

## 融雪施設の効率的な再生可能エネルギー活用に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究機関：平 23～平 26

担当チーム：寒地機械技術チーム、寒地技術推進室

研究担当者：山口和哉、永長哲也、平地一典、

斎藤要、鶴沢利樹

### 【要旨】

積雪寒冷地では、ロードヒーティングに代表される車道の融雪施設は交通安全の確保のため必要不可欠であり、勾配など道路条件を勘案し設置されている。これらの熱源はほとんどが電気でありそのコストが道路管理の大きな負担となっている。

そこで、既存融雪施設の稼働状況を調査し、実際に融雪施設に供給されている熱量（供給熱量）と、融雪や凍結防止に必要な熱量（必要熱量）の分析から、最小限必要な熱量を明確にすることで効率的な運転制御方法を提案した。また、融雪施設の熱源として利用可能な再生可能エネルギーについて調査を行い、優位性の高い再生可能エネルギーを有効に活用するための運用方法を提案した。

キーワード：融雪施設、再生可能エネルギー、維持管理、コスト縮減

### 1. はじめに

積雪寒冷特別地域である北海道においては、スパイクタイヤの使用が法律により規制され、多数の融雪施設が設置された。この施設の熱源には、電力や天然ガス等が使用されているが、ほとんどは電力でありその電気料金が除雪事業費を圧迫するほど大きな負担となっている。このためコスト縮減を目的として融雪施設を停止し凍結防止剤の散布に切り替えている箇所があるものの、道路勾配、交通量等から融雪施設を停止できない箇所も多数ある。

そこで、既存融雪施設の稼働実態を調査し、供給熱量（供給電力量）と必要熱量（降雪量、外気温度、路面温度、風速等から推計される融雪や凍結防止に必要な熱量）を検討することで最小限必要な熱量を明確にし、熱源として再生可能エネルギーの効率的な活用方法の提案を行うため、必要熱量、日射量、断続運転、地域特性を考慮した運転制御方法を検討した。また、再生可能エネルギーや未利用エネルギーを融雪施設に有効活用するための評価を行った。



図-1 融雪施設

### 2. 融雪施設の実態調査

2011年度～2014年度、札幌市内及び釧路市内の車道に設置されている融雪施設において、路面温度、消費電力量、往・還水温度（温水式のみ）、路面状況、融雪状況、外気温度、全天日射量、風向風速、降雪量のデータを収集・整理した。

#### 2. 1 温水式融雪施設の調査

温水式融雪施設（以下「温水式 RH」という）の実態調査箇所として、札幌市内に設置されている 1 施設を選定した。調査項目を表-1、計測機器設置状況を図-2 に示す。本施設は、都市ガスボイラーを熱源としており、延長 230m、幅 16m、対象面積は 3,680m<sup>2</sup>である。

表-1 温水式 RH 調査項目

調査項目	調査方法	備考
温湿度	気象観測装置及び気象庁アメダスデータ、	気象観測装置は現地設置。
風況	SNETマルチセンサデータ	
日射量		
降雪量	SNETマルチセンサデータ	時間降雪深から算出
路面温度		
往水温度	データロガー	既存信号の分岐
還水温度		
温水流量	超音波流量計	
路面状況	インターバルカメラ	30分毎に撮影
水分センサー	データロガー	ON-OFF 信号
降雪センサー		



図-2 計測機器設置状況(温水式)

気象データは、現地に設置した気象観測装置によって測定し、欠損や異常値があった場合は気象庁アメダスデータ、または札幌市内数十箇所に設置されている「SNET マルチセンサー」のデータを準用した。また、路面の融雪状況については、インターバルカメラにより観測した。

2014年度には制御システムの更新工事が行われていたため2月まで欠測となっている。図-3に更新後のシステム画面を示す。

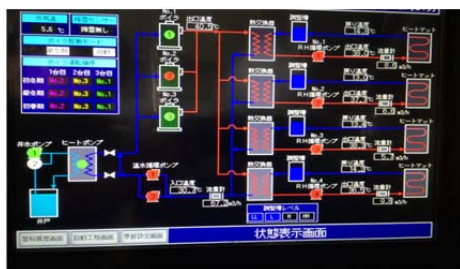


図-3 更新後システムフロー図(温水式)

## 2.2 電気式融雪施設の調査

電気式融雪施設(以下「電気式RH」という)の実態調査個所として、札幌市内に設置されている2施設を選定した。「電気式RH①」はアンダーパスに設置された施設であり、調査項目を表-2に示す。本施設は、電力を機械室で高圧で一括受電して9ブロックに配電し、そこからさらに複数のユニットに分岐している。対象面積は下り線3,913m<sup>2</sup>、上り線3,914m<sup>2</sup>、合計7,827m<sup>2</sup>である。

気象観測装置については設置が困難なため、「SNET マルチセンサー」のデータを用いた。路面温度、電圧、電流、水分・降雪データについては、既存の計測信号を分岐して取得した。また、機械室内での施設全体の電力消費量測定とは別に、個別の盤における電力消費量の測定を併せて実施した。

表-2 電気式RH①調査項目

調査項目	調査方法	備考
温湿度	気象観測装置及び気象庁アメダスデータ、SNETマルチセンサーデータ	気象観測装置は現地設置
風況		
日射量	SNETマルチセンサーデータ	時間積雪深から算出
降雪量	制御盤からの分岐	データロガー
路面温度	インターバルカメラ	30分毎に撮影
電圧	制御盤からの分岐	データロガー
電流		
水分センサー		
降雪センサー		

「電気式RH②」は、郊外部の勾配のある交差点で、対象面積5,200m<sup>2</sup>を29箇所の配電盤で各々低圧受電し、配電盤毎に複数のユニットのヒーティングを行っている施設である。今回の調査対象はこのうち1ユニットのデータを取得した。

本施設における調査項目を表-3に示す。気象データは、気象観測装置によって収集し、欠損や異常値があった場合はアメダスデータ及び「SNET マルチセンサー」におけるデータを用いた。また路面融雪状況についてはインターバルカメラで撮影を行い、消費電力量はクランプ式電力量計で計測した。

表-3 電気式RH②調査項目

調査項目	調査方法	備考
温湿度	気象観測装置、及び気象庁アメダスデータ、SNETマルチセンサーデータ	気象観測装置は現地設置
風況		
日射量	SNETマルチセンサーデータ	時間積雪深から算出
降雪量	インターバルカメラ	
路面状況	クランプメーター	1ブロック分を対象とした
電圧	データロガー	ON-OFF信号
電流	目視による路面状態確認	16時~21時に発生
水分センサー		
降雪センサー		
断続運転		

## 2.3 調査結果の整理・分析

### 2.3.1 気象の考察

札幌市内の過去4年間の気象条件が、過去の気象データ上でどのような位置づけであったかを図-4、5に示す。2011年度は雪が少なく非常に気温の低い年であり、2012年度は過去24年間の中でも、降雪・温度ともに厳しい気象環境であった。2013年度は平年並みであり、2014年度は期間を通した降雪量が少なく、温暖な年であった。

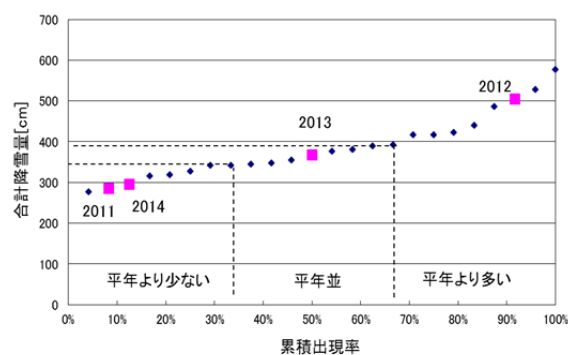


図-4 期間降雪量の気候的出現率(札幌市)

