

# 雪が保有するエネルギーの活用と再エネ、未利用 エネルギーによる融雪に関する調査研究業務

## 報告書

令和5年2月



Docon

株式会社ドーコン

## (1) 雪が保有するエネルギーについて

- ア 雪が保有するエネルギーについての調査
- イ 雪が保有するエネルギーの活用手法の調査及び導入検討
- ウ 雪が保有するエネルギーの活用における課題の整理

## (2) 再エネ、未利用エネルギーによる融雪について

- ア 再エネ、未利用エネルギーによる融雪への活用手法の調査
- イ 再エネ、未利用エネルギーを活用した融雪システムの導入検討
- ウ 再エネ、未利用エネルギーによる融雪における課題の整理

## (3) 札幌市に適した手法について

- ア 気候的条件・地理的条件（雪氷熱・再エネ融雪）
- イ 雪氷冷利用に関する事業性・コスト、CO<sub>2</sub>削減効果、札幌市への適応性
- ウ 再エネ融雪に関する事業性・コスト、CO<sub>2</sub>削減効果、札幌市への適応性

## (4) 参考資料

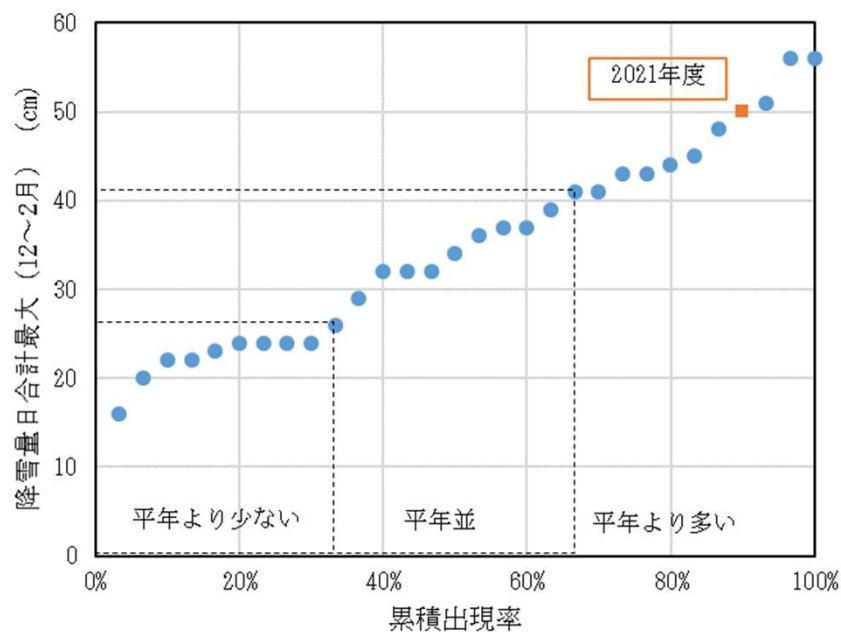
---

# (1) 雪が保有するエネルギーについて

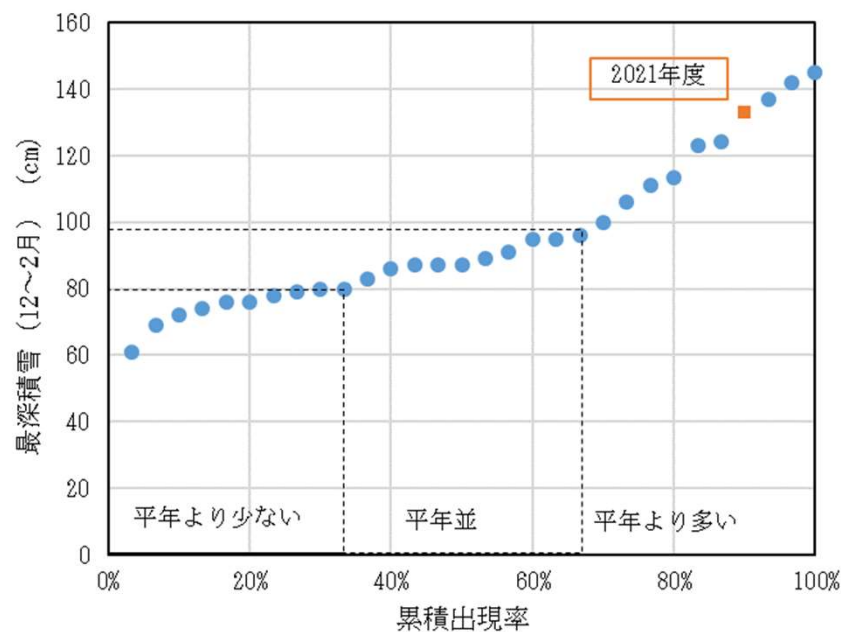
# ア 雪が保有するエネルギーについての調査

(参考) 2021年度 (冬季の12月~2月) の大雪に関する気候的確率について

- ❑ 2021年度は、最深積雪、降雪量日合計の最大値いずれも平年よりも多い (直近30年で4番目)
- ❑ 地球温暖化による災害激甚化が謳われている中、今後も対策が必要となる。



降雪量日最大の累積出現率  
(12~2月)



最深積雪の累積出現率  
(12~2月)

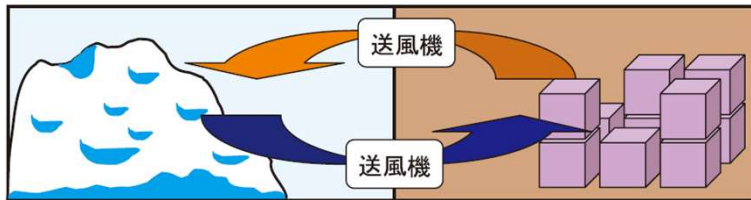
## 雪氷熱とは

- ❑ 冬季に降り積もった雪や冷たい外気によって凍結した氷などを冷熱源として夏季まで保存しておき、その冷気や解けてできた冷たい水を農産物などの冷蔵や部屋などの冷房に利用するもの。
- ❑ 1 tの雪氷利用は石油約10Lの消費節約に相当する※ ※室蘭工業大学 「雪資源の石油エネルギー換算とCO<sub>2</sub>低減効果」より
- ❑ 雪氷の融解潜熱（約334GJ/t）と顕熱利用の他、冷水を冷房利用することにより更にエネルギー活用が可能。

## ■冷熱の供給方式（熱交換方式）～大別して3種類

### (a) 直接熱交換冷風循環方式（全空気方式雪冷房）

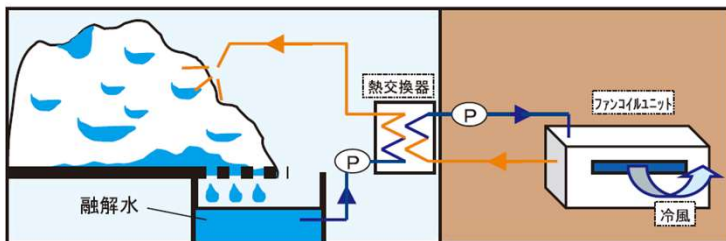
送風機を用いて、冷熱を供給する貯雪氷装置と、冷却の対象となる貯蔵庫や室内との間で空気を循環させる。



### (b) 熱交換冷水循環方式（冷水循環式雪冷房）

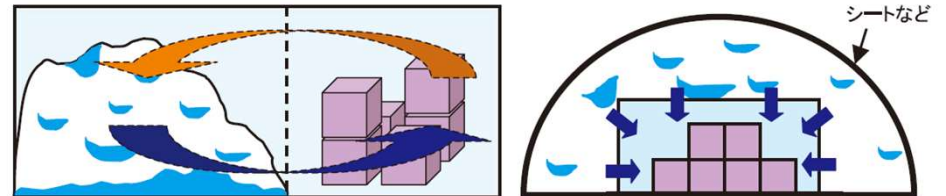
熱交換器の一次側に融解水又は雪で冷やされた不凍液をポンプで循環し、二次側で循環する液体（不凍液など）を冷却する。融解水タイプについては、熱交換器から戻ってきた水を、雪氷を融かすため散水する場合が多い。

図は一次側に融解水を循環させ、熱交換器を介してファンコイルユニットで冷房する例。



### (c) 自然対流方式（雪室（氷室））

特別な機器を用いず、貯雪氷装置の冷熱や、貯蔵庫に被せた雪の冷熱を、貯蔵庫の中で自然対流させる。



## ■冷熱源を確保し保存する方式

雪室、氷室	貯蔵された雪氷冷熱を動力を用いず自然対流させて野菜などの貯蔵保存を行う
雪冷房、冷蔵システム	貯蔵された雪の冷熱を強制循環させ、直接もしくは間接に熱交換して温度制御を行う
アイスシェルターシステム	冬の寒冷な外気によって自然氷を作り、水と氷が混ざり合った状態で空気を流すと空気は温度 0℃の高湿度な状態となるが、この空気を利用して農水産物などの通年貯蔵や建物の除湿・換気冷房を行う
人工凍土システム	冬の冷たい外気を利用したヒートパイプによって土壌を凍らせて人工凍土を生成させ、その冷熱を農産物の貯蔵に利用する

