

## ゴムチップ融雪パネルの開発

富田 和彦, 保科 秀夫, 三上 正樹\*  
井上 英彦\*\*, 小室 勝豊\*\*

### Development of Warm Water Rubber-Panels for Snow Removal

Kazuhiko TOMITA, Hideo HOSHINA, Masaki MIKAMI\*  
Hidehiko INOUE\*\*, Katsutoyo KOMURO\*\*

#### 抄 録

廃タイヤゴムチップを利用した住宅および小型店舗向けの簡易施工型ロードヒーティング用融雪パネルを開発した。このゴムチップ融雪パネルは既設路盤上に敷設可能で、歩行性、安全性に優れ、透水性を有する温度応答性の良い、自動運転に適した経済性のある融雪システムを構築できる。また、冬期間札幌市内の住宅で実証試験を行い、本融雪システムの運転特性、経済性を明らかにした。

#### 1. はじめに

近年、冬の快適な居住環境に対する要望が高まるなか、都市部の人口集密化による雪捨て場の確保、あるいは高齢化や核家族化による除雪労力の問題が大きくクローズアップされ、これに対応して住宅の除雪、融雪用に小型除雪機や小型融雪機、融雪槽などが商品化され、さらに住宅玄関前や車庫前の通路確保のためのロードヒーティングが急速な普及を見せている。

筆者らは、これまで室内の暖房用放熱器として廃タイヤを有効活用した温水式ゴムチップ床暖房パネルを開発<sup>1,2)</sup>し、商品化を進めてきた<sup>3)</sup>。本研究では、この床暖房パネルの応用製品として、ゴムチップパネルの特徴を生かした簡易に施工できる住宅および小型店舗向けのロードヒーティング用融雪パネルを開発するとともに、

その実用化に向け、このゴムチップ融雪パネルを一般家庭の玄関前通路に施工して長期融雪試験を行い、実稼働における融雪状況や制御状態など本融雪システムの運転特性および経済性を明らかにした。

#### 2. ゴムチップ融雪パネルの開発

##### 2.1 ゴムチップを融雪パネルに用いる利点

現在、玄関先や駐車場前など一般家庭向けの温水式ロードヒーティングは、温水循環パイプを現場で敷きつめてコンクリートやアスファルトで仕上げる埋設式本格融雪システムと、工場で製造される融雪パネルを路面に敷きつめるパネル式簡易融雪システムの2種類に大別される。ゴムチップ融雪パネルは後者に属し、埋設式に比較して耐久性にやや劣るが、既設路盤上に直接敷設することができるなど施工性に富み、熱容量が小さく温度応答性が良いため自動運転に適した融雪システムを構築で

\* 北海道ガス(株) \*\* サンフロア工業(株)

きる。また、ゴムの弾力性と摩擦抵抗のため歩行性と安全性に優れ、さらにゴムチップの粒度やかさ密度を適度を選ぶことで透水性のある経済性に優れたパネルの製作が期待できる。

2.2 構造設計

2.2.1 ゴムチップ原料の選定

パネル芯材には、廃タイヤの黒色ゴムチップを主原料とし、意匠性を考慮して表面を煉瓦模様にするため、これに赤色ゴムチップを配合することとした。供試ゴムチップ原料は、表 2-1 に示すように、黒色；廃タイヤゴムチップ（記号 B1）とこれを 2~4mm に粒度を揃えたゴムチップ（記号 B2）の 2 種類、赤色；EPDM 製ゴムチップ（記号 R1）と BR 製ゴムチップ（記号 R2）の 2 種類である。これらのゴムチップ原料をそれぞれ単独および黒：赤 = 40：15（wt%）でブレンドしたものにバインダー（ウレタン接着剤）を加え、ホットプレスを用いて厚さ 10mm に加熱成型して試料を作成し、速度 50 mm/min で引張り試験を行った。プレス条件は加熱温度 120℃、加熱時間 10 分、かさ密度は 0.90g/cm<sup>3</sup> である。

表 2-2 に、単一種および混合ゴムチップ芯材の引張り試験結果を示す。これから、単一種ゴムチップ芯材の強度は、B1 > B2 > R1 > R2 の順となり廃タイヤチップが最も強度が大きく、次に EPDM、BR の順になることが分かる。また、混合芯材では (B1 + R1) > (B2 +

R1) > (B1 + R2) > (B2 + R2) の順となった。

後述するように、融雪パネルはゴムチップ芯材内部に伝熱板が入る構造になっている。このため、伝熱板上部の芯材には (B1 + R1) の混合ゴムチップを用いて煉瓦模様を作り、下部芯材には強度の最も大きい廃タイヤゴムチップ (B1) の単一使用とした。

2.2.2 芯材の成型条件

ゴムチップ芯材の成型条件を求めめるため、ゴムチップとバインダーの配合比、かさ密度および引張り強度の関係を調べた。バインダーの使用量はコストに影響するため、少量で強度の得られる配合比が求められる。バインダー配合比を変化させた成型試料のかさ密度と引張り強度の関係を図 2-1 に示す。これから引張り強度は、かさ密度 0.8g/cm<sup>3</sup>、配合比 8.3 の場合を除くと、バインダーの配合比にはそれほど影響を受けず、かさ密度とほぼ比例関係にあることが分かる。この結果、製造上でのパラッキなど安全性を考慮し、引張り強さが 1.4MPa{14.3kgf/cm<sup>2</sup>}程度になるように、配合比をゴムチップ：バインダー = 55：6（9.8wt%）、かさ密度を 0.9g/cm<sup>3</sup> とした。また、融雪パネル厚さ 22mm のプレス条件は加熱温度 120℃、加熱時間は離型作業などハンドリング可能な強度を有する最小時間、15 分とした。