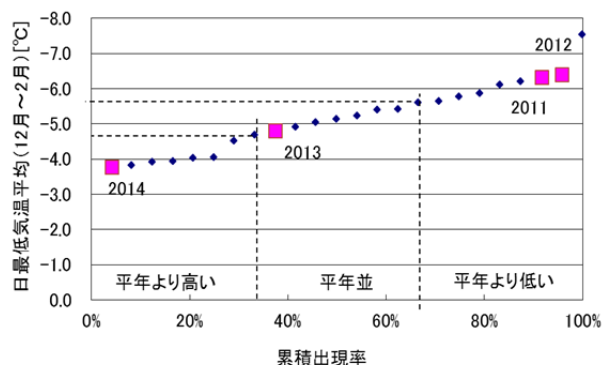


図-5 最低気温平均値の気候的出現率(札幌市)

### 2.3.2 必要熱量の考察

過去4年間の気象条件から算出される必要熱量（降雪量、外気温度、路面温度、風速等から推計される融雪や凍結防止に必要な熱量）について分析・整理した。

分析にあたっては、降雪後、ヒーティングや日射などにより路面が乾燥した場合は、外気温度がマイナスであっても熱供給が必要無い場合も考えられることから、以下のとおりとした。

対象：札幌市内の3箇所（温水式RH、電気式RH①、②）

気象条件：近傍の気象観測装置及びアメダスデータ

期間：2011年度～2014年度の12月から2月

分析項目・期間を通した面積あたり総必要熱量

- ・期間を通した面積あたり総必要熱量（降雪後48時間が経過すると路面が乾燥したと仮定し、降雪後48時間までを積算したもの。）
- ・期間を通した面積あたり総必要熱量（降雪後24時間が経過すると路面が乾燥したと仮定し、降雪後24時間までを積算したもの。）
- ・時間当り必要熱量の発生時間分布

推計結果を図-6に示す。

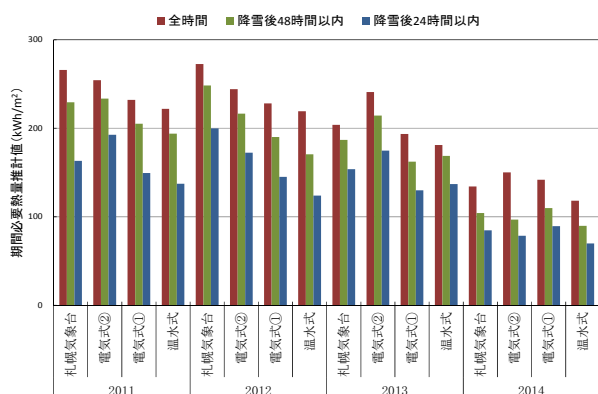


図-6 必要熱量推計結果（地域別期間必要熱量）

12月から2月の面積あたりの期間必要熱量推計値は、4カ年平均では全期間で206W/m<sup>2</sup>、降雪後48時間以内の積算で176W/m<sup>2</sup>、降雪後24時間以内の積算で138W/m<sup>2</sup>、という結果となった。気象条件によって大きな差が出ており、気温が低く降雪が多かった2012年度と比較的温暖であった2014年度では1.8倍程度の差となった。また、同じ札幌市内であっても差が見られるため、融雪施設の省エネルギー化に関する検討に当たっては対象施設周辺の環境調査を行うことが重要と考える。

ここで、必要熱量の発生時間分布を図-7に示す。

必要熱量は多くが100W/m<sup>2</sup>付近までに発生しており、全体の80%程度の時間で250W/m<sup>2</sup>以下となっている。

設備容量としての基準である250W/m<sup>2</sup>は適切と考えられる。

札幌

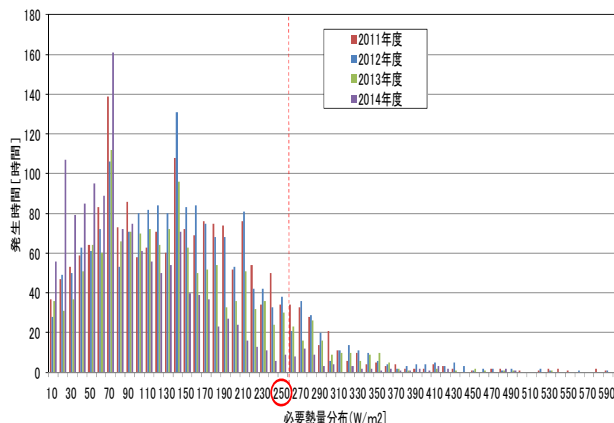


図-7 必要熱量の発生時間分布（札幌市）

### 2.3.3 必要熱量と供給熱量

必要熱量と供給熱量を比較し、削減可能なエネルギー量を推計する。ここでは、データが比較的揃っている電気式RH①、②について実施した。分析にあたっては以下のとおりとした。

必要熱量：前述の必要熱量データ。1時間毎データ

供給熱量：現場データから算出した面積当たり供給熱量の1時間データ

期間：2011年度～2014年度のそれぞれの観測期間

分析方法：・1時間毎の必要熱量と供給熱量を算出し、各年度観測期間の合計値を比較した。

- ・現場写真データから降雪後一定の時間が経過すると路面のおおよその部分が乾燥し、熱供給が必要無いと考えられる部分もあるため、降雪後48時間までの積算を行った場合についても比較した。

分析の結果を次に示す。

地点や年度により17～33%の削減可能なエネルギー量（表-4）があり、全体の平均は25%程度となった。削減可能エネルギーが発生する原因は、例えば必要熱量が100W/m<sup>2</sup>程度であっても、設備容量である250W/m<sup>2</sup>が供給されているためであると推測される。

傾向として、融雪の対象面積が広い観測データほど削減可能と思われる割合が高くなっている。また、既述のとおり観測を行った4年間は気象条件にバラツキがあり、雪が少なく温暖であった2014年度は必要熱量と供給熱量の差が大きくなっている。これは融雪及び凍結防止に熱供給が必要であっても、設計容量までは必要ない時間帯が多く発生したためであり、逆に気象条件が厳しい2012年度などはその差が小さくなっていた。

本分析では、観測期間内で比較しているが、比較的気温の高い12月や3月に融雪施設が稼働している場合はこ

の差が大きくなると考えられる。

必要熱量の発生時間分布(図-7)から、多くが 100W/m<sup>2</sup> 付近までに集中しているため、制御方法を検討することで、削減が見込まれる。

表-4 必要熱量と供給熱量の比較

電気式RH① (全体) 単位 (kWh/m <sup>2</sup> )				
	必要熱量	必要熱量 (48時間以内)	供給熱量	供給熱量 (48時間以内)
2011年度	131	110	181	154
			28%	29%
2012年度	185	150	264	203
			30%	26%
2013年度	187	156	265	210
			30%	26%
2014年度	129	105	235	187
			45%	44%
平均			33%	31%

電気式RH① (個別値)				
	必要熱量	必要熱量 (48時間以内)	供給熱量	供給熱量 (48時間以内)
2012年度	185	150	219	183
			15%	18%
2013年度	187	156	232	185
			20%	16%
2014年度	129	105	217	166
			41%	37%
平均			25%	23%

