

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：片野浩司、山口和哉、永長哲也
田中隆夫、岸 寛人、齊藤 要
鶴澤利樹

【要旨】

積雪寒冷地では、冬期間の融雪施設は交通安全の確保のため必要不可欠なものであり、勾配などの道路条件を勘案し設置されている。これらの熱源のほとんどは電気であり、そのコストが道路管路の大きな負担となっている。

さらに、東日本大震災以降、節電が必要となっているが、特に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の節電が重要であり、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し、融雪施設で活用可能な再生可能エネルギーについて活用方法の提案を行う。

本年度は、供給熱量と必要熱量を比較するとともに、下水熱の利用事例について調査した。また、融雪施設の維持管理手法の提案のため、最低必要熱量、日射量、断続運転について融雪効果シミュレーションを実施した。

キーワード：融雪施設、維持管理、コスト縮減、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融雪施設（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25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、供給熱量と必要熱量の比較、日射量の融雪効果シミュレーション、断続運転の融雪効果シミュレーション、未利用エネルギーによる供給熱量シミュレーション及び下水熱利用の事例調査を行った。



写真-1 ロードヒーティング融雪状況

2. 供給熱量と必要熱量、ベース負荷の検討

実態調査による平成23～24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、この結果から最大削減ポテンシャルを推計（＝最小限熱量の推計）した。また、過去の気象データから必要熱量の分析も併せて行い、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の長い必要熱量）の設定を行った。

2.1 供給熱量と必要熱量の検討

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と実際に計測した供給熱量を比較した結果を表-1に示す。なお、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する形で統一した。

比較の結果、削減ポテンシャルは40%程度となった。これは仮に融雪面積を1,000m²とすると、電気料金約1,480千円/年、A重油約14,000L/年に相当する（ほっとタイム22:11.57円/kWh、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への必要な供給熱量である。必要熱量の計算は路面乾燥状態での熱量も計上されるため、路面乾燥状態を適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きく変わるため、今後もデータ蓄積が重要である。また、交通量や除排雪と路面状態の関係などによっても、削減ポテンシャルは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/m²

項目	2011年	2012年	2012年	2013年
			(乾燥考慮)	
供給熱量推計値(川沿)	396.2	353.0		353.0
供給熱量推計値(川沿個別盤)	-	323.4		313.0
供給熱量推計値(厚別東)	-	329.6		-
供給熱量推計値(月寒)	423.9	-		-
必要熱量推計値(川沿)	232.0	218.7	181.4	193.3
必要熱量推計値(厚別東)	-	238.5	198.3	-
必要熱量推計値(月寒)	221.9	-	-	-
必要熱量/供給熱量(川沿)	59%	62%	51%	62%
必要熱量/供給熱量(川沿個別盤)	-	68%	56%	55%
必要熱量/供給熱量(厚別東)	-	72%	60%	-
必要熱量/供給熱量(月寒)	52%	-	-	-
削減ポテンシャル平均(=100-必要/供給)	45%	33%	44%	42%
削減ポテンシャル3年平均				40%

2.2 ベース負荷の検討

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。

ここでは、以下の方法により必要熱量を整理した。

- 1) 必要熱量の出現率は気象条件によって異なるため、札幌のアメダスデータ過去6年分及び実態調査を行った3地点3年分のデータから、各年度の12月～2月の必要熱量を推計した。
- 2) 必要熱量推計値を各年度、累計出現率で整理した。
- 3) 0W/m²は除外して累積出現率を整理した。

以上の条件により必要熱量を累積出現率で整理した結果を図-1に示す。

この結果から、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(指数関数での近似値によるR²≒0.92))

