



本 社	〒135	東京都江東区木場 1-5-1	電話(03)647-8931
本 社 事 務 所	〒141	東京都品川区西五反田 2-11-20 五反田藤倉ビル	電話(03)490-1111(大代表)
大 阪 支 店	〒530	大阪市北区西天満 5-1-11	電話(06)364-0371(代表)
名古屋支店	〒460	名古屋市中区栄 3-2-7 (丸善名古屋ビル)	電話(052)261-8441(代表)
福岡支店	〒812	福岡市博多区神屋町 1-3	電話(092)291-6126(代表)
広島支店	〒730	広島市中区八丁堀 15-10 (セントラルビル)	電話(082)221-2061(代表)
仙台支店	〒980	仙台市一番町 2-3-22 (仙台ビル)	電話(022)66-3344(代表)
札幌支店	〒060	札幌市中央区北二条西 4-1 (札幌三井ビル)	電話(011)231-8551(代表)
北陸支店	〒930	富山市桜橋通り 2-25 (第一生命ビル)	電話(0764)31-8821(代表)
高松支店	〒760	高松市鍛冶屋町 3-2 (香川三友ビル)	電話(0878)25-2741(代表)
深川工場	〒135	東京都江東区木場 1-5-1	電話(03)647-1111(大代表)
沼津工場	〒410	沼津市双葉町 9-1	電話(0559)23-1111(大代表)
佐倉工場	〒285	佐倉市六崎 1440	電話(0434)84-2111(代表)
鈴鹿工場	〒510-02	鈴鹿市岸岡町 1800	電話(0593)86-1111(代表)

1. 概要

熱の超伝導体と呼ばれるヒートパイプは、銀や銅に比べて熱抵抗（熱伝導率の逆数）が数百分の一と小さな伝熱素子である。したがって小さな温度差で多量の熱を輸送することができる。

ヒートパイプを用いた融雪システムは、地熱、地下水熱、温泉熱を利用した自然熱型、あるいは温水ボイラーによる強制加熱型や廃熱利用型がある。

ここではヒートパイプを利用した道路、駐車場の融雪システム及び屋根の融雪システムについて紹介する。

札幌市では、昭和58年度に定山溪温泉街で全長311mの道路と全長38mの月見橋の融雪手段として、温泉水を熱源としたヒートパイプ式融雪システムを日本で初めて採用し効果を上げた。

他にボイラー廃熱を熱源とした、ヒートパイプによる駐車場の融雪事例（長野県白馬村）、温水ボイラー熱源のヒートパイプ式融雪システムの施工例として新潟県長岡市の事例を紹介する。

