… 下面戸（0.8 t " ）

断熱材⑤の上に、ヒートパイプ放熱部④を固定し、上板②、下板③、上、下面戸⑦、⑧によりパネル状とした。

加熱ヘッダー①の内管に温水等の熱源が流れ、この熱がヒートパイプ放熱部に伝達される。伝達された熱は、上板に伝えられ、熱伝導によりパネル上に均一に拡散される。断熱材により、パネル下面への熱流は遮断され、伝達された熱はロスなく融雪に使われる。

図-3に施工例を示す。



A-A 断面図

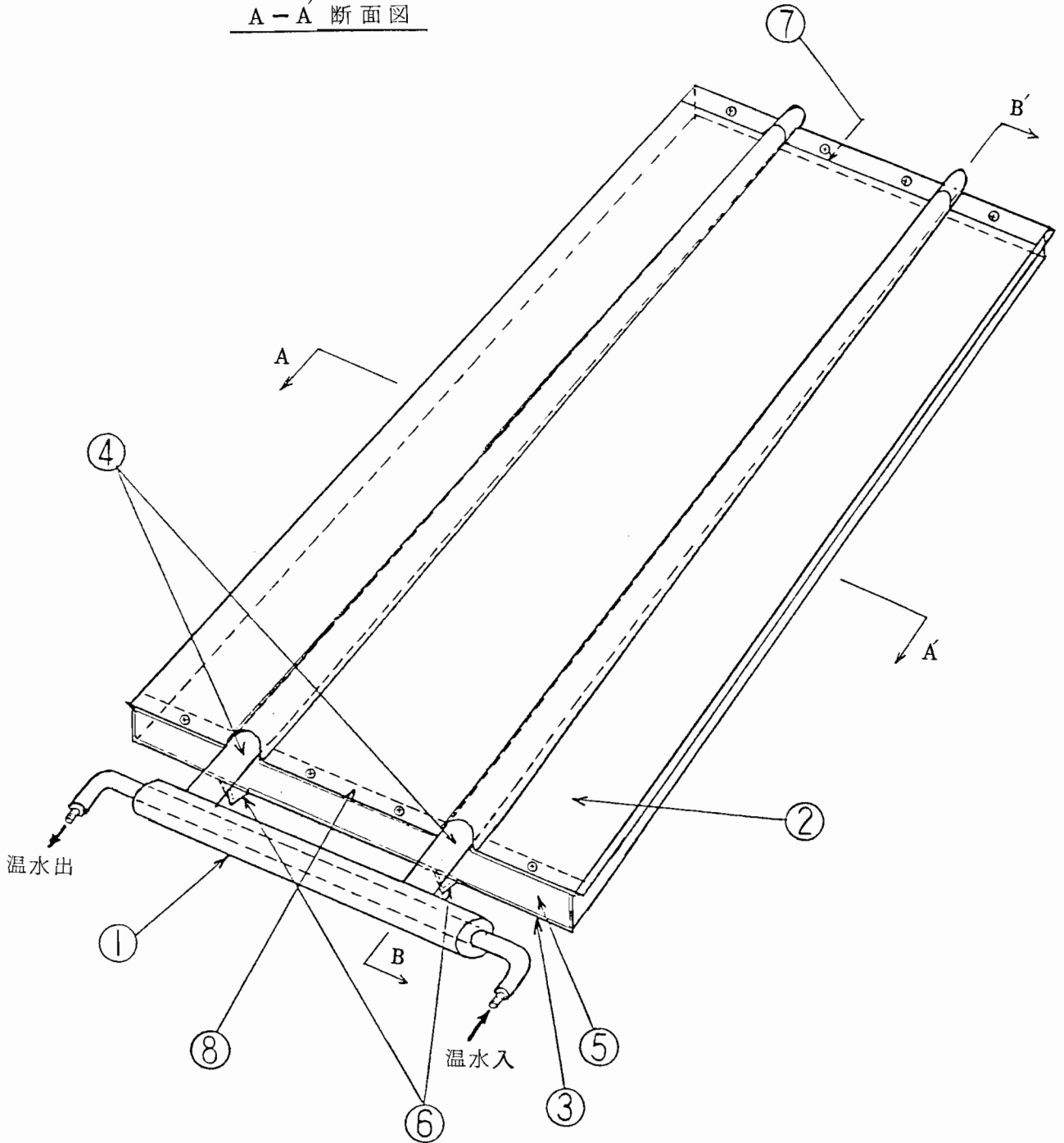


図-2 ヒートループパネル構造図

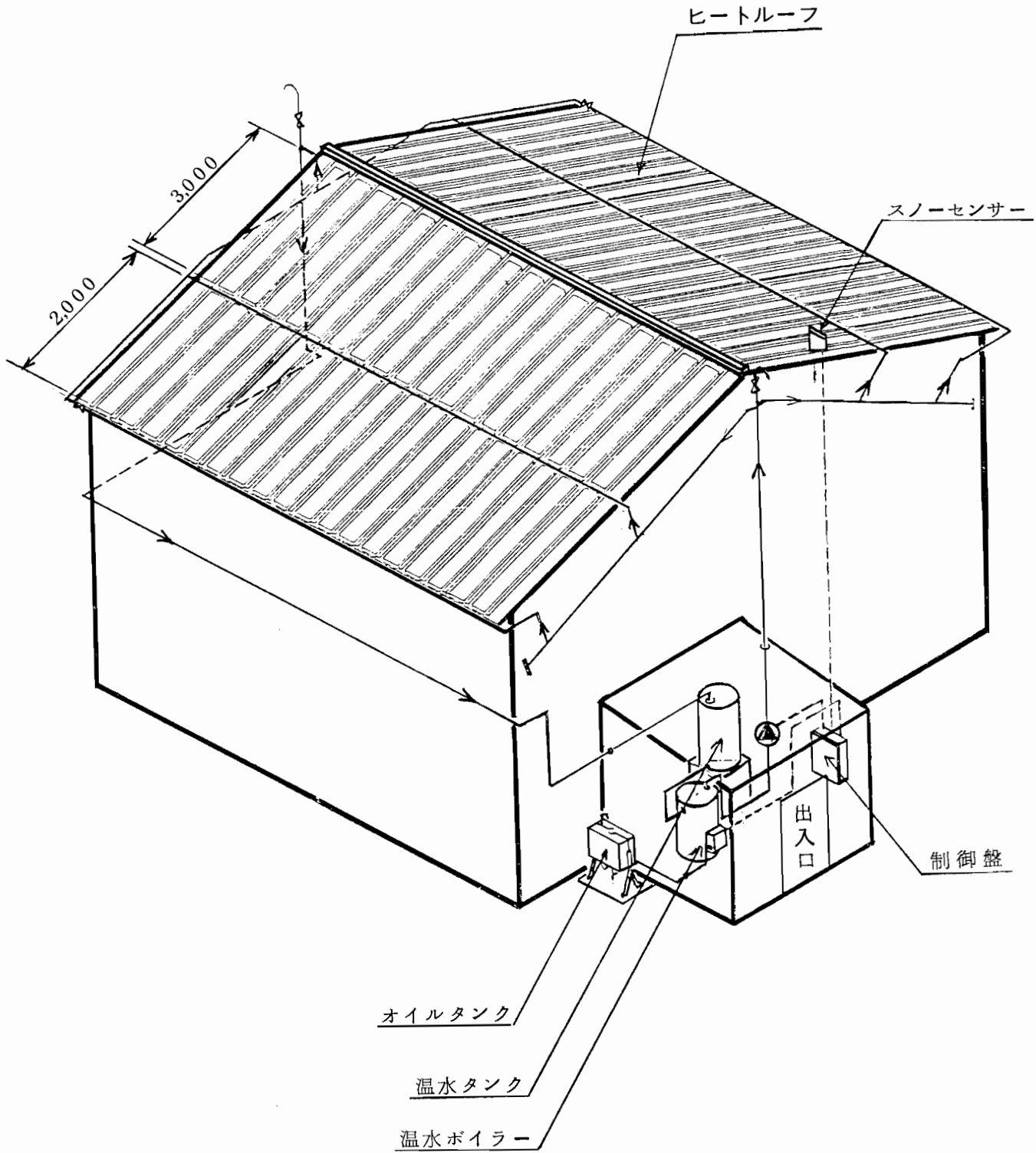
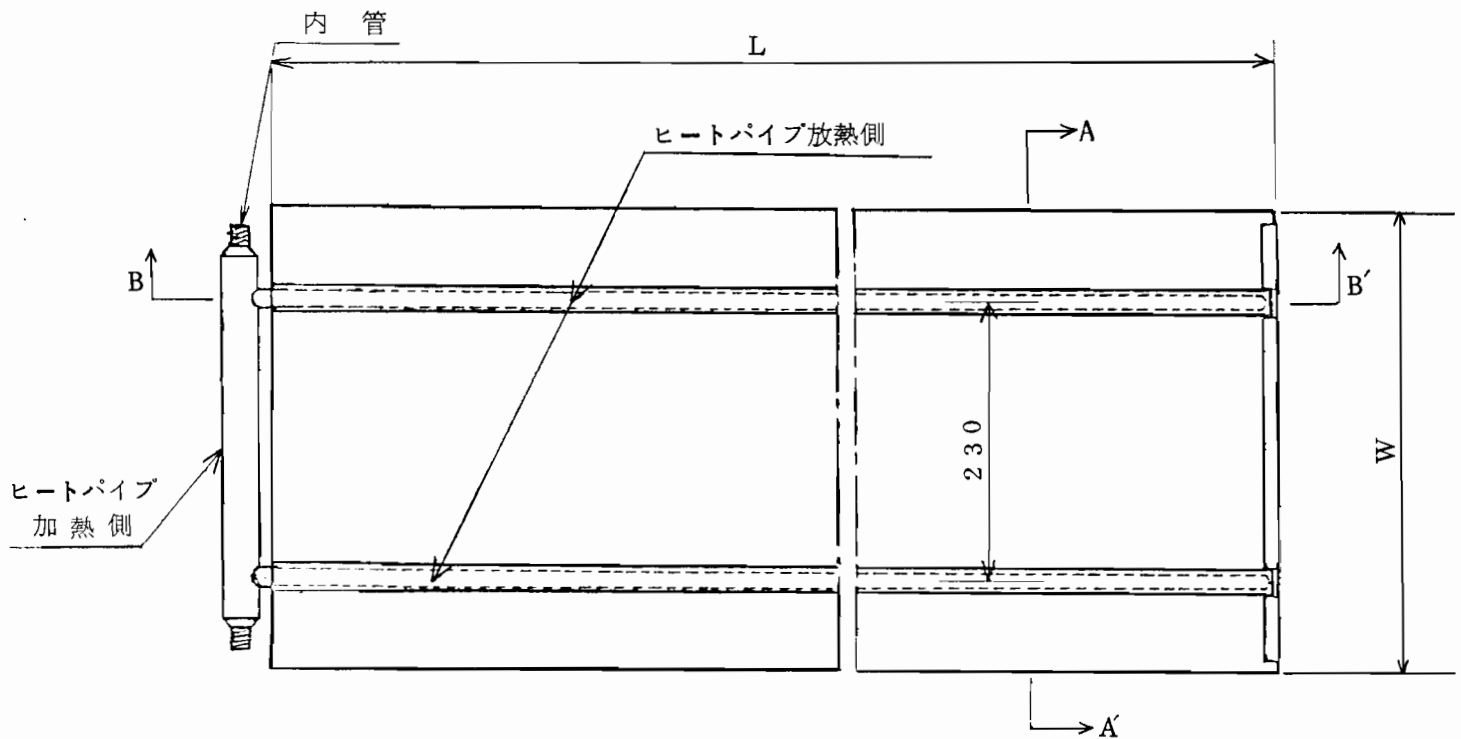


図-3 ヒートルーフ 施工例 (100m² の切妻屋根)

