

令和 6 年度

第委 一 委号

堆雪場融雪実証・調査業務委託

報 告 書

令和 7 年 3 月

株式会社 興和

〈目次〉

1.	業務概要	1
1.1.	業務目的	1
1.2.	業務概要	1
1.3.	業務位置図	2
2.	業務フロー	3
3.	施設概要	5
3.1.	地中熱ヒートパイプ融雪設備概説.....	5
3.2.	設置施設概要.....	6
4.	観測概要	9
4.1.	測定項目仕様一覧.....	9
4.2.	融雪能力の検証・評価について.....	10
5.	令和6年度観測結果.....	11
5.1.	気象条件整理.....	11
5.2.	地中温度観測結果整理.....	12
5.3.	堆雪状況観測.....	14
5.4.	サーモグラフィによる路面温度観測.....	20
6.	令和2～6年度観測結果整理.....	22
6.1.	降雪量・排雪回数整理結果.....	22
6.2.	融雪能力解析.....	23
7.	ヒートパイプ導入による経済効果.....	31
7.1.	排雪処理に係る経済性.....	31
7.2.	融雪に係る経済性.....	32
8.	将来可能性について.....	34
8.1.	堆雪場融雪の効果について.....	34
8.2.	ユニット配置パターンによる堆雪場融雪効果の比較.....	34
8.3.	持続可能な地中熱利用堆雪融雪について.....	34
9.	まとめ	35

〈添付資料〉

- ・令和6年度 地中温度観測記録
- ・路面消・融雪施設等設計要領抜粋(P162～163)

1. 業務概要

1.1. 業務目的

本業務は、ガス水道局新庁舎敷地において設置されているヒートパイプ方式による堆雪場融雪施設の効果を確認するため、地中温度の観測、サーモグラフィによる表面温度観測及び定点カメラによる融雪状況の観測を実施し、堆雪場融雪の有用性及び経済性を検証を行ったものである。

1.2. 業務概要

業 務 名：第委-委号 堆雪場融雪実証・調査業務委託

履行場所：新潟県上越市春日山町3丁目1番63号

履行期間：自)令和6年11月18日 至)令和7年3月20日

業務内容：(1) 地中温度の観測
(2) サーモグラフィによる表面温度観測
(3) 定点カメラによる融雪状況観測
(4) 測定データとりまとめ
(5) 報告書作成
(6) その他協議の上、担当職員が指示したもの

発 注 者：上越市ガス水道局

受 託 者：株式会社 興和 上越支店

〒943-0171 上越市大字藤野新田字大割 371

Tel:025-544-5281 FAX:025-544-5433

1.3. 業務位置図



図 1-1 調査位置図（国土地理院「地理院地図」）

2. 業務フロー

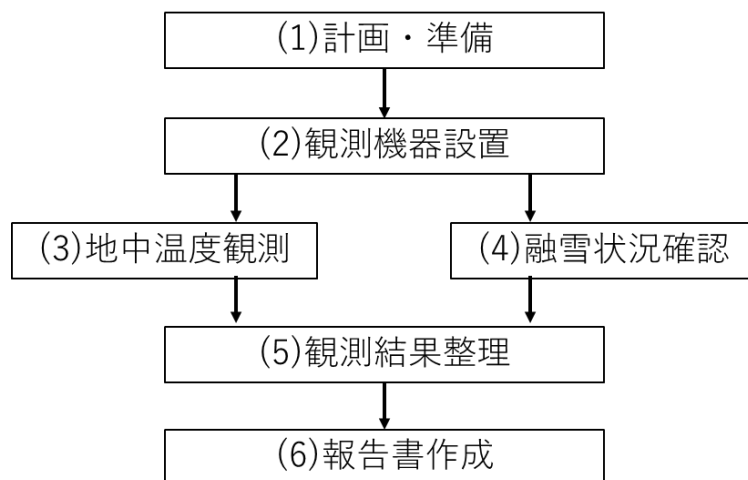


図 2-1 業務フロー図

(1) 計画・準備

業務実施手順や方法等の全体の計画を検討した。

(2) 観測機器設置

ア) 地中温度観測機器の設置

- ① 地中温度測定のため、ヒートパイプ敷設時に以下の測点に熱電対を設置した。

観測点：地中 5m、10m、15m、18m、気温

観測箇所：東面 1 箇所

- ② 熱電対からのデータを回収・記録するためにデータロガーを設置した。

イ) 定点カメラの設置

施工完了～観測開始までの期間に、以下の 4 パターンを観測できるよう定点観測カメラを設置した。

- パターン①「通常の敷設幅でヒートパイプを敷設した堆雪場」
- パターン②「通常の 1.5 倍の敷設幅でヒートパイプを敷設した堆雪場」
- パターン③「中心部分は通常の 1.5 倍、それ以外は通常の敷設幅でヒートパイプを敷設した堆雪場」
- パターン④「ヒートパイプを敷設していない堆雪場」

(3) 地中温度観測

設置した観測機器にて、観測期間中の地中温度を観測した。

○観測期間：令和 6 年 11 月 29 日～令和 7 年 2 月 28 日まで

○観測間隔：10 分毎

(4) 融雪状況確認

ア) 定点カメラによる自動観測

設置した定点カメラにより、観測期間中の融雪状況を観測した。

○観測期間：令和 6 年 12 月 1 日～令和 7 年 2 月 28 日まで

○撮影間隔：1 回/1 時間

イ) サーモグラフィによる表面温度観測

降雪時に適宜、サーモグラフィによる路面温度の観測を行った。

(5) 観測結果整理

観測結果を整理し、グラフ・観測表を作成する。

(6) 報告書作成

上記事項を取りまとめ、報告書の作成を行った。

また、令和 2 年度から令和 6 年度までの観測結果に基づき、堆雪場融雪方式の有用性及び経済性を検証し、取りまとめを行った。

3. 施設概要

3.1. 地中熱ヒートパイプ融雪設備概説

図 3-1 にヒートパイプ融雪の概説を示す。地中熱ヒートパイプは、削孔した地中熱交換井に挿入したヒートパイプを介して地中熱を採熱し、舗装部にて放熱することで融雪を行う設備である。地中と放熱部の温度差により、ヒートパイプ内の冷媒が状態変化し熱を輸送するため、電気やガスなどの外部エネルギーを使わない融雪設備である。

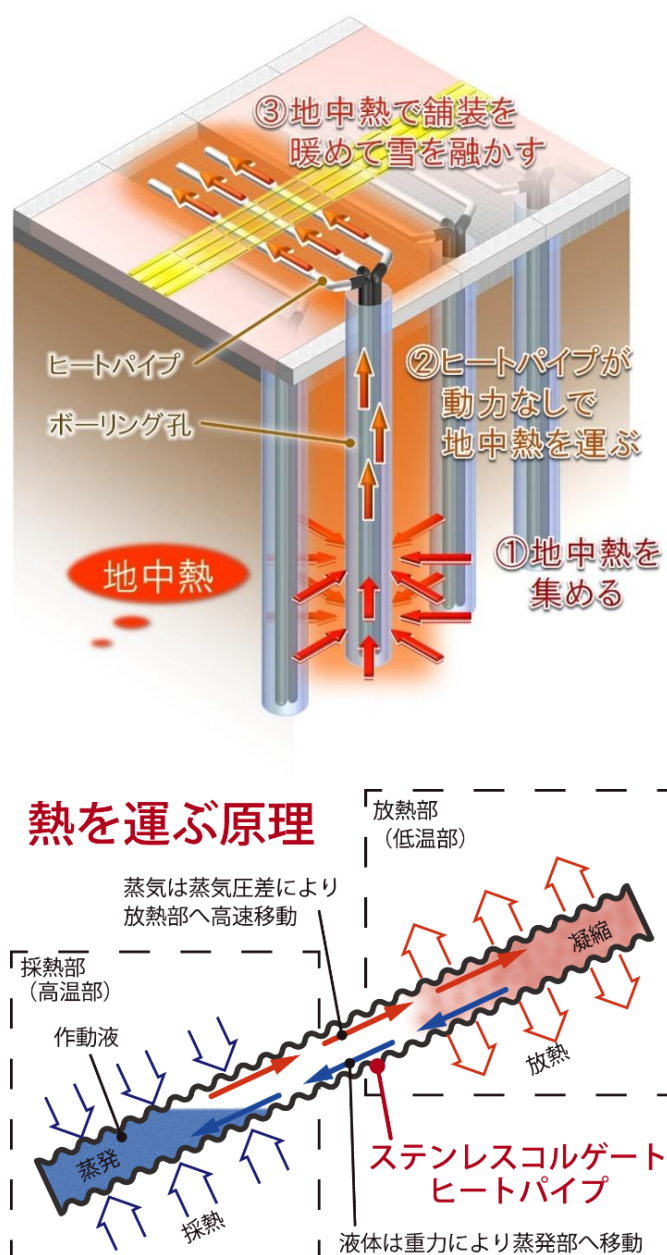


図 3-1 地中熱ヒートパイプ融雪の融雪原理・ヒートパイプの熱輸送原理

3.2. 設置施設概要

上越市ガス水道局庁舎新築に伴い、駐車場の堆雪場の融雪のために、地中熱ヒートパイプ方式の融雪施設を設置した。この融雪施設は経済的なヒートパイプの配置案を検証する実証試験であり、ヒートパイプを通常幅(200 mm)ピッチで敷設するユニットと 1.5 倍幅(300 mm)にて設置したユニットの 2 種類のパネルが存在する。表 3-1 に融雪施設の概要を、図 3-2 に融雪施設設置平面図、図 3-3 にヒートパイプ割付図、写真 3-1～写真 3-4 に施設の写真を示す。

表 3-1 融雪施設概要

エリア		西面	東面
対象面積		164 m ²	85 m ²
採熱井戸本数		72 本	31 本
ヒートパイプ本数(3 本/井戸 1 本毎)		216 本	93 本
ユニット数	据付ピッチ 200 mm	48 枚	15 枚
	据付ピッチ 300 mm	24 枚	16 枚