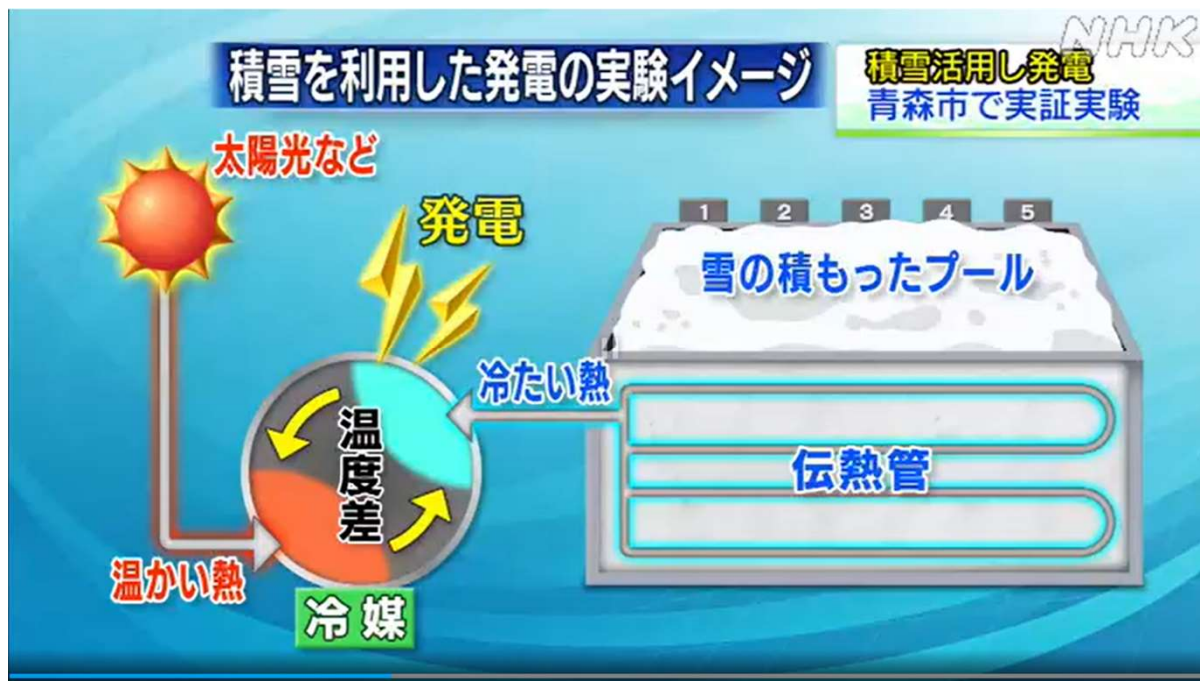
# ア 雪が保有するエネルギーについての調査（参考）

## 温度差発電

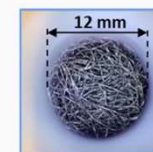
- ❑ 青森県で2022年度実証開始。今後、取得可能な発電量などの検証が行われるため情報収集が必要。
- ❑ 融雪期間での電力量抽出のため、大きな電力量の取得は困難と考えられる。

### 冷熱エネルギー以外の利活用可能性

- ✓ 雪氷熱の基本的なエネルギーは「氷」としての大きな融解潜熱
- ✓ 一方、この他にもエネルギー出力は小さいが他の用途も一部想定され、温度差発電・位置エネルギー・水の電気分解による水素化について近年の状況やモデル推計を実施。



今回の実験には電気通信大学の  
榎木教授が開発している伝熱管の技術を利用します。  
プールに伝熱管を入れて冷熱を取り出します。



※報道資料などでは発電量など定量的数値は不明

# ア 雪が保有するエネルギーについての調査（参考）

## 雪の重量を位置エネルギーに変換して発電した場合のモデル検討

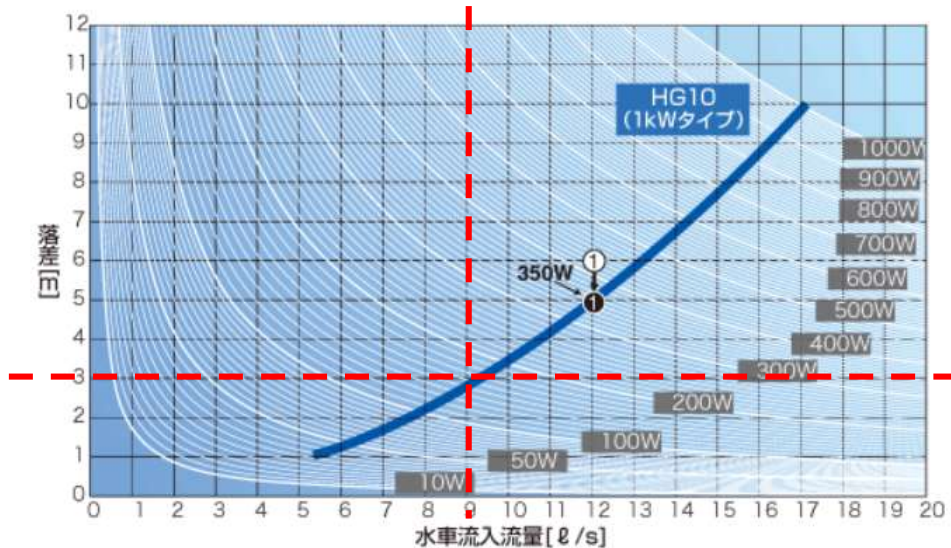
- ❑ 回転体を用いた発電は、設備稼働率を高め経済性向上を狙うため融水が一定に活用できると仮定。
- ❑ 仮に有効落差3m、流量9L/sの場合→0.1kW程度の出力（下図参照）
- ❑ 融水利用期間を3ヶ月で仮定とした場合  
 9L/s→32.4t/h     32.4t/h×90日×24h/日≒70,000 t →14万m<sup>3</sup>の雪山に相当
- ❑ この場合、発電量は0.1kW×90日×24h/日=216kWhであり、北海道の一般家庭の1ヶ月分を下回る発電量となる。

冷熱エネルギー以外の利活用可能性

- ✓ 雪氷熱の基本的なエネルギーは「氷」としての大きな融解潜熱
- ✓ 一方、この他にもエネルギー出力は小さいが他の用途も一部想定され、温度差発電・位置エネルギー・水の電気分解による水素化について近年の状況やモデル推計を実施。

### 流量（横軸）12L/s、落差6m 1.0kWタイプ の場合

流量が12L/sの場合、落差のわりに流量が少なく、落差5mの①の位置が基点になります。①は300Wの性能曲線と400Wの性能曲線の間にあり、位置関係から約350Wと読み取ります。



### 電気消費量（時間帯及び深夜電力除く）

年間一世帯当たり、全世帯で3,360kWh、戸建世帯で3,469kWh、集合世帯で2,696kWhが消費されている。2012年度以降減少傾向で推移していたが、近年は横ばいで推移している。

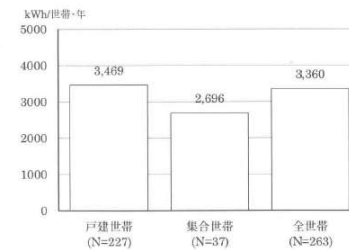


図 1.1.2 電気（時間帯別及び深夜電力除く）  
家屋形態別年間消費量

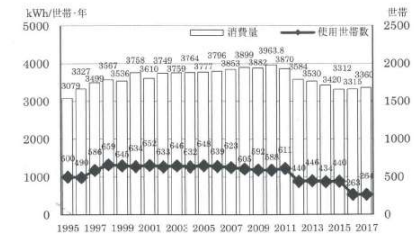


図 1.1.3 電気（時間帯別及び深夜電力除く）  
年間消費量の推移（全世帯）

### 平成 30 年度 北海道家庭用エネルギー消費実態調査

## 雪を電気分解し、水素エネルギーとして利活用した際のモデル検討

- ❑ 雪を融解・電気分解し、取り出した水素を発電利用した場合のエネルギーのバランスを検討。
- ❑ 水素製造に必要なエネルギーは、①雪の融解に要するエネルギーと②水の電気分解に要するエネルギー
- ❑ 燃料電池（発電効率50%と想定）利用の際の出力エネルギーを③とする。  
⇒③は①+②の1/3程度となる
- ❑ 投入するエネルギーに対して取り出せるエネルギーは小さいが、利活用の可能性としては再エネからの電気の供給が需要を上回っている時期に水素を製造・貯蔵し、FCV等に利用するなど。

### 冷熱エネルギー以外の利活用可能性

- ✓ 雪氷熱の基本的なエネルギーは「氷」としての大きな融解潜熱
- ✓ 一方、この他にもエネルギー出力は小さいが他の用途も一部想定され、温度差発電・位置エネルギー・水の電気分解による水素化について近年の状況やモデル推計を実施。

### ①雪の融解に要するエネルギー

$$2.1 \text{ [kJ/kg} \cdot \text{K]} \times 1 \text{ [kg]} \times 2.21 \text{ [K]} + 335 \text{ [kJ/kg]} \times 1 \text{ [kg]} \quad \doteq \underline{340 \text{ [kJ]}}$$

