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―

平成２８年３月

≪目　　次≫

第 1 章 基本理念 **1**
1-1. ガイドライン（案）作成の背景 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の概要 3
第 2 章 ロードヒーティングの実態調査 **4**
2-1. 対象施設の概要 4
2-2. 調査結果 5
2-3. 分析 12
2-3-1. 必要熱量の分析 12
2-3-2. 必要熱量と供給熱量実績の比較 14
2-3-3. 都市ごとの必要熱量の比較 16
2-3-4. ベース負荷（再生可能エネルギーによる供給熱量）の検討 18
第 3 章 効率的な維持管理手法の提案 **20**
3-1. 維持管理手法に関わる提案 20
3-1-1. 断続運転 20
3-1-2. 各種センサーの設置位置 22
第 4 章 再生可能エネルギーの利用 **23**
4-1. 再生可能エネルギー利用に関する提案 23
4-1-1. 地中熱ヒートポンプシステム 25
4-1-2. 下水熱ヒートポンプシステム 26
4-1-3. 経済性・環境性比較 27
4-1-4. 路肩ヒーティングへの再生可能エネルギー利用 29
4-2. ロードヒーティングの省エネルギー化に向けた検討フロー 34
第 5 章 参考資料 **35**
5-1. 調査年度の気象の特徴 35
5-2. 必要熱量試算方法 37
5-3. 必要熱量の都市別推計 38
5-4. ベース負荷およびシミュレーションについて 41

第1章 基本理念

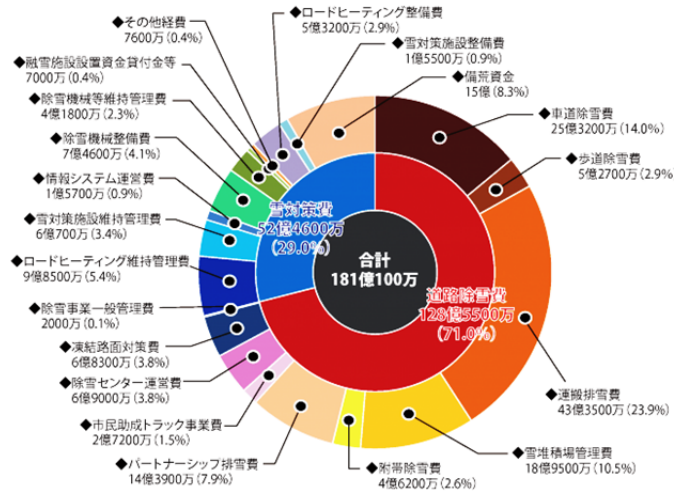
1-1. ガイドライン（案）作成の背景

北海道では、昭和 63 年頃以降からスタッドレス化に伴う冬季の路面対策としてロードヒーティングが導入されており、全道で数万箇所、札幌市においても数百箇所以上の施設が設置されている。

道路の雪対策関連費用は、札幌市で平成 26 年度に 181 億円となり、財政の圧迫の一因となっている。このうちロードヒーティング関連費用は約 15 億円以上である（図 1-1）。札幌市では冬期路面管理の状況などを考慮し、除排雪と凍結防止剤散布による路面管理への変更（ロードヒーティングの停止）を行ってきたが、急な坂やカーブなどで依然として多くのロードヒーティングが稼働している。

一方で、東日本大震災とそれに関わる原発事故の影響で火力発電などの寄与率が上昇しており、昨今、電力料金の上昇やエネルギー消費に関わる二酸化炭素排出量の増加が課題となっている。図 1-2 に示すとおり平成 23 年度と平成 25 年度を比較すると、電力料金は融雪電力 B の場合で約 1.6 倍、地球温暖化の原因とされる二酸化炭素排出原単位は原発停止による火力発電の割合増加で約 1.4 倍となっている。

これらを背景として、ロードヒーティングにおける冬季交通の安全確保と省エネルギー化の両立が必要となっている。



出典：札幌市ホームページ（H26）

図 1-1　札幌市の除排雪対策費（平成 26 年度）

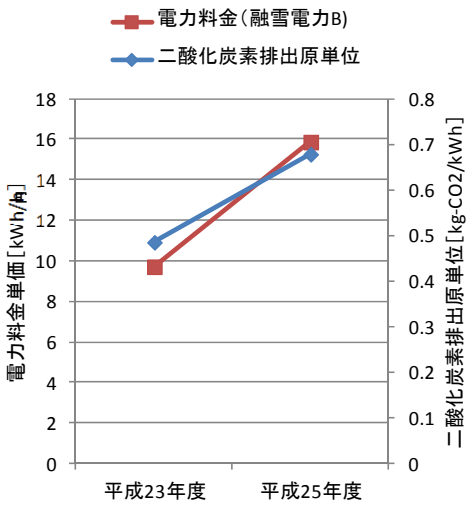


図 1-2　CO２排出原単位及び融雪用電力料金の推移

1-2. ガイドライン（案）の目的

本ガイドライン（案）は、ロードヒーティングによる冬季道路交通の安全確保と、省エネルギー化を両立させるため、効率的な維持管理方法や、再生可能エネルギーの利用方法を取りまとめた。

ロードヒーティングは導入から 20 年以上が経過している施設が多く、今後の設備更新にあたって提案を行うものである。

提案にあたってはロードヒーティングの実態調査及び分析を行い、その結果を活用した。図 1-3 に示すように、ロードヒーティングは電気やガスなどのエネルギーを投入する熱源部分及びセンサー制御で道路へ熱供給を行う融雪部分に区分される。これら“熱源部分”“融雪部分”のそれぞれの面から省エネルギー手法の検討を行った。

なお、北陸地方など比較的温暖な地域で導入事例が多い散水消雪施設（図 1-4）については、本ガイドライン（案）では対象外とした。

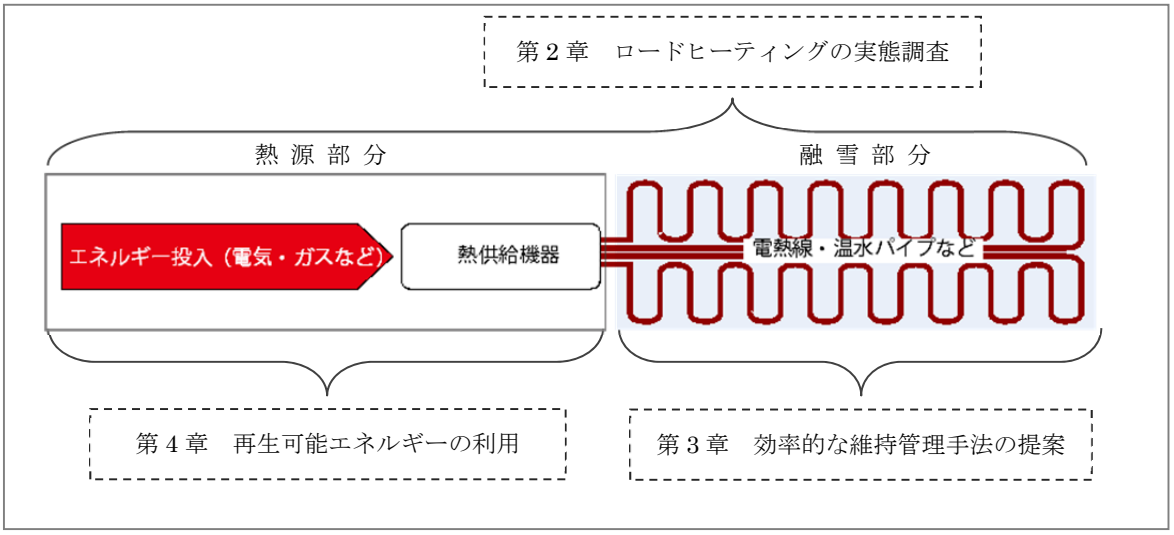


図 1-3　本ガイドラインの構成

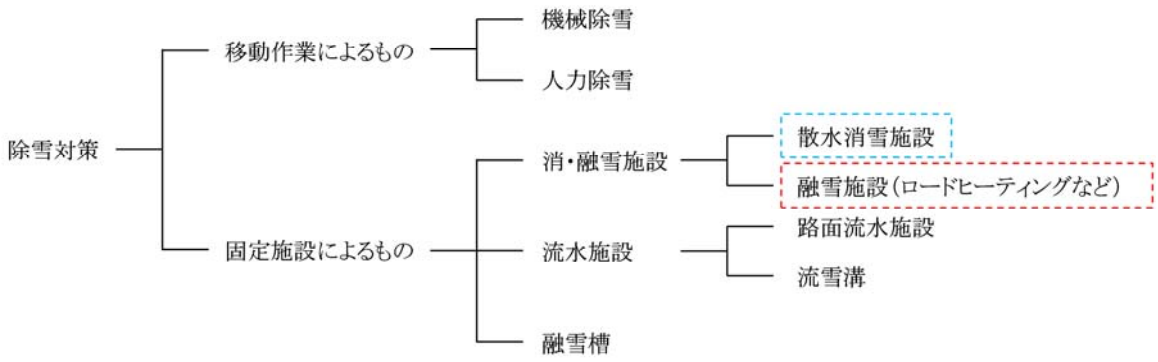


図 1-4　除雪対策

1-3. ロードヒーティングの概要

ロードヒーティングは、道路の融雪及び凍結防止のため路面に熱供給を行う施設であり、車道や歩道の舗装内に埋設した電熱線や温水（不凍液）循環パイプによって路面を加熱する。

積雪寒冷地における冬季交通の安全確保対策としては、経済性・機動性から機械除雪による対策が主体とされているが、スパイクタイヤ禁止を背景に、渋滞やスリップが多発する交差点、橋梁取付け部、坂道などにロードヒーティングが導入されている。昨今の維持管理費の上昇や公共事業予算の削減により、冬期路面管理の状況などを考慮して凍結防止剤や防滑剤散布へ切り替え、稼働を停止させる施設も増加しているが、安全確保のために、依然として多くのロードヒーティングが稼働している。

現在、道内で導入されているロードヒーティングは、電気式と温水式に大別され、そのほとんどが電気式の電熱線によるシステムである。表 1-1 にその特徴を示す。設備の設計発熱量については、北海道開発局道路設計要領の電気通信施設編に則って、表 1-2 のように設定されており、ほとんどの設備がこの値を採用している。

表 1-1　ロードヒーティングの特徴

項目	電気式	温水式
熱源	電気	灯油、都市ガス、重油、プロパン　など
ヒーティング部	電熱線など	不凍液循環パイプなど
特徴	規模の大小に関わらず設置可能	融雪の均一性にかける場合がある
	平面形状に対応し易い	平面形状にやや制限される
	熱エネルギー効率が低い	他の資源（地熱水など）との併用が可能
	路面状況に対応した制御が困難	エネルギー効率が高い
	低イニシャルコスト	高イニシャルコスト
	高ランニングコスト	低ランニングコスト

表 1-2　設計発熱量

該当する地域	設計発熱量（W/m²）	
	歩車道	歩道橋
関東以南の地方	170	200
東北・北陸・道南地方	200	250
東北山間部、道央地方	250	300
道東・道北地方	300	350

出典：北海道開発局道路設計要領　第 4 章ロードヒーティング設備

第2章 ロードヒーティングの実態調査

2-1. 対象施設の概要

車道に設置されたロードヒーティングにおいて、融雪状況調査を実施した。札幌市内及び近郊の「電気式」2 箇所と「温水式」1 箇所を対象とし、外気温度・湿度、日射量、風速、積雪深、路面温度、融雪状況、消費電力量などのデータを収集した。表 2-1 に調査施設の概要を示す。

調査期間は、2011 年度～2014 年度のそれぞれ 12 月中旬から 2 月下旬までとした。

表 2-1　施設概要

項目	川沿 RH	厚別東 RH	月寒 RH
名称	札幌市川沿アンダーパス ロードヒーティング	厚別東通電気式 ロードヒーティング	月寒中央温水式 ロードヒーティング
所在地	札幌市南区川沿 1 条 1 丁目付近	北広島市西の里	札幌市豊平区 月寒中央通 1 丁目付近
方式	電気式	電気式	温水式ロードヒーティング
熱源	高圧受電　電熱線式	低圧受電	都市ガスボイラー +ヒートポンプ（停止中）
設置年度	1996 年	1999 年	1994 年～1995 年
ヒーティング 面積	7,827m^2	5,200m^2（29 ブロック）	3,680m^2
延長	922m（東 461m、西 461m）	424m	230m
ヒーティング 幅	約 6.5m	約 9m～13m （ブロックにより異なる）	16m
熱源機器容量	三相三線 6,600V （分岐電圧 400V） 契約電力 1,540kW	三相三線 200V 契約電力 1,172kW（29 契約）	No.1 ボイラー：743kW No.2 ボイラー：1,161kW No.3 ボイラー：464kW
制御	4 要素制御 （降雪、水分、路面温度、 外気温度）	4 要素制御 （降雪、水分、路面温度、 外気温度）	3 要素（外気温、降雪、二次 側循環流体温度） 2015 年 2 月に更新有



川沿 RH



厚別東 RH



月寒 RH

2-2. 調査結果

気象状況と路面温度の観測結果を表 2-2、表 2-3 に示し、次ページ以降に各地点の融雪状況と各種測定値を示す。ここでは、各箇所毎に熱供給がされている時間帯の中から、必要熱量が 0W/m^2、設計熱量の約半量である 120W/m^2、設計熱量である 250W/m^2、設計熱量を大きく超えている場合の 4 状況について記載している。

観測結果から以下の知見が得られた。

・ロードヒーティングが有効に働いて、観測期間の多くの時間で凍結や着雪は見られない。
・日射のある日中や長時間にわたって降雪が無い場合などは、乾燥状態となっている時間帯も発生している。
・逆に非常に強い降雪の後は、必要熱量が供給熱量を大幅に上回り、十数時間～数十時間にわたって着雪が見られる。
・同じ札幌市内及び近郊であっても、地点ごとに降雪量や気温に差が見られる。
・降雪量や気温、風速などロードヒーティングに関連する気象状況は年度ごとの差が大きい。

なお、必要熱量や供給熱量の分析は P12 以降に、観測期間 4 年間の気象状況の特徴については第 5 章参考資料(P35～36)に示す。

表 2-2　観測結果の整理（気象状況）

地点	年度	期間最大降雪強度 (cm/h)	降雪量 (cm)	期間平均気温 (℃)
川沿 RH	2011	9.0	289	-4.0
	2012	11.0	491	-4.1
	2013	8.0	370	-3.2
	2014	12.0	317	-2.2
厚別東 RH	2011	8.0	454	-4.9
	2012	8.0	536	-5.1
	2013	11.0	472	-4.9
	2014	8.0	299	-2.7
月寒 RH	2011	7.0	236	-3.9
	2012	7.0	383	-4.2
	2013	6.0	347	-3.3
	2014	9.0	260	-1.9

表 2-3　観測結果の整理（路面温度）

地点	年度	平均路面温度 (℃)	最低路温 (℃) 括弧内は外気温	0℃未満発生時間（時間）	0℃未満率 (%)
川沿 RH	2011	3.8	-1.0 (-9.7)	14	1.4
	2012	4.2	0.6 (-9.1)	0	0.0
	2013	3.3	-2 (-15.3)	72	4.1
	2014	3.3	-1.6 (-6.0)	39	2.2

