

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

研究担当者：山口和哉、片野浩司、永長哲也

田中隆夫、平 伴齊、岸 寛人

【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を調査し、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、コストの検討を行い、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、施設稼働方法や再生可能エネルギー導入規模のシミュレーションを実施した。また、再生可能エネルギーの導入割合、維持管理方法、採熱管の性能について検討した。

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多数のロードヒーティング（以下、「RH」という）が設置された。写真-1にRHの融雪状況を示す。RHのほとんどは電気を熱源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。

そこで、平成24年度は、既存RHの路面状況、供給熱量、風況等のデータを昨年度に引き続き収集し、施設稼働方法や再生可能エネルギー導入規模のシミュレーション、さらに融雪施設への再生可能エネルギーの導入及び維持管理方法について検討した。

また、構内に設置した地中熱採熱管の蓄採熱データより、採熱管の性能、効率的な蓄採熱方法について検討を行った。



写真-1
ロードヒーティング
融雪状況

2. 最小必要熱量及びベース負荷の検討

実態調査による平成23年度及び平成24年度の計測結果や過去の気象データから、供給熱量と必要熱量推計値の比較を行い、この結果から削減可能な熱量を推計し、最小必要熱量を検討する。最小必要熱量の検討にあたっては、過去の気象データ及び過年度の計測データよりベース負荷の設定を行った。

2.1 必要熱量の検討

北海道開発局の道路設計要領に従い、過去の気象条件から推計した必要熱量を以下に整理する。

ここでは、気象条件から算出される必要熱量を12月～3月までの期間で整理した。

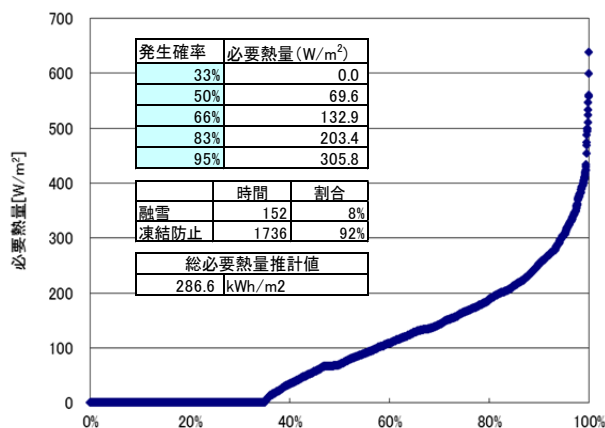


図-1 必要熱量と発生確率(平成24年度 札幌)

2.1.1 必要熱量の推計により得られた評価

- (1) 「融雪」と「凍結防止」では「凍結防止」が圧倒的に多い結果となっている。これは乾燥状態での必要熱量も計上されていることも要因と考えられる。
- (2) 必要熱量が、設備容量である 250W/m² を超える時間も 100~200 時間程度発生している。
- (3) 設備容量である 250W/m² を超える時間帯は、明け方及び深夜に多く発生している。この約半分である 120 W/m² を超える時間帯は明け方と日中で出現率の差が小さい。
- (4) 必要熱量が大きい値となる場合は、地域間の発生時間に差がある。気温の差は小さいため、降雪量の差の影響と考えられる。
- (5) 必要熱量の最大値は主に降雪強度が非常に強い時間帯に発生する傾向がある。

2.2 ベース負荷の検討

- (1) 再生可能エネルギーは RH 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、需要の変動に対する応答性が比較的に悪くなる傾向がある。
- (2) 再生可能エネルギーの導入にあたっては、ある一定の供給を長時間続けることができれば、システムの効率及び設備稼働率の向上が期待でき、コスト面も有利と考えられる。
- (3) 必要熱量を累積出現率で整理し、融雪期間を通して必要な熱量の発生時間の長い負荷(ベース負荷)を検討する。ここでは再生可能エネルギーを熱源として活用することを想定し、ベース負荷を検討する。

ここで設定したベース負荷は、後述する融雪施設への再生可能エネルギー導入のシミュレーションに活用する。

具体的な設定方法は、

- ・必要熱量の出現率は気象条件によって異なるため、検討にあたっては 2.1 で整理した過去 4 年分(実測 3 地点 2 年分を含む)の推計結果を用いる。
- ・必要熱量推計値を各年度、累積出現率の考え方で整理する。
- ・累積出現率の低い必要熱量から数パターンをベース負荷として設定する。

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以下に示す。

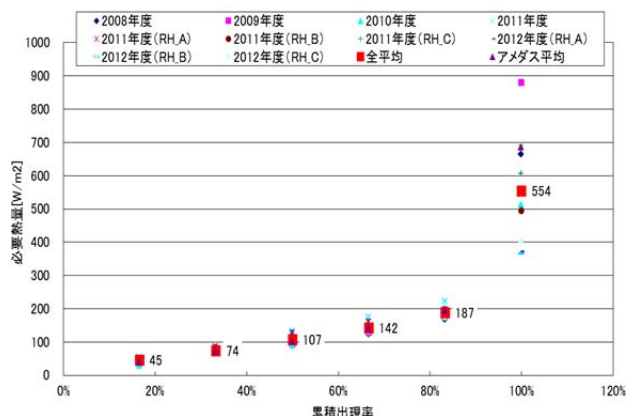


図-2 必要熱量の累積出現率

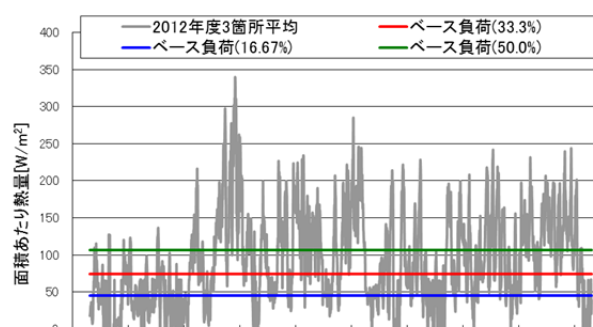


図-3 必要熱量推計値とベース負荷

表-1 必要熱量の出現率 単位: W/m²

出現率 (%)	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2011年度 (RH_A)	2011年度 (RH_B)	2011年度 (RH_C)
16.6	35.9	37.0	29.4	55.4	50.1	46.5	48.3
33.3	67.1	66.7	65.7	88.2	85.4	74.9	79.1
50.0	88.6	93.6	90.2	132.8	127.3	107.6	111.6
66.7	123.9	127.7	132.5	175.0	161.2	140.0	147.3
83.3	168.1	188.2	201.7	222.2	197.7	176.4	188.7
100.0	664.9	880.1	514.0	685.9	556.6	494.6	606.3

