

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）

研究期間：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、五十嵐匡、平伴斉

【要旨】

再生可能エネルギーである雪冷熱の利用はこれまでも検討されていたが、集雪にかかるコストが課題であった。そのため、冬期に除排雪で集めた雪を夏期の冷房に使用するという雪冷熱の利用は、一部で実用化されているものの、大規模な雪冷熱需要施設での利用については技術的、社会的に体系化されていない。一方、札幌市など都市部では雪堆積場の確保が年々困難となり、運搬距離が遠距離化していることから、運搬排雪コストが増大している。

そこで、雪堆積場の雪冷熱利用技術について提案し、運搬排雪コストの削減を図るため、本年度は、雪冷熱施設の利用実態を整理し、雪堆積場で実用可能な冷熱システム及び調査手法の検討、実験施設の基礎設計を行った。そして、美唄市茶志内（空知工業団地内）に、道路排雪を用いて冷熱採集方式として全空気式及び冷水循環式の雪山、また、道路除雪と新雪による融解速度の違いを把握するため比較対照用の雪山の4種類の実験用雪山を造成した。

キーワード：雪堆積場、雪冷熱、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%は積雪寒冷地であり、雪は貴重な冷熱エネルギー資源である。平成14年の新エネ法改正により、「雪氷熱エネルギー」が新エネルギーとして位置付けられて以来、これまでも再生可能エネルギーとして雪の利用が検討されてきたが、雪の集積にかかる労力や費用が課題となっていた。一方、札幌市をはじめとする北海道内の都市部では、市街地における雪堆積場の確保が年々困難となり、雪堆積場の距離が遠距離化していることから、運搬排雪コストが増大している。

以上の課題を踏まえ、道路排雪した雪を有効利用することに着目し、運搬排雪コストを削減するとともに、ほとんど未利用であった雪堆積場の雪冷熱利用技術について、平成23年度から検討を開始した。

本年度は、雪堆積場で実用可能な冷熱システムの基礎設計及び調査手法の検討、実験施設の基礎設計を行い、実験用雪山を造成した。

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の整理

雪冷熱エネルギーの活用施設導入状況について整理し

た。

全国での雪冷熱エネルギーの活用施設数は、140施設あり、北海道での施設数は65施設である（表-1）。その内、雪利用は43施設あるが、雪堆積場での利用につながると考えられる屋外での利用は6施設しかなく、ほとんどは屋内（貯雪庫）での利用となっている（表-2）。

表-1 雪冷熱エネルギー活用施設導入状況

| | 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（屋外保存）

| 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・セトアール・シグシステム株 | 雪山方式冷熱供給システム | 冷水循環 |
| 苫小牧市 | トヨタ自動車北海道株 | 冷房装置 | 冷風循環 |

2. 2 雪氷冷熱利用アンケート調査

北海道開発局開発監理部開発環境課と連名で北海道開発局札幌開発建設部管内の 32 市町村に対して雪氷冷熱利用に関するアンケート調査を行った。

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て 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 (図-3)、道路の除排雪利用はほとんどなかった。

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ついて 18 件となっているが、次に多いのが雪の確保、堆積・投入、保存、雪堆積地の土地の確保など、雪堆積場に関する問題が 12 件にあがっていた (図-4)。国道の除排雪利用に関しては、条件が合えば、きれいな雪ならという条件付きではあるが、5 件利用したいとの回答を得た (図-5)。