※雪の量は1 kg、札幌の過去10年の冬(12~1月)の平均気温を気象庁HPのデータより-2.21 °Cとして設定

### ②水の電気分解に要するエネルギー

$$1 \text{ [Nm}^3\text{]} \times 5.0 \text{ [kWh/ Nm}^3\text{]} = 5 \text{ [kWh]} = \underline{18,000 \text{ [kJ]}}$$

※雪1 kgを溶かして純水1 Lが生じたと仮定。5kWh/Nm<sup>3</sup>は日立造船製の水素発生装置を参考

### ③想定される出力エネルギー

$$0.5 \times 285.8 \text{ [kJ/mol]} \times 89.3 \text{ [g]} \div 2.0 \text{ [g/mol]} \quad \doteq \underline{6,380 \text{ [kJ]}}$$

※水素の標準燃焼エンタルピー|ΔH| = 285.8 kJ/mol、発電効率は50%、水素1 Nm<sup>3</sup> (0°C1atm) の質量を89.3 gとする



## 雪氷熱の導入事例分析

- ❑ 現在、全国で200件弱の導入事例があり、食品の保存・高付加価値化や建物冷房等に利用されている。  
(導入件数は2000年代前半をピークに、昨今は減少傾向)
- ❑ 事業費の例は数例後述するが、方式の差や目的、地域性が異なるため、事業費の統一的な原単位(雪1tあたりのシステム費など)などは収集が困難である。
- ❑ 雪氷熱利用の検討の際は、FS時点では下記の観点で同規模の事例を参照することが有効と考えられる。
  - ①年間使用雪氷量(t/年)：貯蔵量に影響し、貯蔵スペースの事業費に影響
  - ②冷房出力(kW)：供給部分のシステムに影響し、全体の機電システムの事業費に影響
- ❑ ただし、昨今の資材費などの高騰も考慮し、基本設計で事業費を詳細に検討する必要がある。

施設名	種類	設置年
ヒートパイプシステム(北海道帯広市)	凍土	1987
アイスシェルダー(北海道愛別町)	氷	1988
苗木低温貯蔵庫(北海道別海町)	雪	1988
農産物貯蔵施設(北海道厚真町)	氷	1988
利雪の家(新潟県十日町市)	雪	1988
越後ゆきくら館(新潟県魚沼市)	雪	1988
人工永久凍土貯蔵施設(ヒートパイプ)(北海道網走市)	凍土	1989
自然氷利用長期野菜貯蔵施設(北海道網走市)	氷	1989
雪中貯蔵施設(新潟県魚沼市)	雪	1989
野菜貯蔵施設(北海道むかわ町)	雪	1991
農産物集出荷貯蔵施設(新潟県上越市)	雪	1992
自然エネルギー利用施設(氷室)(北海道清水町)	雪	1993
潜熱利用型野菜貯蔵実験施設(北海道洞爺湖町)	雪	1993
農産物集出荷貯蔵施設(新潟県津南町)	雪	1993
氷室式低温貯蔵施設(北海道石狩市)	雪	1994
農産物集出荷予冷貯蔵施設(岩手県西和賀町)	雪	1994
農林漁業体験実習館(山形県舟形町)	雪	1994
切花球根貯蔵出荷施設(新潟県十日町市)	雪	1994
ゆきむろ新庄かむろ倉庫(山形県新庄市)	雪	1995
あさひの雪蔵(山形県鶴岡市)	雪	1995
雪だるま物産館(新潟県上越市)	雪	1995
守門交流促進センター(新潟県魚沼市)	雪	1995

施設名	種類	設置年
沼田町米穀低温貯留乾燥 調製施設(スノークール ライスファクトリー)(北海道沼田町)	雪	1996
共同貯蔵施設(北海道士別市)	雪	1996
玄米低温貯蔵施設(北海道むかわ町)	雪	1996
雪氷室貯蔵施設(北海道赤井川村)	雪	1996
低温貯蔵施設(岩手県西和賀町)	雪	1996
雪室貯蔵施設(福島県西会津町)	雪	1996
雪室付貯蔵野菜等販売所兼冬期共同車庫(新潟県柏崎市)	雪	1996
花卉球根集出荷予冷冷蔵施設(新潟県三条市)	雪	1996
単身・独身寮「アミティエ宮の森」(北海道札幌市)	雪	1997
雪エネルギー利用実験施設(もがみゆきっこ)(山形県村山市)	雪	1997
麺工房(新潟県十日町市)	雪	1997
雪氷冷熱利用保管施設(新潟県十日町市)	雪	1997
雪利用漬物生産加工施設(新潟県魚沼市)	雪	1997
利雪型低温米粉貯蔵施設(利雪庫2号)(北海道沼田町)	雪	1998
エコ環境住宅(山形県舟形町)	雪	1998
穀類等乾燥調製貯蔵施設「利雪型貯蔵庫」(山形県舟形町)	雪	1998
雪室施設(山形県飯豊町)	雪	1998
介護老人保健施設「コミュニティホーム美唄」(北海道美唄市)	雪	1999
賃貸マンション「ウエストパレス」(北海道美唄市)	雪	1999
「雪の環」プロジェクト(北海道岩見沢市)	雪	1999
天馬美術館(秋田県羽後町)	雪	1999

出典：COOL ENERGY5(北海道経済産業局)、豪雪地帯対策基本計画の見直しについて(国土交通省)

# イ 雪が保有するエネルギーの活用手法の調査及び導入検討

施設名	種類	設置年
(山形県新庄市)	雪	1999
花き種苗センター(山形県庄内町)	雪	1999
雪のまちみらい館(新潟県上越市)	雪	1999
体験交流施設「NATURA(ナトゥーラ)」(新潟県十日町市)	雪	1999
米穀零温貯蔵施設「雪蔵工房」(北海道美唄市)	雪	2000
事務所兼個人住宅 雪冷房実験施設(北海道美唄市)	雪	2000
モナリスクアイスシェルダー(北海道帯広市)	氷	2000
雪氷応用実験施設(青森県青森市)	雪	2000
生涯学習センター(併設:雪の科学館)(北海道沼田町)	雪	2001
プラントファクトリー・マンゴーハウス(北海道浦臼町)	氷	2001
氷利用農産物長期貯蔵 実験施設(北海道札幌市)	氷	2001
雪冷房システム(北海道札幌市)	雪	2001
雪冷房実験研究施設(北海道安平町)	雪	2001
国際芸術センター青森(青森県青森市)	雪	2001
金山町森林交流センター(シェーネスハイム金山)(山形県金山町)	雪	2001
尾花沢市役所雪山簡便冷房システム(山形県尾花沢氏)	雪	2001
安塚小学校(新潟県上越市)	雪	2001
越後ワイナリー(新潟県南魚沼市)	雪	2001
養護老人ホーム「和風園」(北海道沼田町)	雪	2002
M邸(北海道沼田町)	雪	2002
老人福祉施設ケアハウス・ハーモニー(北海道美唄市)	雪	2002
雪室型もち米低温貯蔵施設「ゆきわらべ雪中蔵」(北海道名寄市)	雪	2002
北方建築総合研究所(北海道旭川市)	雪氷	2002
ガラスのピラミッド(北海道札幌市)	雪	2002
都心北融雪槽活用雪冷熱 エネルギー供給システム(北海道札幌市)	雪	2002
パイプアーチ型雪氷利用貯蔵庫(北海道ニセコ町)	雪氷	2002
志賀来ドーム(岩手県西和賀町)	雪	2002
移動式高密度雪氷庫システム(岩手県奥州市)	雪	2002
交流施設「あさくら館」(秋田県横手市)	雪	2002
北条デイサービスセンター雪冷房システム(新潟県柏崎市)	雪	2002
美唄市交流拠点施設 ピパの湯ゆ〜りん館(北海道美唄市)	雪	2003
農産物出荷調整利雪施設(北海道名寄市)	雪	2003
氷冷熱エネルギー貯蔵実験施設(北海道釧路市)	氷	2003
JAみちのく村山零温雪室倉庫(山形県村山市)	雪	2003
高島町立糠野目小学校(山形県高島町)	雪	2003
裏磐梯ビジターセンター(福島県北塩原村)	雪	2003
雪室(福島県猪苗代町)	雪	2003
雪むろそば屋「小さな空」(新潟県上越市)	雪	2003
安塚中学校(新潟県上越市)	雪	2003
やすづか利雪型米穀貯蔵施設(新潟県上越市)	雪	2003
信濃坂の雪室(新潟県上越市)	雪	2003
坊金の雪室(新潟県上越市)	雪	2003
吉川区N邸の「ゆきむろ」(新潟県上越市)	雪	2003
新潟県南魚沼地域振興局(新潟県南魚沼市)	雪	2003

