

## 雪堆積場の雪冷熱利用技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究機関：平 23～平 26

担当チーム：寒地機械技術チーム

研究担当者：片野浩司、山口和哉、永長哲也、  
平地一典、

### 【要旨】

再生可能エネルギーである雪冷熱エネルギーの利用は、地方自治体、民間等によってこれまでも検討され一部で実用化されているものの、集雪コストが嵩むことが課題であった。また、屋外で雪を保存し冷熱エネルギーを利用する方法については技術的に体系化されていないという課題がある。一方、道路除排雪には、札幌市など都市部の雪堆積場の確保が年々困難となり、遠隔地化しているため排雪ダンプトラックの輸送距離が長くなり、運搬排雪コストが増大しているといった課題がある。

このような背景から、雪冷熱エネルギーの利用促進及び運搬排雪コストの削減を図るため、道路排雪を用いた冷熱エネルギーの採熱実験を行い、その結果などをもとに雪冷熱を効率的に利用するためのガイドラインを作成した。

キーワード：雪堆積場、雪冷熱エネルギー、再生可能エネルギー、運搬排雪

### 1. はじめに

わが国の面積の 51%は豪雪地帯であり、雪は貴重な冷熱エネルギー源である。雪冷熱エネルギーは、「新エネルギーの利用等の促進に関する特別措置法」において、新エネルギーに位置付けられている。新エネルギーとは再生可能エネルギーのうち、その普及のために支援を必要とするものであり、これを推進する取組は、東日本大震災以降活発化している。また、平成 24 年 3 月に「豪雪地帯特別措置法」が改正され、雪冷熱エネルギー活用促進にかかる規定が追加された。

雪冷熱エネルギーの利用にあたっては、地方自治体、民間等で冬期に施設近傍で集めた雪を夏期の冷房に使用するなど、これまでも検討され、一部で実用化されているものの雪を集めるコストが大きいという課題があった。

また、利用する場合でも、屋外で雪を保存し雪冷熱エネルギーを利用する方法については技術的に体系化されていないという課題がある。

一方で、道路管理者は、札幌市など都市部での雪堆積場（道路除雪によって堆積した雪の運搬先）の確保が年々困難となり、遠隔地化しているため、雪を積んだダンプトラックの輸送距離が長くなることによって、運搬排雪コストが増大しているという課題に直面している。

そこで、雪堆積場の雪を冷熱エネルギーとして利用することにより雪堆積場を近距離化し、運搬排雪コストの削減を図るため、屋外雪山からの雪冷熱エネルギー利用技術を体系化する検討を行った。

### 2. 雪冷熱エネルギーの利用実態及び導入事例の分析

#### 2. 1 雪冷熱エネルギー活用施設の利用実態

雪冷熱エネルギーの活用事例について整理した。

全国での雪冷熱エネルギーの活用施設数は 140 施設であり、北海道では 65 施設ある（表-1）。北海道での施設の内、雪利用は 43 施設あるが、雪堆積場での活用につながると思われる屋外での利用は 6 施設のみで、ほとんどは屋内（貯蔵庫）での活用となっている（表-2）。

表-1 雪冷熱エネルギー活用施設数及び方法 (H22.6 現在)

	施設数	雪利用	氷利用	雪・氷併用利用	その他
北海道	65	43	14	5	3
青森県	3	3	0	0	0
岩手県	5	5	0	0	0
秋田県	5	5	0	0	0
山形県	16	16	0	0	0
福島県	6	6	0	0	0
新潟県	34	34	0	0	0
長野県	1	0	0	0	1
岐阜県	4	4	0	0	0
鳥取県	1	1	0	0	0
合計	140	117	14	5	4

表-2 雪冷熱エネルギー導入事例（屋外での利用） (H22.6 現在)

市町村	設置者・事業主体	施設名	利用方法
沼田町	沼田町	沼田式雪山センター	貯雪
美唄市	(有)貞広農場	玄米貯蔵コンテナ冷水循環保冷装置	冷水循環
岩見沢市	北海道岩見沢農業高等学校	畜産冷房施設「雪鶏」	貯雪
岩見沢市	岩見沢市	岩見沢市高齢者福祉センター	冷水循環
千歳市	東京航空局新千歳空港事務所・セントラルリーディングシステム(株)	雪山方式冷熱供給システム	冷水循環
苫小牧市	トヨ自動車北海道(株)	冷房装置	冷風循環

## 2. 2 雪冷熱利用アンケート調査

北海道開発局の協力のもと札幌開発建設部管内の32市町村に対し雪氷冷熱利用に関するアンケートを行った<sup>1)</sup>。

アンケートの結果、新エネルギーの導入に関しては予定も含め21件あり(図-1)、その中でも雪氷冷熱は11件と太陽光・太陽熱に次いで多く導入されていた(図-2)。

雪氷冷熱を導入(予定含む)している11市町村に対し、雪の確保の方法についてアンケートしたところ、周辺の雪を利用しているのが9件で、道路の除排雪利用はほとんど無かった。

また、雪氷冷熱利用における問題点については、初期投資や維持管理コストに関するものが18件、ついで、雪の確保、堆積・投入、保存、雪堆積地の土地の確保など、雪堆積場に関するものが12件であった。国道の除排雪利用に関しては、条件が合えば、きれいな雪であればという前提ではあるが、5件の利用したいとの回答を得た(図-3)。

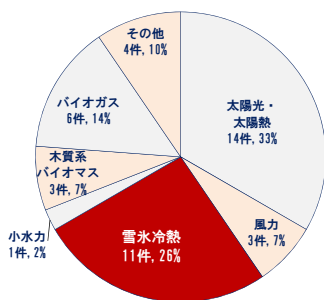
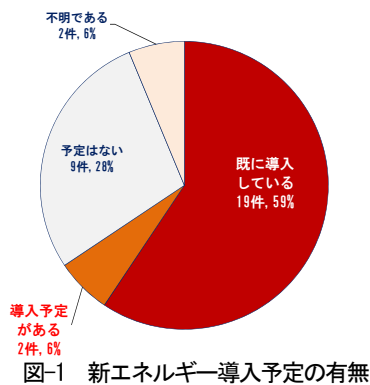


図-2 導入(予定含む)新エネルギーの種類

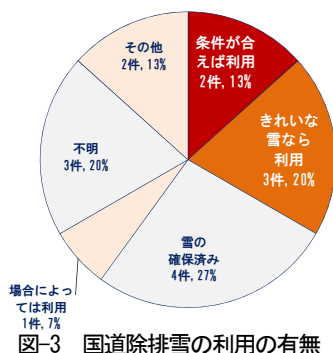


図-3 国道除排雪の利用の有無

## 3. 雪山による採熱実験

平成24~26年の3年間、北海道美幌市において実験雪山を造成し採熱の方法や箇所の違いによる採熱効果の検証を行った。また、屋外雪山の断熱方法として、土木工事等で発生する伐採小木などを粉砕したパーク材を使用した(写真-1)。パーク材は30cmの厚さで雪山に被覆した場合、外気や日射による雪山の融解量を一夏で約1.5mにとどめる効果があることが報告されている<sup>2)</sup>。