表 2-1 ゴムチップ原料の粒度分析

種類	粒度 (mm)				
	色	成分	~1	1~2	2~4
B1	黒	廃タイヤ	0.7	30.6	68.7
B2	黒	廃タイヤ	0	0	100
R1	赤	EPDM	3.8	37.5	58.7
R2	赤	B R	6.3	43.4	50.3

単位：wt%

表 2-2 ゴムチップ芯材の引張り強さ

記号	引張強さ (MPa)	記号	引張強さ (MPa)
B1	1.82	B1 + R1	1.40
B2	1.52	B1 + R2	1.29
R1	0.90	B2 + R1	1.38
R2	0.80	B2 + R2	1.07

単位：MPa

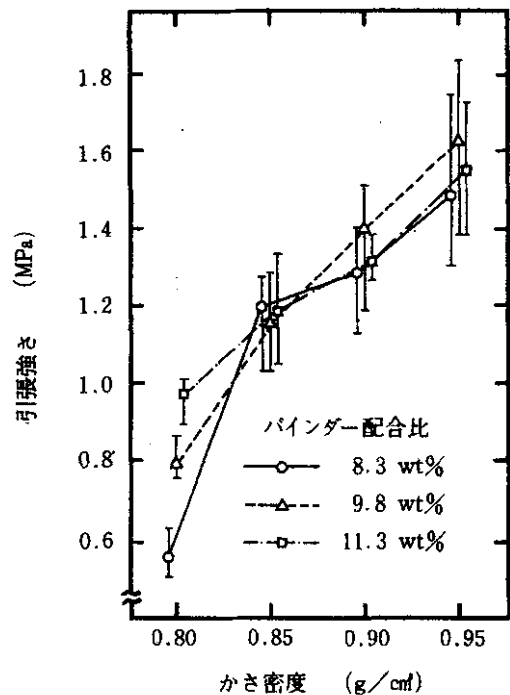


図 2-1 かさ密度と引張強さの関係

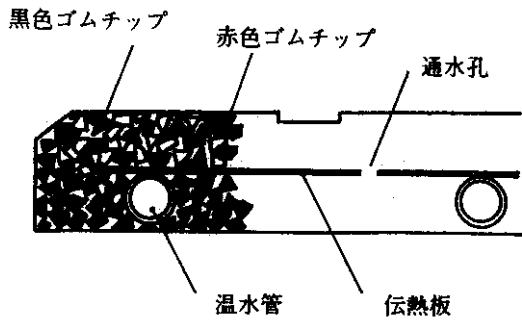


図 2-2 融雪パネルの断面構造

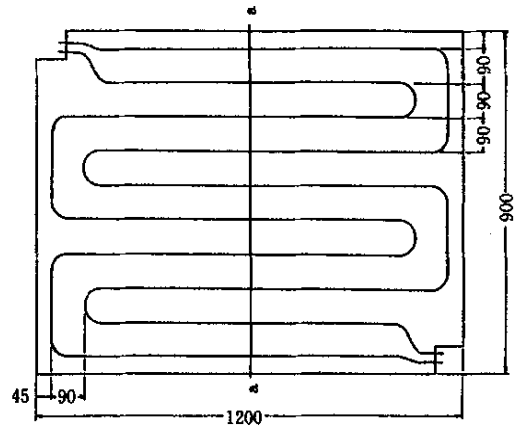


図 2-4 融雪パネルの温水配管図

### 2.2.3 融雪パネルの構造

融雪パネルの断面構造を図2-2に示す。図に示すように、融雪パネルはパネル本体となるゴムチップ芯材と伝熱板および温水管の3つの要素から構成される。伝熱板には適度な間隔で通水孔を設け、融雪水が伝熱板上部のゴムチップ空隙層、伝熱板通水孔、下部ゴムチップ空隙層を通過し、速やかに地表面に排出するようにした。試作した融雪パネルの平面図および温水配管図を図2-3、図2-4に示す。パネル寸法は、1,200mm×900mm、厚さ22mmであり、伝熱板には耐食性に優れた厚さ0.35mmの樹脂塗装亜鉛メッキ鋼板を、また温水管には外径9.52mmの円形銅管を使用してピッチ90mmの対向流配管とし、パネル表面温度の均一化および接続パネル間どうしの温水温度の平均化を図った。

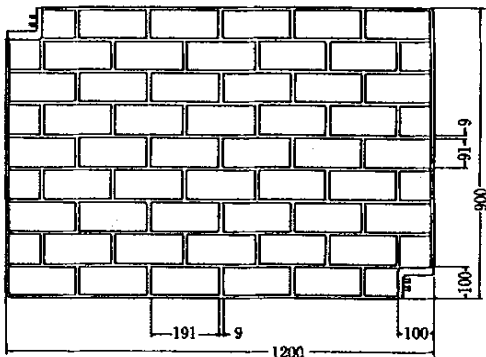


図 2-3 融雪パネルの平面図

## 2.3 性能試験

### 2.3.1 耐候性試験

融雪パネルは冬期間の使用時を含め一年中屋外に設置

され、日射、風雨、夏冬の大きい気温差など厳しい気候条件下にさらされることが想定される。このため、凍結融解試験およびサンシャインウェザーメータによる耐候性試験を行った。これらの試験では、上部ゴムチップ層芯材と同じ配合比および成型条件で作成した厚さ10mmの試料を用い、各々の暴露前後の引張強さと伸びを測定した。なお、凍結融解試験は1サイクルが3時間で、-20℃霧囲気中で2時間凍結させ、その後1時間20℃の温水シャワーで融解させる。

試験条件		引張強さ(MPa)	伸び(%)
暴露前		1.40	87.9
サンシャインウェザー	300 hr	1.38	89.7
凍結融解	100サイクル	1.23	75.0
	300サイクル	1.30	74.4
	500サイクル	1.23	70.6