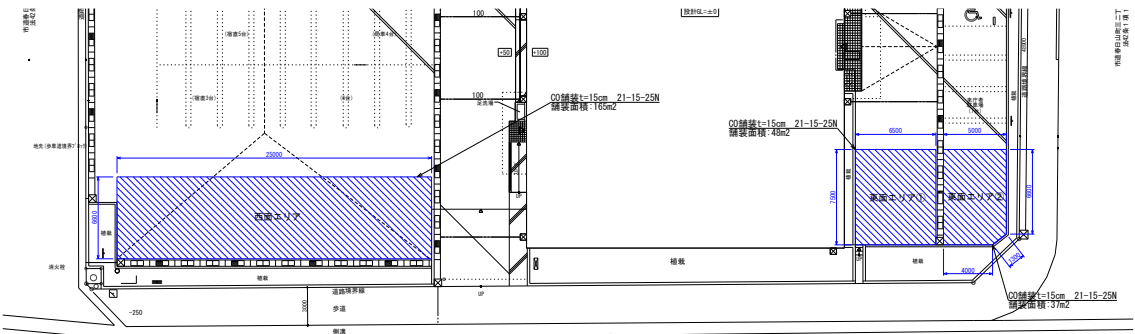


図 3-2 融雪施設配置平面図

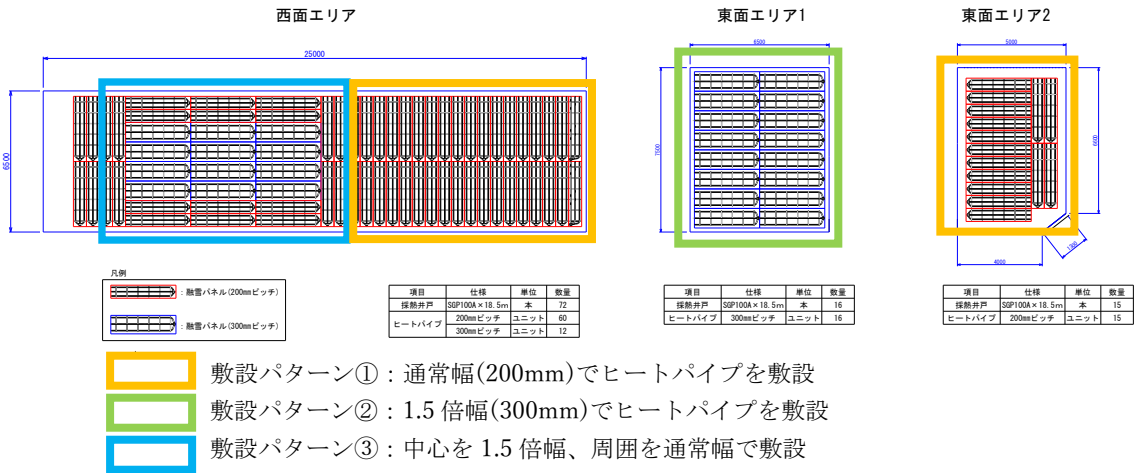


図 3-3 ヒートパイプ割付図



写真 3-1 ヒートパイプ敷設状況(西面)



写真 3-2 竣工(西面)



写真 3-3 ヒートパイプ敷設状況(東面)



写真 3-4 竣工(東面)

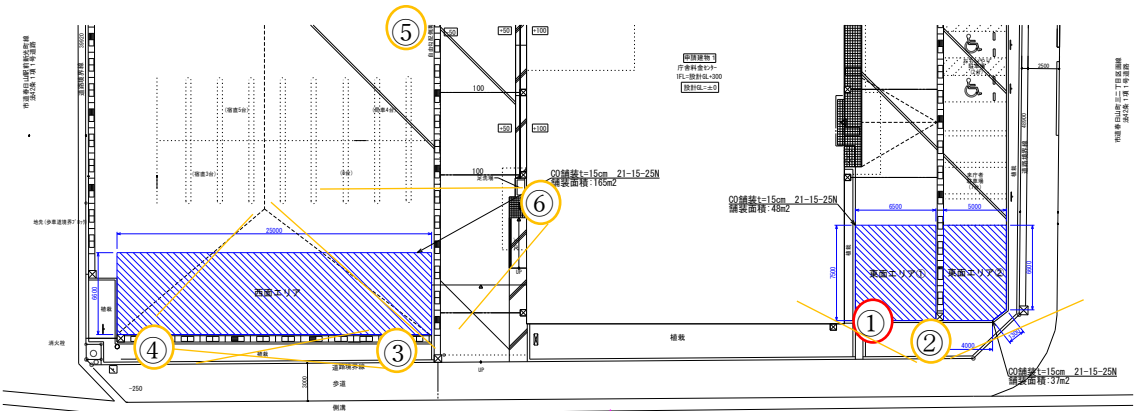
4. 観測概要

4.1. 測定項目仕様一覧

表 4-1 に示す項目の観測を行った。また、図 4-1 に機器の設置箇所、写真 4-1～写真 4-2 に機器の設置写真を示す。

表 4-1 観測概要

データ観測期間	地中温度：令和 6 年 11 月 29 日～令和 7 年 2 月 28 日 堆雪状況：令和 6 年 12 月 1 日～令和 7 年 2 月 28 日		
項目	観測箇所	方法	測定間隔
地中温度	地中 18m、15m 10m、5m、気温 放熱部温度	温度：熱電対 記録：データロガー (サーミック 2300A)	10 分間隔
堆雪状況	西面・東面 春日謙信公交流館	タイムラプスカメラ	1 時間間隔
路面温度	西面・東面	サーモグラフィー	降雪時



No.	観測項目	設置機器	備考
①	地中温度	データロガー	敷設ピッチ 300 mm
②	堆雪状況(東面)	タイムラプスカメラ	屋外
③	堆雪状況(西面)	タイムラプスカメラ	屋外
④	堆雪状況(西面)	タイムラプスカメラ	屋外
⑤	堆雪状況(春日謙信交流館)	タイムラプスカメラ	屋外
⑥	堆雪状況(東面)	タイムラプスカメラ	屋内

図 4-1 観測機器設置箇所



写真 4-1 タイムラプスカメラ設置状況(左：設置個所②、右：設置個所④)



写真 4-2 タイムラプスカメラ設置状況(左：設置個所④、右：設置個所⑤)

4.2. 融雪能力の検証・評価について

現在地中温度は、東面1箇所を観測している。敷設パターンは300mmピッチでヒートパイプを敷設したパターンである。このため、観測結果整理・融雪能力の検証・評価については300mmピッチ敷設パターンについて行うものとする。

5. 令和6年度観測結果

5.1. 気象条件整理

表 5-1 に気象条件の整理結果を示す。なお気象データは、アメダス高田のデータを参照し、整理を行った。

今シーズンの降雪量は12月で29 cm、1月で82 cm、2月で268 cm、観測期間中合計で379cmであった。昨シーズンと比較して144 cm降雪量が多かった。

表 5-1 降雪量・気温整理結果(令和6年12月～令和7年2月)

	令和6年12月	令和7年1月	令和7年2月
降雪量	29 cm 日最大 12 cm (12月28日)	82 cm 日最大 12 cm (1月10日)	268 cm 日最大 47 cm (2月4日)
日平均気温	4.5℃	3.1℃	2.0℃
日平均最低気温	1.7℃	-0.2℃	-0.7℃
日平均最高気温	8.0℃	7.1℃	6.0℃

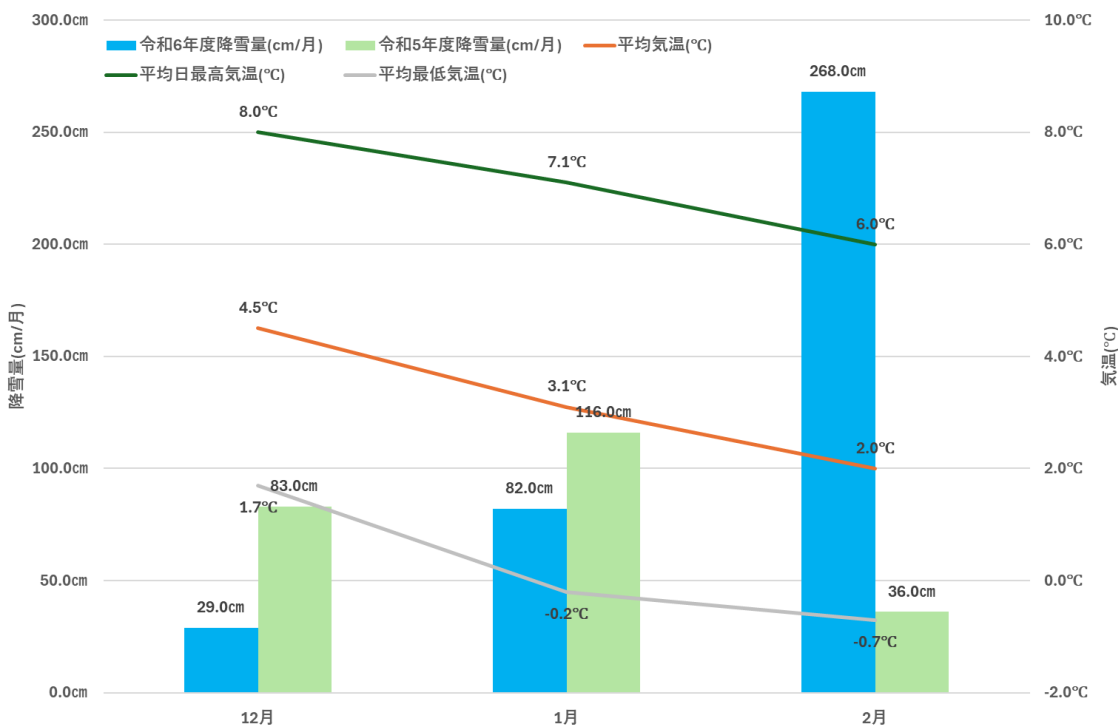


図 5-1 気象条件整理結果

5.2. 地中温度観測結果整理

5.2.1. 令和6年度地中熱観測結果

図 5-2 に東面の地中温度観測結果を示す。地中温度、気温及び放熱部温度は本業務観測データを、時間降雪深及び積雪深はアメダス高田のデータを参照した。

気温は最大 20.1℃、最低 - 14.0℃、平均 4.0℃で推移していた。極端に気温が高いあるいは低い要因として、直射日光及び風の影響で過大に観測されているものと推察される。