写真-1 パーク材(左: 粉碎前、右: 粉碎後)

### 3. 1 平成24年度の基礎実験

平成24年度は、表-3に示す4基の雪山を造成した。また、効率的な採熱箇所を検討するため、雪山下面の地中部について地中温度の測定も行った。

表-3 H24 実験雪山の種類

名称	実験種類	雪の種類	雪山規模
実験雪山A	全空気式	道路排雪	底辺×高さ 12.0×3.5m
実験雪山B	冷水循環式		勾配比 1.3:1.0
実験雪山C	自然融解(比較用)	新雪	体積(重量) 218m <sup>3</sup> (142t)
実験雪山D			雪密度 0.65t/m <sup>3</sup>

#### 3.1.1 H24 実験雪山A (全空気式)

雪山下部にグレーチングで蓋をしたトラフを設置することで、空気の通り道を確保し、トラフに接続したダクトを経由して雪山内部空洞で直接熱交換し冷却された空気を、送風ファンによって実験庫に供給するシステムとした(図-4)。

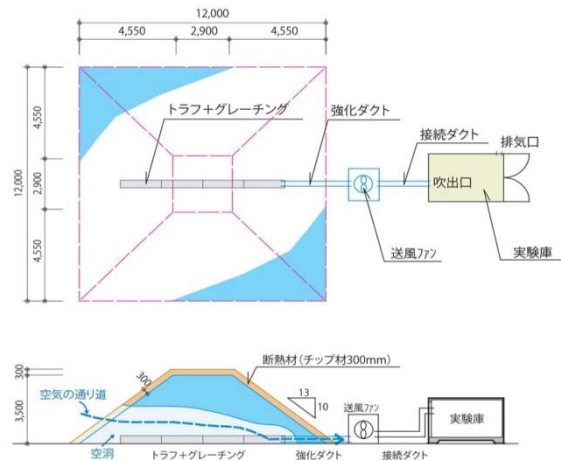


図-4 全空気式配置図

全空気式の実験雪山Aの体積は、表-4に示すとおり、実験開始時は198m<sup>3</sup>であったが、実験終了後(7/5)に計測したところ34m<sup>3</sup>であった。

また、雪山の融解量から得られる全体の雪山冷熱エネルギー量は、雪密度(0.65t/m<sup>3</sup>)、融解潜熱(334.88MJ/t)を用いて計算すると35,698MJとなった。

表-4 H24 実験雪山A(全空気式)の融解量

	雪山体積 (m <sup>3</sup> )	冷熱エネルギー量 (MJ)
平成24年5月23日	198	43,099
平成24年7月5日	34	7,401
融解量	164	35,698

全空気式は、外気温の影響で冷房温度が大きく変動した。図-5に示すとおり実験庫の吹出口温度と外気温の差は、実験当初は10℃あったが、時間の経過とともに、雪山内部の空洞の成長拡大により採熱が困難となり、外気温と差がなくなった段階(6/24)で、実験を終了した。実験期間(5/25~6/24)中の温度差は平均3.5℃となった。

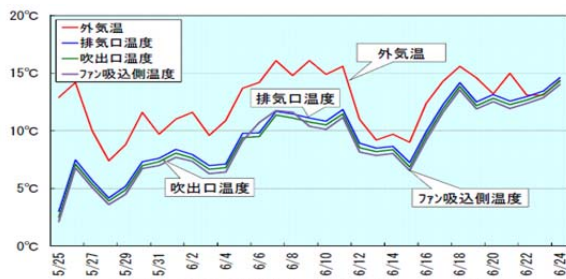


図-5 H24 実験雪山 A(全空気式)の冷房

5/25~6/24の実験期間(31日間)の全空気式の冷熱エネルギー量の推移を図-6に示す。

実験用雪山から実際に得られた冷熱エネルギー量は、外気温とファン吸込側温度の差とファン風量(2100m<sup>3</sup>/h)から、7,715MJとなった。

よって、雪山融解量から得られる雪山冷熱エネルギー量と取得冷熱エネルギー量の比である有効率は、7,715/35,698=21.6%であった。

しかし、雪山内部に空気の通り道を設けると、予想以上に融解が進み1カ月程度しか冷熱の採取ができず、採熱期間を確保することが難しいこともわかった。



図-6 H24 実験雪山A(全空気式)の取得冷熱エネルギー量

なお、取得冷熱エネルギー量(時間あたり)は以下の計算式で算出した。

[全空気式]  $Q = q \times \Delta T \times c \times \rho$   
 $Q$ : 全空気式の冷熱エネルギー量(MJ/h)  
 $q$ : ファン風量(m<sup>3</sup>/h)  
 $\Delta T$ : 温度差(°C)  
 $c$ : 空気の比熱(0.24×4.186MJ/kg°C)  
 $\rho$ : 空気の密度(1.293kg/m<sup>3</sup>)

### 3.1.2 H24 実験雪山B(冷水循環式)

雪山下部に設置した集水樹に融解水を集水し、地中埋設管を経由し、採水樹より水中ポンプで実験庫の送風機(FCU:ファンコイルユニット)に送水する。また、送風機に供給する水の不足がないよう送風機に供給した冷水は、戻り配管によって雪山下面に戻し循環させるシステムとした(図-7)。

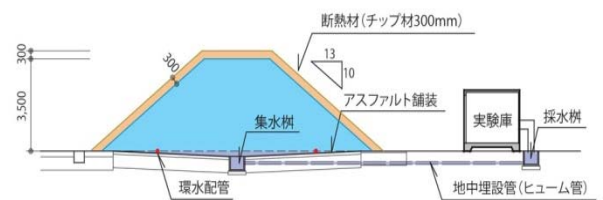
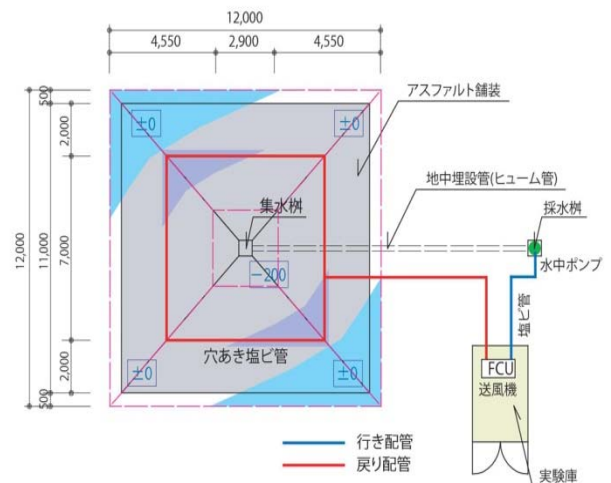