これらの結果を表2-3にまとめて示す。サンシャインウェザーメータ300時間後の引張強さ、伸びの減少割合は2%程度で測定誤差範囲内にあり、パネル芯材の劣化はほとんど認められない。凍結融解試験では100サイクル後に引張強さで13%程度の低下を示すが、その後の300、500サイクルでは変化は認められない。伸びについては100サイクルで15%、500サイクルで20%程度の低下が見られる。以上の試験結果、および今回の試験片の厚さが10mmで実製造融雪パネルの厚さがその倍以上の22mmであることを考慮すると、本融雪パネルは

実用上問題ない耐候性を有しているものと考えられる。

2.3.2 透水性試験

表 2-4 ゴムチップ芯材の透水係数

かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	透水係数 (cm/s)	水温 (°C)
0.80	0.13	19.3
0.85	0.086	20.0
0.90	0.062	20.0
0.95	0.026	20.0

但し、透水係数 =  $\frac{Q \times L}{A \times \Delta T \times H}$

ここで、Q:透水量=2400cm<sup>3</sup>  
 L:試料厚さ=22mm  
 A:試料断面積=361cm<sup>2</sup>  
 H:平均水位=21.5cm  
 ΔT:時間(S)

ゴムチップのかさ密度を適度を選ぶことで透水性のある融雪パネルを作ることができる。表 2-4 にゴムチップ芯材の透水係数を示す。芯材強度はかさ密度が大きいはほど増加するが、反対に透水係数は減少して透水性が低下する。設計かさ密度 0.90g/cm<sup>3</sup> の透水係数は 0.062m/s であり、これは融雪時の融雪水通過に支障ない値であり、融雪試験においても確認されている。

2.3.3 耐荷重試験

融雪パネルは乗用車などの車両による荷重を受けることが予想され、これらに耐える強度が要求される。一般に路面に作用する車両の接地圧力は車両重量を接地面積で割った静荷重に走行中の衝撃荷重 (30%増) を加えて、最大 0.52MPa{5.3kgf/cm<sup>2</sup>} (20 トン車 / 4 車両) あれば良いとされている<sup>4)</sup>。

融雪パネルの温水管直上に 25mmφ のロッドを置き、速度 5mm/mim で加圧する圧縮試験の結果を表 2-5 に示す。これから、かさ密度 0.85g/cm<sup>3</sup> の場合でも十分な耐車両荷重を有することが分かった。

表 2-5 ゴムチップ融雪パネルの圧縮強さ

かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最大荷重 (MPa)	ひずみ (mm)
0.85	2.87	4.3
0.90	3.56	4.3
0.95	4.47	4.3

2.3.4 表面温度分布試験

パネル表面に積る雪をむらなく均一に融かすためには、パネル表面の温度分布をできるだけ均一にする必要がある。ゴムチップ芯材の熱伝導率は、かさ密度 0.9g/cm<sup>3</sup> で 0.203W/(m・K){0.175kcal/(m・h・°C)} と低いため、温水管部と、温水管と温水管の中間部との間に大きな温度差の生じることが懸念される。この問題は温水管のピッチを 90mm、さらに伝熱板を挿入することで解消を図った。

融雪パネル 1 枚を室内に設置し、定常状態下において表面温度分布をサーモグラフィで測定した。測定条件は、室温 24°C、温水平均温度 49.5°C、温水パネル入出温度差 1.9K、全放熱量は 197W{169kcal/h}であった。パネル中心部の a-a 方向 (図 2-4) の水平波形表面温度グラフを図 2-5 に示す。これから、温水管直上部分の表面温度が他の箇所よりも高く、最高で 41°C、また温水管と温水管の間は低く、最低で 36.7°C、その温度差は最大で 4K 程度となっていることが分かる。

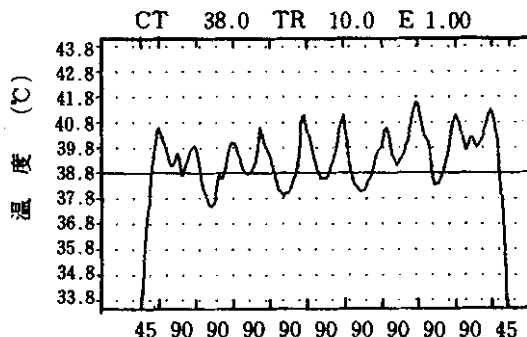


図 2-5 表面温度の水平波形図 (図 2-4 の a-a 方向)

2.3.5 融雪性能試験

工業試験場敷地内に温水式融雪実験装置を設置して、積雪時および降雪時におけるゴムチップ融雪パネルの融雪性能を測定した。

(1) 融雪実験施設の概要

温水式融雪実験施設の設備系統図を図 2-6 に示す。同一気象条件下でのパネル供給温水温度の違いによる融雪能力を調べるため、パネル 3 枚を直列に接続配管したもの (パネル面積: 1.08×3 = 3.24m<sup>2</sup>) をアスファルト面上に 3 系統設置した。熱源機は出力 125.6MJ{30,000 kcal/h} の灯油焚き温水ボイラーを使用、温水は一旦貯

