



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	移動式高密度雪氷庫システムの貯雪特性に関する実測と評価
Author(s)	伊藤, 潤一; 濱田, 靖弘; 中村, 真人 他
Description	第11回衛生工学シンポジウム (平成15年11月6日 (木) -11月7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 一般セッション . 5 建築・都市環境とエネルギー有効利用 . P5-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 11, 213-216
Issue Date	2003-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7084
Type	departmental bulletin paper
File Information	11-5-6_p213-216.pdf



5-6 移動式高密度雪氷庫システムの貯雪特性に関する実測と評価

○伊藤 潤一 (北海道大学)
中村 真人 (北海道大学)
工藤 一博 (工藤建設)

濱田 靖弘 (北海道大学)
窪田 英樹 (北海道大学)
橋本 良明 (今組)

はじめに

寒冷地では冬期間に雪氷を貯蔵し、夏期に冷房の冷熱源として利用するという概念は古くから存在していた¹⁾。雪氷は大きな冷熱を保有しており、この冷熱を夏期の冷房や農産物の貯蔵に利用できれば省エネルギーや二酸化炭素排出量削減に貢献し得る可能性を有しており、1986年の先駆的事例²⁾(北海道幕別町)、媚山らによる研究³⁾が特筆される。2002年に雪氷冷熱エネルギーが新エネルギーとして認定され、注目されている^{4) 5)}が、雪氷を通年利用するためには雪氷庫の高断熱化が必要不可欠であり、雪氷庫の建設コストが高くなってしまふことが難点となっている。

本研究は、雪氷冷熱利用の高効率化・省コスト化をめざした移動式高密度雪氷庫システムの提案とその貯雪特性の評価を目的としたものである。まず、移動式高密度雪氷庫システムの概要と岩手県水沢市に建設した実証実験のための施設について述べる。次いで、移動式高密度雪氷庫の貯雪特性の予測計算を行うとともに、実験施設における雪氷庫の貯雪特性に関する実測結果について報告する。

1. 移動式高密度雪氷庫システムの提案

現在普及している雪氷庫の多くはロータリーブローアを用いて雪を投入しており、貯蔵する雪の密度は 500 kg/m^3 程度である。そのため、雪氷を通年利用しようとすると、雪氷庫の規模が大きくなってしまふ。これが高断熱化と共に建設コストを増大させる原因の一つである。また、現在普及している雪氷庫で圧雪を試みようとすると、断熱材を使用している外壁に圧力がかかってしまふ、断熱材の能力を低下させてしまふ恐れがある。

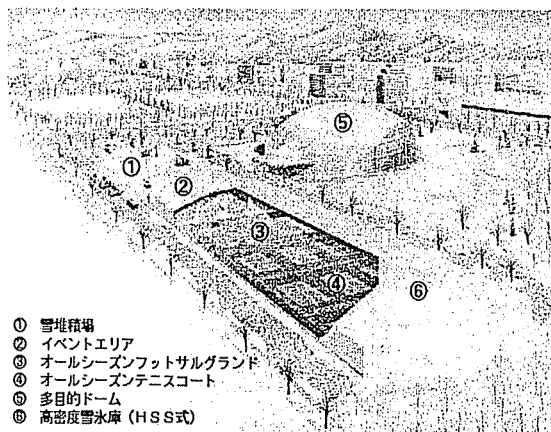


図-1 都市冷泉構想図 (冬期)

筆者らが提案する移動式高密度雪氷庫 (High-density Snow Storage : HSS) システム (図-1, 2) では、断熱材に負担をかけずに雪密度 800 kg/m^3 程度まで高めることを期待している。これにより、従来のシステムと比較して、単純に単位質量あたりの体積が6割程度に小さくなるだけでなく、雪の単位質量あたりの表面積が小さくなるので、雪氷庫外部からの熱貫流による損失熱量が小さくなる。