図-7 冷水循環式配置図

冷水循環式の実験用雪山の体積は、表-5に示すとおり、実験開始時は183m<sup>3</sup>であったが、実験終了後の9/26に確認を行ったところ0m<sup>3</sup>であった。

また、雪山が有する全体の雪山冷熱エネルギー量は、雪密度(0.65t/m<sup>3</sup>)、融解潜熱(334.88MJ/t)を用いて計算すると39,834MJとなった。

表-5 H24 実験雪山B(冷水循環式)の融解量

	雪山体積 (m <sup>3</sup> )	冷熱エネルギー量 (MJ)
平成24年5月23日	183	39,834
平成24年9月26日	0	0
融解量	183	39,834

冷水循環式は、外気温の影響をほとんど受けず冷房温度が概ね一定であり、平均1.6°Cの冷水を実験庫に供給した。そして、行き配管温度が上昇し始めた9/26で実験を終了した。

実験期間(5/25~9/26)を通しての実験庫のFCU吹出口温度と外気温の差は平均16.7°Cとなった。また、実験庫の行き配管温度と戻り配管温度の差は平均0.1°Cであった(図-8)。これは、実験庫の断熱性能が高く、また密閉されていたため、実験庫内が外気温の影響を受けにくく熱負荷が小さい状態であったためと思われる。

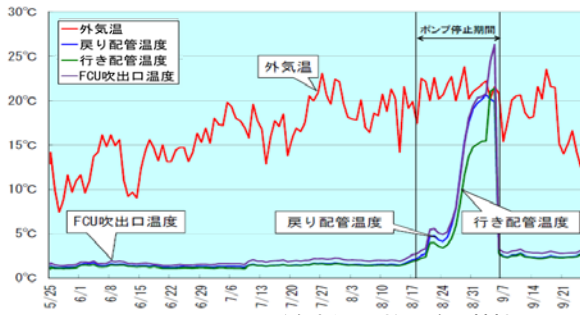


図-8 H24 雪山B(冷水循環式)の冷房特性

5/25~9/26の実験期間(125日間)の冷水循環式の冷熱エネルギー量の推移を図-9に示す。

実験用雪山から得られた冷熱エネルギー量は、外気温と雪山下部集水桝温度の差とポンプ流量(1,800m³/h)から、16,218MJとなった。

雪山融解量から得られる雪山冷熱エネルギー量と取得冷熱エネルギー量の比である有効率は、16,218/39,834=40.7%となり、冷水循環式は雪山を効率的に使っている。

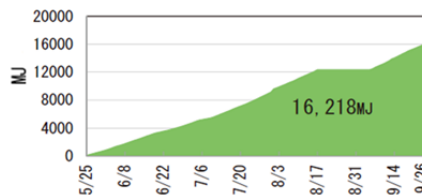


図-9 H24 実験雪山B(冷水循環式)の取得冷熱エネルギー量

なお、取得冷熱エネルギー量(時間当たり)は以下の計算式で算出した。

$$[冷水循環式] Q = q \times \Delta T \times c \times \rho$$

Q: 冷水循環式の冷熱エネルギー量(MJ/h)

q: ポンプ流量(L/h)

ΔT: 温度差(°C)

c: 水の比熱(1.0×4.186MJ/kg°C)

ρ: 水の密度(1.0kg/L)

### 3.1.3 雪山下面(地中)の温度

平成24年度実験では雪山下面の地中部を採熱箇所として利用できるかについての確認実験も行った(図-10)。

雪有(実験雪山Cの下面)から得た温度計測結果から、雪無に比べて地中温度が低く抑えられていることが確認された。

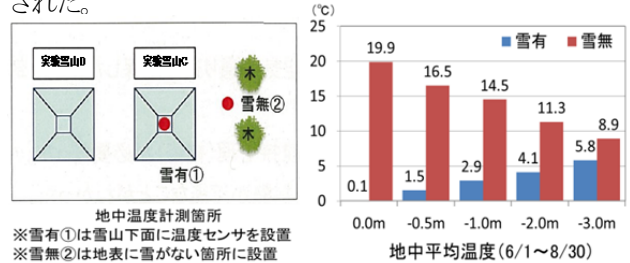


図-10 H24 雪山下面(地中)の温度

### 3.1.4 H24 基礎実験まとめ

◆冷熱の採取方式として全空気式を用いた場合、冷熱エネルギーの採取量は外気温の影響で大きく変動するが、冷水循環式ではほぼ一定の冷熱エネルギーを採取できた。

◆全空気式では、雪山内部に設置したトラフ周辺からの融解が進行し、雪山の空洞化が促進された。このため、実験雪山は崩落などの形状変化を起し、システムの維持管理が困難であることが判明した。

◆地中部の温度特性から雪山下面が採熱箇所として有利であることがわかった。

## 3.2 平成25年度の実証実験

平成24年度の基礎実験で雪山内部にトラフ等の構造物を設置した場合、雪山内部からの融解を促進し、雪山の局所的な崩壊による断熱材の補充などの作業が多く生じた。平成25年度の実験は雪山内部からの冷熱を採取しない、雪山下面・雪山表面の2箇所からの採熱方法とし、雪山の設計及び造成を行った。

実験規模・配置は表-6、図-11、12に示すとおりである。

表-6 H25 実験規模

名称	実験種類	採熱箇所 採熱面積	採熱管種類	雪山規模
実験A	冷水循環式	雪山下面 5.0*10.0m	架橋ポリエチレン管 (13A)	場所美幌市東明 寸法34m*22m*4m(高) 勾配比1.3:1.0 体積2,000m³ 形状四角錐台 断熱材バーク材(t=300mm)
実験B	冷水循環式	雪山下面 5.0*10.0m	架橋ポリエチレン管 (13A)	
実験C	全空気式	雪山下面 5.0*10.0m	波付ポリエチレン管 (200A)	
実験D	全空気式	雪山表面 9.56*10.0m	排水性舗装用導水管 (35A)	