施設名	種類	設置年
河合庁舎雪冷房システム(岐阜県飛騨市)	雪	2003
旭川豊岡センタービル(北海道旭川市)	雪	2004
岩見沢市高齢者福祉センター(北海道岩見沢市)	雪	2004
幸雪館(青森県青森市)	雪	2004
増田町雪室(秋田県横手市)	雪	2004
横手清陵学院中学校・高等学校(秋田県横手市)	雪	2004
次年子雪蔵(山形県大石田町)	雪	2004
明友庵「尾花沢雪蔵」(山形県尾花沢氏)	雪	2004
農林水産物集出荷貯蔵施設(福島県昭和村)	雪	2004
トマト予冷庫(福島県南会津町)	雪	2004
柿崎雪中貯蔵庫(新潟県上越市)	雪	2004
雪エネルギー棟(新潟県上越市)	雪	2004
西尾生花店(北海道沼田町)	雪	2005
自然冷熱利用貯蔵庫(北海道稚内市)	氷	2005
旭川市科学館「サイバル」(北海道旭川市)	雪	2005
ファームレストラン ジャが太(北海道倶知安町)	雪	2005
いいで型環境共生モデル住宅(山形県飯豊町)	雪	2005
飯豊とそばの里「雪室」(福島県喜多方市)	雪	2005
雪冷房システム(岐阜県白川村)	雪	2005
管理棟(北海道鷹栖町)	氷	2006
小豆の氷熱利用貯蔵(北海道池田町)	氷	2006
HP型実用凍土低温貯蔵庫(北海道帯広市)	凍土	2006
山口斎場(北海道札幌市)	雪	2006
洞爺湖佐々木ファーム・アイスシェルダー(北海道洞爺湖町)	氷	2006
花笠の湯「雪蔵」(山形県尾花沢氏)	雪	2006
仙田体験交流館(新潟県十日町市)	雪	2006
スノーランド池ヶ原雪室貯蔵施設(新潟県小千谷市)	雪	2006
峠の雪むろ(新潟県魚沼市)	雪	2006
友雪館(岐阜県飛騨市)	雪	2006
沼田町就農支援実習農場 椎茸発生棟(北海道沼田町)	雪	2007
沼田式雪山センター(北海道沼田町)	雪	2007
中土幌児童ステーション(北海道土幌町)	氷	2007
カールプレックスおびひろ・アイスシェルダー(北海道帯広市)	雪氷	2007
雪冷房りんどう培養育苗生産施設(岩手県八幡平市)	雪	2007
怖いいで雪室研究所(山形県飯豊町)	雪	2007
川西町フレンドリープラザ(山形県川西町)	雪	2007
キュービットパレイスキー場雪冷房施設(新潟県上越市)	雪	2007
農産物付加価値貯蔵施設(新潟県津南町)	雪	2007
米倉庫(新潟県南魚沼市)	雪	2007
天然水奥大山ブナの森工場 雪室(鳥取県江府町)	雪	2007
利雪型予冷庫(北海道美唄市)	雪	2008
玄米貯蔵コンテナ 冷水循環保冷装置(北海道美唄市)	雪	2008
冷水循環式雪冷房(北海道千歳市)	雪	2008
予冷庫併設製氷設備(北海道平取町)	氷	2008

# イ 雪が保有するエネルギーの活用手法の調査及び導入検討

施設名	種類	設置年
雪蔵野菜貯蔵施設 利雪型貯蔵庫(北海道洞爺湖町)	雪	2008
沼田町就農支援実習農場 イチゴ栽培施設(北海道沼田町)	雪	2009
やまじょう雪氷一夜干し施設(北海道礼文町)	雪	2009
農産物雪氷貯蔵庫(北海道浦幌町)	雪	2009
雪山方式冷熱供給システム(北海道千歳市)	雪	2009
六郷冷蔵庫(北海道倶知安町)	雪	2009
柏林台支店(北海道帯広市)	氷	2010
白樺温泉(北海道帯広市)	氷	2010
米穀貯蔵用利雪低温倉庫「雪米の蔵～ゆめのくら～」(北海道奈井江町)	雪	2010
雪氷冷房システム(北海道苫小牧市)	雪	2010
エコハウス雪冷房システム(北海道札幌市)	雪	2011
喜多方合同庁舎雪冷房システム(福島県喜多方市)	雪	2011
集出荷予冷保冷施設(新潟県津南町)	雪	2015
-(北海道清里町)	雪	2015
岩手県中部クリーンセンター(岩手県北上市)	雪	2015
梅池高原梅の森酒埋施設(長野県小谷村)	雪	2015
環境保全センター(マンゴー栽培ビニールハウス)(北海道鹿追町)	雪	2016
弘前市役所岩木庁舎(青森県弘前市)	雪	2016
雪室施設(秋田県東成瀬村)	雪	2016
雪室(山形県鶴岡市)	雪	2016
あるるんの社の雪室コンテナ(新潟県上越市)	雪	2016
雪室貯蔵米低温倉庫(新潟県南魚沼市)	雪	2016
雪冷熱活用データセンター(新潟県津南町)	雪	2016
野菜保管庫(兵庫県豊岡市)	雪	2016
ホワイト・ラボ(北海道美瑛市)	雪	2017
JA十勝池田町 豆類等予冷装置・貯蔵庫(北海道池田町)	雪	2017
(株)天翔 雪室倉庫(新潟県十日町市)	雪	2017
鶴齢の雪室(新潟県南魚沼市)	雪	2017
雪室コンテナ(兵庫県豊岡市)	雪	2017
北欧の風道の駅とうべつ 直売所棟 雪室(北海道当別町)	雪	2018
(株)データドック(新潟県長岡市)	雪	2018
利雪型低温倉庫兼精米施設(新潟県十日町市)	雪	2018
湯沢ITコンテナフィールド(新潟県湯沢町)	雪	2018
雪室(福井県小浜市)	雪	2018
雪利用施設(長野県飯山市)	雪	2018
美瑛市立図書館(北海道美瑛市)	雪	2019
J A えちご上越わかば育苗センター雪室(新潟県上越市)	雪	2019
魚沼醸造株式会社水の郷工業(新潟県魚沼市)	雪	2019
魚沼醸造株式会社水の郷工業(新潟県魚沼市)	雪	2019
津南農産加工センター(新潟県津南町)	雪	2019
雪室(福井県小浜市)	雪	2019
雪室(福井県小浜市)	雪	2020
四季彩館みょうこう雪室(新潟県妙高市)	雪	2021
上越市雪中貯蔵施設「ユキノハコ」(新潟県上越市)	雪	2021

札幌市内の導入事例

■ 市内には、モエレ沼公園、札幌駅北口、山口斎場、円山動物園で導入事例がある。

■ 山口斎場  
貯雪量：5,000m<sup>3</sup>(約2,500t)

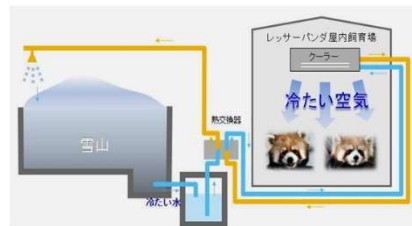


山口斎場



雪運搬路

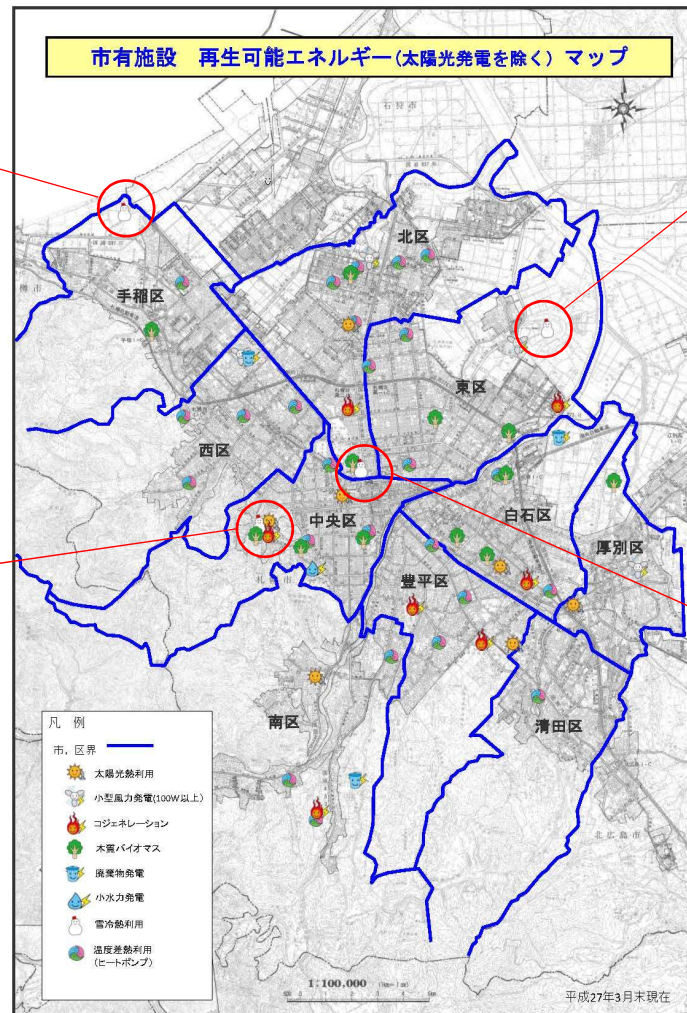
■ 円山動物園



高山館雪冷熱の仕組み



遮熱シートによる簡易型貯蔵プール



■ モエレ沼公園ガラスのピラミッド  
貯雪量：3,160m<sup>3</sup>(約1,580t)



ガラスのピラミッド



貯雪庫

■ 都心北融雪槽活用雪冷熱エネルギー供給システム  
貯雪量：2,000m<sup>3</sup>(約1,000t)