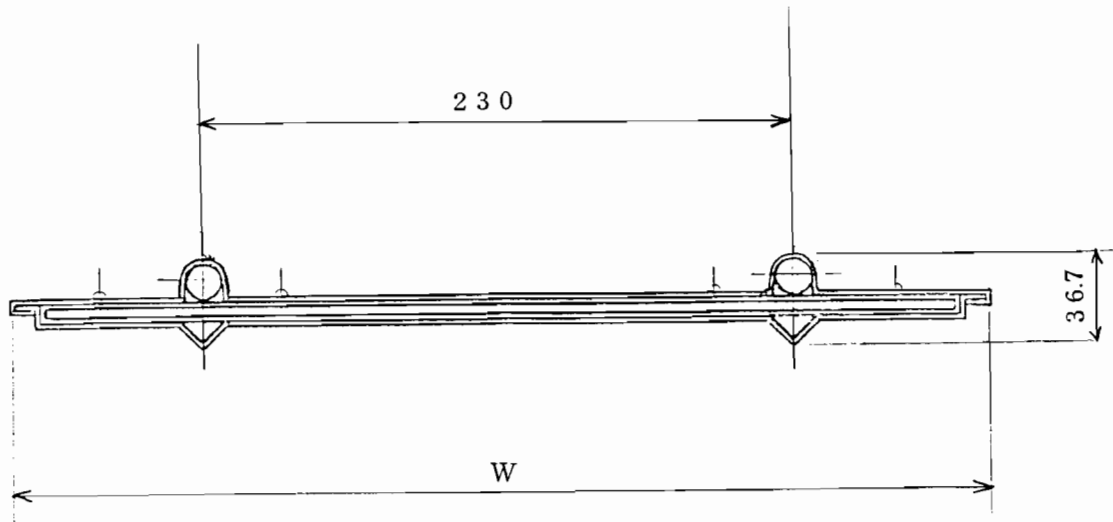
3-2 標準仕様

製品記号		FHR-2,000 SS (軒先用)	FHR-2,000	FHR-3,000
寸法	長さ, L (mm)	2,000	2,000	3,000
	幅, W (mm)	380	380	380
	厚さ, H (mm)	36.7	36.7	36.7
重量 (kg)		11.7	11.7	16.9
構成部材	ヒートパイプ放熱側 (mm)	STKM 11A (亜鉛メッキ) 15.9φ×1,978 l 15.9φ×2,978 l		
	放熱側パイプピッチ (mm)	230		
	ヒートパイプ加熱側 (mm)	内管 (送湯管) SUS 304 TP, 17.3φ, 外管 STKM 11A (亜鉛メッキ), 28.6φ		
	断熱材	硬質ポリウレタン, 厚み 10 mm		
	外装材	ガルバリウム鋼板 (色: 銀白色)		
融雪熱量 (Kcal/hr.m ²)		150~250		

平面図

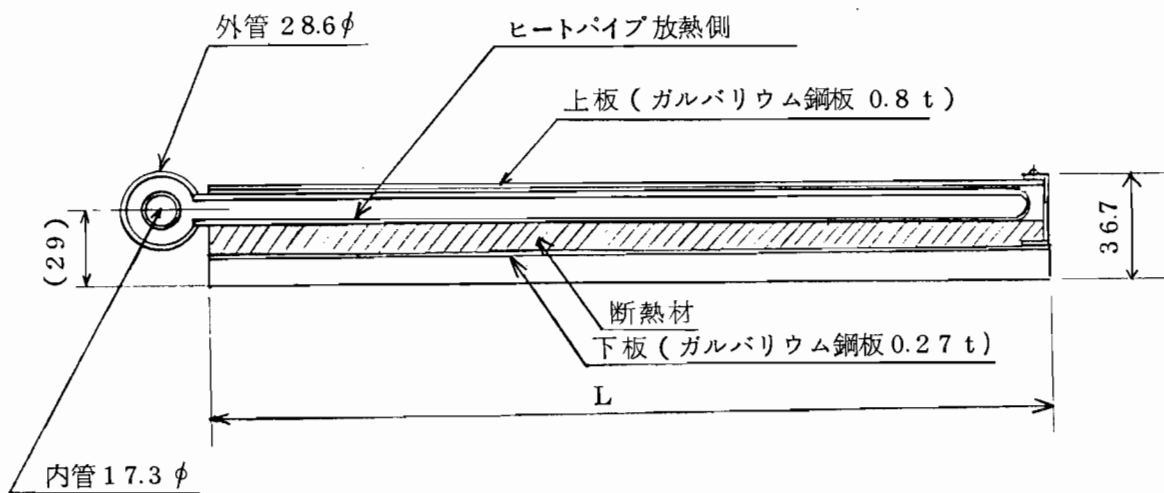


A - A' 断面図

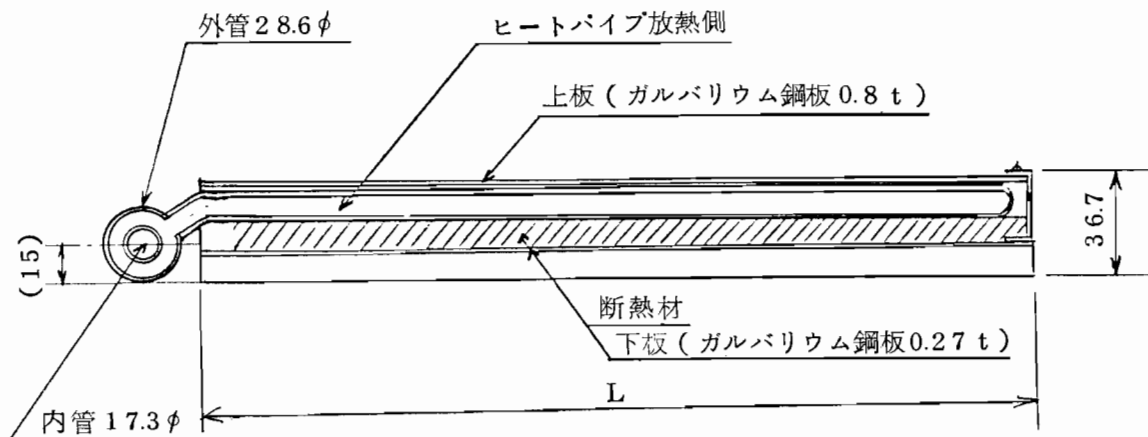


B - B' 断面図

(1) FHR-2,000, FHR-3,000 タイプ



(2) FHR-2,000SS (軒先用) タイプ



3-3 特 長

① 雪おろし不要

降雪は全てパネル状にて融雪しますから、屋根の雪降ろしは勿論、降ろした雪の後始末の必要がありません。

② 無散水方式

屋根上に散水する事なく融雪します。したがって、屋根の痛み、漏水の問題がありません。

③ 効率良い融雪

密閉回路の上、ヒートパイプを用いているため、熱応答性が早く、効率の良い融雪が可能です。

④ 均一融雪—空洞化現象が起こりません。

長手方向の温度むらがないため、パネル面全体にわたり、均一な融雪ができます。空洞化現象が起こらず、“雪踏み”の必要もありません。

⑤ 軽量，コンパクト

新材料の使用により軽量化，コンパクト化されているので，既設屋根への設置が可能です。

⑥ ツララ・すがもりを防止

軒先専用パネルの使用により，ツララ・すがもりの発生を抑えました。

⑦ 低 燃 費

温水はヒートパイプの加熱部のみにしか流れません。あとはヒートパイプが熱を運びます。その上ヒートパイプは運転動力不要のため，運転費は非常に少なく低燃費です。

⑧ 優れた施工性

パネル化により屋根上の施工は，短時間で終了します。

⑨ 抜群の耐久性と耐食性

特殊鋼板（ガルバリウム鋼板）の使用により，耐久性は亜鉛鋼板の3倍です。さらに電食の心配もありません。

⑩ 既存の屋根材を痛めません。

V溝により既存屋根と隙間を保持しているため、通気性が良く、落葉物等の堆積がないため、既存屋根を痛める事はありません。

⑪ 凍結の心配なし

特殊媒体の利用により、配管系の凍結事故はありません。

3-4 熱設計

(a) 融雪熱量

屋根 1 m^2 当りに必要な融雪熱量は(1)式により求まる。

$$q = \gamma \cdot H \cdot S \cdot \{L + C_p (O - T_s)\} / \eta \dots\dots\dots (1)$$

q : 融雪装置 (Kcal/hr . m^2)