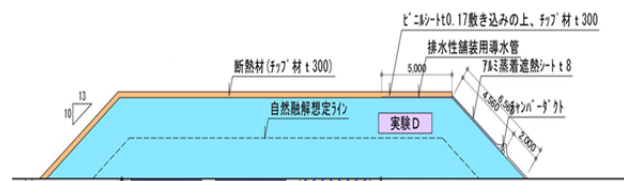


図-11 H25 実験用雪山断面図

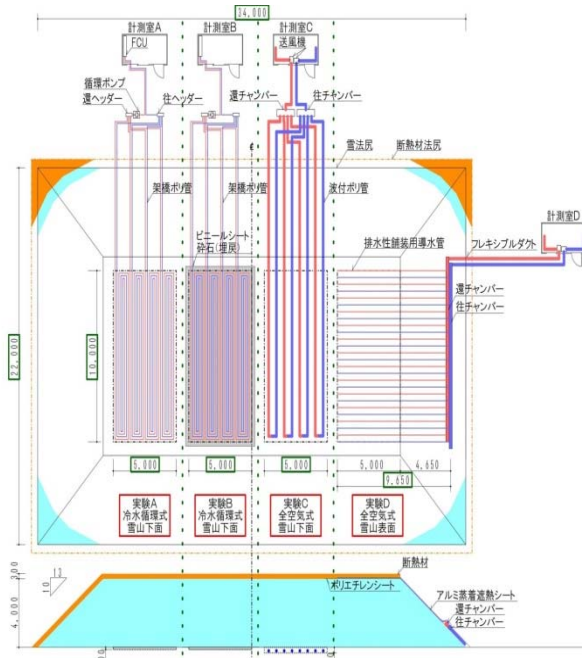


図-12 H25 実験用雪山配置図

### 3.2.1 H25 実験 A (冷水循環式)

実験 A は、100mm 掘削した地面に架橋ポリエチレン管を敷設し、掘削土砂で埋め戻しを行った。

雪山から地中への熱伝達による温度低下と融解水の浸透による採熱配管周囲の温度低下を利用して、架橋ポリエチレン管で熱交換した水を循環ポンプにて計測室内の FCU に送水し、再度雪山に戻すシステムである (図-13)。

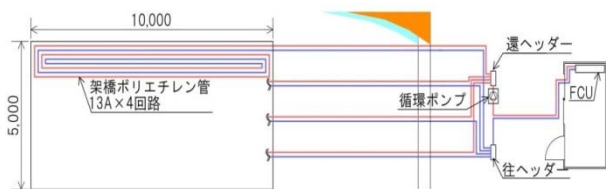


図-13 H25 実験 A 配置図



写真-2 H25 実験 A 配管敷設

### 3.2.2 H25 実験 B (冷水循環式)

実験 A と同様のシステムであるが、実験 B は採熱管への熱伝達を向上させるため、100mm 掘削した地面に融解水を採熱管周囲に滞留させるためのビニールシートを敷設し、その上に架橋ポリエチレン管を敷設し、碎石で埋め戻しを行った (図-14)。

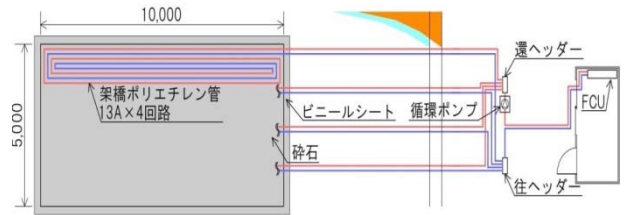


図-14 H25 実験 B 配置図



写真-3 H25 実験 B 配管敷設

### 3.2.3 H25 実験 C (全空気式)

実験 C は、300mm 掘削した地面に波付ポリエチレン管を敷設し、掘削土砂で埋め戻しを行った。

雪山から地中への熱伝達による温度低下と融解水の浸透による採熱配管周囲の温度低下を利用して波付ポリエチレン管で熱交換した空気を送風機にて計測室内に送風し、再度雪山に戻すシステムである (図-15)。

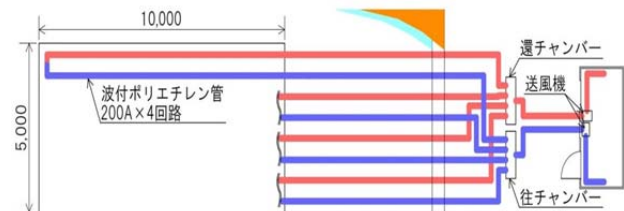


図-15 H25 実験 C 配置図

### 3.2.4 H25 実験 D (全空気式)

実験 D は、雪山造成後に雪山表面 (天端及び斜面) に排水性舗装用導水管を敷設し、配管上部に断熱のためのシートを敷設した。雪山表面で直接熱交換を行い、冷却された配管周辺の空気を送風機を用いて計測室に送風し、再度雪山に戻すシステムである (図-16)。

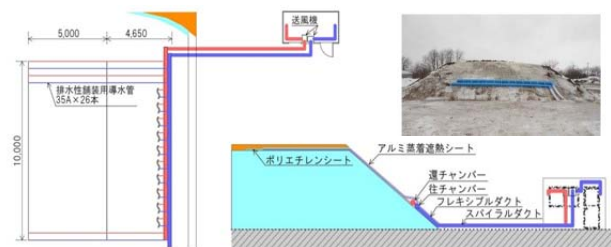


図-16 H25 実験 D 配置図

計測開始から約1ヶ月でチャンバー付近の雪が崩壊し、採熱不能となったため、往きと還りのチャンバーの位置を5m離れた配置に変更した(図-17)。

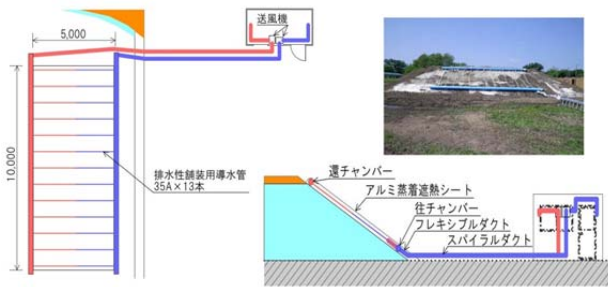


図-17 H25 実験D 配置図 (変更後)

### 3.2.5 H25 実験結果

雪山融解量は、表-7 に示すとおり実験 A は 88.0m<sup>3</sup>、実験 B は 84.5 m<sup>3</sup>、実験 C は 80.5m<sup>3</sup> となった。

なお、雪山融解分のエネルギー量は、融解量、雪山造成時の雪密度 (0.6t/m<sup>3</sup>)、融解潜熱 (334.88MJ/t) より算出した。

実験で得られた取得冷熱エネルギー量は、表-7 に示すとおり、実験 A は 8,664MJ、実験 B は 9,133MJ、実験 C は 7,603MJ となった。

雪山融解量に対する雪山冷熱エネルギー量と取得冷熱エネルギー量の比である有効率は、実験 A は 49%、実験 B は 54%、実験 C は 47% となった。図-18~21 に冷熱エネルギー量の推移を示す。

表-7 H25 雪山融解量及び取得冷熱エネルギー量 (雪山下面)

