

### **(3) 札幌市に適した手法について**

## ①雪氷熱利用および再エネ融雪の札幌市への適応に向けた調査の方針

### □ 調査事項

- 本章では、前述までの調査結果や既往調査結果を踏まえ、札幌市内における適応について雪利用および再エネ融雪それぞれにおける下記事項を分析・整理する。
  - ◆ 気候的条件・地理的条件の特徴
  - ◆ 導入計画にあたっての検討フローの提示
  - ◆ 検討フローを踏まえたモデル検証
    - 適応規模設定（小規模～大規模など、複数パターンのモデル仮定）
    - コスト推計のための諸元設定
    - 文献・原単位を活用したコスト検証
    - 各システムで必要となる規模（必要な取得スペースなど）の推計
    - CO<sub>2</sub>削減効果の検証
    - 今後具体的な検証を行う場合の参考文献・ツールの整理

### ②雪氷熱利用を札幌市で適応する場合の気候的・地理的条件

#### □ 気候的条件

- 札幌市内でも地域で降雪量・積雪量・平均気温など年度ごとの差が非常に大きい
- 雪氷熱エネルギーは、自然エネルギーであることから気候に左右されるため、必要な雪の量を毎年確保することが課題
- 雪氷熱エネルギーという観点では、エネルギーポテンシャルは平均降雪量および最深積雪深と収集可能面積を乗じることで雪の体積（ $m^3$ ）→雪の積雪密度を乗じることで雪の重量（t）となり熱量換算が可能。
- 上記について札幌市内でも地域で差が出る。（降雪量と気温）
- 重要なファクターとして、その年の冬の積算寒度（毎日の平均気温を積算したもの。数値がマイナスで大きければ期間を通して寒く、雪が溶けにくい）も重要である。

#### □ 地理的条件

- 雪氷熱特有の必要な地理的条件は例として以下
  - 大規模な雪氷熱利用（スノーマウンドなど）は広大な土地が必要。新潟事例など参照
  - 大規模になるほど周辺への影響が大きい（電波障害、冷気（周辺の農作物への影響など）、景観（雪山の被覆条件によっては“きれいな白”ではなくなる）、冷熱供給の配管の道路・敷地横断など）
  - 市街化区域では住宅が密集していることから雪の保管はできない。市街地以外での利用に限る。
- 雪を確保できる場所と冷房が必要な場所が近接している必要があるが、このマッチングが検討時点で必須（冷水配管の延長で、ある程度は離隔可能だが事例としては長くとも数百m以内）。
- 雪を堆積する場所へ雪を運搬する必要があるが、郊外に行くほど運搬に係る費用とCO<sub>2</sub>の排出が増える。

### ③再エネ融雪を札幌市で適応する場合の気候的・地理的条件

#### □ 気候的条件

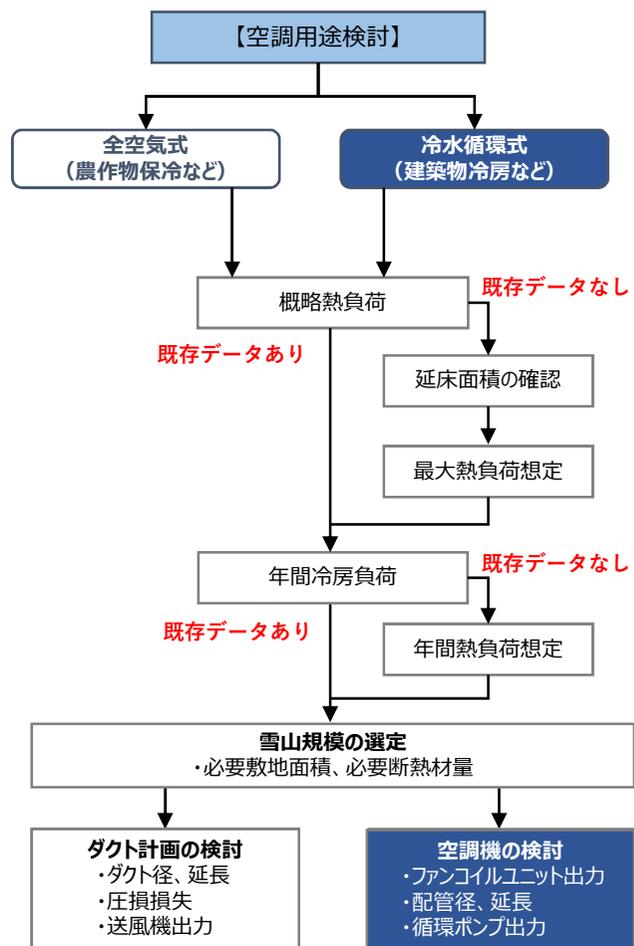
- 札幌市内のロードヒーティングの基準は一定の熱量があり、気候的条件はない（電気式250W/m<sup>2</sup>、温水式約300W/m<sup>2</sup>）。
- ただし、経済性の観点からRHは「すべての雪を瞬時に溶かし、凍結を全くさせない」というものではないため、大豪雪や温暖な気温のあとの急激な温度低下には対応できないことを前提として運用を検討する事が重要。

#### □ 地理的条件

- 札幌市内は、都会でありながら急な坂道や除雪が行き届かず救急車が入れない細い道が存在する地域である。また、都心以外にも商店街、駅周辺など高齢者や障がい者が行き交う道も多く、融雪のニーズは高い。
- その他、人が沢山集まるイベント会場への導入、CO<sub>2</sub>削減を優先とした既存融雪エリアの再エネへの切り替えなどが考えられる。
- 融雪が必要なエリアに地理的に再エネが確保可能かが重要
  - 下水熱： 下水熱ポテンシャルマップの参照
  - 地中熱： ボアホール（地中杭）の打設が可能な面積（※岩盤では掘削が困難）
  - 排熱： 需要とごく近接している必要がある

