

## 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 2 3～平 2 6  
 担当チーム：寒地機械技術チーム  
 研究担当者：片野浩司、山口和哉、永長哲也  
 田中隆夫、平 伴 齊

## 【要旨】

ロードヒーティングに代表される融雪施設の熱源は、ほとんどが電気でありそのコストが大きな負担となっている。しかし、道路条件からロードヒーティングに頼るしかない箇所も多数あり、より効率的で経済的な維持管理が求められている。

そこで、既存ロードヒーティングの稼働実態調査及び運転方法別の供給熱量と必要熱量を検討することで、最小限必要な熱量を明確にするとともに、ロードヒーティングで活用可能な再生可能エネルギーについて、安定性、偏在性、技術的課題、コストについて検討を行い、再生可能エネルギー活用方法の提案を行う。

本年度は、ロードヒーティングの現地実態調査を行い、路面状況、供給熱量、風況等のデータを収集した。また、ロードヒーティング熱源に使用可能な再生可能エネルギーについての調査を実施した。

キーワード：ロードヒーティング、維持管理、コスト削減、再生可能エネルギー

## 1. はじめに

積雪寒冷特別地域である北海道ではスパイクタイヤの使用が法律により規制された段階で多数のロードヒーティングが設置されたが、ほとんどが熱源を電気としておりそのコストが除雪事業費を圧迫するほど大きな負担となっている。このためコスト削減を目的として、縦断勾配が緩いなどの道路条件を勘案しロードヒーティングを停止し凍結防止剤の散布強化に切り替えている箇所もある。しかし、散布車の台数や融雪効果及び道路条件からロードヒーティングを停止できない箇所も多数ある。

そこで、平成 2 3 年度は、既存ロードヒーティングの路面状況、供給熱量、風況等のデータを収集し、現状の供給熱量に対する融雪状況と気温や降雪量、路面温度等のデータから導き出される必要熱量を比較し、必要最低熱量を検討した。

さらに、積雪寒冷地においてロードヒーティングで活用可能な再生可能エネルギーについてエネルギーの偏在性、熱供給の安定性、技術的課題、コストについて優位性や汎用性の面から評価を行い再生可能エネルギー活用のための検討を行った。

## 2. 融雪状況の現地実態調査

車道に設置された融雪施設 3 箇所において、融雪状況調査を実施した。対象とするロードヒーティングの方式は「電気式」と「温水式」で、外気温度・湿度、全天日

射強度、風向風速、積雪深、雪密度、路面温度、融雪状況、消費電力量のデータを収集・整理した。

現地にて収集したデータの一部は既存施設の信号を分岐するが、融雪の制御に影響を与えず、確実に信号を分岐できる箇所・方法を検討し、調査を行った。

## 2. 1 温水式ロードヒーティング調査

温水式ロードヒーティング（以下「温水 RH」という）の実態調査場所として、国道に設置されている施設を選定した。調査項目を表 1、設置状況を図 1 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 230 m、幅 16m の上り坂、対象面積は 3,680m<sup>2</sup> である。

表 1 調査項目（温水 RH）

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マルチセンサデータ	気象観測装置は現地設置。
風況		
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		



写真 1 ロードヒーティングの融雪状況

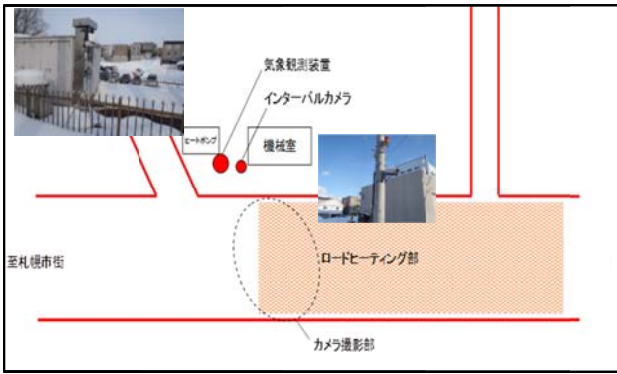


図-1 設置位置 (温水RH)

データロガー、超音波流量計は機械室内に設置し、データロガーは制御盤内の空スペースに収納した。

超音波流量計は、一次側 (熱源側) の4つのプレート式熱交換器へ分岐する前の位置に設置し、温水流量を計測した。温水行き・還りの温水温度は既存センサーを活用した。これらの流量、行き還り温度計測値からロードヒーティングへの供給熱量を把握した。



写真-2 データロガー

写真-3 超音波流量計

## 2.2 電気式ロードヒーティング調査

電気式ロードヒーティングの実態調査場所として、国道のアンダーパスロードヒーティング (以下「電気①RH」という) を選定した。本施設は機械室において高压で一括受電し、東西それぞれ9ブロックずつ、さらにそこから複数のユニットに分岐している。対象面積は東側3,912m<sup>2</sup>、西側3,914m<sup>2</sup>、合計7,826m<sup>2</sup>である。調査項目を表-2、設置位置を図-2に示す。

表-2 調査項目 (電気①RH)

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		
降雪量	SNETマルチセンサーデータ	時間降雪深から算出
路面温度	データロガー	既存信号の分岐
路面状況	既存カメラの映像信号分岐	
電圧		
電流	データロガー	既存信号の分岐 ヒーティング全体の数値
水分センサー	データロガー	
降雪センサー	データロガー	ON-OFF 信号

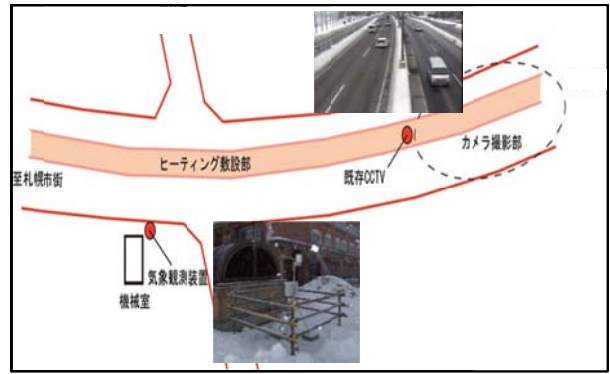


図-2 設置位置 (電気①RH)