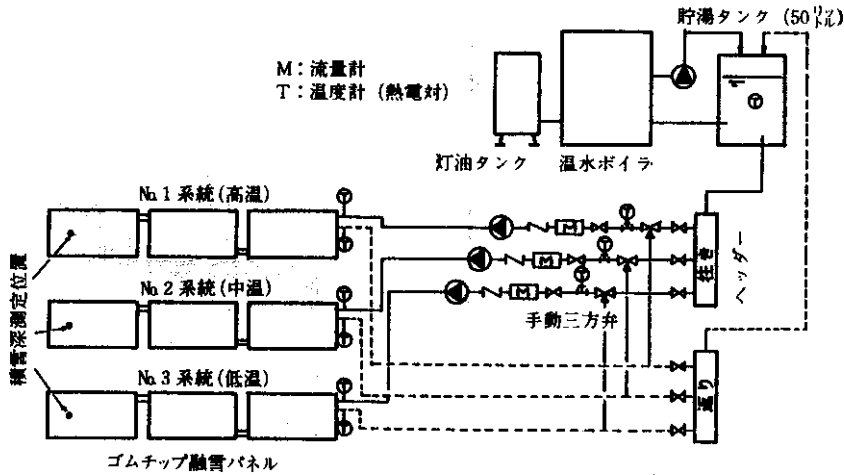


図 2-6 融雪性能測定設備系統図

湯槽に蓄えた後、各系統の循環ポンプによって融雪パネルに送られる。各系統の温水温度は手動三方弁によって所定温度に制御した。温水には市販プロピレングリコール不凍液(比熱  $3.57\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  ( $0.853\text{kcal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ), 密度  $1.035\text{g}/\text{cm}^3$ )を使用した。

(2) 積雪時の融雪能力測定

測定は1991年1月30日の10時30分から18時30分までの8時間行った。測定開始時刻のパネル上積雪量は31cmであり、測定期間中に降雪は見られなかった。雪の密度は  $0.099\text{g}/\text{cm}^3$ , 雪温は  $-0.2^\circ\text{C}$  であり、気温は  $-2.7\sim 2.9^\circ\text{C}$ , 風速は  $0.1\sim 0.3\text{m}/\text{s}$ , 湿度は  $43\sim 82\%$  であった。

No.1系統の平均温度は約  $45^\circ\text{C}$ , No.2系統は約  $34^\circ\text{C}$ , No.3系統は約  $21^\circ\text{C}$  である。No.1系統では約4時間経過後にパネル表面が一部表われ、その後徐々に消雪が進み、約6時間後にパネル全面から雪が消えた。No.2系統では約6時間後にパネル表面が現われ、実験終了時の8時間後においてもパネル表面に若干の積雪があった。No.3では実験終了時においても全面積雪の状態にあった。積雪深の減少量からおおよその融雪速度を算出すると、No.1が  $6.5\text{cm}/\text{h}$ , No.2は  $5.0\text{cm}/\text{h}$ , No.3は  $3.0\text{cm}/\text{h}$  であった。

(3) 降雪時の融雪能力測定

測定は1991年1月31日の10時00分から15時00分までの5時間行った。No.1系統の平均温度は約  $31^\circ\text{C}$ , No.2系統は約  $24^\circ\text{C}$ , No.3系統は約  $10^\circ\text{C}$  である。

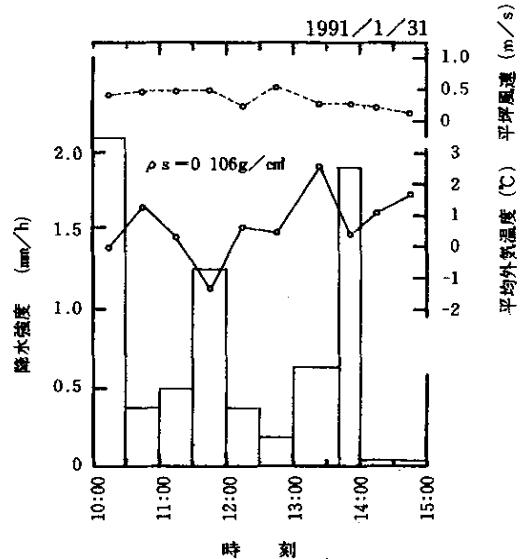


図 2-7 降雪時の気象観測

測定期間の降水強度、外気温および風速を図 2-7 に示す。測定開始から30分間および13時40分からの20分間の降水強度は時間平均2mmと大きな値を示した。No.2およびNo.3系統では測定期間中パネル表面が雪に覆われることはなく、本試験の気象条件下においては十分な融雪能力を有することが分かった。しかし、No.3系統ではこれら2度の強降雪期間中に融雪能力が不足し、パネル表面が雪に覆われた。特に運転開始30分間ではパネル自体が冷えていたため、パネル表面の雪が完全に消え

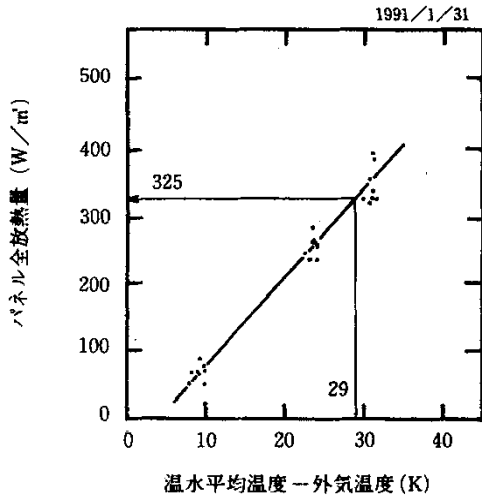


図 2-8 降雪時のパネル放熱性

るまで1時間程度要した。但し、パネル温度が立上がった14時以降では降雪が弱まると間もなくパネル表面が表われたことが観察された。降雪時におけるパネル放熱性能を、図2-8に(温水平均温度-外気温度)とパネル放熱出力の関係を用いて整理した。

### 3. 現地融雪試験

#### 3.1 融雪試験の施設概要

試験場所は、札幌市南区川沿に居住するS宅に依頼して行った。融雪箇所は、図3-1に示すように、住宅の玄関前舗道と階段部分で、アスファルト舗道部には外径寸法900mm×1200mmのゴムチップ融雪パネルを8枚と600mm×1200mmのゴムチップ融雪パネルを2枚、コンクリート階段部には300mm×1800mmの階段用ゴムチップ融雪パネルを3枚敷設し、ヘッダーを用いて階段部と舗道部の並列回路(A経路)および舗道部をB、Cの2経路に分岐して配管接続した。パネルの敷設面積は11.7m<sup>2</sup>、方位は南向きである。本融雪システムは、この融雪パネルのほか、温水ボイラとして循環ポンプ内蔵の暖房出力23.9MJ{5,700kcal/h}の強制給排气形石油温水暖房機および降雪センサユニットからなっている。