①雪氷熱利用の検討フロー一例

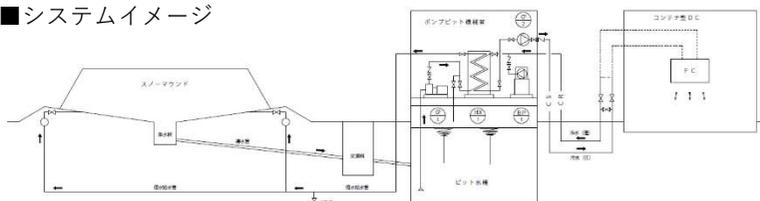
導入計画の際は下記のフローによる検討の流れが基本となる。冷房対象（農作物貯蔵・建物冷房など）、設置地域によって個別具体的な検討が必要なため、以降では今後の規模感の参考となるように導入や計画例を示す。



②雪氷熱利用のコスト例（新潟県におけるDCへの大規模雪山による導入試算例）

- ❑ 雪氷熱は融解が貯雪規模と比例しないため原単位化（円/kW、円/m<sup>3</sup>など）が困難
- ❑ システム・規模として近いサイズ事例などを参照としてコスト感を得る必要がある。ここでは雪山規模ごとのコスト例を記載する（対象はDC）
- ❑ 規模が大きくなるとスケールメリットは生じるが、土地取得費や雪運搬などのコストを考慮すると冷房のランニングコスト削減効果のみでの投資回収は困難と考えられる。また、冷房対象と比較して非常に大きなスペースやボリュームの確保が必要となる。

■システムイメージ



出力と雪量の比較

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

削減効果の推計結果

出力 (kW)	区分	ランニングコスト (千円/年)			削減効果 (千円/年)
		電気料金	維持管理費	合計	
20	雪冷房	157	1,300	1,457	219
	通常冷房	1,571	105	1,676	
50	雪冷房	341	2,311	2,652	1,796
	通常冷房	3,407	1,041	4,448	
200	雪冷房	1,363	7,078	8,441	7,575
	通常冷房	13,627	2,388	16,015	
600	雪冷房	4,088	16,033	20,122	25,378
	通常冷房	40,882	4,617	45,499	

※千円以下端数処理の関係で合計等で表記上合わない部分がある

※雪冷熱活用データセンター立地事業 報告書より

イニシャルコストの推計結果

出力 (kW)	区分	項目	イニシャルコスト (千円)	備考
20	雪冷房	土木	26,528	実績参照
		シート	10,584	〃
		機械電気	17,280	〃
		計	54,392	
	通常冷房		3,500	〃
50	雪冷房	土木	47,162	底面積比
		シート	18,519	表面積比
		機械電気	29,944	0.6乗則
		計	95,625	-
	通常冷房 <sup>※1</sup>		34,700	中央冷房式 0.6乗則
200	雪冷房	土木	144,433	底面積比
		シート	54,399	表面積比
		機械電気	68,793	0.6乗則
		計	267,624	-
	通常冷房 <sup>※2</sup>		79,600	中央冷房式 0.6乗則
600	雪冷房	土木	327,184	底面積比
		シート	122,638	表面積比
		機械電気	132,989	0.6乗則
		計	582,811	-
	通常冷房 <sup>※3</sup>		153,900	中央冷房式 0.6乗則

※1 20,000 × (50/20)<sup>0.6</sup>  
 ※2 20,000 × (200/20)<sup>0.6</sup>  
 ※3 20,000 × (600/20)<sup>0.6</sup>

③雪氷熱利用のコスト例（貯雪庫による農作物保冷導入の試算例）

- ❑ 建物冷房の観点では冷水循環式が一般的であるが、農産物貯蔵であれば機械的なシステムは少なくなる。
- ❑ 貯蔵対象物、貯蔵量によってコストなどは大きく変わるがここでは参考に名寄市の例を記載する。

■名寄市の施設について

**名寄市**

名寄市<雪室型もち米低温貯蔵施設「ゆきわらべ雪中蔵」> 雪搬入 直接熱交換冷風循環方式



**外観**

本施設は、水稲もち米専用貯蔵施設としては国内において初めて雪を冷熱源とした施設です。貯雪室、貯蔵室および冷熱を輸送する冷風循環系で構成され、雪の冷熱を空調混合機により調整し、外気上昇に伴う玄米の貯蔵温度の上昇を抑え、貯蔵室内の温度を一定に保ちながら低温に貯蔵する施設です。

所在地：名寄市字曙837-2  
 完成年度：平成14年度  
 施設規模：鉄骨造平屋建一部2階建  
 延べ床面積1,847.05㎡  
 貯雪量：1,300t  
 連絡先：道北なよろ農業協同組合名寄支所（TEL:01654-2-4531）

名寄市<農産物出荷調整利雪施設> 雪搬入 直接熱交換冷風循環方式



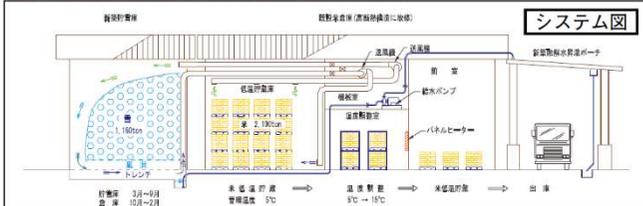
**米倉庫内部**



**貯雪庫外観**

既存のもち米倉庫の内部を断熱構造に改修し、米貯蔵庫・温度調整室・前室・機械室に分割、隣接して貯雪庫を併設した。貯雪庫内での熱交換は、横断流と風洞流の二方法を併用し、室温5℃、湿度70%を保持、品質の劣化を防止している。

所在地：名寄市風連町字中央499-1  
 完成年度：平成15年度  
 施設規模：鉄骨造平屋建一部2階建  
 延べ床面積1,614.71㎡  
 貯雪量：1,160t  
 連絡先：道北なよろ農業協同組合本所（TEL：01655-3-2521）



**システム図**

③雪氷熱利用のコスト例（貯雪庫による農作物保冷導入の試算例）

- ❑ 貯蔵対象物、貯蔵量によってコストなどは大きく変わるがここでは参考に名寄市の例を記載する。
- ❑ 付加価値を上乗せして販売することでコストの回収を行うことが可能。