データロガーは、機械室内の制御盤内に設置した。

気象観測装置はコンクリートブロックに固定した後、施設敷地内に設置した。また、歩道部に近接していることから周囲に防護柵を設置した。

電気①RHでは道路監視用に数箇所のCCTVカメラが設置されており、機械室に信号が集約されている。本調査ではロードヒーティング部と非ロードヒーティング部の境界を確認できるCCTVカメラの映像を利用した。

電気式ロードヒーティング調査箇所としてもう1箇所ロードヒーティング (以下「電気②RH」という) において現地実態調査を実施した。電気②RHでは、29箇所の配電盤で低圧受電し、それぞれヒーティングを行っている。電気①RHが全体の電力量を計測したのに対し、電気②RHでは1ブロック中の1ユニット分のデータを取得した。

## 2.3 計測結果

### 2.3.1 温水式ロードヒーティング計測結果

温水RHにおける各種計測値の12月~2月の推移を整理した。整理する項目は、外界気象条件 (気温、風速、降雪強度)、路面温度、供給熱量とした。

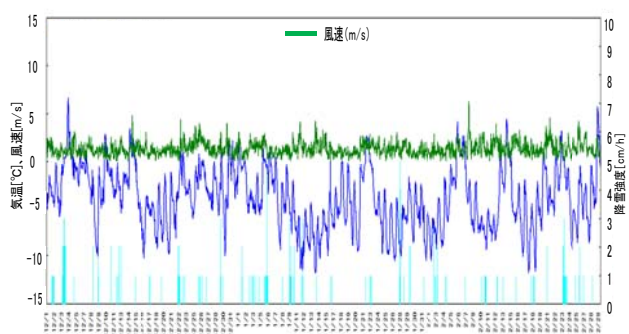
気象データは現地に設置した気象観測装置 (ケーブルバンテージプロ2) を用いるものとし、欠損・異常値などについては、SNET、気象庁アメダスデータで補完した。

#### (1) 外界気象条件

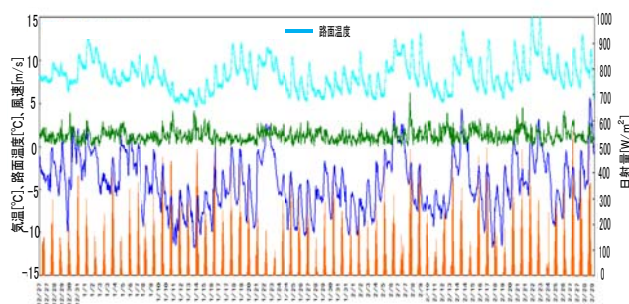
外界気象条件の推移を図-3示す。外気温は平均-3.9°C、最低-11.7°C、最高6.6°Cであり、風速は平均1.3m/s、最高6.2m/s、降雪強度は最大7.0cm/h (2012年1月28日)であった。期間最大日降雪量は2011年12月3日、2012年1月28日の17cm/day、期間合計降雪量は236cmであった。

#### (2) 路面温度

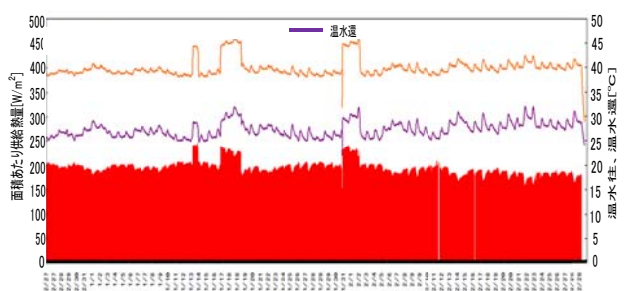
路面温度及び外気温、日射量、風速の推移を図-4に示す。気温の上昇後、若干の時間遅れの後に路面温度も上昇している。また外気温が低い状況であっても、日射量が大きい場合は路面温度が上昇する傾向にある。観測期間では平均8.3°C、最高15.1°Cであった。



図一三 気温、風速、降雪強度の推移(温水RH)



図一四 路面温度及び外気温、日射量、風速の推移(温水RH)



図一五 供給熱量の推移(温水RH)

### (3) 供給熱量

観測期間の熱量の推移を図一五に示す。温水往、温水還、温水流量の計測地点は一次側であり、熱源（ボイラー）からロードヒーティングへ供給する総熱量である。なお、以下の式から求めた熱量を、ロードヒーティング面積で除し、1m<sup>2</sup>あたり供給熱量とした。

供給熱量（kW）

$$= (\text{温水行き温度}[\text{°C}] - \text{温水還り温度}[\text{°C}]) \times \text{温水流量} (\text{L/min}) \times \text{比熱}[\text{KJ/kg} \cdot \text{°C}] / 60 (\text{s/min})$$

供給熱量は、観測期間を通して200W/m<sup>2</sup>程度で推移しており、平均199W/m<sup>2</sup>、最低153W/m<sup>2</sup>、最高246W/m<sup>2</sup>であった。日平均の供給熱量は61,920MJであり、仮に12月～2月の3カ月間にわたって供給するとした場合、合計供給熱量は約5,600GJとなる。

### 2.3.2 電気式ロードヒーティング計測結果

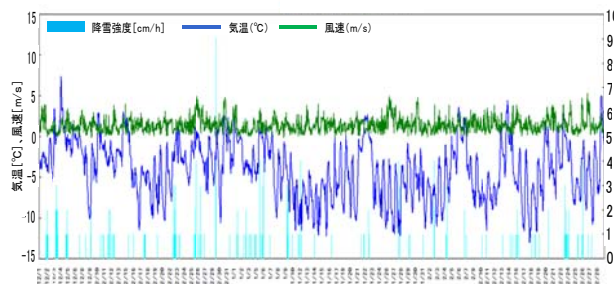
電気①RH及び電気②RHにおける、各種計測値の推移を整理した。整理する項目は、外界気象条件（気温、風速、降雪強度）、路面温度、供給電力量とした。