#### 3.2 試験方法

本融雪システムの運転パターンは、気温2℃以下の条

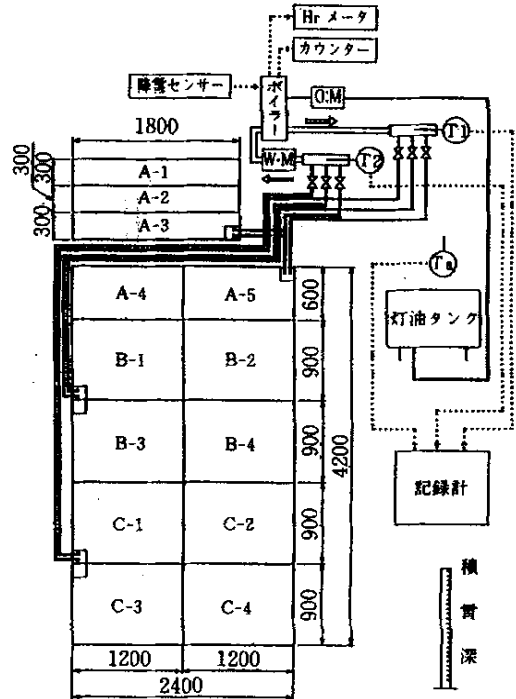


図 3-1 現地融雪試験の施設概要

件で、降雪センサが降雪を検知し、その信号で温水ボイラと循環ポンプが同時に運転を開始する。運転時の温水温度は、温水ボイラの設定温水温度とボイラ出力および

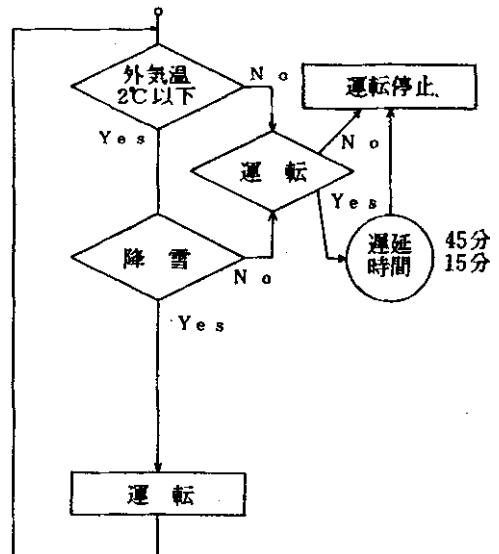


図 3-2 システムの制御概要



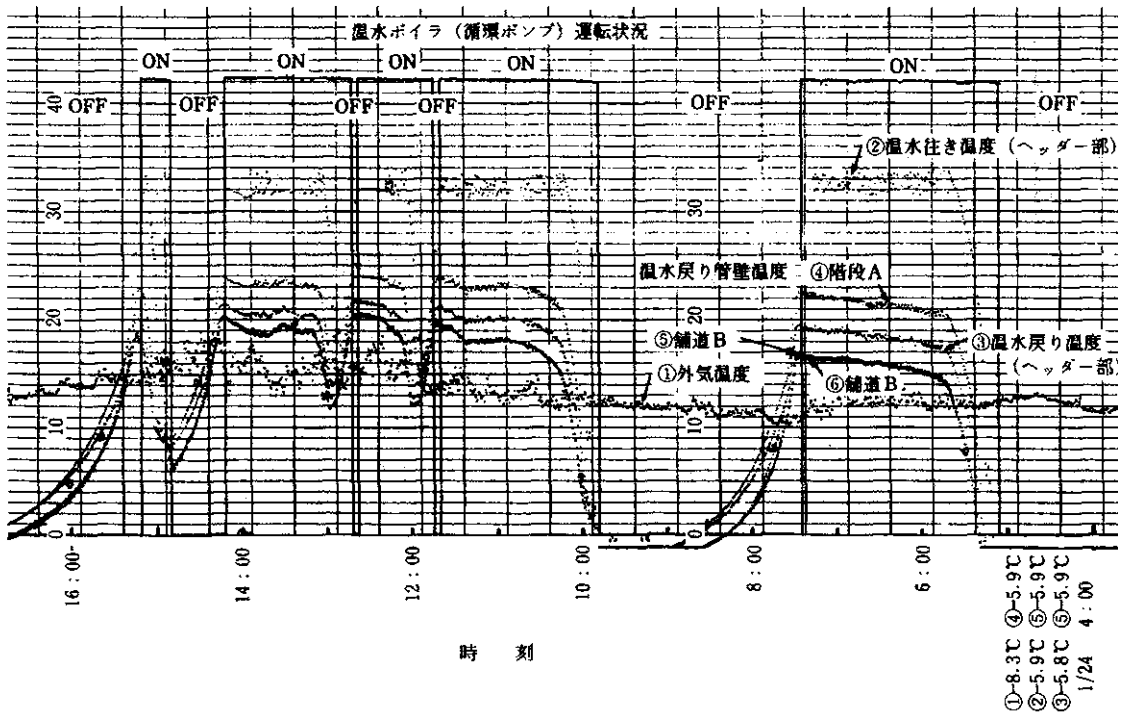


図3-3 融雪試験の運転状況

屋外気象条件（気温，風速，降雪，日射）とのバランスで決まり，また運転の終了は，降雪センサによるOFF信号とゼロから3時間の範囲に調節できる遅延タイマーにより任意に決めることができる（図3-2）。従来の埋設式ロードヒーティングでは，路盤の熱容量が大きいために温度の立上がりが遅い。このため，短時間の強降雪時に降雪センサのOFF信号が働いて運転が停止した場合でも雪の融け残りの無いように，通常遅延時間を45分に設定している。ここでは，ゴムチップ融雪パネルの温度立上がり性能を調べることを目的に，遅延時間を平成3年12月26日から平成3年1月19日までの25日間を45分，それ以後の平成4年3月31日までの71日間を15分とした。全試験期間は96日で，この間の温水温度は調節ツマミを最低に設定した。