したがって、雪氷冷熱利用と道路排雪利用について、関心が高いことが伺える。

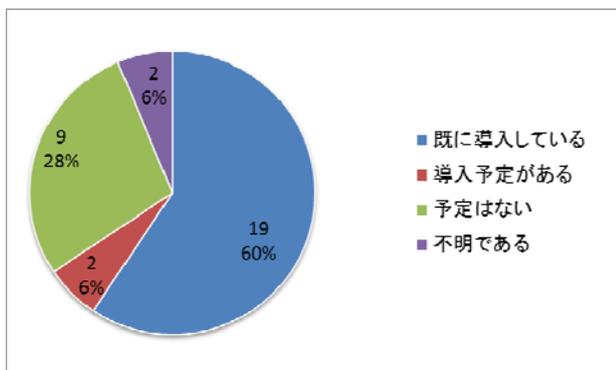


図-1 新エネルギー導入予定の有無

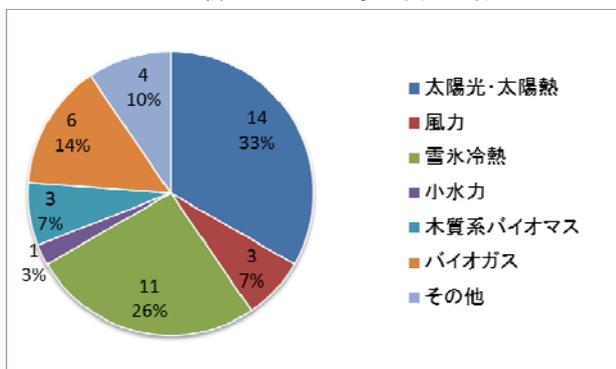


図-2 導入(予定含む)新エネルギーの種類

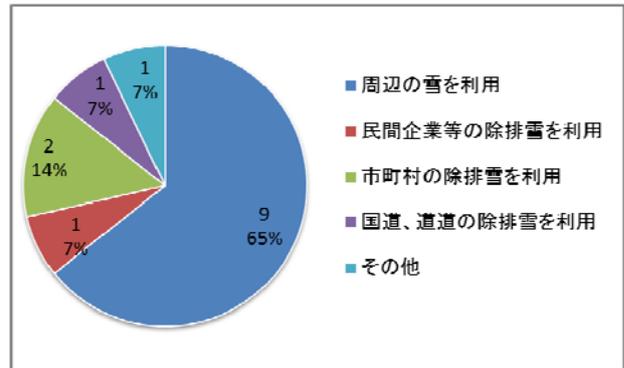


図-3 雪の確保の方法

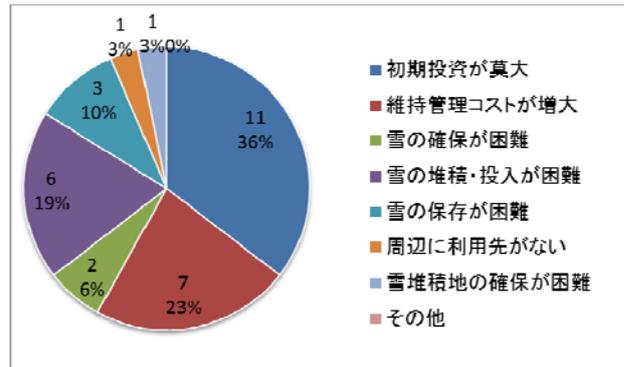


図-4 雪氷冷熱利用における問題点

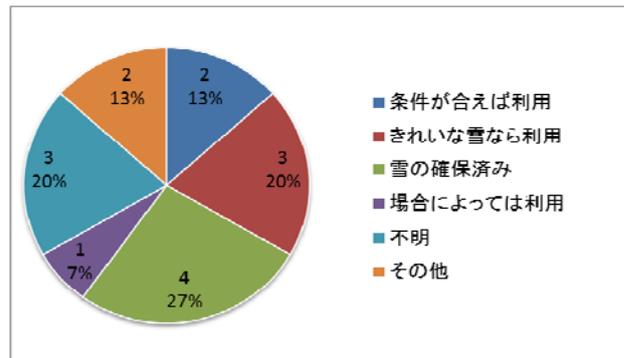


図-5 国道除排雪の利用の有無

3. 雪冷熱計画、設計、管理技術の検討

3.1 実験用雪山造成の検討

雪の融解量や被覆材による断熱効果を勘案し、9月末まで雪冷熱を採集可能な実験用雪山の堆積規模を検討した。次に、実験用雪山の堆積規模に応じた堆積形状を検討した。

3.1.1 雪山の堆雪規模の検討

(1) 前提条件の設定

雪山の大きさは、対象地域、冷房必要面積、冷房期間、雪の有効利用率、冷房設定温度によって変動するため、以下の前提条件を設定の上、雪山の堆雪規模を検討した。

なお、検討に当たっては、「官庁施設における雪冷房システム計画指針」(以下「計画指針」という)(H20.8:国

模が必要である。

3.1.2 雪山の堆積形状の検討

算定した実験用雪山の堆積規模に応じて、雪山の断熱方法及び堆積形状（形状、高さ、法勾配、面積）を検討した。

(1) 断熱方法

断熱材として、土木工事等で発生する伐採小木などを粉碎したバーク材を使用した（写真-1）。



写真-1 バーク材

(2) 堆積形状の検討

1) 形状

実験用雪山の堆積形状は、造成の簡便性に加えて、造成中及び実験開始後の寸法計測の容易性を考慮して正四角錐台とした。

2) 寸法

造成する正四角錐台の高さ、法勾配、堆積面積を検討した。

① 高さ

既往研究において、厚さ 30cm のバーク材で断熱した場合、外気や日射による融解は一夏を通じて約 1.5mにとどまることが報告されている。そのため、利用雪量として高さ 2.0m、融解分として 1.5m、合計で高さ 3.5mとした。

② 法勾配

雪山の法勾配は、既往研究において $\theta = 45^\circ$ （勾配比 1.0 : 1.0）の場合、被覆したバーク材の滑落が見られ、 $\theta = 40^\circ$ 以下で比較的安定した状態が確認されている。そのため、雪山の法勾配を $\theta = 40^\circ$ 以下（勾配比 1.3 : 1.0 で $\theta \approx 37.6^\circ$ ）とした。

③ 面積（底辺、上辺）

実験用雪山の体積 202.5 m³以上、高さ 3.5m、法勾配 $\theta = 40^\circ$ 以下の制約条件を満たすため、正四角錐台の底辺を 12m、上辺を 2.9mとした。

3.2 雪冷熱交換システムの検討

3.2.1 冷熱採集方法の種類

貯雪方法には、大きく分けて屋内（貯雪庫）及び屋外（雪山、雪堆積場）とあるが、雪堆積場に注目しているため、屋外について検討した。

造成した雪山から冷熱を採集する方法には、図-6のとおり次の3種類がある。

- ① 冷風利用（雪山で冷却された冷風を施設・貯蔵庫等に送風して利用）
- ② 冷水利用（雪山が融解した冷水を施設・貯蔵庫等に送水して利用）
- ③ 冷熱用雪の供給（堆積させた雪山から必要な雪を施設・貯蔵庫等に運搬して利用）