項目	単位	実験A	実験B	実験C	実験D	
					変更前	変更後
					(6/3~7/1)	(7/2~8/31)
		雪山下面		雪山表面		
		冷水循環式		全空気式		
6/3~8/31雪山融解量	m <sup>3</sup>	88	84.5	80.5	43	60.7
雪山冷熱エネルギー①	MJ	17,682	16,979	16,174	8,640	12,196
取得冷熱エネルギー②	MJ	8,664	9,133	7,603	2,909	5,414
有効率 ②/①	%	49	54	47	34	44
往ヘッダー(チャンバー)平均温度	°C	5.3	4.5	9.9	9.2	9.9
還ヘッダー(チャンバー)平均温度	°C	6.9	5.6	14.6	19.6	20.7
計測室平均温度	°C	11.9	11.2	12.8	17.5	20.3

なお、冷熱エネルギー量 (時間当たり) は以下の計算式で算出した。

[冷水循環式]  $Q = q \times \Delta T \times c \times \rho$

Q : 冷水循環式の冷熱エネルギー量(MJ/h)

q : ポンプ流量(L/h)

$\Delta T$  : 温度差(往ヘッダー, 還ヘッダー) (°C)

c : 水の比熱(1.0×4.186MJ/kg°C)

$\rho$  : 水の密度(1.0kg/L)

[全空気式]  $Q = q \times \Delta T \times c \times \rho$

Q : 全空気式の冷熱エネルギー量(MJ/h)

q : ファン風量(m<sup>3</sup>/h)

$\Delta T$  : 温度差(往チャンバー, 還チャンバー) (°C)

c : 空気の比熱(0.24×4.186MJ/kg°C)

$\rho$  : 空気の密度(1.293kg/m<sup>3</sup>)

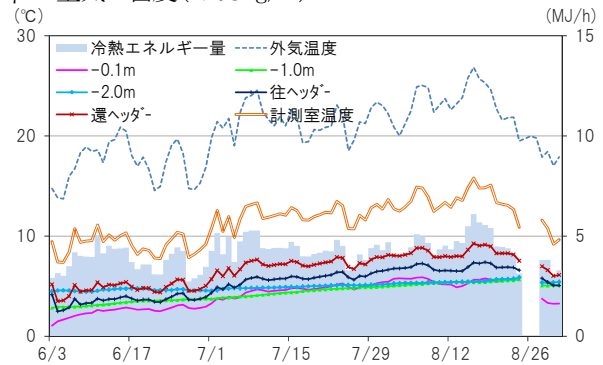


図-18 H25 実験A 冷熱エネルギー量の推移

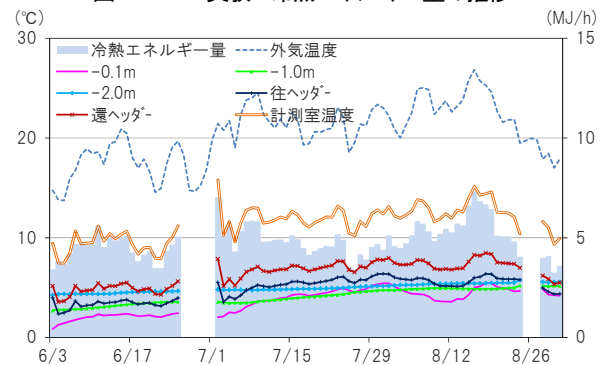


図-19 H25 実験B 冷熱エネルギー量の推移

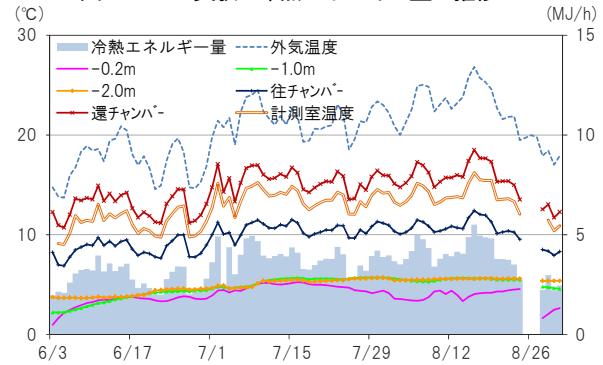


図-20 H25 実験C 冷熱エネルギー量の推移

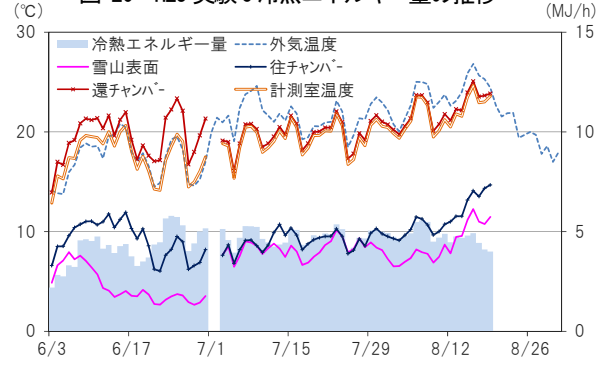


図-21 H25 実験D 冷熱エネルギー量の推移

### 3.2.6 H25 実験まとめ

#### 【雪山下面利用】

◆冷水循環式の実験 A と B、全空気式の実験 C ともに安定して採熱が行えた。

◆実験 B の有効率が高かったのは、防水シートにより融解水を滞留させるため、地中温度を低く維持できたこと、及び碎石で埋戻し、採熱管周囲の空隙率が高く水に接しやすかったことから、融解水が浸透する実験 A より熱伝達が行われやすかったためと言える。

◆実験 B は、実験 A より防水のためのビニールシート等の資材及び施工費が追加でかかっているため、冷熱エネルギー量や有効率に対するコスト検証が必要である。

◆実験 C は、空気を媒体としているため、配管等の資材が冷水循環式のものに比べて大がかりなものとなり、施工費用を要した。また、採熱管内の結露が原因と思われる計測室内のカビ臭が発生したなどの課題を得た。

#### 【雪山表面利用】

◆雪山表面（全空気式）の実験 D でも、採熱が可能なが確認できた。

◆実験 D は、往還チャンバーの配置を変更後は循環する空気が採熱箇所全体に行き渡るようになり、有効率が1割程度向上した。

◆循環空気と雪が直接接触するため融解量が多い。採熱管上に敷設したシートの亀裂などの課題を得た。

◆雪山造成後に採熱管を設置できるため、運用時の故障等にも対応でき、他の採熱方法と比べてメリットは多い。

### 3.3 平成26年度の実証実験

平成26年度の実験は、平成25年度の実験結果を踏まえ以下の点を変更し冷水循環式と全空気式について実施した。

冷水循環式では、配管下面のビニールシートは費用対効果を考慮し設置しないこととした。また、配管埋設深さ100mmとした場合は、配管の損傷を避けるため、雪山造成を2段階造成とする必要があり、効率が著しく悪かったため、土圧負荷や配管の耐力、冷熱採取効率を考慮しながら、配管埋設深さを600mmと300mmの2パターンとした。