採熱部の温度は、ヒートパイプが稼働を始める 12 月中上旬頃まで、地中 5m 地点を除いてほぼ一定で推移しており、12～13℃程度で推移していた。地中 5m 地点は 12～17℃で推移していた。降雪し始めると、地中温度は低下し、6～11℃の範疇にて上下していた。堆雪がある状態では日変動はほとんど見られず、緩やかに低下しており、2/4～2/28 の堆雪期間では、11℃から 6℃へ低下した。また、堆雪が無くなると地中温度は回復傾向となったが、観測終了時点の地中温度は 18m 地点で約 10℃、その他の地点で約 7℃であり、観測開始時の 13℃付近までは回復しなかった。

5m 時点は観測開始時点においては他の地点より約 4℃高い 16℃程度で推移しており、気温が低下してきた 12 月上旬からヒートパイプが稼働したことにより、10m・15m 地点と同様の温度で変動する形となった。また、地中 18m 地点は、降雪前は他の地点と概ね変わらない温度で推移していたが、堆雪期間中は温度変化量が小さく、他の地点と比較して 2～3℃高い温度で推移していた。

放熱部の温度は、採熱部の温度と同様に、降雪・堆雪の無い期間では、地中温度より 2～4℃程度低い温度で気温と連動して変動していた。連続した堆雪期間ではほぼ横ばいで温度変化していた。堆雪期間中の放熱部温度は徐々に低下しており、12 月中は 6～7℃、1 月中は 5～6℃、2 月中は 4～5℃程度で推移していた。

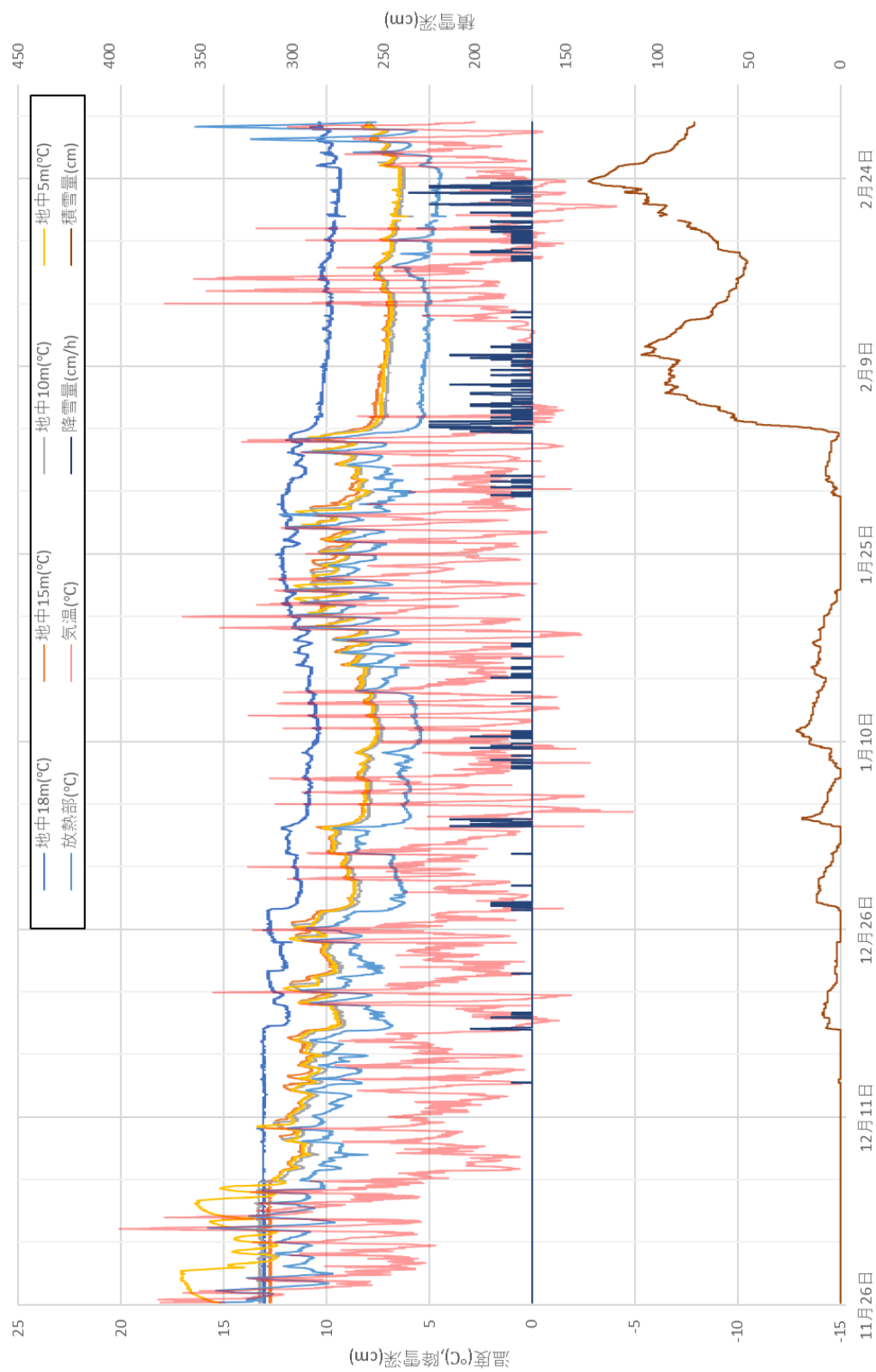


図 5-2 令和5年度 東面堆雪場地中温度観測結果

5.3. 堆雪状況観測

① 降雪時

写真 5-1、写真 5-2 に令和 7 年 1 月 9 日及び 2 月 4 日の堆雪場として活用されていない時の観測状況を示す。融雪の初期段階では、300 mm ピッチの融雪パターンではヒートパイプの間に残雪が見られるものの、200 mm ピッチの融雪パターンでは概ね雪が融けている状況が見られた。最終的にはどちらのパターンにおいても全面の雪が融けている状態が確認された。この時の時間差は 1～2 時間程度であった。



写真 5-1 東面堆雪場融雪状況 上：令和 7 年 1 月 9 日 21 時 下：令和 7 年 2 月 4 日 8 時



写真 5-2 西面堆雪場融雪状況上：令和7年1月9日22時 下：令和7年2月4日8時

② 堆雪時

写真 5-3～写真 5-5 に堆雪場融雪状況を示す。令和 7 年 1 月 11 日～令和 7 年 1 月 29 日までの東面・西面・春日謙信交流館の融雪状況を示す。

○ヒートパイプ敷設パターンごとの融雪状況

東面の融雪状況を確認すると、概ね変わらない速度で堆雪の上部及び設置面から融雪されていることが観測できた。最終的な融け終わりにおいても 200 mm、300mm のどちらの融雪パターンにおいても差異は見られなかった。

西面側の堆雪場では本年度は 200 mmの融雪パターンを駐車場として活用し、300 mmの融雪パターンのみを堆雪場として利用しているため、パターンごとの融雪能力の比較はできなかった。雪山は概ね消えており、わずかに残雪を残すだけであった。

○融雪が入っていない堆雪場との比較

写真 5-5 は融雪設備を導入していない春日謙信交流館の堆雪場の写真である。春日謙信交流館の堆雪場では日付が経過するに連れて、堆雪の高さは小さくなっているが、依然として雪山の状態であった。また、堆雪の少ない周囲は融けているものの、雪山の幅は大きく変化していなかった。



写真 5-3 東面堆雪場融雪状況 撮影箇所②



写真 5-4 西面堆雪場融雪状況 撮影箇所⑥



写真 5-5 春日謙信公交流館堆雪状況 撮影箇所⑤

5.4. サーモグラフィによる路面温度観測

写真 5-6～写真 5-9 に令和 6 年 12 月 19 日に撮影した融雪中の路面温度状況を示す。

観測時点では積雪を融かしている最中であり、ヒートパイプ上は雪が融け、路面温度は黄～赤色(1～2℃程度)で示されていた。放熱部の温度が 0℃以上に保たれており、適切にヒートパイプが作動していたことが確認できた。ヒートパイプ間には融雪が完了しておらず、残雪が残る状態であり、サーモグラフ上でも青色(0℃程度)で示されていた。300 mm ピッチのユニットでは明確にヒートパイプ間の温度が低くなっているが、200mm ピッチのユニットではヒートパイプ間の温度も上昇していることが確認できた。

