

屋外雪山の雪冷熱エネルギー利用について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○永長 哲也
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 片野 浩司
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 山口 和哉

再生可能エネルギーである雪冷熱エネルギー導入を推進する取組は東日本大震災以降活発化している。しかし、雪堆積場など屋外で雪を保存し、利用する方法については技術的に体系化されていない。また、都市部では雪堆積場が遠隔地化しているため、運搬排雪コストが増大している。このことから、屋外に雪山を造成し雪冷熱エネルギーを利用するための実証実験を行ったのでその結果を報告する。

キーワード：冷熱エネルギー、利雪、省エネルギー

1. はじめに

再生可能エネルギーである雪冷熱の利用は、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おり、再生可能エネルギー導入を推進する取組は、東日本大震災以降活発化している。また、平成24年3月には豪雪地帯特別措置法が改正され、雪冷熱エネルギーの活用促進に係る規定が追加された。

一方、雪冷熱エネルギーの利用に当たっては、以下のような課題があげられる。

- ・冬期に除排雪で集めた雪を夏期の冷房などに使用するという雪冷熱エネルギーの利用は、これまで検討され、一部で実用化されているものの、集雪コストがかかる。
- ・雪堆積場など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。
- ・札幌市などの都市部では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、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。

このことから、道路排雪の活用及び運搬排雪コストの削減を目的に、未利用の雪堆積場の雪冷熱利用技術について検討し、美唄市東明（美唄人材開発センター内）に実験用雪山（以下「雪山」という）を造成、実証実験を行った。

2. 実証実験

2.1 採熱箇所の検討

平成24年度の基礎実験の結果¹⁾、雪山内部に採熱管などを設置した場合、雪山内部からの融解を促進し、雪山の形状変化を生じたことを踏まえ、雪山内部から採熱しない次の2方法について検討した。

(1) 雪山下面の利用

雪山の下面に採熱管を設置し、雪及び融解水から採熱管を介した冷媒（水、空気）へ熱交換を行うことにより採熱する。これにより、雪山下面から面的に採熱するため、局所的な融解が起りにくく、形状変化が少ないものとなる。更に、採熱管を介して熱交換を行うため、融解水に含まれる異物などが採熱管内に混入することはなく、送風機（FCU）のコイルへの目詰まりなどによる故障を防止することができる。

(2) 雪山表面の利用

雪山の表面に採熱管を設置し、雪により冷やされた空気を取得することにより採熱する。これにより、雪山表面から面的に採熱することができるほか、雪山造成後に採熱管を設置することができる。

2.2 雪山の設計及び造成

採熱用の雪山については表-1のとおり採熱方法と採熱箇所別に4種類を設計し、美唄市東明（美唄地域人材開発センター内）に、美唄市内の癸巳雪堆積場から道路排雪を運搬し、雪山を造成して実験を行った。

表-1 実験種類と雪山規模

	採熱方法	採熱箇所	雪山規模
実験 A	冷水循環式	雪山下面	底辺 34.0×22.0m
実験 B			高さ 4.0m
実験 C	全空気式	雪山表面	体積 2,000m ³
実験 D			形状 四角錐台

実験1区画当たりの面積は、雪山下面利用の実験A～Cは、幅5.0m×奥行10.0mとした。雪山表面利用の実験Dは事例がほとんどなく、実際に得られる採熱量が明らかでないため、天端と法面を利用して採熱面積を大きく取り、幅9.65m×奥行10.0mとした。また、雪山高さは採熱融解高2.0m、自然融解高2.0mの4.0mとした。

計測室には仮設ハウス（1.8m×3.6m）を採用した。

雪山の断熱材には、伐採小木などを粉砕したパーク材を300mmの厚さで被覆した。

計測は、6月3日より開始し、採熱状況（温度）、外気温度、風向、風速などの気象観測、定点カメラによる雪山の形状変化の観測、定期的な測量などを実施した。雪山配置図を図-1に示す。