出現率 (%)	2012年度 (RH_A)	2012年度 (RH_B)	2012年度 (RH_C)	アメダス平均	全平均
16.6	54.0	46.0	48.1	39.4	45.1
33.3	75.4	70.4	69.6	71.9	74.3
50.0	113.1	101.0	99.5	101.3	106.5
66.7	147.8	129.3	131.3	139.8	141.6
83.3	187.5	168.4	174.3	195.0	187.3
100.0	370.1	366.4	402.4	686.3	554.1

→ ベース負荷①
→ ベース負荷②
→ ベース負荷③

図-2、図-3、表-1に示すとおり、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のがわかる。(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 R² ≒ 0.93))。

よってここでは、出現率が 50%以下の必要熱量推計値を、ベース負荷の 3 パターンとして設定する。

3. 融雪制御及び熱源の効率的な使用方法の検討

今までの実態調査や分析、削減効果の結果を踏まえ、以下の2点について検討する。

- (1) 効果的な融雪制御方法とその効果(削減可能な熱量)の検証
- (2) ベース負荷に対応した再生可能エネルギー導入の検討

3. 1 効果的な融雪制御方法とその効果

(削減可能な熱量)の検証

3.1.1 既存センサーの設定値の変更

路面温度センサーの設定値を低下させることで、路面の温度低下に対する熱供給開始時間を遅らせ、1日における運転時間を減少させることで、供給熱量を削減させる。

以下の条件のもと、削減効果の検証を行った。

- (1) 本年度の観測期間中の路面温度を整理し、一定時間内の路面温度低下を把握する。
- (2) 対象は熱供給が停止する毎日16~21時とする。
- (3) 1時間あたりの温度低下速度(1°C低下に要する時間の逆数)を設定し、その時間分削減されるとする。
- (4) 温度センサーの設定値低下は、路面状況から凍結防止、融雪の著しい減少が無いと考えられる1°Cとした。

観測期間内の全日の温度低下速度を図に示す。

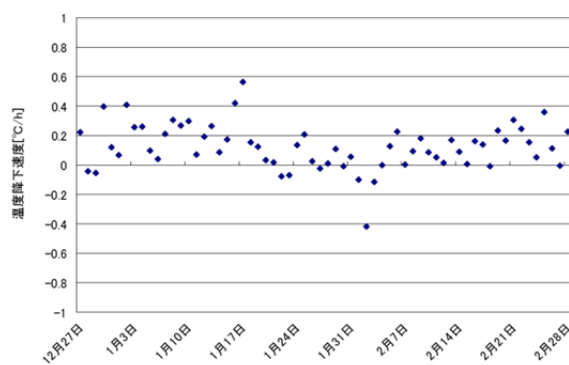


図-4 温度低下速度の推移

観測期間内の温度低下速度の最大は0.57°C/hであり、16~21時の間には入切が交互に行われるため、削減効果検証用の採用値は2倍した1.14°C/hとし、1°C低下に要する時間は、0.88h/°Cとする。

融雪期間中(12月~2月)、0.88h/日だけ融雪開始時間が遅れるものとした場合の削減効果は、ヒーティング面積を1,000m²とした場合、

$0.88 \text{ h/}^\circ\text{C} \times 1 \text{ }^\circ\text{C} \times 90 \text{ 日} \times 250 \text{ W/m}^2 \times 1000 \text{ m}^2$
 $\approx 19,900 \text{ kWh}$ となり、電力量金換算で193千円、A重油換算で約1,830Lの効果が得られる。

3.1.2 新規センサーの導入

過年度のRH実態調査から、日射や外気温度が路面温度を上昇させることが確認されており、日射量については最大1000 W/m²(RHの設備容量250 W/m²)の熱エネルギーであり、有効活用ができれば、大きな削減効果が期待できる。

ここでは以下の条件のもと、削減効果を検証する。

- (1) 気象データから1時間ごと日射量を整理する。
- (2) 100 W/m²以下の日射量は0とする。
- (3) 日射があり、かつ熱供給がなされている分を削減可能量とする。
- (4) 路面で取得する熱量は、雪の反射率を考慮して、日射量の1/2とする。

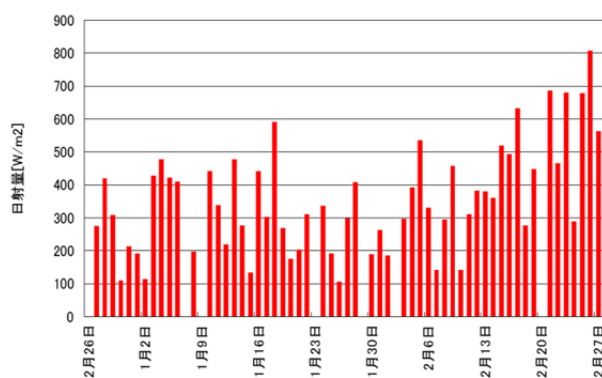


図-5 日射量の推移

路面状況データから、取得可能な日射量を積算した結果、12月27日~2月28日で、43kWh/m²の日射熱取得が想定された。この値は、ヒーティングエリアを1,000 m²とすると、電力量換算で420千円、A重油換算で、3,990L分に相当する

新規センサーの導入には、以下の課題がある。

- (1) 既存施設へ新たにセンサーを制御系に組み込むには制御システム全体の変更が必要となる。
- (2) 日射から熱取得をする場合、陰の影響がある。
- (3) 電気式の場合、供給熱量は「0」か「設備容量の250 W/m²」となるため、日射量にあわせた熱供給は困難である。この対策としては、電気式であれば1回路に複数の制御可能な電熱線を設置するか、温水式ではポンプのインバータ制御などの対応が必要となる。

