

平成24年度

融雪施設の効率的な再生可能エネルギー 活用について

—融雪施設の現地調査結果の報告—

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○山口 和哉
片野 浩司
永長 哲也

融雪施設のエネルギーとして再生可能エネルギーを活用するため、現状のロードヒーティングにて供給熱量と融雪状況、気温、路温、風速、降雪量等のデータを収集し、最低必要熱量を調査した。また、再生可能エネルギーである地中熱、温泉熱や、未利用エネルギーの利用について検討することで、冬期間に電力使用量のピークを迎える北海道での冬期節電が可能な融雪施設の維持管理手法及び再生可能エネルギー利用技術を提案することを目的に、現地調査を行ったので報告する。

キーワード：再生可能エネルギー、地中熱、ロードヒーティング、コスト削減

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、多数のロードヒーティングが設置された。その大多数の熱源に電気が使用されており、電気使用料が除雪費を圧迫するほどの大きな負担となっている。また、東日本大震災以降の電力不足による節電も必要となっており、北海道のように冬期間に電力使用量のピークを迎える地域では冬期の節電が重要となる。このため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、凍結防止剤散布車の台数や融雪効果の持続性、道路条件等からロードヒーティングを停止できない箇所も多数存在する実態にある。



写真-1 ロードヒーティングの稼働状況

そこで、既存ロードヒーティングの路面状況、供給熱量、風向、風速、降雪状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するとともに、積雪寒冷地のロードヒーティングで利用可能な再生可能エネルギーの偏在性、熱供給の安定性、技術的課題、コストの評価を行い、再生可能エネルギー活用の検討を行ったので、1年目の調査結果について報告する。

2. 融雪施設の実態調査

札幌市内3箇所のロードヒーティングにおいて、融雪状況調査を実施した。調査したロードヒーティングの方式は「温水式」と「電気式」で、外気温度・湿度、日射量、風向風速、積雪、雪密度、路面温度、融雪状況、消費電力量等のデータを収集した。

(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「温水式 RH」という）の実態調査として、札幌市内の車道に設置されている施設を選定した。調査項目を表-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230m、幅16mの上り坂で対象面積は3,680m²である。

データロガー、超音波流量計は機械室内に設置した。超音波流量計は熱交換機へ分岐する前に設置し流量を計測した。温水温度は既存センサーを活用しデータを分岐収集した。これらの流量、温水温度からロードヒーティングへの供給熱量を把握した。

表-1 調査項目（温水式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マルチセンサーデータ	気象観測装置は現地設置。SNETは豊平区土木センター
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
往水温度		
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	
水分センサー	データロガー	ON-OFF 信号
降雪センサー		

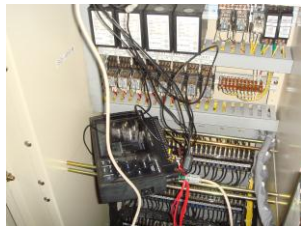


写真-2 データロガー

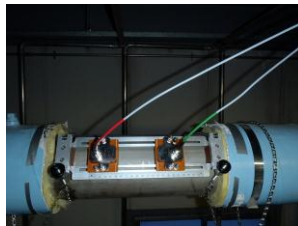


写真-3 超音波流量計

(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、札幌市内のロードヒーティング（以下「電気式RH」という）を選定した。本施設は機械室にて6,600Vの高圧で一括受電し上下線それぞれ9ブロックに分岐し制御を行っている。対象面積は7,826m²である。調査項目を表-2に示す。

表-2 調査項目（電気式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マルチセンサーデータ	気象観測装置は現地設置。SNETは豊平区土木センター
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	データロガー	既存信号の分岐
電流	データロガー	ヒーティング全体の数値
水分センサー	データロガー	ON-OFF 信号
降雪センサー		

3. 計測結果

(1) 温水式RH計測結果

温水式 RH における各種計測値の 12 月～2 月の推移を整理した。（図-1）

外気温は平均-3.9℃、最低-11.7℃、最高 6.6℃であり、風速は平均 1.3m/s、最高 6.2m/s、降雪強度は最大 7.0 cm/h であった。期間最大日降雪量は 17cm、期間合計降雪量は 236cm であった。

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も、日射量が多い場合は路面温度が上昇する傾向にある。

路面温度は平均 8.3℃、最高 15.1℃であった。

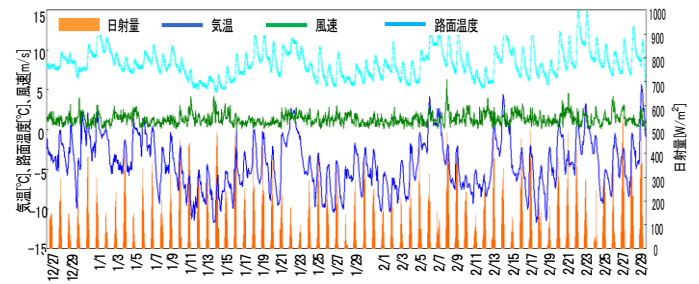


図-1 路面温度、外気温度等の推移（温水式 RH）

観測期間の熱量の推移を図-2 に示す。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として、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、1 m²あたりの供給熱量とした。