#### (1) 外界気象条件

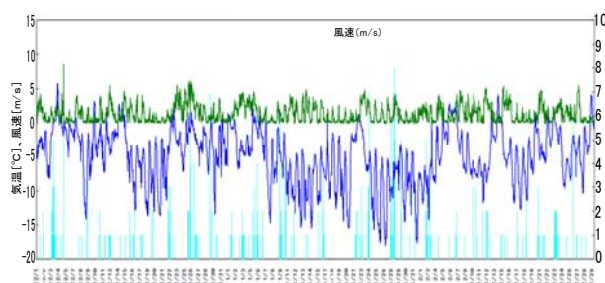
2011年12月～2012年2月における外界気象条件の推移を図一六（電気①RH）、図一七（電気②RH）に示す。データの整理方法は温水式と同様である。

電気①RHにおける外気温は平均-4.0°C、最低-13.0°C、最高7.4°Cであり、風速は平均1.4m/s、最高5.3m/s、降雪強度は最大9.0cm/h（2011年12月29日）であった。また、期間最大降雪量は2011年12月26日の21cm/day、期間合計降雪量は289cmであった。

一方、電気②RHでは、外気温は平均-4.9°C、最低-18.0°C、最高5.8°Cであり、風速は平均1.3m/s、最高8.5m/s、降雪強度は最大8.0cm/h（2012年1月28日）であった。また、期間最大降雪量は2012年1月28日の33cm/day、期間合計降雪量は454cmであり、電気①RHや温水RHと比較して雪の降り方は多くなっていた。なお※1時間前の積雪深との差の正値を降雪量（cm/h）としている。



図一六 気温、風速、降雪強度の推移(電気①RH)



図一七 気温、風速、降雪強度の推移(電気②RH)

#### (2) 路面温度

電気①RHの路面温度及び外気温、日射量、風速の推移を図一八に示す。温水式同様、外気温の上昇後、若干の時間遅れの後に路面温度も上昇している。また、外気温が低い状態であっても、日射量が大きい場合は路面温度が上昇する傾向にある。

観測期間では平均3.8°C、最低-1.0°C、最高13.3°Cであった。温水式と比較して路面温度の変動が大きい要因としては以下が考えられる。

- ・温水式と比較して制御が多く働いている（供給熱量の変動が大きい）
- ・電力の契約方式により、1日あたり2時間程度電力供給が停止する。

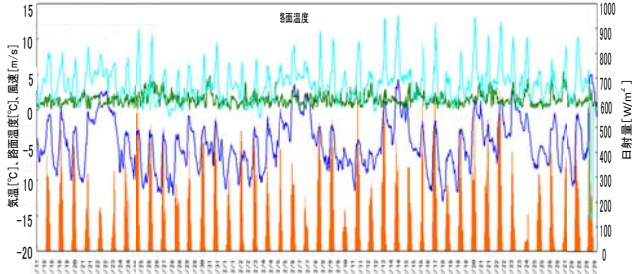


図-8 路面温度及び外気温、日射量、風速の推移(電気①RH)

(3) 供給電力量

供給熱量について電気①RH と、電気②RH の調査の位置付けは以下とした。

- ・電気①RH：ヒーティング全体の供給電力量の測定
- ・電気②RH：1ユニット分の供給電力量の測定

したがって、電気①RH ではシステム全体の供給電力量を把握し、電気②RH ではその補完材料として1ユニット分の変動を把握する。両システムとも電熱線を採用しているため供給電力量＝供給熱量とし、面積あたり供給熱量は、電気①RH が「優先」ブロックの面積、電気②RH が1ユニットの占有面積からそれぞれ算出している。

電気①RH は、観測期間を通じ 100W/m<sup>2</sup>～最大 250W/m<sup>2</sup> 程度で推移しており、平均 184W/m<sup>2</sup>、最高 258W/m<sup>2</sup> であった。日平均の供給熱量は 94,779MJ であり、仮に 12月～2月の3カ月間にわたって供給するとした場合、合計供給熱量は 8,530GJ となる。

一方、電気②RH では、観測期間を通じ 100W/m<sup>2</sup>～最大 250W/m<sup>2</sup> 程度で推移し、平均 160W/m<sup>2</sup>、最高 256W/m<sup>2</sup> であった。

電気①RH、電気②RH ともに 16時～21時頃に面積あたり供給熱量が低下しているが、これは融雪電力の契約上、1日に2時間（15分×8回）電力供給が停止するためと考えられる。供給熱量の推移を図-9、図-10 に示す。

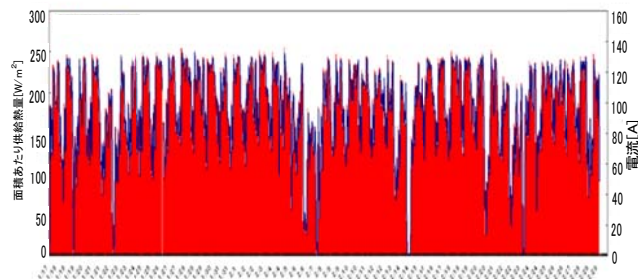


図-9 供給熱量の推移(電気①RH)

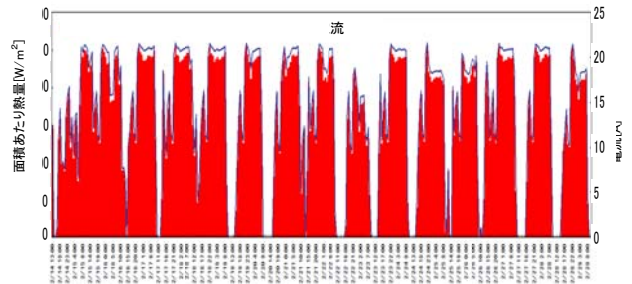


図-10 供給熱量の推移(電気②RH)