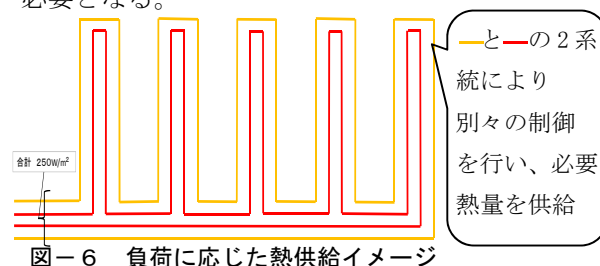


図-6 負荷に応じた熱供給イメージ

3.1.3 路面状況の直接監視による制御補完

(路面判断)

ヒーティング箇所には水分センサーが導入されており、乾燥時にはヒーティングが停止する制御である。

以下の条件の下、削減効果を検証した。

- (1) 定点観測画像から全面乾燥状態の時間帯を整理する。
- (2) 乾燥状態かつ熱供給がなされている分を削減可能量とする。



写真－2 乾燥状態の路面

乾燥状態かつ熱供給のある時間帯の積算とそこから推計した削減可能熱量の結果を表－2に示す。

表－2 削減可能熱量の推計

	全体乾燥時間(h)	削減可能熱量
RH_C	844	127kWh/m ²
RH_A	475	71kWh/m ²

RH_Cで127 kWh/m²、RH_Aで71 kWh/m²と大きな差が出る結果となった。RH_Aでは湿潤状態も多く観測されている。これは、降雪量がRH_Cと比較して多いことや、融雪水の排水状況の差などが考えられる。

また、ヒーティング面積を1,000m²とした場合、電力料金換算で1,230千円(RH_C)、690千円(RH_A)、A重油換算で11,700L(RH_C)、6,540L(RH_A)に相当する。

路面状況判断には以下の課題がある。

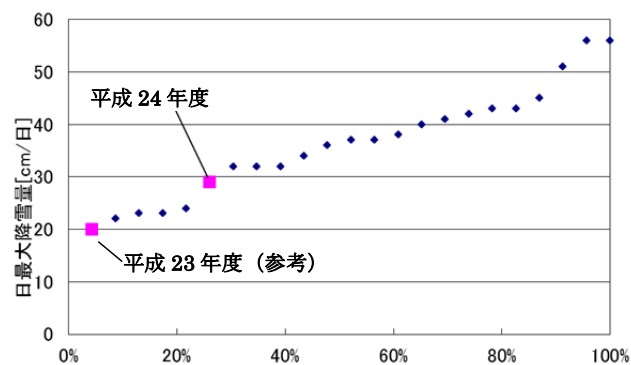
- (1) 路面状態の確認による削減効果は大きいと考えられるが、人件費、監視装置などのコストが大きくなる。画像解析もしくは複数エリアの集中監視等により管理コストを削減するなどの対応が必要である。
 - (2) 交通量や周辺状況によって効果に大きな差が現れることが考えられる。
 - (3) 気象データ上は1cm/h以下の降雪は0として評価されるため、気象データからの分析を行う場合は、路面状態や雨量データなども併せて、詳細に分析していく必要がある。
- ・路面センサーは比較的広い範囲に対しての制御因子となるため、路面状態の分布に対しての運転状況がどのように推移しているか詳細に分析し、精度の高い削減可能熱量の推計、制御方法の検証が必要である。

3.2 気象条件の気象統計上の評価

必要熱量推計値と供給熱量の比較や、各種制御の導入により、融雪施設におけるエネルギー削減効果が得られる可能性を示してきたが、その効果は気象条件によって大きく変動する。