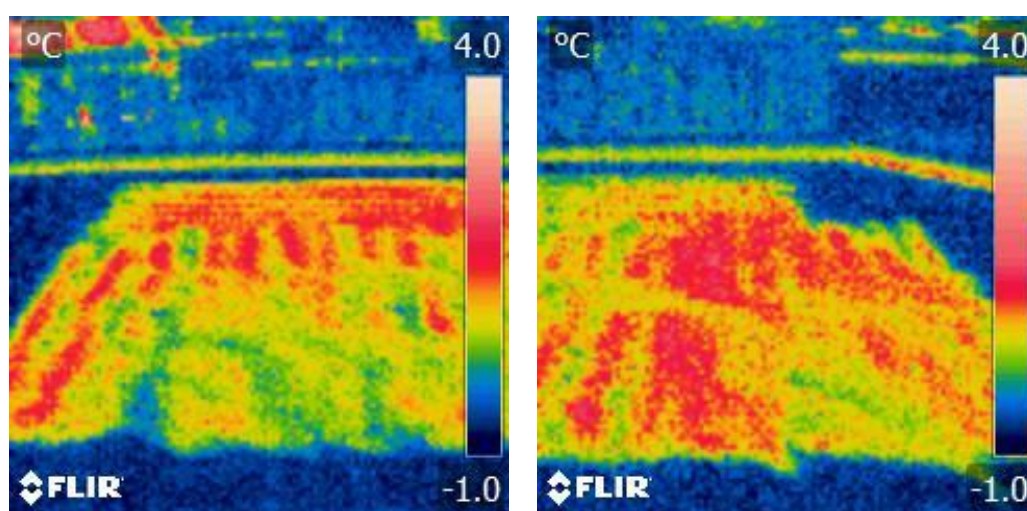


写真 5-6 東面路面温度状況①(敷設ピッチ 200 mm 融雪パターン①)

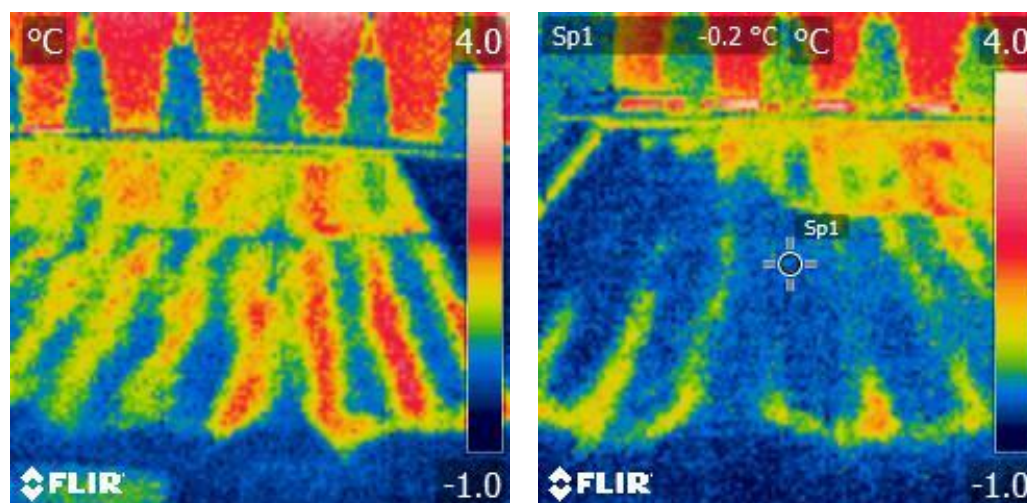


写真 5-7 東面路面温度状況②(敷設ピッチ 300 mm 融雪パターン②)

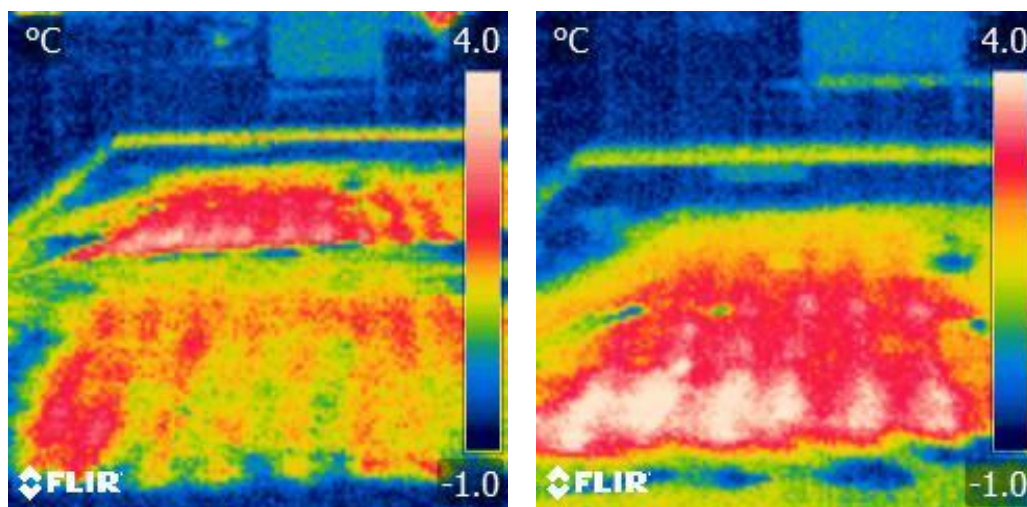


写真 5-8 西面路面温度状況①(敷設ピッチ 200mm 融雪パターン①)

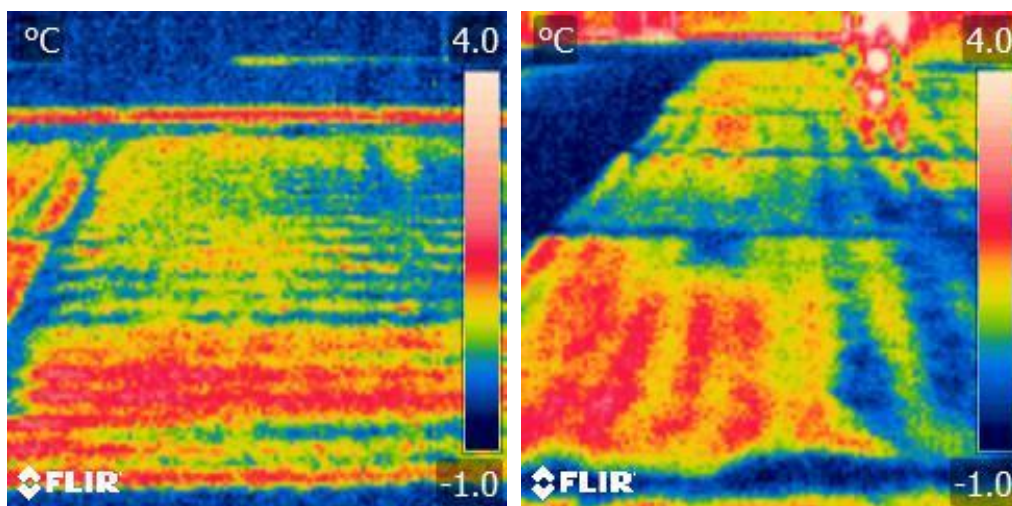


写真 5-9 西面路面温度状況②(敷設ピッチ中心 300mm、周囲 200 mm 融雪パターン②)

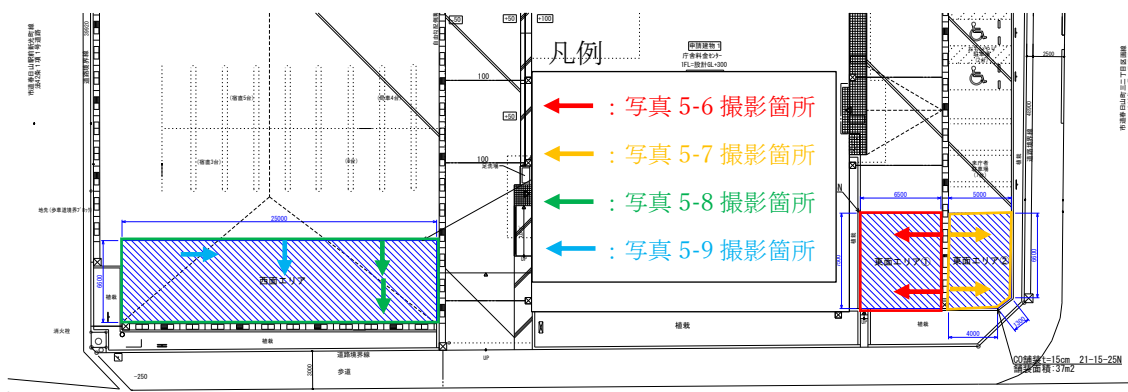


図 5-3 サーマログラフ撮影箇所

6. 令和 2～6 年度観測結果整理

6.1. 降雪量・排雪回数整理結果

表 6-1、図 6-1 に過去 5 年間の降雪量、排雪回数の整理結果を示す。気象データは、アメダス高田のデータを参照して整理した。排雪回数は定点カメラによる融雪状況調査より、実施回数を集計した。

令和 2 年度は最も降雪量が多くなり、排雪回数も 2 回と最多であった。特に 1 月は記録的な豪雪であった。令和 3 年度の降雪量は 2 番目に多かったものの、排雪の回数は 0 回であった。令和 4・5 年度は比較的降雪量が少なく、排雪回数も 0 回であった。令和 6 年度の降雪量は 3 番目で、排雪回数は 1 回であった。2 月の降雪量が全体の 70%を占め、一月当たりの降雪量としては 2 番目に多くなっていた。

表 6-1 過去 5 年間の降雪量(令和 2 年～6 年度)

	令和 6 年度	令和 5 年度	令和 4 年度	令和 3 年度	令和 2 年度
12 月	29cm	83cm	25cm	92cm	61cm
1 月	82cm	116cm	164cm	160cm	340cm
2 月	268cm	36cm	93cm	193cm	178cm
合計	379cm	235cm	282cm	445cm	579cm
排雪回数	1 回	0 回	0 回	0 回	2 回