■事業費

- ・ 名寄市における施設の概算事業費は以下のとおり
- ・ 2施設の面積あたりの建設コストが20万円～26万6,000円/m<sup>2</sup>となっている（H15時点）。  
→建設物価上昇を考慮すると、現在は40～50万円/m<sup>2</sup>と想定される。

概算事業費推計

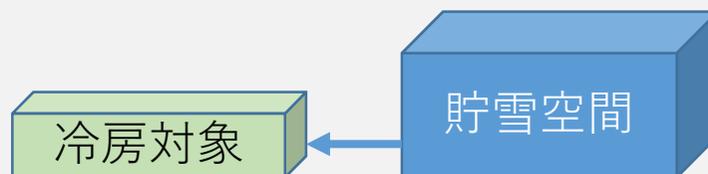
面積	事業費	基準単価
1,800m <sup>2</sup>	3億6,000万円	20万円/m <sup>2</sup>
600(新設部分)m <sup>2</sup>	1億6,000万円	26万6,000円/m <sup>2</sup>

■農産物貯蔵の雪冷房施設の導入における課題

- ① 農産物保冷の場合、夏期まで雪や氷などを貯蔵するには相当な量が必要で、それを集め運搬するコストや貯冷庫などを設備するイニシャルコストが多額となる。よって周辺からの除排雪が容易であることのほか、既存の除排雪事業と連携する必要がある。
- ② 融雪水の排水先を確保する必要がある。
- ③ 冷熱源の貯蔵箇所と冷熱エネルギーの利用箇所が離れてしまう場合、効率が低下することから比較的大きな設置スペースを近隣に確保する必要がある。
- ④ 雪氷のでき具合や保存期間の長さは、降雪量や外気温などの気象状況に大きく左右されるため、利用及び保管を計画するにあたっては、気象データの蓄積と精度の高いシミュレーションを行う必要がある。
- ⑤ 雪山の製造及び維持作業において、作業の効率化による人件費削減を行う必要がある。

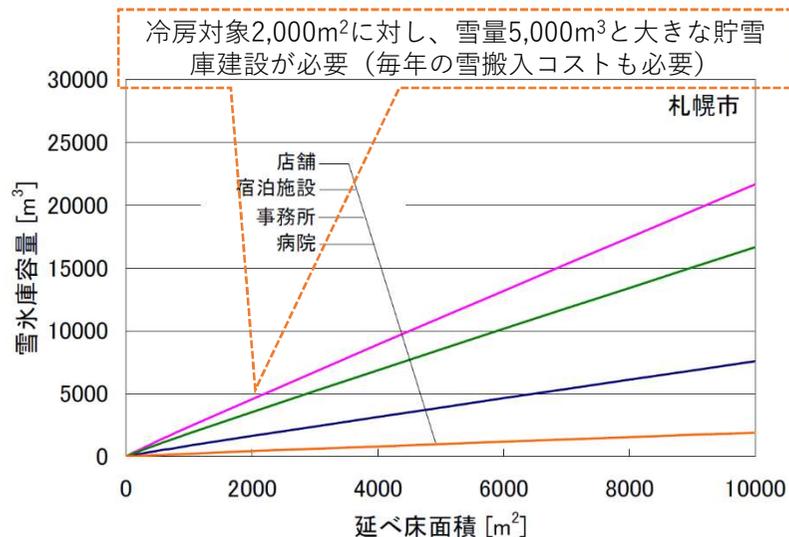
④雪氷熱利用の必要スペース

- ❑ 雪氷熱利用はコスト課題もあるが、必要な貯雪空間の確保も大きな課題となる。
- ❑ 一般的な空調であれば、用途にもよるがおよそ「冷房対象空間とほぼ同等の貯雪空間の面積かつ2~4mの高さのスペース」の確保が必要となる（下記イメージ）。
- ❑ DCのように冷房負荷が常時ある場合は、より大きな貯蔵空間が必要となる（前述新潟事例参照）。



■ 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量の関係



■ 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 (バーク材含まず) (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 バーク材 (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

※「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

⑤雪氷熱利用のCO<sub>2</sub>削減効果試算例（前述の新潟県におけるDCへの大規模雪山による導入試算例）

□ 雪冷房によるCO<sub>2</sub>削減効果の試算

- DCへの雪冷房導入による一般空調との比較（冷房期間4月～8月中旬、CO<sub>2</sub>排出係数0.533kg-CO<sub>2</sub>/kWh(北海道電力調整後係数2021年度)）
- スノーマウンドの製造や雪の運搬にCO<sub>2</sub>を排出する重機・車両を必要とするため、高い冷房負荷のDCであってもCO<sub>2</sub>削減効果はやや限定的と考えられる（条件によって大きく異なるが下記の最大規模で100～200 t-CO<sub>2</sub>/年など）
- 実際は、雪冷房期間終了後やバックアップとして同規模の一般空調の設置は必要

二酸化炭素排出量削減効果推計値

出力 (kW)	区分	消費電力 (kWh)	CO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /年)	削減効果 (t-CO <sub>2</sub> /年)	導入コスト試算例 (千円)
20	通常冷房	64,800	35	-	3,500
	雪冷房	6,480	3	31	55,000
50	通常冷房	162,000	86	-	35,000
	雪冷房	16,200	9	78	96,000
200	通常冷房	648,000	345	-	80,000
	雪冷房	64,800	35	311	268,000
600	通常冷房	1,944,000	1,036	-	154,000
	雪冷房	194,400	104	933	583,000