測定項目は，ヘッダー部の温水行き温度と戻り温度，温水流量，外気温，降雪量，灯油消費量で，参考に各経路の戻り温水温度を管外壁表面温度として測定した。降雪量については積雪深を，温水流量と灯油消費量は積算値を，毎日1回午前10時に読み取り，その記入をS宅の居住者に依頼した。各種温度，温水ボイラ（循環ポンプ）の稼働時間と発停回数についてはハイブリッド記録

計で自動集録した。

### 3.3 試験結果および考察

#### 3.3.1 システムの運転状況

一例として，試験期間中で最も気温の低かった平成4年1月24日の午前4:00～16:00までの12時間の運転状況を図3-3に示す。この間の温水ボイラの発停回数は5回，稼働時間は約6.8時間であり，降雪センサが動作して温水ボイラや循環ポンプの発停を制御していることが分かる。温水温度の立上がりについてみると，温水ボイラの運転開始時刻，5時6分における温水行き温度②は約-6℃（室内），約33分経過後に設定温度に達し，以後停止までの1時間20分間，約32℃～33℃の範囲にあることが分かる。また，温水戻り温度③も同様に-6℃から33分後に17℃に，それ以後は徐々に上昇して運転停止時に19℃まで達しているのが分かる。この間の外気温度は-7℃～-8℃である。

他の日の運転状況についても上述とほぼ同様の結果を示し，外気温度などの影響を受けるものの，平均すると温水行き温度は，運転開始から25分から33分で設定温度に到達し，その後の運転期間は約30℃～33℃に，ま

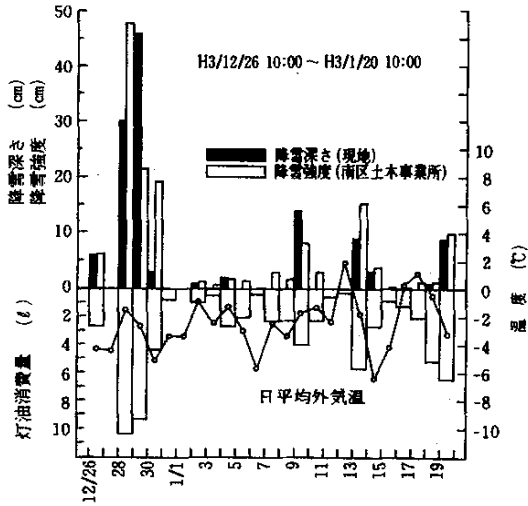


図 3-4 降雪量と灯油消費量 (遅延時間: 45分)

た戻り温水温度は約18℃～22℃を示した。従って、融雪パネルを流れる温水温度は平均25.8℃、往き戻りの温度差は11.5℃であった。平均循環水流量は5.371/min、平均灯油消費量は0.475l/hであり、循環水に使用した不凍液(主成分:エチレングリコール46%水溶液)の比熱を3.52kJ/(kg・K){0.84kcal/(kg・℃)}、密度を1.07g/cm<sup>3</sup>、循環水温度差を11.5Kとしてパネルからの放熱量を計算すると、13.956MJ/h(3.

876W/11.7 ≒ 330W/m<sup>2</sup>{284kcal/(m<sup>2</sup>・h)}になる。前述の工業試験場敷地内で行った降雪時におけるパネルの放熱性能の試験結果、図2-8で、循環水温度26℃、外気温度-3℃の場合、パネル放熱量は約325W/m<sup>2</sup>{280kcal/(m<sup>2</sup>・h)}となり、本現地融雪試験結果とほぼ一致した。

### 3.3.2 制御方式と経済性

全試験期間の降雪量と灯油消費量を、遅延時間45分と15分に分けて、各々図3-4、図3-5a、bに示す。ここで降雪深さは、積雪深計を用いて1日に1回午前10:00に前日との差を読み取った値である。また、降雪深さの値の信頼性を確認する目的で、札幌総合情報センター(株)が行っている降雪強度の観測データ<sup>5)</sup>を併せて示した。この観測地点は、札幌市南区土木事業所内(南区南30条西8丁目)であり、本現地融雪試験施設の近辺に位置している。

これらの図から、12月26日～1月20日の25日間で、降雪深さが認められた日数は11、これに対して灯油を消費した日数は23、同様に1月20日～3月31日の71日間では各々30と57であったことが分かる。このように全測定期間中の約83%近くがシステムが稼働状態にあり、この内ヒーティングを必要とした日数はその約半数を占めた。従って、降雪量が少なく融雪を必要としないと考えられる残り半数の日にもボイラーが運転してお