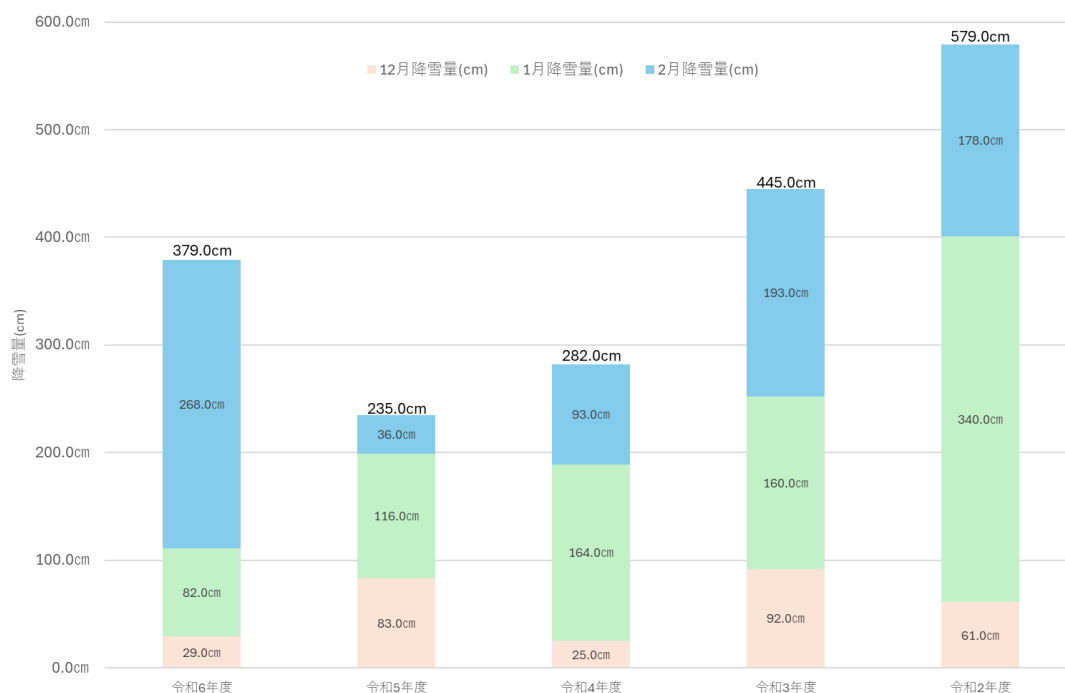


図 6-1 過去 5 年間の降雪量(令和 2 年～6 年度)

6.2. 融雪能力解析

令和2年～6年度の地中温度観測結果に基づき、融雪能力の解析を実施した。

6.2.1. 算出式

熱量の計算は、路面・消融雪施設設計要領の平均通水温度を算出する式に準じて行った。

放熱量 Q は、熱伝達の定義に従うと、放熱部の表面温度 T_p と路面温度 T_s との温度差 ΔT を舗装の熱抵抗 R で除することで算出される。

$$Q = \Delta T / R = (T_p - T_s) / R$$

路面・消融雪施設設計要領 P. 163 の平均通水温度を算出する式、

$$\bar{t} = q_u \frac{l_1 + l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi \lambda_{p1}} \ln \frac{d_o}{d_i} + t_m \quad [^{\circ}\text{C}]$$

を $Q = \Delta T / R$ の形に書き直すと、

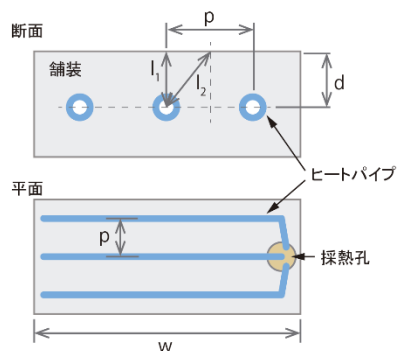
$$q = (\bar{t} - t_m) \div \left[\frac{l_1 + l_2}{2\lambda} \eta + \frac{a'}{2\pi \lambda_{p1}} \ln \frac{d_o}{d_i} \right] \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$

ここで、1ユニット当たりの面積をヒートパイプピッチ×本数×放熱部幅員で近似 ($a' = \text{pnw}$) し、1ユニット当たり放熱管長さをヒートパイプ本数×放熱部幅員で近似 ($L = \text{nw}$) すると、舗装の熱抵抗 R は以下の式に整理される。

$$R = \frac{l_1 + l_2}{2\lambda} \eta + \frac{p}{2\pi \lambda_p} \ln \frac{d_o}{d_i} \quad [\text{m}^2\text{C}/\text{W}]$$

堆雪融雪時は路面温度が地中より常に低く放熱を続けている状況であることから、地下への熱損失はないものと考えられるので、熱効率 η は1とする。ここに東側堆雪帯の条件 (図 6-2) から熱抵抗 $R = 0.0673 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ と求められる。

$$Q = (T_p - T_s) / 0.0673 \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$



記号	項目	値
p	ヒートパイプピッチ[m]	0.3
n	1孔あたりヒートパイプ本数	3
λ_{pv}	舗装熱伝導率[W/($^{\circ}\text{C}$)]	1.6
λ_{hp}	ヒートパイプ管材熱伝導率[W/($^{\circ}\text{C}$)]	16
d_{ho}	ヒートパイプ外径[m]	0.0285
d_{hi}	ヒートパイプ内径[m]	0.0265
l_1	ヒートパイプ埋設深[m] = d	0.055
l_2	ヒートパイプ-路面最長距離[m]	0.160
η	熱効率	1

図 6-2 放熱部の熱抵抗計算条件

次に、観測で測定しているのはヒートパイプ放熱部の外側であるので、放熱部の表面温度 T_p を測定している放熱部温度とする場合は、ヒートパイプ管表面から温度センサまでの熱抵抗値分 R を減じることで放熱量を算出できる。この熱抵抗 R_p を円筒の熱抵抗式、

$$R_p = \frac{p}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_o}{d_i} \quad [\text{m}^2\text{C/W}]$$

より、 $d_i=0.0285$ m、 $d_o=0.0295$ m (ヒートパイプ管表面から温度センサまで 1mm を見込む)、 $\lambda=1.6$ W/m°C (コンクリート) の条件から求めると、 0.00105 m²C/W となるので、舗装の熱抵抗 $R = 0.0673 - 0.00105 = 0.0662$ m²C/W となる。

最後に、堆雪と路面との間にも熱抵抗が考えられる。融雪中の路面の熱抵抗値の参考値は路面・消融雪施設設計要領では示されておらず、融雪時の路面温度は 0°C で熱抵抗はゼロとして扱われている。ここでも、堆雪の自重でしっかりと路面に積雪が押し付けられている場合を仮定して、その熱抵抗値をゼロとし路面温度は 0°C として放熱量を算出するものとした。以上を整理すると、放熱量 Q は以下の式で算出される。

$$Q = T_p / 0.0662 \quad [\text{W/m}^2]$$

この式は、堆雪時に路面温度が低くなり、多くの放熱を行うことによって、地中と放熱部の温度差が大きくなる時間帯において成立する。図 6-3～図 6-7 に示した令和 2 年～令和 6 年度放熱量解析結果において、地中 18m 温度と放熱部の温度差がおおむね 5°C 以上開いた時を堆雪時と考えた。

6.2.2. 放熱量算出結果

○放熱量と堆雪時間

過去5年間の観測期間中のヒートパイプ融雪の放熱量と堆雪時間の整理結果をに示す。ヒートパイプ融雪施設の最大放熱量は約100 W/m²、最小放熱量は約70 W/m²、平均放熱量は85 W/m²と算定された。放熱量は各年度若干のばらつきはあるものの、概ね一致する値を示した。堆雪時間の集計結果は、令和2年度が最も長い702時間、令和4年度が最も短い347時間、その他の年度は560～570時間程度であった。各年度の堆雪時間を平均すると、1年あたりの堆雪時間は551時間と算定された。

算出した平均放熱量と堆雪時間を積算することで、各年度の累計の放熱量を算定した。令和2年度では最大の61.4 kwh/m²、令和4年では最小の28.6 kwh/m²、その他の年度では47～50 kwh/m²程度の放熱が行われた計算結果となった。

表 6-2 年度別放熱量算定結果

	最大放熱量 (W/m ²)	最小放熱量 (W/m ²)	平均放熱量 (W/m ²)	堆雪時間 (h)	放熱 (kwh/m ²)
令和2年度	105	70	87.5	702	61.4
令和3年度	100	65	82.5	574	47.4
令和4年度	95	70	82.5	347	28.6
令和5年度	100	75	87.5	572	50.1
令和6年度	105	65	85.0	560	47.6
平均	101	69	85.0	551	46.8