電気式RH②				
	必要熱量	必要熱量 (48時間以内)	供給熱量	供給熱量 (48時間以内)
2012年度	189	164	215	185
			12%	11%
2013年度	173	163	192	177
			10%	8%
2014年度	134	89	204	133
			34%	33%
平均			19%	17%

### 2.3.4 都市ごとの必要熱量比較

道内主要都市の気象データから、必要熱量のシミュレーションを行い、地域ごとの融雪に必要な熱量の特性を把握した。

#### 【シミュレーションの条件】

- ・道内主要都市の 12/1~3/31 の 1 時間毎の必要熱量を推計した。
- ・入力値である気象データは、アメダス 1 時間データ×6 年分 (2008~2013) とした。
- ・対象都市は、札幌市、小樽市、函館市、旭川市、釧路市、帯広市とした。

ここでは「2.3.2 必要熱量の考察」と同様に必要熱量の推計を行った。

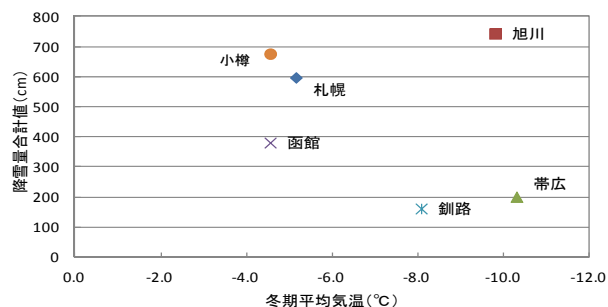


図-8 各都市の冬期平均気温と降雪量

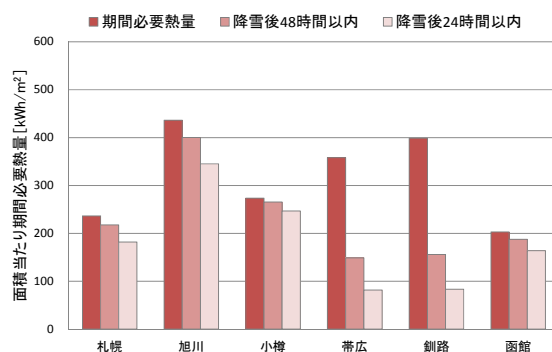


図-9 各都市の必要熱量推計値

各都市の冬期平均気温と降雪量を図-8 に、必要熱量推計結果を図-9 に示す。

他都市と比べて旭川市で必要熱量が大きくなっている。これは降雪量が多く、気温が低いためである。

釧路市や帯広市では降雪量が少なく、外気温が低いいため、乾燥を考慮した推計と考慮しない推計の差が大きくなっている。このような気象条件の都市では、路面乾燥を考慮した制御を行うことで、大きなエネルギー削減が可能と考えられる。しかし、路面状況を的確に判断する手法と、路面温度低下にともなう降雪初期の路面対策について検討が必要である。

## 3. 効率的な維持管理手法

### 3.1 断続運転を考慮した供給熱量シミュレーション

既存融雪施設では、融雪専用電力である「ほっとタイム 22」を活用することが多いが、電力契約上 16:00 から 21:00 の間に 15 分×8 回 (5 時間中 2 時間) の断続運転を行っている。路面状況把握や、路面温度の計測結果(図-10)から、この時間帯に路面凍結が発生する頻度は少ないと思われる。このことから道路交通の安全性を損なわない程度に別の時間帯でも断続運転を行うことが省エネに有効と考えた。

今回、以下の条件で供給熱量の削減効果を検証した。

- 1) 調査期間中の 16:00~21:00 は既に断続運転を行っているため、この時間帯以外を削減効果の推計対象とした。

- 2) 連続的な必要熱量、路面温度等の計測データが揃っている電気式RH①の観測結果3年分を推計した。
- 3) 必要熱量<供給熱量となる時間帯に断続運転を行うと仮定し、1時間ごとの削減可能な熱量を推計した。
- 4) 断続運転のパターンは表-5の3パターンとした。
- 5) 推計の結果、供給熱量が必要熱量を下回る時間については、断続運転により、融雪不可や路面凍結が発生しないようにするため、元の供給熱量とした。
- 6) モデルとして、融雪面積1,000m<sup>2</sup>の場合の環境性・経済性について比較した。なお、電力単価は15.89円/kWh、電力による二酸化炭素排出係数は0.681kg-CO<sub>2</sub>/kWhとした。(電力単価は「ほっとタイム22」。二酸化炭素排出係数は、2015年4月北海道電力聞き取りによる。)

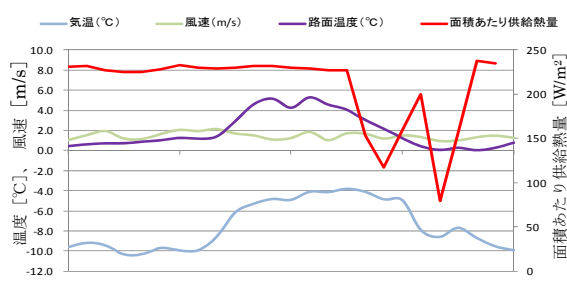


図-10 断続運転時の路面温度 (電気式RH①)

表-5 断続運転の停止パターン

番号	運転率	停止率	1時間あたりの停止する時間	備考
①	0.5	0.5	30分相当	10分×3など
②	0.6	0.4	24分相当	ホットタイム22と同様
③	0.8	0.2	12分相当	6分×2など

推計の結果、4年間平均の削減額は、440~680千円/年、二酸化炭素削減効果は20~30t-CO<sub>2</sub>/年となった(表-6)。

表-6 断続運転を考慮した供給熱量シミュレーション

項目	実測値	①	②	③
2011合計(MJ/m <sup>2</sup> )	666.5	567.8	557.8	585.2
2012合計(MJ/m <sup>2</sup> )	832.3	661.9	663.8	722.0
2013合計(MJ/m <sup>2</sup> )	810.0	663.1	663.5	713.9
2014合計(MJ/m <sup>2</sup> )	794.3	595.9	617.6	683.8
平均(MJ/m <sup>2</sup> )	775.8	622.2	625.7	676.2
削減率		20%	19%	13%
削減料金(千円)		678	663	439
CO <sub>2</sub> 削減効果t-CO <sub>2</sub> /年)		29	28	19

### 3. 2 日射量を考慮した供給熱量シミュレーション

太陽光は最大1,000W/m<sup>2</sup>の熱エネルギーを持っており、既存融雪施設の実態調査からも日射による融雪の促進や路面温度の上昇、乾燥路面の発生が確認されている。このことから融雪施設の運転に日射を考慮することによる省エネの効果は高いと思われる。

以下の条件で供給熱量の削減効果を検証した。

- 1) 気象データから1時間ごとの日射量を整理した。
- 2) 雪のアルベド(反射率)を0.5と想定し、熱取得量は日射量の1/2とした。
- 3) 連続的な日射量等の計測データが揃っている電気式RH①の観測結果3年分(12月26日~2月28日)を推計した。
- 4) 日射量を考慮した供給熱量を1時間ごとに新たに設定し、既存の供給熱量と比較することにより削減ポテンシャルを推計した。新たに設定する日射量を考慮した供給熱量は表-7のとおりとした。
- 5) モデルとして、融雪面積1,000m<sup>2</sup>の場合の環境性・経済性について比較した。電力単価等は3.1と同様とした。