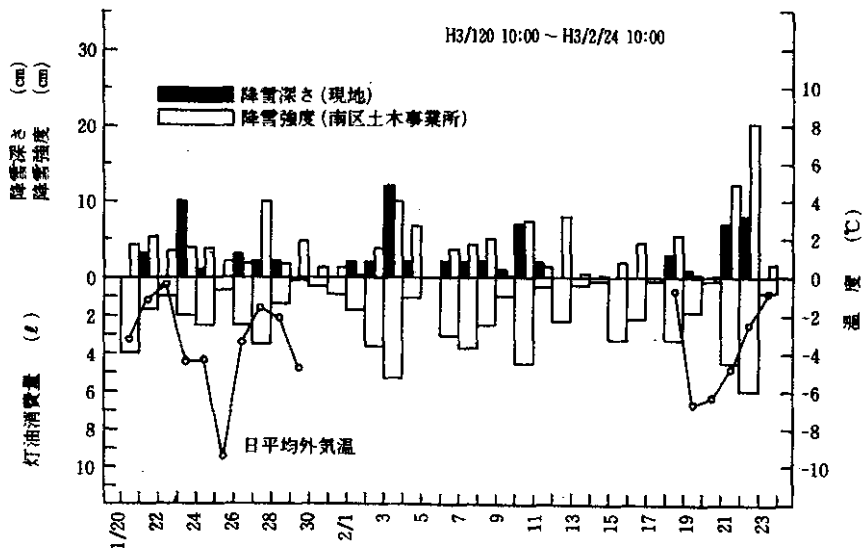


図 3-5a 降雪量と灯油消費量 (遅延時間: 15分)



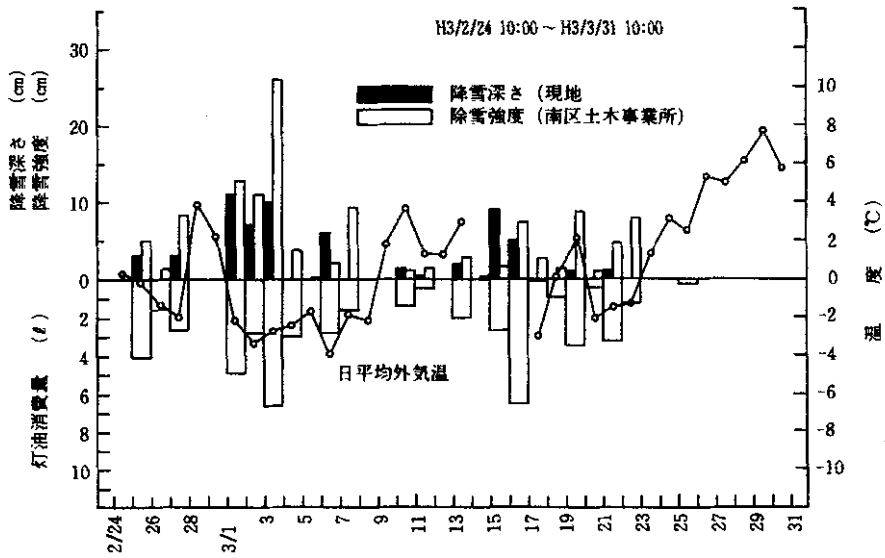


図3-5b 降雪量と灯油消費量 (遅延時間: 15分)

り、無駄に灯油を消費していたものと思われる。次に、現地と土木事業所の降雪量データを比較すると、全測定期間中のシステム稼動日数が80に対し、降雪深さが認められた日数は41、降雪強度を検知した日数が75、また総積算値では降雪深さが254cm、降雪強度は411cmであり、降雪強度の方が降雪深さより大きな値を示していることが分かる。これらの相違は、観測地点が異なること、また降雪深さは1日間隔で計測しているため、この間に気温、日射、雪の自重、風などの影響を受けて降雪時よりも少ない値を示したことによるものと考えられる。

温水ボイラの運転終了時を調整する遅延時間が灯油消

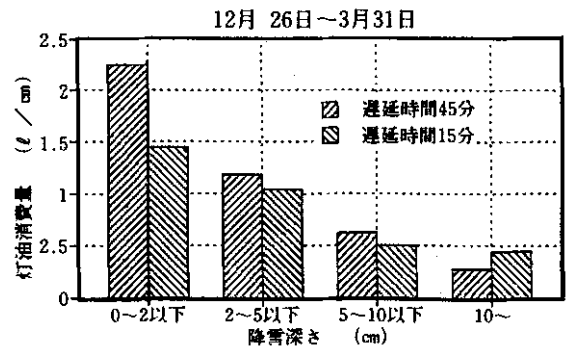


図3-6 降雪深さ別の灯油消費量

表3-1 現地融雪試験結果

測定時間	12/26~1/20 (25日間)					1/20~3/31 (71日間)					
遅滞時間	45分					15分					
降雪深さ (cm)	124 cm					130 cm					
	日数	灯油消費量 ℓ	ℓ/cm	日数	灯油消費量 ℓ	ℓ/cm	日数	灯油消費量 ℓ	ℓ/cm		
0	14	2	15.8	0	41	14	30.2	0	27	30.2	
0 ~ 2 以下	11	3	8.9	2.25	30	24	33.2	1.45	8	31.9	0.50
2 ~ 5 以下		2	56.1	7.1		6	96.1	20.8		1.04	
5 ~ 10 以下		3	(78%)	14.8		0.62	8	(76%)		31.9	0.50
10 ~		3	25.3	0.28		2	10.2	0.44			
計	25		71.9		71		126.3				

費量に与える影響を見るため、遅延時間が45分と15分の場合の積雪深1cm当りの融雪に費やした平均灯油量を、試験期間に発生した日数と共に、積雪量の段階別に比較して表3-1および図3-6に示す。これから遅延時間の少ない15分の方が45分の場合に比べて灯油消費量は少なく、さらに1日の降雪深さが多くなるほど少なく、効率の良い融雪が行われていることが分かる。本システムのような遅延タイマを使用して運転の停止時間を固定する制御方法では、降雪の有無に関係なく温水ボイラが遅延時間だけ稼動するため、その分余計に灯油を消費することになる。従って、ランニングコストを低減するためにはボイラの運転時間つまり遅延時間を最小限に止めるべきであり、積雪量が少ない場合にはより効果が大い。本試験では、遅延時間15分でも融け残りのない融雪路面が確保できており、このことはパネルを敷設した融雪場所が南向きで比較的恵まれた融雪条件にあったためとは言え、ゴムチップ融雪パネルの特徴である温度立上がりの良さを示すものである。今後、さらに効率のよい運転を行うには、ボイラ熱出力、路盤の熱特性、敷設場所などシステム全体の特徴を踏まえた上で、気象条件、特に降雪強度に応じた最適な遅延時間を見つける必要があり、またパネル温度を検出することでパネル表面上の積雪の有無を判断して運転停止を行うか、あるいは降雪量を識別できるような低価格の降雪強度検出型のセンサを開発して適正な制御システムを構築する必要があるものと思われる。