γ : 雪の比重 (kg/m^3)

H : 単位時間当の融雪量 (m/hr)

S : 単位屋根面積 (m^2)

L : 雪の融解潜熱 (Kcal/kg)

C_p : 雪の比熱 (Kcal/kg . $^{\circ}\text{C}$)

T_s : 雪温 ($^{\circ}\text{C}$)

η : 加熱効率

図-4に必要な融雪熱量 q と H の関係を示す。

通常融雪熱量は、 $150 \sim 250 \text{ Kcal}/\text{hr} \cdot \text{m}^2$ である。

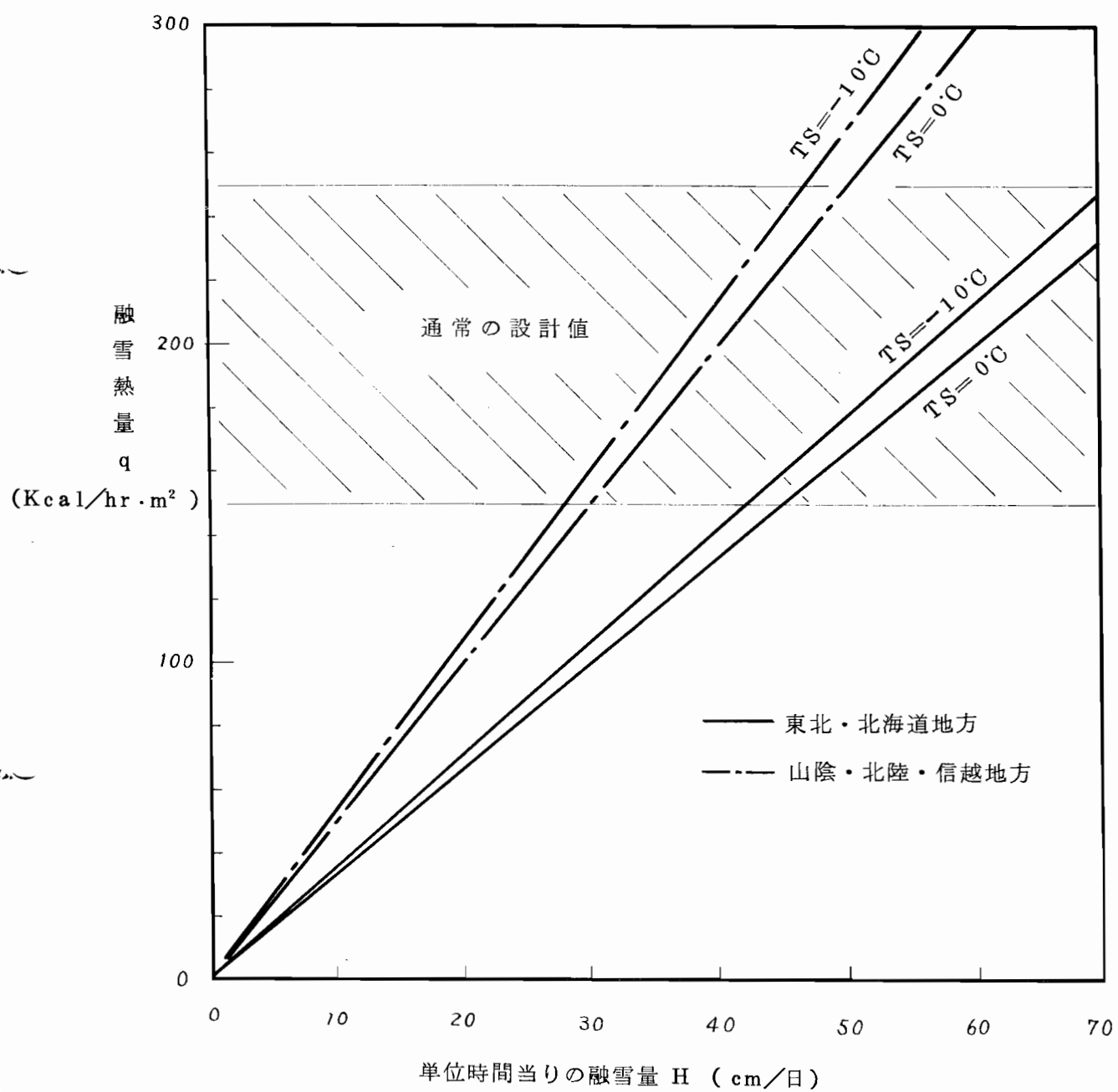
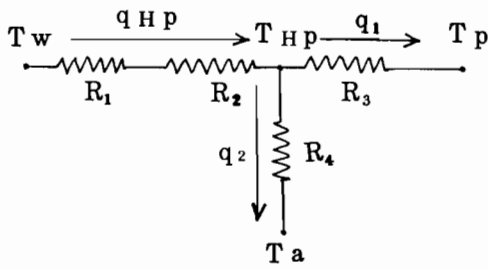


図-4 融雪に必要な熱量

(b) 熱設計

屋根融雪における熱設計は、図-5の伝熱モデルより(2)~(6)式に基づき行なう。



T_w : 温水温度 (°C)

T_{HP} : 放熱側ヒートパイプ表面温度 (°C)

T_a : 外気温 (°C)

T_p : 屋根表面温度 2°C

R_1 : 温水~ヒートパイプ加熱部間熱抵抗
(hr·°C/Kcal)

R_2 : ヒートパイプ内部熱抵抗
(hr·°C/Kcal)

R_3 : ヒートパイプ放熱部~屋根表面間熱抵抗
(hr·°C/Kcal)

R_4 : ヒートパイプ放熱部~外気間熱抵抗
(hr·°C/Kcal)