RHの必要供給熱量は、主に気温、風速、降雪量によって決まる。ここでは、過去の気象データと平成24年の気象条件を比較し、気象条件の発生確率を検討する。

対象年度はアメダスデータ(観測所:札幌)において1時間間隔のデータが公表されている平成2年12月～平成25年2月とし、対象月は調査期間と同じ12月～2月とした。



図－7 日最大降雪量の累計出現率

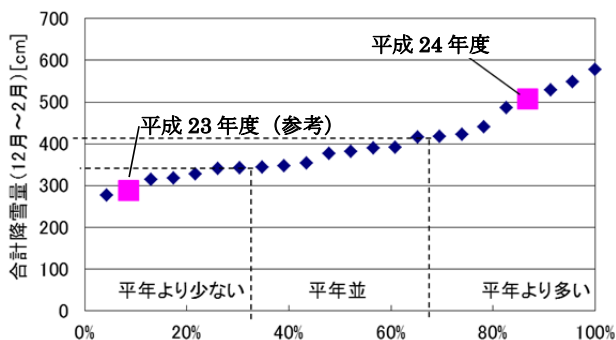


図-8 合計降雪量（12月～2月）の累計出現率

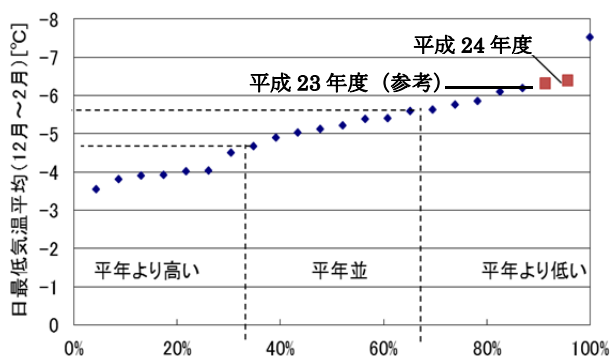


図-9 日最低気温平均の累計出現率

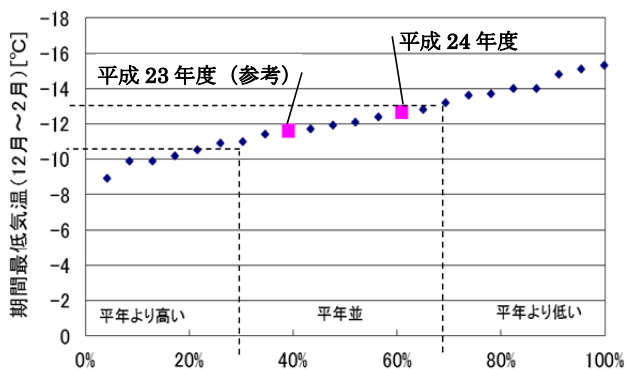


図-10 最低気温（12月～2月）の累計出現率

降雪量の分布結果を、図-7、図-8に示す。最大日降雪量は平年より少ない範囲にあるが、期間降雪量合計は非常に大きい値となっている。

同様に最低気温の分布結果を、図-9、図-10に示す。日最低気温平均、期間最低気温ともに平成24年度は低い値となっており、最も高い年度と比較すると3℃程度低い値となっている。

これらのことから、平成24年度は、雪が非常に多く、気温も低い年度といえる。

3.3 再生可能エネルギーの導入規模の検討

再生可能エネルギーはRH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、需要の変動に対する応答性が比較的悪くなる

傾向がある。

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、システムの効率及び設備稼働率の向上が期待できる。

ここでは、2.3で設定したRHへのベース負荷を対象とした場合の、再生可能エネルギー導入規模の検討を行う。

対象とする熱源は、ボアホール型地中熱交換器を活用した地中熱ヒートポンプシステムとし、検討項目は必要な採熱源・機器の規模、システム構成、イニシャル・ランニングコスト、年間トータルコストとする。

前提条件としては、

- ・ヒーティング面積：1,000m²
- ・供給熱量：ベース負荷①（45.1W/m²）
ベース負荷②（74.3W/m²）
- ・年間運転時間：1,000時間
- ・対象期間：12～2月（3ヶ月間）

ベース負荷と供給面積から設備の必要出力を算定し、設定したCOP(Coefficient Of Performance:成績係数)から必要なボアホール本数を検討した。

表-3 地中熱ヒートポンプ諸元

項目	単位	ベース負荷①	ベース負荷②
設定負荷	W/m ²	45.0	74.0
供給面積	m ²	1,000	1,000
設備出力	kW	45	74
COP	-	4	4
ボアホール長さ	m/本	100	100
採熱量	W/m	40	40
ボアホール本数	本	9	14
ボアホール間隔	m	5	5
ボアホール設置面積 (1本あたり必要間隔 半径=ボアホール間隔)	m ²	706.5	1,099
機械室	m ²	20	20

3.3.1 コスト比較

イニシャルコスト・ランニングコストについて概算費用検討結果を以下に示す。

イニシャルコストではボアホールが費用の多くを占め、ベース負荷①で約42,000千円、ベース負荷②で約52,000千円となり、耐用年数を考慮した年間コストはベース負荷①で約1,400千円、ベース負荷②で約1,730千円となった。

なお、耐用年数は設備機械30年、ボアホール・土木建築で50年としている。

表-4 ヒートポンプシステムコスト比較 (単位: 千円)

項目	ベース負荷①	ベース負荷②	備考
ポアホール	10,800	16,800	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	5,900	9,700	地中熱源対応高効率水冷式 30kW/台
盤関連	5,000	5,000	一式
その他付帯設備	590	970	ポンプ類一式
機械室	3,000	3,000	20m ²
ヒーティングパイプ及び舗装	17,300	17,300	
合計	42,500	52,770	

表-5 ヒートポンプシステム年間コスト (単位: 千円)

	項目	ベース負荷①	ベース負荷②
イニシャルコスト	設備機器	960	1,100
	削孔・土木建築	280	400
	減価償却費	1,240	1,500
ランニングコスト	機器消費電力量	160	250
年間コスト		1,400	1,750

4. 地中熱採熱管の性能調査

昨年度、寒地土研構内に設置した地中熱採熱管の性能調査として、採熱孔内地中温度や循環回路の往・還温度、循環量の各データを収集し、夏期蓄熱、冬期採熱の性能及び地層の違いによる採熱量の差異を把握するために、数値シミュレーションモデルを構築し検討を実施した。



写真-3 採熱孔循環回路

4.1 自然状態での地中温度推移と

深度方向温度分布

自然状態での地中温度変化を採熱孔毎に示した。対象範囲は、平成24年2月に実施したTRT(サーマルレスポンステスト)から平成25年9月までとした。図中110m孔はBH_A、60m孔はBH_Bと標記した。

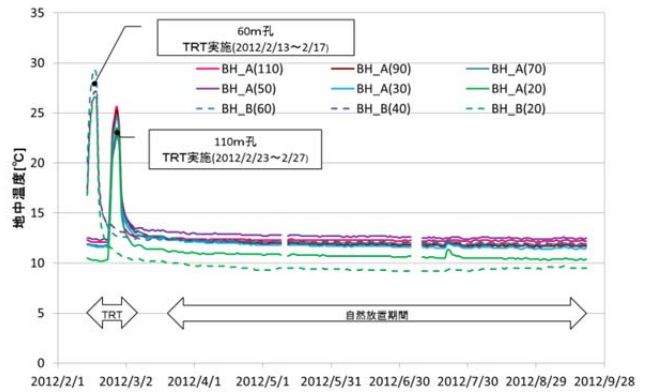


図-11 地中深度別の温度変化状況

図-11よりTRT時に温度上昇が見られるが、その後低下し、ほぼ一定温度で推移している。各孔とも30m以深では、12℃前後で一定温度である。

図-12では自然放置期間の110m孔と60m孔の深度別平均温度を示した。40m~60mの温度が高くなっているが、これはこの深度が砂礫層であり、地下水による熱供給があるものと推測される。深度方向への温度上昇率は0.0178℃/mと、一般値とされる0.03℃/m (=3℃/100m)よりも小さい。