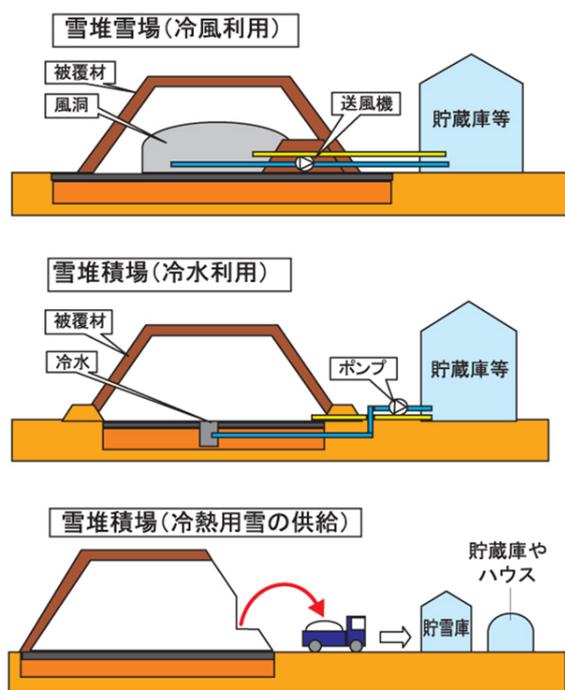


図-6 冷熱採集方法の種類

3.2.2 冷熱採集方法の検討

(1) 冷熱採集方法の検討

本実験では、「冷風利用」と「冷水利用」の両方式によって冷熱を採集して冷房実験を行うこととした。なお、多頻度の運搬が必要になる「冷熱用雪の供給」は対象外とした。

(2) 冷熱採集量（冷房可能熱量）の試算

3.1 で設定した実験用雪山の堆積規模から、一山当たりの採集可能な冷熱エネルギー量を試算した。

1) 雪山の体積及び重量

雪山から採集できる冷房可能熱量（冷熱エネルギー量）

は雪山の重量に依存する。雪密度を $0.50\text{t}/\text{m}^3$ として、雪山の重量を計算すると、造成時には 109.2t 、 1.5m 融解時には 22.4t となった（表-7）。

表-7 実験用雪山の体積・重量

| | 造成時 | 融解時 |
|-------|---------------------------|---------------------------|
| 底面の一辺 | 12.0m | 7.1m |
| 上面の一辺 | 2.9m | 1.9m |
| 雪山の高さ | 3.5m | 2.0m |
| 雪山の体積 | 218.4m^3 | 44.7m^3 |
| 雪密度 | $0.50\text{t}/\text{m}^3$ | $0.50\text{t}/\text{m}^3$ |
| 雪山の重量 | 109.2t | 22.4t |

2) 冷房可能熱量

潜熱 ($80\text{Mcal}/\text{t}$) のみを利用した場合、造成時で $8,740\text{Mcal}$ 、 1.5m 融解時で $1,790\text{Mcal}$ の冷熱エネルギーを最大で得ることができる。

3.2.3 熱交換システムの検討

(1) 冷熱交換方式の特徴

冷却の対象となる施設・貯蔵庫等に冷熱を供給する方法には次の3種類がある。また、それらを組み合わせて利用することもある。

1) 直接熱交換冷風循環方式（全空気式）

直接熱交換冷風循環方式（全空気式）は、送風機を用いて、冷熱を供給する貯雪部（雪山）と冷却の対象となる施設・貯蔵庫等との間で空気を循環させ、空気と雪を直接接触させて熱交換させるものである（図-7）。

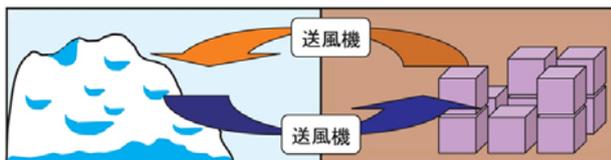


図-7 全空気式（イメージ）

2) 熱交換冷水循環方式（冷水循環式）

熱交換冷水循環方式（冷水循環式）は、熱交換器の一次側に、融解水または雪で冷やされた不凍液をポンプで循環し、二次側で循環する液体（不凍液等）を冷却するものである。融解水冷熱を直接空調機に送水する直接利用方式と熱交換器を介して送水する間接利用方式とに分別される（図-8）。