図-5 伝熱モデル

ヒートパイプ1本当りの熱輸送量 q_{HP} (Kcal/hr) は

$$q_{HP} = (T_w - T_{HP}) / (R_1 + R_2) \dots\dots\dots (2)$$

で与えられ、さらに(3)~(6)式が成り立つ。

$$q_{HP} = q_1 + q_2 \dots\dots\dots (3)$$

q_1 : 放熱側ヒートパイプから放熱パネルへの移動熱量
(Kcal/hr)

q_2 : " 外気への放熱量
(Kcal/hr)

$$q_1 = (T_{HP} - T_p) / R_3 \dots\dots\dots (4)$$

$$q_2 = (T_{HP} - T_a) / R_4 \dots\dots\dots (5)$$

$$q_1 = q \cdot P \cdot l_c \dots\dots\dots (6)$$

P : ヒートパイプの布設ピッチ (m)

l_c : ヒートパイプ放熱例長さ (m)

図-6に温水温度 T_w と各熱量 (q_1 , q_2 , q_{HP}) との関係を示す。

さらに、温水温度 T_w と融雪熱量 q との関係を図-7に示す。

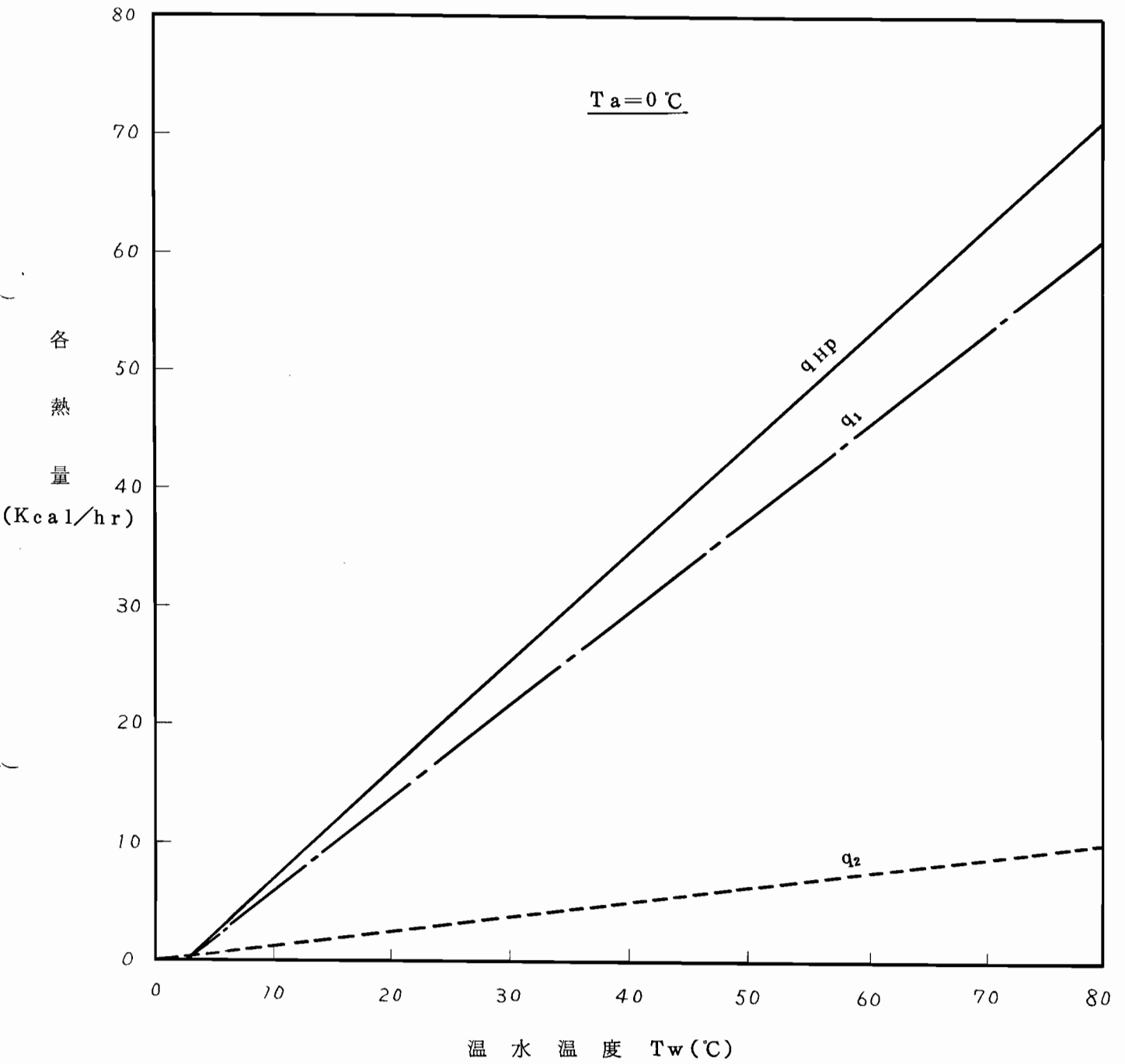


図 - 6 温水温度と各熱量値

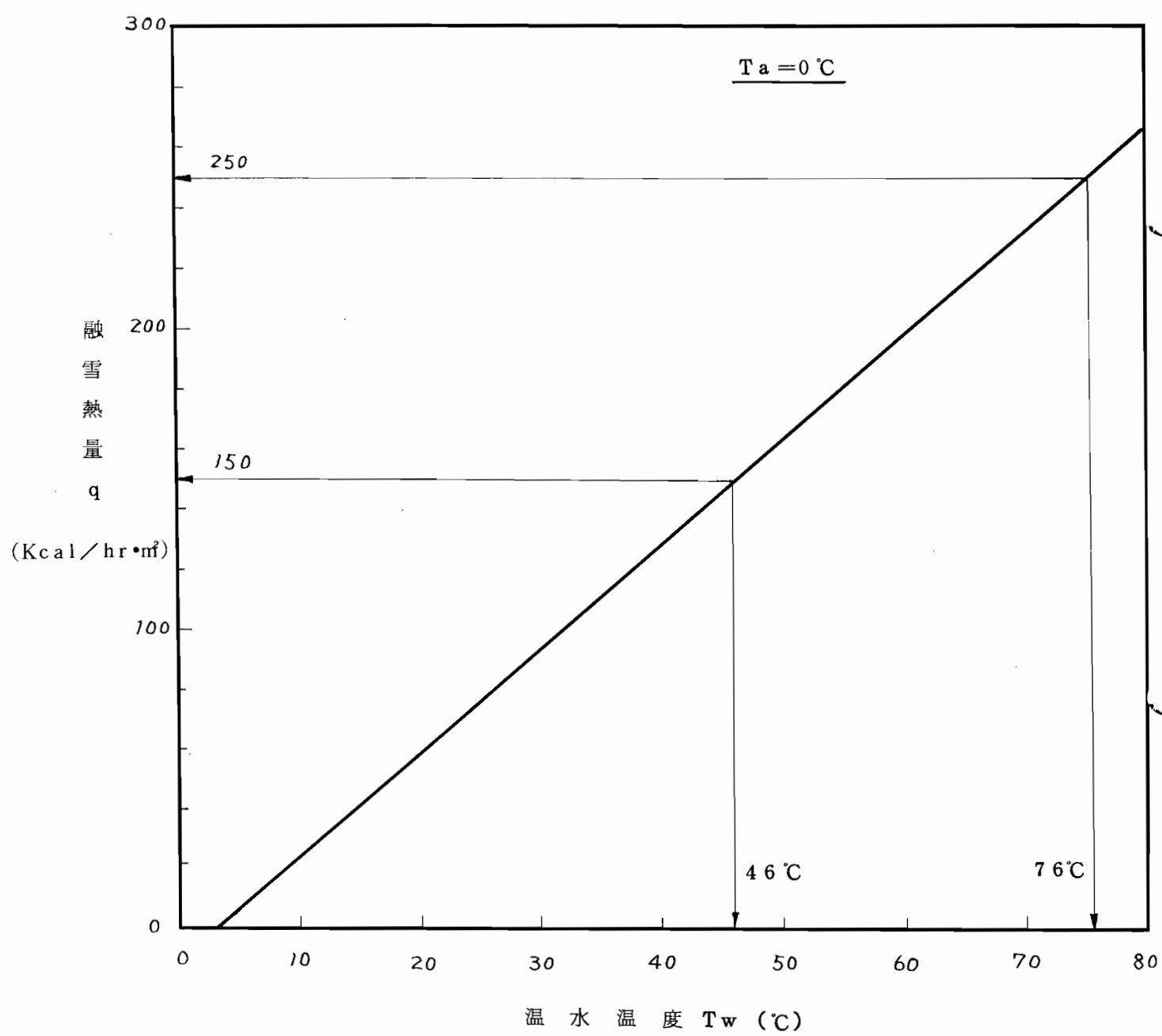


図-7 温水温度と融雪熱量

3-5 系内圧力損失水頭について

系内圧力損失水頭は下式(1)~(3)を用いて求める。

$$h = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (1)$$

h : 圧力損失水頭 (m)

λ : 管摩擦係数

ℓ : 管長 (相当管長) (m)