移動式高密度雪氷庫の作業工程を図-3に示す。本システムは、冬期間、運んできた雪をピット上に堆積し、建設用機械等を用いて踏み固め、圧雪しながら雪山を形成していく。そして、完成した雪山を雪氷庫の大きさに合わせて形を整え、最後に雪氷庫をピット上へ移動させるというものである。雪堆積期間中、雪山の側にある空の雪氷庫を多目的屋内空間として利用することが可能である。また、移動式を導入したことにより、雪氷庫を簡易化させたことも特徴の一つである。これらのことから本システムは、問題となっている建設コストの削減に大きく貢献できるものと考えられる。

2. 移動式高密度雪氷庫システムの建設⁶⁾

岩手県水沢市において移動式高密度雪氷庫 (図-4) を建設した。雪氷庫の建物概要を表-1に示す。雪氷庫はドーム型の地上部と地下ピットから成り、総体積は 840.3 m^3 である。この雪氷庫に 612 m^3 の雪を貯蔵し、冷房の冷熱源とする。これは雪密度 800 kg/m^3 が実現できれば 489.6 t の雪に相当する。冷房方式には、雪の融解水を冷水槽に貯め、そこから熱交換器を介して行う熱交換冷水循環方式 (融解水) が採用されている。冷房システム系統図を図-5に示す。熱交換した後の冷水を再び雪氷庫に

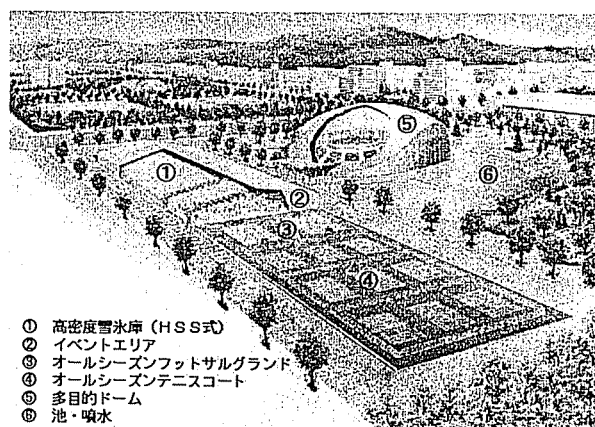


図-2 都市冷泉構想図 (夏期)

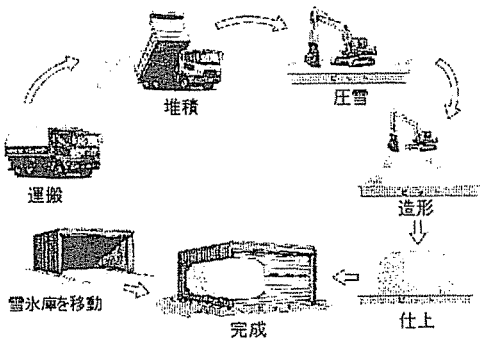


図-3 移動式高密度雪氷庫の作業工程

表-1 雪氷庫概要

雪氷庫地上部体積	716.5 m ³	
地下ピット部体積	123.8 m ³	
総体積	840.3 m ³	
雪山体積	612.0 m ³ (489.6 t)	
冷房方式	熱交換冷水循環方式(融解水)	
断熱仕様 (発泡ウレタン)	屋根	200 mm
	南北外壁	100 mm
	東西外壁	150 mm
	ピット下	100 mm

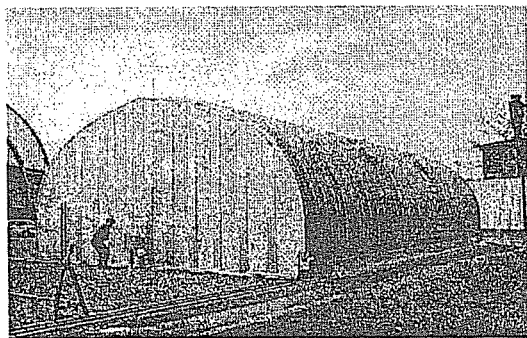


図-4 移動式高密度雪氷庫の外観

戻し、雪氷庫内の雪山に散水することにより、冷熱を回収する。融解水量が冷水槽の容量を越えた場合には、強制的に槽外に排水する。雪氷庫の断熱材には発泡ウレタンを使用しており、方位により厚さを変えている。2003年夏期より事務所施設(図-6)の冷房を行う⁷⁾。