電気②RH の運転実績の詳細を図-11 に、これと同じ日の電気①RH の運転実績を図-12 に示す。図中には面積あたり供給熱量と降雪強度及び降雪センサーの ON-OFF (1-0) を示している。また、電気①RH では路面温度も追記している。

電気②RH の実績を見ると、降雪が無く、気温の高くなる日中は制御により運転が停止されている。

一方、電気①RH では昼間に設計発熱量である 250W/m<sup>2</sup> 以下で推移している部分が多く見られる。これは、ユニットによって運転の移動・停止状況が異なるため、全体としては 250W/m<sup>2</sup> 以下の供給熱量になるものと考えられる。

どちらも降雪強度とセンサーの ON-OFF は一致しており、降雪が無く、センサーが ON になっている場合は、現象としての降雪はあるものの、降雪強度が 1cm/h 以下となる場合が考えられる。

また、電力停止時間帯（16時～21時）で路面温度が低下し、0～1℃付近まで低下している時間も発生している。

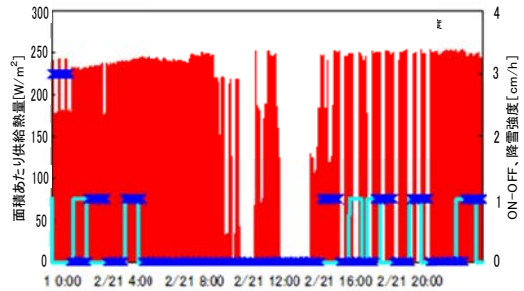


図-11 電気②RH 運転実績 2/21

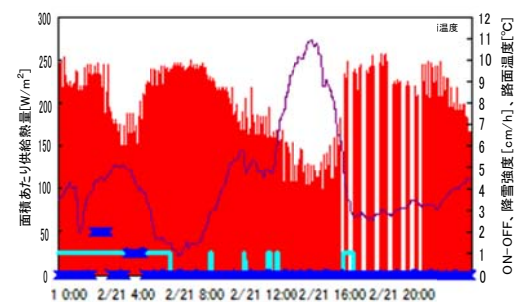


図-12 電気①RH 運転実績 2/21

## 2.4 供給熱量と必要熱量の整理

計測期間中（2012/1/18～2012/2/28）の供給熱量と、気象条件から算出した必要熱量を表-3及び図-13、図-14に示す。試算した必要熱量は供給熱量の40～50%程度にとどまっており、制御、管理による省エネルギー効果は高いと考えられる。

なお、図-13及び図-14は1日ごとの集計としているが、時間データでは必要熱量が供給熱量を超え、残雪や凍結が発生している時間帯もある。

表-3 観測期間の面積あたり供給熱量と必要

	項目	電気式 (MJ/m <sup>2</sup> )	温水式 (MJ/m <sup>2</sup> )
①	総必要熱量	316	279
②	総供給熱量	666	696
①/②	割合	47%	40%

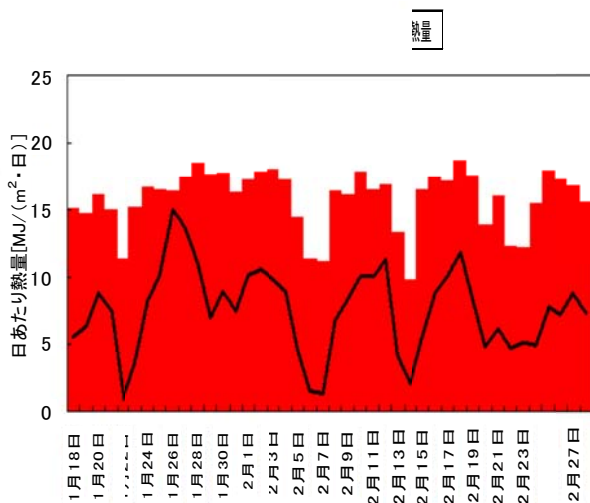


図-13 供給熱量と必要熱量（電気①RH）

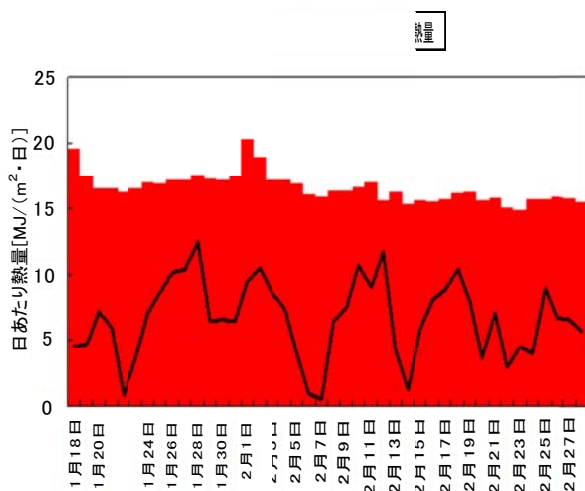


図-14 供給熱量と必要熱量（温水RH）

## 2.5 維持管理・制御方法の検討

### 2.5.1 電気式ロードヒーティングの維持管理

比較的必要熱量に応じた制御担っているが、電力会社との契約で停止している時間帯や晴天時等の融雪状況を踏まえると、一步踏み込んだ制御を行うことで省エネルギー化が可能と考える。具体的な制御方法等は次のとおりである。

- ・日射条件を制御因子に追加。
  - ・タイマーによる断続運転の実施。
  - ・機械除雪を前提とした部分ヒーティングの実施（轍部のみ）。
  - ・画像制御の実施。
- 現在、事業所やマンション等の駐車業においてコスト削減のため、遠方画像運転（手動）を導入する事例が増えている。
- ・走行車両数が多い場合の通電停止（自動車の輻射熱の活用）
  - ・降雪強度が大きい場合の通電停止（積雪・圧雪状態では、あえて融雪せず、除雪と連携し効率的に融雪する。