d : 管の内径 (m)

V : 流体の平均流速 (m / sec)

g : 重力加速度 9.8 (m / sec²)

$$\lambda = 0.316 / Re^{1/4} \dots\dots\dots (2) \quad \text{Blasius の式}$$

Re : レイノルズ数 ($3 \times 10^3 \leq Re \leq 10^5$)

$$Re = V \cdot d / \nu \dots\dots\dots (3)$$

ν : 動粘性係数 (m² / sec)

管内の流体の平均流速 V は、1 m/sec 以下 (本系内においては、10 A のフレキシブル継手内の流速が最大となる。) となる様配慮し、それ以上となる時は、回路を複数に分割する。

ここで V は(4), (5)式により求める。

$$V = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2} \dots\dots\dots (4)$$

F : 流体の流量 (m³ / sec)

$$F = \frac{q \cdot A \cdot \beta}{\Delta T \cdot 1000 \cdot 3600} \dots\dots\dots (5)$$

q : パネル上平均熱流速 215 (kcal / m² hr)

A : 融雪を考える面積 (m²)

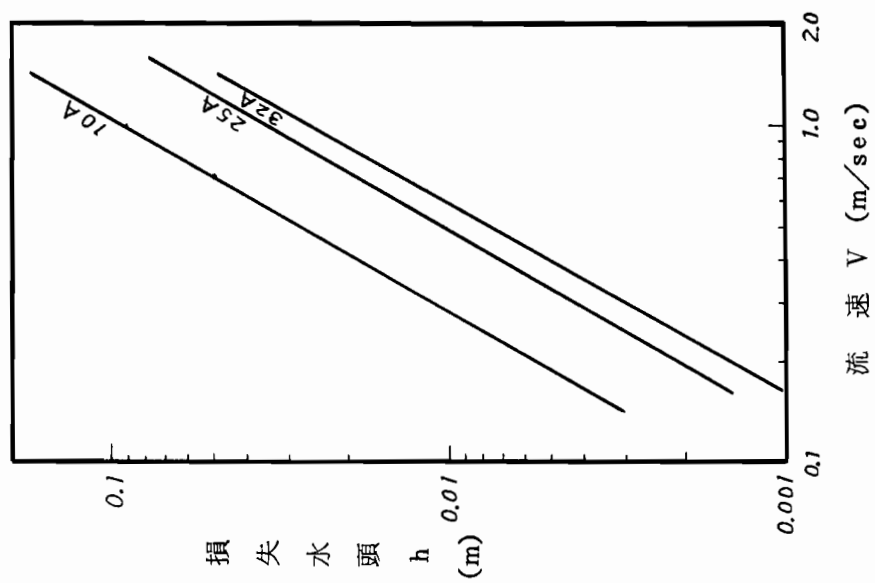
β : 係数 1.3

ΔT : 温水出入口温度差 20 (°C) 以下

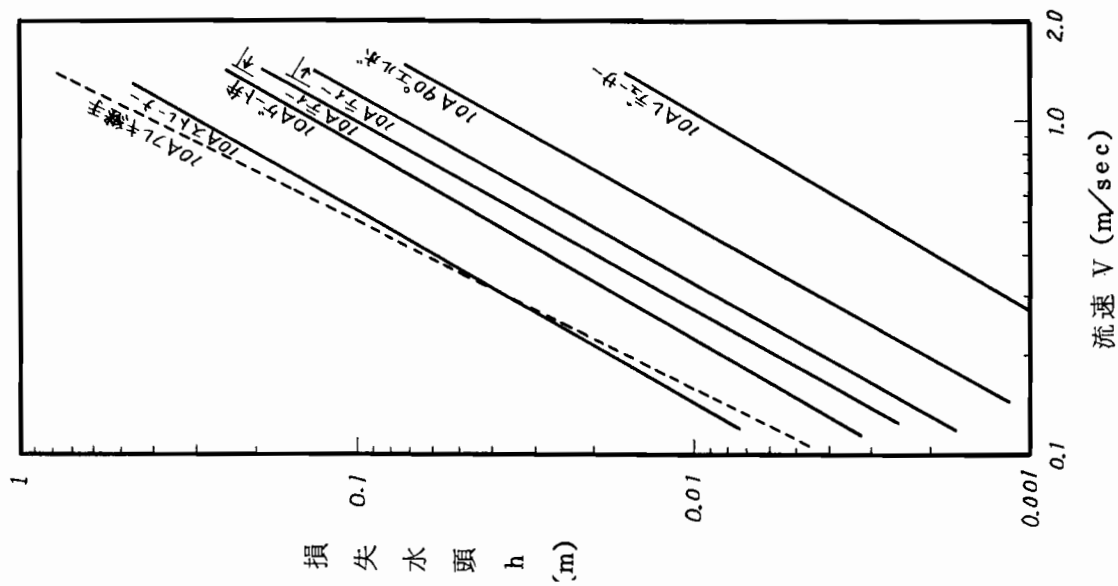
80℃, 40 vol% 濃度の不凍液使用時の各配管の単位当り損失水頭を, 図-8~図-11に示す。