3. 移動式高密度雪氷庫の貯雪特性の予測計算

移動式高密度雪氷庫の貯雪能力を予測するために、汎用熱負荷解析プログラム⁸⁾を用いて、外壁、天井、床からの貫流熱による損失熱量を計算した。雪氷庫内の温度は、媚山らの文献^{9), 10)}を参考にし、3℃とした。図-7に月別の損失熱量と残雪量を示す。6月1日から冷房運転を行うとすると、冷房開始までに約96%の雪を貯蔵しておくことが可能となる。東西南北外壁、屋根及び地下ピットからの損失熱量の違いを求めた。各方位における単位面積あたりの損失熱量を図-8に示す。東面と西面は断熱材が他より厚いので損失熱量は若干小さく、南面、北面および屋根からの損失熱量が大きくなった。また、雪氷庫の断熱材の厚さを変えて損失熱量を計算した結果を

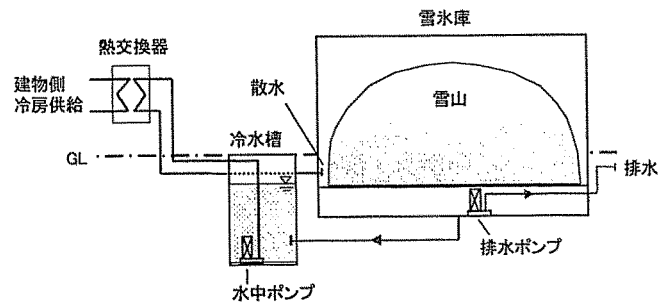


図-5 冷房システム系統図

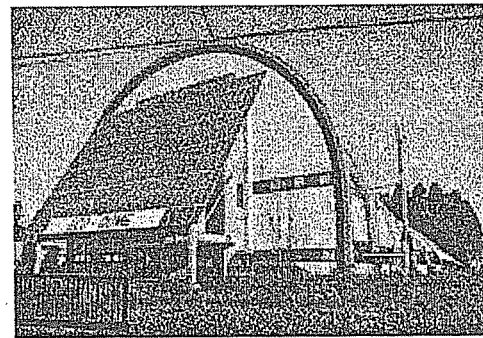


図-6 事務所施設外観

図-9に示す。断熱材の厚さが100 mmあれば冷房開始までに95%の雪を貯蔵しておくことができる。また、断熱材を100 mmより厚くしても残雪量に顕著な差は見られなかった。

次に、この移動式高密度雪氷庫システムの冷房能力について検討した。岩手県の事務所施設における冷房エネルギー需要^{9), 10)}と比較したところ、雪冷房で1年間の全冷房需要をまかなうことを想定した場合、雪密度が800 kg/m³であれば貯蔵雪体積1 m³あたり冷房対象施設1.40 m²の冷房が可能であるという結果になった(図-10)。本雪氷庫における貯蔵雪量は612 m³であるので、延べ床面積860 m²程度の冷熱貯蔵が可能である。

4. 移動式高密度雪氷庫システムの実測

4.1 測定項目

外界からの熱による雪の損失特性を把握するために、壁面及び土壌の温度測定(総計93点)を行う。雪の融解には外気温度、土壌温度及び日射による影響が大きく、方位によって雪の融け方が変わってくるということが予想されるため、床下や方位別の温度差に注目して測定を行う。表-2、図-11にそれぞれ測定項目、測定機器および温度測定位置を示す。測定期間は3月5日から雪氷庫内の雪がなくなる日までとする。測定は10分間隔とし、データロガーによりパソコンに取り込む。

4.2 実測結果

2月27日に雪氷庫を雪山の方へ移動させた。雪山の高さが0.7 m、2.7 m、4 mの地点における雪密度を測定した結果、密度はそれぞれ、752、740、774 kg/m³であり、平均で756 kg/m³であった。目標としていた800 kg/m³には達しなかったものの高密度な雪山を形成することが