### 2.5.2 温水式ロードヒーティングの維持管理

降雪や路面温度によらず、ほぼ一定の熱量が供給されている。電気式以上に新たな条件を付加した中で、条件に追従した運転制御を行う必要がある。ただし、電気式に比べ大きな施設になると温度の立ち上がりが遅くなり制御が難しいことや、ボイラーやポンプの発停を頻繁に繰り返すことは、機械寿命の低下につながるため、インバーターによる制御が必要と考える。また、電気式と同様に、日射量による制御、機械除雪を前提とした部分ヒーティングの実施、画像制御も有効であると考えられる。

### 2.5.3 安全性の確保

今後の課題としては「走行安全性」と「省エネルギー化」の両立があげられる。走行安全性の確保では、路面の再凍結の発生がある。今後は実証実験を行いながら分析・評価する必要がある。

再凍結の回避方法として、低負荷、例えば単位面積あたり 150W/m<sup>2</sup>程度の出力で連続運転し、気温や路面温度、降雪や凍結の状況により高負荷運転に切り替える方法も有効と考える。この場合、低負荷運転時の熱源に再生可能エネルギーを採用することで、経済性、環境性に優位性を見いだせる可能性がある。

## 3. 再生可能エネルギー利用技術に関する調査

融雪施設に導入が考えられる再生可能エネルギー

及び未利用エネルギーとして、太陽熱（集熱パネル）、温度差（地中熱や河川熱、温泉熱等）、バイオマス、地域廃熱（変電所、地下鉄、ビル換気等）等がある。これらのエネルギーについて、地域的な偏在性、供給量の安定性、コスト等から総合的に検討し、融雪施設への適応性を検討した。

### 3. 1 太陽熱

#### 3.1.1 太陽熱システムの概要

太陽光エネルギーを熱として利用するシステムで、主に住宅や事業所の給湯・暖房の熱源として使用されている。システムには「パッシブソーラーシステム」と「アクティブソーラーシステム」がある。

現在の国道ロードヒーティングのシステム構造や、冬季の凍結を考慮すると、代替熱源として期待されるシステムは、水式ソーラーシステムのうち、強制循環型（間接集熱方式）とヒートポンプ式が妥当である。（図-15）

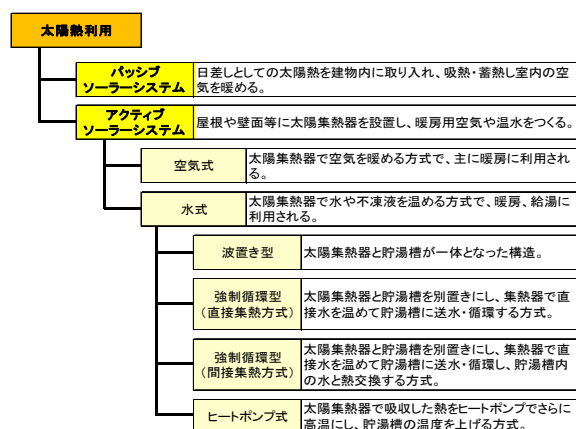


図-15 太陽熱利用システムの概要

#### 3.1.2 太陽熱システムの特徴

水式ソーラーシステムの太陽集熱器には、「平板型」、「真空ガラス管型」、「ヒートポンプ式」がある。

この方式では、晴天の日中に約 60℃の温水が得られ、真夏には 90℃程度まで上昇することがある。

一般的に、ロードヒーティングの温水温度は 40℃程度であるので、温度的には問題ないが、日射が期待できない夜間や曇天に備え、貯湯槽やボイラー等の補助熱源が必要となる。

主な特徴は以下のとおりである。

- ・ 安価で、特別な操作が必要ない。
- ・ 冬季に凍結が懸念される地域では、水抜きが必要である。

### 3. 2 温度差エネルギー

#### 3.2.1 温度差エネルギーの概要

海や河川の水温は一年を通してあまり変化がなく、外気とは温度差が生じている。これを「温度差エネルギー」という。一般的に、このエネルギーはヒートポンプや熱交換器を介して利用される。

変電所から排出される排熱、生活排水や下水熱、地中熱もこのエネルギーに分類される。

#### 3.2.2 温度差エネルギーの特徴

温度差エネルギーを効率的に取り出すことのできる「ヒートポンプシステム」について特徴を述べる。

ヒートポンプとは、低温の熱源を冷媒を介して吸収し、その熱をエネルギー源として 30℃～60℃の熱（温水）を作り出す装置である。冷媒は蒸発温度の低い物質が採用されており、特に自然冷媒方式ではアンモニアや CO<sub>2</sub> が取り入れられている。

電気エネルギーの入力に対する出力の割合を成績係数 (COP) といい、この係数は必ず 1.0 以上となるため省エネルギー効果大きい。

低温熱源には生活排水、下水熱、温泉排湯など、さまざまなものがある。近年、空気を熱源とした家庭用温水器（エコキュート）が注目されている。

### 3. 3 バイオマス

#### 3.3.1 バイオマスの概要

バイオマスとは、「生物由来の再生可能な有機資源で、化石燃料を除いたもの」で、廃棄物のうち有機性のものはバイオマスに分類される。利用形態としては、バイオマスの直接燃焼、バイオガス利用、液体燃料利用などがある。

#### 3.3.2 バイオマスの特徴

既存ボイラーの代替として木質ボイラーを導入するのが現実的であるため、直接燃焼の特徴、特に燃料の特徴について述べる。扱い易さ、燃焼カロリーの安定性から現在、チップ、ペレット、ブリケットが主流である。

### 3. 4 再生可能エネルギーの総合評価

再生可能エネルギーの総合評価結果を表-4に示す。

前述までの検討事項に、技術的課題、コストの定性的評価を加えて評価したが、地中熱利用と温泉熱利用の優位性が高い結果となった。しかし、温泉熱の利用は温泉地など一部の地域に限られるため汎用性が低い。