屋根の消雪システムについては、昭和59年冬に秋田県横手市と新潟県上越市で実施した実験例について報告する。

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) 運転重力不要。

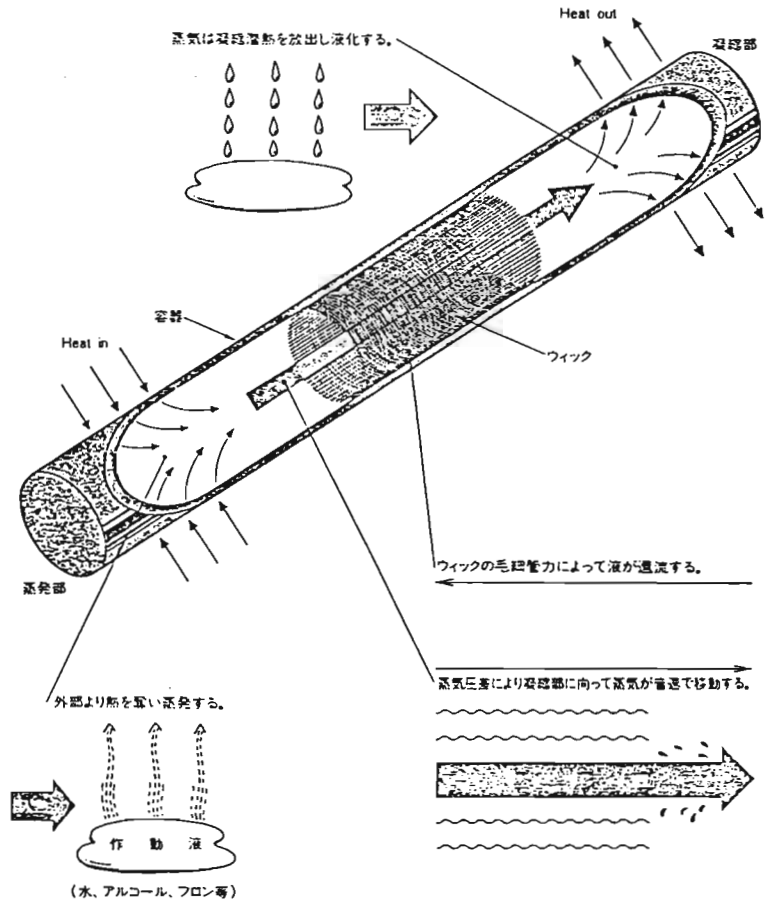


図-1 ヒートパイプの構造及原理

3. ヒートパイプ式融雪システムの構成例

ヒートパイプ融雪システムは、自然熱・廃熱・ボイラー等の熱源を自由に選択できる。

3.1 地熱採熱型

図-2に地熱採熱型ヒートパイプ融雪システムを示す。地中をボーリングし、L字型ヒートパイプを布設する。ヒートパイプで地熱を集熱し路表面を融雪する。ヒートパイプの地中部と地表部の長さは約3対1で構成され、布設ピッチは200~300mmで布設される。またヒートパイプはボーリング1孔に対し

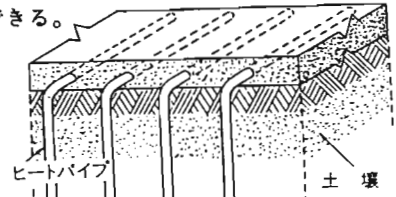


図-2 地熱採熱型ヒートパイプ融雪システム

2~3本布設する方法が経済的である。地中温度は年間の平均温度に近いことから約10~15℃程度で、地表部の熱流束は100W/m²前後の能力が期待できる。しかし1cm/hr前後の融雪能力しかえられず、小規模面積で凍結防止主体のシステムである。

3.2 温泉水熱源型

温泉水を熱源としたヒートパイプ式融雪システムは、運転エネルギーを必要とせず、メンテナンスフリーの融雪が実現できる。地熱利用型とちがって熱源の温度が高く熱源とヒートパイプ間の熱伝達率が大きいので、高熱流束の融雪システムである。当社では地中埋設用ヒートパイプ用に外径27mmφのステンレスコルゲート型ヒートパイプ(作動流体: フロン)を採用している。

3.2.1 コルゲート型ヒートパイプの特長

- (1) ステンレス製であり、耐食性に優れている。
- (2) コルゲート型ヒートパイプは、スムーズ型に比較して伝熱面積が約1.5倍と大きいので伝熱量を大きくとれる。特に小さな温度差での熱輸送に適している。

- (3) コルゲート管は薄肉 (0.5mm厚) であるが、圧縮強度は、2mmの鋼管と同等である。よって車輛等の圧縮荷重に強い。
- (4) コルゲート加工をしてあるので、熱応力、振動、地盤沈下に強い。
- (5) 可撓性があり、許容曲げ径は40D (D: ヒートパイプ外径) である。よって長尺ヒートパイプの運搬・布設が容易である。また、自由に曲げて布設できるので布設形状に自由度がある。