投雪口



融雪槽

### 技術概要

- ❑ 冬期に積もった雪を夏まで保存。その冷気や冷水を冷熱源として利用。（熱交換冷水循環方式）
- ❑ 冷熱確保のため断熱性の優れた冰雪貯蔵施設が必要

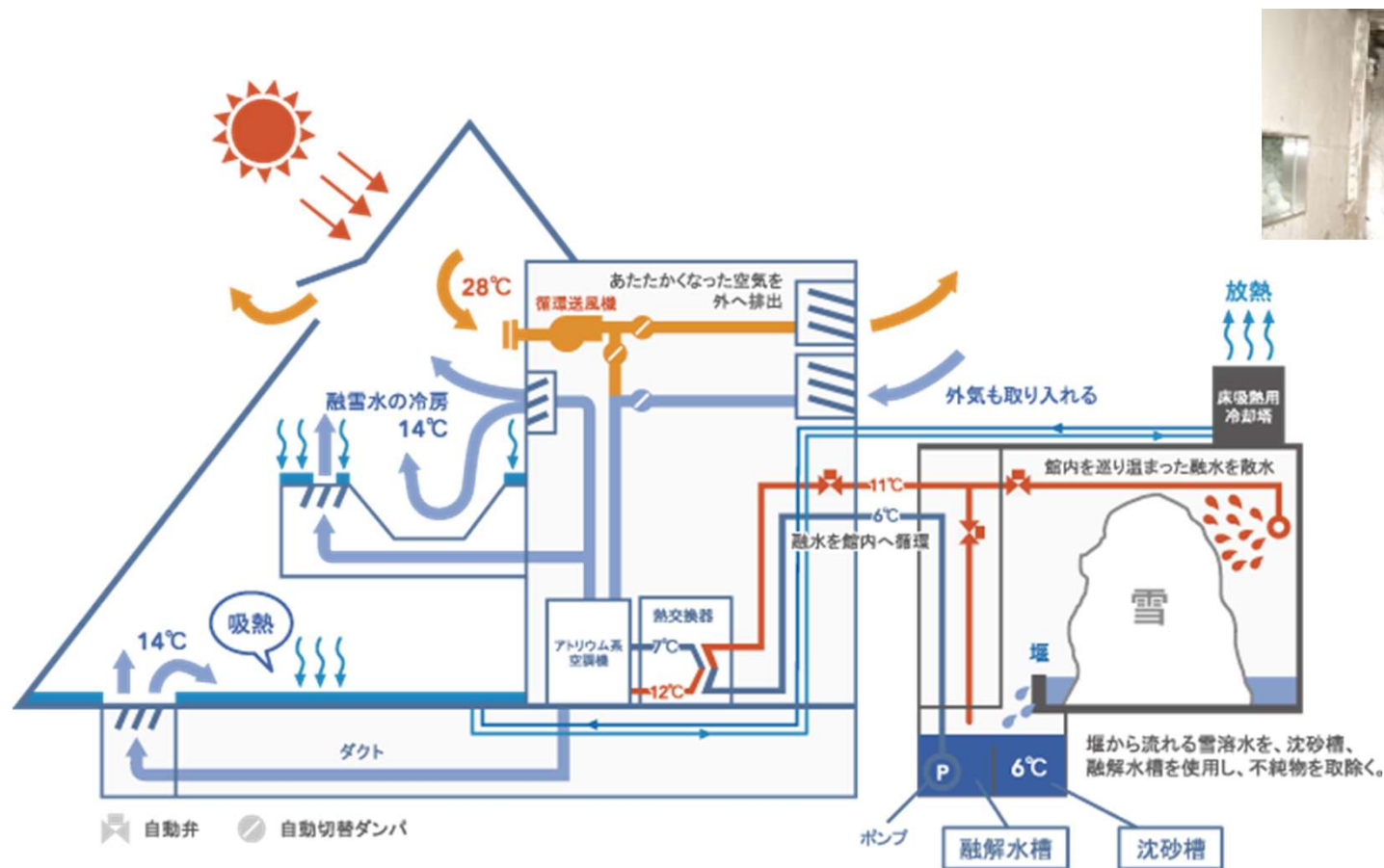
### システムイメージ



※冰雪熱エネルギー活用事例集（北海道経済産業局）

項目	ヒアリング内容
熱源	公園敷地内の雪
貯雪量	約3,160m <sup>3</sup> (1,580t)
利用先	ガラスのピラミッドの冷房を熱交換冷水循環方式により行う
設備概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建物の空調機へ冷熱を供給</li> <li>• 冷房利用は6月から9月頃まで</li> <li>• 雪冷熱を使い切った時は天然ガスの冷温水発生機でバックアップ</li> </ul>
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 維持管理費として約200万円程度</li> </ul>
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大きな課題は無し</li> </ul>
経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 初期投資、維持管理費が割高</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 雪冷熱のみを使用していた平成17～19年度の3年間は、CO<sub>2</sub>排出量を毎年約30トン削減</li> <li>• 一定温度で冷房を行っているのではなく、雪の残量を見ながら冷房運転をしているため、夏でも常に冷房されているとは限らない。</li> </ul>

事例・参考図など



貯雪庫内部

出典：<https://moerenumapark.jp/environment/>

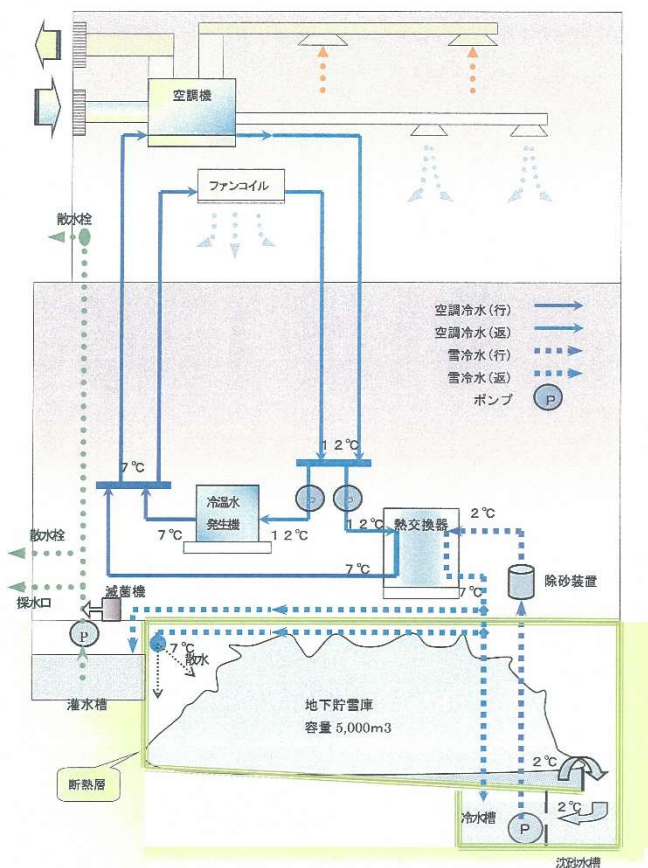
その他の調査内容：

- 環境負荷の低い方法ではあるが、初期投資が通常の冷房設備よりも約6倍と高額であり、維持管理にも費用が掛かるため、初期投資の回収は難しい。

### 技術概要

- ❑ 冬期に積もった雪を夏まで保存。その冷気や冷水を冷熱源として利用。（熱交換冷水循環方式）
- ❑ 冷熱確保のため断熱性の優れた冰雪貯蔵施設が必要

システムイメージ




建物内に貯雪庫を抱えた施設としては国内でも最大級

項目	ヒアリング内容
熱源	施設内駐車場の雪
貯雪量	約5,000m <sup>3</sup> (2,500t)
利用先	施設全体の冷房負荷の約4割を熱交換冷水循環方式で冷房を行う。 ※雪による冷房は通路の一部に利用しており、雪が無くなった時点で冷房を行っていない。
設備概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建物の空調機へ冷熱を供給</li> <li>• 冷房利用は6月中旬から9月頃まで</li> </ul>
貯雪にかかるコスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 約300万円必要</li> </ul>
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大きな課題は無し</li> </ul>
経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 貯雪にかかるコスト高</li> </ul>
その他活用先	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 融解水の一部を屋上庭園や敷地内の植栽への灌水源に活用している。</li> </ul>

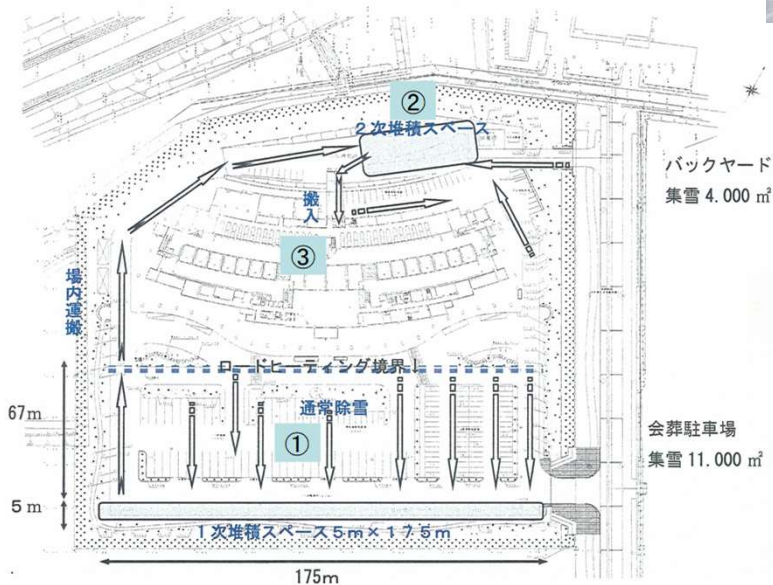
事例・参考図など

### 貯雪の方法

- ① 駐車場の雪を1次堆積場に貯める
- ② 二次堆積場へ運搬
- ③ 地下の貯雪庫へ重機2台で搬入する  
(搬入作業は夜間3日間程度)