このことから、出現率が50%以下の必要熱量推計値をベース負荷として3パターン(16.6%、33.3%、50.0%)設定した。

表-2の平均値を見ると、16.6%で47kW/m²、33.3%で80kW/m²、50.0%で113kW/m²であった。

表-2 必要熱量の累積出現率推計 単位: W/m²

出現率(%)	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2011年度(厚別東)	2011年度(川沿)	2011年度(月寒)	2012年度
16.6	35.9	37	29.4	55.4	49.6	48.1	46.4	60.3
33.3	64.4	66.7	65.7	87.9	85.4	78.6	74.4	95.3
50	88.5	93.6	90.2	132.8	127.3	111.4	107.5	134.1
66.7	123.9	127.7	132.5	175	161.2	147.3	140	178.7
83.3	167.9	188	201.2	222.1	197.7	188.6	176.2	243.6
100	664.9	880.1	514	685.9	556.6	606.3	494.6	638.7
2012年度(厚別東)	2012年度(川沿)	2012年度(月寒)	2013年度	2013年度(厚別東)	2013年度(川沿)	2013年度(月寒)	平均	
52.2	49.4	47.2	55.2	48	45	45	46.9	
84.7	80.7	78	86.4	90.9	78.8	76.8	79.7	
122.3	109.7	107.9	123.6	128.2	110.4	103.8	112.8	
154.5	139.9	135.1	158.2	161.9	142.3	132.8	147.4	
199.1	187.8	178.2	215.9	204.4	195.5	171.3	195.9	
547.4	753.3	466.7	523.8	754.7	546.8	415.2	603.3	

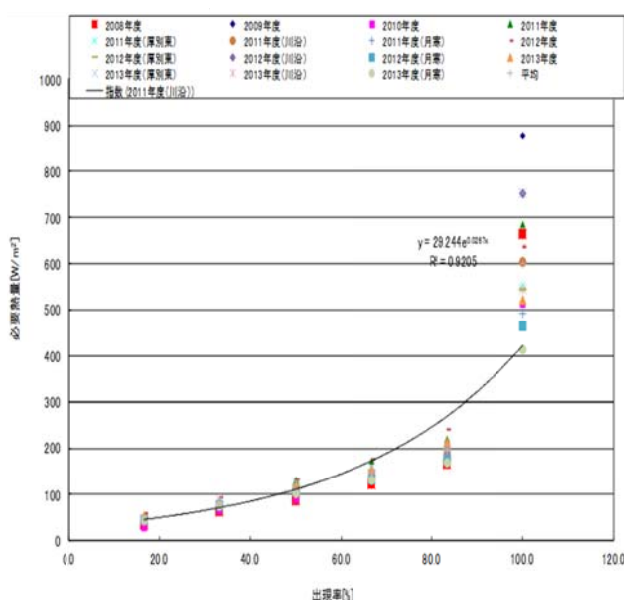


図-1 必要熱量の累積出現率推計

3. 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、小樽、函館、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、外気温が低い時など、「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、4パターンに分けて推計を行った。

- 1) 0W/m²を含む全時間：路面乾燥を考慮せずに全ての時間について算出。
- 2) 0W/m²を除く全時間：積算確率の算出の際に、必要熱量が0W/m²の時間帯を除いて整理。
- 3) 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て、必要熱量を推計しない。(0W/m²を除くデータを使用)
- 4) 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て、必要熱量を推計しない。(0W/m²を除くデータを使用)

表-3 必要熱量推計結果

	札幌	小樽	函館	旭川	釧路
0W/m ² を含む全時間					
累積確率	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均
17%	0.0	0.0	0.0	24.8	0.0
33%	18.1	13.2	2.8	88.1	27.9
50%	58.3	65.5	27.0	140.9	87.6
66%	101.1	114.3	82.5	191.2	165.1
80%	161.2	192.5	154.4	256.1	285.3
100%	683.1	663.6	521.8	668.8	807.6
0W/m ² を除く全時間					
累積確率	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均
17%	39.3	41.8	37.1	71.3	54.4
33%	70.0	77.2	70.0	119.7	101.9
50%	99.6	112.4	103.4	162.8	158.0
66%	138.3	159.6	145.3	209.8	232.2
80%	193.1	228.8	207.6	270.2	339.7
100%	683.1	663.6	521.8	668.8	807.6
降雪終了後48時間以内					
累積確率	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均
17%	42.7	44.9	42.0	73.0	56.2
33%	73.4	78.0	74.6	120.7	95.6
50%	104.7	114.9	109.3	163.6	149.0
66%	144.0	162.1	152.7	210.5	213.2
80%	198.4	231.1	212.5	272.0	311.6
100%	683.1	663.6	521.8	659.8	773.3
降雪終了後24時間以内					
累積確率	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均	必要熱量(W/m ²) 5年平均
17%	45.6	50.1	49.0	75.4	55.3
33%	73.7	81.9	81.2	123.9	89.8
50%	108.9	120.6	119.3	166.8	135.9
66%	147.1	169.2	164.4	214.5	192.9
80%	203.2	239.2	226.1	276.4	275.5
100%	664.8	663.6	521.8	659.8	628.7

表-3より、旭川市が他都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。

釧路市や帯広市は降雪量が少なく、外気温度が低いいため、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のポテンシャルがあると考えられる。