供給熱量 [kW]

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

供給熱量は、観測期間を通して 200 W/m²程度で推移し、日平均の供給熱量は 61,920MJ である。

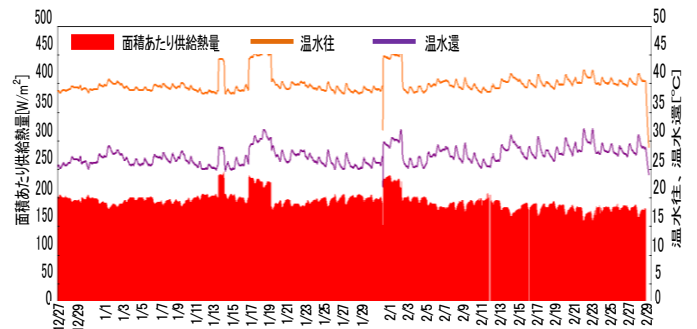


図-2 供給熱量の推移（温水式 RH）

(2) 電気式RH計測結果

電気式 RH における外気温は平均-4.0℃、最低-13.0℃、最高 7.4℃であり、風速は平均 1.4m/s、最高 5.3m/s、降雪強度は最大 9.0 cm/h であった。また、期間最大降雪量は 21 cm、期間合計降雪量は 289 cm であった。

温水式同様、外気温が低い状態であっても、日射量が多い場合は路面温度が上昇する傾向にある。

路面温度は平均 3.8℃、最低-1.0℃、最高 13.3℃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。
- ・電力の契約方式により、2h/日電力供給が停止。

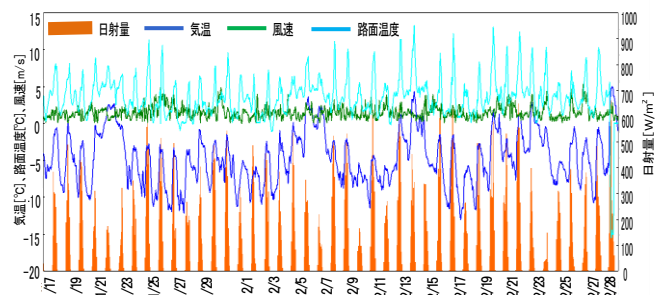


図-3 路面温度、外気温度等の推移（電気式 RH）

今回の計測ではシステム全体の供給電力量を把握している。また、電熱線を採用しているため供給電力量を供給熱量とし算出した。

平均 184W/m²で、日平均の供給熱量は 94,779MJ である。

電気式 RH は 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。運転実績の詳細を図-4 に示す。

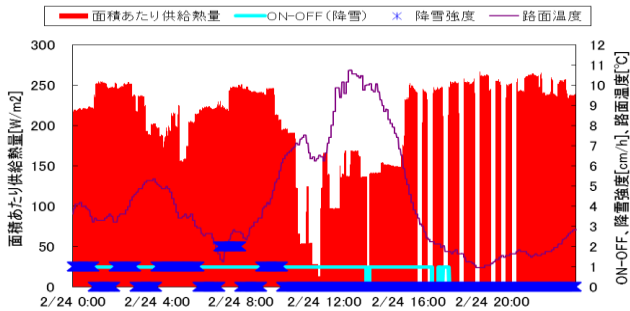


図-4 運転実績の詳細（電気式 RH）

(3) 供給熱量と必要熱量の整理

計測期間中における供給熱量と、気象条件から算出した必要熱量を図-5、図-6 に示す。試算した必要熱量は供給熱量の 60～90%であり、制御や、管理による供給熱量の低減効果が見込まれる。

なお、図-5 及び図-6 は 1 時間ごとの熱量としており、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見られる。