※路面温度センサーがあり、データロガーで計測可能であった川沿 RH のデータのみ掲載

【川沿 RH　路面状況Ⅰ】

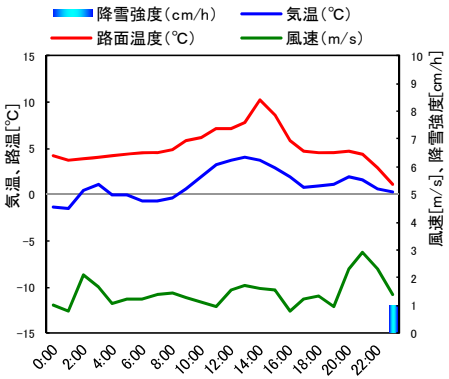
2013/12/26 21:00

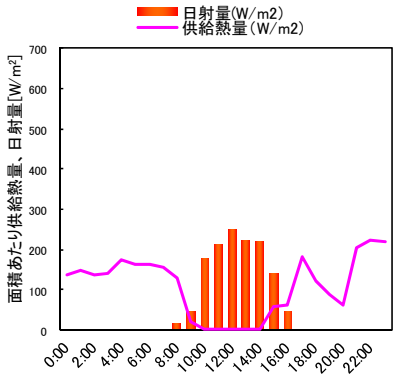


①プラス気温であり、乾燥状態である。

気象状況			熱源		
外気温	2.0	℃	供給熱量	189	W/m^2
日射量	0.0	W/m^2	総電力	1132	kW
風速	3.0	m/s	路面温度	4.8	℃
降雪量	0.0	cm/h	必要熱量	0	W/m^2

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





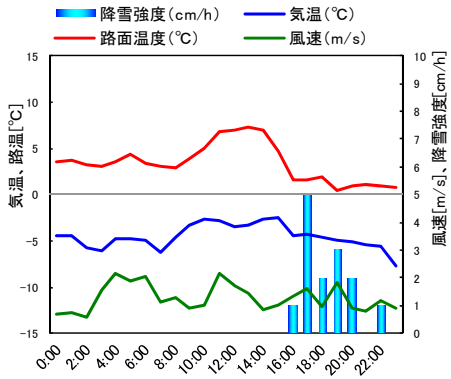
2014/1/4 22:20

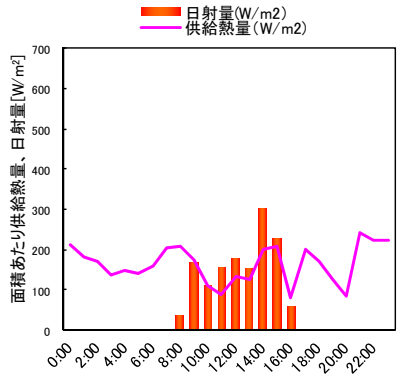


②降雪後であり湿潤状態。画像奥の非ヒーティング部分と差が見られる。

気象状況			熱源		
外気温	-5.4	℃	供給熱量	223	W/m^2
日射量	0.0	W/m^2	総電力	1335	kW
風速	1.3	m/s	路面温度	0.9	℃
降雪量	0.0	cm/h	必要熱量	118	W/m^2

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





【川沿 RH　路面状況Ⅱ】

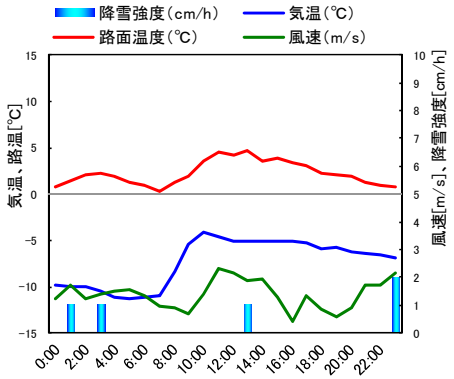
2014/1/22 3:00

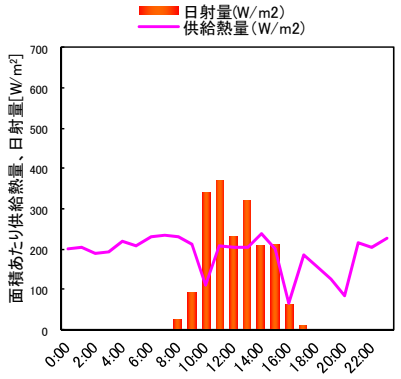


③外気温度が非常に低く、若干の降雪後であるが、ほぼ乾燥状態である。

気象状況			熱源		
外気温	−10.4	℃	供給熱量	192	W/m^2
日射量	0.0	W/m^2	総電力	1148	kW
風速	1.9	m/s	路面温度	2.1	℃
降雪量	1.0	cm/h	必要熱量	232	W/m^2

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





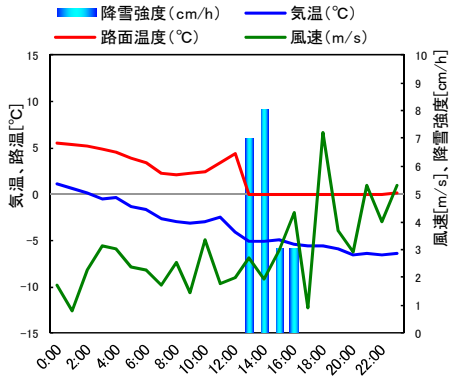
2014/1/31 14:00

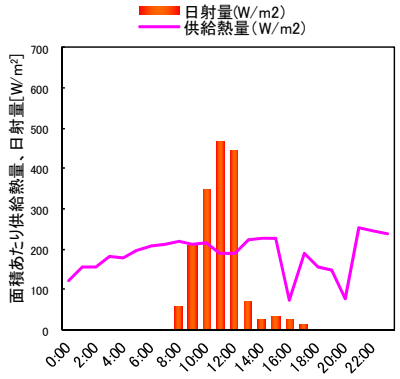


④時間降雪量が非常に多く、気温も低く推移。非ヒーティング部分との差が見られるが、積雪・凍結状態である。

気象状況			熱源		
外気温	−5.3	℃	供給熱量	228	W/m^2
日射量	25.0	W/m^2	総電力	1367	kW
風速	2.0	m/s	路面温度	0.0	℃
降雪量	8.0	cm/h	必要熱量	547	W/m^2

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





【厚別東 RH　路面状況Ｉ】

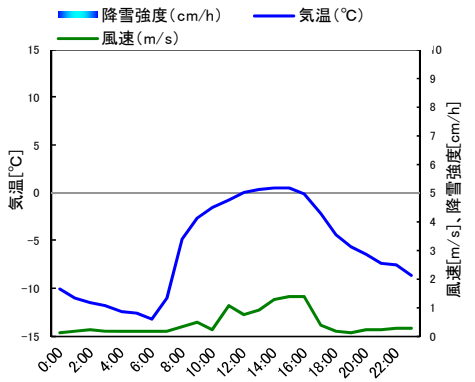
2014/2/24 15:00

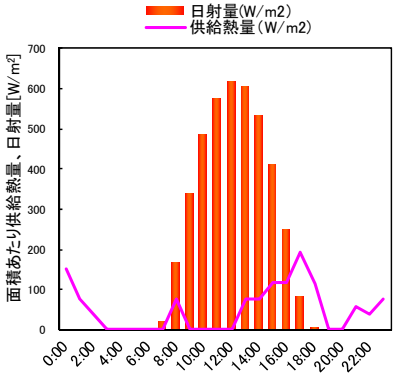


①湿潤状態。一部乾燥部分あり。

気象状況			熱源		
外気温	0.5	℃	供給熱量	116.2	W/m^2
日射量	408.3	W/m^2	路面温度	--	℃
風速	1.6	m/s	必要熱量	0	W/m^2
降雪量	0.0	cm/h			

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





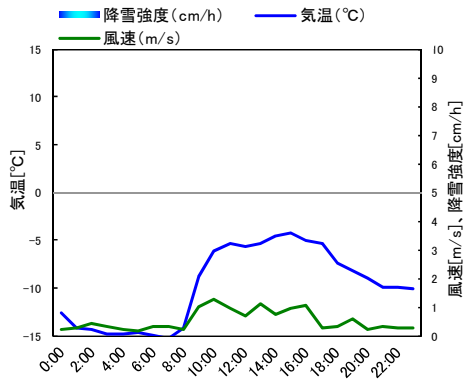
2014/1/18 18:00

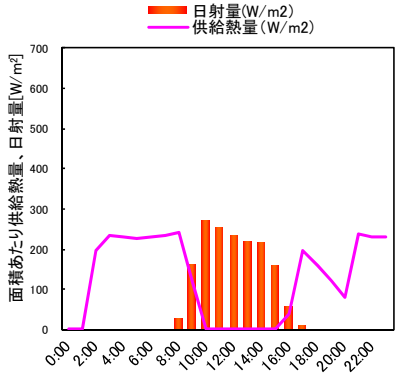


②一部凍結・一部乾燥状態。車両走行部とそれ以外で若干の差がある。

気象状況			熱源		
外気温	-6.5	℃	供給熱量	157.6	W/m^2
日射量	0.0	W/m^2	路面温度	--	℃
風速	0.1	m/s	必要熱量	121	W/m^2
降雪量	0.0	cm/h			

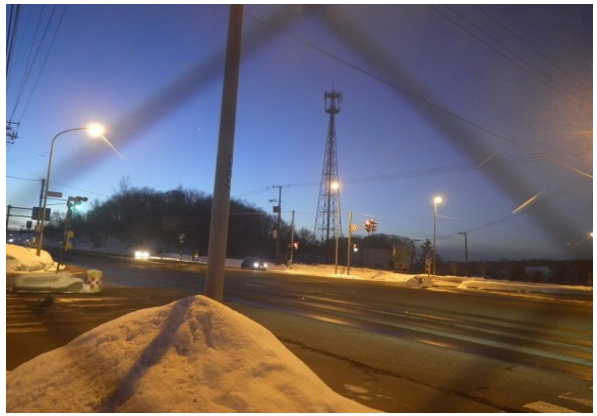
※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





【厚別東 RH　路面状況Ⅱ】

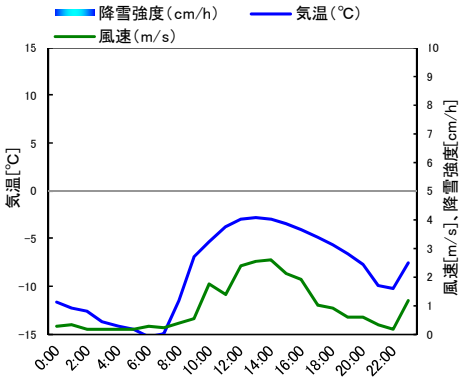
2014/2/12 6:00

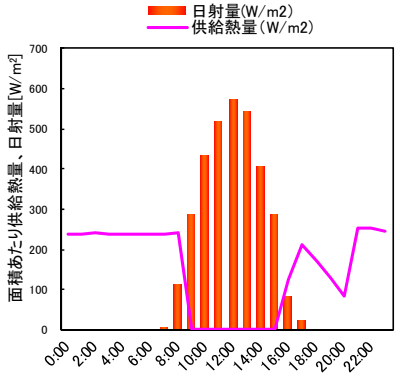


③気温は非常に低いが大部分で乾燥状態である。

気象状況			熱源		
外気温	−15.5	℃	供給熱量	237.5	W/m^2
日射量	0.0	W/m^2	路面温度	--	℃
風速	0.2	m/s	必要熱量	238	W/m^2
降雪量	0.0	cm/h			

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





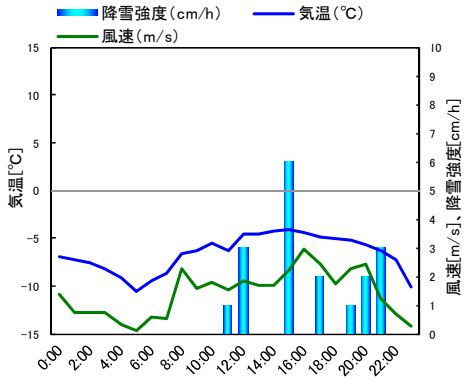
2014/2/13 15:00

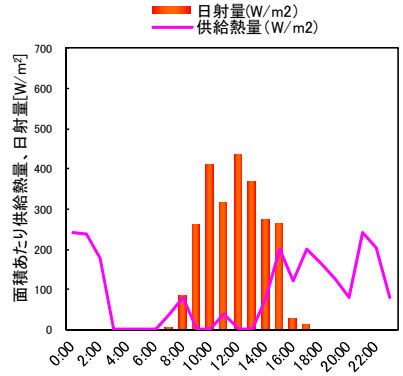


④一日を通して降雪が多い日。積雪・凍結はなく、湿潤状態である。

気象状況			熱源		
外気温	−4.0	℃	供給熱量	200.5	W/m^2
日射量	261.1	W/m^2	路面温度	--	℃
風速	1.5	m/s	必要熱量	408	W/m^2
降雪量	6.0	cm/h			

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





【月寒 RH　路面状況Ⅰ】

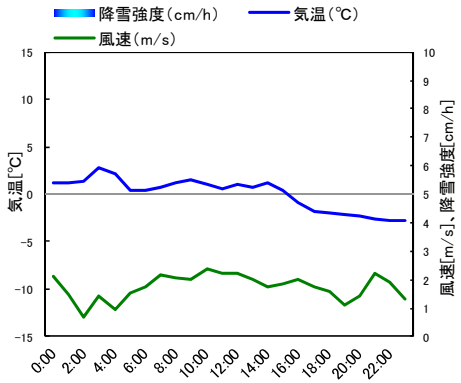
2014/2/28 14:00

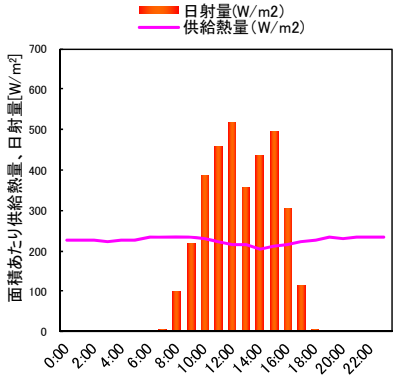


①プラス気温であり乾燥状態である。

気象状況			熱源		
外気温	1.7	℃	供給熱量	199	W/m^2
日射量	433	W/m^2	路面温度	–	℃
風速	1.4	m/s	必要熱量	0	W/m^2
降雪量	0	cm/h			

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





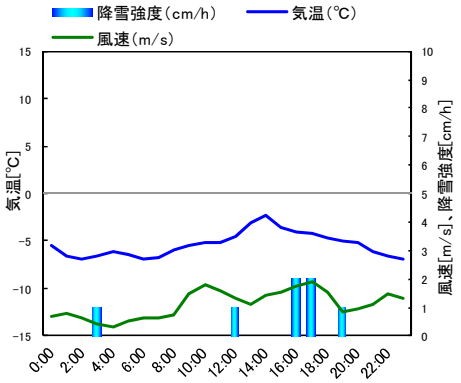
2014/2/13 11:00

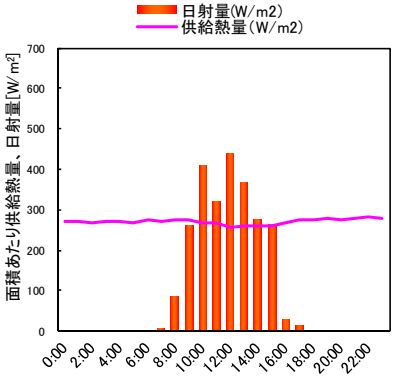


②降雪後であり湿潤状態。凍結はしていない.