3.2.2 熱設計

ロードヒーティングの必要熱量は (1) 式で与えられる。

$$Q_m = \frac{1}{\eta} \{q_s + q_m + Ar(q_e + q_b)\} \dots (1)$$

但し

- Q_m : 必要熱量 (W/m^2)
- q_s : 雪に伝えられる顕熱量 (W/m^2)
- q_m : 雪の融解潜熱 (W/m^2)
- q_e : 水蒸気の蒸発潜熱 (W/m^2)
- q_b : 対流及び輻射による伝熱量 (W/m^2)
- Ar : 全面積に対する積雪の無い部分の面積比
- η : 熱効率

(1) 式を用いて計算した結果をもとに、降雪量と必要熱量の関係を図-3に示す。ヒートパイプの布設ピッチ、加熱部の長さ、加熱温度は、図-4の熱等価回路から (2), (3) 式で求めることができる。

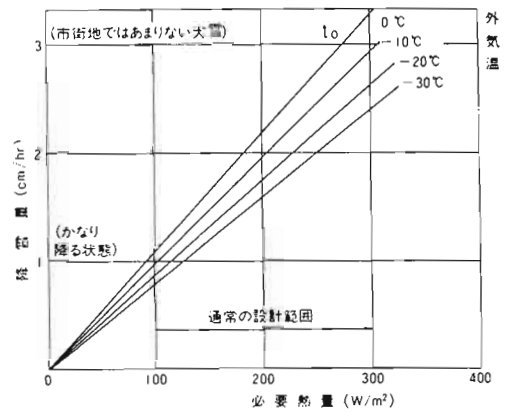


図-3 降雪量と必要熱量の関係

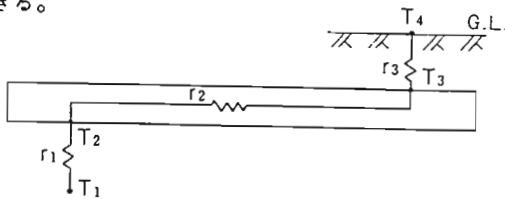


図-4 熱抵抗図

ヒートパイプ1本当たりの熱輸送量 Q (W) は、

$$Q = \frac{T_1 - T_4}{r_1 \div r_2 \div r_3} \dots (2)$$

ヒートパイプ埋設ピッチ P は

$$P = \frac{Q}{Q_m \cdot L} \dots (3)$$

- Q_m : 融雪に必要な熱量 (W/m^2)
- L : ヒートパイプ埋設長さ (m)
- T_1 : 熱源の温度 ($^{\circ}C$)
- T_2 : 加熱側ヒートパイプ表面温度 ($^{\circ}C$)
- T_3 : 放熱側ヒートパイプ表面温度 ($^{\circ}C$)
- T_4 : 道路の表面温度 ($^{\circ}C$)
- r_1 : 熱源~ヒートパイプ間熱抵抗 ($^{\circ}C/W$)
- r_2 : ヒートパイプ内部熱抵抗 ($^{\circ}C/W$)
- r_3 : ヒートパイプ~道路表面間の熱抵抗 ($^{\circ}C/W$)



図-5 ヒートパイプの布設状況

3.2.3 施工例

札幌市では、昭和58年度の定山溪温泉の振興対策として、全長38mの月見橋架け換え工事、全長311mの道路整備に伴い、温泉水を熱源としたヒートパイプ式ロードヒーティングシステムを世界で初めて採用した。その中でも月見橋には45mもの長尺ヒートパイプを採用された。図-5に道路部にヒートパイプを布設している状況を示す。基幹パイプに温泉水を通水し、ヒートパイプで路表面に温熱を拡散させる方式である。図-6は融雪状況を示す。



図-6 融雪状況

3.3 ボイラー熱源型

この方式は完全融雪を目的としたタイプで路表面熱流束は200~300W/m²の能力が維持できる。灯油・ガス焚の小型のボイラーにより温水を作り基幹パイプに送水しヒートパイプで融雪する。温水の循環は、降雪センサーで制御する。ランニングコストは800~1000円/m²・年と電熱ヒーター式の1/2~1/3である。図-7に長岡市の駐車場の融雪用ヒートパイプの施工状況を示す。