経済性についてみると、試験期間である平成3年12月26日から平成4年3月31日までの96日間における全灯油消費量は200lで、灯油価格を45円/lとすると、その費用は9,000円である。また、パネルの敷設面積は11.7m<sup>2</sup>であるため、1m<sup>2</sup>当り770円要したことになる。

#### 4. まとめ

廃タイヤゴムチップを利用した住宅および小型店舗向けの簡易施工型ロードヒーティング用融雪パネルを開発し、その実用化に向け、冬期間現地で実証試験を行い、本融雪システムの運転特性、経済性を明らかにした。

##### 4.1 ゴムチップ融雪パネルの開発

床暖房パネルの構造および製造方法を基本に、ゴムチップパネルの特徴を生かした設計・試作を行い、各種の

性能試験を実施した。以下に結果をまとめて記す。

①ゴムチップ融雪パネルは、ゴムチップ芯材と伝熱板および温水管の3要素から構成され、伝熱板と温水管は芯材の中間層に組み入れられている。伝熱板上部のゴムチップ芯材には赤色と黒色の混合ゴムチップを用い、表面を煉瓦模様とした。伝熱板下部のゴムチップ芯材は黒色ゴムチップ単一使用とした。

②伝熱板には耐食性に優れた厚さ0.35mmの樹脂塗装亜鉛メッキ鋼板を、温水管には外径9.52mmの円形銅管を使用した。また、伝熱板に適切な間隔で通水孔を設け、融雪水が伝熱板上部のゴムチップ空隙層、伝熱板通水孔、下部ゴムチップ空隙層を通過し、速やかに地表面に排出するようにした。

③パネル寸法は1,200mm×900mm、厚さ22mmであり、配管をピッチ90mmの対向流として表面温度の均一化並びに接続パネル間どうしの温水温度の平均化を図った。

④凍結融解試験、サンシャインウェザーメータによる耐候性試験および圧縮強度試験から、強度や耐候性など屋外設置用融雪パネルとしての必要な性能をほぼ満足していることが分かった。

⑤試験場内に設置した温水式融雪実験装置を用いて積雪時および降雪時における融雪試験を行い、ゴムチップ融雪パネルの融雪能力を調べた。併せてパネル表面上で雪が均一に融解し、その融雪水が速やかに地面へと排出することを確認した。

##### 4.2 現地融雪試験

ゴムチップ融雪パネルに市販の降雪センサと温水ボイラを加えた一般家庭向けの温水式融雪システムを用い、冬期間、札幌市内での現地試験を実施し、経済性を中心に本システムの最適な制御方式についての検討を行った。

試験期間は、平成3年12月26日から平成4年3月31日までの96日間であり、この期間の依頼先の測定による降雪深さは254cmを記録した。パネル敷設箇所は住宅の玄関前舗道と階段部分で、総面積は11.7m<sup>2</sup>である。本試験で明らかになった結果および問題点を以下に記す。

①本システムの平均的な運転状況についてみると、設定温度までの温水立上がり時間は25分から33分、その後の融雪運転期間の温水行き温度は約30℃～33℃、戻り温度は18℃～22℃を示した。従って、融雪パネルを

流れる温水温度は約 26℃，往き戻りの温度差は 11.5 K 程度，パネルの放熱量は  $330\text{W}/\text{m}^2$  ( $284\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ) である。

②遅延時間45分と15分における積雪深1cm当りの融雪に費やした平均灯油量を，積雪量の段階別に比較した結果，遅延時間の少ない15分の方が45分の場合に比べて灯油消費量は少なく，また1日の積雪量が多くなるほど少なく，効率良く融雪することが分かった。

③遅延時間15分で溶け残りのない融雪路面が確保できており，このことはパネルを敷設した融雪場所が南向きで比較的恵まれた融雪条件にあったためとは言え，ゴムチップ融雪パネルの特徴である温度立上りの良さを示すものである。

④全試験期間の96日間を通じ，積雪の認められなかった日数は55あり，この内ボイラが運転し灯油が消費した日数は39，これに消費した灯油量は全消費灯油量の20%以上にも及んだ。

⑤試験期間中の全灯油消費量は200lで，灯油価格を45円/lとすると，その費用は9,000円，パネル敷設面積が11.7 $\text{m}^2$ であるため，1 $\text{m}^2$ 当り470円となった。

今後，ランニングコストのかからない経済性のある効率のよい運転を行うには，パネル温度を検出することでパネル表面上の積雪の有無を判断して運転停止を行うか，あるいは降雪量を識別できるような低価格の降雪強度検出型のセンサ開発が必要と思われる。

## 5. 謝 辞

長期間にわたる毎日，測定器の読取りや記録をして頂いた斎藤宅の皆様，また観測データの提供にご協力下さった札幌総合情報センター(株)の早瀬，長谷川両氏に対し心より感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 富田ほか：ゴムチップ床暖房パネルの開発，寒地シンポジウム論文集，P81 (1988)
- 2) 富田ほか：ゴムチップ温水床パネルの開発，北工試験報告，No.287 (1988)
- 3) 富田ほか：ゴムチップ温水床パネルの工場生産化，共同研究報告書 (1989)
- 4) 経済調査会：積算資料「雪対策特集」，P111 (1987)

- 5) 中島ほか：降雪検知器の降雪強度センサーへの応用開発，寒冷シンポジウム論文集，P494 (1990)