4. 日射量の融雪効果シミュレーション

太陽光は最大1000W/m²の熱エネルギーを持っており、既存RHの実態調査からも日射による融雪の促進や路面温度の上昇、乾燥路面の発生が確認されている。このことからRHの運転に日射を考慮することによる省エネのポテンシャルは高いと思われる。

ここでは、以下の条件で供給熱量の削減効果を検証した。

- 1) 気象データから1時間ごとの日射量を整理した。
- 2) 路面で取得する熱量は積雪路面のアルベド(反射率)を日射量の1/2と仮定した。
- 3) 連続的な日射量等の計測データが揃っている川沿RHの観測結果2年分(12/26~2/28)を推計した。
- 4) 日射量を考慮した供給熱量を1時間ごとに新たに設定し、既存の供給熱量と比較することにより削減ポテンシャルを推計した。新たに設定する日射量を考慮した供給熱量は表-4のとおりとした。

表-4 日射量を考慮した供給熱量

区分	日射を考慮した供給熱量
必要熱量<供給熱量+日射取得熱量	必要熱量-日射量(日射で賄えない分を熱供給する)
必要熱量>供給熱量+日射取得熱量	既存の供給熱量と同様(実際の供給分や250W/m ² は超えないものとして想定するため)
必要<日射取得熱量	0(日射のみで対応可能と想定)

- 5) 日射量による省エネ効果ポテンシャルの推計であり、建物・車輛による影の影響は考慮していない。
- 6) モデルとして、融雪面積1,000m²の場合の環境性・経済性について比較した。なお、電力単価は12円/kWh、電力による二酸化炭素排出係数は0.485kg-CO₂/kWhとした。(電力単価は「ほっとタイム22」。(2013.11北海道電力聞き取り))

表-5 日射量の融雪シミュレーション結果

項目	実測値	日射利用
2012合計(MJ/m ²)	832.3	538.0
2013合計(MJ/m ²)	810.0	574.2
平均(MJ/m ²)	821.1	556.1
削減率		32%
削減料金(千円)		884
CO ₂ 削減効果(t-CO ₂ /年)		36

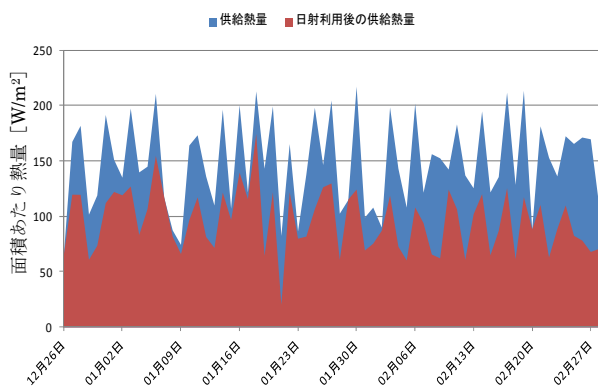


図-2 日射量シミュレーション結果 (2012年度)

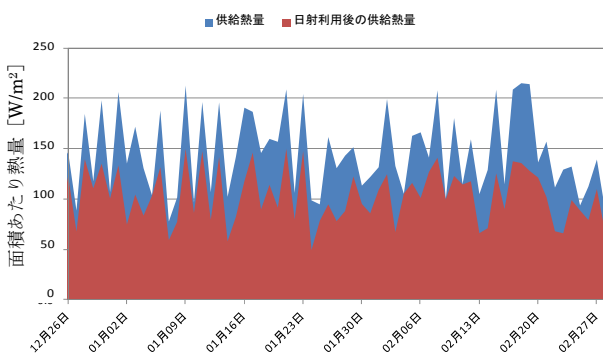


図-3 日射量シミュレーション結果 (2013年度)

推計の結果、2年平均の削減額は884千円/年、二酸化炭素削減効果は36t-CO₂/年となった。

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おり、温水式RHでは流量制限(インバーター制御)などによる熱量抑制が考えられるが、電気式では電源のONかOFFの制御となる。(ON: 250W/m², OFF: 0 W/m²) これ以外の熱供給の方法としては、断続運転が考えられる。1時間に10分×3回の供給とすれば1時間で125 W/m²と同様の熱供給をしたことになる。ただしこの場合は、発停を繰り返すため、機器の対用年数の減少などの課題がある。

5. 断続運転の融雪効果シミュレーション

既存RH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-4)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られる。