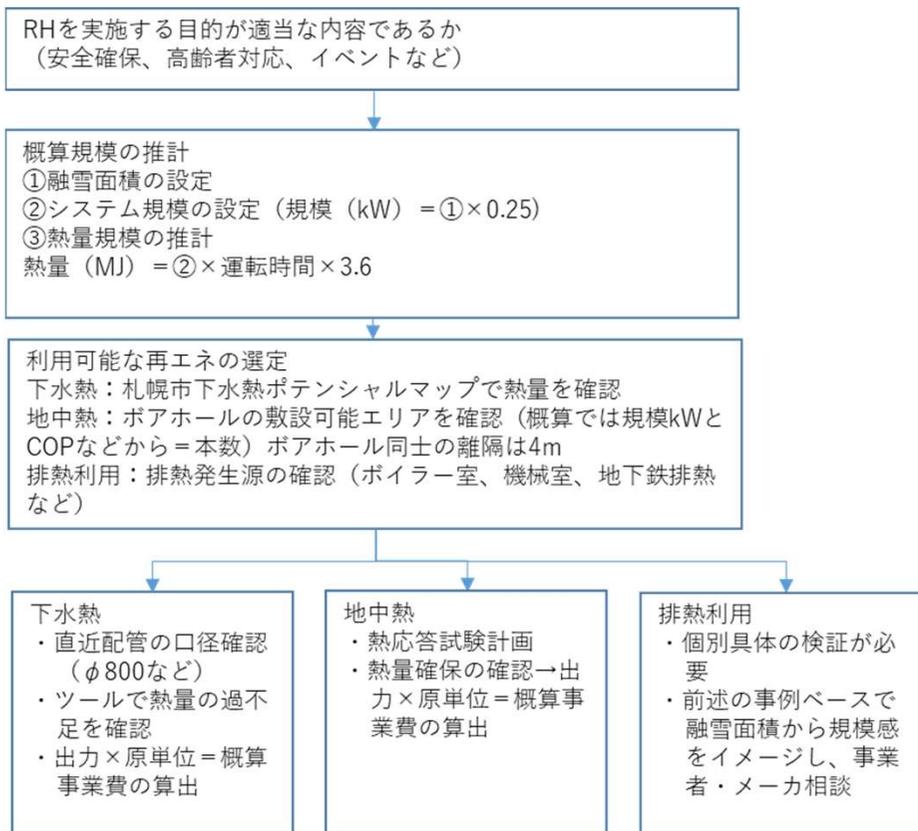
※雪冷熱活用データセンター立地事業 報告書より 排出係数などを変更

# 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<sup>58</sup>

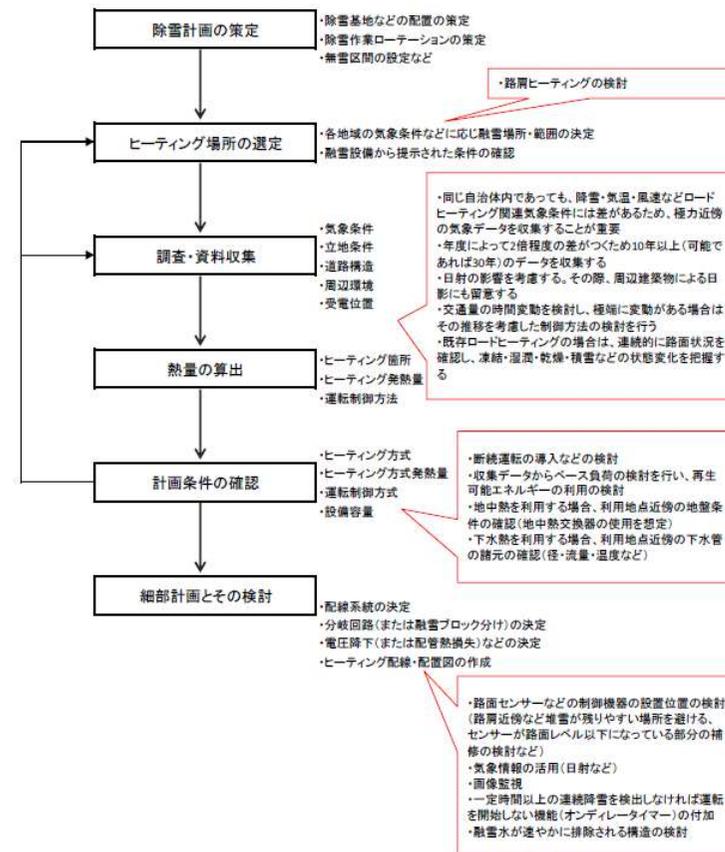
## ①再エネ融雪の検討フロー一例

- 札幌市に適した手法について、同じ市内でも熱源・需要の特性が異なるため、具体検討のためのフローを以下に示す。次項以降では札幌市でも技術的に適応可能と考えられ得る地中熱・下水熱利用について具体の計画の際に規模・コスト・課題整理の参考となるように複数パターンのモデル検証を行う。
- 両システムに共通して融雪面積を3パターン設定（300m<sup>2</sup>、1000m<sup>2</sup>、2000m<sup>2</sup>）