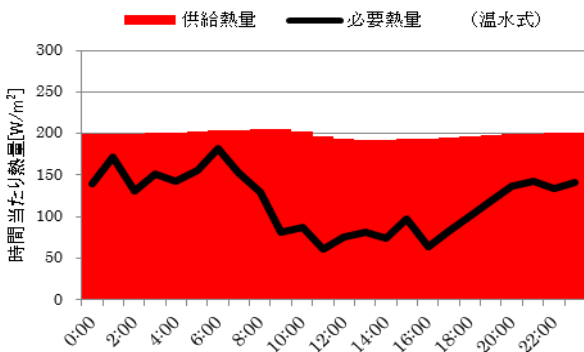


図-5 供給熱量と必要熱量（温水式 RH）

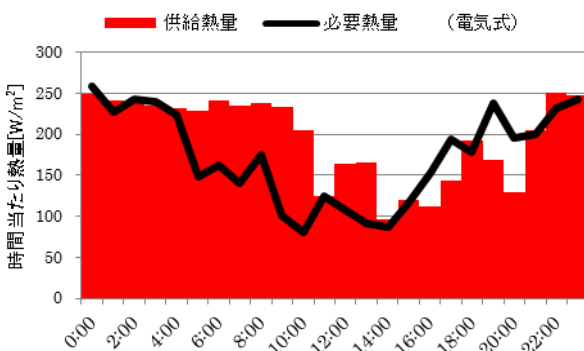


図-6 供給熱量と必要熱量（電気式 RH）

(4) 維持管理・制御方法について

電気式 RH は、必要熱量に応じた制御を行っているが、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、一歩踏み込んだ制御を行うことで省エネルギー化が可能であると考えられる。

今後の課題として「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、路面の再凍結の問題がある。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/m²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がある。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。

4. 再生可能エネルギー利用に関する調査計測結果

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、河川熱、温泉熱等）、地域廃熱（変電所、地下鉄、ビル換気、下水等）がある。これらのエネルギーについて、地域的な遍在性、供給量の安定性、コスト等から総合評価を行い、融雪施設への適応性を検討した。

評価結果を表-3 に示す。

表-3 再生可能エネルギーの総合評価

項目	太陽熱	温度差エネルギー					
		地中熱	河川熱	下水道熱	温泉熱	変電所排熱	ビル排熱
偏在性	○	○	△	○	△	△	○
安定性	△	○	○	△	○	△	△
技術的課題	△	○	△	△	○	△	△
コスト	△	△	△	△	○	△	△
総合評価	良	優	良	良	優	良	良

各エネルギーの特徴を考慮し、偏在性、安定性に技術的課題、コストの定性的評価を加え評価した。評価の結果は表-3 のとおり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。そのため本年度は、地中熱の有効性について調査した。

5. 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寒地土研構内で試験を行っ

た。(写真-4)

(1) 採熱孔掘削

地中熱利用の大きな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実施した。

本工法は回転と振動を直接ビ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である。



写真-4 採熱孔掘削

(2) 熱応答試験 (TRT: サーマルレスポンステスト)

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を実施した。

熱応答試験の結果は表-4 に示すとおり、採熱孔(60m)の平均有効熱伝導率(λ_s)は 3.15W/(m・K)であり、採熱孔(110m)の平均有効熱伝導率(λ_s)は 1.81W/(m・K)となった。この値は掘削深度とは逆転した値であり、なおかつ 60m の値は、通常の北海道での λ_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するものと思われ、豊平川の伏流水により構内地下 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、このため、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 より深い地層はシルト層が多く、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。

表-4 熱応答試験による地盤の平均有効熱

項目	記号	単位	数値		備考
			60	110	
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	T_o	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	
循環液の比重	C	J/(kg・K)	3820	3820	30℃の不凍液の比熱より
循環液の密度	ρ	kg/m ³	1030.00	1030.00	30℃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	λ_s	W/(m・K)	3.15	1.81	

(3) 地中温度計測

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地盤の各深度に設置している。地中温度は、10℃~12℃で安定している。最も高い温度は、採熱孔(110m)の50mに設置した熱電対であり12.0℃前後をキープしている。外気温度がマイナスとなる冬期においても、11.0℃の地中温度がある。

6. まとめ

融雪施設のエネルギーとしては主に電気が使用されているが、電気料金の負担増や節電の必要性から、再生可能エネルギーの活用を検討した。1年目は既存の融雪施設の実態調査と、再生可能エネルギーの有効性について調査を実施した。

融雪施設の実態調査では、施設への実際の供給熱量が、外気温や降雪量、風況から計算した必要熱量を上回ることが確認されたが、融雪状況では融雪が間に合わず圧雪路や凍結路が発生する場合もあることがわかった。なお、今回の調査地域の気象は 20年平均で確認すると降雪量が少なく気温が極端に低い傾向にあり、今後のデータ蓄積が必要である。

今後は、制御方法の検討や、省エネルギー化と走行安全性の検討、メンテナンス性向上について検討していく。

再生可能エネルギーの有効性については、地中熱や温泉熱に有効性が見られたが、温泉熱は地域偏在性が大きいことから地中熱の活用を検討した。

構内に試掘した採熱管については、深さの異なる2本を設置し、熱応答試験にて有効熱伝導率を調べたところ、深く掘削するより地下水帯にあわせた深さの方が有効熱伝導率が高いことがわかった。

今後は夏期蓄熱の影響や、冬期採熱の性能について検討していく。

謝辞：本研究に対し、ご協力いただきました札幌開発建設部の関係各位に心から感謝の意を表します。

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