



Title	移動式高密度雪氷庫システムに関する研究 -貯雪特性と冷房運転の実測と評価-
Author(s)	長沼, 隆之; 濱田, 靖弘; 中村, 真人 他
Description	第12回衛生工学シンポジウム (平成16年11月4日 (木) -5日 (金) 北海道大学クラーク会館) . 一般セッション . 6 建築 都市環境とエネルギー有効利用 . P6-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 12, 177-180
Issue Date	2004-10-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/1259">https://hdl.handle.net/2115/1259</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-3_p177-180.pdf



### 6-3 移動式高密度雪氷庫システムに関する研究 —貯雪特性と冷房運転の実測と評価—

○長 沼 隆 之 (北海道大学)                      濱 田 靖 弘 (北海道大学)  
 中 村 真 人 (北海道大学)                      窪 田 英 樹 (北海道大学)  
 伊 藤 潤 一 (北海道大学)                      工 藤 一 博 (工藤建設)  
 橋 本 良 明 (今組)

#### はじめに

本研究は、積雪寒冷地における雪の有効利用策として事務所施設に導入された雪冷房システムを対象とし分析を行う。2002年には、雪氷冷熱が新エネルギーに認定されており、クリーンエネルギーの有効利用により二酸化炭素排出量の削減に貢献できると考えられる。既報<sup>1)</sup>では、移動式高密度雪氷庫システムの高密度雪氷庫システムの建設概要について説明した。本報では移動式高密度雪氷庫システムの貯雪特性を把握することを目的とし、冷房運転の実測と評価を行ったものである。

#### 1. 移動式高密度雪氷庫システムの測定概要

外界からの熱の流入による雪の損失特性を把握するために雪氷庫壁面および土壌の温度を測定した(総計93点)。雪の融解には外気温度、地盤温度の影響が大きいと予測されるため、床下や方位別の温度差に注目して測定を行う。図-1、表-1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2003年3月5日から雪氷庫内の雪がなくなる日までとし、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ものとする。

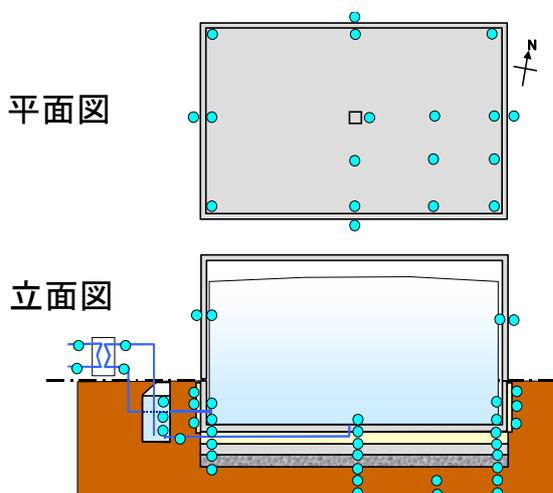


図-1 温度測定位置

#### 2. 雪山形成時の雪密度

2003年2月27日に雪氷庫をピット上に移動させた。完成した雪山の雪密度を高さ0.7, 2.0, 4.0 mの3地点において簡易的に計測した。雪密度測定結果を表-2に示す。平均値は756 kg/m<sup>3</sup>であり、ロータリーブローアで雪を投入する従来方式より高密度であった。高密度を達成できた要因として重機で圧雪しながら雪山を形成したことが挙げられる。今後、より詳細な測定を行う予定である。

表-1 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	シース熱電対	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

表-2 雪密度測定結果

	測定位置(ピット底より)	雪密度 [kg/m <sup>3</sup> ]
1回目測定	0.7	752
2回目測定	2.0	740
3回目測定	4.0	774
平均	—	756