表-7 日射を考慮した供給熱量区分

区分	日射を考慮した供給熱量
必要熱量<供給熱量+日射取得熱量	必要熱量-日射量(日射で賅えない分を熱供給する)
必要熱量>供給熱量+日射取得熱量	既存の供給熱量と同様(実際の供給分や250W/m <sup>2</sup> は超えないものとして想定するため)
必要熱量<日射取得熱量	0(日射のみで対応可能と想定)

推計の結果、3年間平均の削減額は、1,162千円/年、二酸化炭素削減効果は50 t-CO<sub>2</sub>/年となった(表-8)。

表-8 日射量を考慮した供給熱量シミュレーション結果

項目	実測値	日射利用
2012合計(MJ/m <sup>2</sup> )	832.3	538.0
2013合計(MJ/m <sup>2</sup> )	810.0	574.2
2014合計(MJ/m <sup>2</sup> )	794.3	535.2
平均(MJ/m <sup>2</sup> )	812.2	549.1
削減率		32%
削減料金(千円)		1162
CO <sub>2</sub> 削減効果(t-CO <sub>2</sub> /年)		50

本分析は、日射利用による最大可能削減量であり、建物・車両による影などの影響は考慮していない。また、一般的な電気式RHでは、ONかOFFでしか運転を制御できないため、具体的な制御方法としては、前述した断続運転が有効である。

これらから、日射を有効に活用して断続運転を行った場合のエネルギー削減効果について検討した。

推計方法は以下のとおりとする。

- 1) 基本的な算出方法は前述の「断続運転を考慮した供給熱量シミュレーション」パターン①の推計に従う(表-5)。
- 2) 前述の方法では“断続運転を行った場合に必要熱量を下回った場合は実測した供給熱量での供給とする”こととしたが、ここでは、断続運転を行ったことによる供給熱量と日射のエネルギーを加算したものが、必要熱量を超える場合は断続運転を実施可能として推計を行った。

上記に従って行った日射を考慮した断続運転の効果の推計結果について表-9に示す。

日射の活用を考慮することにより削減率が5%程度向上した結果となった。

既存施設の実態調査からも日射のあるときの日中の融雪の促進は確認されていることから、断続運転による省エネルギーを行う場合は、日射を考慮することは有効と考えられる。ただし、周辺建物および走行車両、季節変動による日影の影響には留意する必要がある。

表-9 日射を考慮した断続運転の効果推計結果

項目	実測値	断続パターン① (停止率0.5)	(左記のパターンに 日射を考慮)
2011合計(MJ/m <sup>2</sup> )	666.5	567.8	524.5
2012合計(MJ/m <sup>2</sup> )	832.3	661.9	624.5
2013合計(MJ/m <sup>2</sup> )	810.0	663.1	619.5
2014合計(MJ/m <sup>2</sup> )	794.3	595.9	565.6
平均(MJ/m <sup>2</sup> )	775.8	622.2	583.5
削減率		20%	25%
削減料金(千円)		678	849
CO2削減効果-t-CO <sub>2</sub> /年)		29	36

### 3. 3 路面センサーの設置について

融雪施設の制御においては、気象条件や路面状況に応じた制御を行う必要があり、センサーの適切な設置が欠かせない。そこで、路面上に設置されている路面温度センサー、路面湿潤(水分)センサーの設置状況について調査を実施した。調査の結果、薄装舗装によりセンサーが不適切な設置状態になっている箇所や設置場所が不適切なものが見られた(図-11、12)。

薄装舗装とは、車道部の轍掘れ解消のため部分的あるいは面的に道路補修を実施しているもので、この補修は融雪施設設置箇所にも実施されている。

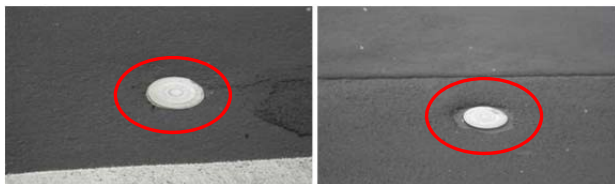


図-11 路面センサーの設置状況①

図-11(左)は、路面レベルに設置されているセンサーである。

図-11(右)は、薄装舗装によりセンサー表面が路面レベル以下になった状況で、融雪水が溜まることで舗装表面は乾燥した状態であっても、水分センサーが水を検知する可能性がある。また、路面温度についても溜まり水の温度を検知することが考えられる。



図-12 路面センサーの設置状況②

図-12(左)は、センサーが路面レベル以上になった状況で、除雪時に、除雪装置によって破損する懸念がある。

図-12(右)は、図-11(右)と同様に、センサーが路面レベル以下になっており(現地確認)、水没する可能性が高い。

また、今回の現地調査において、設置位置が路肩近傍にあり、除雪した雪が堆積するものや、車両走行部に設置されているものなど、センサーの設置位置が統一されていないことがわかった。これらは、施設の誤動作やセンサー故障の要因となる。

融雪施設の省エネルギー化にあたっては、各種路面センサーによる確実な計測が欠かせないため、適切な位置への設置、舗装補修方法の改善が望まれる。

## 4. 再生可能エネルギー利用技術について

### 4. 1 再生可能エネルギーの熱源利用について

地球温暖化対策・低炭素社会の実現や昨今の電力不足の対応のためにも省エネルギーでかつ二酸化炭素排出量が小さい再生可能エネルギーを融雪施設の熱源に活用することが重要と考えられる。

再生可能エネルギーの熱源として活用可能なものは「地中熱」「下水熱」「太陽熱」「バイオマス」などが考えられる。再生可能エネルギーは、化石燃料と比較してエネルギー密度が低いため、地産地消が基本的な考えとなる。このため道路近傍での使用を考え熱源として優位なものを選定し、検討を行った。

### 4. 2 太陽熱の熱源利用について

#### 4.2.1 地域特性(太陽熱)

道内の水平面及び傾斜角40°における日射量マップを図-13に示す。道内の日射量は、釧路・根室圏、オホーツク及び十勝圏が高く、日本海側が低い傾向にあるが、地域による偏在性は見られない。

経済圏ごとの最適傾斜角における年間集熱量<sup>1)</sup>を表-10に示す。この年間集熱量は、札幌市、函館市、旭川市、釧路市、帯広市、網走市の年平均日射量をもとに試算したものである。

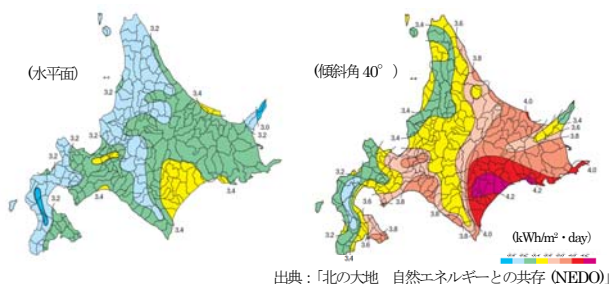


図-13 北海道の日照量マップ

表-10 経済圏毎の単位面積当たり年間集熱量

圏域名	年間最適傾斜角		集熱効率 (%)	稼働日数 (日)	単位面積当たり年間集熱量 (MJ/m <sup>2</sup> ・年)
	(°)	年平均日照量 (kW/m <sup>2</sup> ・日)			
道央 (札幌)	35.4	3.95	40	365	2,076
道南 (函館)	34.5	3.82			2,008
道北 (旭川)	33.5	3.7			1,945
オホーツク (網走)	38.8	4.01			2,108
十勝 (帯広)	41.5	4.25			2,234
釧路・根室 (釧路)	41.5	4.25			2,234