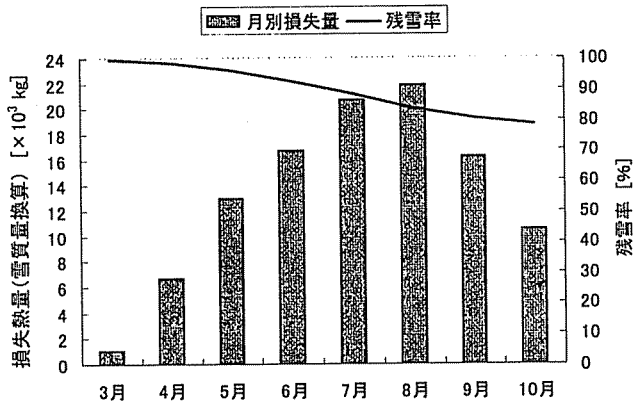


図-7 実験雪氷庫の損失熱量と残雪量

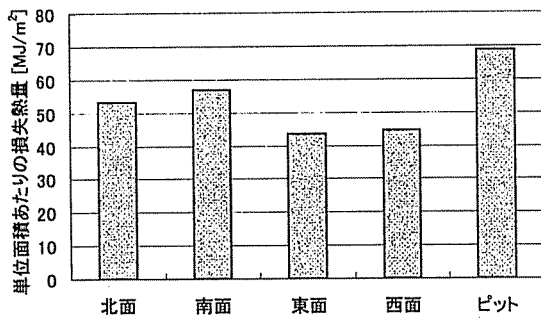


図-8 方位別損失熱量

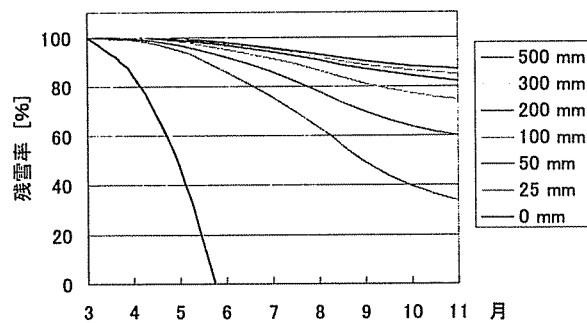


図-9 断熱材の厚さの変化に伴う残雪量の違い

できた。

3月から6月までの雪氷庫地下の温度分布を図-12~19に示す。中心部分は時間が経つにつれ徐々に温度が低下しているが、周囲部分では温度の上昇がみられる。今後、地下への熱損失量等について詳細に分析を進める予定である。

まとめ

- 1) 雪氷冷熱利用の高効率化・省コスト化をめざして雪密度を高める移動式高密度雪氷庫システムの考え方を提示するとともに、岩手県水沢市に建設した実証実験施設の概要を示した。雪氷庫容積、貯雪量はそれぞれ 840.3 m^3 、 612 m^3 であり、熱交換冷水循環方式による冷房運転を2003年夏期から実施する。
- 2) 岩手県水沢市における移動式高密度雪氷庫システム

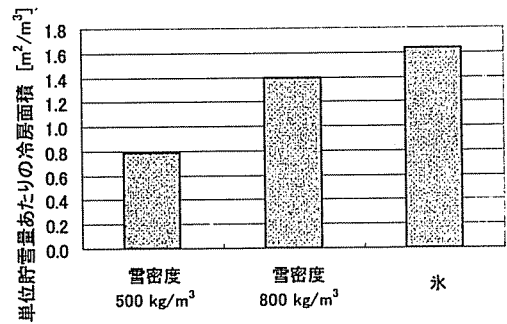


図-10 雪氷庫の冷房能力

表-2 測定項目

測定項目	センサー	測定点数
外界条件	外気温度	温湿度計 1
	外気湿度	
	風速	風速発信機 1
	日射量	日射計 1
	降雪量	雨量計 1
雪氷庫	温度	CC熱電対 93
	温度	シーツ熱電対 6
冷水系統	流量	流量計 3
	ポンプ消費電力	電力量計 3
	室内温度	温湿度計 12
室内湿度		
事務所側	FCU吹出温度	1