### ■ 適した手法・規模の概略検討が可能となるフロー



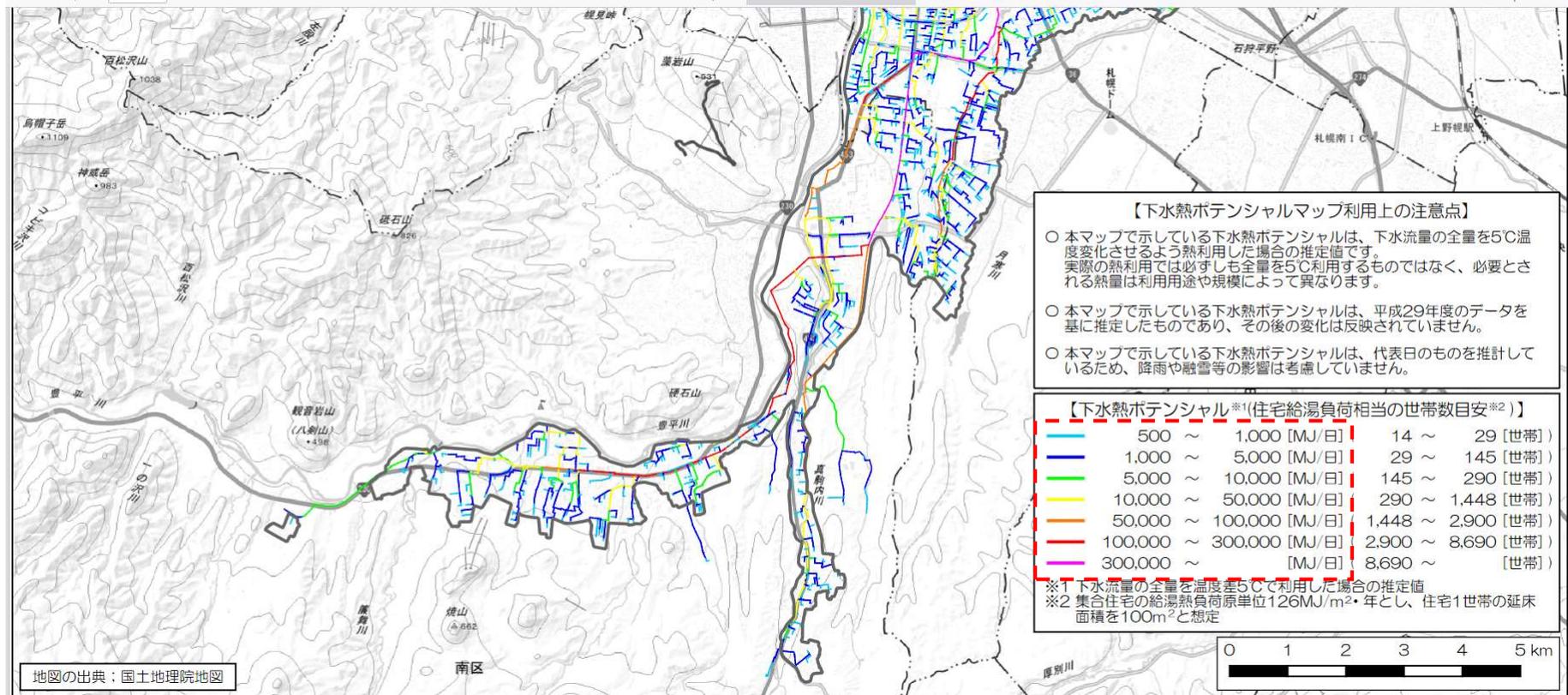
### ■ 具体的な導入検討の際のフロー



# 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<sup>59</sup>

## ①再エネ融雪の検討フロー一例

- 下水熱については国土交通省「下水熱利用可能性簡易検討ツール」により、規模・コスト・必要熱量を推計
- 融雪面積と下水熱からの取得熱量を設定することで推計が可能。これにより市内の下水熱ポテンシャルマップとの簡易的な照らし合わせが可能。



# 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<sup>60</sup>

## ②再エネ融雪のコスト及びCO<sub>2</sub>削減効果（地中熱利用・下水熱利用 融雪面積300m<sup>2</sup>）

### ■試算条件

- 融雪面積 300m<sup>2</sup> ヒートポンプシステムによる融雪
- ランニングコスト削減額およびCO<sub>2</sub>削減量→電熱線式との比較で推計
- イニシャルコスト 地中熱約1.0億円、下水熱約1.0億円

### ■地中熱・下水熱ヒートポンプシステムRH 設定

計算方法など	項目	GSHP	下水熱	単位	
①	融雪面積	300	300	m <sup>2</sup>	
②	単位熱量	300	300	W/m <sup>2</sup>	電熱線250W/m <sup>2</sup> 、温水300W/m <sup>2</sup>
③ (①*②)	必要熱量規模（設備出力）	90	90	kW	
④	運転時間	800	800	h/年	北海道開発局 設計要領 ロードヒーティング設備より
⑤	COP	3.5	4.4	-	地中熱：文献平均値、カタログ値など、下水熱：下水熱推計ツールより
⑥ (③/⑤*④)	消費電力	20,571	16,364	kWh/年	上記からの計算値
⑦	電力単価	18.45	18.45	円/kWh	北海道電力業務用電力 従量料金
⑧ (⑥*⑦)	電力料金（ランニング）	380	302	千円/年	上記からの計算値
⑨	CO <sub>2</sub> 排出係数	0.533	0.533	CO <sub>2</sub> -kg/kWh	北海道電力2021年度調整後係数 将来的な国の目標0.25
⑩ (⑧*⑨)	CO <sub>2</sub> 排出量	11.0	8.7	t-CO <sub>2</sub>	上記からの計算値
⑨ (⑥*⑤*250/300-⑩)	CO <sub>2</sub> 削減効果	21.0	23.3	t-CO <sub>2</sub>	電熱線式との比較
⑩	ポアホール本数	19	-	本	100m/本（採熱量35W/m） 端数切上げ 環境省ガイドライン手法で推計
⑪	ポアホール設置面積（正方形）	400	-	m <sup>2</sup>	20 m四方 ポアホール間隔5m
⑫	ポアホール設置面積（2列直線）	213	-	m <sup>2</sup>	43 m×5m //
⑬	下水熱必要ポテンシャル	-	1000~1500	MJ/日	下水熱ポテンシャルマップなどとの比較
⑭	イニシャルコスト	97,200	99,000	千円	環境省ガイドライン（出力あたりコスト目安72万円/kWに1.5倍（物価上昇など考慮）） 下水熱：国交省下水熱推計ツールより推計

※機械室の地下化などによっては更に金額が大きく上回る可能性がある

### ■地中熱における必要なポアホール打設面積イメージ

融雪面積300m<sup>2</sup>  
縦5m、長さ60m

← (HP) ←

■  
正方形配置  
400m<sup>2</sup>（20m四方）

OR

2列直列配置 212.5m<sup>2</sup>  
縦5m、長さ42.5m

# 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<sup>61</sup>

## ②再エネ融雪のコスト及びCO<sub>2</sub>削減効果（地中熱利用・下水熱利用 融雪面積1000m<sup>2</sup>）

### ■試算条件

- 融雪面積 1000m<sup>2</sup> ヒートポンプシステムによる融雪
- ランニングコスト削減額およびCO<sub>2</sub>削減量→電熱線式との比較で推計
- イニシャルコスト 地中熱約3.2億円、下水熱約3.1億円