#### 4.2.2 エネルギー供給の安定性(太陽熱)

北海道の冬期の日照時間(平均値)<sup>2)</sup>を図-14に示す。同図から明らかなように、日照時間が多い場所においても180時間/月程度であり、月の3/4以上は日照が無い。当然のことながら、夜間には日照は無いが、曇天の影響も大きい。

太陽熱利用システムを導入する場合、熱供給の安定性を確保するために、貯湯槽に加えボイラー等の補助熱源が必要で、重油や軽油、ガスの使用量が嵩むことが懸念される。

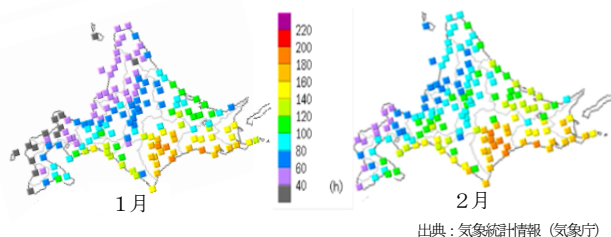


図-14 北海道の冬期の日照時間(平均値)

### 4.3 地中熱の熱源利用について

#### 4.3.1 地域特性(地中熱)

地中熱とは、比較的浅い地盤(200m程度)に存在する低温の熱エネルギーである。主に、太陽熱や地熱に由来するが、火山地帯以外では地熱の影響は小さく、そのほとんどが太陽熱に起因する。地中熱交換器(数10m以上)の掘削が可能であればどこでも設置可能である。

札幌市で実測された地中温度<sup>3)</sup>を図-15に示す。地表付近の地温は気温の影響を受けるのに対し、地下15mよ

り深い地点では年間を通して地温の変化は見られない。このときの地温を不易層温度といい、その地域の年平均気温より一般的には1℃~2℃程度高い。

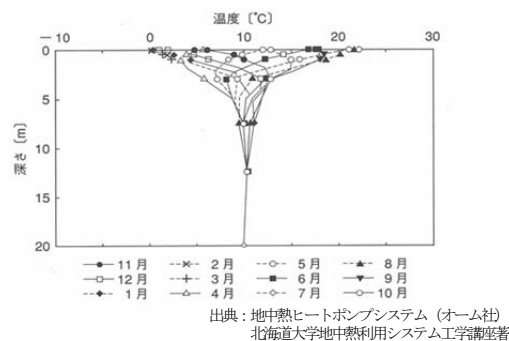


図-15 札幌市(中央区)の地中温度

#### 4.3.2 エネルギー供給の安定性(地中熱)

札幌市の不易層温度は約10℃であり、地盤条件にもよるが、道内全域でも同程度であると予想できる。冬季の外気温が低い北海道では、ヒートポンプの熱源としての有用性は高い。また、北海道は地下水が豊富な地域であり、熱供給の安定性は確保できるものと判断する。

#### 4.3.3 地中への夏期蓄熱について

地中熱利用のため採熱孔を設置した場合、夏期の外気温や太陽熱は地中温度より高温なので、この熱を採熱孔から地中に戻すことで蓄熱される。そこで、夏期蓄熱により、冬季の採熱時に自然状態より多い採熱が可能であるか確認試験を実施した。

試験は、寒地土研構内に60mと110mの採熱孔を離隔5mで設置し、夏期に太陽熱で暖められた不凍液を採熱孔に循環させることで地中への夏期蓄熱を実施した。

夏期蓄熱中は地中温度が4℃程度上昇していることを確認した。しかし、10月中旬以降は外気温の低下や昼夜の寒暖差が大きくなり、地中温度は低下していき、融雪期までの蓄熱効果は確認できなかった(図-16)。

地中温度が3℃程度上昇した時点で、蓄熱を停止し地中温度変化を確認したところ、地中温度は15日程度で蓄熱前の状態に戻っている。採熱孔設置場所が豊平川に近接した扇状地であり、地質は砂礫が主体で地下水が豊富なことから、この地下水によって熱が拡散するためと考えられる。

冬季採熱期間中の地中温度は、豊富な地下水により、9~10℃程度で安定している。

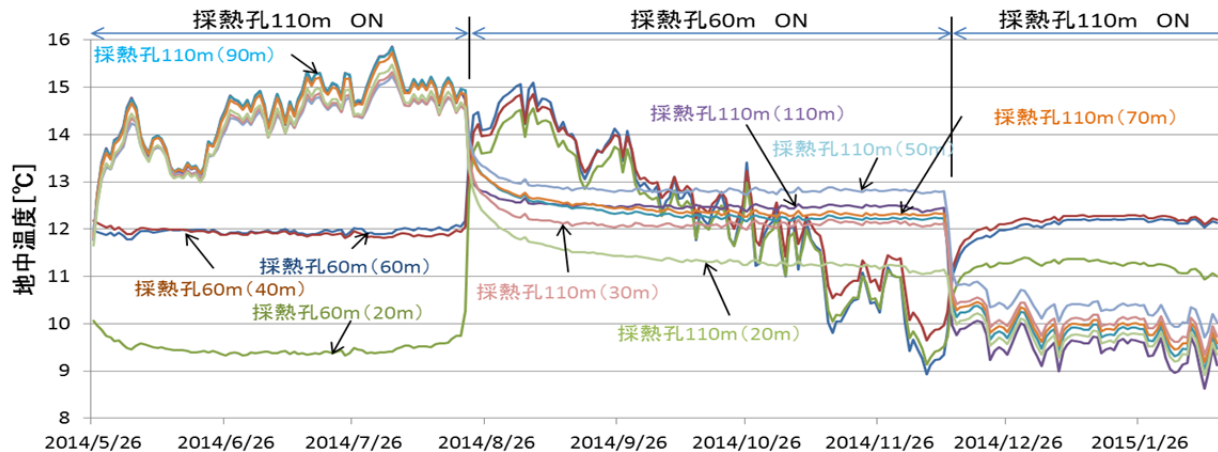


図-16 地中温度の変化

#### 4. 4 下水熱の熱源利用について

##### 4.4.1 地域特性（下水熱）

汚水は市街地において面的に発生し、下水管渠を通じて終末処理場へ移送される。一般的に、下水管渠は道路や歩道部に地下埋設されており、主要道路近傍や直下に敷設されている。下水管渠は線形構造物であり、道路との接点が多い。

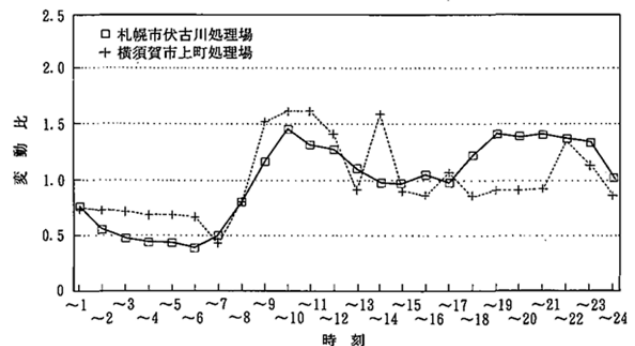
下水道の普及率は道央で90%以上、その他の地域でも80%を超えており、都市部の融雪施設の熱源としては有効である。また、現在下水熱利用のための「下水熱ポテンシャルマップ」の策定が進められており、今後は下水熱の導入検討が容易になっていくと考えられる。