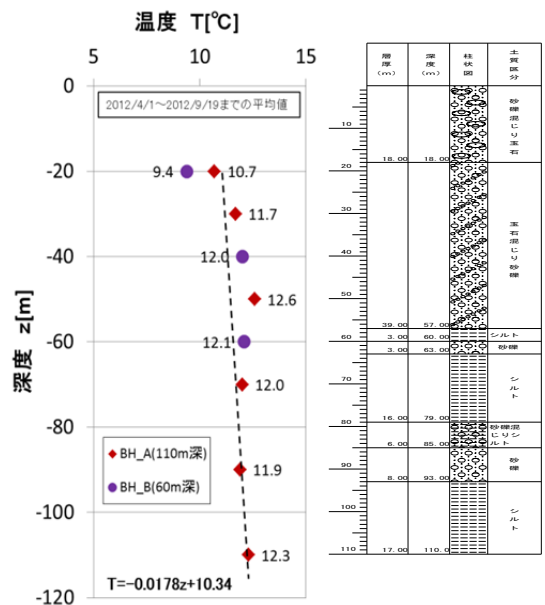


図-12 地中温度分布(左)と地層構成(右)

4.2 夏期蓄熱効果の検討

観測機器格納庫屋根へ敷設した採熱パイプへ送水され、太陽光により温められた循環液はBH_AとBH_Bに配分され各々地中で放熱後に、再び採熱パイプで温められる。この時の循環液温度、流量等データをロガーに収録し、採熱孔毎に地中温度や循環量の変化を図-13にまとめた。

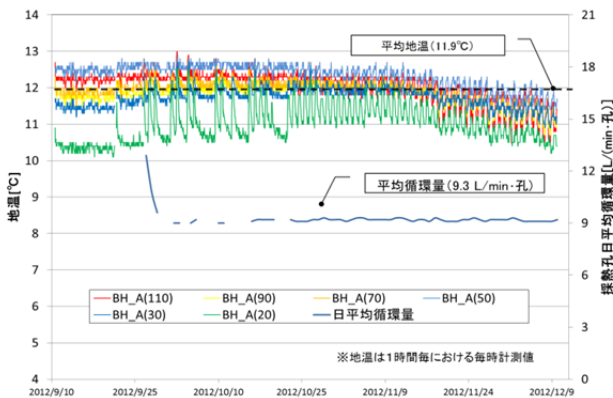


図-13 夏期蓄熱稼働状況 (110m)

図-13より20m部での温度上昇が見られるが、その他の深度では、大きな温度上昇は見られなかった。これは、採熱孔へ供給する循環量が少なく低深度部で放熱したものと推測される。また、11月中旬以降は、全ての深度で地中温度が低下しており、地中から採熱する状況となり、地中温度の全体的な低下に繋がったものと推察される。

60m孔においても、110m孔と同様な傾向が見られた。(図-14)

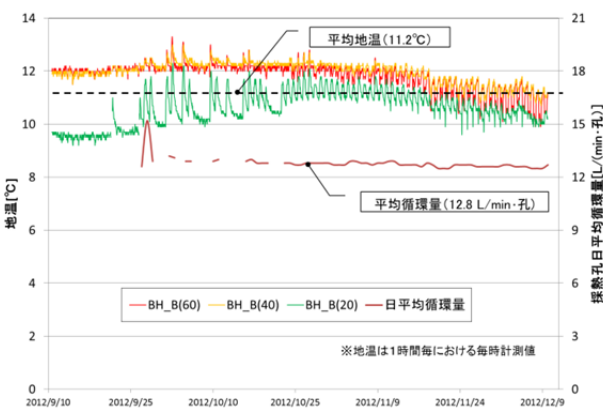


図-14 夏期蓄熱稼働状況 (60m)

夏期稼働データより、各採熱孔での蓄熱量、太陽光からの受熱量を集計し、蓄熱割合を次式で定義し、日当たり変化状況を図-15に示す。

$$\eta = \frac{Q_{BH}}{Q_{sup}}$$

η : 蓄熱割合
 Q_{BH} : 採熱孔への蓄熱量
 Q_{sup} : 負荷設備での受熱

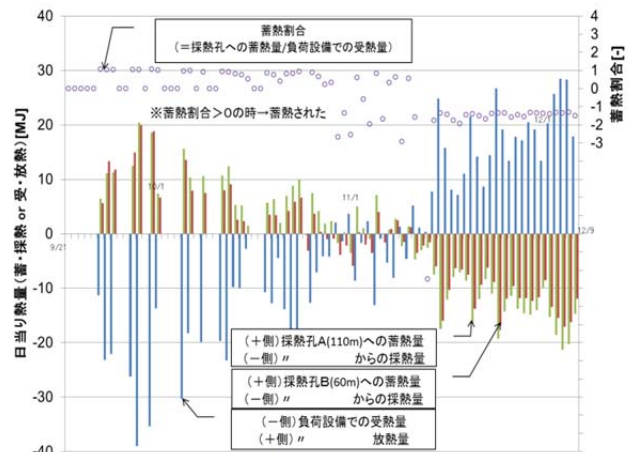


図-15 夏期蓄熱による熱収支と蓄熱割合

蓄熱割合が1の場合には、負荷設備での受熱量がそのまま採熱孔へ蓄熱されたことを意味し、0の場合には蓄熱無し、-1の場合には、逆に採熱孔から採熱している状況である。

観測後半では-1を下回る日も見られる。

9~11月上旬までは、蓄熱されている状況が確認できる。一方で、11月中旬以降は採熱孔から採熱しパイプ部で放熱する状況に変わった。

今回は、循環量が少なく開始時期も遅かったことから夏期蓄熱の可能性は確認できたが、有効性は見られなかった。

4.3 冬期採熱試験の結果

夏期蓄熱試験と同様に循環回路を利用し、冬期採熱を行いデータ収集した。なお、夏期蓄熱時は2孔へ同時に蓄熱したため1孔当りの循環量が減少したことから、冬期採熱では、採熱孔別に期間を区切り実施した。さらに、ポンプ能力の範囲で、循環量を3段階に分けて試験を実施した。