気象状況			熱源		
外気温	-4.7	℃	供給熱量	278	W/m^2
日射量	317	W/m^2	路面温度	–	℃
風速	1.7	m/s	必要熱量	121	W/m^2
降雪量	0	cm/h			

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





【月寒 RH　路面状況Ⅱ】

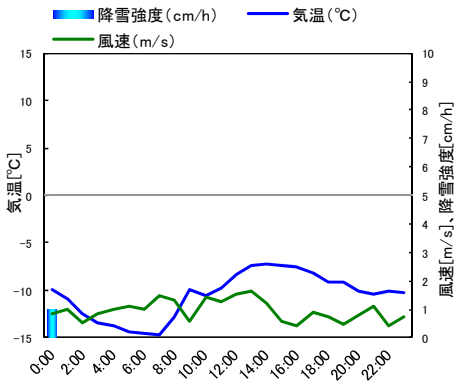
2014/2/8 3:00

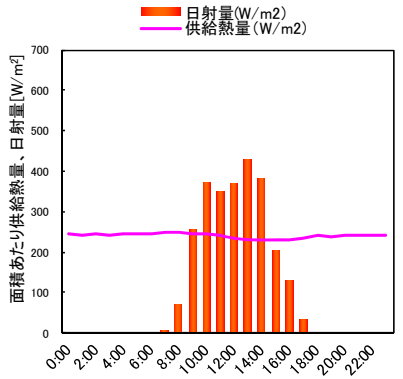


③降雪の後、気温が低く推移。路面は一部圧雪状態である。

気象状況			熱源		
外気温	-13.2	℃	供給熱量	238	W/m²
日射量	0	W/m²	路面温度	-	℃
風速	0.8	m/s	必要熱量	250	W/m²
降雪量	0	cm/h			

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





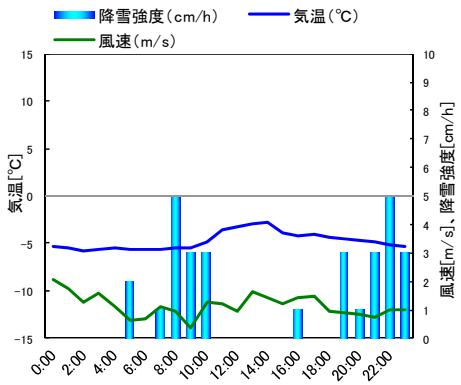
2014/2/21 8:00

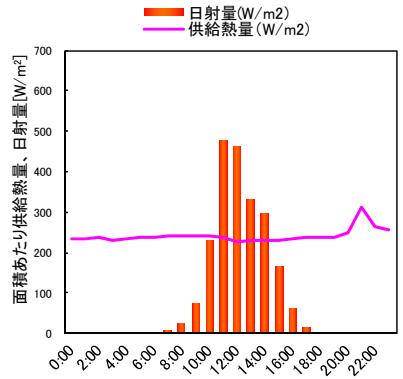


④降雪が非常に多い日の状況。ヒーティング部分は融雪が進んでいる。

気象状況			熱源		
外気温	-5.3	℃	供給熱量	237	W/m²
日射量	22	W/m²	路面温度	-	℃
風速	0.8	m/s	必要熱量	343	W/m²
降雪量	5	cm/h			

※一日の推移（気温、風速、路面温度、降雪強度、日射量、面積あたり供給熱量）





2-3. 分析

既存施設の実態調査で収集した 4 年間のデータを用いて、各種分析を行った。

2-3-1. 必要熱量の分析

過去 4 年間の気象データから必要熱量を推計し分析した。分析にあたっては以下のとおりとした。

表 2-4　必要熱量の分析項目

対象施設	「厚別東 RH」「川沿 RH」「月寒 RH」の 3 箇所
使用する気象データ	「札幌市」のアメダスデータ及び「厚別東 RH」「川沿 RH」「月寒 RH」の気象データ
期間	2011 年度～2014 年度の 12 月から 2 月
分析項目	・必要熱量の累積確率 ・期間を通した面積あたり総必要熱量の推計値（全時間） ・期間を通した面積あたり総必要熱量の推計値（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 時間以内を積算したもの。） ・期間を通した面積あたり総必要熱量の推計値（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 時間以内を積算したもの。） ・必要熱量の推計値毎の発生時間及び発生時間分布 ・最大必要熱量

12 月から 2 月の面積あたりの必要熱量推計結果を表 2-5、表 2-6、図 2-1 に示す。4 年間平均でそれぞれ全時間で 206kWh/m^2、降雪後 48 時間以内の積算で 176kWh/m^2、降雪後 24 時間以内の積算で 138kWh/m^2 という結果となった。気象状況によって大きな差がでており、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、同じ札幌市内及び近郊であっても差が見られるため、ロードヒーティング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詳しく行うことが重要と考えられる。

ここで、必要熱量毎の発生時間を整理したものを図 2-2 に示す。

必要熱量は多くが 70W/m^2 および 140W/m^2 付近に発生しており、全体のほとんどの時間が 250W/m^2 以下となっているため、省エネルギー化の余地は大きいと考えられる。

一方で、250W/m^2 以上も一定量発生しており、設計熱量である 250W/m^2 は適切と考える。

表 2-5　必要熱量推計結果のまとめ

(kWh/m^2)

	2011 平均	2012 平均	2013 平均	2014 平均	全平均
全時間	243.6	241.1	204.9	136.1	206.4
降雪後 48 時間以内	215.5	206.4	183.1	100.2	176.3
降雪後 24 時間以内	160.6	160.3	148.9	80.6	137.6

表 2-6　必要熱量推計結果

	期間必要熱量推計値(kWh/m²)															
	2011				2012				2013				2014			
	札幌	厚別東	川沿	月寒	札幌	厚別東	川沿	月寒	札幌	厚別東	川沿	月寒	札幌	厚別東	川沿	月寒
全時間	265.8	254.2	232.1	222.0	272.7	244.2	228.1	219.2	203.8	240.9	193.6	181.1	134.3	150.2	141.8	118.2
降雪後48時間以内	229.3	233.5	205.1	194.0	248.4	216.5	190.1	170.7	186.9	214.4	162.4	168.8	104.3	96.8	109.8	89.7
降雪後24時間以内	163.1	192.6	149.4	137.3	199.9	172.5	145.1	123.9	153.8	174.9	129.8	136.9	84.7	78.5	89.4	69.8

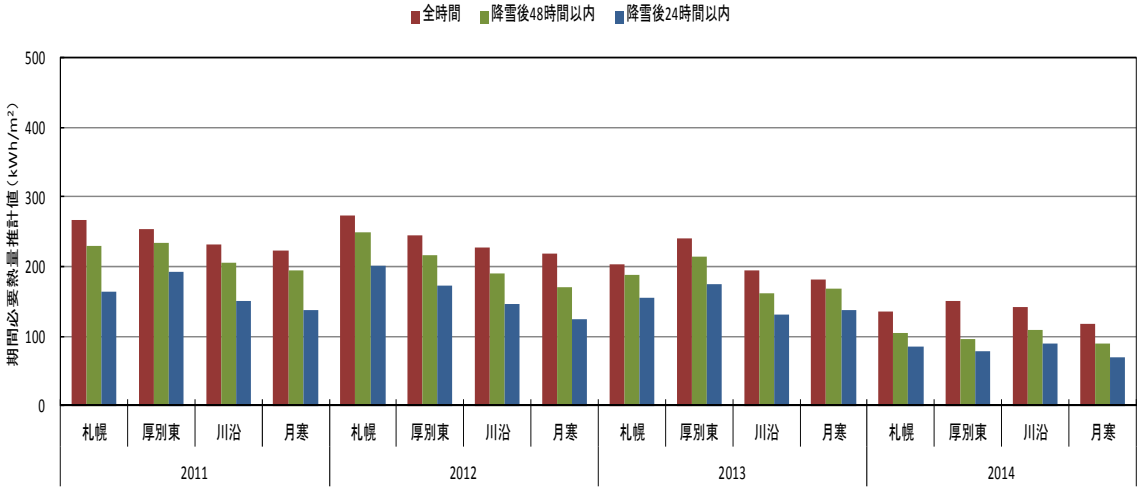


図 2-1　必要熱量推計結果

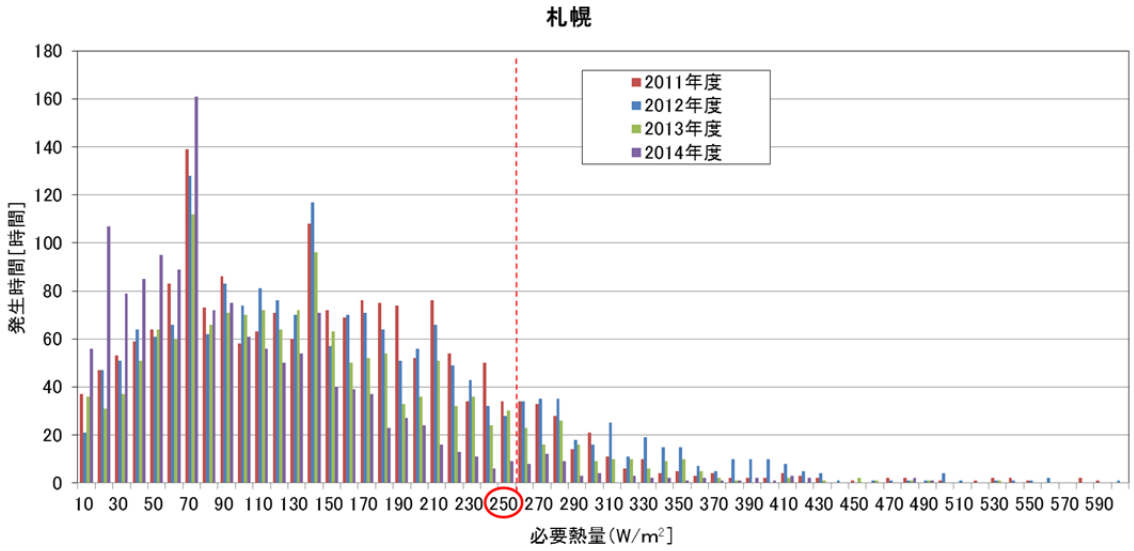


図 2-2　必要熱量毎の発生時間（札幌市アメダスデータによる推計）

2-3-2. 必要熱量と供給熱量実績の比較

必要熱量と供給熱量を比較し、最大限削減可能なエネルギー量を推計した。

ここでは、データが比較的連続的に揃っている電気式の川沿 RH 及び厚別東 RH について実施した。

推計の方法は以下のとおりとした。

対象	:	「川沿 RH（全体)」「川沿 RH（個別盤)」「厚別東 RH」の 3 データ
必要熱量	:	前述の必要熱量のデータと同様、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

	＜川沿 RH＞	＜厚別東 RH＞
2011 年度	1/17～	－
2012 年度	12/25～	12/27～
2013 年度	12/17～	12/24～
2014 年度	12/11～	12/10～

推計方法 :
- 各年度観測期間の 1 時間毎の必要熱量と供給熱量を算出し、それぞれの合計値から削減可能率を推計する。
- 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、熱供給が必要ないと考えられる場合もあるため、必要熱量は降雪後 48 時間以内の積算についても算出する。

推計の結果を表 2-7 に示す。削減可能率［１－（必要熱量／供給熱量)］は、地点や年度により、8～45%、全体平均では 25%となった。例としては、必要熱量が 100W/m^2 であるところに、設計熱量である 250W/m^2 が供給されている時間帯があるということであり、この部分で削減の余地があると考えられる。

観測を行った 4 年間の気象状況にはばらつきがあり、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特に大きくなっている。これは融雪及び凍結防止のために熱供給が必要であっても、設計熱量である 250W/m^2 までは必要でない時間帯が多くあったためであり、逆に気象状況が厳しい 2012 年度などはその差が小さくなっている。

本推計は観測期間内で行ったが、比較的気温の高い 12 月上旬以前や 3 月上旬以降もロードヒーティングが稼働している場合は、削減可能率はさらに大きくなると考えられる。

表 2-7　必要熱量と供給熱量の比較

川沿 RH（全体）7,827m²　　単位:kWh/m²

年　度	全必要熱量(A)	全必要熱量(B)（降雪後 48 時間以内）		供給熱量(C) 削減可能率(1-A/C) （全必要熱量に対応）	供給熱量(D) 削減可能率(1-B/D) （降雪後 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%
削減可能率の平均				33%	31%

川沿 RH（個別盤）88.2m³　　単位:kWh/m²

年　度	全必要熱量(A)	全必要熱量(B)（降雪後 48 時間以内）		供給熱量(C) 削減可能率(1-A/C) （全必要熱量に対応）	供給熱量(D) 削減可能率(1-B/D) （降雪後 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%
削減可能率の平均				25%	23%

厚別東 RH 5,200m²　　単位:kWh/m²

年　度	全必要熱量(A)	全必要熱量(B)（降雪後 48 時間以内）		供給熱量(C) 削減可能率(1-A/C) （全必要熱量に対応）	供給熱量(D) 削減可能率(1-B/D) （降雪後 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%
削減可能率の平均				19%	17%
削減可能率の全体平均				25%	

2-3-3. 都市ごとの必要熱量の比較

北海道内の各都市の気象状況から、必要熱量を推計し、地域ごとの特性を把握した。

【推計方法等】

・北海道内主要都市の 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、気象庁アメダス 1 時間データ×6 年分（2008 年度～2013 年度）とした。

・対象都市は、札幌市、旭川市、小樽市、帯広市、釧路市、函館市とした。

・必要熱量は、気温・風速・降雪強度の 3 つのパラメータにより推計されるが、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、外気温がマイナス帯であっても熱供給が必要ない場合も考えられることから、2-3-1 と同様に以下の 3 方法で必要熱量の推計を行った。

全時間	：全ての必要熱量推計値
降雪後 48 時間以内	：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 時間以内を積算
降雪後 24 時間以内	：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 時間以内を積算

・必要熱量の推計値が、ロードヒーティングの設計熱量以上となった年平均時間数を求めた。なお、各都市の設計熱量は、旭川市、帯広市、釧路市は 300W/㎡、札幌市、小樽市は 250W/㎡、函館市は 200W/㎡として算出した。

各都市の冬季平均気温と降雪量合計値は図 2-3 のとおりである。

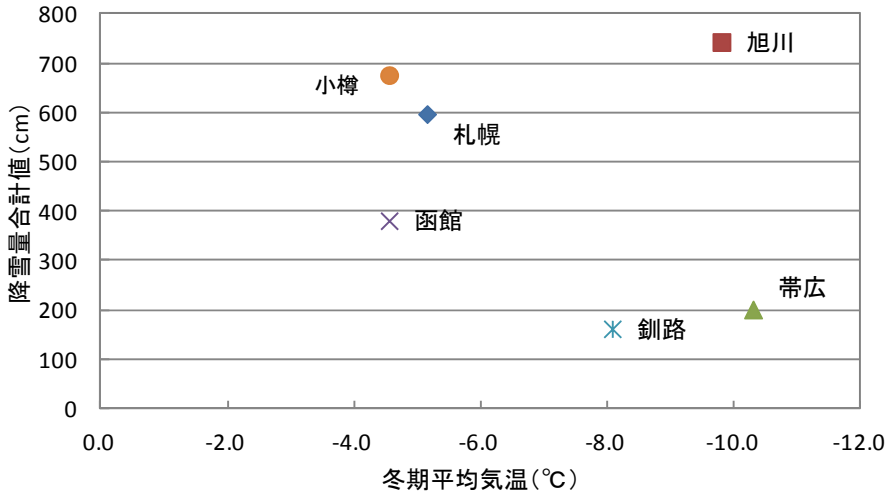


図 2-3　主要都市の冬季平均気温と降雪量合計値（ともに平年値）

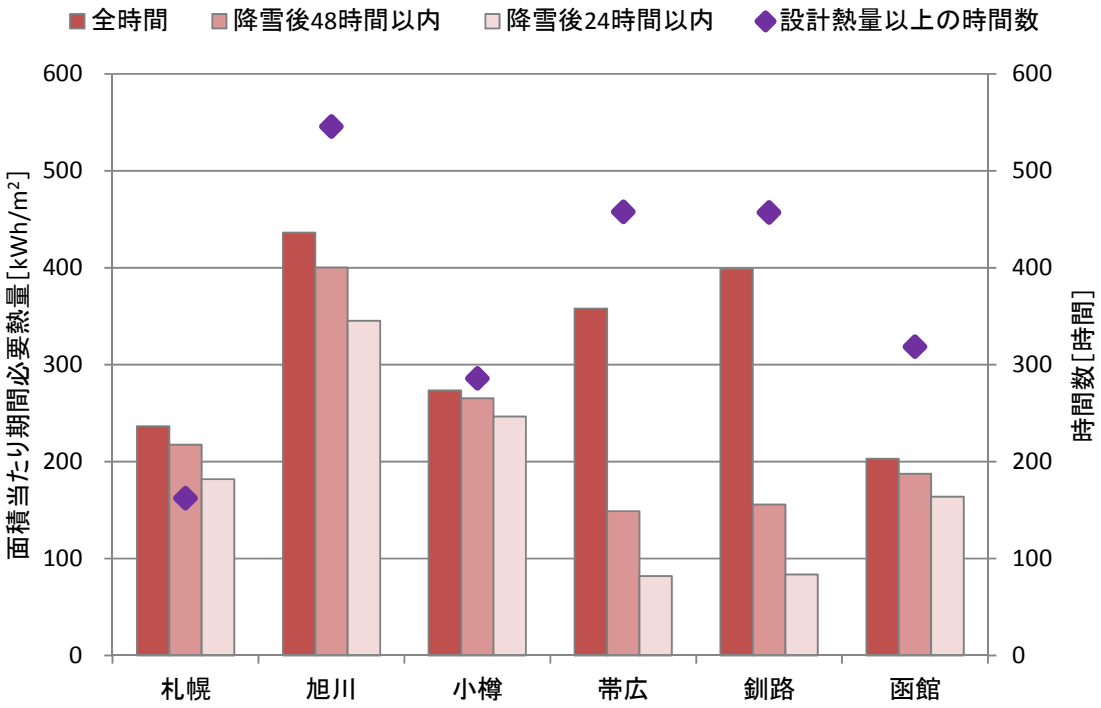
各都市の必要熱量推計結果を図 2-4 に示す。（詳細は P37 参照。）

他都市と比べて旭川市で数値が大きくなっている。これは、降雪が多く、気温が低いためである。

釧路市や帯広市は降雪量が少なく、外気温が低いため、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。このような気象状況の都市では、乾燥を考慮することでロードヒーティングの停止時間を長くすることが可能と考えられる。