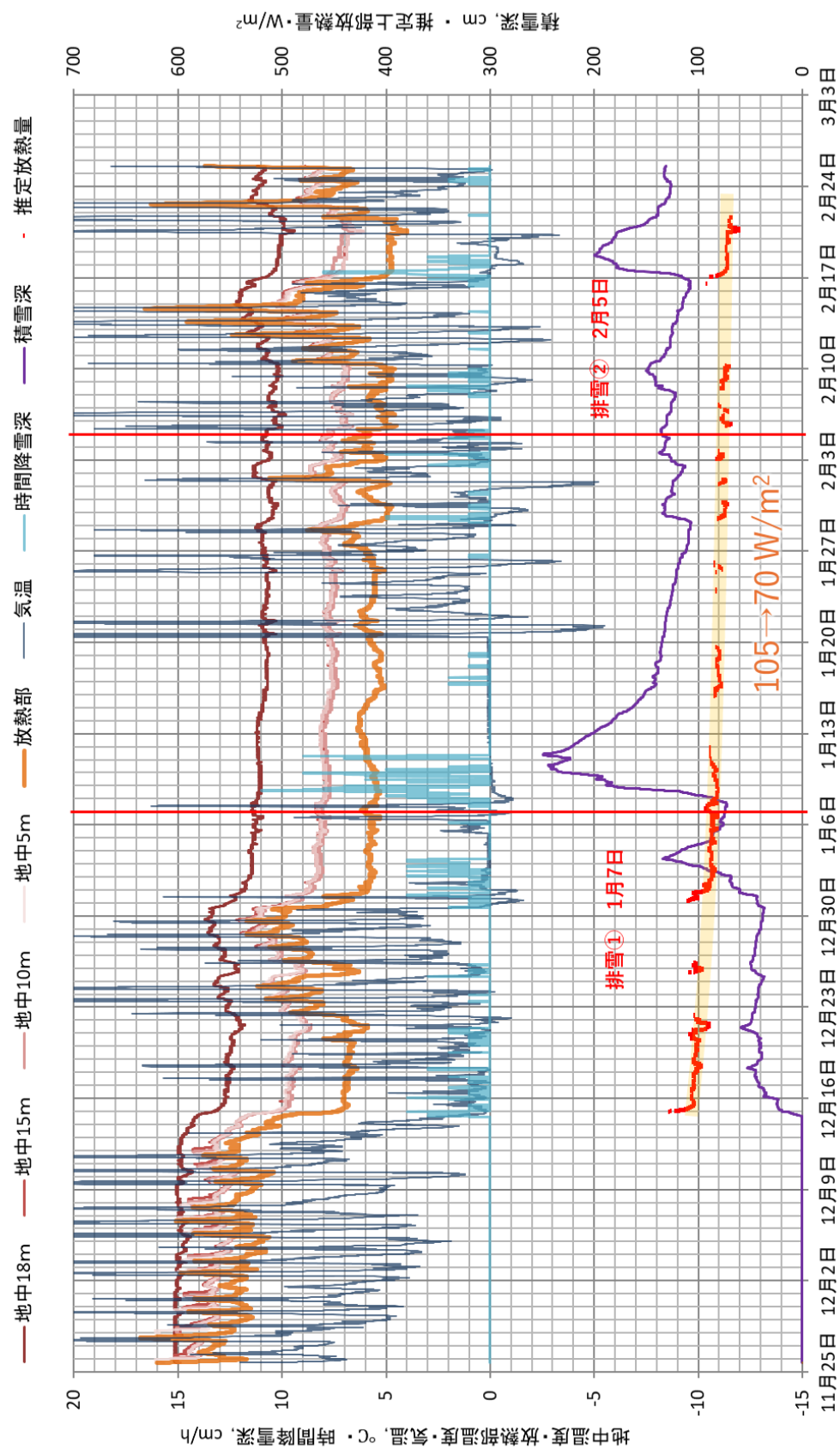


図 6-3 令和2年度 放熱量解析結果

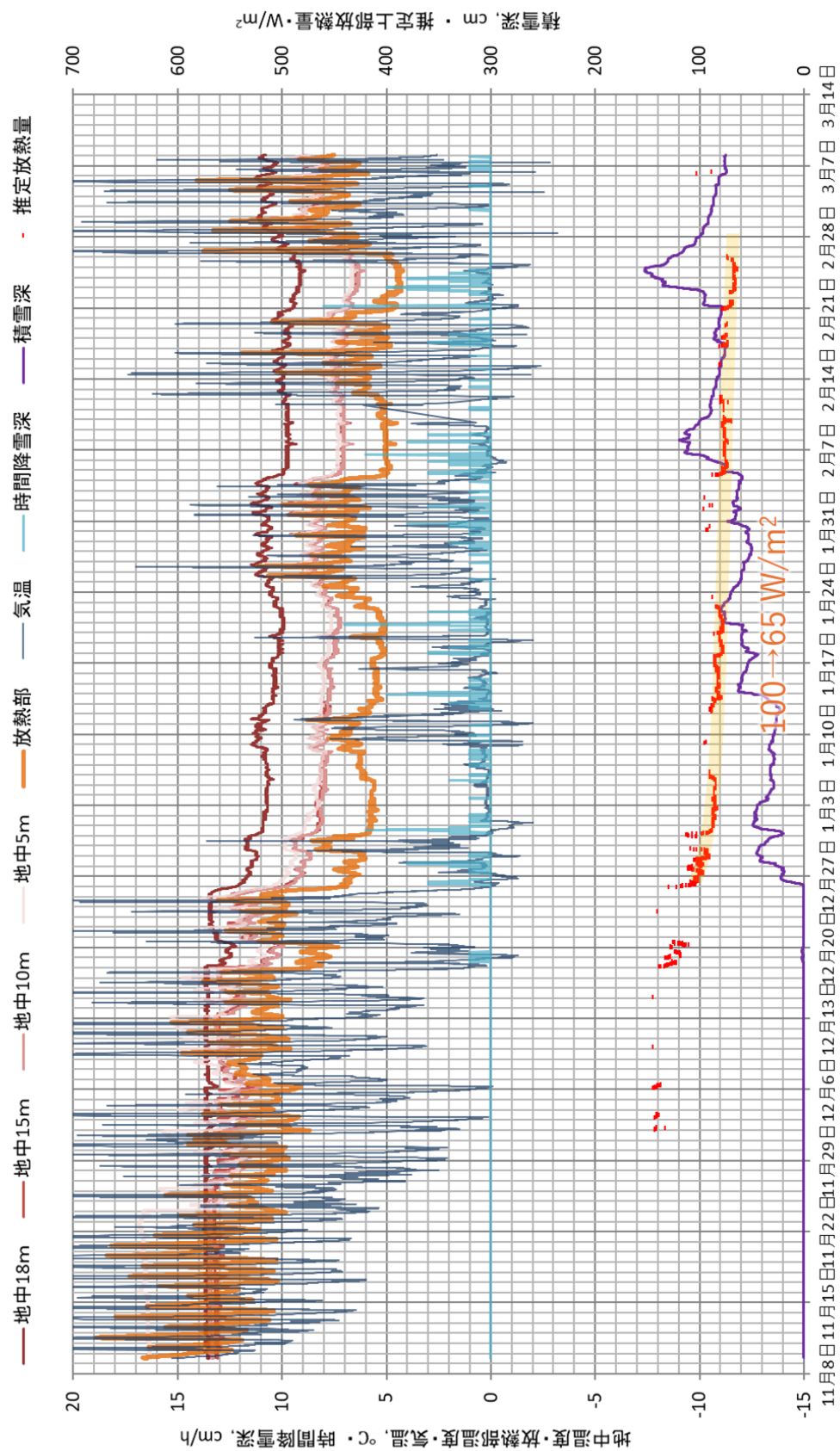


図 6-4 令和 3 年度放熱量解析結果

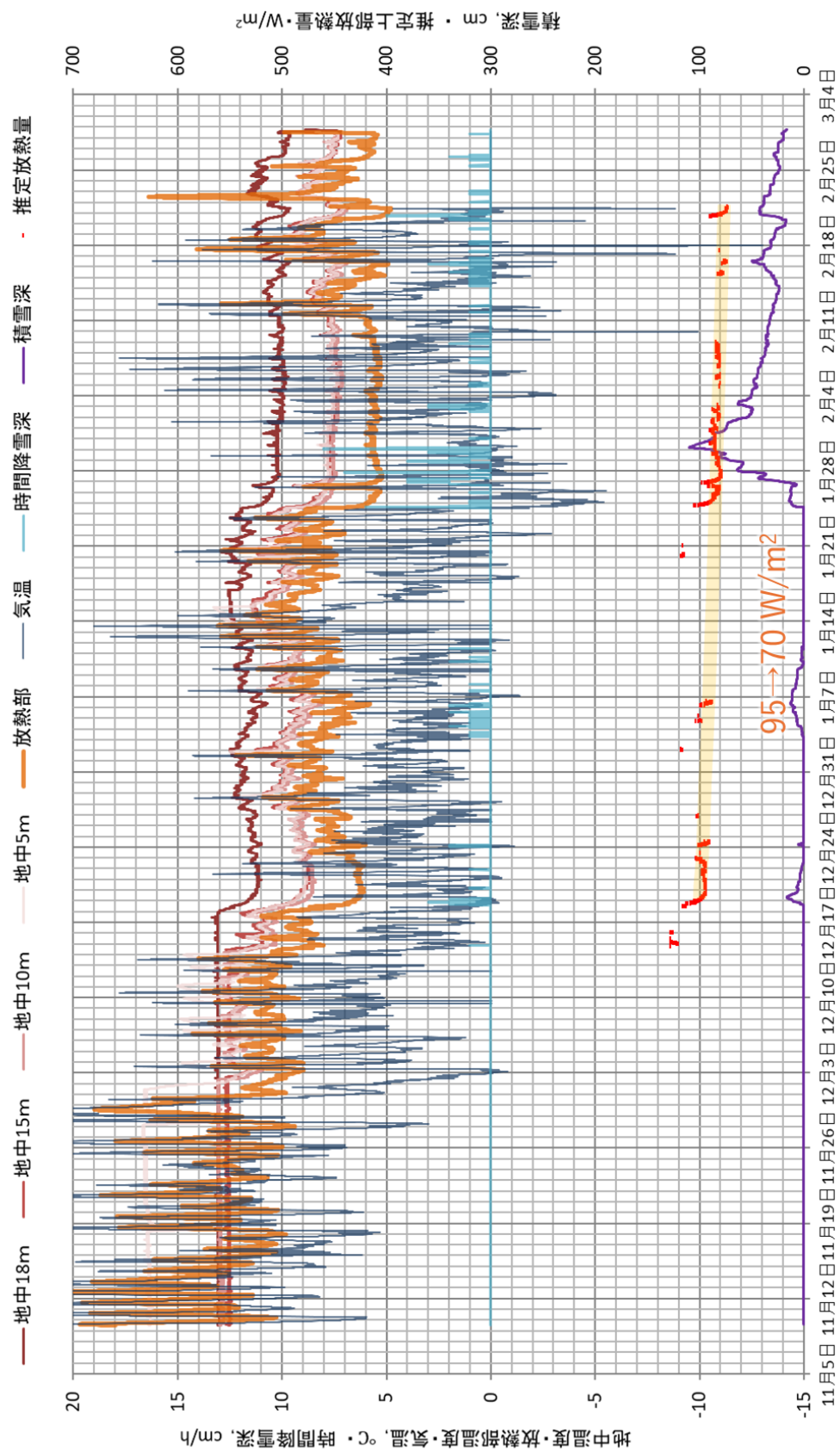


図 6-5 令和 4 年度放熱量解析結果

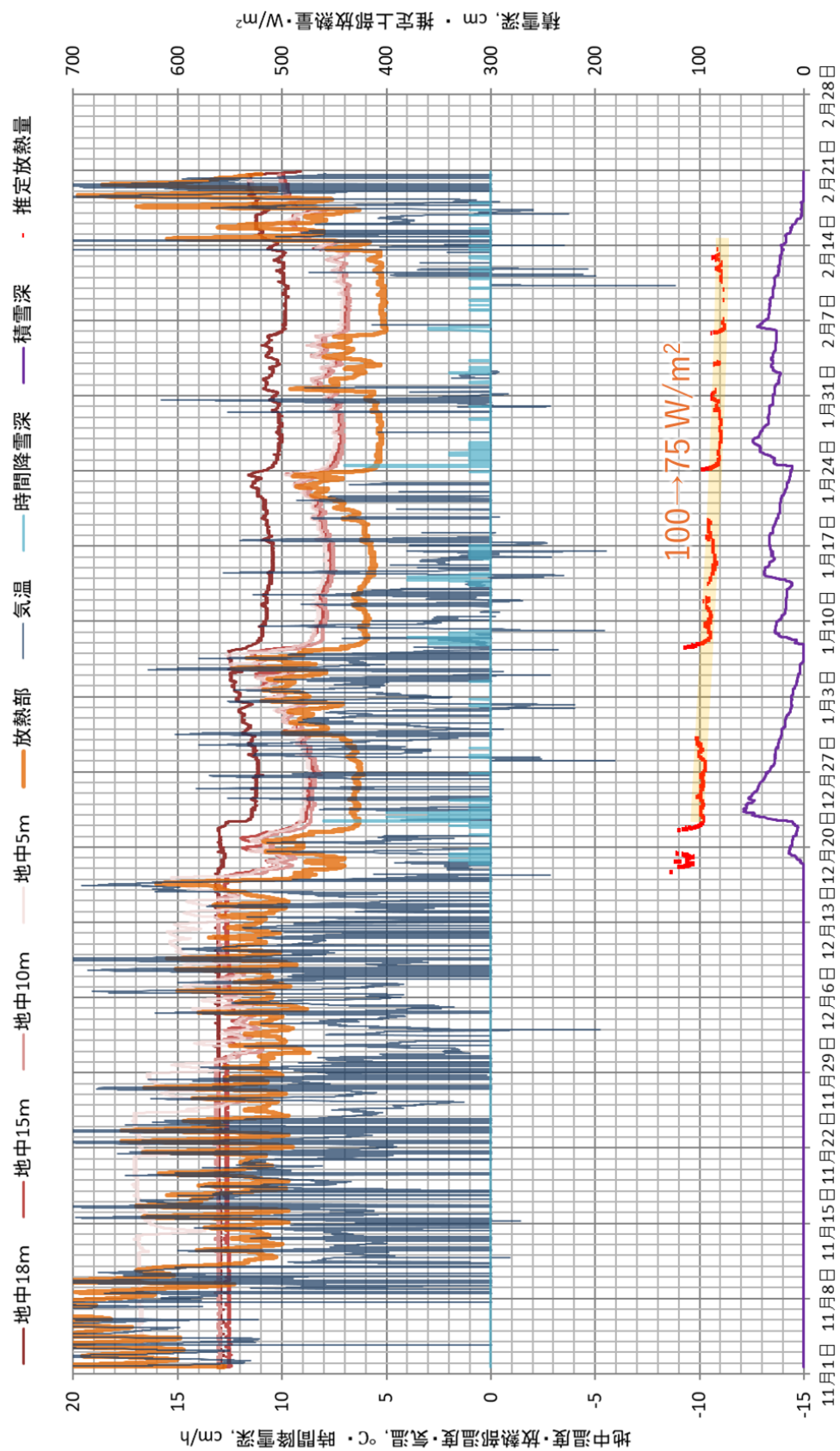


図 6-6 令和 5 年度放熱量解析結果

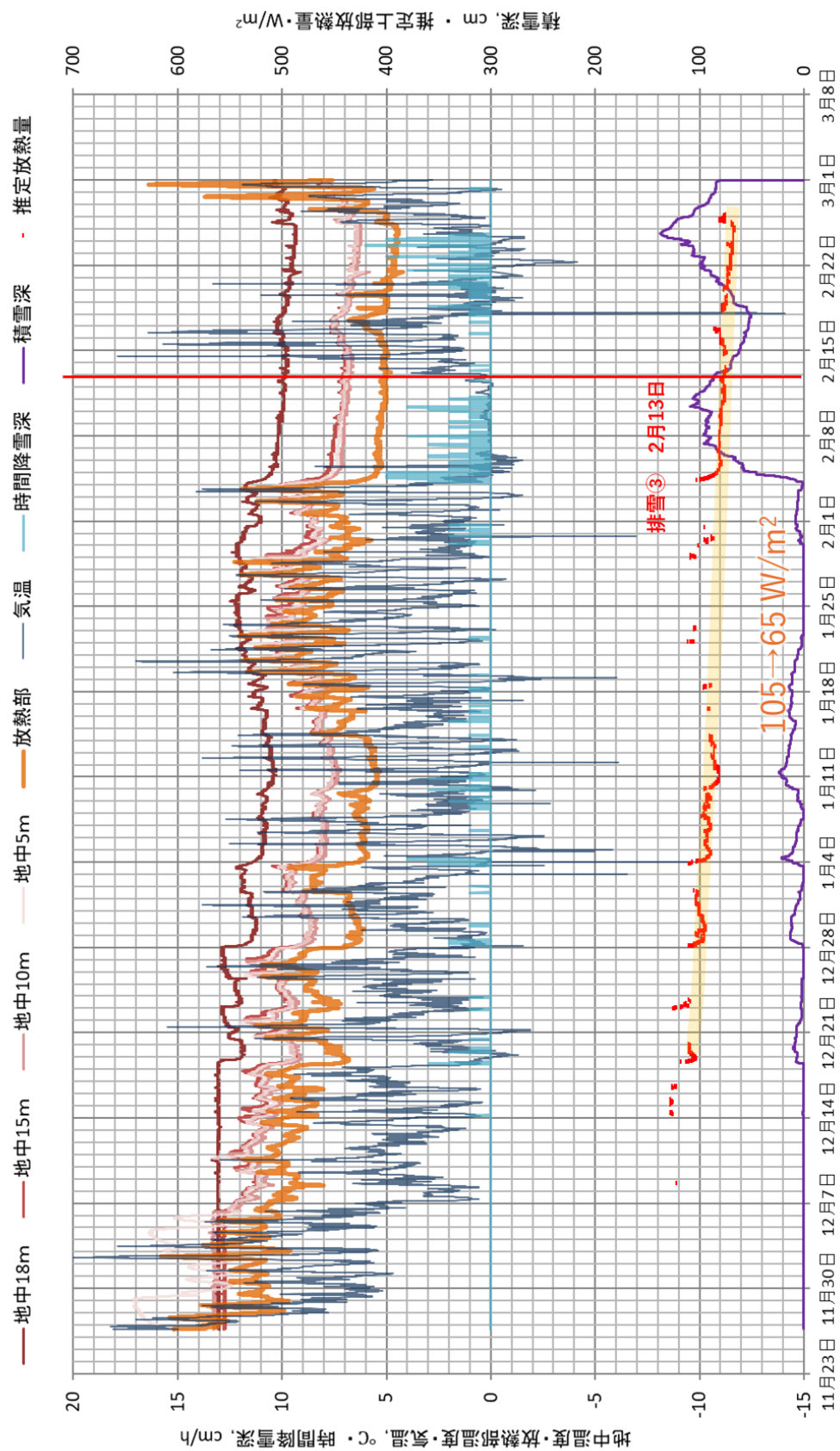


図 6-7 令和 6 年度放熱量解析結果

7. ヒートパイプ導入による経済効果

現在地中温度観測は東面のみで行っている。このため、本章では東面で観測していた 300 mm ピッチで敷設したユニットと同等の融雪能力で放熱したものと設定し、経済性の検討を行った。

7.1. 排雪処理に係る経済性

7.1.1. 排雪量の算定

堆雪場に高さ 2.0m、裾角度 40° の四角錐台の雪山を堆雪した際に 1 回排雪すると仮定する。この場合の 1 回当りの排雪量は下記の通り算出される。堆雪の形状と排雪量算定結果を図 7-1、表 7-1 に示す。