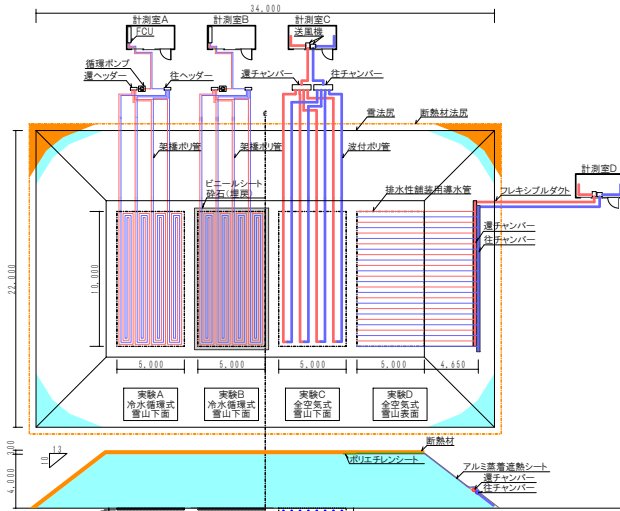


図-1 雪山配置図

2.3 実験種類と配管布設

4種類の実験の詳細について以下に示す。

(1) 実験A（冷水循環式、雪山下面）

実験Aは、採熱箇所を100mm掘削した地面に架橋ポリエチレン管（13mm）を布設し、掘削土砂により埋戻した。雪山から地中への温度低下と融解水の浸透による採熱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に設置した送風機（FCU）に送水し、再度雪山に戻した。採熱管布設状況、計測室を図-2に示す。



図-2 採熱管布設（左）、計測室（右）

(2) 実験B（冷水循環式、雪山下面）

実験Bは、採熱箇所を100mm掘削した地面に、採熱管への熱伝達向上を目的とし、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上に架橋ポリエチレン管（13mm）を布設し砕石により埋戻した。実験Aと同様に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に設置した送風機（FCU）に送水し、再度雪山

Tetsuya Einaga, Kouji Katano, Kazuya Yamaguchi

に戻した。採熱管布設、埋戻（砕石）状況を図-3に示す。



図-3 採熱管布設（左）、埋戻（右）

(3) 実験C（全空気式、雪山下面）

実験Cは、採熱箇所を300mm掘削した地面に、波付ポリエチレン管（200mm）を布設し、掘削土砂により埋戻した。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、再度雪山に戻した。採熱管布設状況、計測室を図-4に示す。



図-4 採熱管布設（左）、計測室（右）

(4) 実験D（全空気式、雪山表面）

実験Dは、雪山造成後に雪山表面（天端及び法面）に排水性舗装用導水管（35mm）を布設し、採熱管上部に断熱のためのシートを布設した。雪の表面で直接熱交換し冷却した空気を送風機にて計測室に送風し、再度雪山に戻した。採熱管布設状況を図-5に示す。



図-5 採熱管布設（法面）法面（左）、天端（右）

なお、6月3日からの実験で、採熱可能であることが確認できたため、7月2日より採熱対象面積を実験A～Cと同様に幅5.0m×奥行10.0mに変更した。

また、実験当初は雪山表面での往、還チャンバーの設置が近く、循環する空気が採熱箇所全体に行き渡らなかったため、チャンバーの配置を法面上部と下部に変更した。採熱管、シート布設状況を図-6に示す。



図-6 探熱管布設 (左)、シート布設 (右)

3. 実験結果

3.1 雪山下面利用

(1) 融解量

雪山融解量は、表-2 に示すとおり実験Aは 88.0^{m³}、実験Bは 84.5 ^{m³}、実験Cは 80.5^{m³}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/^{m³})、融解潜熱 (334.88MJ/t) より算出した。

(2) 取得冷熱エネルギー量

実験で得られた取得冷熱エネルギー量は、表-2 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-7~9 に冷熱エネルギー量の推移を示す。

表-2 融解量及び取得冷熱エネルギー量(雪山下面利用)

項目	単位	実験A	実験B	実験C
		冷水循環式		全空気式
雪山融解量	^{m³}	88.0	84.5	80.5
雪山冷熱エネルギー量①	MJ	17,682	16,979	16,174
取得冷熱エネルギー量②	MJ	8,664	9,133	7,603
往ッダ-等平均温度	°C	5.3	4.5	9.9
還ッダ-等平均温度	°C	6.9	5.6	14.6
有効率②/①	%	49	54	47