全空気式では、冷水循環式に比べ冷熱採取効率は悪く、コストも高いという特徴があるが、雪山表面から採熱を行う方式は雪山造成後に設置が可能で、設置場所や規模をその都度変更することが出来ることから、雪山表面からの採熱について検討した。また、採熱効率を上げるため、法面に設置するのではなく、雪山上面へ設置した。なお、採熱管はアスコンドレーンではなく、有孔樹脂配

水管を用いることでコストを削減させることとした。

また、断熱材をアルミ蒸着遮熱シートから、断熱効果の高いバーク材とした。

さらに、冷熱採取エネルギー量をあげ、エネルギー有効率を上昇させるため、実験庫を仮設ハウスから熱負荷の大きなビニルハウスに変更した。

実験規模・配置は表-8、図-22に示すとおりである。

表-8 H26 実験規模

名称	実験種類	採熱箇所	採熱管種類	雪山規模
		採熱面積		
実験A	冷水循環式	雪山下面 GL-300mm 2.5*10.0m	架橋ポリエチレン管 (13A)	場所:美唄市東明 サイズ:26m*22m*4m(高さ) 勾配比:1.3:1.0 体積:1,400m <sup>3</sup> 雪密度:0.6t/m <sup>3</sup> 形状:四角錐台 断熱材:バーク材(t=300mm) ※市内雪堆積場より運搬
実験B	冷水循環式	雪山下面 GL-600mm 2.5*10.0m	架橋ポリエチレン管 (13A)	
実験C	全空気式	雪山表面 5.0*10.0m	樹脂製有孔排水管 (50A)	

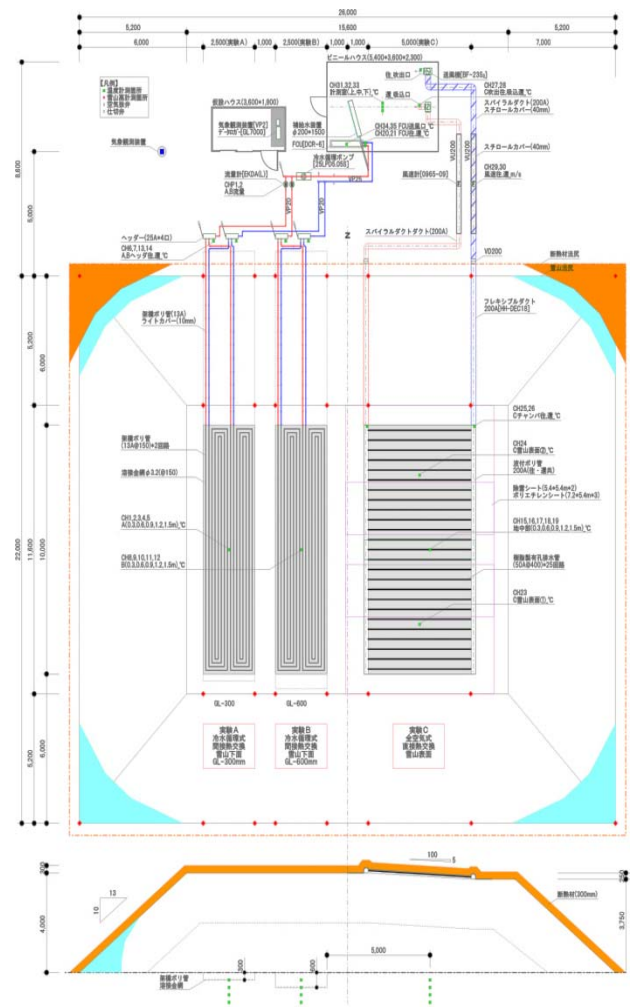


図-22 H26 実験用雪山配置図

### 3.3.1 H26 実験 A (冷水循環式)

実験箇所を 300mm 掘削した地面に架橋ポリエチレン管を敷設し、掘削土砂により埋戻した上に雪山を造成した。

地中への雪山からの温度伝達と融解水の浸透によって、配管周囲の温度を低下させることを利用して熱交換を行う (図-23)。

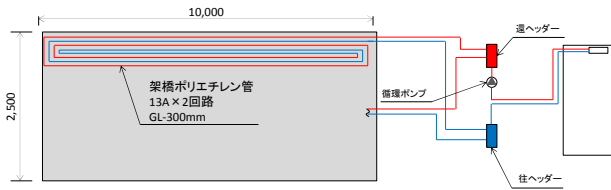


図-23 H26 実験 A 配置図



採熱箇所掘削状況



配管敷設 (雪山下面-300mm)

写真-4 H26 雪山下面掘削状況

### 3.3.2 H26 実験 B (冷水循環式)

実験箇所を 600mm 掘削した地面に架橋ポリエチレン管を敷設し、掘削土砂により埋戻した上に雪山を造成した。

地中への雪山からの温度伝達と融解水の浸透によって、配管周囲の温度を低下させることを利用して熱交換を行う (図-24)。

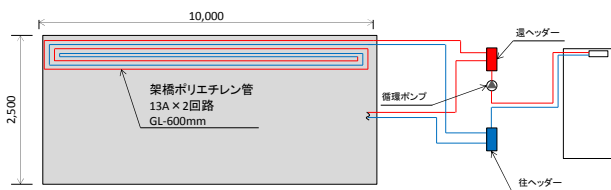


図-24 H26 実験 B 配置図



屋外配管と計測室



配管敷設 (雪山下面-600mm)

写真-5 H26 計測室、雪山下面掘削状況 (600mm)

### 3.3.3 H26 実験 C (全空気式)

雪山造成後の雪山表面 (天端) に樹脂製排水有孔管を

敷設し、配管上部に外気と遮断するためのシートを敷設し、その上にバーク材を被覆した (図-25)。

雪山表面とシートの間の冷却された空気を送風機にて送風する。

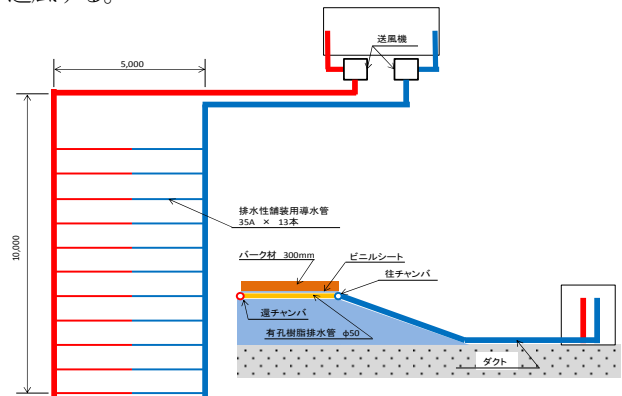


図-25 H26 実験 C 配置図



配管敷設



ポリエチレンシート敷設  
(更にこの上にバーク材被覆)