図-8~図11より, 標準施工での全損失水頭図を図-12に示す。

ポンプ能力から1回路でのパネル枚数は, $V_{max} = 1 \text{ m/sec}$ の時, 20枚とし, それ以上の場合には, 回路を複数に分けるのが良い。



図一8 直管 1 m 当りの損失水頭



図一9 部材 1ヶ当りの損失水頭 (10A)

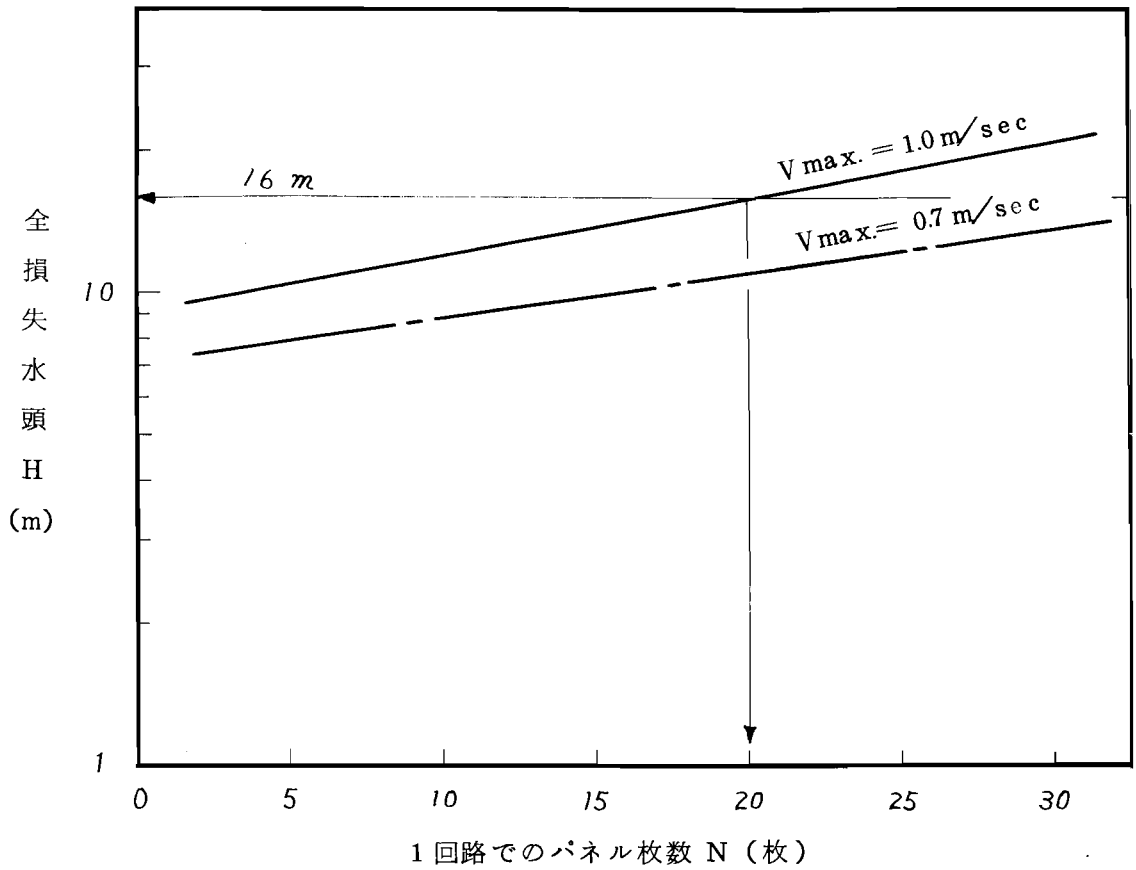
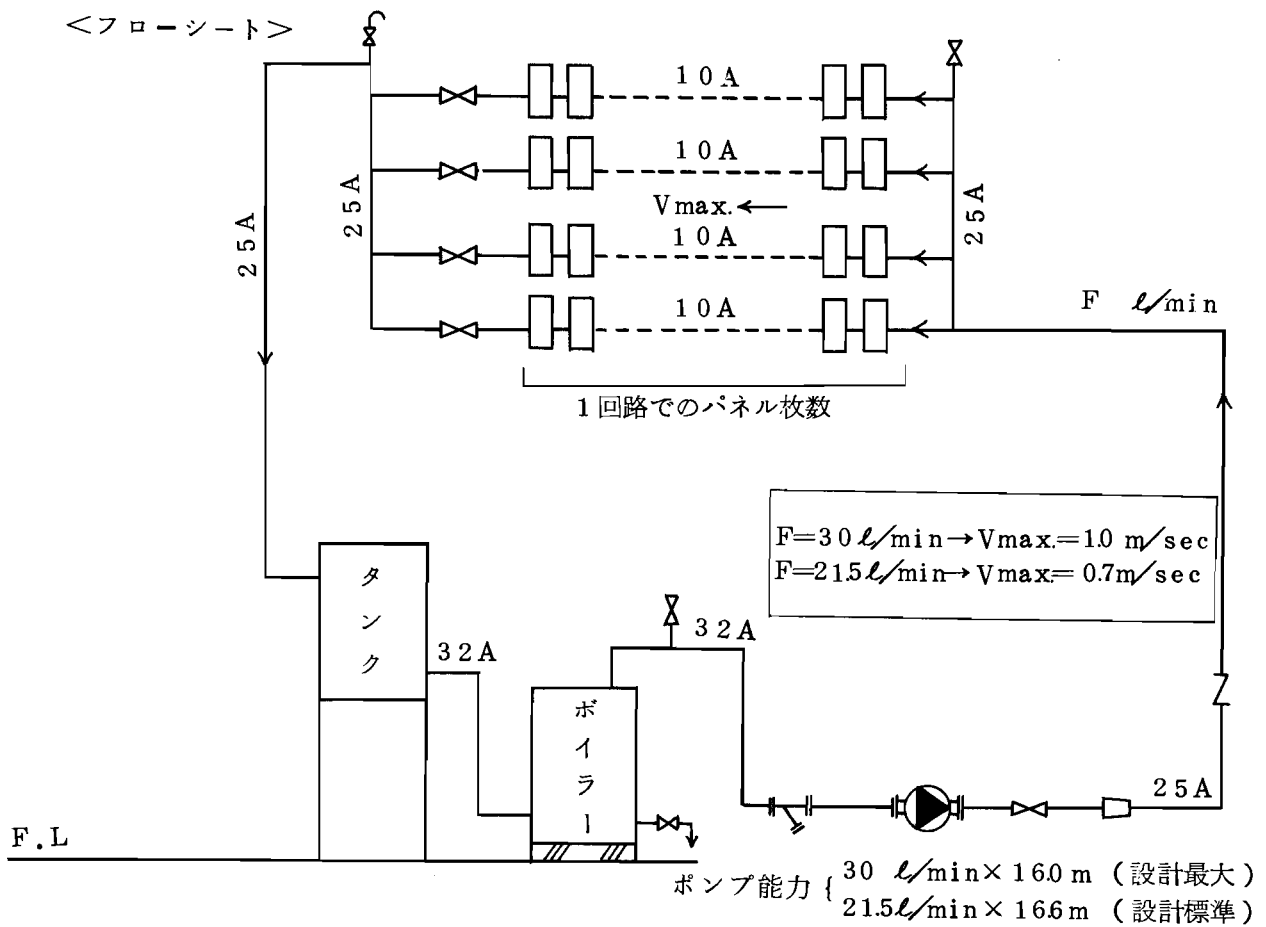