表-4 再生可能エネルギーの総合評価

項目	温度差エネルギー					バイオマス	
	太陽熱	地中熱	河川熱	下水道熱	温泉熱		変電所排熱
エネルギーの偏在性	<p>太陽熱は、根室圏、オホーツク圏、十勝圏が全国的に見ても日射は恵まれた地域である。</p>	<p>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である。</p>	<p>北海道には大小さまざまな河川があるが、局所的に見ると、国道との接続が少ない。導入可能な場所に限られる。</p>	<p>下水管渠は市街地に面的に存在するため、国道との接続も極めて多い。エネルギー貯蔵容量は道央部に集中するが、市街地では有望な熱源である。ただし、処理水は最終処理場近傍のみの利用となる。</p>	<p>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。</p>	<p>人口の密集度、産業の集積により電力需要が集中する傾向が顕著である。また、変電所は地域において存在する施設で、施設ごと非熱量も大きく異なる。したがって、利用できる場所は限られる。</p>	<p>原料バイオ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されているため、入手が容易である。</p>
熱供給の安定性	<p>冬季の日射時間は、良いところでも180時間程度で、1ヶ月の3/4以上は日射がない。</p>	<p>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、熱供給の安定性は問題ない。</p>	<p>河川水は冬季には9~3℃まで低下するが、水量が豊富なため、熱供給の安定性は問題ない。</p>	<p>冬季でも8~10℃程度で一定であるが、時間変動が大きい。一度暖めれば、このことに留意する必要がある。</p>	<p>北海道は湧出量が多く、この温度域も非湯も増える。一度暖めれば、このことに留意する必要がある。</p>	<p>電力需要に時間変動がある。熱源として導入する際は、このことに留意する必要がある。</p>	<p>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となる。</p>
技術的課題	<p>既に確立された技術ではあるが、普及は伸びていない。</p>	<p>既に確立された技術で、規模にもよるが、設置面積が広く、市街地での導入場所が限られる。</p>	<p>既に確立された技術で、道外において地中熱供給と実績がある。</p>	<p>既に確立された技術で、道外において地中熱供給と実績がある。</p>	<p>温泉熱は、それ自体の温度が高いが、札幌、網走、道外において地中熱供給と実績がある。</p>	<p>電力需要に時間変動がある。熱源として導入する際は、このことに留意する必要がある。</p>	<p>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。</p>
コスト	<p>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。</p>	<p>イニシャルコストが高価である。</p>	<p>イニシャルコストが高価である。</p>	<p>イニシャルコストが高価である。</p>	<p>イニシャルコストが高価である。</p>	<p>イニシャルコストが高価である。</p>	<p>チップやペレットは比較的安価に購入できる。</p>
総合評価	良	優	良	良	優	良	良

#### 4. 再生可能エネルギー（地中熱）の活用検討

地中熱の有効性及び採熱能力を確認することと、地質による採熱量の変化や、地中に与える影響等のデータ収集及び採熱孔の掘削工法について試験を行った。

##### 4. 1 採熱孔掘削

地中熱利用の問題点であるイニシャルコスト高の要因である採熱孔掘削については、ソニックドリル工法を用いて試験を実施した。本工法は回転と振動を直接ピットに伝達させて掘進する工法で、掘削孔径はφ179.0mmとし、ダブルU字採熱管が挿入可能なものとした。掘削深度は60mと110mとした。

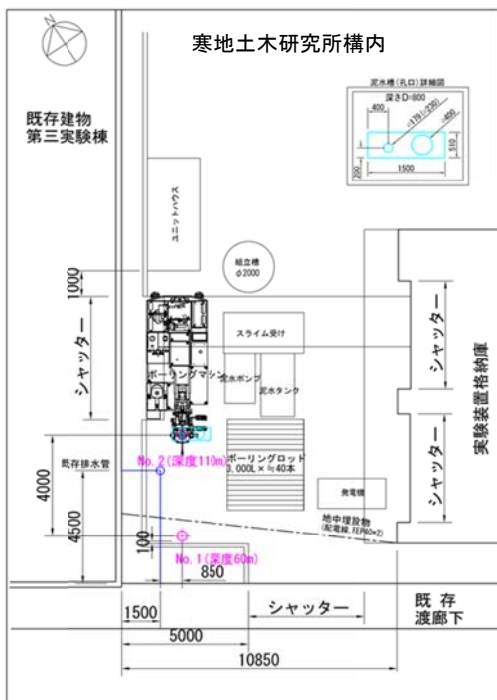


図-16 機材配置図

採熱孔掘削作業は、深度 60mで約 1日、110mでも 2日で完了した。



写真-4 採熱孔掘削（ソニックドリル）

##### 4. 2 熱応答試験（TRT:サーマル レスポンス テスト）

試験孔（採熱孔）を設置した地盤の熱特性を事前に把握する方法として、一定熱量供給による試験である熱応答試験(Thermal Response Test、以下「TRT」という)が一般に用いられている。

試験方法は、「ボアホール型地中熱交換器に対する加熱法による熱応答試験の標準試験方法について(案)」((財)ヒートポンプ・蓄熱センター地下熱利用とヒートポンプシステム研究会)に基づき実施した。試験方法は採熱孔から汲み上げられた循環液を、一定発熱の電熱ヒーターを用いて加温し、一定温度上昇した循環液を採熱孔内に送水した。送水量は、流量計で一定になるように調節した。孔内部で熱交換し、戻ってきた循環液はさらに電熱ヒーターで一定加温され、孔内部へ送水される。

このように、採熱孔と電熱ヒーター間を循環することにより、次第に循環液の温度は上昇する。この温度上昇の状況として、採熱孔の出入り口温度をデータロガーで自動収録しモニタリングした。このときの温度上昇曲線は、その地盤特有の物性値と密接に関係することが知られている。これにより、採熱孔を設置した地盤の熱伝導率を求めた。TRT の概念図を図-17 に示す。