導入にあたっては、管更生の際に熱採取機能を付加することで、イニシャルコストを抑えることが可能となる。

##### 4.4.2 エネルギー供給の安定性(下水熱)

冬期の下水温度は9~11°C程度で一定であるが、流量変動が大きい。処理規模10,000~100,000m<sup>3</sup>/日の終末処理場の流入汚水量の時間変動比を図-17に示す。道内では、札幌市をはじめ中核都市のほとんどがこの規模に分類される。

図-17 から安定して取得可能なエネルギー量は日平均流量の40%程度である<sup>4)</sup>。このため、導入可能な地域は下水が豊富に流下する住宅地や商業地に限定され、郊外での導入は難しい。下水熱を利用する場合は、対象地域の汚水流量に留意する必要がある。



出典：下水道施設設計・計画指針と解説 2009年版

図-17 流入汚水量の時間変動比 (10,000~100,000m<sup>3</sup>/日)

#### 4. 5 木質バイオマスの熱源利用について

##### 4.5.1 地域特性（木質バイオマス）

木質バイオマスは、全国の中でも北海道が賦存量の大きい地域である。また、公共施設などへの暖房・給湯・融雪の燃料としての導入も増加している。

しかし、バイオマスの利用にあたっては、収集運搬や貯蔵コストが課題である。また、近年大型木質バイオマス発電所が設置されており、使用可能な原料が減少しているため留意が必要である。(道東2箇所・道央1箇所に大規模発電所、札幌市では地域熱供給の熱源、旭川市では製紙工場の熱源などに使用されている。)

##### 4.5.2 エネルギー供給の安定性(木質バイオマス)

木質バイオマスボイラーは、従来の重油ボイラーに比べて付加応答性が劣る。融雪施設に使用する場合、余熱運転の熱源には適するが、運転開始時や降雪時には負荷応答性の良い従来型ボイラーが必要となる。

また、燃料となる木質ペレットやチップの搬入が必要であり、運転に伴うチップヤード、燃料搬出装置、灰処理設備などが必要であり、設備が大型化する。



#### 4. 6 ベース負荷(基礎熱量)

再生可能エネルギーは融雪施設の熱源として活用することで、環境負荷低減・省エネルギー効果などが期待されるが、需要の変動に対する応答性が比較的悪くなる可能性がある。導入にあたっては、ある一定量の供給を長時間続けることにより、再生可能エネルギーシステムの効率及び設備稼働率の向上が期待でき、また採算面からも優位性が高まると考えられる。そこで、再生可能エネルギーによる融雪施設の基礎熱量として、ベース負荷を検討した。

ここでは、必要熱量（降雪量、外気温度、路面温度、風速等から推計される融雪や凍結防止に必要な熱量）を累積出現率（必要熱量（12月～2月、全体2,160hr）を、小さい順に並び替え、出現率で表したもの）で整理し、融雪期間を通して必要な熱量の発生時間の長い負荷を検討した。

具体的な方法は以下とした。

●必要熱量の出現率は気象条件によって異なる。本推計では、2008年度から2010年度まではアメダスデータを使用し、2011年度以降はアメダスデータに加え実態調査を行った3地点の気象条件を使用した。必要熱量は1時間毎の推計を行い、対象月は12月～2月とした。

●必要熱量を各年度、累積出現率の考え方で整理した。累積出現率は、気象の分野では気候的出現率として使用されている。例えば「調査期間3ヶ月、必要熱量250W/m<sup>2</sup>で累積出現率が80%」とは、必要熱量250W/m<sup>2</sup>以下の時間が、3ヶ月間で80%発生していることを示す。出現率100%とは、その年度の最高必要熱量である。

●0W/m<sup>2</sup>は除外して累積出現率を整理している。

上記方法に従い、必要熱量を累積出現率で整理した(図-18)。

この結果から、累積出現率の高い側にベース負荷を設定すると、年間を通して必要な熱量に対して、急激に無駄となる熱量が多くなることわかる(全平均値は指数関数的に熱量が上昇している(指数関数での近似による $R^2 \approx 0.92$ ))。

以上のことから、出現率が50%以下の必要熱量推計値2パターンをベース負荷として設定した。

☆ベース負荷① 74W/m<sup>2</sup> (出現率33.3%)

☆ベース負荷② 105W/m<sup>2</sup> (出現率50.0%)

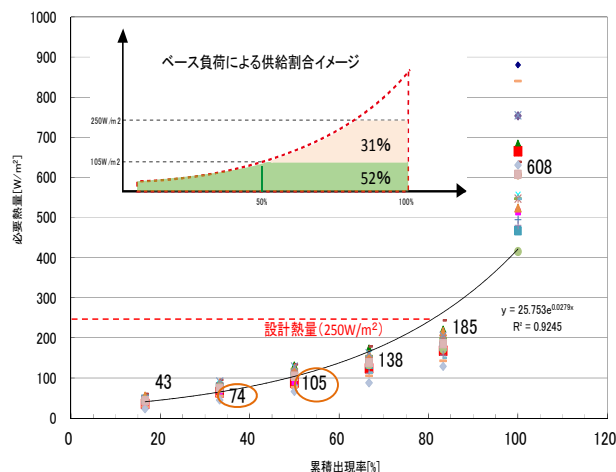


図-18 必要熱量の累積出現率とベース負荷

ここで、ベース負荷を累積出現率33.3%の74W/m<sup>2</sup>にした場合と、50.0%の105W/m<sup>2</sup>とした場合、期間に必要なエネルギー全体に対してどの程度に相当するかを推計した。

ベース負荷を74W/m<sup>2</sup>に設定すると、供給割合は41%、105W/m<sup>2</sup>では52%となった。この値を再生可能エネルギーなどで担うことは有効と考えられる。

#### 4. 7 再生可能エネルギー導入検討

各種再生可能エネルギーの総合評価について表-11に整理した。この評価から、融雪施設への導入に関しては地中熱及び下水熱が有効と考えられることから、これらによる融雪施設のケーススタディを行った。現実的なシステムを想定し、4.7.1及び4.7.2のとおり、モデルを設定した。

再生可能エネルギーの導入規模は前述のベース負荷の2パターンとし、ピーク対応負荷としてはガスボイラーを想定した。

地中熱、下水熱それぞれヒートポンプを活用しヒートポンプから二次側については同様のシステムとする。

##### 【共通諸元】

対象地域	: 札幌市
融雪面積	: 1,000m <sup>2</sup>
設備全体容量	: 250kW (1,000m <sup>2</sup> × 250W)
再生可能エネルギー供給規模	: ベース負荷想定①74kW : ベース負荷想定②105kW
推計上の耐用年数	: 機器設備 20年、土木建築(ホールなど) 50年
想定稼働時間	: 1,000時間/年