図-12 標準施工時の系内全損失水頭



3-6 フィールド試験例

昭和60年12月から61年2月にかけて、秋田県横手市、新潟県上越市、富山県富山市において、フィールド試験を行なった。試験結果を表-1に示す。

表-1 各地区での試験結果

項 目 \ 場 所		秋田県横手市	新潟県上越市	富山県富山市
融 雪 面 積		110 m ²	58.5 m ²	60 m ²
ヒートルーフパネル枚数		122 枚	48 枚	72 枚
設 計 融 雪 熱 量 (Kcal/hr.m ²)		250	250	180
熱 源 の 種 類		灯油焚き 温水ボイラー	ガス焚き 温水ボイラー	灯油焚き 温水ボイラー
運 転 デ ー タ	測 定 日	61. 1. 21	61. 1. 11	61. 1. 21
	天 候	雪	大雪	雪
	温 水 入 口 温 度	69℃	85℃	40℃
	温 水 出 口 温 度	51℃	63℃	30℃
	温 水 流 量	28l/min	12l/min	23l/min
	ヒートパイプ 放熱側温度	40℃	44℃	24℃
	ヒートルーフパネル 上平均温度	2.3℃	4.0℃	2.0℃
	外 気 温	-3℃	3℃	0℃
	融 雪 熱 量 (Kcal/hr.m ²)	275	271	230
	パ ネ ル 上 積 雪	0 cm	45 cm 翌日には0 cm	0 cm

ランニングコスト	稼動時間	288時間	269時間	162時間
	稼動率	25%	23.3%	14.1%
	トータルランニングコスト	98,000円	*71,000円	47,000円
	1m ² 当りのランニングコスト	891円/m ²	1,214円/m ²	783円/m ²

(* 灯油焚きの場合に換算すると58,000円 (991円/m²) となる)

各地区とも、良好な融雪が行なわれ、雪降しの必要は全く無かった。

また、ランニングコストは、1シーズン800～1,000円/m²が目安であり、100m²の屋根では80,000円～100,000円となる。

これは図-13より判る様に電熱方式のヒーティングに比べ約1/3である。

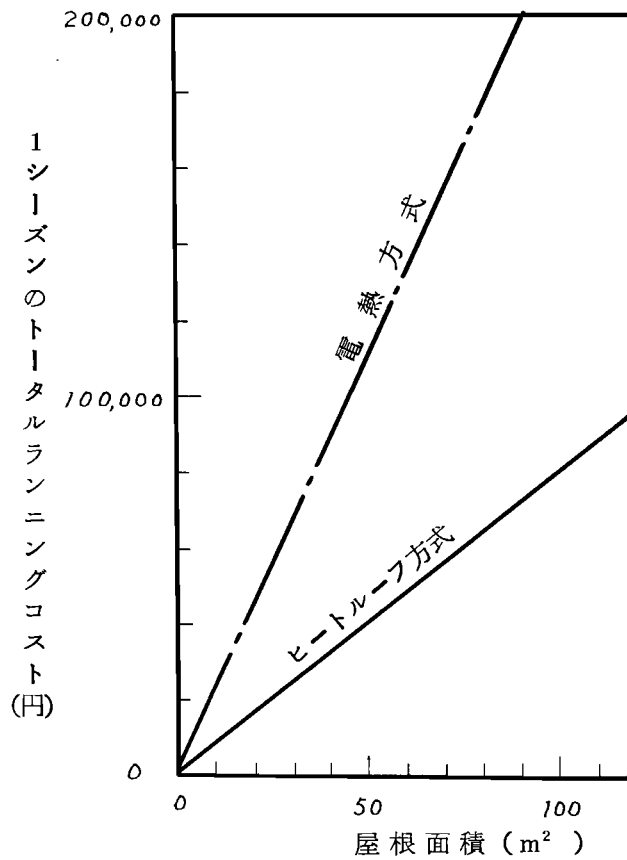
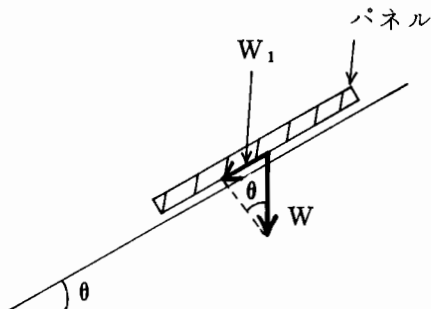


図-13 ランニングコストの比較

3-7 機械強度について

パネルは、既存の瓦棒屋根に対して、特殊治具により取付けられる。



左図モデルにおいて、パネルは W_1 として 300 kg/m^2 の荷重を許容できる

したがって、パネル上の許容荷重 W と許容積雪量は表-2となる。

表-2 パネル上許容荷重と許容積雪量

屋根傾斜 θ	許容荷重 W	許容積雪量
5° (8.8%)	3442 kg/m^2	11.5 m
10° (17.6%)	1728 kg/m^2	5.8 m
20° (36.4%)	877 kg/m^2	3 m
30° (57.7%)	600 kg/m^2	2 m