### ■地中熱・下水熱ヒートポンプシステムRH 設定

計算方法など	項目	GSHP	下水熱	単位	
①	融雪面積	1,000	1,000	m <sup>2</sup>	
②	単位熱量	300	300	W/m <sup>2</sup>	電熱線250W/m <sup>2</sup> 、温水300W/m <sup>2</sup>
③ (①*②)	必要熱量規模（設備出力）	300	300	kW	
④	運転時間	800	800	h/年	北海道開発局 設計要領 ロードヒーティング設備より
⑤	COP	3.5	4.4	-	地中熱：文献平均値、カタログ値など、下水熱：下水熱推計ツールより
⑥ (③/⑤*④)	消費電力	68,571	54,545	kWh/年	上記からの計算値
⑦	電力単価	18.45	18.45	円/kWh	北海道電力業務用電力 従量料金
⑧ (⑥*⑦)	電力料金（ランニング）	1,265	1,006	千円/年	上記からの計算値
⑨	CO <sub>2</sub> 排出係数	0.533	0.533	CO <sub>2</sub> -kg/kWh	北海道電力2021年度調整後係数 将来的な国の目標0.25
⑩ (⑧*⑨)	CO <sub>2</sub> 排出量	36.5	29.1	t-CO <sub>2</sub>	上記からの計算値
⑨ (⑥*⑤*250/300-⑩)	CO <sub>2</sub> 削減効果	70.1	77.5	t-CO <sub>2</sub>	電熱線式との比較
⑩	ポアホール本数	62	-	本	100m/本（採熱量35W/m） 端数切上げ 環境省ガイドライン手法で推計
⑪	ポアホール設置面積（正方形）	1,225	-	m <sup>2</sup>	35 m四方 ポアホール間隔5m
⑫	ポアホール設置面積（2列直線）	750	-	m <sup>2</sup>	150 m×5m //
⑬	下水熱必要ポテンシャル	-	6000~8000	MJ/日	下水熱ポテンシャルマップなどとの比較
⑭	イニシャルコスト	324,000	312,000	千円	環境省ガイドライン(出力あたりコスト目安72万円/kWに1.5倍（物価上昇など考慮）) 下水熱：国交省下水熱推計ツールより推計

※機械室の地下化などによっては更に金額が大きく上回る可能性がある

### ■必要なポアホール打設面積イメージ

融雪面積1,000m<sup>2</sup>  
縦5m、長さ200m

← (HP)

正方形配置  
1,225m<sup>2</sup>（35m四方）

OR

2列直列配置 750m<sup>2</sup>  
縦5m、長さ150m

# 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<sup>62</sup>

## ②再エネ融雪のコスト及びCO<sub>2</sub>削減効果（地中熱利用・下水熱利用 融雪面積2000m<sup>2</sup>）

### ■試算条件

- 融雪面積 2000m<sup>2</sup> ヒートポンプシステムによる融雪
- ランニングコスト削減額およびCO<sub>2</sub>削減量→電熱線式との比較で推計
- イニシャルコスト 地中熱約6.5億円、下水熱約6.2億円

### ■地中熱・下水熱ヒートポンプシステムRH 設定

計算方法など	項目	GSHP	下水熱	単位	
①	融雪面積	2,000	2,000	m <sup>2</sup>	
②	単位熱量	300	300	W/m <sup>2</sup>	電熱線250W/m <sup>2</sup> 、温水300W/m <sup>2</sup>
③ (①*②)	必要熱量規模（設備出力）	600	600	kW	
④	運転時間	800	800	h/年	北海道開発局 設計要領 ロードヒーティング設備より
⑤	COP	3.5	4.4	-	地中熱：文献平均値、カタログ値など、下水熱：下水熱推計ツールより
⑥ (③/⑤*④)	消費電力	137,143	109,091	kWh/年	上記からの計算値
⑦	電力単価	18.45	18.45	円/kWh	北海道電力業務用電力 従量料金
⑧ (⑥*⑦)	電力料金（ランニング）	2,530	2,013	千円/年	上記からの計算値
⑨	CO <sub>2</sub> 排出係数	0.533	0.533	CO <sub>2</sub> -kg/kWh	北海道電力2021年度調整後係数 将来的な国の目標0.25
⑩ (⑥*⑨)	CO <sub>2</sub> 排出量	73.1	58.1	t-CO <sub>2</sub>	上記からの計算値
⑨ (⑥*⑤*250/300-⑩)	CO <sub>2</sub> 削減効果	140.1	155.1	t-CO <sub>2</sub>	電熱線式との比較
⑩	ポアホール本数	123	-	本	100m/本（採熱量35W/m） 端数切上げ 環境省ガイドライン手法で推計
⑪	ポアホール設置面積（正方形）	3,025	-	m <sup>2</sup>	55 m四方 ポアホール間隔5m
⑫	ポアホール設置面積（2列直列）	1,513	-	m <sup>2</sup>	303 m×5m //
⑬	下水熱必要ポテンシャル	-	10000~17000	MJ/日	下水熱ポテンシャルマップなどとの比較
⑭	イニシャルコスト	648,000	620,000	千円	環境省ガイドライン（出力あたりコスト目安72万円/kWに1.5倍（物価上昇など考慮）） 下水熱：国交省下水熱推計ツールより推計

※機械室の地下化などによっては更に金額が大きく上回る可能性がある

※必要なポアホール打設面積イメージ

融雪面積2,000m<sup>2</sup>  
縦5m、長さ400m

← (HP) ←

正方形  
3,025m<sup>2</sup>（55m四方）

OR

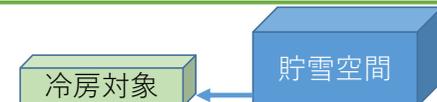
2列直列 1,512.5m<sup>2</sup>  
縦5m、長さ302.5m

