

雪氷資源活用のための大規模スノーマウンド被覆材の実験と解析

Study on sheet covered snow mound for snow-and-ice resource utilization

長田 勉 (国策建設) 正会員 佐藤 貴季 (北海道大学) *
学生会員○牧野 孝男 (北海道大学) 正会員 濱田 靖弘 (北海道大学)
小野 孝之 (国策建設) 橋本 良明 (国策建設)
衛藤 武志 (小川テック) 正会員 山田 則行 (新菱冷熱工業)
正会員 窪田 英樹 (北海道大学)

*現：ドーコン

Tsutomu NAGATA*² Takao MAKINO*¹ Takaki SATOH*¹
Yasuhiro HAMADA*¹ Takayuki ONO*² Yoshiaki HASHIMOTO*²
TAKESHI ETO*³ Hideki KUBOTA*¹ Noriyuki YAMADA*⁴
*¹ Hokkaido University *² KOKUSAKU Kensetu Corporation Ltd.
*³ OGAWATEC Co., Ltd. *⁴ Shinryo Co., Ltd.

Synopsis: If snow and ice can be kept and utilized as cooling sources for space cooling and food storage, they will have possibility of energy conservation and CO₂ reduction. This paper shows results on field experiments on snow melting characteristics of various sheet covered snow mounds and compared thermal insulation performance.

はじめに

近年、積雪寒冷地を中心として冷房負荷などのコスト削減対策として雪を資源として活用する動きが見られ^{1),2)}、雪氷がもつ冷熱エネルギーの存在が見直されている。また、2002年には、雪氷冷熱エネルギーが新エネルギーに認定されており、現在国内に雪氷冷熱利用施設は約130件あり、化石燃料の代替エネルギーとして環境負荷が低い雪氷冷熱エネルギーを有効利用することでCO₂排出量の削減に貢献できると考えられる。

積雪寒冷地において除排雪には多大な労力と費用が投入されているが、雪堆積場や雪山を雪氷冷熱の賦存先ととらえ、農作物・氷の貯蔵、周辺施設への冷熱供給源、大規模・高冷房負荷施設への冷熱源として利

用することにより、更なる雪氷冷熱の有効利用が期待される(図-1)。

本論文では、雪山を冷熱源として利用する場合に必要なスノーマウンド被覆材の実験と解析を行ったものである。まず、露天型スノーマウンド、及び各種被覆材の実証実験と解析、融解実績について述べ、次に、それぞれの被覆材の融解特性の比較を行う。

1. 露天型スノーマウンド¹⁾

本方式は雪堆積場などをそのまま利用することを想定したものである。2006～2008年度に融解特性の実験を行った。本実験施設は旭川市内に所在する許容雪量が約40万m³の実際の雪堆積場(図-2)を利用して、南東-北西方向に約160m、南西-北東方向に約120mの規模となっている。

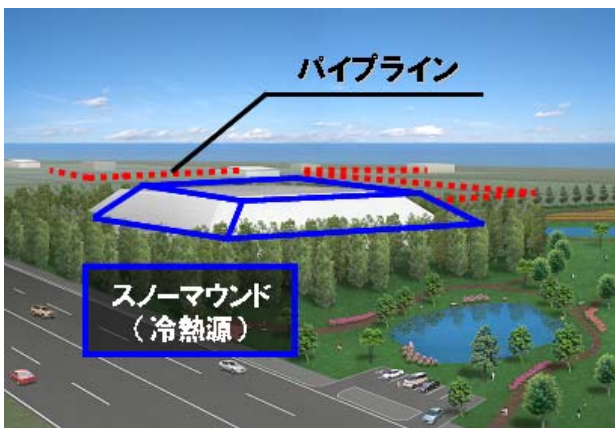


図-1 スノーマウンド冷熱利用の概念図



図-2 露天型スノーマウンドの外観

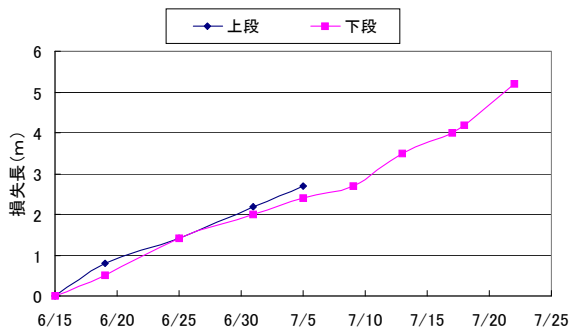


図-3 実測損失長 (2006年)