通常除雪ライン 

運搬ライン 



貯雪庫スロープ



貯雪庫内部



貯雪作業

※氷雪熱エネルギー活用事例集（北海道経済産業局）、札幌市HPより

### その他のヒアリング内容：

- 平成18年から稼働し、大きな問題もなく現在も雪冷房設備は稼働させている。
- 想定通りの貯雪量は毎年確保できている。



事業費例

- スノーマウンド型（冷水循環式）で貯雪容量が約3,200m<sup>3</sup>のモデル  
⇒ イニシャルコストは土木関連で約5.2千万円、機械電気関連で計1.6千万円

■ 設備条件

区分	工種	規格	数量	
土木	雪山	雪山天端寸法 雪山底部寸法 雪山総高さ  貯雪容量	L=17.6m×16.2m L=30.0m×30.0m H=6.0m (地上5.0m, 地下1.0m) V=3,167.7m <sup>3</sup>	
	施設造成	盛土量 切土量 法面積	V=8,400m <sup>3</sup> V=6,800m <sup>3</sup> A=2,40m <sup>2</sup>	
	貯雪ピット	面積(30.0m×30.0m) 深さ 遮水面積(アスファルト舗装)	A=900m <sup>2</sup> H=1.0m A=990m <sup>2</sup>	
	融雪水導水管 余剰水排水管	φ300 高耐圧ポリエチレン管 φ300 波付加工管	L=30.0m L=20.0m	
	冷水循環ポンプ ピット	泥溜め桝(3号人孔) ポンプ小屋 ポンプピット(3号人孔)	N=1 基(H=3.2m) N=1 棟 N=1 基(H=3.6m)	
	給水設備	給水管(水道用 Pe 管 50A) 給水ノズル(フレキシブルパイプ 20A)	L=70m N=26 箇所	
	雨水排水施設	コンクリートU字溝(300×300)	L=240m	
	取付道路	道路延長 舗装面積(アスファルト舗装)	L=45.0m A=190m <sup>2</sup>	
	周辺道路	舗装面積(アスファルト舗装)	A=1,600m <sup>2</sup>	
	スノーシート	内部断熱セル構造タイプ 断熱材 50mm	A=1,355m <sup>2</sup> N=43 枚	
	機械室	丸波ガルバリウム鋼板製(S造)	2,500mm×3,500mm	
	機械・電気	機械・電気設備	熱交換器 冷水ポンプ 冷水循環ポンプ 不凍液注入ポンプ 引込開閉盤 ポンプ室電灯盤 ポンプ室動力盤 換気設備 自動制御設備	プレート式 24kW×1 台 定格動力 1.5kW×1 台 定格動力 0.25kW×1 台 1 台 1 面 1 面 1 面 1 式(60CMH(4.8W)) 1 式

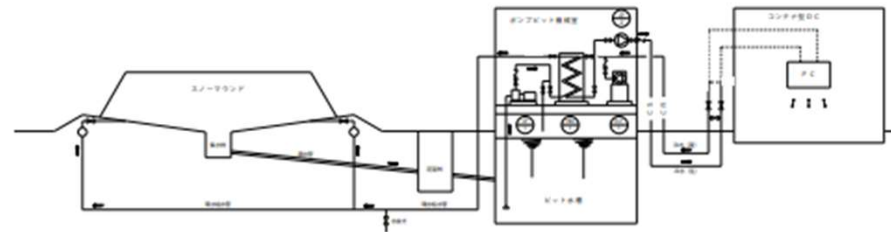
■ イニシャルコスト

区分	項目	千円
土木関連	土工	5,778
	法面工	1,674
	舗装工事	13,813
	排水工事	3,916
	伐開工事	3,505
	その他付帯工事	198
	上記開接費等	6,125
	融雪水導水管布設工	123
	ポンプ室設置工	811
	機械室設置	868
	雪冷熱設備工	2,291
	冷水設備工	167
	受電柱・幹線工事(1次)	1,143
	上記開接費等	1,621
スノーシート設置工	9,800	
土木関連合計	51,833	

機械電気設備	雪冷熱設備工事	3,374
	換気設備工事	71
	自動制御設備工事	4,817
	幹線工事(2次)	995
	電灯コンセント工事	472
	動力設備工事	723
	ファンコイルユニット等	2,500
	上記開接費等	3,048
機械電気関連合計	16,000	
設置工事合計	67,833	
調査計画・設計・施工監理費	12,041	
一般管理費	12,719	
消費税	7,407	
合計	100,000	

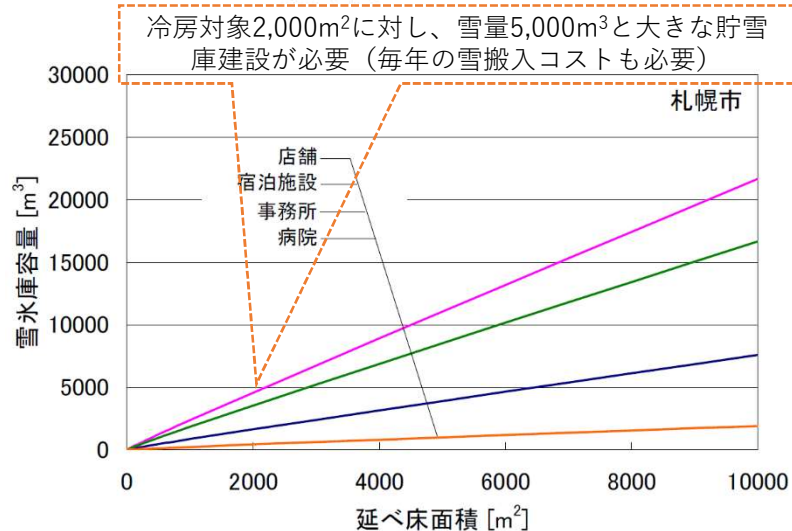
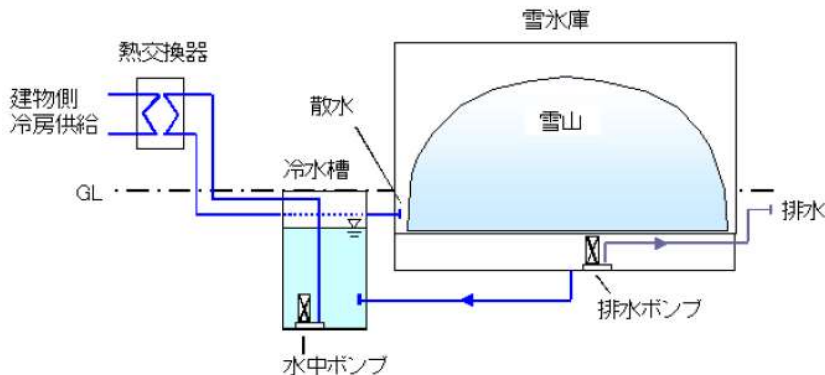
■ システムフロー

熱交換器を介して、一次側（スノーマウンド側）、二次側（コンテナDC側）それぞれで水または不凍液が循環しながら冷熱供給。



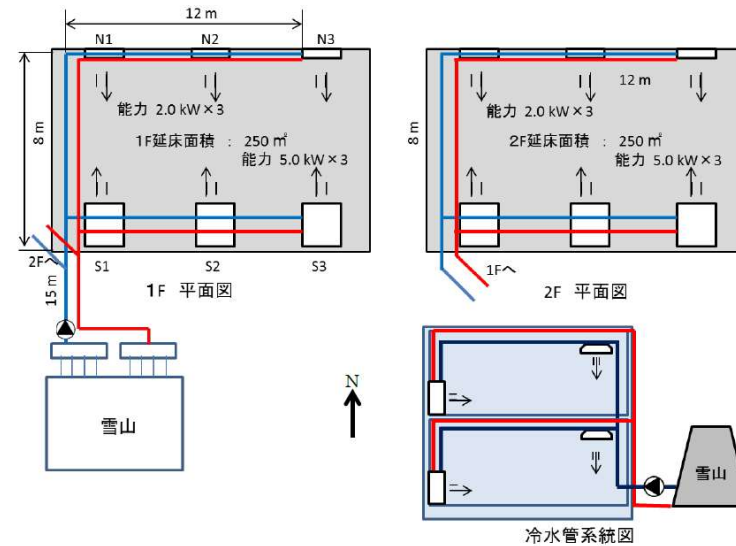
- ❑ 雪冷房は外気からの自然融解もあるため、冷房対象の規模に対して多くの貯雪スペースを必要とする。
- ❑ 冷房対象及び気象条件により都度規模推計が必要となるが、ここでは目安として規模例を記載する。