写真-6 H26 全空気式雪山上面配管、シート敷設

### 3.3.4 H26 実験結果

雪山融解量は、表-9 に示すとおり実験 A は 35.07m<sup>3</sup>、実験 B は 39.94 m<sup>3</sup>、実験 C は 112.01m<sup>3</sup> となった。

なお、雪山融解分のエネルギー量は、融解量、雪山造成時の雪密度 (0.6t/m<sup>3</sup>)、融解潜熱 (334.88MJ/t) より算出した。

実験で得られた取得冷熱エネルギー量は、実験 A は 5,537MJ、実験 B は 6,651MJ、実験 C は 14,966MJ となった。

雪山融解量に対する雪山冷熱エネルギー量と取得冷熱エネルギー量の比である有効率は、実験 A は 78.6%、実験 B は 82.9%、実験 C は 66.5% となった。

雪山の融解量は、これまでの実験同様に全空気式 (雪山 C) が大きい傾向が確認できた。融解の速さは、実験期間を通じてほぼ一定であるが、期間の中盤でやや増速している (図-26)。

表-9 H26 雪山融解量及び取得冷熱エネルギー量

項目	単位	実験A	実験B	実験C
		雪山下面		雪山表面
		冷水循環式	全空気式	
7/4~10/7雪山融解量	m <sup>3</sup>	35.07	39.94	112.01
雪山冷熱エネルギー①	MJ	7,047	8,025	22,506
取得冷熱エネルギー②	MJ	5,537	6,651	14,966
有効率②/①	%	78.6	82.9	66.5



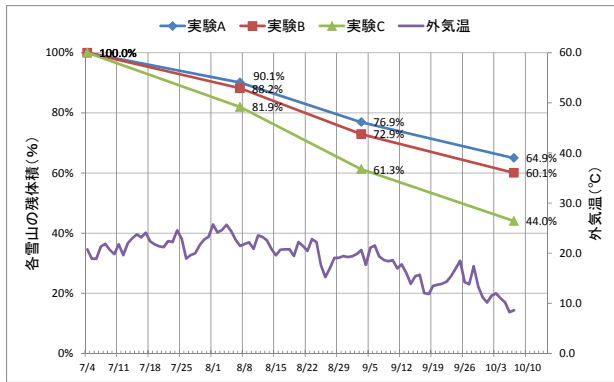


図-26 H26 融解量 (当初堆積に対する比率) の推移

実験 C は、7/14 に上部部の陥落によってダクト接続部が脱落した (写真-7)。このため雪山再造成および採熱ダクト再配置作業を 8/6 に実施し実験を再開した。この後も実験 C 雪山の変形は著しく、パーク材上部部にひび割れや陥没が発生したが、再造成までは必要無かった。



写真-7 H26 実験 C ダクト脱落状況 (7/14)

実験 A・B について、埋設深度別の温度計測データ (深さ 0.3m より 0.3m 間隔で 1.5m まで) を図-27、28 に整理した。

実験 A では採熱管埋設深さは地下 300mm、実験 B では 600mm となっている。このため、それぞれ採熱管埋設深さでの温度がもっとも高くなっている。また、それぞれ地中深くなるにつれて、計測温度の差は少なくなっている。

実験初期には深さ別の温度差が大きく出ているが、実験中盤以降では差が少なくなっていく傾向を確認した。

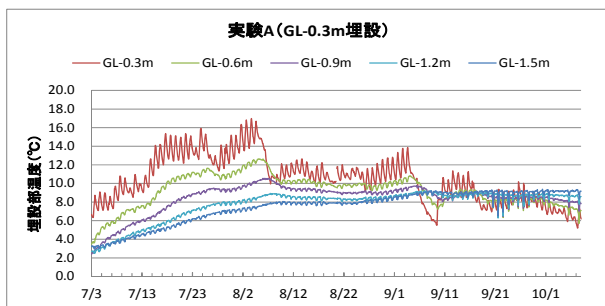


図-27 H26 埋設部温度比較 (GL-300mm 埋設)

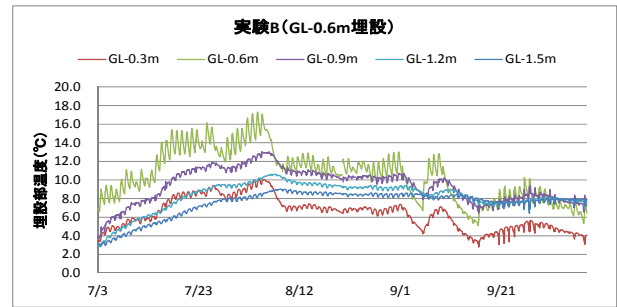


図-28 H26 埋設部温度比較 (GL-600mm 埋設)

冷熱エネルギー量の整理結果から、実験 B の方が、実験 A よりも熱交換量 (冷熱出力) が約 5% 大きかったが、実験 B は実験 A の掘削深度の 2 倍である。掘削土量も 2 倍になり、施工性・経済性の点では劣ることから、システムの設置にあたっては地下水位や土質条件に応じて掘削深度を検討する必要がある。

### 3.3.5 H26 実験まとめ

#### 【雪山下面利用】

- ◆冷水循環式の実験 A (GL-300mm) と実験 B (GL-600mm)、全空気式 (雪山表面) の実験 C とも安定して採熱が行えた。
- ◆実験 B の方が、実験 A よりも熱交換量 (冷熱出力) が約 5% 大きかった。しかし実験 B は実験 A の掘削深度の 2 倍であり、掘削土量も 2 倍になるため、施工性・経済性の点では劣る。
- ◆実験 A、実験 B ともに、地中に埋設した採熱管の破損は見られなかった。架橋ポリエチレン管 (13A) を 300mm 以上埋設することで、重機により直接雪山の造成が可能である。
- ◆冷水循環式ではエネルギー有効率 80% 程度を期待でき、全空気式でも 65% 程度を期待できることを確認した。これは、実験庫を仮設ハウスからビニルハウスに変更したため日射の影響を強く受け熱負荷が増加していることが原因と考えられる。

#### 【雪山表面利用】

- ◆全空気式の雪山表面利用では、暖められた空気が直接雪山と接触するため、融解の進行が早い。設置に当たっては、融解による陥没を考慮し設置箇所を決定する必要がある。