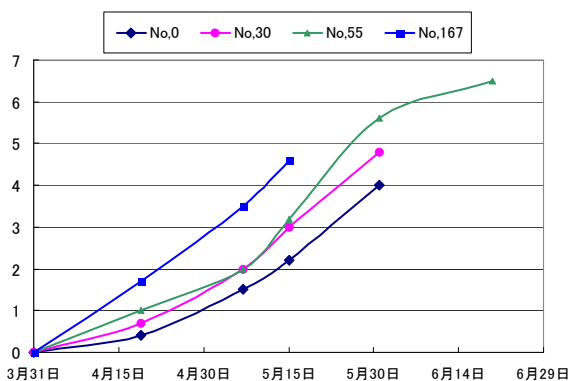


図-4 実測損失長 (2007年)

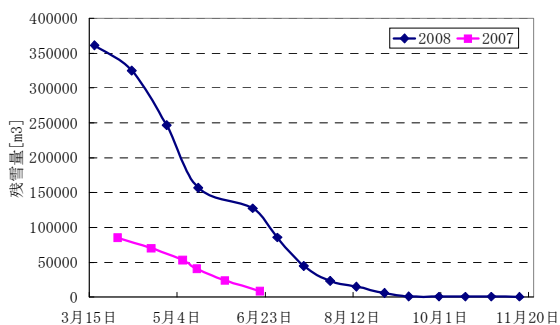


図-5 残雪量推移 (2007, 2008年)

図-3, 4に2006年度, 2007年度の実測損失長(図中凡例は既報参照)を, 図-5に2007年度, 2008年度の残雪量推移を示す。

2006年は6月15日からの一ヶ月間で約5mの損失が進んでおり, 2007年度は3月31日から測定を行い, 6月中旬までに約7mの損失長となった。2008年度は初期貯雪量約36万m³であり, 11月中旬に400m³, 下旬にはほぼ全てが融解した。

2. 防水遮光被覆材²⁾

本方式は雪山をシートで覆い防水・遮光を行ったものである。実験は江別市で行った。図-6に雪山外観を示す。高さ16.4m, 底面33m×36m, 雪山総体積量約6400m³のピラミッド形状の雪山を造成した。



図-6 防水遮光被覆材の外観 (防水遮光シート)

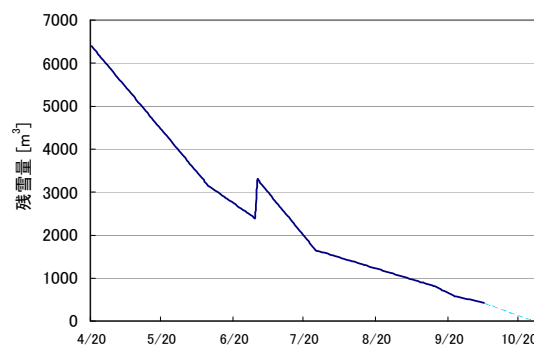


図-7 残雪量推移

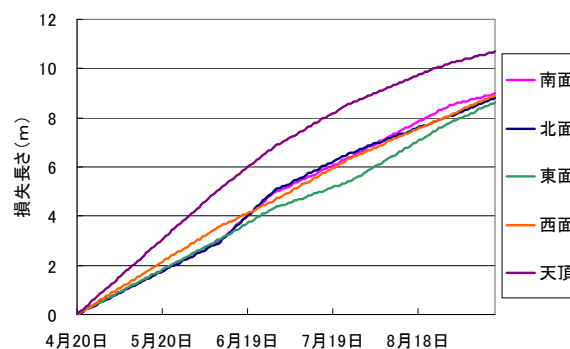


図-8 実測損失長

雪山の周囲には融解水量を測定するために排水ピット部を設け, 融解水をハウス内の植物栽培へとカスケード利用する。また本実験は雪山による氷ブロック貯蔵実験も同時に行っている。

図-7, 8に雪山の残雪量, 及び損失長の推移を示す。6月9日時点では3150m³, 天頂の損失長5.98mであり, 初期体積の約半分となった。6月30日に950m³の雪を追加しているが, これは氷ブロックの露出を防ぐためである。損失長は9月中旬で約9~11mであった。