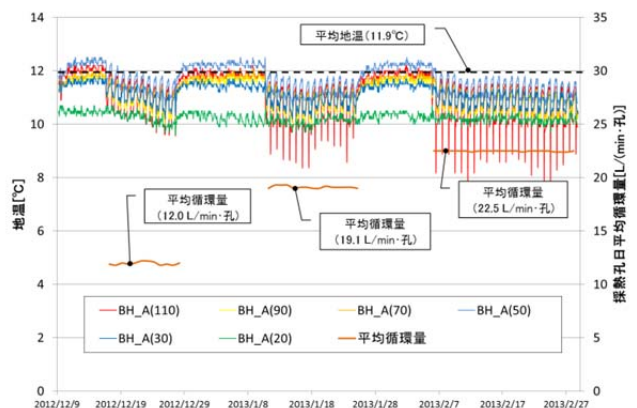


図-16 冬期採熱稼働状況 (110m)

110m孔における採熱試験時の地中温度変化を図-16に示す。

採熱により孔全体が冷やされる状況が確認できるが、循環停止後は直ちに回復している。また、循環

量が多い場合には、深度 100m 部が一時的に大きく冷やされる状況が確認できた。これはタイマーにより稼働 ON/OFF を行ったため、停止した夜間に放熱パイプで冷やされた循環液が稼働とともに地中へ送られ、稼働初期に大きく温度低下するものと考えられる。

隣接孔への影響については、図-17にて出入りの温度差が大きい比較的浅い深度を対象に温度変化状況を考察した。

深度 20m での地温変動に着目すれば、前半の 60m (BH_B) 孔稼働において 110m 孔 (BH_A) でも僅かに温度変動 (0.3~0.4℃) があるが、明確な追従の規則性は見られない。このことから寒地土研構内の地層において、平均採熱量 20~30MJ/日程度の負荷では、孔間隔 4m での影響は無いと推察される。

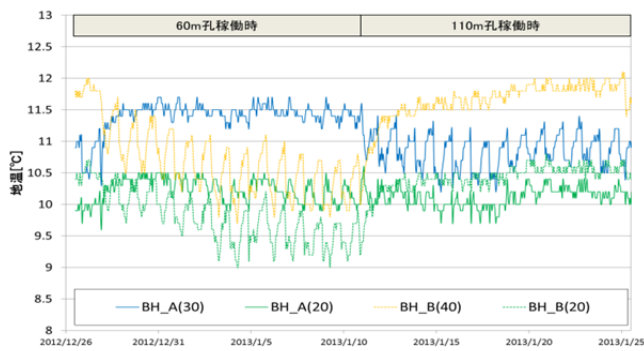


図-17 冬期採熱稼働における隣接孔の影響

4. 4 数値シミュレーションによる解析

採熱による地中温度変化を評価するために、有限要素法による数値シミュレーションを実施した。具体的には、当概地における数値モデルを構築し、TRT時の観測データとのマッチングで妥当性を確認し、この数値モデルを利用して、ケーススタディを行った。

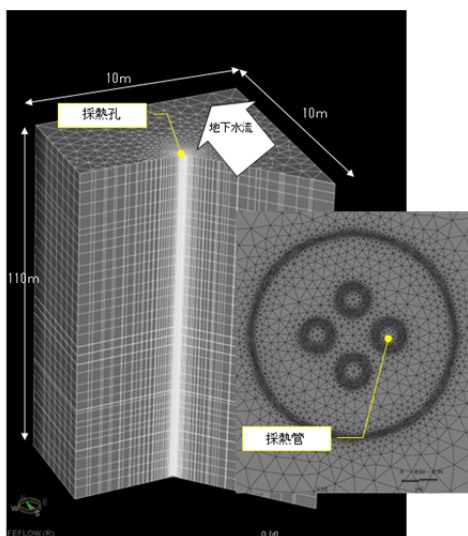


図-18 数値シミュレーションモデル

ここで、以下の式により「流れ場」および「温度場」の非定常計算が行われる。

$$\begin{aligned}
 &\bullet \text{ 流れ場 } S_0 \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) = 0 \\
 &\bullet \text{ 温度場 } \frac{\partial}{\partial t} \left[\left(\epsilon \rho^f c^f + (1-\epsilon) \rho^s c^s \right) T \right] \\
 &\quad + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\rho^f c^f \left(k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) T \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda' \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = 0
 \end{aligned}$$

ここで、 S_0 : 比貯留係数 [1/m]、 k_{ij} : 透水係数 [m/s]、 h : 水頭 [m]、また ϵ : 空隙率 [-]、 ρ : 密度 [kg/m³]、 c : 比熱 [J/(kg·K)]、 T : 温度 [K]、 λ' : 合成熱伝導率* [W/(m·K)] である。また上付き添え字 f は、流体 (地下水) を、 s は固体粒子 (例えば砂礫粒子) を示す。*空隙率を考慮 ; $\lambda' = \epsilon \cdot \lambda_w + (1-\epsilon) \cdot \lambda_s$
 λ_w : 水の熱伝導率、 λ_s : 固体粒子の熱伝導率

なお、モデルの設定にあたっては、採熱孔掘削時の地層構成に基づいた熱物性値を文献等より引用するとともに、地下水条件 (地下水位、各地層毎の透水係数、空隙率) についても文献等を参照し、試行錯誤的に TRT 結果をモデル上で再現できるように逆解析して設定した。

表-6 数値モデル設定諸元

		水理定数等		熱物性値	
深度	土質	透水係数 [m/s]	空隙率 [-]	熱伝導率 [W/(m·K)]	熱容量 [MJ/(m ³ ·K)]
G. L. -0~-57m	砂礫	5.00E-06	0.3	2.2	2.35
-57~-60m	シルト	1.00E-08	0.45	1.2	1.8
-60~-63m	砂礫	5.00E-06	0.3	2.2	2.35
-63~-79m	シルト	1.00E-08	0.45	1.2	1.8
-79~-93m	砂礫	5.00E-06	0.3	2.2	2.35
-93~-110	シルト	1.00E-07	0.45	1.2	1.8