$$\begin{aligned} \text{排雪量 } t &= \text{堆雪体積 (m}^3\text{)} \times \text{圧雪の密度 } 0.5 \text{ (t/m}^3\text{)} \\ &= (193.68 + 101.76) \times 0.5 = 147.72 \text{ (t)} \div \underline{\underline{148t}} \end{aligned}$$

表 7-1 四角錐台での排雪量算定結果

高さ 2.0m	西面	東面
上辺 a	20.2m	7.2m
上辺 b	1.8m	2.7m
下辺 A	25.0m	12.0m
下辺 B	6.6m	7.5m
体積 V(※)	193.68m ³	101.76m ³
排雪量 t	96.8 t	50.8 t
合計	148 t	

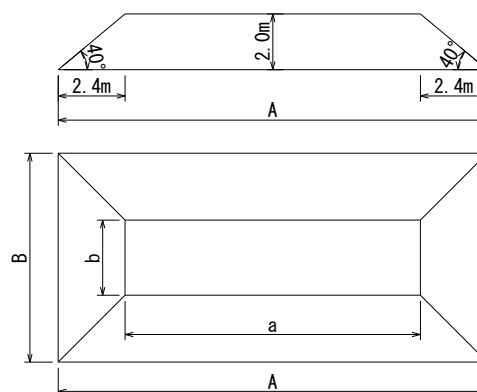


図 7-1 四角錐台形状

※オベリスクの定理 $V = h/6 \times (Ab + aB + 2(ab + AB))$

7.1.2. 排雪の経済性

表 7-2 に上越市ガス水道局から提供頂いた令和 7 年 2 月 13 日の排雪の価格を表 7-2 に示す。排雪に丸一日要し、除雪ドーザ 2 種、10t ダンプ 4 台、人力作業と交通誘導員各 1 名を使用した。令和 6 年度単価にて排雪費用を集計すると税込みで 73 万円であった。