ここでは、以下の条件で供給熱量の削減効果を検証した。

1) 気象条件、対象期間、削減効果の電力・二酸化炭素排出量の考え方は、「4. 日射量の融雪効果シミュレーション」と同様とした。

2) 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推計対象とした。

3) 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した。

4) 推計の結果、供給熱量が必用熱量を下回る時間については、断続運転により、融雪不可や路面凍結が発生しないようにするため、元の供給熱量とした。

断続運転のパターンは表-6の3パターンとした。

表-6 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	ホットタイム22と同様
③	0.8	0.2	12分相当	6分×2など

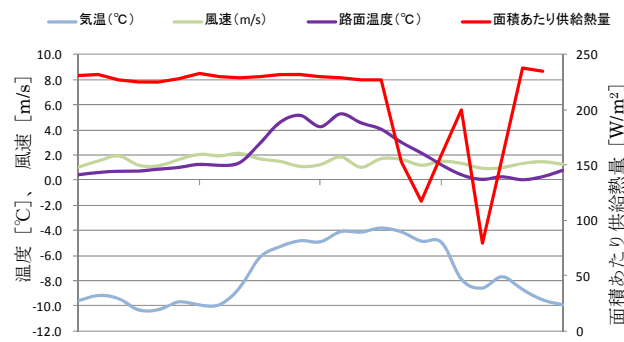


図-4 断続運転時の路面温度 (1/21 川沿RH)

推計の結果、2年間平均の削減額は、344~529千円/年、二酸化炭素削減効果は14~21t-CO₂/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。前項で行った日射量の活用との組み合わせ(日射時に強制的に断続運転を行う制御など)も有効と思われる。

表-7 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 ²)	832.3	661.9	663.8	722.0
2013合計(MJ/m ²)	810.0	663.1	663.5	713.9
平均(MJ/m ²)	821.1	662.5	663.6	718.0
削減率		19%	19%	13%
削減料金(千円)		529	525	344
CO2削減効果t-CO ₂ /年)		21	21	14

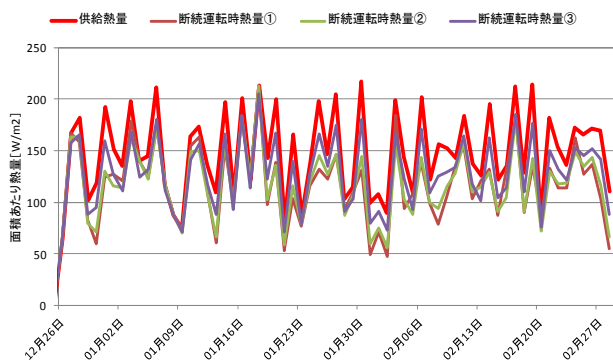


図-5 断続運転時の熱量 (2012年度)

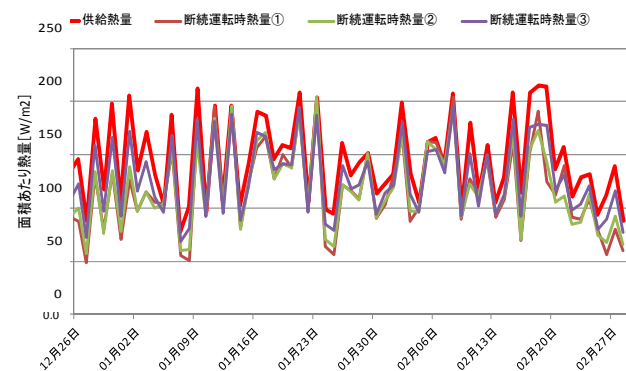


図-6 断続運転時の熱量 (2013年度)

6. 未利用エネルギーによる供給熱量シミュレーション

RH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、下水熱、温泉熱等)、バイオマス等がある。これらのエネルギーについて、偏在性、供給量の安定性、コスト等から総合的に検討し、地中熱の優位性が認められたが、実際の融雪施設へ適用するにあたり地域性を考慮した一番有効な未利用エネルギーの適応性を評価した。

この中で太陽熱は膨大な集光面積が必要となることに加え、エネルギーの需給にギャップがあり(大規模な貯湯槽が必要)、パネルへの着雪の影響も考えられる。よってここでは熱源が供給できれば常時運転可能な地中熱、下水熱、バイオマスで検討した。

表-8 対象融雪施設の一覧

名称	区分	道路延長 (m)	面積 (m ²)
札幌市川沿アンダーパス	札幌1	461	7,826
札幌市南4条西3丁目	札幌2	370	1,541
小樽市若竹ロードヒーティング	小樽1	264	4,379
小樽市入船ロードヒーティング	小樽2	196	2,056
長万部町 長万部交差点	函館	165	2,265
旭川市春志内トンネル(札幌側)	旭川	228	1,858
釧路市旭バイパスロードヒーティング	釧路	282	4,354