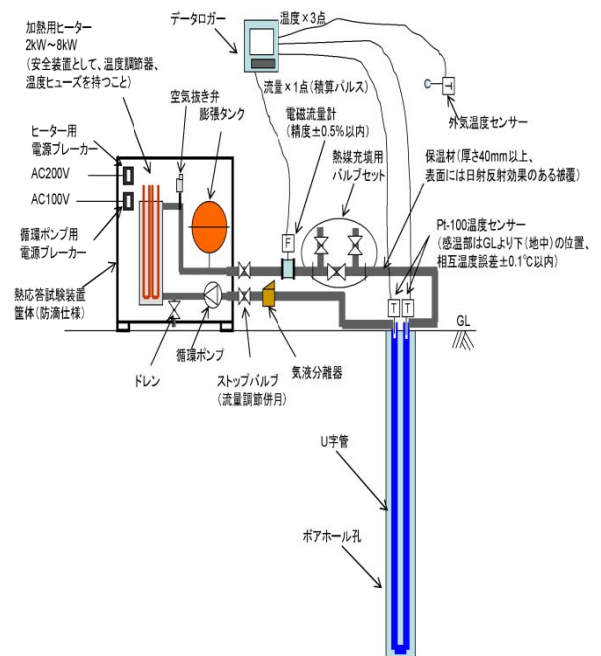


図-17 TRT 概念図



## 4.2 熱応答試験結果

熱応答試験において、有効熱伝導率を算出した。

### 4.2.1 採熱孔(深度 60m)における熱応答試験結果

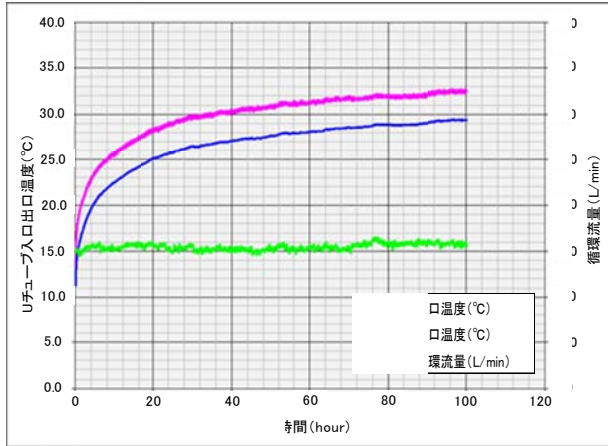


図-18 熱循環における温度の推移 (60m)

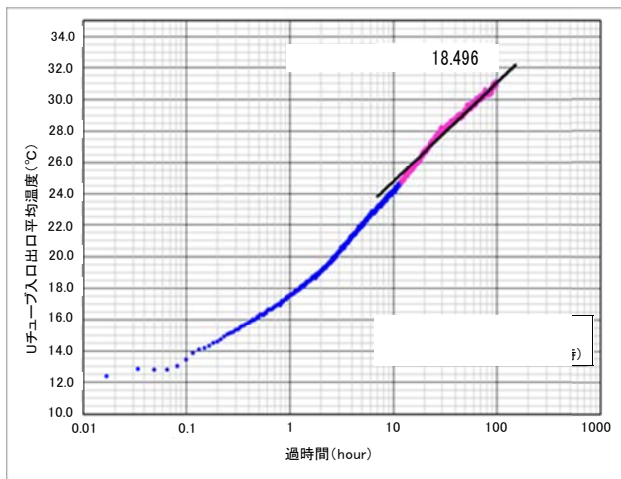


図-19 有効熱伝導率の解析 (60m)

### 4.2.2 採熱孔(深度 110m)における熱応答試験結果

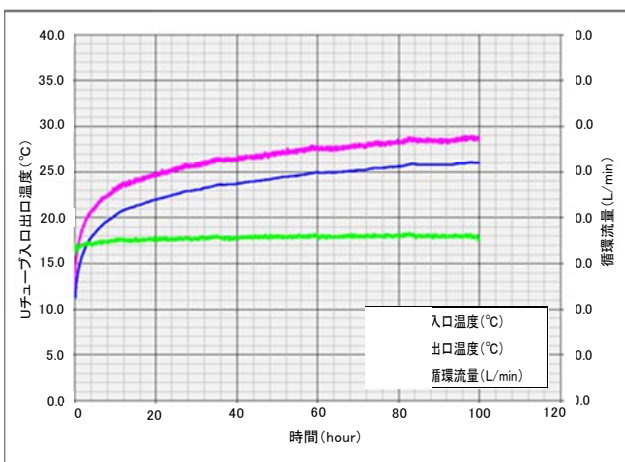


図-20 熱循環における温度の推移 (110m)

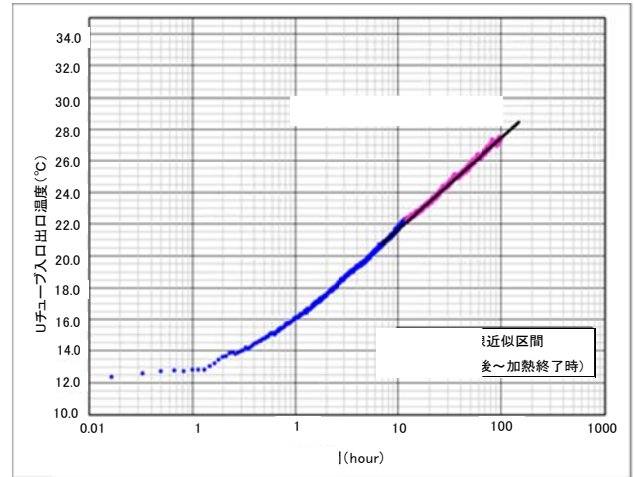


図-21 有効熱伝導率の解析 (110m)