なお、融解水を利用する場合、熱交換器から戻ってきた水を雪氷を融かすのに利用するため散水する機会が多い。

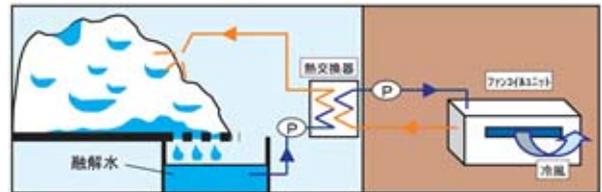


図-8 冷水循環式（イメージ）

3) 雪室方式（自然対流式）

雪室方式（自然対流式）は、特別な機器を用いず、貯雪部の冷熱や貯蔵庫に被せた雪の冷熱を施設・貯蔵庫等の中で自然対流させるものである（図-9）。

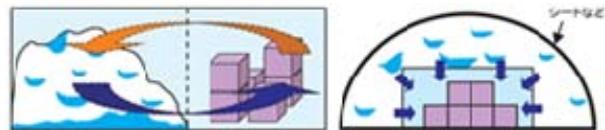


図-9 自然対流式のイメージ

これらの冷熱交換方式（全空気式、冷水循環式、自然対流式）の特徴は、表-8のとおりである。

表-8 冷熱交換方式の特徴

| | |
|-------|---|
| 全空気式 | <ul style="list-style-type: none"> システム構造がシンプルなため低コストで設置できる 比較的高湿度な冷気を供給できる。 きめ細かな温度制御は不得手（送風ファンの出力調整のみ）。 空気の循環方式によっては雪のフィルター効果（室内の粉塵、臭いなどの吸着削減効果）が発揮される。 |
| 冷水循環式 | <ul style="list-style-type: none"> 舗装などの集水基盤整備が必要なためややコスト高となる。 高湿度な冷気の供給が不得手（加湿器の導入などで対応）。 サーモスタット等を付設すると温度制御が容易である。 |
| 自然対流式 | <ul style="list-style-type: none"> 最も低コストで設置できる。 施設や貯蔵庫等を低温高湿度に維持できる。 温度、湿度の制御が不得手。 |

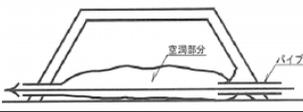
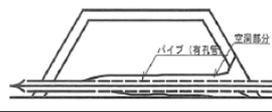
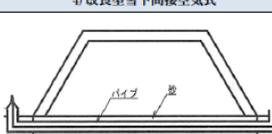
(2) 熱交換システムの検討

道路除排雪を利用した雪山からの冷熱採集方式を検討するため、全空気式、冷水循環式の2方式について、既往資料を参考に、熱交換システムの選定を行った。なお、自然対流方式は、屋内の貯蔵庫等で適用可能な冷熱交換手法であり、屋外の雪山に不向きなため、選定から除外した。

1) 全空気式

表-9に示す全空気式の代表的な熱交換システムの中から、経済性、施工性、熱効率に優れた「パイプ型雪下直接空気式」を採用した。

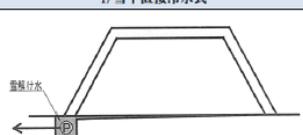
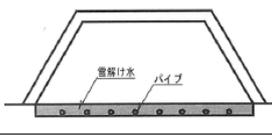
表-9 熱交換システム (全空気式)

| 1) 直接空気式 | | 2) パイプ型雪下直接空気式 | |
|---|----------------|---|----------------|
|  | |  | |
| 雪山に横穴を開けて、雪と空気を直接熱交換する | | 雪山下部に有孔管等を敷設して直接熱交換する | |
| 経済性 | ○ コストが安い | 経済性 | ○ コストが安い |
| 施工性 | ○ 施工が簡易である | 施工性 | ○ 施工が簡易である |
| 熱効率 | ○ 直接交換型の効率が優れる | 熱効率 | ○ 直接交換型の効率が優れる |
| 維持管理 | × 雪山の管理が小まめ必要 | 維持管理 | △ 雪山の管理がやや必要 |
| 総合評価 | ○ | 総合評価 | ◎ |
| 3) 雪下間接空気式 | | 4) 改良型雪下間接空気式 | |
|  | |  | |
| 雪山下部のパイプを介して、間接的に熱交換する | | 地中のパイプが砂を介して間接的に熱交換する | |
| 経済性 | ○ コストが安い | 経済性 | △ コストが割高になる |
| 施工性 | ○ 施工が簡易である | 施工性 | △ 地中のパイプ埋設が必要 |
| 熱効率 | △ 間接交換型はやや劣る | 熱効率 | △ 間接交換型はやや劣る |
| 維持管理 | △ 雪山の管理がやや必要 | 維持管理 | ○ 維持管理の手間が少ない |
| 総合評価 | △ | 総合評価 | △ |

2) 冷水循環式

表-10に示す冷水循環式の代表的な熱交換システムの中から、経済性、施工性、熱効率、維持管理に優れた「改良型雪下直接冷水式」を採用した。

表-10 熱交換システム (冷水循環式)

| 1) 雪下直接冷水式 | | 2) 改良型雪下直接冷水式 | |
|---|----------------|---|----------------|
|  | |  | |
| 雪山より発生する融解水を直接冷房に利用する | | 雪山下部に集水し、冷熱使用後の水を循環する | |
| 経済性 | △ 全空気式と比べてコスト高 | 経済性 | ○ 既設の設備等が使用できる |
| 施工性 | △ 排水勾配、集水桝が必要 | 施工性 | ○ 既設の設備等が使用できる |
| 熱効率 | ○ 直接交換型の効率が優れる | 熱効率 | ○ 直接交換型の効率が優れる |
| 維持管理 | ○ 維持管理が容易 | 維持管理 | ○ 維持管理が容易 |
| 総合評価 | ○ | 総合評価 | ◎ |
| 3) 雪下間接冷水式 | | 4) 改良型雪下間接冷水式 | |
|  | |  | |
| 雪山下部のパイプの循環水と雪が熱交換する | | 冷水槽内のパイプの循環水と雪が熱交換する | |
| 経済性 | ○ 冷水式の中では安価 | 経済性 | △ 全空気式と比べてコスト高 |
| 施工性 | ○ 施工が簡易である | 施工性 | △ 冷水槽を設置する必要あり |
| 熱効率 | △ 熱効率がやや劣る | 熱効率 | ○ 左図よりは熱効率が向上 |
| 維持管理 | △ パイプ周辺の空洞が不安定 | 維持管理 | ○ パイプ周辺の空洞が安定 |
| 総合評価 | △ | 総合評価 | △ |