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。

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

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(往ッダ-, 還ッダ-) (°C)

c : 水の比熱(1.0×4.186MJ/kg°C)

ρ : 水の密度(1.0kg/L)

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

Q : 全空気式の冷熱エネルギー量(MJ/h)

q : ファン風量(^{m³}/h)

ΔT : 温度差(往ッダ-, 還ッダ-) (°C)

c : 空気の比熱(0.24×4.186MJ/kg°C)

ρ : 空気の密度(1.293kg/^{m³})

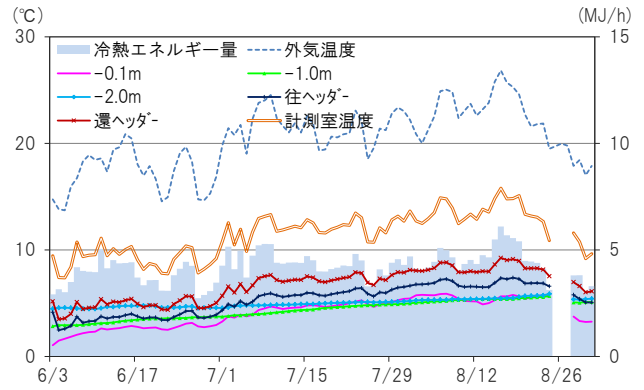


図-7 冷熱エネルギー量 (実験A)

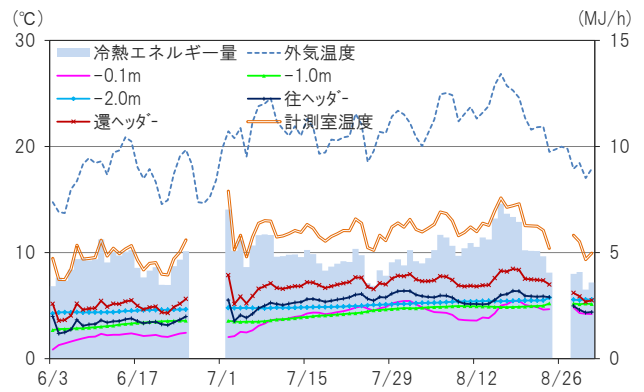


図-8 冷熱エネルギー量 (実験B)

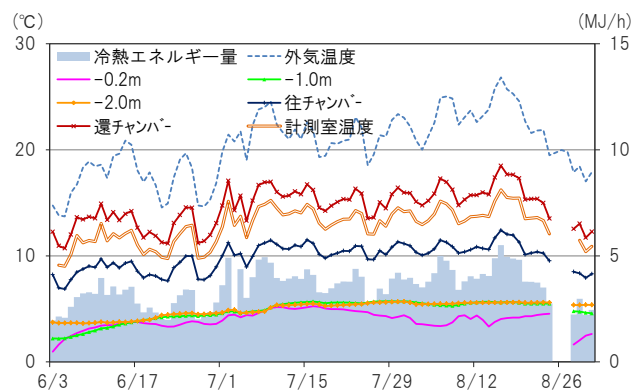


図-9 冷熱エネルギー量 (実験C)

(3) 考察

冷水循環式の実験Aと実験B、全空気式の実験Cを比較した場合、実験Bの冷熱エネルギー量が多かった。これは、実験Bが防水のためのビニール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るからである。また、砕石で埋め戻しているため、探熱管周囲の空隙率が高く水に接しやすかったことから熱伝達が行われやすかったと考える。

ただし、実験Bは、実験Aに対し防水のためのビニールシートなど資材及び施工に費用が追加でかかっており、冷熱エネルギー量と有効率に対するコスト検証を行う必要がある。

また、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と比較して大がかりなものとなり、それらの施工にコストを要している。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も得た。

3.2 雪山表面利用

(1) 融解量

雪山融解量は、表-3に示すとおり実験Dの6月3日から7月1日までは43.0m³、往、還チャンバー配置変更後の7月2日から8月31日までの融解量は60.7m³となった。