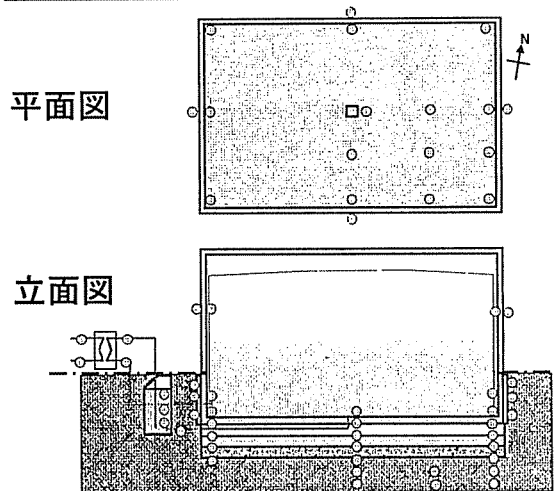


図-11 温度測定位置

の貯雪特性の解析を行った結果、断熱材（発泡ウレタン）100 mm 以上を施すことにより、冷房開始時期（6月1日）までの損失熱量が5%以下になることを示した。また、岩手県における事務所の冷房負荷と比較した結果、延べ床面積 860 m^2 ($1.40 \text{ m}^2/\text{m}^3$) 相当の冷熱貯蔵が可能であることが分かった。

- 3) 岩手県水沢市の事務所（延べ床面積 988.81 m^2 ）における冷房設備として移動式高密度雪氷庫システムを導入した。
- 4) 移動式高密度雪氷庫システムの貯雪特性に関して、雪氷庫直下地盤等温度変化の実測を行い、熱の散逸状況について考察を行った。

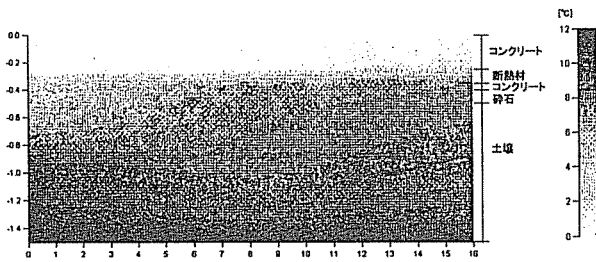


図-12 雪氷庫地下温度分布 (2003年3月6日)

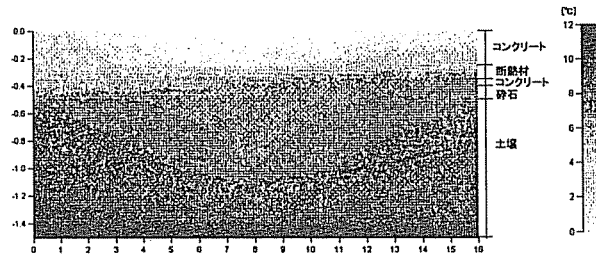


図-13 雪氷庫地下温度分布 (2003年4月1日)

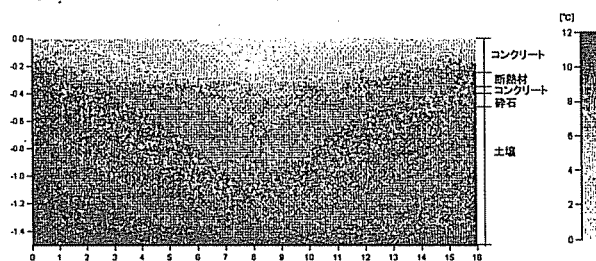


図-14 雪氷庫地下温度分布 (2003年5月1日)

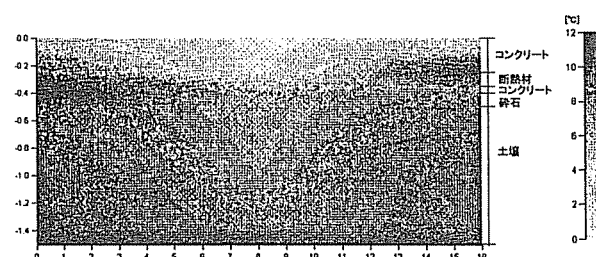


図-15 雪氷庫地下温度分布 (2003年6月1日)

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構平成15年度バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業“工藤建設株式会社ハイブリッドエコ・ドーム雪冷房実証試験事業”[委員長：窪田英樹(北海道大学教授)]によった。