表-11 再生可能エネルギー総合評価

項目	太陽熱	地中熱	下水加熱	温泉熱	バイオマス
北海道の地域特性・エネルギーの偏在性	・釧路、根室圏、オホーツク圏、十勝圏が有利であるが、北海道は全国的に見ても日射は恵まれた地域である。	・北海道は地下水が豊富な地域である。したがって、地中熱は北海道全域で利用可能性が高い。 ・地中熱ヒートポンプシステムの導入件数は都道府県別では北海道が最も多い	・下水管渠は市街地に面的に存在するため、国道との接点も極めて多い。エネルギー賦存量は道央圏に集中するが、市街地では有望な熱源である。ただし、処理水は終末処理場近傍のみの利用となる。	・温泉地は道内に点在しており、熱源として利用できる地域は一部に限られる。	・原料バイオマスの賦存状況には偏りがあるが、チップ・ペレットは一般販売しているため、入手が容易である。
エネルギー供給の安定性	・冬季の日射時間は、良いところでも180時間程度で、一ヶ月の3/4以上は日射がない。 ・熱供給の安定性を向上させるため、システムを導入した際は、蓄熱槽に加えてボイラー等の補助熱源が必要になる。	・北海道の不易層温度は札幌市の実績から10℃程度と想定する。地下水も豊富な地域であり、数十年後の地盤熱環境の変化の懸念はあるが、基本的には熱供給の安定性は問題ない。	・冬季でも8~10℃程度で一定であるが、時間変動が大きく、熱源として利用する際は、このことに留意する必要がある。 ・将来的な人口減少により下水の賦存量が減少した場合、熱の取得可能量も減少する可能性がある。	・北海道は湧出量が多く、これにともなって排湯量も増える。温度域も排湯で35℃、一次熱は熱交換後も高温が期待できる。 ・排湯など温度が低い場合でも流量が常時一定量あればヒートポンプによる熱供給は可能。	・従来のボイラーに比べて負荷変動に対する応答性が劣る。このため、急激な負荷変動に対応するためにボイラー等の補助熱源が必要になる。 ・木質燃料を外部調達する場合、将来的な燃料の価格推移が不透明
技術的課題	・既に確立された技術ではあるが、普及は伸びていない。 ・規模にもよるが、設置面積が大きくなり、市街地では導入場所が限られる。 ・目安としてロードヒーティング面積の約2倍のパネル面積が必要と考えられる。 ・また、パネル間の日影の影響を避けるためには更なる後地面積が必要となる場合もある。 ・補助熱源（ボイラー）との併用となるため、システムが複雑でメンテナンスが煩雑となる。	・既に確立された技術で小規模施設その他大型の実績も伸びている。 ・道内でロードヒーティングの熱源として採用され始めている。 ・導入地点の地盤の熱的性状を正確に把握するにはボアホールを掘削し、熱応答試験を行う必要がある。GISによる地盤熱伝導率のマップ化が進めば、適正な規模（ボアホール本数など）の検討が簡易になる。	・下水処理場近傍で活用するものとしては既に確立された技術で、道外において地域熱供給として実績がある。 ・ロードヒーティングで活用する場合、道路近傍の下水管の活用が望ましいが、昨今、耐用年数が近づいてきている下水管の更生時に熱交換器を付帯させるタイプの設備について実証試験やメーカーの開発が進んでいる。 ・ロードヒーティングの実績はほとんどないが、札幌市と北海道電力が共同実証を行っており、COP=3.0以上を確認している。 ・生下水を利用する場合、腐食対策やきょう雑物対策が必要である。	・温泉熱は、それ自体の温度が高いため、暖房・給湯用としてヒートポンプを導入している事例があるが、ロードヒーティング用として導入している事例はない。温泉熱をロードヒーティングの熱源として利用する場合は、ヒートパイプや温水の直接利用が多い。	・補助熱源（ボイラー）との併用となるため、システムが複雑でメンテナンスが煩雑となる。 ・チップ・ペレット貯蔵設備が必要である。 ・定期的に焼却灰を回収する必要がある。 ・自然水の中に重金属が含まれている場合が多く、燃焼により稀に有害物質が形成される場合がある。
コスト	・再生可能エネルギーの中でイニシャルコストは安価であるが、補助熱源の整備が必要である。 ・ランニングコストとして重油等の補助燃料を購入する必要がある。	・イニシャルコストが高価である。 ・ただし、COPや稼働率によっては投資回収年が短縮する可能性もある。 ・昨今の電気料金上昇を背景にランニングコストのメリットは向上している。	・イニシャルコストが高価である。 ・ただし、COPや稼働率によっては投資回収年が短縮する可能性もある。 ・昨今の電気料金上昇を背景にランニングコストのメリットは向上している。	・温度が高い場合、熱源機械が不要のため他の再生可能エネルギーと比較して安価となる可能性が高い。 ・泉質によって維持管理費が増加する（配管・熱交換器の腐食など）	・通常のボイラーと比較した木質燃料ボイラーが非常に高価である。 ・補助熱源が必要であるために重投資になるが、燃料が安価な分、費用対効果は高い。
必要となる主な設備	・太陽集熱パネル ・貯湯槽 ・循環ポンプ ・熱交換器 ・制御盤 など	・地中熱交換器（ボアホール） ・水熱源ヒートポンプ ・循環ポンプ、熱源ポンプ ・バッファータンク ・制御盤 など	・下水熱交換器 ・水熱源ヒートポンプ ・循環ポンプ、熱源ポンプ ・バッファータンク ・制御盤 など	・熱交換器 ・バッファータンク ・循環ポンプ ・制御盤 など	・バイオマスボイラー ・燃料サイロ ・燃料供給装置 ・灰搬出装置 ・貯湯槽 ・制御盤 など
総合評価	△ (設置スペース・エネルギー変動が課題)	○ (市街地では設置スペースが課題)	○ (郊外では熱源取得が課題)	△ (温泉の賦存地域では有効)	△ (長期に渡り木質燃料の調達が容易な地域では有効)

4.7.1 地中熱ヒートポンプシステム

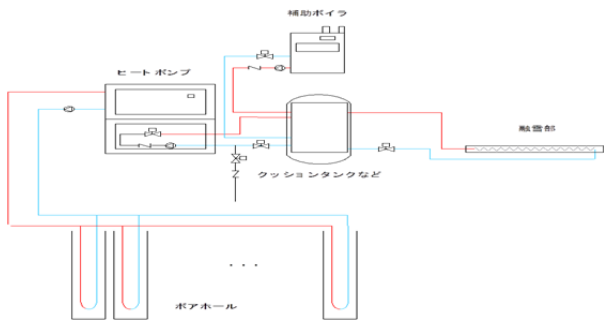


図-19 地中熱ヒートポンプシステムフロー図

表-12 設備規模推計結果(地中熱)

項目	数値	単位
ボアホール長さあたり採熱量	40	W/m
想定COP	4	-
ボアホール長さ	100	m/本
ボアホール間隔	5	m
単位供給熱量設定値①	74	W/m <sup>2</sup>
単位供給熱量設定値②	105	W/m <sup>2</sup>
供給路面面積	1000	m <sup>2</sup>
ベース負荷想定①出力	74	kW
必要地中熱交換器（ボアホール）本数	14	本
ベース負荷想定②出力	105	kW
必要地中熱交換器（ボアホール）本数	20	本

4.7.2 下水熱ヒートポンプシステム

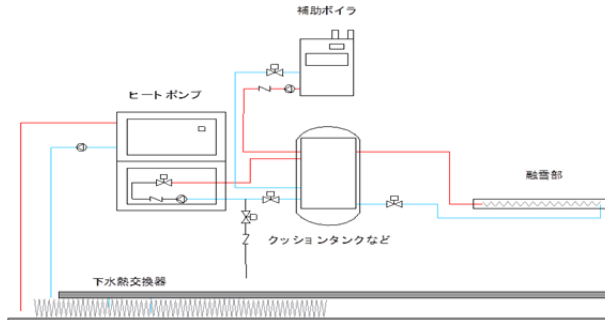


図-20 下水熱ヒートポンプシステムフロー図

表-13 設備規模推計結果(下水熱)

項目	数値	単位
想定下水管径	1100	mm
(目安として20ha、1000人程度の上流側の想定)		
下水温度	10	℃
流量	0.01	m <sup>3</sup> /s
出力あたり必要水管延長	1.5	m/kW
単位供給熱量設定値①	74	W/m <sup>2</sup>
単位供給熱量設定値②	105	W/m <sup>2</sup>
供給路面面積	1000	m <sup>2</sup>
出力①	74	kW
必要下水管延長	111	m
出力②	105	kW
必要下水管延長	157.5	m