3.2.4 実験用雪山の種類

以上の検討から、実験用雪山は、表-11に示すとおり、4種類造成し、それぞれ同じ体積、形状とした。また、断熱材としてのバーク材は約30cmの厚みで被覆し、断熱条件を統一した。

この内、道路排雪を利用した雪山2種類は、「全空気式」と「冷水循環式」による冷房実験に利用する。また、残りの雪山2種類は、道路排雪と新雪(融雪剤等を含まない)を利用して造成し、比較対照用として冷熱エネルギーを採集せずに自然融解させ、雪山の形状や体積の変化を測定する。

表-11 実験用雪山の種類

| | 名称 | 雪の種類 | 備考 |
|---|-------|------|---------|
| A | 全空気式 | 道路排雪 | 冷房実験に利用 |
| B | 冷水循環式 | 道路排雪 | 冷房実験に利用 |
| C | 比較対照用 | 道路排雪 | 自然融解 |
| D | 比較対照用 | 新雪 | 自然融解 |

3.3 雪山実験時の調査測定項目及び手法の検討

雪山実験時の調査測定項目及び測定手法について検討を行った。

3.3.1 調査測定項目の検討

全空気式、冷水循環式、比較対照用の実験用雪山及び実験場所での調査測定項目を表-12に示す。

表-12 調査測定項目

| | 項目 | 備考 |
|--------|--------|-----------------------------------|
| 全空気式 | 温度 | ファン入口・出口、実験庫内(送風口、天井部中央、床部中央、排気口) |
| | 湿度 | 実験庫内(送風口) |
| | 風速 | 実験庫内(送風口) |
| | 雪山体積 | 造成時(3月末)、5月末、7月末、9月末 |
| | 雪山形状変化 | デジタルカメラによる定点観測 |
| 冷水循環式 | 温度 | 実験庫内(FCU送風口、天井部中央、床部中央) |
| | 湿度 | 実験庫内(FCU送風口) |
| | 水温 | 集水桝、採水桝、地中配管、戻り配管 |
| | 雪山体積 | 造成時(3月末)、5月末、7月末、9月末 |
| | 流量 | FCU入口 |
| 比較対照雪山 | 雪山体積 | 造成時(3月末)、5月末、7月末、9月末 |
| | 雪山形状変化 | デジタルカメラによる定点観測 |
| 実験場所 | 気象 | 外気温度、湿度、風向、風速、雨量 |
| | 地中温度 | 冷水地中配管近傍、冷水影響範囲外 |

雪山実験時の計測室(仮設実験庫)としては、外気や日射の影響を受けないよう、100mm断熱付き12ftコンテナを採用した。計測機器設置図を図-10~13に示す。

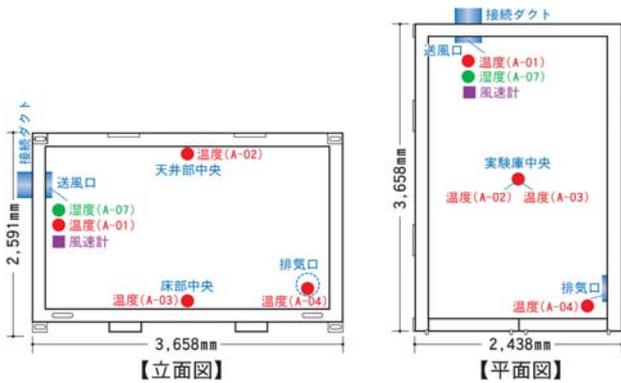


図-10 計測機器設置図 (全空気式、実験庫)

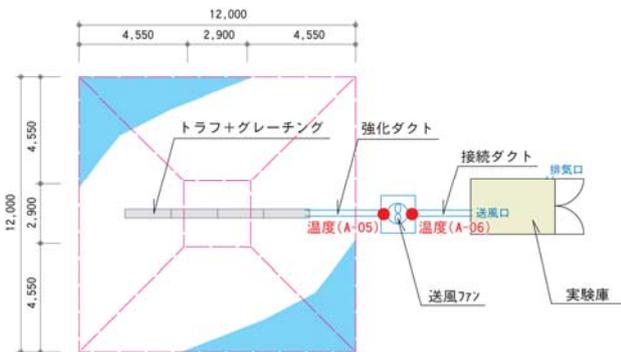


図-11 計測機器設置図 (全空気式、屋外)

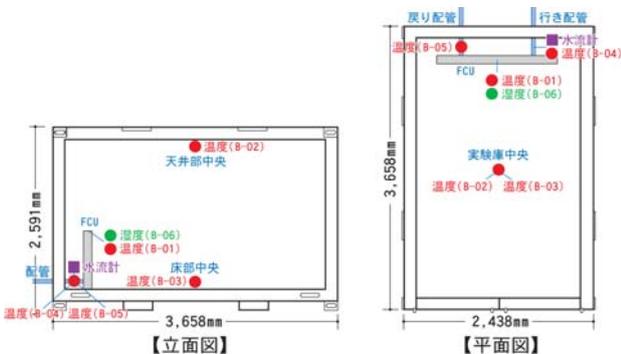


図-12 計測機器設置図 (冷水循環式、実験庫)

