

# 道路融雪施設の効率的制御方法について

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

積雪寒冷地では、冬期間の交通安全確保のため、道路の勾配や交通量等を勘案しつつ、融雪施設が多数設置されている。この熱源の多くは電気であることから、コスト負担が積雪寒冷地における道路管理の大きな負担となっている。さらに、電気料金の大幅な値上げにより管理者の負担は増加している。

そこで、既存融雪施設の稼働実態を調査し、供給熱量と必要熱量を比較することで、最小限必要な熱量を明確にするとともに、日射量や断続運転を活用した運用方法の有効性を検証したので報告する。

キーワード：融雪施設、コスト縮減、再生可能エネルギー、下水熱

## 1. はじめに

積雪寒冷地では、道路融雪施設は冬期間の交通安全確保のため必要不可欠なものである。融雪施設の熱源はほとんどが電気であり、電気料金が冬期道路管理の大きな負担となっている。また東日本大震災以降、電力供給量が減少し、節電が必要となっており、特に北海道のように冬期に電力使用量のピークを迎える地域では、冬期間の節電が重要である。さらに、電気料金の大幅な値上げによる道路管理費の増加も大きく、道路融雪施設の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、再生可能エネルギーの効果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熱量シミュレーションを実施した。また、未利用エネルギーである下水熱の利用について検討を行ったので報告する。



写真-1 融雪状況

## 2. 融雪施設の実態調査

札幌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・還温水温度(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し、供給熱量と必要熱量推計値の比較を行い、その結果から熱量の最大削減ポテンシャルを推計した。

また、過去の必要熱量推計値と併せて解析を行い再生可能エネルギーを効果的に活用するためのベース負荷（必要熱量を累積出現率で整理し、融雪期間を通して発生時間が長い必要熱量値）の検討を行った。

### (1) 供給熱量と必要熱量

気象条件等から推計した必要熱量と、実際に施設へ供給されていた供給熱量のデータを3年分比較した結果を表-1に示す。ここでは、計測期間が年度や地点によって異なることから、計測期間外の供給熱量を計測期間の平均値として、12/1～2/28の総供給熱量を推計した。

比較の結果、削減ポテンシャルは30～40%程度となった。これは仮に融雪施設を1,000m<sup>2</sup>とすると、電気料金約2,300千円/年、A重油約14,000L/年に相当する（ほっとタイム22：15.19円/kWh(平成26年12月現在)、A重油発熱量39.1MJ/L）。

ここで推計される必要熱量は、凍結防止もしくは融雪に必要な熱量である。凍結防止の熱量は路面の乾燥・湿润に関わらず路面温度0℃以下で計上されるため、路面乾燥状態を正確に感知し必要熱量を検証することにより、より大きな削減ポテンシャルが得られる可能性がある。路面状態と気象条件、供給熱量の関係は年度によって大

大きく変化するため、今後もデータの蓄積が重要である。  
 また、交通量、除排雪作業、路面温度が0℃を大きく下回った場合の雪の路外への飛散などを考慮することによって、削減ポテンシャルが増減すると考えられる。

表-1 必要熱量と供給熱量の比較 単位: kWh/m<sup>2</sup>

項目	2011年	2012年	2013年
供給熱量推計値(札幌①)	396.2	353	353
供給熱量推計値(札幌②)	-	329.6	-
供給熱量推計値(札幌③)	423.9	-	-
必要熱量推計値(札幌①)	232	218.7	193.3
必要熱量推計値(札幌②)	-	238.5	-
必要熱量推計値(札幌③)	221.9	-	-
必要熱量/供給熱量(札幌①)	59%	62%	55%
必要熱量/供給熱量(札幌②)	-	72%	-
必要熱量/供給熱量(札幌③)	52%	-	-
削減ポテンシャル平均(=100-必要/供給)	45%	33%	45%
<b>削減ポテンシャル3カ年平均</b>	<b>41%</b>		

(2) ベース負荷の検討

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、省エネ効果などが期待されるが、必要な熱量の変動に対し迅速に回答（供給熱量を増減）することは困難であるため、再生可能エネルギーによる効果的な供給熱量としてベース負荷を検討した。

- a) 必要熱量の出現率は気象条件によって異なるため、過去6年分(2008～2013年)のアメダスデータと、2011～2013年に実態調査を行った3地点の12月～3月のデータを使用した。
- b) 必要熱量計測値を各年度、累積出現率の考え方で整理した。
- c) 0W/m<sup>2</sup>は除外して累積出現率を整理した。