■雪エネルギーの利用について

	仕組み	課題	課題解決・展開の可能性
温度差発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪の冷熱と太陽光などの温かい熱の温度差を利用して発電</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2022年度青森で実証開始</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>※実証段階であり、今後の動向を注視</li> </ul>
雪の位置エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪（融水）を落とす際の位置エネルギーを用いて発電</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電量が非常に小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪を集める量に対しての発電量が小さく、実用化には向いていない</li> </ul>
電気分解による水素化	<ul style="list-style-type: none"> <li>融雪後、再エネ等により電気分解を行い、水素をエネルギーとして発電利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>投入するエネルギーに対して取り出せるエネルギーは1/3程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再エネの余剰電力を上手く活用し、水素を製造・貯蔵するなどによる可能性がある</li> </ul>
パターン① 自然落雪式貯雪塔を用いた雪冷房	<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、夏季の建物冷房に利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>経済的メリットは大きく出るものではない</li> <li>冷房の需要の少ない寒冷地においても冷房を必要とする需要の創出が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>企業・施設としてのPR面も含めた目的設定による取組の可能性はある</li> <li>建物設計段階からの検討が必要</li> </ul>
パターン② 貯雪槽利用の建物冷房例	<ul style="list-style-type: none"> <li>冬季に貯雪槽に雪を貯め、夏季の建物冷房に利用（冬季は融雪槽も兼ねる）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪でまかなえない分の冷房設備は別途必要</li> <li>初期投資が大きい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>冷房に必要な量の貯雪槽の確保（スペースと建設費）と貯雪にかかる費用を抑えることが必要</li> <li>建物設計段階からの検討が必要</li> </ul>
パターン③ 冷房負荷の大きな施設への冷熱利用・その他複合的な取組例	<ul style="list-style-type: none"> <li>雪山からDCや食料生産施設へ夏季に冷熱を供給するほか、その他事業を含めた地域循環産業モデルの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DCへの冷熱供給単体で採算性をとることは難しい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>関連する複数の事業全体で見ていくことが重要</li> <li>まちづくり全体としてシステム化することができれば可能</li> </ul>

単に雪冷房としての目的だと、前述までのように初期コストのほか大規模な貯雪空間※の確保、貯雪のための維持管理費が必要となる

※冷房対象空間とほぼ同等の貯雪空間の面積かつ2~4mの高さのスペースの確保が必要



※冷房対象空間に対する貯雪空間のイメージ

■再エネ、未利用エネルギーを活用した融雪について

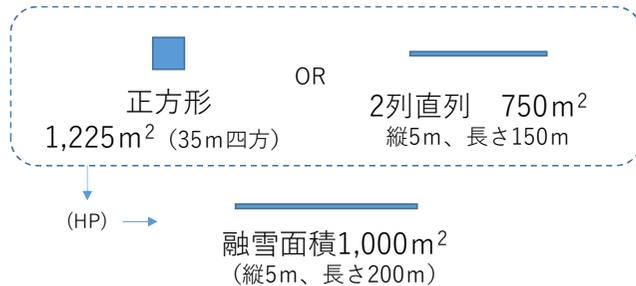
	仕組み	実用例	特徴	コスト感
排気熱 直接利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物等からの排熱をファンを用いて通気性ブロックを通して通風し融雪を行う</li> </ul>	[小規模融雪] <ul style="list-style-type: none"> <li>施設玄関前</li> <li>高速道路のPA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通風するため乾きやすい</li> <li>通気・透水性ブロックの適切な維持管理が必要</li> <li>融雪可能面積は排熱量による</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>イニシャルは電熱方式の倍程度</li> <li>ランニングは送風機動力にかかる費用のみ</li> <li>排熱量と融雪面積に応じた個別検討が必要。</li> </ul>
排気熱 熱交換	<ul style="list-style-type: none"> <li>建物や機械室などから生じる換気廃熱を熱回収し融雪を行う</li> </ul>	[小規模融雪] <ul style="list-style-type: none"> <li>駐車場</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>融雪可能面積は廃熱量による</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>イニシャルは電熱方式と同程度</li> </ul>
下水熱 熱交換	<ul style="list-style-type: none"> <li>下水管に採熱管を通し、回収した熱で融雪を行う</li> </ul>	[小中規模融雪] <ul style="list-style-type: none"> <li>バス停</li> <li>歩道、車道</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>都市部の大きな下水管があれば導入は比較的容易（採熱管を通せばよい）</li> <li>必要な熱量に応じてヒートポンプを併用（※コストは増）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>イニシャルは電熱方式の3倍程度</li> <li>ランニングは循環ポンプ動力にかかる費用のみ（ヒートポンプ併用なしの場合）</li> </ul>
地中熱 熱交換	<ul style="list-style-type: none"> <li>地中熱で温められた不凍液を利用し、ヒートポンプによって融雪を行う</li> </ul>	[小～大規模融雪] <ul style="list-style-type: none"> <li>駅前広場</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>都市部でなく、どの地域でもポテンシャルあり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>イニシャルが高額</li> <li>ランニングはヒートポンプ利用により小さい</li> </ul>
地中熱 ヒート パイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒートパイプを用いて電源なしで地中熱により舗装を温め融雪を行う</li> </ul>	[小～大規模融雪] <ul style="list-style-type: none"> <li>歩道、車道</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スポット的な導入が可能</li> <li>地方においてもポテンシャルあり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>イニシャルが高額</li> <li>ランニングコストは不要</li> </ul>