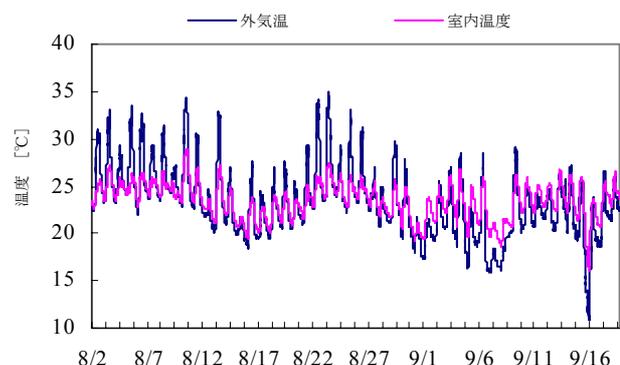


図-2 外気温と室内温度

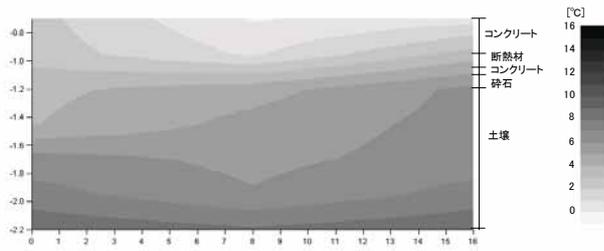


図-3 雪氷庫地下断面温度分布 (2003年4月1日)

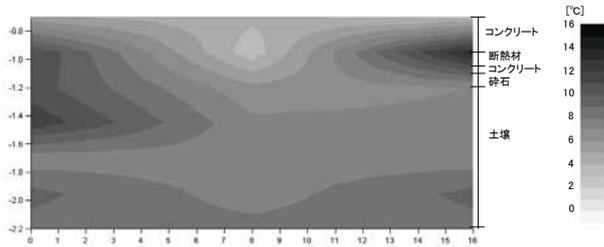


図-4 雪氷庫地下断面温度分布 (2003年8月2日)

### 3. 外界気象

図-2 に冷房期間中の外気温度と室内温度の関係を示す。8月は30°Cを越す日が12日間あったが、一般的には冷夏であったと言える。

### 4. 貯雪特性

#### 4.1 雪氷庫地下の温度分布

4月1日と8月2日の雪氷庫地下の断面温度分布、床下断熱材上部温度分布、および床下断熱材下部温度分布をそれぞれ図-3～図-8に示す。中央部分の温度が周辺部分より温度が低く、雪氷庫の周辺部分からの熱損失が確認できる。各月ごとに断熱材の上下温度を比較し、床面からの熱損失の低減効果が見受けられる。

#### 4.2 地盤への熱損失量

図-9に4月1日から雪氷庫を解体する11月12日までの1日当たりの土壌からの熱損失量を示す。床面熱損失量は6月まで増加傾向を示し、その後ほぼ一定で推移した。床(176 m<sup>2</sup>)からの損失熱量は、3～5月、6～8月で、それぞれ716 MJ, 786 MJであった。一方、側壁面(37.8 m<sup>2</sup>)からの損失熱量は、それぞれ1,055 MJ(3～5月), 1,878 MJ(6～8月)となっており、床からの損失量を上回った。測定期間中の全体量として、床からの熱損失量、側壁からの熱損失量はそれぞれ2154 MJ, 3765 MJであり、これらを雪質量に換算するとそれぞれ6.4 t, 11.2 tであった。

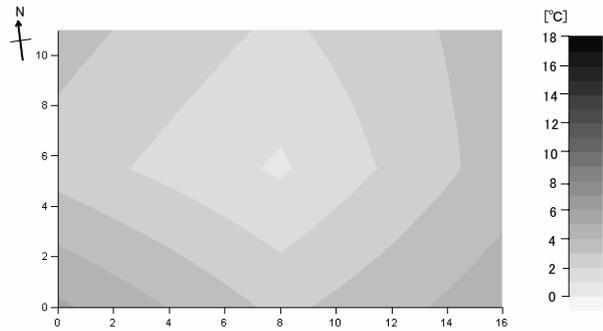


図-5 断熱材上温度分布 (2003年4月1日)