上記方法に従い、必要熱量を累積出現率で整理した結果を図-1に示す。

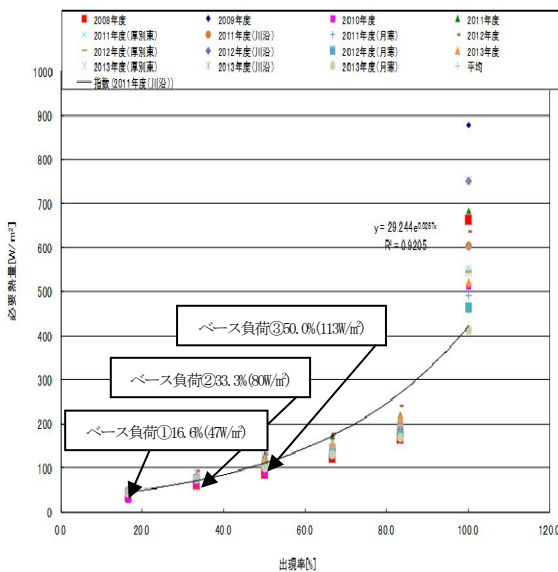


図-1 必要熱量の累積出現率

必要熱量は出現率が高くなると、指数関数的に上昇している（指数関数での近似値による  $R^2 \approx 0.92$ ）。

これは、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を示す。このことから、出現率が50.0%以下の必要熱量をベース負荷として3パターン（16.6%、33.3%、50.0%）設定した。

道央地区（札幌）の供給熱量は250W/m<sup>2</sup>である。図-1から、必要熱量250W/m<sup>2</sup>は出現率で80%程度であり、必要熱量の80%は250W/m<sup>2</sup>以下であることがわかる。逆に20%は供給熱量では不足となる。

3. 融雪熱量シミュレーション

(1) 道内主要都市ごとの必要熱量シミュレーション

道内主要都市の気象条件から、必要熱量のシミュレーションを行い、地域ごとの特性を把握した。対象都市は札幌、函館、小樽、旭川、釧路、帯広とし、2008～2012年の5カ年分の12/1から3/31までの気象庁アメダス1時間データを用い必要熱量を推計した。

シミュレーションの条件として、外気温が低い時は、「凍結防止に必要な熱量」が計上されるが、「実際は乾燥している」という場合も考えられるため、以下の3パターンに分けて推計した。

- a) 全時間：路面乾燥を考慮せずに全ての時間について算出。
- b) 降雪終了後48時間以内：降雪終了後48時間後以降は路面が乾燥しているものとし、必要熱量を推計しない。
- c) 降雪終了後24時間以内：降雪終了後24時間後以降は路面が乾燥しているものとし、必要熱量を推計しない。

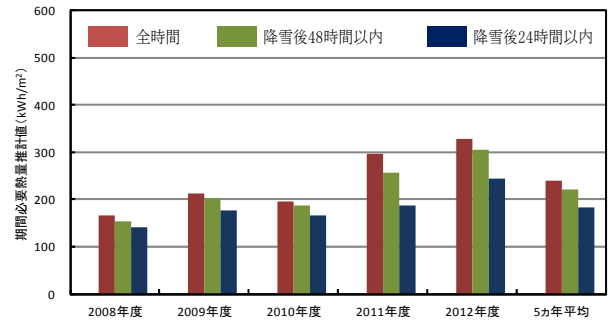


図-2 期間必要熱量推計結果(札幌)

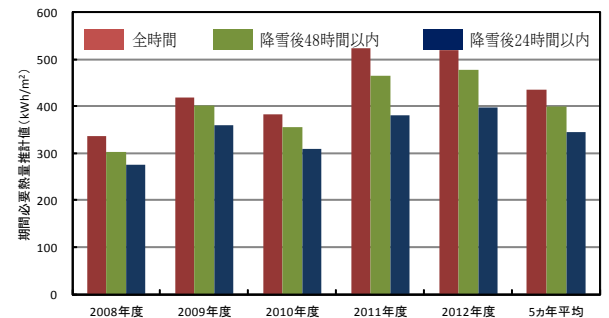


図-3 期間必要熱量推計結果(旭川)

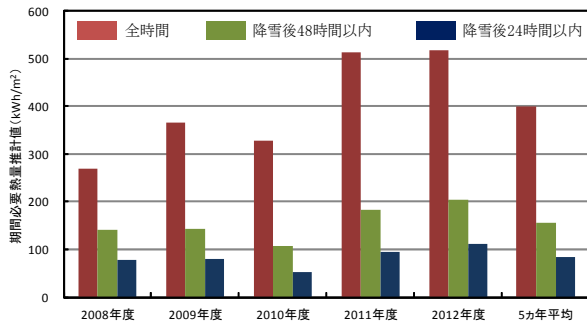


図-4 期間必要熱量推計結果(釧路)