■貯雪庫モデル  
システムイメージと冷房対象延床面積と必要雪料の関係



※「貯雪デグリーデー法による雪氷庫容量の簡易推定に関する研究（濱田靖弘）」より

■雪山（スノーマウンド）モデル  
システムイメージと事務所冷房推計例500m<sup>2</sup>の事務所冷房で約1,400m<sup>3</sup>（30m×20m×高さ3.5m）の雪が必要



雪山寸法	雪山体積	使用材料
31.3m × 18.8m × 3.4m (パーク材含まず) (うち冷熱採取分 22.5m × 10m × 1.9m)	1,339 m <sup>3</sup> (435m <sup>3</sup> )	断熱材 パーク材 (t-300mm)
採熱回路	数量	
架橋ポリエチレン管 13A × 2回路 2.5m × 10.0m GL-600mm	9基	

※雪体積場における雪冷熱利用ガイドライン（寒地土木研究所）より

- ❑ 雪冷房は外気からの自然融解もあるため、冷房対象の規模に対して多くの貯雪スペースを必要とする。
- ❑ 冷房対象及び気象条件により都度規模推計が必要となるが、ここでは目安として規模例を記載する。

■雪山（スノーマウンド）モデル  
 高負荷冷房需要であるデータセンターに対する雪山規模導入の推計の例

規模拡大の場合の出力と雪量の比較

モデル	出力 (kW)	雪量 (m <sup>3</sup> )	床面積 (m <sup>2</sup> )	表面積 (m <sup>2</sup> )
①	20	3,100	900 (30m四方)	1,027
②	50	6,300	1,600 (40m四方)	1,797
③	200	22,000	4,900 (70m四方)	5,278
④	600	67,000	11,100 (105m四方)	11,900

## 事例調査・ヒアリング

- 前述の既存の市内事例は、初期建設コストもさることながら毎年の維持管理費に課題があることが判明。
- 道内の雪利用の先進的事例として以下の3者のヒアリングを実施  
⇒各事例技術の調査結果を整理（詳細次頁以降）

事例項目	企業名	概要
自然落雪式貯雪塔を用いた雪冷房システム	北海道ガス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 傾斜屋根の雪を自然滑雪により貯雪塔に蓄える。降雪時期が終わった後は断熱蓋を閉め雪を夏まで保存。</li> <li>• 冷熱利用の際は貯雪塔内の空気を冷風としてホールに吹きだす。また冷熱利用の冷蔵庫も併設。</li> </ul>
融雪&雪冷房システム	五島冷熱株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 融雪目的を兼ねている駐車場地下の貯雪槽へ冬季に雪を貯め、春以降の補助冷房として活用。</li> <li>• 冷房利用は空気循環で温度設定は成り行き。</li> </ul>
ホワイトデータセンター構想	株式会社雪屋媚山商店	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 雪を中心とした地域循環産業モデルを構築しており、除排雪や新雪で作った雪山からの冷熱をデータセンターや食品生産施設、貯蔵施設など多方面に活用している。</li> </ul>

### 技術概要

- 傾斜屋根の雪を自然滑雪により貯雪塔に蓄える。降雪時期が終わった後は断熱蓋を閉め雪を夏まで保存。
- 冷熱利用の際は貯雪塔内の空気を冷風としてホールに吹きだす。また冷熱利用の冷蔵庫も併設。

### システムイメージ



### システム構成

貯雪塔、断熱蓋、ファン、冷蔵庫など

項目	ヒアリング内容
熱源	雪（屋根雪）
利用先（需要）	エントランスホール 冷蔵庫
適応範囲	小（家庭等）：△ 中（公共等）：◎ 大（業務等）：◎
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建物一体型のためシステム単独の事業費は不明</li> <li>・ ほとんどが貯雪空間。機械的なファンなどは非常に小さい。</li> </ul>
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大きな課題は無いが居室全体の冷房を賄える量ではない</li> </ul>
経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大きな課題は無し</li> </ul>
CO <sub>2</sub> 削減効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冷房稼働は年度によって異なるため一定の試算なし</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新設建物での展開は可能と考えられる。ただし、冷房範囲が大きいわけではないのでPRなど目的の設定が重要。</li> </ul>

事例・参考図など



東西方向断面図 縮尺：1/600

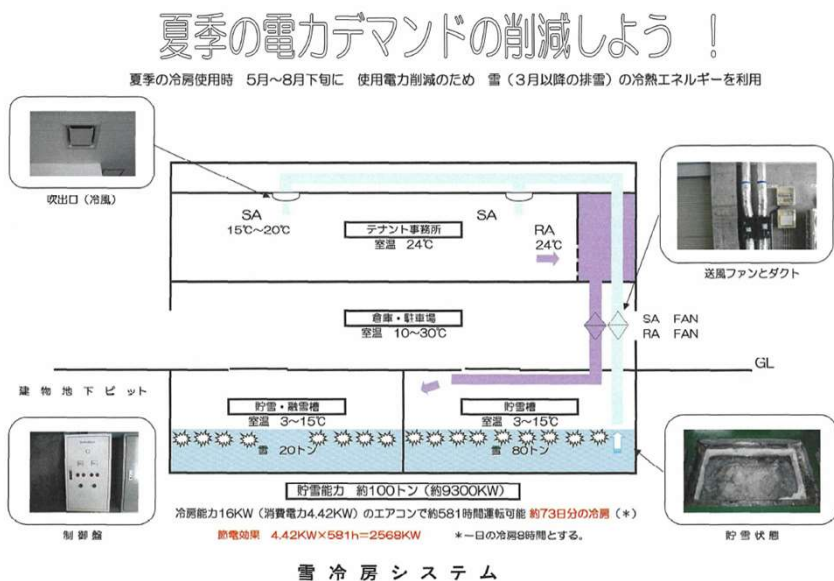
その他のヒアリング内容：

- 雪冷房は経済的メリットが大きくできるものではなく、PRなど目的の設定が重要。
- 来場者がガラスから雪の溜まっている状況が容易に確認できるように工夫している。
- 当方式は雪入れが成り行きとなるため人的コストが不要なのがメリット。

## 技術概要

- 融雪目的を兼ねている駐車場地下の貯雪槽へ冬季に雪を貯め、春以降の補助冷房として活用。
- 冷房利用は空気循環で温度設定は成り行き (※融雪時のシステムについては後述)

### システムイメージ



出典：五島冷熱株式会社提供資料

### システム構成

貯雪・融雪槽、送風ファン、ダクトなど  
(融雪時は空冷ヒートポンプによる温水を使用)

項目	ヒアリング内容
熱源	雪 (敷地駐車場内・周辺に降り積もった雪)
利用先 (需要)	テナント事務所の冷房利用
適応範囲	小 (家庭等) : ○ 中 (公共等) : ○ 大 (業務等) : ○
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物一体型のためシステム単独の事業費は不明</li> <li>イニシャルは貯雪槽の大きさによって変化する</li> <li>雪冷房時に必要な機械設備は送風用のファンのみ</li> </ul>
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪を地下へ貯める際の作業面での課題がある。支持層との兼ね合いもあるが、設計時、貯雪槽の深さは作業面を考慮したものにとできるとより良い。</li> </ul>
経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>冷房の需要に応じた貯雪槽の建設費が必要</li> </ul>
CO <sub>2</sub> 削減効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>定量的な数値は不明だが、冷房時はファン動力のみで電力デマンドの削減が可能。</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物の基本設計段階から検討することで導入の可能性はある。</li> <li>当事例では雪の投入を自社の職員の手で貯雪を行うことで日々の作業をカバーしている。</li> </ul>

### 事例・参考図など



駐車場 (貯雪槽上部)



投雪口



貯雪・融雪槽内観



貯雪・融雪槽入口



ダクト

### その他ヒアリング内容：

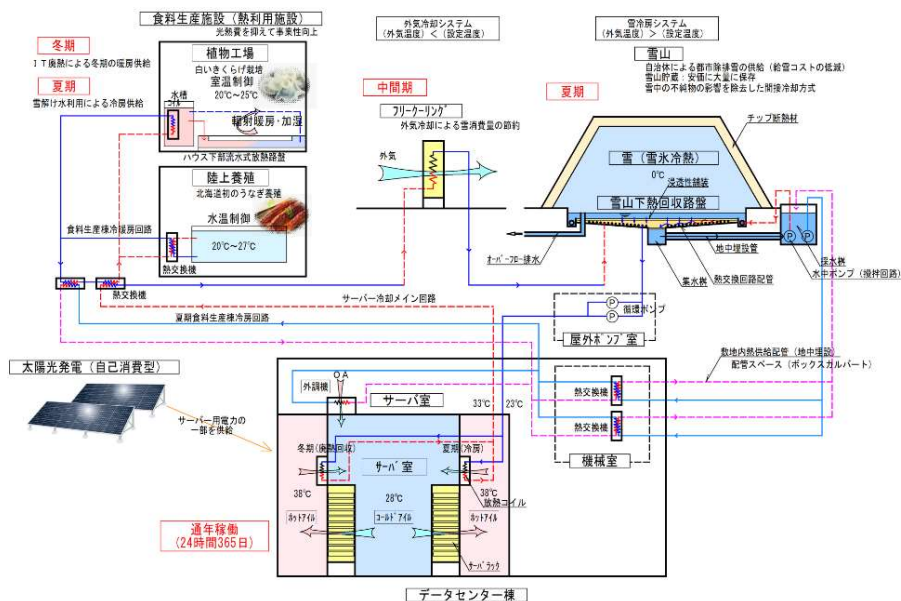
- 基礎構造を変えないで利用しているため、融雪槽の深さは約1.5mと浅い（容量は約100t）。冷房利用により6月中旬頃までには全て溶けきっている。
- 投雪口は、大雪時の投雪作業時間を考慮すると複数個所が必要。
- 冷風ダクト端部（金網）は葉っぱなどで詰まるため日常管理で除去が必要。
- 貯雪槽は夏季でも18°C程度までしか上昇しないので、雪が溶けきった後もトレンチ冷房としての利用が可能である。
- テナントへの導入であることや、融雪目的という考えが先行していたため、冷水循環は検討外であった。導入するに当たっては、建物の基本設計時点で検討をしなければいけない。