### 4.2.3 熱応答試験結果による

#### 地盤の平均有効熱伝導率

表-5 熱応答試験結果

項目	記号	単位	数値		備考
採熱孔深度	H	m	60	110	
解析区間(直線近似区間)	-	-	12時間後~加熱循環終了時		
平均地中温度	To	K	11.6	11.5	加熱開始前の出入口平均温度
単位自然対数時間当たりの温度変化	m	-	2.729	2.530	図-19、図-21より
循環液の比重	C	J/(kg·K)	3820	3820	30°Cの不凍液の比熱より
循環液の密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1030.00	1030.00	30°Cの不凍液の密度より
熱交換量	Qh	W	6481	6343	
単位長さ当たりの熱交換量	q	W/m	108.0	57.7	
地盤の平均有効熱伝導率	$\lambda_s$	W/(m·K)	3.15	1.81	

熱応答試験の結果、採熱孔(60m)の平均有効熱伝導率( $\lambda_s$ )は 3.15W/(m·K)であり、採熱孔(110m)の平均有効熱伝導率( $\lambda_s$ )は 1.81W/(m·K)となった。この値は削孔深度とは逆転したデータであり、尚かつ60mの値は、通常の北海道での $\lambda_s$ の2倍程度の伝導率である。

この原因は、寒地土研構内の地質に関係あるもので、豊平川の伏流水により地下20m~50mにかけて水を多く含む玉石混じり砂礫層が分布しており、このおかげで、60m孔の平均有効熱伝導率が大きな値となったものと推測される。110m孔の60m以深はシルト層が多く、熱伝導率は抑えられたものとする。今後は地中温度計測を実施しながら、60m以深の蓄熱効果や、冬期間の採熱深度の使い分け等の調査を実施していく。

### 4. 3 地中温度計測結果

60m及び110mの各深度における地中温度の推移を確認するため、採熱管挿入時に熱電対を各深度に設置している。

計測は、採熱試験開始前から行っており、現在もデータ収集中である。

表-6 熱電対設置深さ

採熱孔	ロガー入力CH	熱電対設置深さ
60m	CH1	60 m
	CH2	40 m
	CH3	20 m
	CH4	NC
110m	CH5	110 m
	CH6	90 m
	CH7	70 m
	CH8	50 m
	CH9	30 m
	CH10	20 m

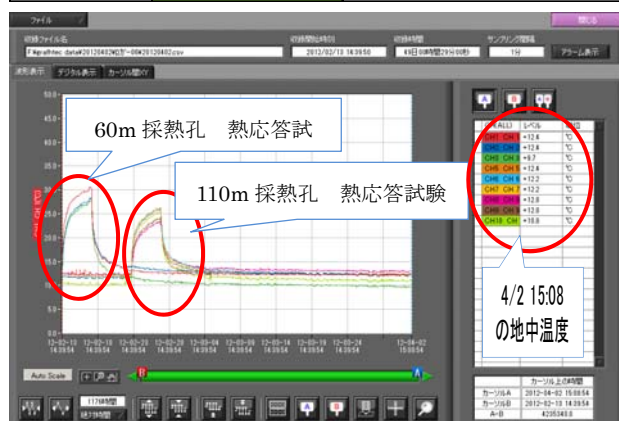


図-22 地中温度データ

地中温度は、採熱試験時に30℃程度まで上昇し、以後は10℃から13℃で安定している。最も高い温度は、採熱孔(110m)の50mに設置した熱電対(ch8)であり13.0℃前後をキープしている。

### 5. まとめ

融雪施設の現地実態調査では、外気温や降雪量により路面の状況は圧雪、凍結、乾燥とさまざまであるが、状況によってはフル稼働でも融雪が間に合わず圧雪や凍結状態となる場合まで確認できたが、融雪施設の実供給熱量と、計算により算出した必要熱量を比較すると、必要熱量は供給熱量の50%程度であることがわかった。今年度の調査地域の気象は20年平均で見ても降雪量が少なく、気温が極端に低い

傾向が確認されていることから、今後もデータの蓄積は必要であるが、制御方法等を見直すことで省エネルギー化が可能であると考えられる。具体的な制御方法としては

- ・日射量の制御因子追加
- ・タイマー通電制御
- ・輻射ヒーティング
- ・画像制御

等がある。

今後はこれらの管理手法について検討を進めることで、効果的な維持管理方法や制御方法を確認していく。また、採熱量が小さい再生可能エネルギー活用については、凍結防止の対応のみを行うものとし、融雪時は、ガスボイラーの熱量を投入する等のハイブリット化により経済性と安全性、環境性も考慮した方法も検討していく。

北海道における再生可能エネルギーについては、温泉熱や地中熱の有効性が見られた。しかし、温泉熱については、地域遍在性があり活用できる地域に限られる。地中熱については、北海道では地下水量が多く温度も10℃前後と安定していることから、遍在性や熱供給の安定性には問題がない。イニシャルコストの問題はあるが、利用可能な再生可能エネルギーである。

地中熱の試験として採熱孔の設置を行ったが、地下水の影響が深度より熱交換量には影響が大きいことが確認できたが、夏季蓄熱の影響や、冬季の熱採取量等について調査を実施していく。

### 参考文献

- 1) 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、H24
- 2) 経済産業省：エネルギー白書2010年版、H22.8
- 3) NEDO：北海道新エネルギーガイドブック2009
- 4) 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

## 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

**Author** : KOJI Katano

KAZUYA Yamaguchi

TETSUYA Einaga

TAKAO Tanaka

TOMONARI Taira

**Abstract** : As electricity is used as a heat source for most road heaters and other snow melting facilities, the costs involved in their operation are substantial. However, road heating is the only available means of melting snow in many areas, making efficient and economical maintenance essential.

Accordingly, the minimum amount of heat required was determined in this study via an actual operation state survey on existing road heaters and an operation method-specific review of heat amounts supplied and those actually required. In addition, stability, localization, technical problems and the cost of renewable energy to be used for road heating were reviewed to support the proposal of an approach involving the use of renewable energy.

In 2011, field investigation of road heating was conducted to collect data on variables such as road surface conditions, heat amounts supplied and wind conditions. Investigation and tests regarding available types and amounts of renewable energy were also conducted.

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