参考文献

- 1) 橋本良明：雪氷利用による蓄熱-氷室システム，日本エネルギー学会誌，第81巻，第8号，pp.707-711 (2002)
- 2) 媚山政良：冬期間の自然冷熱エネルギーの利用に関する研究(氷室形農産物長期保冷庫の開発と実証実験)，日本機械学会論文集(B編)，53巻，495号，pp.3358-3362 (1987-11)
- 3) 媚山政良ら：ウエストパレス“集合住宅での雪利用の冷房システム”，空調調・衛生工学，第75巻，第11号，pp.1006-1009 (2001-11)
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：雪氷冷熱エネルギー導入ガイドブック (2002-3)

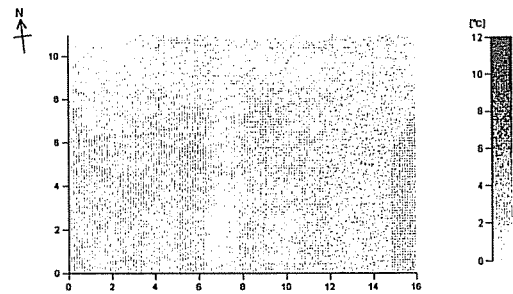


図-16 床下断熱材上温度分布 (2003年3月6日)

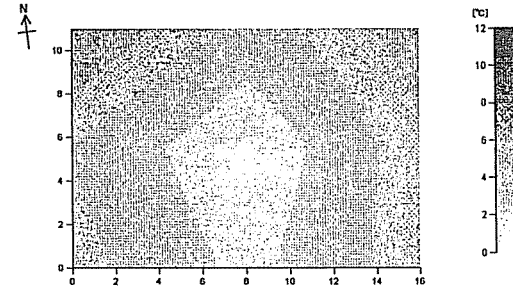


図-17 床下断熱材上温度分布 (2003年4月1日)

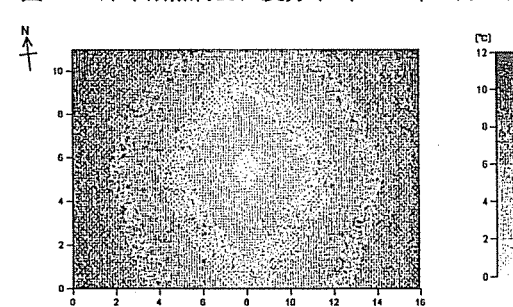


図-18 床下断熱材上温度分布 (2003年5月1日)

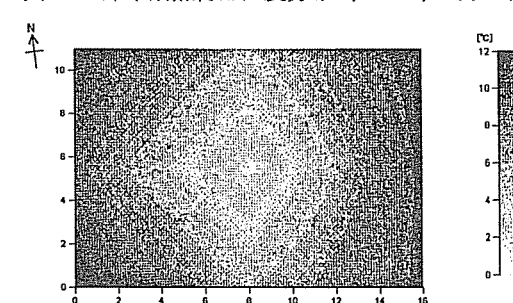


図-19 床下断熱材上温度分布 (2003年6月1日)

- 5) 北海道経済産業局：雪氷冷熱エネルギー活用事例集 (2001-8)
- 6) 工藤建設株式会社：平成13年度環境調和型エネルギーコミュニティフィールドテスト事業調査ドーム型社屋雪冷房設備調査事業調査報告書，(2002)
- 7) 深谷能子ら：ハイブリッドエコドームを目指して(高密度雪氷庫システムの報告)，寒地技術シンポジウム，(2002)
- 8) 財団法人住宅・建築省エネルギー機構：SMASH for Windows-住宅用熱負荷計算プログラム-ユーザーマニュアル，(1999)
- 9) 東北都市環境研究グループ：東北地方における業務用建築のエネルギー消費実態調査(第2版)，(2001-1)
- 10) 濱田靖弘ら：自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する研究 第3報-数値解析による年間エネルギー収支および土壌熱源ヒートポンプの評価，空調調和衛生工学学会論文集，80，pp.77~86 (2001-1)