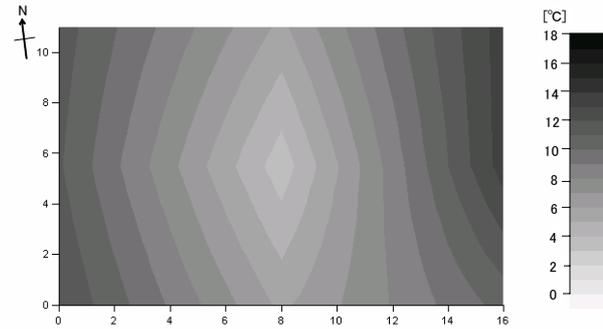


図-6 断熱材上温度分布 (2003年8月2日)

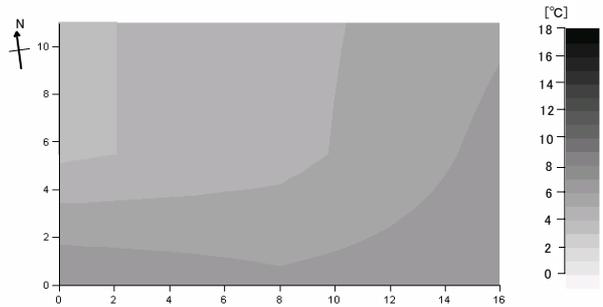


図-7 断熱材下温度分布 (2003年4月1日)

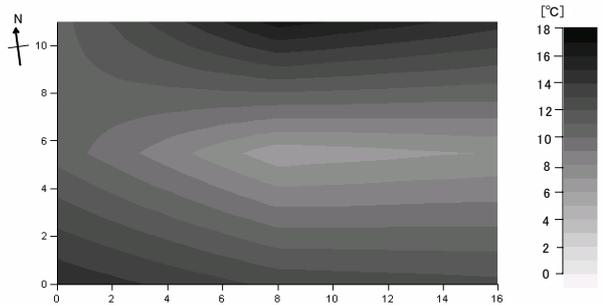


図-8 断熱材下温度分布 (2003年8月2日)

### 4.3 雪利用の内訳

図-10に雪氷庫を建設した2月27日の雪山の様子を、図-11に雪氷庫を移動した11月12日時点の残雪状況を示す。雪氷庫はドーム型の地上部と地下ピットからなり、総体積は840.3 m<sup>3</sup>である。初期貯雪量(図-10参照)は612 m<sup>3</sup>(雪質量:462 t)であり、雪山を形成して3ヶ月経過した6月1日時点では約370 tの残雪量があり、初期貯雪量の約80%であった。

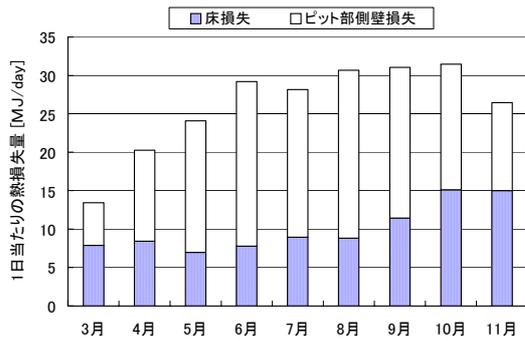


図-9 地盤への熱損失量



図-10 雪氷庫建設風景 (2003年2月27日)



図-11 雪氷庫残雪状況 (2003年11月12日)

図-12に4月1日から11月12日までの雪氷庫内からの融雪水の排水状況を示す。ここで、排水量は流量計により測定したものである。測定期間中、排水量はほぼ一定で推移し、残雪量が少なくなってきた9月下旬から減少傾向に移る。8月から9月の冷房期間中、排水流量が僅かに増加したが、それ程顕著な傾向は見られなかった。

図-13に初期貯雪量の構成要素について示す。11月12日時点の内訳として、ピット部の残水量が17 t、残雪量が126 t、排出量が300 t、その他が3 tであった。その他の構成要素として、ピット部からの漏れや蒸発分等が考えられる。残雪量126 tは初期貯雪量の27%を占めた。