図-7 駐車場でのヒートパイプ施工

3.4 廃熱利用型

長野県白馬村の白馬スカイラインホテルの駐車場にボイラー廃熱を利用したヒートパイプ式融雪システムが施工された。ボイラーの廃ガス(250℃)からヒートパイプ式エコノマイザーで温水を作り、この温水によりヒートパイプで路面に熱を伝える方式である。したがってランニングコストは不要である。融雪状況を図-8に示す。

(1) 融雪システムの仕様

- ・路表面熱流束 300W/m²
- ・融雪能力 2 cm/hr
- ・温水温度 50℃
- ・流量 100 l/min
- ・ヒートパイプ コルゲート型
27mmφ×3m
布設ピッチ 200mm

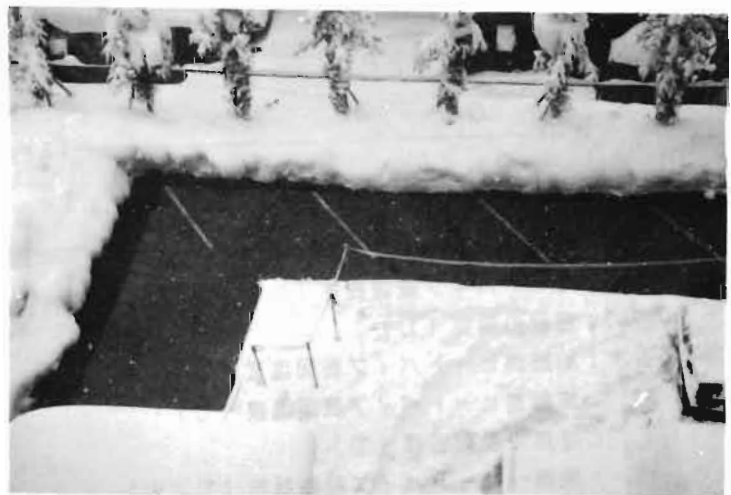


図-8 廃熱利用型 HP 融雪システムの融雪状況

(2) ヒートパイプ式エコマイザーの仕様

- ・回収熱量 18,000 Kcal/hr
- ・廃ガス量 750 N_m³/hr
- ・廃ガス温度 250℃
- ・温水温度 47℃ → 50℃

(3) 運転データ

ヒートパイプは布設ピッチを200mmと300mmのパターンで2種類施工した。その結果200mmピッチ部は降雪量4cm/hrの時でも充分融雪可能であった。表-1に運転データを示す。

2)

4. ヒートパイプ式屋根融雪システム

4.1 特徴

昭和59年12月～60年2月の冬期にかけ、秋田県横手市、新潟県上越市においてヒートパイプを利用した屋根融雪実験を行ない充分な効果が得られたので報告する。

ヒートパイプによる屋根融雪方法は、以下の特長をもつ。

- (1) ヒートパイプは軽量かつコンパクトであるため、積載荷重が低減される。
- (2) 熱応答性が早く、長手方向の温度むらが無いため、均一な融雪が可能である。
- (3) 作動液としてフロン冷媒を使用しているため凍結の心配がない。
- (4) パネル形式となっているため、施工が容易である。
- (5) 夏季はヒートパイプ式ソーラーパネルとして、活用も可能である。

4.2 仕様

ヒートパイプ式融雪パネルは、表面熱流束が200W/m²となるように設計した。布設断面図を図-9に示す。ヒートパイプは従来の瓦棒ぶきの屋根上に敷設した。地域により瓦棒の形状は異なるが、その間隔は420mm or 450mm