設計熱量以上の時間数は札幌市が最も小さくなっている。これは設計熱量である 250W/m^2 の熱量でカバーできる時間が長いことを表している。

この地域特性の分析結果は、後述するロードヒーティングの省エネルギー化の手法や再生可能エネルギーの利用規模検討に活用できる。



項　目	単　位	札幌	旭川	小樽	帯広	釧路	函館
設計熱量以上の時間数	時間	162	546	286	458	457	319
全時間	kWh/m^2	237	436	274	358	399	203
降雪後48時間以内	kWh/m^2	218	400	265	149	156	187
降雪後24時間以内	kWh/m^2	182	345	247	82	83	164

図 2-4　主要都市の必要熱量推計結果

2-3-4. ベース負荷（再生可能エネルギーによる供給熱量）の検討

ここでは、再生可能エネルギーをロードヒーティングの熱源として利用することを想定し、そのベース負荷(再生可能エネルギーによる供給熱量)を検討する。イメージを図 2-5 に示す。

地中熱などの再生可能エネルギーをロードヒーティングの熱源として利用することで、環境負荷低減・省エネルギー効果が期待されるが、需要の変動に対する応答性は電熱方式などと比較して悪くなる。またベース負荷を大きく設計するとイニシャルコストが増大してしまう。そこで、融雪期間をとおして発生時間の長い必要熱量をベース負荷とし、この熱量で不足する時間帯にはガスボイラーなどの補助熱源を併用するシステムとすることで、再生可能エネルギーによる熱供給を長時間続けることが可能となる。システム効率及び設備稼働率の向上が図られ、採算性の面からも優位性が高まると考えられる。

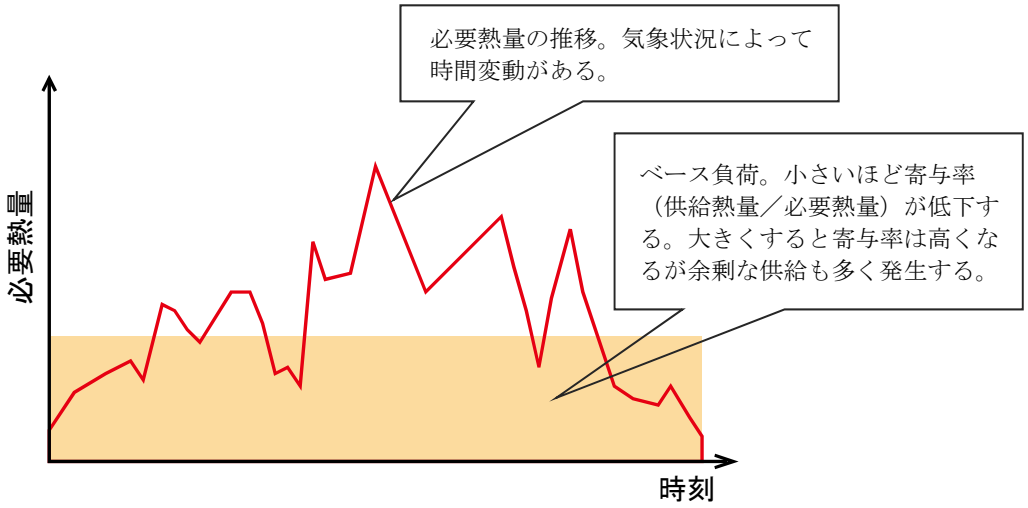


図 2-5　ベース負荷のイメージ

具体的な検討手法は、以下のとおりである。

●必要熱量の出現率は気象状況によって異なる。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 地点の気象データを使用している。1 時間ごとの計算を行い、対象月は 12 月～2 月とする。

●データから推計した必要熱量を各年度、累積出現率で整理する。ここでの累積出現率とは、12/1～2/28 の時間ごとの必要熱量を小さい値順に並び替え、全体（2,160 時間）に対しての出現率を積み上げたものである。例えば、累積出現率 90%の必要熱量が 250W/m^2 であるということは、3 ヶ月間の 90%の時間は必要熱量が 250W/m^2 以下であることを表す。

なお、必要熱量 0W/m^2 は除外して整理している。

この手法に従い累積出現率 100%までを 6 区分した各累積出現率における必要熱量を図 2-6 に示す。図中の数値は各累積出現率における必要熱量の平均値であり、曲線はこの平均値から求めた近似式である。累積出現率の高い側にベース負荷を設定すると、必要熱量が急激に大きくなることが分かる。

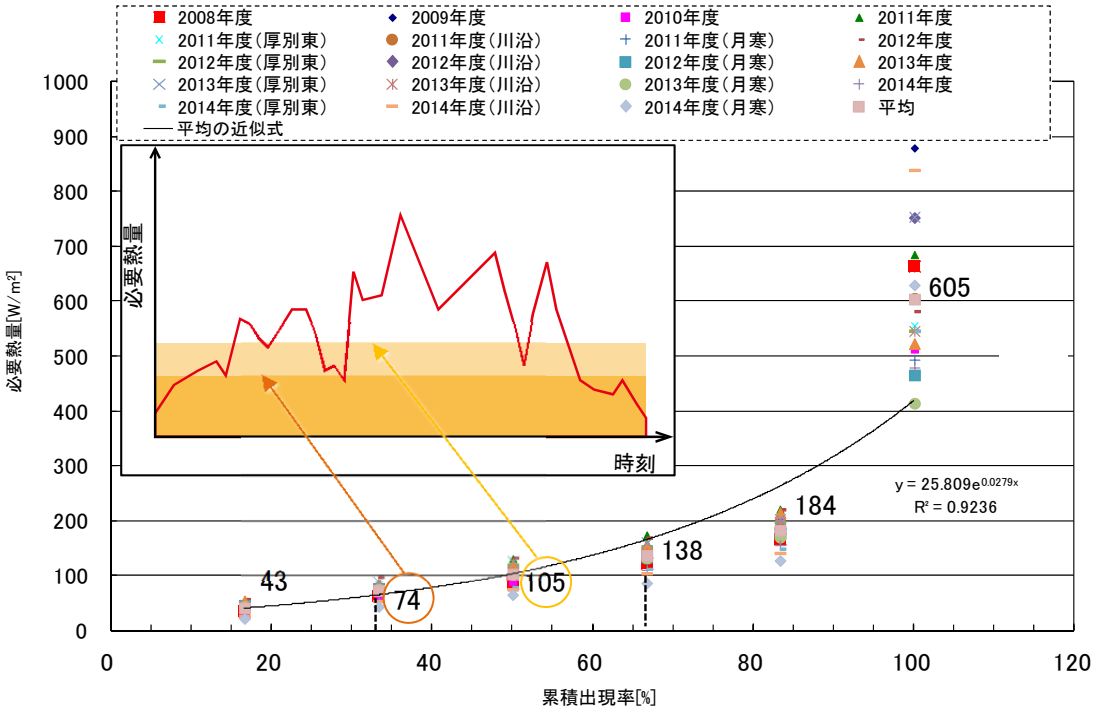


図 2-6　累積出現率毎の必要熱量

ここで、ベース負荷を累積出現率 33.3%の 74W/m² とした場合と、累積出現率 50%の 105W/m² とした場合において、現行の設計熱量 250W/m² でカバーできる時間帯に対して、ベース負荷による熱供給が満足する時間帯の割合を供給割合として推計した。ベース負荷を 74W/m² に設定（設計熱量 250W/m² の約 30%に相当）すると供給割合は 62%程度、105W/m² に設定（設計熱量 250W/m² の約 42%に相当）すると供給割合は 75%程度となった（詳細は P41 参照）。この程度の熱量をベース負荷とすることが有効と考えられる。

第3章 効率的な維持管理手法の提案

3-1. 維持管理手法に関わる提案

3-1-1. 断続運転

現在、既存の電気式ロードヒーティングでは、融雪用電力Ｂの契約上、夜間に 15 分×8 回（5 時間中に 2 時間）停止する断続運転を行っている。路面の状態把握や路面温度の測定結果から、この断続運転中に路面温度がマイナスになり路面が凍結するという状況が発生する頻度は非常に少ない。路面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ルギー効果が期待できる。

ここでは、以下の条件の下、川沿 RH を対象に削減効果をシミュレーションした。

・使用する気象データの対象期間は 12/26～2/28 とし、融雪用電力Ｂの電力料金と二酸化炭素排出原単位はそれぞれ以下とする。

電力量料金　15.89 円/kWh（北海道電力　融雪用電力Ｂ　H27.4～）

二酸化炭素排出原単位 0.681kg-CO_2/kWh（北海道電力値）

・16～21 時は既に断続運転となっているため、この時間帯以外を削減効果の推計対象とする。

・必要熱量＜供給熱量となっている時間帯に断続運転を行ったと仮定し、1 時間ごとの削減可能なエネルギー量を推計する。

・推計の結果、供給熱量が必要熱量を下回る時間帯においては、元の供給熱量とする（断続運転の影響で、融雪不可や凍結が起きないようにするため）。

・断続運転のシミュレーションは、以下の 3 パターンとする。

表 3-1　シミュレーションパターンの設定

番号	運転率	停止率	1時間あたりの停止時間	備考
①	0.5	0.5	30分	10分×3回など
②	0.6	0.4	24分	8分×3回など
③	0.8	0.2	12分	6分×2回など

シミュレーションの結果を表 3-2、図 3-1 に示す。

４年間平均の削減料金は 440～680 千円/年、二酸化炭素削減効果は 19～29t-CO_2/年となった。

表 3-2　断続運転の融雪シミュレーション結果（川沿 RH）

	供給熱量	パターン①	パターン②	パターン③
2011 合計（MJ/m^2）	666.5	567.8	557.8	585.2
2012 合計（MJ/m^2）	832.3	661.9	663.8	722.0
2013 合計（MJ/m^2）	810.0	663.1	663.5	713.9
2014 合計（MJ/m^2）	794.3	595.9	617.6	683.8
平均（MJ/m^2）	775.8	622.2	625.7	676.2
削減率		20%	19%	13%
削減料金(千円)		678	663	439
CO_2削減効果(t-CO_2/年)	－	29	28	19

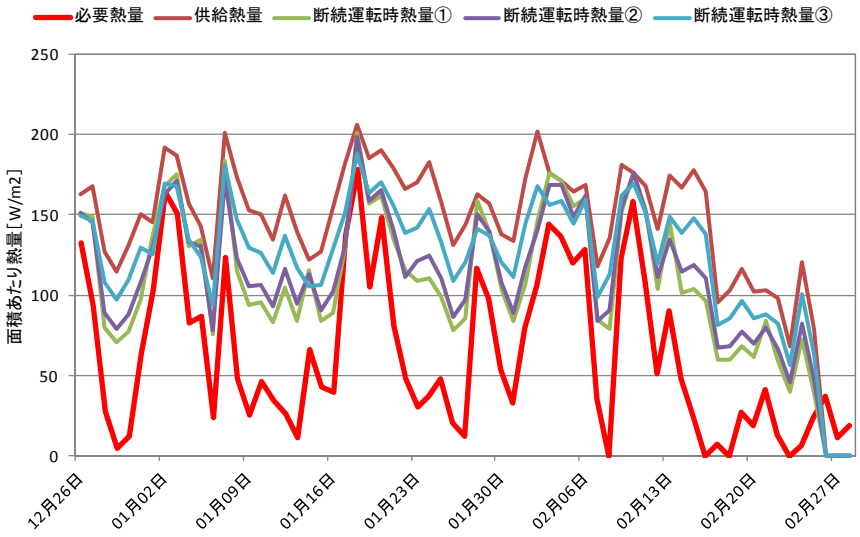


図 3-1　断続運転効果のシミュレーション結果（2014 年度）

また、日射の活用と断続運転の組み合わせについてシミュレーションを行った(詳細は P42 を参照)。ここでは、“日射のエネルギーと断続運転による熱量の和が必要熱量を超えている場合、断続運転を実施する”という想定で、前述と同様に断続運転の効果についてシミュレーションした。日射を考慮した断続運転効果のシミュレーション結果について表 3-3 に示す。

日射の活用を考慮することにより、削減率が 5%程度向上する結果となった。

既存施設の実態調査からも、日射が有るときの日中の融雪の促進は確認されていることから、日射を考慮した断続運転は有効と考える。ただし、周辺建物及び走行車両などによる日影の影響には留意する必要がある。

表 3-3　日射を考慮した断続運転効果のシミュレーション結果

項目	供給熱量	パターン① (停止率 0.5)	パターン①’ (左記のパターンに 日射を考慮)
2011 合計 (MJ/m^2)	666.5	567.8	524.5
2012 合計 (MJ/m^2)	832.3	661.9	624.5
2013 合計 (MJ/m^2)	810.0	663.1	619.5
2014 合計 (MJ/m^2)	794.3	595.9	565.6
平均 (MJ/m^2)	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-CO2/年)		29	36

3-1-2. 各種センサーの設置位置

融雪施設の制御においては、気象状況や路面状況に応じた制御を行う必要があり、各種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”の設置状況を確認したところ、薄層舗装によりセンサーが不適切な状態になっている箇所や設置位置が不適切なものが見られた（図 3-2、3-3）。

図 3-2（左）は路面と同一レベルに設置されているセンサーである。図 3-2（右）は薄層舗装によりセンサー面が路面レベル以下になった状態で、降雪や融雪水が溜まることで走行部は乾燥した状態であっても路面湿潤（水分）センサーが水を感知する可能性がある。また路面温度センサーについても溜まり水の温度を計測することが考えられる。

図 3-3（左）はセンサーが路面レベル以上になった状態であり、除雪時に除雪装置によって破損する懸念がある。図 3-3（右）は図 3-2（右）と同様にセンサーが路面レベル以下になっており、水没する可能性がある。