## 4. 雪堆積場の雪冷熱利用ガイドラインによる雪冷熱利用モデルの提案

実験で得られた知見を整理し、雪堆積場 (屋外雪山) で雪冷熱を利用するための指標となる雪冷熱利用ガイドラインの作成を行った (図-29)。

また、雪冷熱利用ガイドラインに基づき、事務室、宿

泊施設、商業施設、医療施設、住宅等を対象に、雪冷熱利用モデルを作成した。

雪堆積場における雪冷熱利用ガイドライン (案)	
第1章 総則	
第2章 雪堆積場の雪冷熱利用システムの計画	
<ul style="list-style-type: none"> <li>基本的な性能、運転方式、特性等 (選定基準)</li> <li>冷房負荷に対する必要な雪量、敷地面積、断熱材等</li> </ul>	
第3章 雪冷熱利用システムの設計	
<ul style="list-style-type: none"> <li>冷水循環式の基本仕様</li> <li>全空気式の基本仕様</li> <li>温度制御方式、断熱方式</li> </ul>	
第4章 雪冷熱利用システムの施工	
<ul style="list-style-type: none"> <li>施工上の留意点</li> </ul>	
第5章 雪冷熱利用システムの維持管理	
<ul style="list-style-type: none"> <li>雪山の造成手順 (雪の堆積方法)</li> <li>雪山の保管方法 (融雪管理)</li> <li>雪山のメンテナンス</li> </ul>	
資料編	
(別冊) 雪堆積場の雪冷熱利用モデル	

図-29 雪堆積場における雪冷熱利用ガイドライン(案)目次

以下に、採熱方式を冷水循環式、用途を事務室 (床面積 500m<sup>2</sup>) とした利用モデルの例を示す。

表-10 熱負荷想定 (用途: 事務所)

記号	項目	根拠	記号	地域係数	根拠
①	延床面積	500 m <sup>2</sup>			
②	単位熱負荷(最大)	104 W/m <sup>2</sup> ・h	④	0.8	設定値※
③	(年間)	293 MJ/m <sup>2</sup> ・年	⑤	0.5	設定値※
⑥	最大熱負荷	150 MJ/h	①×②×④×3.6/1000		

※ 単位熱負荷は空調調和衛生工学会データ

表-11 システム諸元 (冷水循環式)

雪山規模	規模・出力	仕様
冷熱採取分 22.5m×10.0m×1.9m	428m <sup>3</sup>	断熱材 パーク材(t=300mm)
雪山規模 31.6m×19.1m×3.5m	1,402 m <sup>3</sup>	
採熱回路	9基	架橋ポリエチレン管 13A×2回路 GL-600mm
雪山と建物間の配管	30m (往復)	鋼管50A 保温: 標準仕様書による
循環ポンプ	0.75 kW	129 L/min (流量) 8mAq (揚程)

表-12 冷熱出力

採熱回路	採熱箇所	冷房出力	台数	合計出力
架橋ポリエチレン管 13A×2回路 2.5m×10.0m	雪山下面 GL -600mm	16.9 MJ/h (4.7 kW)	9 基	152 MJ/h (42 kW)

総床面積が 500m<sup>2</sup>の事務所に雪冷熱を利用する場合の雪山規模は、夏期の融解量を考慮し 31.6m×19.1m×3.5m (1,402m<sup>3</sup>) の雪山が必要となる (表-11)。

雪冷熱 (雪山冷水循環方式) を利用した場合と、空冷ヒートポンプを利用した場合のコスト比較を表-13 に示す。年間トータルコストは、雪冷熱の方が若干安価となった。なお、道路排雪を利用するものとして雪山造成費用は計上していない。

表-13 雪山冷水循環式と空冷ヒートポンプのコスト比較

(円)

	雪山冷水循環方式	空冷HP方式	備考
イニシャルコスト			
採熱回路	2,835,000		15年償却
空冷ヒートポンプチャージ 45kW		3,300,000	15年償却
【減価償却費】	189,000	220,000	
ランニングコスト			
電気料金	29,000	647,000	
断熱材設置撤去	294,000		毎年
年間トータルコスト	512,000	867,000	

## 5. まとめ

雪堆積場の雪冷熱利用技術の体系化を図るため、道路排雪を用いた冷熱エネルギーの採熱実験を行い、以下の知見が得られた。

◆雪山の保存方法は、断熱材としてパーク材を 300mm の厚みで被覆することで、一夏を通して雪冷熱の確保が可能である。

◆採熱方式は、雪山下面を利用した冷水循環式と雪山表面を利用する全空気式が有効である。

◆雪山融解量から求めた雪山冷熱エネルギーに対する取得冷熱エネルギーの有効率は、全空気式と比べ冷水循環式が高い。

◆冷水循環式は、雪山造成時の採熱管の破損を防止するため、300mm 以上の深度に埋設することが望ましい。地中部に採熱管を埋設するため、次年度以降の設置費用が発生しない。また、地中より全体的に採熱するため、局所的な融解が起こりにくく、維持管理が容易である。

◆全空気式は、採熱箇所を雪山上面にすることで、融解による陥没は発生するが、配管の脱落が防止出来れば採熱は可能である。採熱管を雪山上面に設置するため、雪山造成後に採熱管の設置が可能であり、採熱管破損や脱落などの故障が発生した場合の対応が、冷水循環式に比べ容易である。

これらの知見をもとに、雪冷熱を効率的に利用するためのガイドラインを作成した。

## 参考文献

- 1) 美唄自然エネルギー研究会: 平成22年度「美唄自然エネルギー研究会 研究活動報告書」、平成23年6月
- 2) 本間弘達, 浅川勝貴, 船木淳, 山上重吉, 媚山政良: “雪山”の造り方、第23回寒地技術シンポジウム論文・報告集pp13-16、2007.12

## A STUDY ON TECHNOLOGY TO USE COOL ENERGY FROM SNOW OF SNOW DUMPING SITES

**Budget** : Grants for operating expenses (general account)

**Research Period** : FY2011 - 2014

**Research Team** : Machinery Technology Research Team

**Author** : KATANO Koji

YAMAGUCHI Kazuya

EINAGA Tetsuya

HIRACHI Kazunori

### **Abstract** :

The use of the cool energy of snow, a renewable energy, has been reviewed by municipalities and private companies. Although projects for using snow energy have been partially implemented by some of those entities, there are several problems: First, the costs of collecting sufficient amounts of snow are high; second, there are no systematized methods for storing snow outside; and third, the cost of hauling away removed snow has been increasing. It is more difficult year by year to secure enough snow dumping sites in Sapporo and other urban areas; thus, snow dumping trucks have to carry snow to more remote sites.

To promote use of the cool energy of snow and to reduce snow transport costs, an experiment on extracting cool energy from snow removed from city streets was done, and a guide line for effective use of cool energy of snow was proposed based on the experiment results.

**Key words** : snow dumping site, cool energy from snow, renewable energy, snow hauling