表 7-2 令和 6 年度 排雪 1 回当たりの金額

項目	単価(円)	時間(h)	数量(台、人)	金額(円)
除雪ドーザ	33,200	0.5	1.0	16,600
	29,900	6.0	1.0	179,400
10t ダンプ	13,200	8.0	4.0	422,400
人力	3,400	8.0	1.0	27,200
誘導員	2,400	8.0	1.0	19,200
合計				664,800
税込				731,280

7.2. 融雪に係る経済性

7.2.1. 融雪量の計算

6.2「融雪能力解析」にて算定した放熱量より、堆雪の融雪量を算定した。本試算は 300mm ピッチ敷設パターン¹⁾の放熱量を適用した計算結果であり、実際の融雪量はもう少し大きくなると推察される。

数式 7-1～数式 7-2より施設全体の放熱量及び融雪量を算定した。計算結果を表 7-3 に示す。

数式 7-1 放熱量(MJ) = 単位面積当たりの放熱量(kWh/m²) × 全体面積 249(m²) × 3.6(※)

数式 7-2 融雪量(t) = 放熱量(MJ) ÷ 氷の融解潜熱 0.334(MJ/kg) ÷ 1000

※1.0kWh = 3.6MJ

表 7-3 融雪量算定結果

	単位面積当たり放熱量(kWh/m ²)	放熱量(MJ)	融雪量(t)
令和 2 年度	61.4	55,000	165
令和 3 年度	47.4	42,000	126
令和 4 年度	28.6	26,000	78
令和 5 年度	50.1	45,000	135
令和 6 年度	47.6	43,000	129

平均	46.8	42,000	126
----	------	--------	-----

7.2.2. 融雪の経済性

施設導入による融雪量は令和2年度に最大で165 t、令和4年度に最小で78 t、その他の年度で約130 tであった。これに対して1回当りの排雪量は148 tであり、堆雪期間が短い令和4年度を除いて、排雪量の90%～110%の堆雪を融雪できていたものと考えられる。従って1回分の排雪量を削減できていたと評価できる。令和6年度の1回当りの排雪費用は73万円であることから、5年間で365万円分の費用を削減したものと評価できる。

7.2.3. 融雪量と排雪回数

写真7-1～写真7-2に令和3年度の堆雪状況及び令和6年度の排雪直前の雪山の状況を示す。令和4年2月24日の雪山と排雪直前の雪山は概ねサイズが一致していた。令和4年度は排雪を1回も行っていないが、堆雪場融雪が無かった場合の堆雪期間中の排雪の必要性を検討した。令和4年の1月21日時点の雪山作成後、再び雪山が大きくなる2月24日までの間の融雪量を算定した。算定には西面融雪面積164 m²、6.2「融雪能力解析」にて算定した令和3年度の平均放熱量82.5 W/m²を使用し、計算日数は34日とした。

$$\text{放熱量(MJ)} = 164(\text{m}^2) \times 82.5(\text{W/m}^2) \times 816(\text{h}) \div 1000 \times 3.6 \div \underline{\underline{39,700(\text{MJ})}}$$

$$\text{融雪量(t)} = \text{放熱量 } 39,700(\text{MJ}) \div \text{氷の融解潜熱 } 0.334(\text{MJ/kg}) \div 1000 \div \underline{\underline{119(\text{t})}}$$

一度堆雪場に雪山を作成した後、再び堆雪するまでの間に西面1回当りの排雪量の約1.2倍の雪を融かしている計算結果となった。堆雪場融雪が無ければ、雪山の融雪が間に合わず、排雪が1回必要であった可能性が示された。



写真 7-1 左：令和 4 年 1 月 21 日堆雪状況 右：令和 4 年 2 月 3 日堆雪状況



写真 7-2 左：令和 4 年 2 月 24 日堆雪状況 右：令和 7 年 2 月 13 日排雪前堆雪状況

8. 将来可能性について

8.1. 堆雪場融雪の効果について

地中ヒートパイプ利用堆雪場融雪は年間 1 回分の排雪量と同等の融雪効果を発揮していた。年間 1 回分の排雪費用を削減可能であり、令和 6 年度単価において削減費用は 73 万円と試算された。作業費用が年々高騰している昨今の情勢を考えると、費用削減効果は年々上昇していくものと推察される。また、堆雪場として活用されていないタイミングでは、路面の雪を融かし、駐車スペースの確保に貢献していたことが確認できた。

8.2. ユニット配置パターンによる堆雪場融雪効果の比較

これまでの融雪状況観測記録より、堆雪場の雪山は、堆雪の少ない周囲から順当に融け、配置パターンごと融雪能力の差異は確認できなかった。このため、200 mm ピッチと 300 mm ピッチで排雪回数が明確に変わる程の融雪能力差が無いと考えられる。堆雪場融雪として運用するのであれば、単位面積当たりの放熱量は減少するが、採熱孔 1 本あたりの融雪面積を大きくすることができる 300 mm ピッチの融雪パターンの方が 200 mm ピッチの融雪パターンよりも経済的に有利に施工できると評価することができる。

降雪量が少なく堆雪場として活用していない状態での融雪効果においては、1～2 時間程度 200mm ピッチの融雪パターンの方が早く雪を融かしている状況が確認されていた。300 mm ピッチの融雪パターンでも時間差があるものの、全面の雪を融かすことができるため、融雪能力に不足はなかった。融雪施設としての機能も求めるのであれば、200 mm ピッチの融雪パターンの方が望ましいと考えられる。

8.3. 持続可能な地中熱利用堆雪融雪について

図 8-1 に堆雪場融雪の地中熱利用状況を示す。堆雪がある場合、雪を融かすためにヒートパイプが長時間連続放熱し、緩やかに採熱部温度が低下し続けていることが確認された。シーズンオフ後の地中温度の回復状況は、融雪施設運用前の令和 2 年 11 月の地中温度 15℃程度に対して、他年度の 11 月の地中温度は 13℃まで回復していることが確認された。冬季シーズンに低下した地中温度が例年 13℃まで回復していることから、地中熱ヒートパイプ利用堆雪場融雪は持続利用可能と評価することができる。また、自然状態の地中温度 15℃から 2℃の温度低下で堆雪場の雪を融かしていると考えられる。

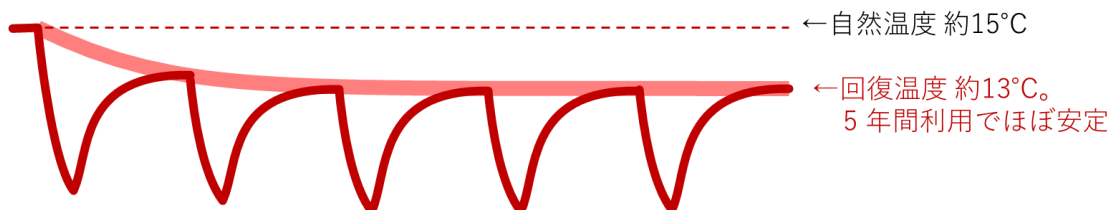


図 8-1 持続可能な地中熱利用状況

9. まとめ

本業務は、ガス水道局新庁舎敷地において設置されているヒートパイプ方式による堆雪場融雪施設の効果を確認するため、地中温度の観測、サーモグラフィによる表面温度観測及び定点カメラによる融雪状況の観測を令和2年度～令和6年度の冬季5年間実施し、堆雪場融雪の有用性及び経済性の検証を行ったものである。

本施設は西面164m²、東面85m²の2エリアからなるヒートパイプ方式堆雪場である。この融雪施設は経済的なヒートパイプの配置案を検証する実証試験であり、ヒートパイプを通常幅(200mm)ピッチで敷設するユニットと1.5倍幅(300mm)にて設置したユニットの2種類のパネルが存在する。地中温度観測を実施している東面(300mmピッチ敷設ユニット)の観測データをもとに放熱能力、放熱量及び融雪量を解析し、排雪量との比較を行った。

地中温度の観測結果より、5年間の堆雪時間の年平均は551時間で平均放熱量は85 W/m²と求められた。本検討にて設定した1回当たりの排雪量は148 tであり、放熱量から算出される融雪量は、堆雪時間が短かった令和4年度を除いて、排雪量の90～110%に相当した。このため、概ね年1回の排雪回数と作業費用73万円を削減できたと評価できる。

これまでの融雪状況観測結果より、ヒートパイプの配置パターンによる堆雪融雪に能力差は見られなかった。堆雪場融雪として運用するのであれば、単位面積当たりの放熱量は減少するが、採熱孔1本あたりの融雪面積を大きくすることができる300mmピッチの融雪パターンの方が200mmピッチの融雪パターンよりも経済的に有利に施工できると評価することができる。

これまでの地中温度観測において、堆雪場融雪が長期化すると地中温度が低下し続け、観測期間終了時点で観測開始時点の温度まで回復していない状態が見られた。過去5年間の観測において、シーズンイン時点には例年13℃程度まで地中温度は回復しており、地中熱ヒートパイプ利用堆雪場融雪は持続利用可能と評価することができる。

表 9-1 施設概要・解析結果

項目		結果
融雪形式		地中ヒートパイプ利用堆雪場融雪
融雪面積	西面	164m ²
	東面	85m ² (48m ² +37m ²)
平均放熱量		平均 85W/m ²
平均堆雪時間		551 時間/年
1 回当たりの排雪量		148t
融雪量		R2 : 165 t R3 : 126t R4:78t R5:134t R6:129t
削減費用		年間当り排雪 1 回分 73 万円 (R6 単価)