また、除雪した雪が堆積する可能性のある路肩近傍や、車両走行部に設置されたものなどがあった。これらはシステムの誤動作やセンサー故障の要因となる。

融雪施設の効率的な運用にあたっては、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が必要となる。

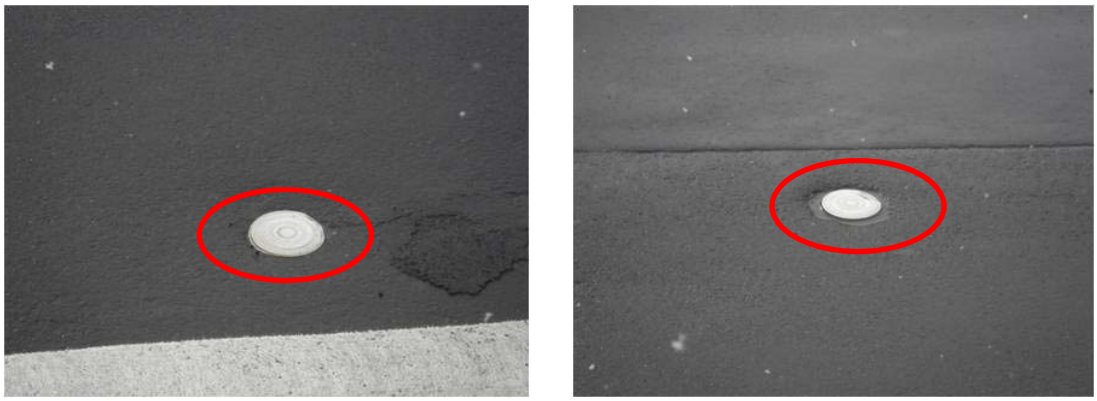


図 3-2　路面センサーの設置状況①



図 3-3　路面センサーの設置状況②

第4章 再生可能エネルギーの利用

4-1. 再生可能エネルギー利用に関する提案

地球温暖化対策や低炭素社会の実現、昨今の電力不足への対応のため、省エネルギーかつ二酸化炭素排出量が小さい再生可能エネルギーをロードヒーティングの熱源に利用することは有効である。

再生可能エネルギーには主に図 4-1 に示すものがあり、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評価した。

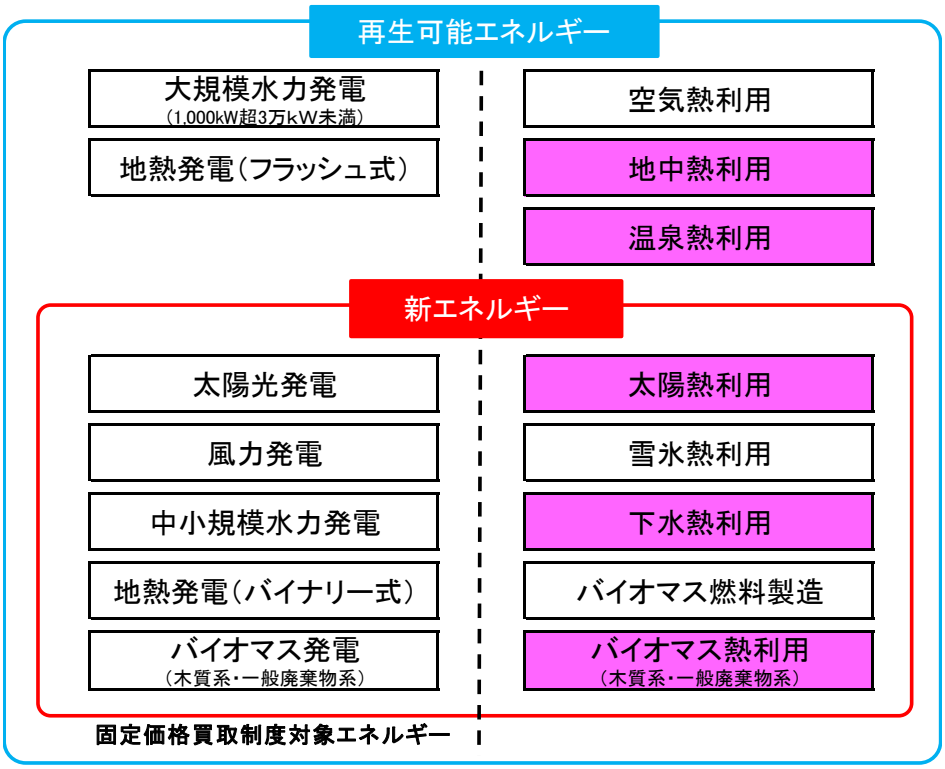


図 4-1　再生可能エネルギーの代表例

評価した結果を表 4-1 に示す。

ロードヒーティングでの利用に関しては、地中熱と下水熱が有効と考えられる。

地中熱と下水熱は以下の特性から、設置の制約上の双方の短所を補うことができるものと思われ、周辺の土地利用状況により熱源を選択することで、それぞれの有効性が見出せるものと考える。

【地中熱】：ボアホール設置のための用地は、郊外では比較的容易に確保できるものの、住宅地や商業地では物理的、コスト的に課題がある。

【下水熱】：冬季の水温は 10℃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%程度に留まる。このため、利用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、郊外での利用には課題がある。

表 4-1　再生可能エネルギー総合評価

項目	太陽熱	地中熱	下水熱	温泉熱	バイオマス熱
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、一ケ月の 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接地面積が必要となる場合もある。 ・補助熱源ボイラーの併用となるため、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 等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)の検討が容易になる。	・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。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。 ・自然木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、熱源機機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、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）

4-1-1. 地中熱ヒートポンプシステム

地中熱によるロードヒーティングの設備規模推計を行った。現実的なモデルとして、以下の諸元及びシステム案を設定した。

再生可能エネルギーの利用規模は 2-3-4 のベース負荷の 2 パターンとし、ピーク負荷対応としてはガスボイラーを想定した。

【設定諸元】

対象地域	:	札幌市
ヒーティング面積	:	1,000m^2
設備全体容量	:	250kW（1,000 m^2×250W/m^2）
再生可能エネルギー利用規模	:	ベース負荷①出力 74kW（1,000 m^2×74W/m^2）
		ベース負荷②出力 105kW（1,000 m^2×105W/m^2）
推計上の想定耐用年数	:	機器設備関連 20 年、土木建築（ボアホールなど含む）50 年
想定稼働時間	:	1,000 時間/年

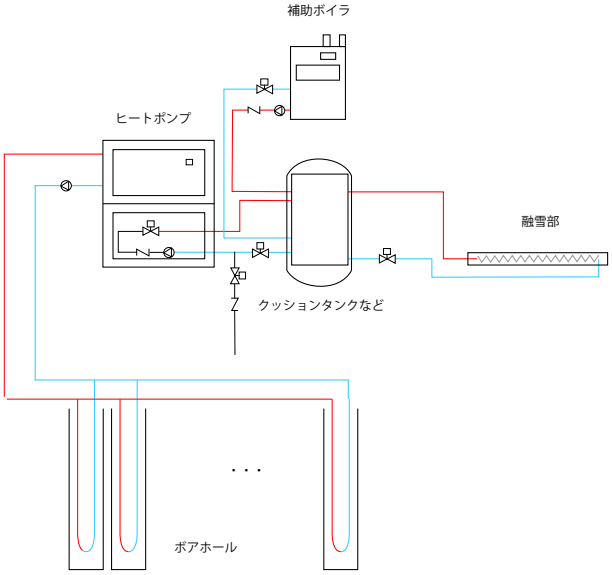


図 4-2　地中熱ヒートポンプシステム案

表 4-2　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
ベース負荷①	74	W/m^2
ベース負荷②	105	W/m^2
供給路面面積	1000	m^2
ベース負荷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②出力	105	kW
必要地中熱交換器（ボアホール）本数	20	本

4-1-2. 下水熱ヒートポンプシステム

下水熱によるロードヒーティングの設備規模推計を行った。4-1-1 と同じ設定諸元等とし、以下のシステム案を設定した。

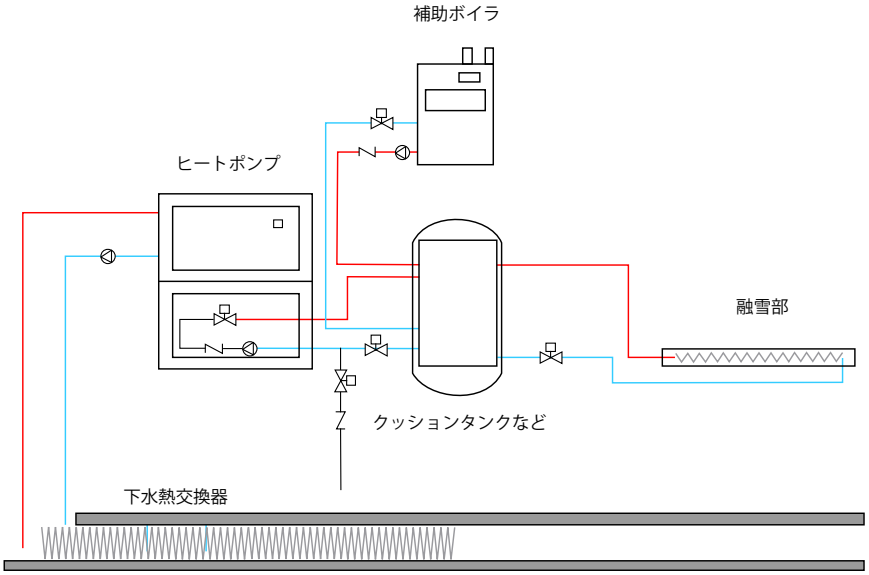


図 4-3　下水熱ヒートポンプシステム案

表 4-3　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
想定 A（上流側は 20ha、1000 人程度を想定）		
下水温度	10	℃
流量	0.01	m^3/s
出力あたり必要下水管延長①	1.5	m/kW
想定 B（A よりも流量が多く水温も高い場合）		
下水温度	12	℃
流量	0.03	m^3/s
出力あたり必要下水管延長②	1.1	m/kW
ベース負荷①	74	W/m^2
ベース負荷②	105	W/m^2
供給路面面積	1000	m^2
ベース負荷①出力	74	kW
必要下水管延長（想定 A）	111	m
必要下水管延長（想定 B）	81.4	m
ベース負荷②出力	105	kW
必要下水管延長（想定 A）	157.5	m
必要下水管延長（想定 B）	115.5	m

4-1-3. 経済性・環境性比較

前述の規模設定に従って、経済性について推計した結果を表 4-4 から表 4-8 に示す。それぞれイニシャルコストを概略推計し、設定した耐用年数から算出した減価償却費と、電気料金などのランニングコストから年間コストを算出した。

ベース負荷②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。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、今後の技術の動向により大きくコストダウンする可能性がある。

表 4-4　イニシャルコスト推計結果（地中熱）

項目	単位	ベース負荷① (74W/m^2)	ベース負荷② (105W/m^2)	備考
ボアホール	千円	16,800	24,000	ボアホール 12 千円/m で設定
ヒートポンプ	千円	9,700	13,700	30kW/台タイプの出力当たり単価で設定（約 100 千円/kW）
盤関連	千円	5,000	5,000	一式
その他付帯設備	千円	970	1,370	一式
機械室	千円	3,000	3,000	20m^{2}程度　地上式
ヒーティングパイプ及び舗装	千円	17,300	17,300	一式
熱源機器（ガス式）	千円	2,670	2,670	ガスボイラー
合計	千円	55,440	67,040	

※直接工事費であり各種経費は含めていない（以下共通）
※制御方法・ブロック割りなどにより付帯設備の金額は大きく変動する可能性がある（以下共通）

表 4-5　トータルコスト推計結果（地中熱）

項目		単位	ベース負荷① (74W/m^2)	ベース負荷② (105W/m^2)	備考
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	

表 4-6　イニシャルコスト推計結果（下水熱）

項目	単位	ベース負荷① (74W/m²)	ベース負荷② (105W/m²)	備考
下水管熱交換器	千円	21,400	30,400	
ヒートポンプ	千円	9,700	13,700	30kW/台タイプの出力当たり単価で設定（約 100 千円/kW）
盤関連	千円	5,000	5,000	一式
その他付帯設備	千円	970	1,370	一式
機械室	千円	3,000	3,000	20m² 程度　地上式
ヒーティングパイプ及び舗装	千円	17,300	17,300	一式
熱源機器（ガス式）	千円	2,670	2,670	ガスボイラー
合計	千円	60,040	73,440	

表 4-7　トータルコスト推計結果（下水熱）

項目		単位	ベース負荷① (74W/m²)	ベース負荷② (105W/m²)	備考
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	

※下水管更生の際の導入を想定し、下水管本体の工事費は考慮していない

表 4-8　トータルコスト推計結果（電気式）

項目	単位	全負荷電気式 250kW	備考
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	

※電気式のイニシャルコストは 20,100 千円で想定

表 4-9　地中熱及び下水熱による二酸化炭素排出量削減効果

項目	単位	ベース負荷① (74W/m²)	ベース負荷② (105W/m²)
運転時間	時間	1,000	
削減効果	kWh	55,500	78,750
二酸化炭素排出量削減効果	t-CO_2	38	54

4-1-4. 路肩ヒーティングへの再生可能エネルギー利用

参考として、札幌市内の国道の一部で実施されている路肩ヒーティングについて、再生可能エネルギーである地中熱と下水熱を利用した場合の融雪シミュレーションを行い、その有効性を検討した。

実態調査から、必要熱量の大きな値は、主に降雪強度が非常に強い時間帯に発生することがわかった。このような場合に、降雪全てを融解するには、その熱量を供給できる規模の融雪システムを設置しなければならない。

路肩ヒーティングは、通常、車や人が通行する通行帯は除雪を行うことで路面管理し、この除雪によって路肩に堆積された雪を融解するものである。堆雪量を小さくすることにより、有効幅員確保や交差点における視認性向上とともに、拡幅や排雪にかかるコストの削減が期待できる。また、車道全面のロードヒーティングに比べ、融雪面積及び設備容量（w/m^2）を小さくできるため、融雪システムの規模も縮減できる。さらに、厳冬期においてほぼ停止させる必要がないため、この熱源に再生可能エネルギーを利用するメリットは大きいと考えられる。

ここでは、まず一定幅の路肩に歩車道の雪を堆積し、かつ再生可能エネルギーによって熱供給を行うことを想定して、堆雪の高さをシミュレーションした。また、その時の設備規模を推計し、留意点について整理した。

＜路肩ヒーティングによる堆雪高さシミュレーション＞

以下では、ロードヒーティング幅 1.75m に雪を幅 1.5m で堆積することを想定し、100W/m^2 と 150W/m^2 を一定で供給した場合の堆雪高さの推移をシミュレーションした。

本試算は、表 4-10 の条件で行った。試算には過去 30 年間の気象庁アメダスデータを用いた。道路幅は車道 9.75m・歩道 4m とし、試算の上では融雪幅部分には積雪はないものとし、道路幅から融雪幅を差し引いた部分から除雪した雪を、堆雪幅に積むものとした。

シミュレーションフローと結果を図 4-4、表 4-11 に示す。

供給熱量が 100W/m^2 の場合では、堆雪高さ（平均）が 1m を超える年度が発生するが、供給熱量が 150W/m^2 の場合では 0.5m 以下程度に抑えられている結果となった。

表 4-10　試算条件

試算条件		
総道路幅	13.75	m
ロードヒーティング幅	1.75	m
除雪基準積雪深	10	cm
除雪時雪密度	0.1	t/m^3
堆雪時雪密度	0.3	t/m^3
ロードヒーティング供給熱量	① 100	W/m^2
	② 150	W/m^2
対象	1981年～2013年 各12月～3月	
使用データ	気象庁アメダス 日データ（札幌）	