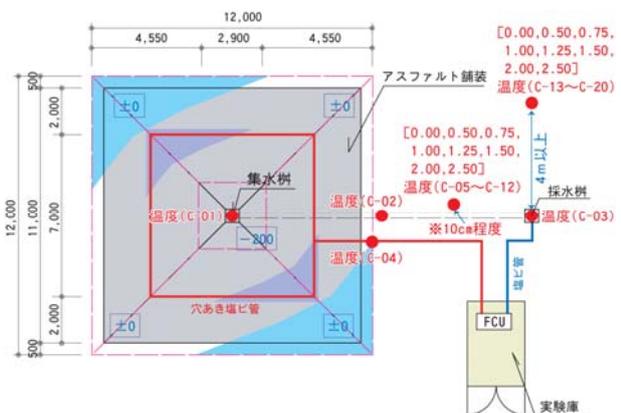


図-13 計測機器設置図 (冷水循環式、屋外)

3.4 採熱設備等基礎設計

以上の検討を踏まえ、採熱設備等の基礎設計を行った。

3.4.1 実験場所の選定

実験場所として、美唄自然エネルギー研究会⁴⁾の実験施設のある美唄市茶志内(空知工業団地内)を次の理由により選定した。

- ① 全道有数の豪雪地域であり、新雪及び道路排雪の雪が容易に確保できる。
 - ② 美唄自然エネルギー研究会の活動で利用された既設の実験基盤を一部活用できる。
- 実験場所を図-14に示す。



図-14 実験場所

3.4.2 全空気式の基礎設計

(1) 設計概要

「パイプ型雪下直接空気式」を基本にパイプの代替品として土木資材等で一般的に用いられるトラフを活用する。トラフの設置に当たっては、掘込をせず敷砂利の上にトラフを直接設置し、グレーチングで蓋をすることによって冷気の通り道を確保する。また、トラフに接続したダクトを経由し、雪山内部で冷却された空気をファンで実験庫に送風する。

(2) 仕様及び設定根拠

1) 送風ファンの出力

冷水循環式と条件を合わせ仮設実験庫に与える冷房負荷能力を5.0kWに設定した。

また、7月・8月の真夏日(気温30℃以上の日)においても十分な冷却能力が得られるよう、冷風温度差を12℃(20℃前後の冷風を得られる状況)を想定した。

$$(\text{雪冷房の冷熱出力}) = (\text{ファンの風量}) \times (\text{圧力損失による低減率}) \times (\text{冷房温度差}) \times (\text{空気の比熱}) \times (\text{空気の比重})$$

$$5.0\text{kW} (4,300\text{cal}) = \text{ファンの風量} \times 0.7 \times 12.0 \times ((4.18605/1000) \times 1.16) \times (0.24/3.6)$$

よって、ファンの風量=1,830 m³/時≒30 m³/分

2) ダクト

送風出力 (30 m³/分) を有するポータブルファンは、口径が 300mm となるが、送風する冷気の摩擦抵抗や圧力損失が生じることから、送風ダクトの口径を 350mm と設定した。雪山から得た冷風をファンに接続するダクトは、その一部が雪山下に埋設されるため、荷重を考慮して強固な補強スパイラルダクト (強化ダクト) とした。また、日射や外気の影響を避けるため、ダクトには 50mm の断熱材を付設することとした。

3) トラフ、グレーチング

雪山下の冷気をダクトに接続するパイプの役目を果たすトラフの規格は、ダクト外径 450mm (350mm+断熱材 50mm×2) に合わせ、450mm 型の U 字トラフとした。トラフが雪山に埋設することを防ぐ役目として、グレーチングを設置した。

写真-2 に設置状況、表-13 に使用資材、図-15 に全体図を示す。



写真-2 トラフ及びダクト設置

表-13 使用資材 (全空気式)

| 名称 | 仕様 | 数量 |
|---------|-----------------------------------|------|
| U字トラフ | 450 型 | 8m |
| グレーチング | 450 型 | 8m |
| 強化ダクト | 補強スパイラルダクト 350φ50mm 断熱付き | 4m |
| 接続ダクト | 350φ50mm 断熱付き | 5.5m |
| 接続エルボ | 350φ50mm 断熱付き | 1式 |
| 送風ファン | 30m ³ /分 1φ100V550W 相当 | 1台 |
| 接続チャンバー | 1000×600×600 断熱内張・蓋付 | 1台 |

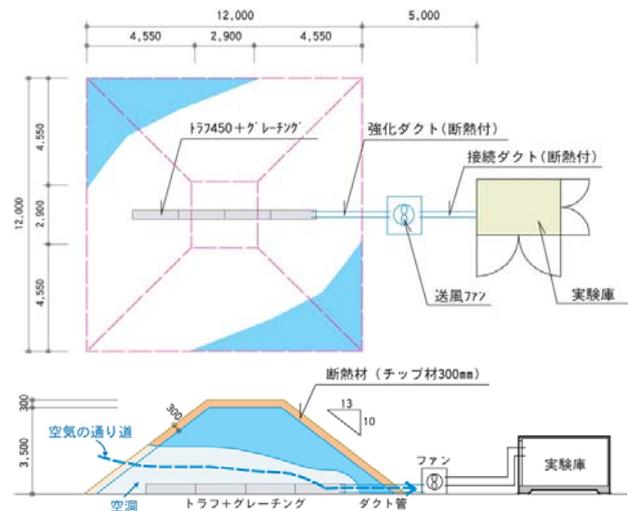


図-15 全体図 (全空気式)