図-2~4より、旭川市が札幌市と比べて数値が大きくなっているがこれは降雪が多く気温が低いためである。

釧路市は降雪量が少なく、外気温度が低いため、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、施設の制御方法によっては大きな省エネ効果があると考えられる。

## (2) 断続運転の融雪効果シミュレーション

既存融雪施設では、融雪専用電源である「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-5)から、この時間帯に路面凍結が発生する頻度は非常に少ない。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で省エネ効果が得られると考える。ここでは、以下の条件で供給熱量の削減効果を検証した。

- a) 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対象とした。
- b) 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川沿RHの観測結果2年分を整理した。
- c) 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。
- d) 必要熱量>供給熱量となる時間については、断続運転により、融雪不可や路面凍結が発生することを防ぐため、元の供給熱量とした(断続運転は行わない)。

断続運転のパターンは、表-2の3パターンとした。

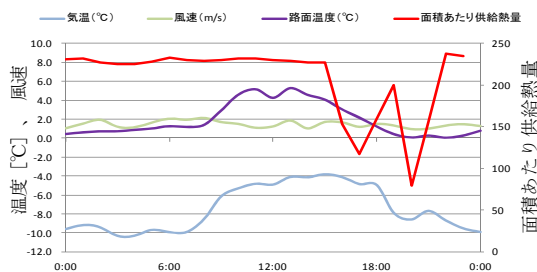


図-5 断続運転時の路面温度(川沿RH)

表-2 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	8分×3など
③	0.8	0.2	12分相当	6分×2など

表-3 断続運転の融雪シミュレーション結果

項目	実測値	①	②	③
2012合計(MJ/m <sup>2</sup> )	832.3	661.9	663.8	722
2013合計(MJ/m <sup>2</sup> )	810	663.1	663.5	713.9
平均(MJ/m <sup>2</sup> )	821.1	662.5	663.6	718
削減率		19%	19%	13%
削減料金(千円)		669	665	435
CO <sub>2</sub> 削減効果t-CO <sub>2</sub> /年		21	21	14

検証の結果(表-3)、2年間平均の削減額は、435~669千円/年、二酸化炭素削減効果は14~21t-CO<sub>2</sub>/年となった。

今後は、実証実験や既存施設の計測の積み重ねにより、路面の安全性を保持可能な適切な断続運転を検証することが課題となる。また、日射量との組み合わせ(日射時間に強制的に断続運転を行う制御など)も有効と思われる。

## 4. 未利用エネルギーとしての下水熱利用について

### (1) 下水流量

下水流量 10,000~100,000m<sup>3</sup>/日規模の処理場における流入量の時間変動比を図-6に示す。道内では、札幌市をはじめ、中核都市の下水処理場のほとんどがこの規模に分類される。

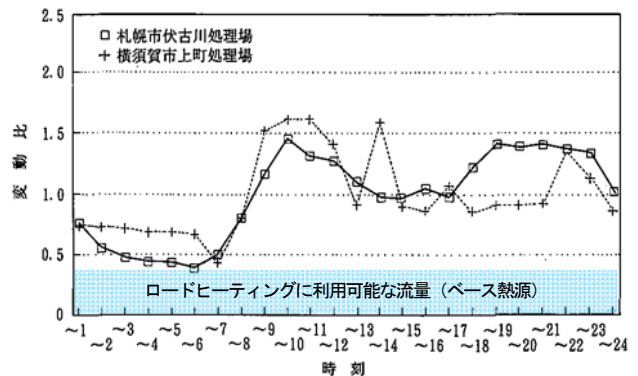


図-6 流入下水量の時間変動比(10,000~100,000m<sup>3</sup>/日)

出展: 下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版

融雪施設は昼夜を問わず稼働する施設で、その熱源には「安定性」が求められる。図-6によるとベース熱源として期待できる汚水量は日平均汚水量の40%程度である。

### (2) 下水の水温

下水の水温について、下水道統計の測定値から、道内主要都市の水温を表-4にまとめた。

道内の下水の水温は平均16~18°C、最高20°C以上、最低10°C程度である。地中熱ヒートポンプの熱源である地下水の温度は、その都市の年平均気温+1~2°C程度であり、下水は地下水よりも水温が高いこととなる。



表-4 道内の下水道の水温

都市名	測定箇所	年平均 気温 (°C)	水温(°C)		
			年平均	最高	最低
札幌市	創成川水再生プラザ	8.9	16.6	21.3	11.7
旭川市	旭川市下水処理センター	6.9	16.1	20.7	10
函館市	函館湾浄化センター	9.1	18.2	23.6	11.6
釧路市	古川終末処理場	6.2	15.9	22.9	9.9
帯広市	十勝川流域下水道浄化センター	6.8	17	21.7	12.2
網走市	網走浄化センター	6.5	16.6	21.1	12.8