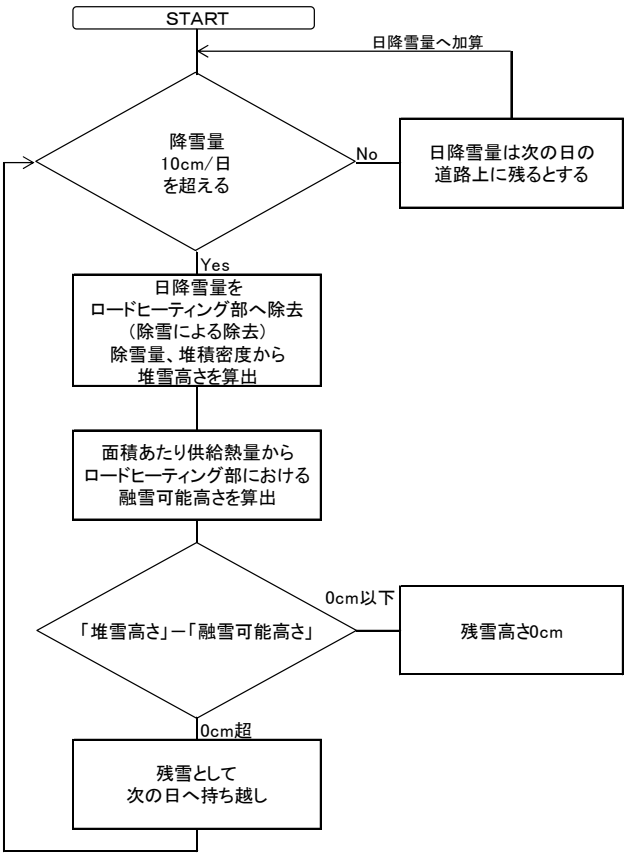


図 4-4　堆雪高さシミュレーションフロー

表 4-11　堆雪高さシミュレーション結果

試算条件①　ロードヒーティング
供給熱量100W/m^2

【堆雪高さ】　単位：cm

年度	1位	2位	3位	平均
1981年度	141.1	132.5	129.3	44.5
1982年度	155.0	153.6	148.8	38.7
1983年度	136.8	129.3	128.2	45.8
1984年度	160.2	157.2	152.2	59.2
1985年度	128.0	119.4	114.6	43.6
1986年度	140.7	135.5	135.3	56.7
1987年度	93.6	85.0	85.0	24.4
1988年度	136.3	133.0	128.6	32.8
1989年度	135.9	129.7	127.3	46.7
1990年度	339.7	331.0	322.4	156.3
1991年度	144.9	136.3	127.7	23.6
1992年度	95.0	86.4	79.2	17.7
1993年度	265.4	256.7	248.1	98.4
1994年度	79.5	78.0	70.9	18.6
1995年度	312.9	312.4	305.1	187.7
1996年度	127.7	119.1	110.4	24.8
1997年度	69.8	65.8	64.5	17.5
1998年度	129.5	123.9	122.7	70.1
1999年度	120.3	111.7	103.1	31.0
2000年度	90.6	87.9	82.0	17.7
2001年度	179.2	178.0	170.6	56.6
2002年度	68.8	66.7	66.3	14.2
2003年度	211.8	203.1	194.5	76.1
2004年度	266.1	257.5	254.4	166.2
2005年度	107.3	107.2	106.1	36.6
2006年度	104.6	96.0	95.7	35.0
2007年度	107.3	107.2	106.1	36.8
2008年度	199.8	198.6	191.2	95.3
2009年度	92.3	83.6	79.4	20.6
2010年度	131.3	122.7	114.1	27.5
2011年度	72.3	63.7	61.8	12.7
2012年度	238.3	232.9	229.7	157.1
2013年度	149.0	140.4	131.8	49.7

試算条件②　ロードヒーティング
供給熱量150W/m^2

【堆雪高さ】　単位：cm

年度	1位	2位	3位	平均
1981年度	93.0	80.1	67.1	16.4
1982年度	136.4	133.4	132.6	17.7
1983年度	80.1	77.2	76.3	13.8
1984年度	74.8	61.8	58.8	11.7
1985年度	93.0	88.8	80.1	14.8
1986年度	112.8	107.1	99.9	16.8
1987年度	85.0	72.1	72.1	12.5
1988年度	105.6	92.6	85.5	13.9
1989年度	94.1	81.2	69.1	12.7
1990年度	119.8	113.2	112.4	35.2
1991年度	127.7	114.8	101.8	10.2
1992年度	41.9	36.3	36.2	5.9
1993年度	187.8	175.5	174.8	38.4
1994年度	60.2	56.5	54.1	7.8
1995年度	166.0	160.6	159.4	47.9
1996年度	101.8	88.9	76.0	11.4
1997年度	60.2	53.4	47.3	8.1
1998年度	117.4	104.4	91.5	17.8
1999年度	98.8	85.8	82.3	13.0
2000年度	79.3	69.0	66.3	8.5
2001年度	162.0	152.1	149.0	20.5
2002年度	54.5	53.8	49.2	6.7
2003年度	143.8	133.0	130.9	22.6
2004年度	151.6	138.7	125.8	26.0
2005年度	94.1	93.4	93.4	16.7
2006年度	74.3	66.3	61.4	12.0
2007年度	94.1	93.4	93.4	16.8
2008年度	102.1	101.0	89.2	23.8
2009年度	68.2	55.3	42.3	6.4
2010年度	75.3	62.4	58.8	9.1
2011年度	44.2	44.2	43.5	5.0
2012年度	142.4	129.5	116.5	26.8
2013年度	88.6	76.0	75.7	12.5

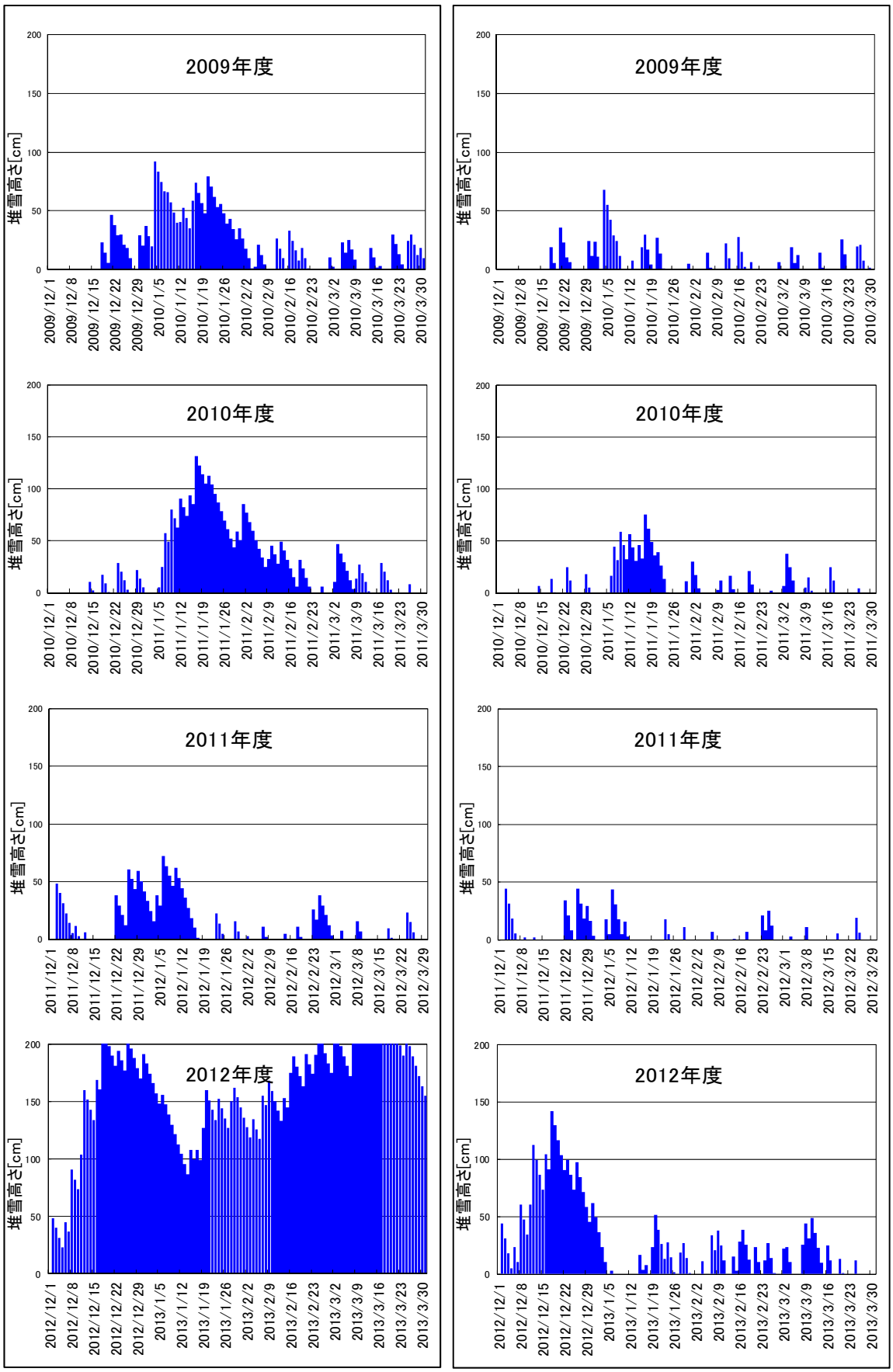


図 4-5　路肩ヒーティングへの再生可能エネルギー熱供給による堆雪高さ推計結果

（左：100W/m^2、右：150W/m^2）

供給熱量が 100W/m²、150W/m²の場合の地中熱及び下水熱の設備規模を推計した結果を表 4-12、表 4-13 に示す。なお融雪面積は 1,000m² とした。これはロードヒーティング幅 1.75m×2（両側）として延長が 286m の規模である。

表 4-12　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
供給熱量①	100	W/m²
供給熱量②	150	W/m²
供給路面面積	1000	m²
供給熱量①出力	100	kW
必要地中熱交換器（ボアホール）本数	19	本
供給熱量②出力	150	kW
必要地中熱交換器（ボアホール）本数	29	本

表 4-13　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
想定 A(上流側は 20ha、1000 人程度を想定)		
下水温度	10	℃
流量	0.01	m³/s
出力あたり必要下水管延長①	1.5	m/kW
想定 B(A よりも流量が多く水温も高い場合)		
下水温度	12	℃
流量	0.03	m³/s
出力あたり必要下水管延長②	1.1	m/kW
供給熱量①	100	W/m²
供給熱量②	150	W/m²
供給路面面積	1000	m²
供給熱量①出力	100	kW
必要下水管延長（想定 A）	150	m
必要下水管延長（想定 B）	110	m
供給熱量②出力	150	kW
必要下水管延長（想定 A）	225	m
必要下水管延長（想定 B）	165	m

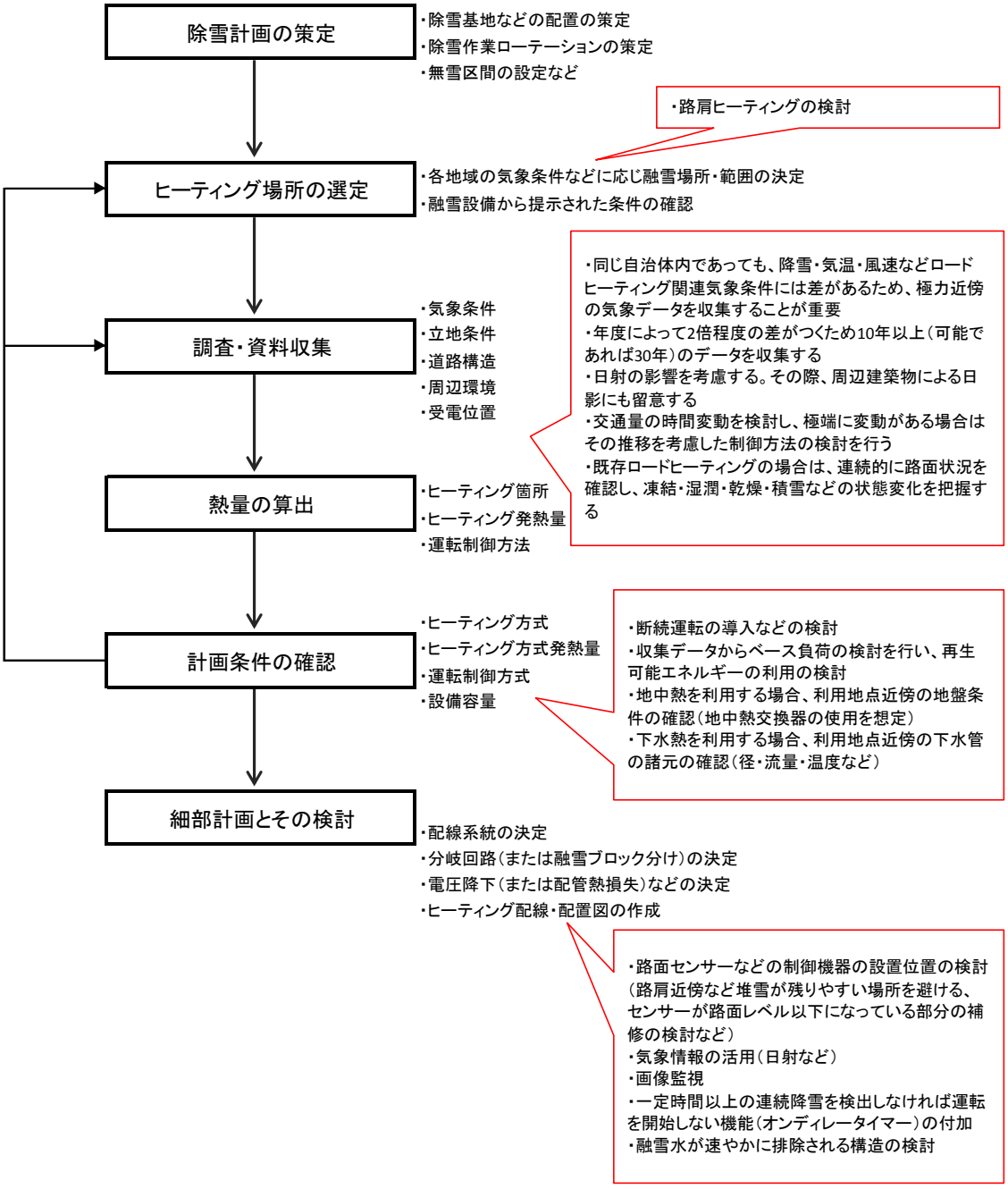
本検討はヒーティング面と堆雪が面的に接触し続けることが前提であり、以下の留意点が挙げられる。

・堆雪の融解は単位面積あたりで試算しており、堆積形状は直方体を想定している。実際の堆雪は山型になるため、堆雪高さの最大値は本結果より高くなると考えられる。
・堆雪は密度が一様であると仮定している。
・堆雪底面や内部で空隙が発生する場合、本結果より融解速度が遅くなると考えられる。
・日射や車両走行などによる融雪は考慮していない。

実際、既存の路肩ヒーティングでは、雪山とヒーティング部、非ヒーティング部の境界などで空隙が生じ、融雪が進まないなどの状況が発生している。再生可能エネルギーによる路肩ヒーティングを効率的に実現するには、除排雪との連携や歩車道の冬期利用方法などを踏まえたヒーティング部の設置位置などの検討が必要である。また、融解後の排水が効率的に行われることも重要である。