3.4.3 冷水循環式の基礎設計

(1) 設計概要

実験の経済性や施工性に配慮し、美唄自然エネルギー研究会が過去に使用したアスファルト舗装や集水桝・採水桝を部分的に補修した上で活用した。

集水桝に向かって勾配のついた舗装面を雪の融解水が流下し、集積した冷水を採水桝から水中ポンプで塩ビ管を通して送風機 (FCU) に送水する。

本実験では、熱交換機を介さない冷水循環式を試験的に採用する。しかし、道路排雪の融解水には泥やゴミが混入しており、これらが送風機 (FCU) のフィンに付着することが懸念されるため、採水桝にフィルターを設置した。

(2) 仕様及び設定根拠

1) 送風機 (FCU) の出力

全空気式と同様に、仮設実験庫に与える冷房負荷能力を 5.0kW に設定した。

2) 水中ポンプの出力

水中ポンプの出力は、冷水温度差を 4.0°C (5.0°C の送水 [往] と 9.0°C の環水 [復] となる状況) を想定し、送風機の冷房能力を加味して決定した。

$$(\text{雪冷房の冷熱出力}) = (\text{ポンプ流量}) \times (\text{摩擦抵抗による低減率}) \times (\text{冷房温度差}) \times (\text{水の比熱}) \times (\text{水の比重})$$

$$5.0\text{kW} (4,300\text{cal}) = \text{ポンプ流量} \times 0.6 \times 4.0 \times 1.0 \times 1.0$$

よって、ポンプの設計流量=1,791L/時≒30L/分

3) フィルターの素材

冷水循環式では、融解水に含まれる汚泥を除去するため、一般的にフィルターと熱交換器の設置が必要である。しかしながら、フィルターは、目詰まりを起こしやすく、

メンテナンス頻度が高くなる。また、冷房規模が大きくなると熱交換器に要求される能力も高まるが、熱交換器が高価であるため、イニシャルコストが大きく増大する。

そこで、本実験では透水性が高く（空隙率 40%）、目詰まりを起こしにくい帆立貝殻製のフィルターを採用した。

写真-3、写真-4に設置状況、表-14 に使用資材、図-16 に全体図を示す。



写真-3 塩ビ管敷設



写真-4 採水柵及びフィルター設置

表-14 使用資材（冷水循環式）

| 名称 | 仕様 | 数量 |
|----------|------------------------------|-----|
| 塩ビ管 | 32A 継手共 | 28m |
| 穴あき塩ビ管 | 32A 散水孔@1000mm 継手共 | 25m |
| 水中ポンプ | 32A×30L/分×5.8m×1φ100V150W 相当 | 1基 |
| 送風機(FCU) | 冷房能力 5.21kW×7.5L/分×15A 相当 | 1基 |
| フィルター | 300×300×500h 帆立貝殻製 | 1基 |

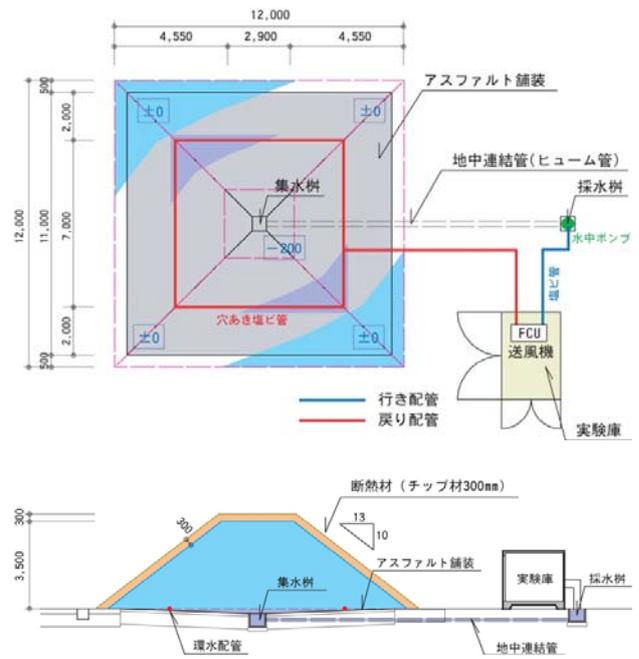


図-16 全体図（冷水循環式）

3. 4 実験用雪山の造成

基礎設計を踏まえ、雪山の造成を行った。実験に使用する雪は、美唄市盤の沢地区の雪堆積場よりダンプトラックで国道の排雪した雪を運搬して使用した。

4種類の実験用雪山すべてについて、寸法、断熱材厚さを計測した結果、検討どおりの規模になっていることを確認した。また、雪密度を測定した結果、平均雪密度は 0.65g/cm^3 であった。表-15 に雪密度計測結果を示す。

表-15 雪密度計測結果

| 単位 (g/cm ³) | 雪山A | 雪山B | 雪山C | 雪山D |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 北面 | 0.68 | 0.65 | 0.64 | 0.63 |
| 東面 | 0.65 | 0.63 | 0.66 | 0.65 |
| 南面 | 0.62 | 0.63 | 0.64 | 0.68 |
| 西面 | 0.67 | 0.70 | 0.66 | 0.67 |
| 4面平均 | 0.655 | 0.653 | 0.650 | 0.658 |
| 雪山平均 | 0.65 | | | |