### 技術概要

❑ 雪を中心とした地域循環産業モデルを構築しており、除排雪や新雪で作った雪山からの冷熱をデータセンターや食品生産施設、貯蔵施設など多方面に活用している。

### システムイメージ



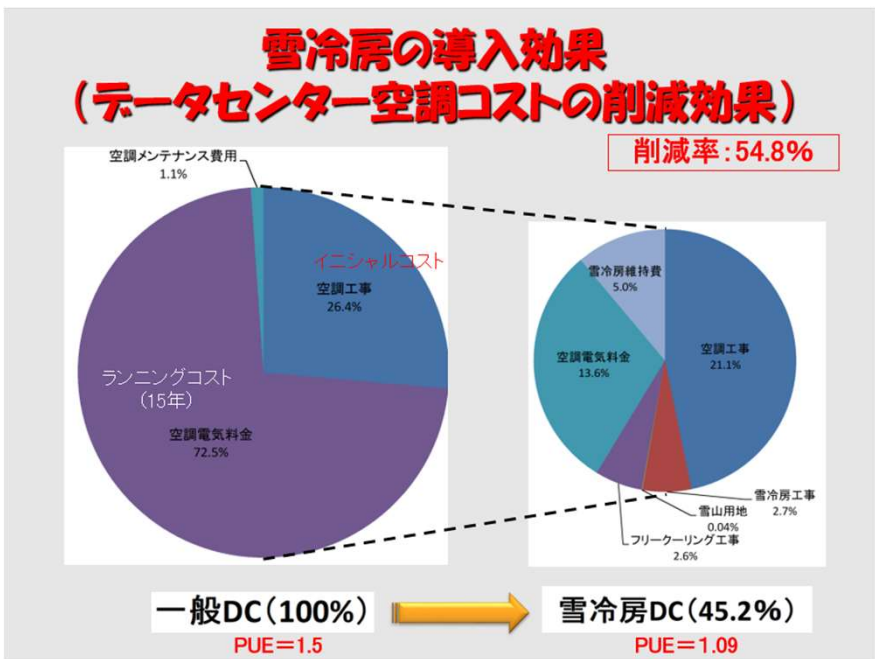
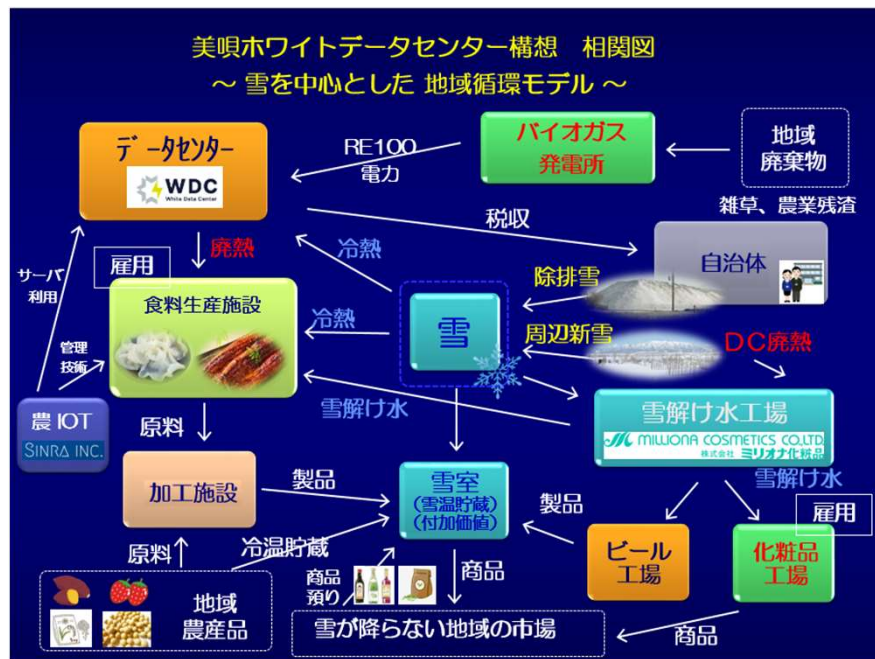
出典：株式会社雪屋媚山商店提供資料

### システム構成

雪山（断熱材：チップ）、熱交換器、ポンプなど

項目	ヒアリング内容
熱源	除排雪、新雪
利用先（需要）	冷熱利用（データセンター、食料生産施設、貯蔵施設）、雪解け水利用（ビール工場、化粧品工場）
適応範囲	小（家庭等）：△ 中（公共等）：○ 大（業務等）：○
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪冷房によって冷房の電気代は1/10となる</li> <li>データセンターへ雪冷房を導入した際の一般的なデータセンター空調コストと比較した削減率は54.8%</li> <li>除排雪の雪を利用することで収集に必要なコストが抑えられる。</li> <li>収益には関連する複数の事業全体でみていく必要がある。</li> </ul>
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪に含まれている融雪剤、ごみ、泥などの成分は腐食性が高く、安価で耐食性の高い設備機材の選定が必要である。</li> </ul>
経済的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪冷房導入時、バックアップ用の設備を持つとコスト的に厳しくなる。</li> </ul>
CO <sub>2</sub> 削減効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>90%以上の削減効果が見込まれる</li> </ul>

事例・参考図など



出典：株式会社雪屋媚山商店提供資料

その他のヒアリング内容：

- 2014年～2019年にNEDO実証事業により、雪冷房システム、データセンター（20ラック規模）、植物工場を組み合わせた試験（都市除排雪を利用した雪山貯蔵による高効率熱供給システムの研究開発）を実施、その後データセンターの事業化（雪山20万t規模）が始まった。
- 豪雪地帯対策特別措置法で雪利用の促進に関する文言が明記されており、来年、更に条文改正の予定。

事例調査を踏まえて考えられる課題を以下に整理する

## <共通>

### 【コスト】

- 雪のエネルギーは自然によるものであり、過不足が生じるのでバックアップ機器が必要となり、二重投資となる。  
⇒バックアップ機器が不要な範囲・規模であればコストは抑えられるが、機械室、事務室など停止ができない冷房としての利用は難しい
- 雪の運搬にはコストがかかり（委託費、車両借上げ費など）、CO<sub>2</sub>の排出も伴うことから、雪の運搬はなるべく少なくする必要がある。（除排雪の雪を利用することで収集に必要なコストの低減を図るなど）
- システム単体での採算性だけではなく、複合的な事業全体で評価することや企業や施設としてのPR面も含めた目的の設定が重要である。

### 【システム検討・計画】

- 導入の際は建物・施設の基本設計段階から検討を進める必要がある。
- 雪に含まれている融雪剤、ごみ、泥などの成分は腐食性が高く、耐食性の高い設備機材の選定が必要である。
- 実作業面で雪の投入のしやすさ・成型のしやすさを考慮した上で導入検討が必要
- 冷房の需要が少ない寒冷地のため、雪冷熱のポテンシャルを生かすためには冷房需要の確保・創出が重要となる

## <貯雪庫（地下）利用>

- 建物の地下空間を利用した雪冷房には、冷房に必要な体積を上回る雪の量を貯蔵する必要がある（地下に貯められる雪の量の兼ね合いで、ビルや大きな事務所全体の冷房は困難である）  
例）延床面積1万m<sup>2</sup>の店舗ビル（1フロア1千m<sup>2</sup>の10階建想定）に対する雪冷房（～9月想定）に必要な貯雪庫容量：約2.2万m<sup>3</sup>（床面積1千m<sup>2</sup>の場合、深さが22m（凡そ地下7階分のスペース）が必要。※参考：貯雪デグリーデー法による雪氷庫容量の簡易推定に関する研究(濱田靖弘)
- 地下貯雪槽を構築する費用が必要なほか工期が年単位で長くかかる。

## <雪山利用>

- 雪山の設置に必要な土地の確保や、条例との兼ね合い、電波障害が生じるなど地域住民の理解などの課題があるため、住宅地が密集している札幌市内での導入のハードルは高い。
- 雪量のポテンシャルとしては公園の雪捨て場や大規模施設の駐車場雪置き場とする場合、雪周辺への冷気の影響も大きく、地域住民の理解が得られない。また、雪冷房をしている期間は公園も駐車場も使えないことから雪冷房に利用できない課題がある。