4-2. ロードヒーティングの省エネルギー化に向けた検討フロー

これまで記述した検討結果を踏まえて作成した、ロードヒーティングの導入・改修にあたっての検討フロー案を図 4-6 に示す。



※黒枠部分は　「北海道開発局道路設計要領　ロードヒーティング設備」に記載されているフロー

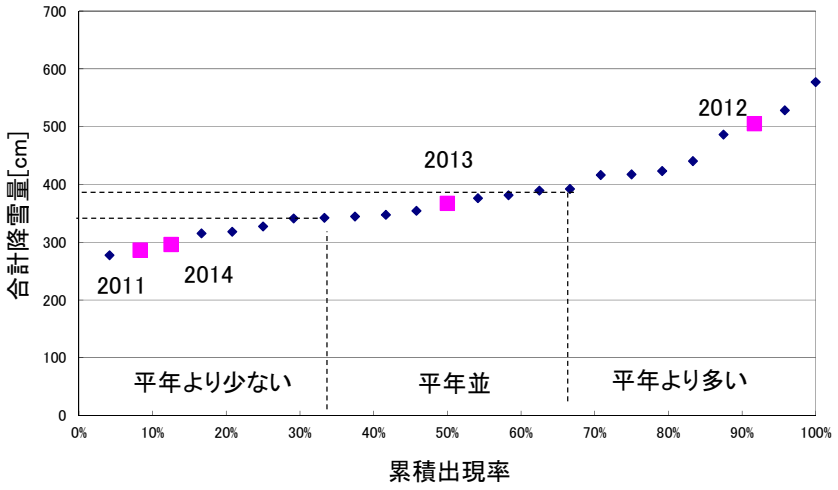
図 4-6　ロードヒーティング導入・改修の検討フロー

第5章 参考資料

5-1. 調査年度の気象の特徴

調査年度(2011 年～2014 年)の気象状況が、過去からの気象データにおいてどのような位置づけであったかを図 5-1～図 5-2 に示す。2011 年度については雪は少ないが非常に気温の低い年であった。2012 年度については降雪量が多く気温も低い状況であり、過去 24 年間の中でも厳しい気象環境であった。2013 年度は平年並みであり、2014 年度については期間を通した降雪が少なく、温暖な年度であった。

また、札幌市内の気象観測所の場所によっても降雪量や気温などの差が見られる。融雪施設の省エネルギー化の検討に当たっては、気象状況の分析が非常に重要となるため、対象施設直近の気象データを活用することが望まれる。

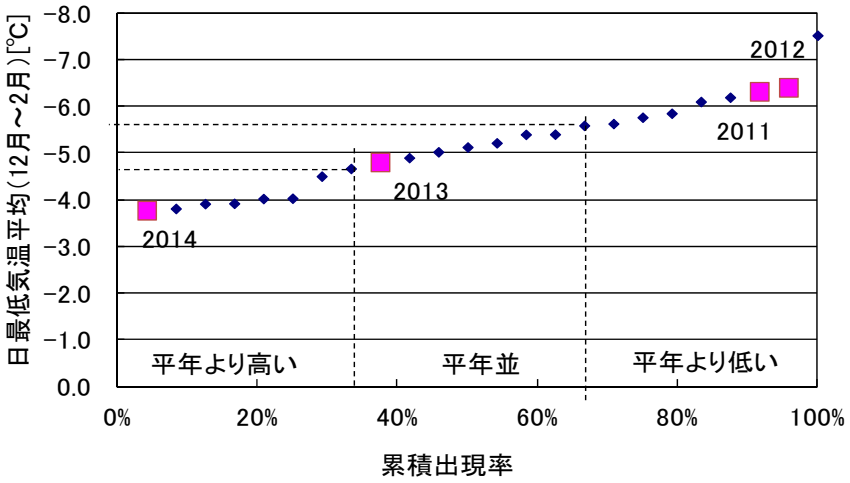


	項目	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	最大日降雪量	40	36	45	43	51	34	41	38
	合計降雪量(12月～2月)	318	381	416	327	577	277	342	417
降雪量分布	0	38	37	42	42	35	41	40	31
	1以上～5未満	67	66	65	67	54	67	69	59
	5以上～10未満	14	12	13	9	17	16	10	17
	10以上～15未満	6	6	3	8	4	4	5	7
	15以上～20未満	1	2	2	3	6	1	2	4
	20以上～	2	4	7	3	9	2	4	3

	項目	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	最大日降雪量	56	22	56	32	32	43	24	37
	合計降雪量(12月～2月)	528	315	344	376	354	486	440	423
降雪量分布	0	29	43	52	41	40	33	26	29
	1以上～5未満	57	66	71	65	66	59	61	64
	5以上～10未満	17	11	6	9	13	14	10	9
	10以上～15未満	6	8	5	6	3	8	10	11
	15以上～20未満	3	3	2	6	4	3	5	1
	20以上～	7	2	6	4	4	6	4	5

	項目	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均
	最大日降雪量	37	32	23	23	20	29	24	39	36
	合計降雪量(12月～2月)	392	389	347	341	286	505	367	296	385
降雪量分布	0	36	29	27	38	31	28	34	45	36
	1以上～5未満	61	63	63	66	68	55	63	70	64
	5以上～10未満	17	17	17	12	14	16	12	9	13
	10以上～15未満	5	4	7	6	4	10	9	7	6
	15以上～20未満	3	2	1	3	3	3	3	0	3
	20以上～	4	4	2	3	1	6	3	4	4

図 5-1　過去からの気象（札幌市アメダスデータ・降雪量）



	項目	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	期間最低気温	−12.1	−10.9	−14	−13.6	−13.2	−10.5	−15.1	−12.4
	日最低気温平均(12月～2月	−5.1	−3.9	−4.9	−5.2	−5.4	−4.7	−6.1	−5.8
温度分布	−10℃未満	4	2	8	9	12	1	18	6
	−10℃以上～−5℃未満	45	28	38	36	33	37	35	48
	−5℃以上～0未満	34	51	36	37	40	47	29	32
	0℃以上～5℃未満	7	8	8	8	4	5	8	4
	5℃以上～	0	1	0	0	1	0	0	0

	項目	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	期間最低気温	−13.7	−14.8	−11.4	−14	−10.2	−11	−11.7	−8.9
	日最低気温平均(12月～2月	−5.6	−7.5	−5.0	−6.2	−4.0	−5.6	−5.8	−3.9
温度分布	−10℃未満	6	22	3	9	1	5	5	0
	−10℃以上～−5℃未満	43	44	43	53	32	51	51	30
	−5℃以上～0未満	38	23	40	24	48	31	32	53
	0℃以上～5℃未満	3	1	4	4	9	3	2	7
	5℃以上～	0	0	0	0	0	0	0	0

	項目	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均
	期間最低気温	−12.8	−9.9	−11.9	−9.9	−11.6	−12.7	−13.7	−9.7	−12.2
	日最低気温平均(12月～2月	−5.4	−3.8	−4.5	−4.0	−6.3	−6.4	−4.8	−3.8	−5.2
温度分布	−10℃未満	6	0	5	0	10	9	5	0	6.4
	−10℃以上～−5℃未満	41	33	31	38	48	51	40	34	40.2
	−5℃以上～0未満	40	44	45	43	31	29	34	49	37.5
	0℃以上～5℃未満	3	13	9	8	1	1	11	6	5.7
	5℃以上～	0	0	0	1	0	0	0	1	0.2

図 5-2　過去からの気象（札幌市アメダスデータ・最低気温）

5-2. 必要熱量試算方法

必要熱量の試算方法について、以下に示す。

気温・降雪量（雪密度）・風速がパラメータとなっている。

※設計必要熱量の試算方法

一般的に、RH の設計においては、「降雪を融解するための熱量」と、「凍結を防止する熱量」のそれぞれを算出し、いずれかの高い方の熱量を採用する。

【最大融雪熱量】

ここでの融雪とは、「路面全体が薄く雪で覆われている」状態までを許容するものとしている。

$$q_1 = \frac{q_s + q_m}{\eta} \tag{1}$$

$$q_s = P \cdot C \cdot hs(t_m - t_0) \times 10^{-2} \tag{2}$$

$$q_m = P \cdot \delta \cdot hs \times 10^{-2} \tag{3}$$

P：雪密度[kg/m³]、C：雪氷の比熱[kJ/kg･℃]、h_s：設計最大降雪量[cm/h]、t_m：融雪温度≒路面温度[℃]、t_0:降雪温度≒外気温度[℃]、δ：雪･氷の融解潜熱[kJ/kg]

【凍結防止熱量】

降雪がないときに、路面温度を 0℃以上に保ち、凍結を防止するための熱量。

$$q_2 = \frac{q_h}{\eta} \tag{4}$$

$$q_h = a_t (t_m - t_0) \tag{5}$$

$$a_t = a_c + a_r \tag{6}$$

$$\begin{aligned} a_c &= 1.307\sqrt[3]{t_m - t_0} && \text{（無風時）} \\ &= 5.0 + 3.4v && (v \le 5m/s \text{の時}) \\ &= 6.14v^{0.78} && (v > 5m/s \text{の時}) \end{aligned} \tag{7}$$

$$a_r = \frac{4.65}{t_m - t_0}\left\{\left(\frac{273 + t_m}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100}\right)^4\right\} \tag{8}$$

a_t：総合表面熱伝達率[kcal/m²･h･℃]、a_c：対流による表面熱伝達率[kcal/m²･h･℃]

a_r：放射による表面熱伝達率[kcal/m²･h･℃]、v：風速[m/s]

出典：北海道開発局　道路設計要領（2010 年改正を含む）

5-3. 必要熱量の都市別推計

都市別の推計結果の詳細について、以下に示す。

旭川

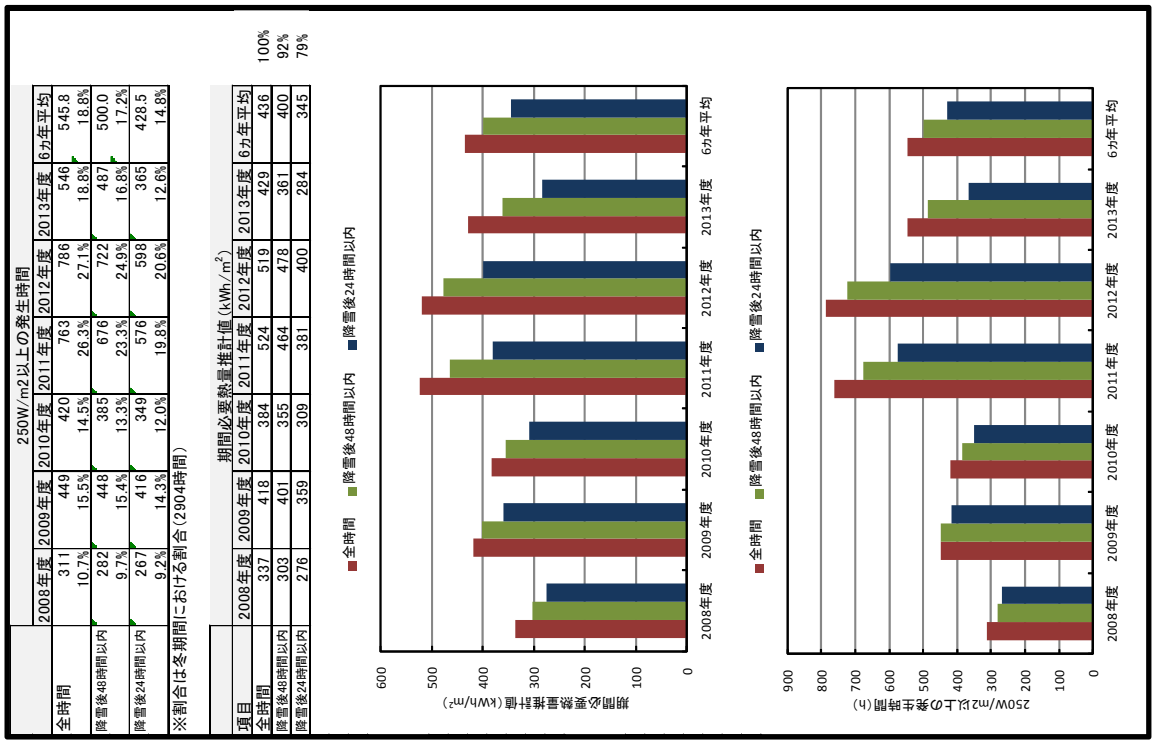
250W/m2以上の発生時間

	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6カ年平均
全時間	311	449	420	763	786	546	545.8
	10.7%	15.5%	14.5%	26.3%	27.1%	18.8%	18.8%
降雪後48時間以内	282	448	385	676	722	487	500.0
	9.7%	15.4%	13.3%	23.3%	24.9%	16.8%	17.2%
降雪後24時間以内	267	416	349	576	598	365	428.5
	9.2%	14.3%	12.0%	19.8%	20.6%	12.6%	14.8%

※割合は冬期間における割合（2904時間）

期間必要熱量推計値（kWh/m²）

項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6カ年平均	
全時間	337	418	384	524	519	429	436	100%
降雪後48時間以内	303	401	355	464	478	361	400	92%
降雪後24時間以内	276	359	309	381	400	284	345	79%



札幌

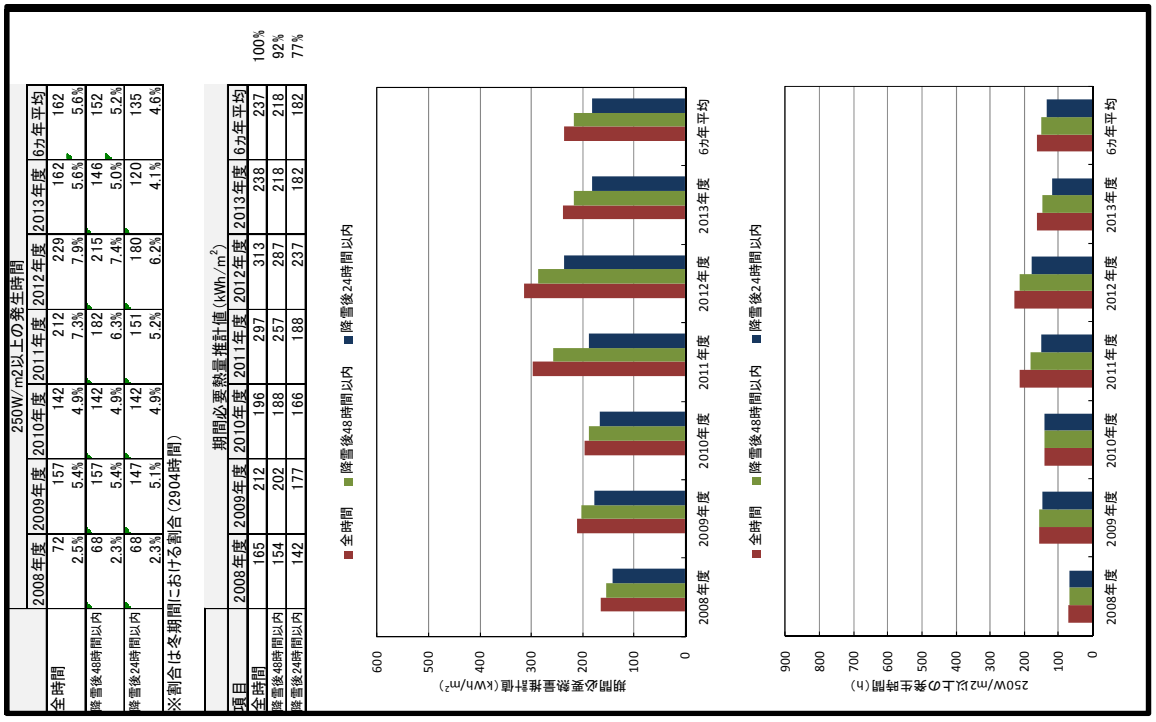
250W/m2以上の発生時間

	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6カ年平均
全時間	72	157	142	212	229	162	162
	2.5%	5.4%	4.9%	7.3%	7.9%	5.6%	5.6%
降雪後48時間以内	68	157	142	182	215	146	152
	2.3%	5.4%	4.9%	6.3%	7.4%	5.0%	5.2%
降雪後24時間以内	68	147	142	151	180	120	135
	2.3%	5.1%	4.9%	5.2%	6.2%	4.1%	4.6%