造成した雪山の雪密度が 0.65g/cm^3 であったことから、冷房有効可能熱量を再計算したところ、造成時には 11,360Mcal、1.5m融解時には 2,320Mcal の冷熱エネルギーを最大で得ることができる（表-16）。

表-16 実験用雪山の体積・重量（再計算）

| | 造成時（計測結果） | 融解時（1.5m融解時） |
|-------|----------------------|----------------------|
| 底面の一辺 | 12.0m | 7.1m |
| 上面の一辺 | 2.9m | 1.9m |
| 雪山の高さ | 3.5m | 2.0m |
| 雪山の体積 | 218.4 m ³ | 44.7m ³ |
| 雪密度 | 0.65t/m ³ | 0.65t/m ³ |
| 雪山重量 | 142.0 t | 29.0 t |

実験用雪山の概要を表-17に再掲する。また、実験用雪山の配置図を図-17に、パーク材被覆前の雪山の様子を写真-5、被覆後を写真-6に示す。

表-17 実験用雪山概要

| | 名称 | 雪の種類 | 規模 |
|---|---------|------|---|
| A | 全空気式 | 道路排雪 | 底辺12.0m、高さ3.5m 勾配比1.3:1.0 体積218m ³ 、重量142t |
| B | 冷水循環式 | | |
| C | 自然融解 | 新雪 | 雪密度0.65t/m ³ |
| D | (比較対照用) | | |

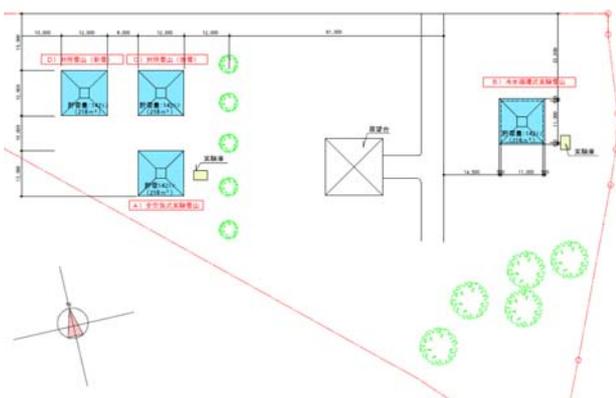


図-17 実験用雪山配置図



写真-5 パーク材被覆前



写真-6 パーク材被覆後

4. まとめ

雪氷冷熱エネルギーを活用した施設は、近年増加してきているが、屋内（貯雪庫）での利用がほとんどで屋外での保存及び利用については普及途中の段階であることがわかった。次に、北海道開発局札幌開発建設部管内の各市町村に対しアンケートを実施し、新エネルギーとしての雪氷冷熱の利用及び道路除排雪の利用について関心が高いという結果を得た。

雪堆積場で実用可能な冷熱システム検討のため、実験施設の検討及び基礎設計を行い、美唄市茶志内（空知工業団地）に実験用雪山を造成した。冷熱交換方式は「全空気式」及び「冷水循環式」とし、それぞれの実験庫に冷熱エネルギーを供給する熱交換システムとした。造成にあたっては、道路排雪の雪を美唄市盤の沢地区から運搬した。また、道路排雪と新雪（融雪剤等を含まない）による融解速度の違いを把握するため、比較対照用の雪山も造成した。実験は、冷熱採集状況を把握するために、実験庫内温度などの温度計測、実験場所での風向、風速、気温などの気象観測、定点カメラによる雪山の体積、形状変化等の観測、定期的な測量などの各種計測を今春から実施する。

今後、実験データの収集を通して雪堆積場から冷熱エネルギーが取得できることを確認し、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) 北海道経済産業局：雪氷熱エネルギー活用事例集4増補版 平成22年6月
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課：官庁施設における雪冷房システム計画指針、平成20年7月
- 3) 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
- 4) 美唄自然エネルギー研究会：
URL <http://www.net-bibai.co.jp/eneken/>
- 5) 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

Budgeted : Grants for operating expenses (general account)

Research Period : FY2011 - 2014

Research Team : Machinery Technology Research Team

Author : KATANO Koji

YAMAGUCHI Kazuya

EINAGA Tetsuya

IGARASHI Tadashi

TAIRA Tomonari

Abstract : While the use of cool energy from snow, which is renewable energy, has been considered, costs of collecting snow have been a problem. Therefore, although cool energy from snow has been put into practical use (use of snow removed in winter for cooling in summer), use in large-scale cool energy utilization facilities has not been systematized both technologically and socially. Meanwhile, snow hauling costs have increased in Sapporo and other urban areas due to increasing difficulty in securing snow dumping sites and longer transport distances.

Therefore, the use status of facilities using cool energy from snow was summarized, cool energy systems and survey methods feasible at snow dumping sites were considered and basic design of experiment facilities was conducted this year, to present technology for use of snow dumping sites and reduce snow hauling costs. In addition four experimental snow mound were manufactured at Chashinai in Bibai (in the Sorachi Industrial Park), including those of all air- and cold water circulation types for collecting cool energy using snow removed from roads, as well as those for comparison to determine the difference in thaw rate between snow removed from roads and fresh snow.

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