3. 空気膜断熱被覆材³⁾

新千歳空港ターミナルビル南のエリアに空気膜断熱被覆型スノーマウンドを造成し融解実測評価を行った。空気膜断熱被覆材の概要を図-9に, 外観を図-10

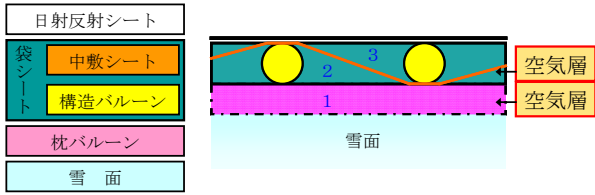


図-9 空気膜断熱被覆材の概要



図-10 (a) 空気膜断熱被覆材の外観 (2009/4/8)



図-10 (b) 空気膜断熱被覆材の外観 (2009/6/16)

に示す。外装にターポリンシートを、内装に PVC シートを使い空気を内部に閉じ込めたもので厚さは約 300 mm である。まず、袋状になったターポリンシート内に構造バルーンを入れ、空気層を作り、袋シート内に中敷シートを挟みこむ。さらに、袋シート下に枕バルーンを敷き雪面と袋シートの間に空気層を作る。これによって空気層が3つできるため高い断熱効果が期待できる。

図-11 に雪山の残雪量推移を、図-12 に損失長を示す。3月24日時点の体積は 2734 m³ であり、6月13日には初期体積の7割の 1917 m³ まで融け、実験終了月の9月5日には体積は 1154 m³ と初期体積の4割以上を保存することができた。また、損失長も3月4日から9月5日までで約 1.7~2.6 m と高い断熱性を示した。

4. 高性能断熱被覆材

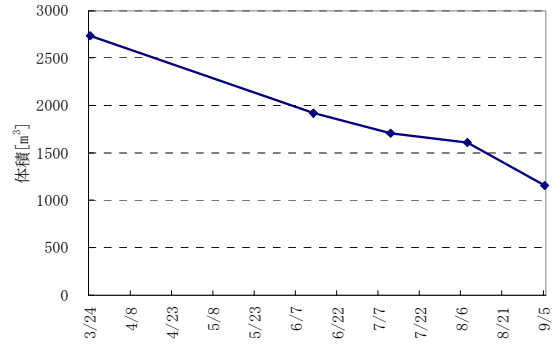


図-11 残雪量推移

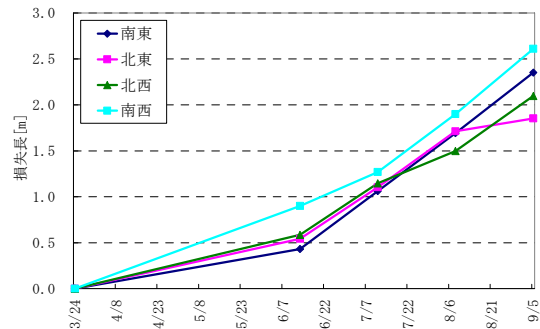


図-12 実測損失長

2009年に旭川市の雪堆積場において高性能断熱被覆材の実験を行った。被覆材の概要を図-13に、外観を図-14に示す。シートはポリエチレン繊維を PE フィルムでコーティングしたものであり、表面はホワイト、裏面がシルバーとなっている。シートの中には 50 mm の断熱材 (発泡材) が入っている。4 m × 8 m の大きさを 1 セルとした。

水平面の実測損失長と計算値の比較を図-15に示す。ここで計算値は図-13の被覆材熱抵抗、相当外気温度から熱貫流による融解量予測を行ったものである。比較的高い再現性が得られていると言える。また、7月中旬までの損失長が 0.5m 以下と高い断熱性を維持した。

5. 各種被覆材の融解特性

拡張アメダス標準年気象データ (旭川市) を用い、3月1日から11月30日までの各種被覆材の融解特性の比較を行った。露天型スノーマウンド (表面堆積土厚 2 cm)¹⁾、防水遮光被覆材 (表面堆積土厚 5 cm)²⁾ については既報によった。空気膜断熱被覆材は図-16のモデルを想定している。Sawdust (Sweden) に関しては、参考文献^{4), 5)}の融解実績から推定したものである。図-17に各被覆材の融解特性比較の結果を示す。11月末までの損失長が露天型で約 22 m、防

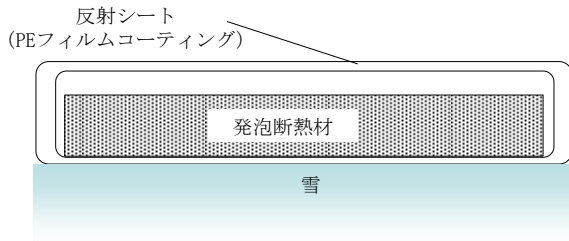


図-13 高性能断熱被覆材の概要



図-14 高性能断熱被覆材の外観

水遮光被覆材が 12 m であり、Sawdust で 6 m であった。空気膜断熱被覆、及び高性能断熱被覆材の損失長はそれぞれ 2.5 m, 1 m と高い融解防止効果を得られる結果となった。