表-1 ボイラ廃熱利用型融雪システムの運転データ

測定日時	S60.1.14 12:00	〃 18:00	S60.1.15 8:00
天気(降雪量)	雪(1cm/hr)	雪(4.5cm/hr)	雪(0.5cm/hr)
気温	-4℃	-6℃	-6℃
ボイラー運転	1台	2台(PM16~PM22)	1台
温水	流量	114 l/min	〃
	入口温度	39℃	55℃
	出口温度	37℃	51℃
	放熱量	13,600 Kcal/hr	27,200 Kcal/hr
融雪部	[200mmピッチ]		
	HP温度	18℃	25℃
	HP中間温度	12℃	12℃
各路面温度		0℃	0℃
	[300mmピッチ]		
	HP温度	16℃	23℃
融雪状況	HP中間温度	9℃	8℃
	路面温度	0℃	0℃
	HPなし	1cm	2.0cm
融雪状況	200mmピッチ	積雪 0cm	0cm
	300mmピッチ	0cm	1cm
	HPなし	1cm	4.0cm

表-2 運転データ(横手市)

	S60.1.7 15:30pm	S60.1.24 15:30pm	S60.2.12 2:00am
天気	雪	くもり	くもり
外気温	-5.9℃	-5.0℃	-4.0℃
パネル上積雪	0.5cm	0.5cm	0cm
気象台発表積雪(無対策)	82cm	100cm	100cm
温水入口温度	36℃	43℃	44℃
温水出口温度	26℃	39℃	36℃
ヒートパイプ上平均温度	14℃	18.6℃	13℃
パネル表面平均温度	2℃	1.2℃	1.5℃
パネル表面上平均熱流束	136kcal/m ² hr	180kcal/m ² hr	216kcal/m ² hr

(流速 0.01m/sec)

高さは30mm程度であり、特に従来の瓦棒高さを上回らない様、ヒートパイプ径を選択した。

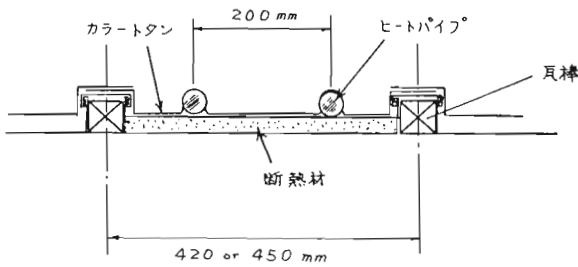


図-9 布設断面図(放熱型)

また布設は、屋根の勾配にそって順勾配とした。

4.3 運転データ

横手市の運転データを表-2に、上越市の運転データを表-3に示す。両者とも十分な融雪効果が得られた。図-10は横手市のヒートパイプ式融雪屋根の状況を示す。

表-3 運転データ(上越市)

	S 6 0. 1. 1 5 12:00 am
天 気	くもり(薄日)
外 気 温	-2.0℃
パ ネ ル 積 雪	0 cm
無 対 策 屋 根 積 雪	8.0 cm
温 水 入 口 温 度	6.2℃
温 水 出 口 温 度	5.9℃
ヒートパイプ上平均温度	2.2℃
パネル表面平均温度	3℃
パネル表面上平均熱流束	180 kcal / m ² · hr (流速 1.3 m/sec)

5. 結論

ヒートパイプを用いた道路駐車場等の融雪システムは、熱源の選択が自由にでき、ランニングコストの低減が可能である。地熱型、廃熱型は小規模融雪に適し、ボイラー型、温泉熱型は大規模融雪に適している。

ヒートパイプは強度も大きく、パイプ表面温度もあまり高くする必要がないので、地中に埋設される融雪システムには最適である。

また、屋根用のヒートパイプ式融雪システムは、パネル状に工場で作成加工されるため、

取付も容易で使いやすい。昨冬の実験にひきつづき今冬も実証試験をおこない、近々商品化する予定である。



図-10 横手市のヒートパイプ式融雪屋根

参考文献

- 1) ヒートパイプカタログ 藤倉電線 D 1117-2
- 2) ヒートパイプ利用による屋根融雪実験: 坂谷, 望月, 益子, 伊藤

第4回 ヒートパイプ協会講演会