### 4.7.3 経済性・環境性比較

前述の規模に従って、経済性について検討した結果を表-14から表-16に示す。それぞれイニシャルコストを算出し、設定した耐用年数から算出した減価償却費を求め、これに電気料金などのランニングコストを加えた年間コストを算出した。

ベース負荷② (105W/m<sup>2</sup>) の場合で、地中熱4,540千円/年、下水熱4,670千円/年、電気式4,980千円/年という結果となった。ただし電気式については、電気料金の上昇の影響が大きく、今後の電気料金の変動によって大きく変化する。

また、下水熱交換器については、現在実証実験や各種試算の公表が進んでいる段階であり、導入地点の特性により大きく変動する可能性がある。

表-14 トータルコスト推計結果 (地中熱)

項目	単位	ベース①	ベース②	備考	
		(74W/m <sup>2</sup> )	(105W/m <sup>2</sup> )		
イニシャル	設備機器	千円/年	1,650	1,870	ヒートポンプ・盤関連・その他付帯設備・ヒーティングパイプ及び舗装
	削孔・土木建築	千円/年	400	540	ボアホール・機械室
	熱源機器 (ガス式)	千円/年	140	140	
	減価償却費	千円/年	2,190	2,550	
ランニング	機器消費電力料	千円/年	390	530	15.89円/kWh (融雪電力B)
	ガス消費料及び不凍液維持費	千円/年	1,720	1,460	
年間コスト	千円/年	4,300	4,540		

※直接工事費(以下共通)

表-15 トータルコスト推計結果 (下水熱)

項目	単位	ベース①	ベース②	備考	
		(74W/m <sup>2</sup> )	(105W/m <sup>2</sup> )		
イニシャル	設備機器	千円/年	1,650	1,870	ヒートポンプ・盤関連・その他付帯設備・ヒーティングパイプ及び舗装
	土木建築	千円/年	490	670	下水熱交換器・機械室
	熱源機器 (ガス式)	千円/年	140	140	
	減価償却費	千円/年	2,280	2,680	
ランニング	機器消費電力料	千円/年	390	530	15.89円/kWh (融雪電力B)
	ガス消費料及び不凍液維持費	千円/年	1,720	1,460	
年間コスト	千円/年	4,390	4,670		

表-16 トータルコスト推計結果 (電気式)

項目	単位	全負荷電気式	備考
		250kW	
設備機器	千円/年	240	
設備工事	千円/年	770	
減価償却費	千円/年	1,010	
機器消費電力料	千円/年	3,970	
年間コスト	千円/年	4,980	

### 4.7.4 融雪施設の維持管理のためのガイドライン (案) の作成

得られた成果をもとに、再生可能エネルギーを融雪施設に活用するための基礎資料として「融雪施設の維持管

理のためのガイドライン(案) -エネルギーの効率的な活用-」を作成した (図-21)。

融雪施設の維持管理のためのガイドライン(案) -再生可能エネルギーの効率的な活用-		目次
平成 27 年 3 月		第1章 基本理念..... 1
		1-1 ガイドライン (案) 作成の経緯..... 1
		1-2 ガイドライン (案) の目的..... 2
		1-3 ロードヒーティングシステム..... 3
		第2章 ロードヒーティング設備の実現課題..... 4
		2-1 対象設備の現状整理..... 4
		2-2 調査結果..... 5
		2-3 分析..... 9
		第3章 効率的な維持管理手法の提案..... 11
		3-1 維持管理手法に関する提案..... 17
		第4章 再生可能エネルギー利用技術導入の提案..... 19
		4-1 再生可能エネルギー導入に関する提案..... 21
		4-2 まとめ-ロードヒーティングの各エネルギーに向けた検討フロー..... 29
		第5章 参考文献..... 30
		5-1 過去の調査報告書の整理..... 30
		5-2 必要試験方法..... 31
		5-3 ベース負荷の算定方法..... 32
		5-4 各種シミュレーション方法について..... 33
		5-5 断熱性能の検証を実施している歩道橋の調査・分析..... 35

図-21 融雪施設の維持管理のためのガイドライン(案)

## 5. まとめ

融雪施設の実態調査、熱量シミュレーション及び再生可能エネルギーの評価から、以下の知見が得られた。

- ◇ 融雪期間中の必要熱量の80%程度は、融雪施設の設備容量である250W/m<sup>2</sup> (道央) 以下であり、現在の設備容量は適正と考える。しかし必要熱量推計値の多くは100W/m<sup>2</sup>前後であり、省エネの余地はある。
- ◇ 必要熱量と供給熱量との比較分析から、地点や年度により変動はあるが、供給熱量の削減可能熱量は全体平均で25%程度である。
- ◇ 必要熱量は地域により大きな差があり、降雪が少なく、外気温が低い地域では路面乾燥を考慮することで、大きな省エネルギーが可能である。
- ◇ 省エネルギー化のための運転制御方法としては、断続運転が有効と考えるが、実施時間帯については、気象状況を把握し適切に実施することが必要である。その際、日射量を考慮することで、より大きな省エネルギーが可能である。
- ◇ 路面温度センサー及び路面湿潤(水分)センサーは、設置位置が不統一であり、また、周辺の舗装補修により適切な検知がされていない可能性があるため、改善が望まれる。
- ◇ 融雪施設に利用可能な再生可能エネルギーについては、供給の安定性や偏在性から、地中熱と下水熱が優位と考える。下水熱については都市部での活用が期待される。
- ◇ 必要熱量を累積出現率で整理し、出現率50%以下の熱量を再生可能エネルギーで供給するものとして融雪施設のトータルコストを推計した結果、電気式融

雪施設よりも安価となった。

これらをもとに、融雪施設に再生可能エネルギーを活用する基礎資料「融雪施設の維持管理のためのガイドライン(案) -エネルギーの効率的な活用-」を作成した。

#### 参考文献

- 1) NEDO：北の大地 自然エネルギーとの共存
- 2) 気象庁：気象統計情報
- 3) 北海道大学地中熱利用システム講座：地中熱ヒートポンプシステム、H19,9
- 4) 下水道施設計画・設計指針と解説、2009年版

## STUDY ON THE USE OF RENEWABLE ENERGY EFFICIENT SNOW MELTING FACILITY

**Budget** : Grants for operating expenses (general account)

**Research Period** : FY2011-2014

**Research Team** : Machinery Technology Research Team  
Cold-Region Technology Promotion Division

**Author** : YAMAGUCHI Kazuya

EINAGA Tetsuya

HIRACHI Kazunori

SAITO Kaname

TSURUSAWA Toshiki

**Abstract** : In the cold snowy region, a snow melting facility is indispensable because of reservation of traffic safety, takes road conditions, such as a slope, into consideration, and is equipped. Most of these heat sources are electricity. The electric cost serves as a big burden of road management.

The operational status of existing snow melting facilities was surveyed. The heat quantity supplied to the snow melting facilities (heat supplied) and the heat quantity necessary for melting snow and preventing the equipment of the facilities from freezing (heat required) were analyzed. The minimum heat required for the facilities was clarified based on the survey and analysis, and an effective operation method for the facilities was proposed. The renewable energy available as heat source for snow melting facilities was surveyed, and an operation method for effectively using the renewable energy was presented.

**Key words** : road heating, maintenance, cost reduction, renewable energy