■再エネ、未利用エネルギーを活用した融雪のコスト検証例

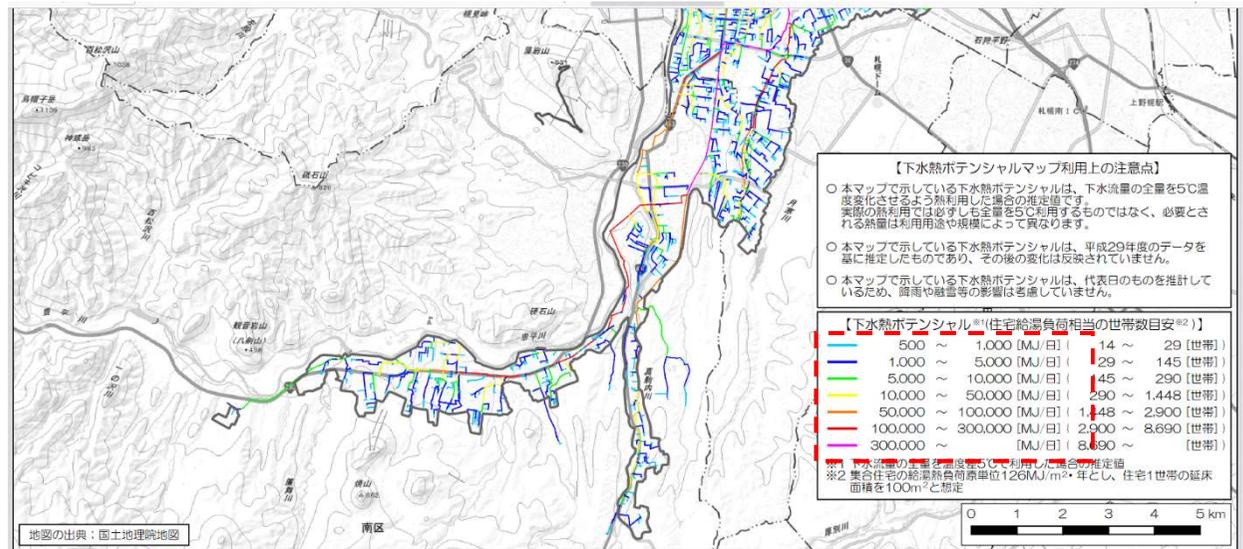
		条件	概算コスト	CO <sub>2</sub> 削減量
小規模 (300m <sup>2</sup> )	地中熱	必要ポアホール本数：19本	約1.0億円	21.0t-CO <sub>2</sub> /年
	下水熱	必要熱量目安：1,000~1,500MJ/日	約1.0億円	23.3t-CO <sub>2</sub> /年
中規模 (1,000m <sup>2</sup> )	下水熱	必要ポアホール本数：62本	約3.2億円	70.1t-CO <sub>2</sub> /年
	地中熱	必要熱量目安：6,000~8,000MJ/日	約3.1億円	77.5t-CO <sub>2</sub> /年
大規模 (2,000m <sup>2</sup> )	下水熱	必要ポアホール本数：123本	約6.5億円	140.1t-CO <sub>2</sub> /年
	地中熱	必要熱量目安：10,000~17,000MJ/日	約6.2億円	155.1t-CO <sub>2</sub> /年

※地中熱のコストは機械室の地下化などによっては更に金額が大きく上回る可能性がある

※排気熱利用については、排熱量と融雪面積に応じた個別検討が必要であり、事例も少ないことからコスト検証対象外とした



必要なポアホール打設面積イメージ (再掲)  
 ※融雪面積が1000m<sup>2</sup>の場合



市内の下水熱ポテンシャルマップ (再掲)

## <雪の利活用>

- ❑ 省エネを検討する中の一手法として、冷房需要に対して雪冷房が導入可能かを検討することが考えられるが、費用対効果が得られないことや次に挙げる課題も整理する必要があるため、新たな技術が生まれない限りは安易に導入することは難しい。
- ❑ 雪冷熱利用に関しては、下記の課題もある。
  - 堆積場への雪の運搬はCO<sub>2</sub>排出を伴い、コストもかかる（貯雪槽への雪の搬入は数百万規模（貯雪量が千トン規模の事例の場合））
  - 地下空間利用の場合は、冷房対象に限られる（ビルや大きな事業所の全体を冷房対象とすることは困難で、一フロアや一部の部屋のみなど）
  - 大規模雪山の場合や住宅においては、周辺環境への影響と住民理解が課題（電波障害、冷気、景観など）。
- ❑ その他、企業のアピールや広告宣伝としての活用など、費用対効果以外を目標として導入する。

## <再エネ・未利用エネルギーを利用した融雪>

- ❑ 融雪が必要とされる場所に対して、その土地に合ったエネルギーを選択し、融雪を行うことが基本と考えられる。
- ❑ 地中熱、下水熱は札幌市内にポテンシャルがあり、建物排熱は個別検討が必要である。
- ❑ 地中熱、下水熱、建物排熱を利用するRHは、通常の電熱式RHと比較するとイニシャルコストは高額（または同額程度）であり、ランニングコストやCO<sub>2</sub>排出量は小さくなる。（国の補助金を活用することでイニシャルコストを抑えることも要件等）
- ❑ 各システムについて、下記の課題が挙げられる。
  - 市内にポテンシャルはあるがRHの導入地点で必要な熱エネルギーが取得可能かは、地中熱は地盤調査、下水は下水管の調査（サイズ、流量、温度）によって判断する必要がある。地中熱利用のための地盤調査の結果、掘削が困難である場合もある。
  - ボアホール（地中熱）、採熱管（下水熱）を設置可能な場所が確保できるのかについて検証が必要である。
  - その他、機械室に必要な場所の確保が必要となる。
- ❑ 導入の際には、雪冷熱利用と同様に、各種条件を踏まえて将来的な脱炭素社会に向けた一つの方策として検討することが考えられる。特に、導入を検討するエリアでの再エネ・未利用エネの利用可能量と需要のバランスを検討する必要がある。

---

## (4) 参考資料

- ・ 地熱利活用可能性に関する分析資料
- ・ 参考文献の抜粋資料
- ・ ヒアリングで提供を受けた資料
- ・ 雪氷熱および融雪検討の際に参考となる文献集
  - ・ 下水熱利用マニュアル（案）
  - ・ 地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂増補版
  - ・ 雪堆積場における雪冷熱利用ガイドライン（案）
  - ・ 融雪施設の維持管理のためのガイドライン（案）
  - ・ 平成26年度北海道開発局道路設計要領  
第5集 電気通信施設 第4章ロードヒーティング設備