まとめ

- 1) 数十万トン規模の雪山を農作物・氷の貯蔵、周辺施設への冷熱供給源、大規模・高冷房負荷施設への冷熱源として利用することにより、更なる雪氷冷熱の有効利用が期待される。
- 2) 露天型スノーマウンドの融解特性に関する実験を行った。初期雪量 36 万 m³ であり、11 月下旬にはほぼ全てが融解した。
- 3) 防水遮光被覆材の融解特性に関する実験を行った。損失長は 9 月中旬時点で約 9~11 m であった。
- 4) 新千歳空港ターミナルビル南のエリアに空気膜断熱被覆型スノーマウンドを造成し融解実測評価を行った。3つの空気層を利用し高い断熱効果を狙ったものであり、実測損失長は 1.7~2.6 m であった。
- 5) 旭川市の雪堆積場において高性能断熱被覆材の実験を行った。日射反射率の高いシート内部に発泡性断熱材を入れたものであり、7 月中旬までの損失長が 0.5m 以下と高い断熱性を維持した。また、計算値との損失長の比較を行い、比較的高い再現性が得られた。

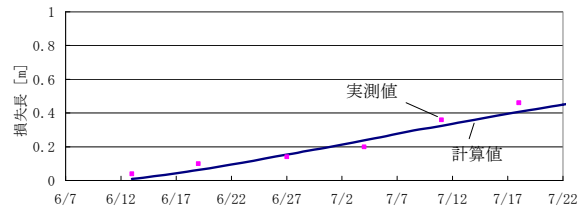


図-15 損失長、実測値比較

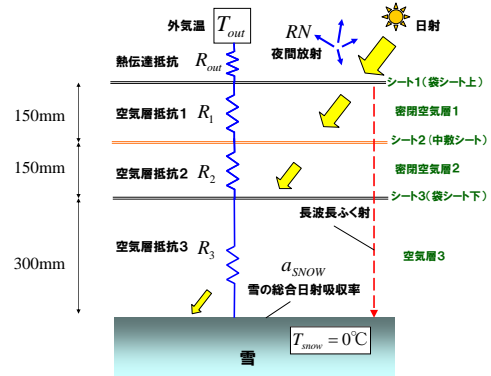


図-16 空気膜断熱被覆材計算モデル

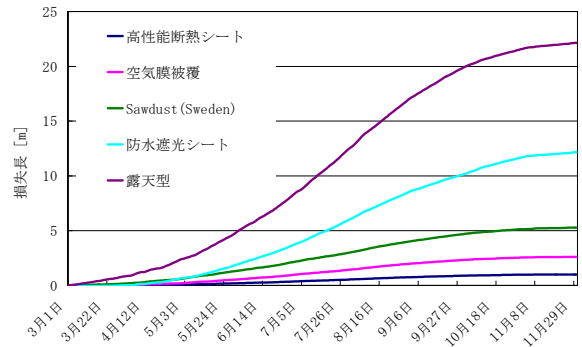


図-17 各被覆材融解特性の比較

- 6) 各種被覆材の融解特性の比較を行った。11 月末までの損失長が露天型約 22 m, 防水遮光被覆材約 12 m, Sawdust で約 6 m であった。空気膜断熱被覆、及び高性能断熱被覆材の損失長はそれぞれ 2.5 m, 1 m と高い融解防止効果を得られる結果となった。

参考文献

- 1) 吉添一城ら：露天型スノーマウンドを用いた無動力冷蔵システムに関する研究，空気調和・衛生工学会北海道支部第 42 回学術講演会論文集（2008-3），pp195~198
- 2) 吉添一城ら：シート被覆型スノーマウンドを用いた無動力冷蔵システムに関する研究，空気調和・衛生工学会北海道支部第 42 回学術講演会論文集（2008-3），pp231~234
- 3) 国土交通省東京航空局：雪を利用した環境施策，http://www.mlit.go.jp/tokyo_cab/15_cool/01_gaiyou/pdf/allv7.pdf
- 4) Kjell Skogsberg, Bo Nordell : Seasonal Snow Storage for Cooling Applications(2001), LICENTIATE THESIS
- 5) Kjell Skogsberg : Seasonal Snow Storage for Space and Process Cooling(2005), DOCTORAL THESIS