(2) 取得冷熱エネルギー量

全空気式の実験Dの取得冷熱エネルギー量は表-3に示すとおり、6月3日から7月1日までは2,938MJ、7月2日から8月31日時点までの取得冷熱エネルギー量は8,046MJ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、6月3日から7月1日までは34%、7月2日から8月31日時点までは44%となった。

これは、チャンバーの配置を変更した後は法面上部に配置した還チャンバーから吹き出した空気は法面下部に配置した往チャンバーへと循環し、空気が採熱箇所全体に行き渡るようになったため、有効率が1割程度向上したと思われる。図-10に冷熱エネルギー量の推移を示す。

表-3 融解量及び取得冷熱エネルギー量(雪山下面利用)

項目	単位	当初(6/3~7/1)	変更後(7/3~8/31)
雪山融解量	m ³	43.0	60.7
雪山冷熱エネルギー量①	MJ	8,640	12,196
取得冷熱エネルギー量②	MJ	2,938	8,046
往チャンバー平均温度	°C	9.2	9.9
還チャンバー平均温度	°C	19.6	20.6
有効率②/①	%	34	44

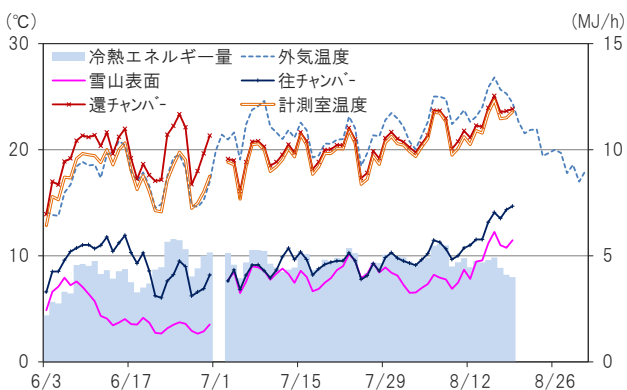


図-10 冷熱エネルギー量(実験D)

(3) 考察

今回の実験で雪山表面からでも採熱が可能なが確認できたが、採熱管上部に布設しているシートの亀裂などの課題も判明した。しかし、雪山造成後に採熱管を設置できるため、運用時の故障などに対しても対応が可能

であり、メリットは多い。今後は、採熱管の設置位置、採熱管上部シートなどについて、検討が必要である。

4. まとめ

道路排雪を利用した雪山からの雪冷熱エネルギーの採熱方法を検証するため、雪山を造成して採熱箇所、採熱方式の異なる4種類の実験を行った。

その結果、6月3日から8月31日時点までの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。

冷水循環式の実験Aと実験B、全空気式の実験Cは、安定して採熱を行え、各々を比較した場合、実験Bの有効率が良かった。これは、実験Bが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、また、碎石で埋戻すことで、採熱管周囲の空隙率が高く水に接しやすかったため、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と言える。

全空気式の実験Dの有効率は、6月3日から7月1日時点までは34%、チャンバー配置変更後の7月2日から8月31日時点までは44%となった。

実験Dは、雪堆積場造成後に容易に採熱管の布設ができる。また、採熱管も含め埋設していないことから、運用中の配管破損、故障などに対しても修正が可能など、他の採熱方法と比べてもメリットが多いが、雪山表面とシート間の採熱箇所から効率的に採熱するための採熱管の設置方法など更なる検討が必要である。

本実験において、各方式について採熱箇所、採熱方法による特徴を把握できたことから、今後は、雪山造成、採熱管布設等のコスト検証を行い、採熱量に対する実験A~Dの評価を実施した上で、雪堆積場に適した雪冷熱エネルギーの取得方法を検討する。併せて、雪山造成及び採熱管等の施工方法、造成後の雪山のメンテナンス、冷熱取得後のゴミ等の処理など、道路排雪を利用する上での問題点について整理していく。

参考文献

- 1) 永長哲也, 片野浩司, 山口和哉: 雪堆積場の雪冷熱利用技術に係る基礎実験について、第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会、2013.2
- 2) 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
- 3) 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