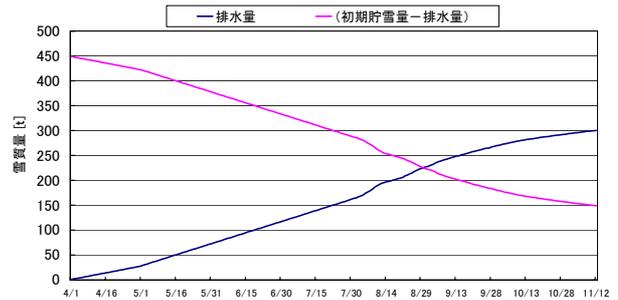


図-12 排水量と残雪量の関係

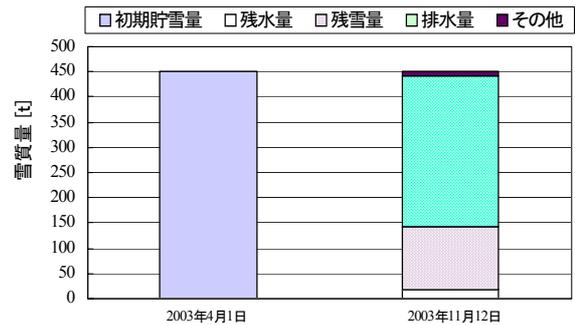


図-13 初期貯雪量の構成要素

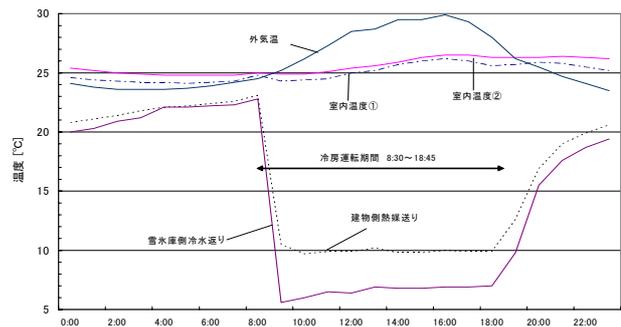


図-14 代表日の外気温・室内温度

## 5. 雪冷房の運転実績と評価

冷房運転日数は8月2日から9月18日の間、計17日間であった。室内温度が設定値に達した場合に雪冷房運転を実施し、事務所施設側から機器発停を行い、1日8時間運転を基本とした。図-14に雪冷房運転の代表日として、2003年8月5日における建物側熱媒送り温度、雪氷庫側冷水送り温度、室内温度2点(高さ1, 3 m)、および外気温の変動を示す。外気温の変動に対して室内温度は25℃前後でおおむね安定した推移を示している。また、冷房運転時間における雪氷庫側冷水送り温度の平均値は6.1℃であり、良好な冷水が得られると考えられる。表-3に2003年度雪冷房運転実績を示す。運転時間の合計は117時間、供給熱量は8625.4 MJ、供給熱量を雪質量に換算すると25.7 tであった。雪冷房時におけるエネ

表-3 冷房運転実績

平均室内温度	℃	25.5
平均相対湿度	%	63.2
平均外気温	℃	15.2
雪氷庫側冷水返り	℃	6.1
建物側熱媒送り	℃	10.0
供給熱量	[MJ]	8625.4
雪質量換算	t	25.7
期間EER	-	6.0

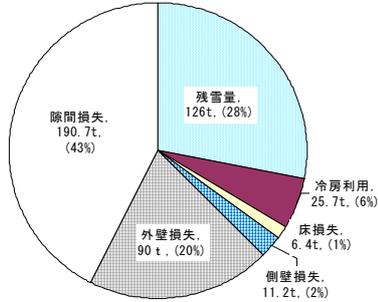


図-15 雪氷庫移動時のエネルギー収支 (2003年11月12日)

ルギー使用効率 (Energy Efficiency Ratio: EER) [=室内供給熱量/搬送系電力消費量]は6.0であった。

図-15 に雪氷庫を移動した時点 (11月12日) のエネルギー収支を示す。2003年度は冷夏の影響を受け冷熱需要が少なかったため、冷房利用分は6% (25.7 t) に留まった。床面からの損失が1% (6.4 t)、ピット部損失が2% (11.2 t) であった。また、外壁からの損失が20% (90 t)、隙間からの損失が43% (190.7 t) を占める結果から、該当部位の気密、断熱性を強化する必要がある。