※割合は冬期間における割合（2904時間）

期間必要熱量推計値（kWh/m²）

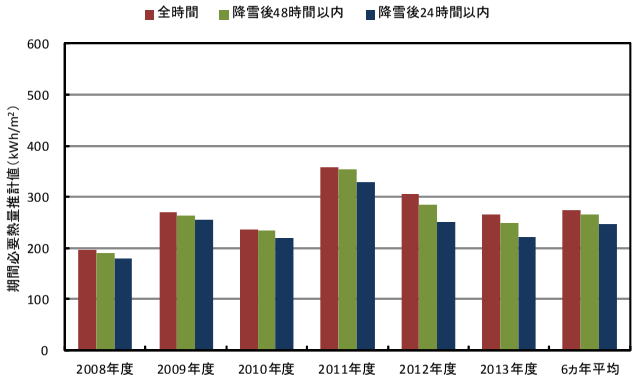
項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6カ年平均	
全時間	165	212	196	297	313	238	237	100%
降雪後48時間以内	154	202	188	257	287	218	218	92%
降雪後24時間以内	142	177	166	188	237	182	182	77%

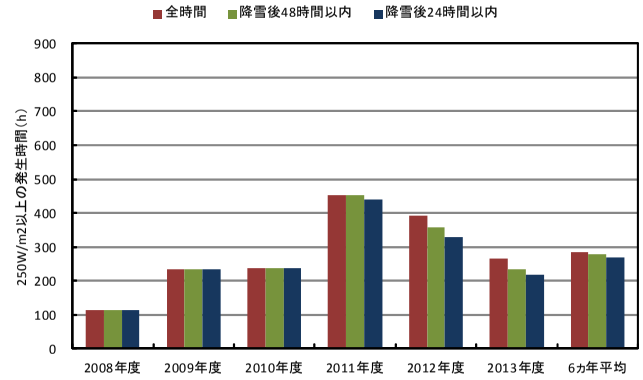


	250W/m2以上の発生時間						
	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均
全時間	113	235	236	453	393	265	286
	3.9%	8.1%	8.1%	15.6%	13.5%	9.1%	9.8%
降雪後48時間以内	113	235	236	453	359	234	279.2
	3.9%	8.1%	8.1%	15.6%	12.4%	8.1%	9.6%
降雪後24時間以内	113	235	236	440	328	217	270.4
	3.9%	8.1%	8.1%	15.2%	11.3%	7.5%	9.3%

※割合は冬期間における割合（2904時間）

	期間必要熱量推計値（kWh/m^2）							
項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均	
全時間	196	269	237	359	306	266	274	100%
降雪後48時間以内	190	263	235	354	284	248	265	97%
降雪後24時間以内	179	255	220	329	251	222	247	90%



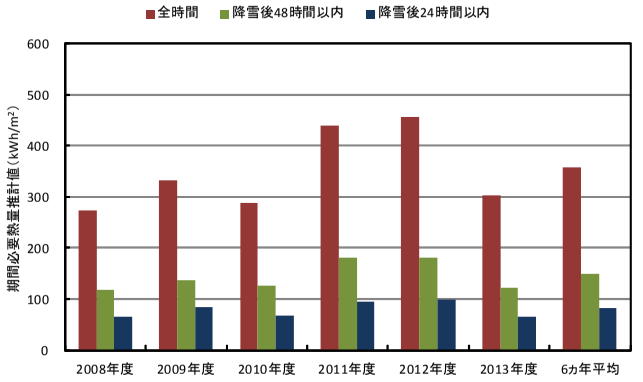


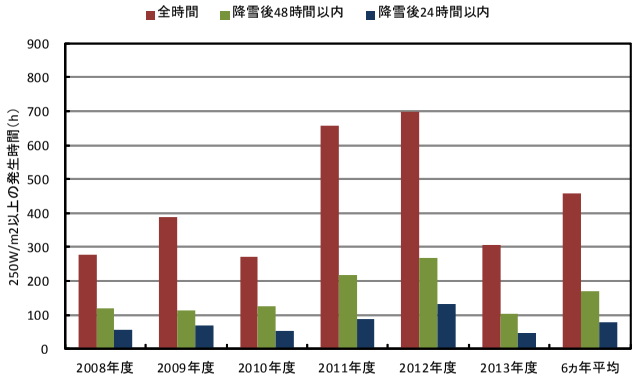
小樽

	250W/m2以上の発生時間						
	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均
全時間	277	387	271	656	698	305	457.8
	9.5%	13.3%	9.3%	22.6%	24.0%	10.5%	15.8%
降雪後48時間以内	120	112	126	218	269	102	169
	4.1%	3.9%	4.3%	7.5%	9.3%	3.5%	5.8%
降雪後24時間以内	55	68	52	89	132	47	79.2
	1.9%	2.3%	1.8%	3.1%	4.5%	1.6%	2.7%

※割合は冬期間における割合（2904時間）

	期間必要熱量推計値（kWh/m^2）							
項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均	
全時間	274	332	289	439	456	303	358	100%
降雪後48時間以内	119	136	127	181	182	123	149	42%
降雪後24時間以内	65	84	67	95	99	66	82	23%



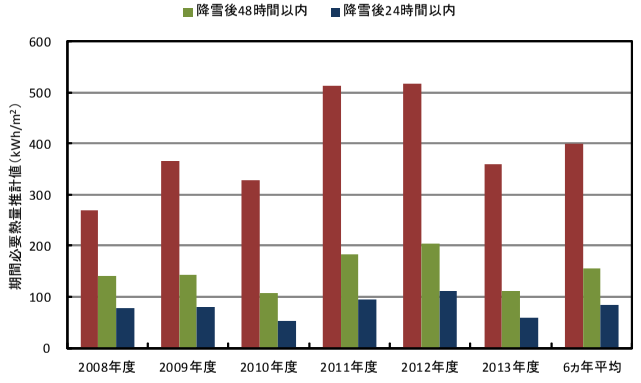


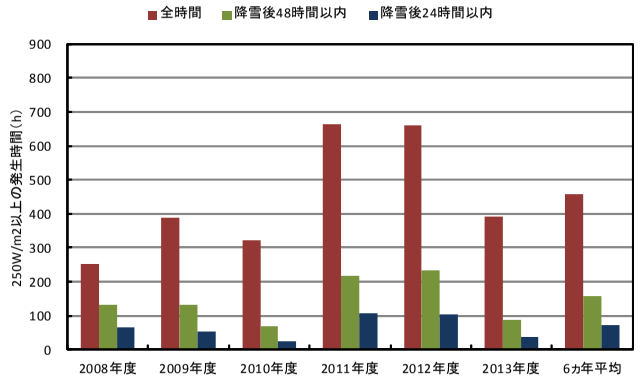
帯広

	300W/m2以上の発生時間						
	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均
全時間	251	387	323	664	660	393	457
	8.6%	13.3%	11.1%	22.9%	22.7%	13.5%	15.7%
降雪後48時間以内	133	131	70	216	232	87	156.4
	4.6%	4.5%	2.4%	7.4%	8.0%	3.0%	5.4%
降雪後24時間以内	67	53	25	107	104	36	71.2
	2.3%	1.8%	0.9%	3.7%	3.6%	1.2%	2.5%

※割合は冬期間における割合（2904時間）

	期間必要熱量推計値（kWh/m^2）							
項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均	
全時間	269	366	328	514	517	361	399	100%
降雪後48時間以内	141	144	107	183	204	111	156	39%
降雪後24時間以内	77	79	53	96	112	59	83	21%



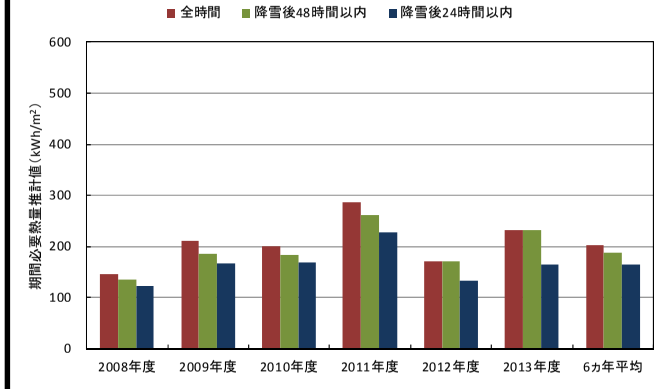


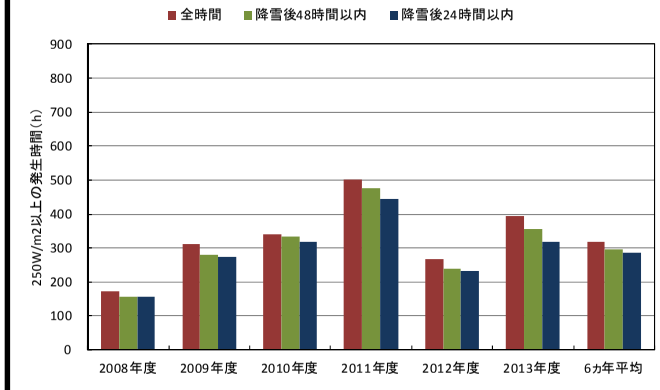
釧路

	200W/m2以上の発生時間						
	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均
全時間	173	312	339	501	268	395	318.6
	6.0%	10.7%	11.7%	17.3%	9.2%	13.6%	11.0%
降雪後48時間以内	158	280	333	477	238	355	297.2
	5.4%	9.6%	11.5%	16.4%	8.2%	12.2%	10.2%
降雪後24時間以内	156	274	319	445	232	317	285.2
	5.4%	9.4%	11.0%	15.3%	8.0%	10.9%	9.8%

※割合は冬期間における割合（2904時間）

	期間必要熱量推計値（kWh/m^2）							
項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	6ヵ年平均	
全時間	147	210	201	286	171	232	203	100%
降雪後48時間以内	136	185	184	261	171	232	187	92%
降雪後24時間以内	123	166	170	227	133	165	164	81%





函館

5-4. ベース負荷およびシミュレーションについて

【ベース負荷と供給割合】

推計のイメージを図 5-3 に示す。設計熱量 250W/㎡でカバーできる熱量の範囲の中で、ベース負荷を累積出現率 50%の 105W/㎡ とした場合、全体に対しての供給割合（図中の赤破線に対する緑の面積の割合）がどの程度か推計する。図 2-6 に示した近似式は、グラフの右側で実際の数値とのずれが大きくなる。このため、本推計では累積出現率 100%の場合を除いて 83.3%までの 5 つの累積出現率における必要熱量の平均値で近似曲線を作成し、その積分値を利用して面積を求めた。

累積出現率 33.3%の 74W/㎡ とした場合も同様の手法で推計した。

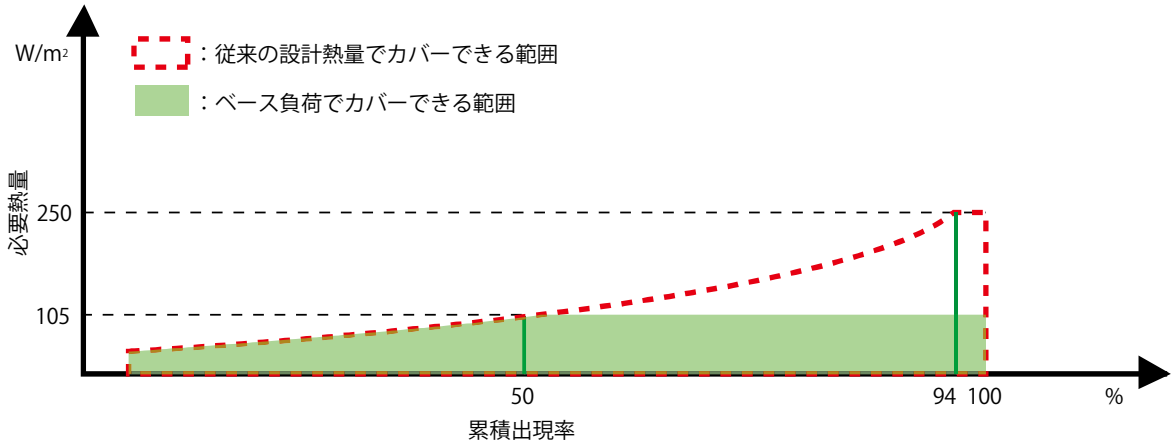


図 5-3　ベース負荷による供給割合イメージ図

※供給割合推計方法

・累積出現率 83.3%までの近似曲線　　$f(x) = 33.349e^{0.0213x}$

※xが 94 の時、$f(x)$は 250

の面積　$\int_0^{50} f(x)\,dx + (100-50)\cdot 105 \fallingdotseq 9{,}792$

の面積　$\int_0^{94} f(x)\,dx + (100-94)\cdot 250 \fallingdotseq 13{,}094$

供給割合　$\frac{9{,}792}{13{,}094} \fallingdotseq 0.748$

【日射を考慮した断続運転シミュレーション】

本推計では、日射を取得可能な場合は供給熱量を小さくすることを想定している。温水式では流量制御などによる熱量抑制が考えられるが、電気式では ON か OFF となる。0 W/m^2 及び 250W/m^2 以外の熱供給の方式として、断続運転が考えられ、1 時間内に 10 分×3 回の供給とすれば、1 時間で 125Wh/m^2 と同様の熱供給をしたことになる。ここでは、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の推計方法を以下に示す。

・基本的な算出方法は、前述の「3-1-1 断続運転」の削減効果の推計に従う。
・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う（断続運転を行った場合に必要熱量を下回る場合は、断続運転をしない。図 5-4 参照）。

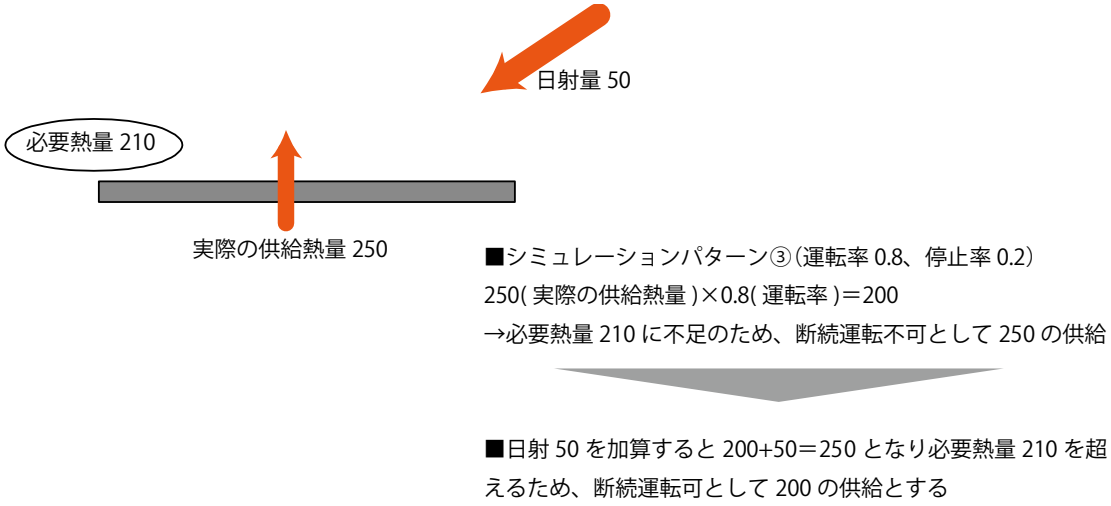


図 5-4　推計手法イメージ

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―
平成 28 年 3 月

国立研究開発法人　土木研究所　寒地土木研究所
寒地機械技術チーム
〒062-8602　札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号
TEL.011-590-4049　　FAX.011-590-4054