妥当性検証として、TRT時の採熱管入口温度・循環量を入力条件としてシミュレーションを実施した。この際、採熱管出口温度の変化と地中温度変化の計算値が、実測データと同様な変化であるか確認した。

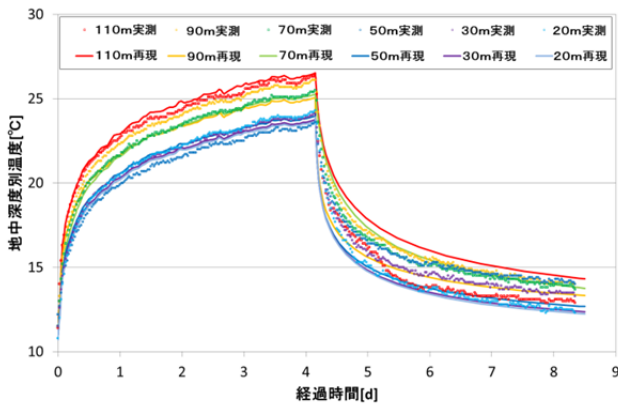


図-19 妥当性検証結果(地中温度変化)

地中の温度変化は図-19より、構築した数値モデルが概ね再現できているものと判断した。なお、採熱管出口温度についても再現できた。

4.5 数値シミュレーションによるケーススタディ

4.5.1 長期連続稼働の場合

採熱管入口温度 5°C、循環量 30L/(min・孔)の場合の長期稼働時の地中温度変化を図-20、採熱量変化を図-21に示す。

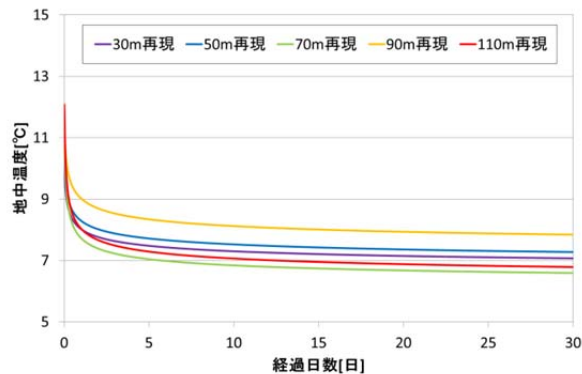


図-20 長期稼働時の地中温度変化

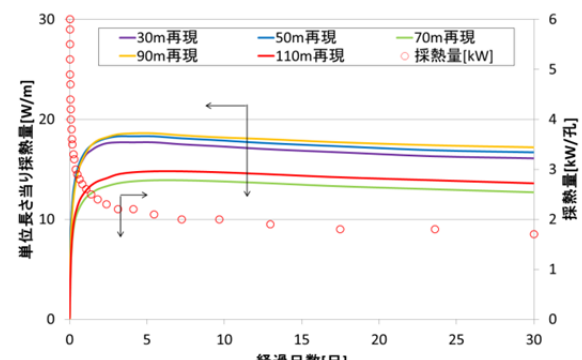


図-21 長期稼働時の採熱量変化

一定温度で連続して採熱した場合は、通水後1~2日程で地中温度が急激に低下し、その後一定で推移することが推測される。単位長さ当り採熱量も、同様に低下した。採熱孔1孔当りの採熱量は、30日後には1.7kW/孔となった。稼働1日経過後からの深度別の平均採熱量を図-22に示す。

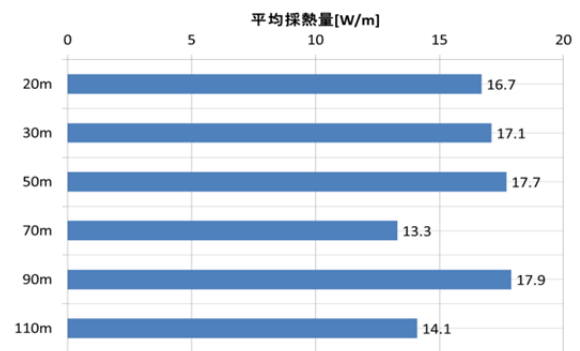


図-22 深度別平均採熱量

砂礫層での採熱量は、16.7W/m~17.9W/m、シルト層で13.3W/m~14.1W/mと砂礫層に比べ20%程度小さい。深度別平均採熱量に地層厚(図-12参照)を掛けて、1~30日の採熱量は次のように試算される。

- ・地表~60m : 17.2W/m*×60m=1,032.0 W
 - ・60m~85m : 13.3W/m ×25m= 332.5 W
 - ・85m~93m : 17.9W/m × 8m= 143.2 W
 - ・93m~110m : 14.1W/m ×17m= 239.7 W
- 合計(1孔当り採熱量) 1,747.4 W

※砂礫層(20m、30m、50m)の平均値

これは、採熱管出入口温度差に流量を乗じて求めた採熱量とほぼ等しくなることが確認できた。

図-23・24には、深度70m(シルト)及び深度90m(砂礫)の温度分布状況を示す。砂礫層については地下水の影響を強く受け、温度域(冷やされて低温となった領域)が大きく拡大するものの、シルト層では、採熱孔を中心とした同心円状に温度域が拡大する様子が見られる。

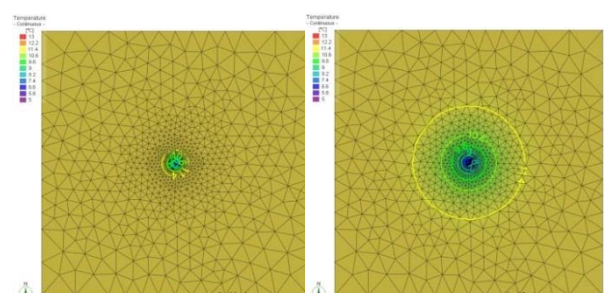


図-23 70m深の地温分布(左:1日後、右:30日後)