### 6. 省エネルギー、環境保全、経済性評価

従来方式 (ガス冷温水機 (成績係数: 1.0)) と空気熱源ヒートポンプ (成績係数: 2.8)<sup>2)</sup> および雪冷房方式について一次エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の比較を行った。比較は運転実績に基づくものとする (エネルギー種別熱量換算値: 電力 10.258 MJ/(kW・h)、都市ガス 13A46.055 MJ/m<sup>3</sup>、二酸化炭素排出係数: 電力 0.139 kg-C/(kW・h)、都市ガス 13A0.647 kg-C/m<sup>3</sup>)<sup>3)</sup>。

図-16 および図-17 にそれぞれ一次エネルギー消費量、二酸化炭素排出量の比較を示す。雪冷房方式の導入による一次エネルギー消費量、二酸化炭素排出量は、それぞれ 4.6 GJ, 62.2 kg-C であり、ガス冷温水機に対する削減率はそれぞれ 65.1%, 65.9% であった。雪冷房方式は従来型の冷房方式と比較して、環境負荷の大幅な低減化を期待できることが分かった。

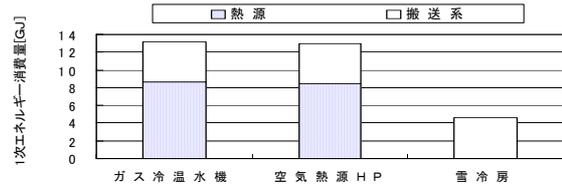


図-16 一次エネルギー消費量比較

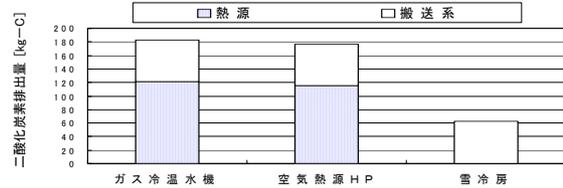


図-17 二酸化炭素排出量比較

### まとめ

- 1) 雪氷庫内の雪密度の平均は 756 kg/m<sup>3</sup> であり、従来方式と比較して高密度であった。
- 2) 雪氷庫直下地盤への熱損失量測定の結果、2003年4月1日から11月12日の期間中、雪氷庫床面および側壁部分からの熱損失量は、それぞれ 2154 MJ, 3705 MJ であり、雪質量換算はそれぞれ 6.4 t, 11.2 t であった。
- 3) 4月1日時点での貯雪量 450 t の内訳として、11月12日時点で残水量は 17 t, 残雪量は 126 t, 排出量は 300 t, その他が 3 t であった。
- 4) 2003年8月2日から9月18日の期間中に雪冷房運転を実施した。運転時間の合計は 117 時間、供給熱量は 8.6 GJ, 雪質量換算は 25.7 t, エネルギー使用効率は 6.0 であった。
- 5) 雪氷庫を移動した時点 (11月12日) のエネルギー収支として2003年度は冷夏の影響を受け、冷房利用分は6%に留まった。隙間からの損失が43%を占める結果から、隙間部位の気密、断熱性を強化する必要がある。
- 6) 従来の冷房方式に対して、冷房期間における一次エネルギー消費量、二酸化炭素排出量の削減率はそれぞれ 65.1%, 65.9% であった。

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構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)伊藤謙一ら: 移動式高密度雪氷庫システムに関する研究, 空調学会・衛生工学会北海道支部第37回学術講演論文集, pp145~148 (2003), (2) 石渡吉一郎ら: グランドノーズ次世代型民生用ヒートポンプシステムに関する研究, 戸建て住宅市場への導入のシナリオと導入効果, 空調学会・衛生工学会北海道支部第37回学術講演論文集, pp129 (2003), (3) 斎藤隼ら: 空調用エネルギーパイルシステムの運転実績と総合評価, 平成14年度日本冷気空調学会学術講演論文集, pp47~48 (2002)