(3) 下水熱の課題・有効性

下水熱について、冬期の水温は10°C以上あるものの、取得可能なエネルギー量は日平均流量に対して40%程度にとどまる。このため導入可能な地域は、下水が豊富に流下するところ、具体的には住宅地や商業地に限定され、郊外部での導入は難しい。

5. コスト比較

2. (2)で設定したベース負荷を用い、再生可能エネルギー導入の経済性について比較した。対象とする施設は、ベース負荷分を地中熱ヒートポンプとして不足分をガスで補う温水式RHと、電気式RHについてイニシャルコスト、ランニングコスト、年間トータルコストを比較した。

(1) 前提条件及び必要ポアホール本数

表-4に示す条件にて、ポアホール本数を決定し、各ベース負荷に対するコストを試算した。

表-4 前提条件及びポアホール本数

項目	単位	ベース負荷①	ベース負荷②	ベース負荷③	HPのみ
設定負荷	W/m <sup>2</sup>	47	80	113	250
ヒーティング面積	m <sup>2</sup>	1,000			
設備出力	kw	47	80	113	250
COP	—	4			
ポアホール長さ	m/本	100			
採熱量	w/m	40			
ポアホール本数	本	9	15	22	47

(2) コスト試算結果

イニシャルコスト、ランニングコスト、年間トータルコストについて試算結果を表-5に示す。なお、耐用年数は機械設備を30年、ポアホール及び土木建築を50年とし、減価償却費を試算した。

(3) コスト比較

表-5より地中熱ヒートポンプのみの場合は、ポアホールの本数が多く、電気式に比べ約3倍のイニシャルコストが必要となる。

ベース負荷①での試算結果では、ポアホール本数が減少しイニシャルコストがHPのみの場合に比べ40%程度と

なる。これは、電気式のイニシャルコストの130%程度であり、ランニングコスト削減額により10年程度で償却できる。

年間トータルコストでは、耐用年数とランニングコストの優位性から地中熱ヒートポンプが電気式を20%ほど下回る結果であった。これは電気料金の大幅な値上げが影響しており、H26.11の値上げで昨年より25%程度上昇している。今後も電気料金の値上げが融雪施設の維持管理に大きく影響を与えることが予想される。

表-5 コスト比較表

(単位:千円)

項目	ベース負荷①	ベース負荷②	ベース負荷③	HPのみ	電気式	備考	
イニシャルコスト	ポアホール	10,800	18,000	26,400	56,400	—	ポアホール掘削設備、不凍液、Uチューブなど含む
	ヒートポンプ	5,640	9,600	13,560	30,000	—	地中熱源対応高効率水冷式
	盤関連	5,000	5,000	5,000	5,000	5,460	電気は2系統(2面)
	その他付帯設備	564	960	1,356	3,000	650	ポンプ、センサー類
	機械室	3,000	3,000	3,000	3,000	—	20m <sup>2</sup>
	ヒーティングパイプ・継接	17,300	17,300	17,300	17,300	30,220	1,000m <sup>2</sup>
	ガス熱源機器	4,000	2,670	2,670	—	—	
	計	46,304	56,530	69,286	114,700	36,330	
減価償却費	1,359	1,604	1,918	3,031	1,211		
ランニングコスト(電気)	332	465	597	1,145	4,006	消費電力料金	
ランニングコスト(ガス)	2,506	2,099	1,693	—	—	ガス消費料金等	
年間トータルコスト	4,197	4,168	4,208	4,176	5,217		

6. まとめ

今年度の供給熱量と必要熱量の検討及び融雪熱量シミュレーションにより、以下の知見が得られた。

- 供給熱量の削減ポテンシャルは30~40%程度であることがわかった。しかし、路面状況は気象や交通量、除排雪によって大きく変わるため、今後もデータの蓄積が重要である。
- 必要熱量は、地域により大きな差があり、降雪量が少ない地域では路面乾燥を考慮することで、大きな削減ポテンシャルが見込まれる。
- 断続運転制御については、断続運転時間やタイミングなど、路面の安全性を保持可能な断続運転手法について検討が必要である。
- 下水熱の利用については、都市部など下水が豊富に流下する地域に限られるが、未利用エネルギーとして有効である。
- 年間トータルコスト比較では、地中熱ヒートポンプに優位性が見られるが、イニシャルコストが高額であること、機器室やポアホール設置場所の確保が必要なことなどが課題である。

謝辞：本研究に対し、ご協力いただいた札幌開発建設部札幌道路事務所の関係各位に心から感謝の意を表します。