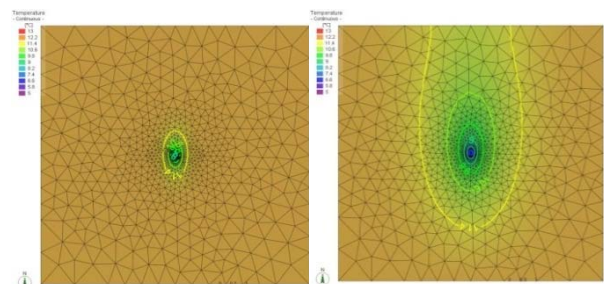


図-24 90m深の地温分布(左:1日後、右:30日後)

4.5.2 蓄熱の場合

今回の夏期蓄熱試験では、試験期間が短く、有効性の確認ができなかった。そこで蓄熱状況をシミュレートし、その可能性について検討した。条件として採熱管入口温度 20℃、循環量 30L/(min・孔)、施設稼働は 9:00~15:00 の間とし日中の温水のみを循環し、夕方から夜間の温水は熱損失を考慮して循環しない場合を検討した。

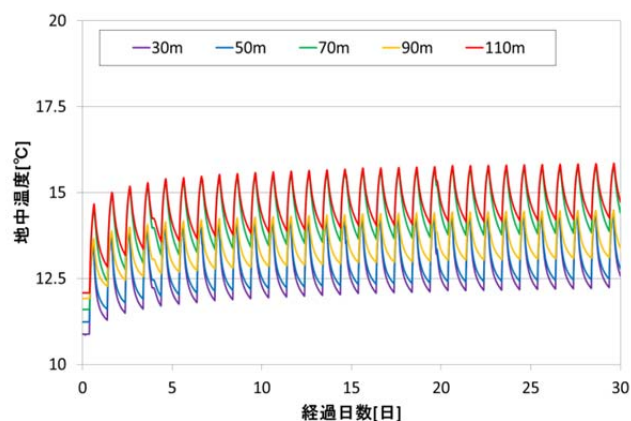


図-25 サイクル蓄熱による地中温度の変化

日々の稼働により地中温度が上昇する（蓄熱）する状況が見られる。砂礫層のある 30m および 50m では、停止とともに急激に冷やされる一方で、シルト層である 70m や 110m では比較的溫度が高く保たれている（図-25）。

稼働による法熱量の変化では、シルト層（70、110m）での放熱より、砂礫層（30、50、90m）での放熱量が大きく、地下水の影響により、砂礫層での放熱が行われたものと考えられる（図-26）。

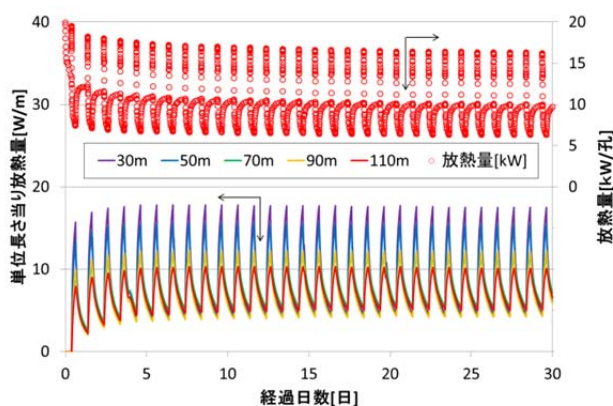


図-26 サイクル蓄熱による放熱量の変化

図-27 では、30 日の蓄熱後、そのまま放置した場合の地中温度変化を示した。停止することで急激に温度が低下し、60 日後には、稼働前と同程度の温度まで低下すると考えられる。

北海道のように 5 ヶ月程を雪の中で生活する必要

がある地域では、蓄熱効果を有効に活用するためには、採熱管を設置する地層の調査や採熱量について詳細に検討する必要がある。

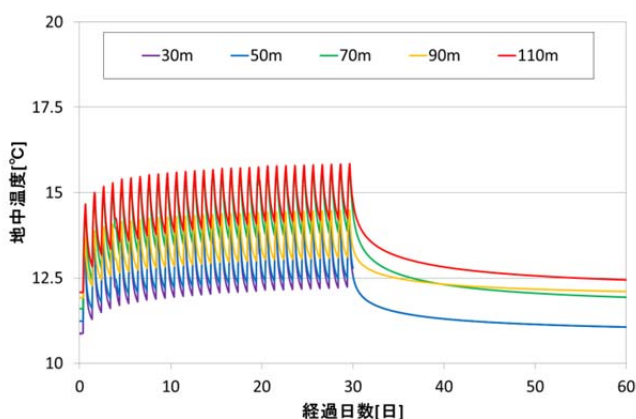


図-27 蓄熱停止による地中温度の変化

5. まとめ

実態調査及び性能調査の結果、以下の知見が得られた。

- (1) RH の必要熱量を検討した結果、「融雪」より「凍結防止」熱量が圧倒的に多いことがわかった。また、必要熱量が設備容量である 250W/m² を超えるのは 200 時間程度であることがわかった。
- (2) RH 必要期間（12 月～2 月）において、必要熱量の累計出現率の 33% は、75W/m² 未満の熱量であることがわかった。
- (3) 融雪制御方法として、日射量や路面状況の監視による制御方法に有効性があることがわかった。
- (4) 数値シミュレーション解析により、蓄熱を停止することで急激に温度が低下し 60 日程で蓄熱前と同等の地温となると推測される。

今後は、RH の実態調査で得られたデータをもとに、効率的な維持管理方法について検討していく。また、地中熱等の再生可能エネルギーを活用するためのベース負荷の検討や、メンテナンス性の向上について検討を行う予定である。

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) 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
- 3) 地表面に近い大気の科学：近藤純正

STUDY ON THE USE OF RENEWABLE ENERGY EFFICIENT SNOW MELTING FACILITY

Budgeted : Management expenses grant (general account)

Research Period : FY2011-2014

Research Team : Machinery Technology Research Team

Author : KATANO Koji

YMAGUCHI Kazuya

EINAGA Tetsuya

TANAKA Takao

TAIRA Tomonari

KISHI Norihito

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 2012, actual conditions of road heating was installation. simulation about the facility operation method or the scale of renewable energy was performed. introduction of renewable energy, maintenance management, and the heat pipe ability also examined.

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