表-9 諸元整理

地域	想定運転時間	最大負荷 W/m ²	ベース負荷 (17%)	ベース負荷 (33%)	ベース負荷 (50%)
	時間		W/m ²	W/m ²	W/m ²
札幌1	1,000	250	39.3	70	99.6
札幌2	1,000	250	39.3	70	99.6
小樽1	1,000	250	41.8	77.2	112.4
小樽2	1,000	250	41.8	77.2	112.4
函館	1,000	200	37.1	70	103.4
旭川	1,000	300	71.3	119.7	162.8
釧路	1,000	300	54.4	101.9	158

表-10 年間必要熱量推計

地域	全量供給	ベース供給 (17%)	ベース供給 (33%)	ベース供給 (50%)
	GJ/年	GJ/年	GJ/年	GJ/年
札幌1	7,043	1,106	1,973	2,805
札幌2	1,387	218	388	552
小樽1	3,941	659	1,217	1,771
小樽2	1,850	310	571	832
函館	1,631	302	570	843
旭川	2,007	477	801	1,089
釧路	4,702	853	1,597	2,477

地中熱利用については、

ヒートパイプを敷設する敷地の確保が可能であれば、RHの熱源として導入可能と考えられる。但し、今回検討対象とした施設では最も低いベース負荷であっても十数本を必要とする結果となった。

本検討では札幌で平均的とされる採熱量を用いたが、地下水流量の有無や土壌条件によって取得可能な熱量は大きく変わる可能性があるため、実際の導入にあたっては熱応答試験などを行い必要な設備規模を検討する必要がある。

敷地の確保が可能な郊外部では下水熱のポテンシャルが小さい(下水管に接続する人口・企業が少ない)と考えられ地中熱が優位となる。

表-11 地中熱利用諸元

項目	単位	数値
ポアホール長さあたり採熱量	W/m	40
想定COP	-	4
ポアホール長さ	m/本	100
ポアホール間隔	m	5
ポアホール配置(面積推計用)	正形状を想定	
地中熱交換器(ポアホール)必要本数 $= \frac{\text{必要熱量} \times ((\text{COP}-1)/\text{COP})}{\text{長さあたり採熱量} \times \text{一本あたりポアホール長さ}}$		

表-12 地中熱利用によるポアホール本数

地域	最大出力		ベース出力(17%)		ベース出力(33%)		ベース出力(50%)	
	本数(本)	面積(m ²)	本数(本)	面積(m ²)	本数(本)	面積(m ²)	本数(本)	面積(m ²)
札幌1	367	9,025	58	1,225	103	2,500	147	3,600
札幌2	73	1,600	12	225	21	400	29	625
小樽1	206	4,900	35	625	64	1,225	93	2,025
小樽2	97	2,025	17	400	30	625	44	900
函館	85	2,025	16	225	30	625	44	900
旭川	105	2,500	25	400	42	900	57	1,225
釧路	245	5,625	45	900	84	2,025	129	3,025

下水熱については、都市部のように下水流量が多ければ導入の可能性が高い。今回の検討条件ではベース負荷最低でも100m程度の下水管延長が必要であることがわかった。郊外部では敷地の確保は可能であるが下水量が少なく優位性が低い。

下水については管更生の際に付帯機能として熱の取得を行うことが効果的と考えられる。また、実際の導入にあたっては、流量・温度の連続測定を行った上での導入規模の評価が必要である。現在、国土交通省・環境省において「下水熱ポテンシャルマップ(広域ポテンシャルマップ)作成の手引き(案)」が作成され、各地で説明会が開催されている。今後は都市に張り巡らされた下水管の熱ポテンシャルが評価されていくものと考えられる。

表-13 下水熱利用諸元

項目	単位	数値
想定下水管径	mm	1100
想定①(目安として20ha、1000人程度の上流側の想定)		
下水温度	°C	10
流量	m ³ /s	0.01
想定②(①よりも流量が多く水温も高い場合)		
下水温度	°C	12
流量	m ³ /s	0.03
想定出力	kW	50
必要下水管延長①	m	75
必要下水管延長②	m	55
出力あたり必要下水管延長①	m/kW	1.5
出力あたり必要下水管延長②	m/kW	1.1

■最大出力 ■ベース出力(17%) ■ベース出力(33%) ■ベース出力(50%)

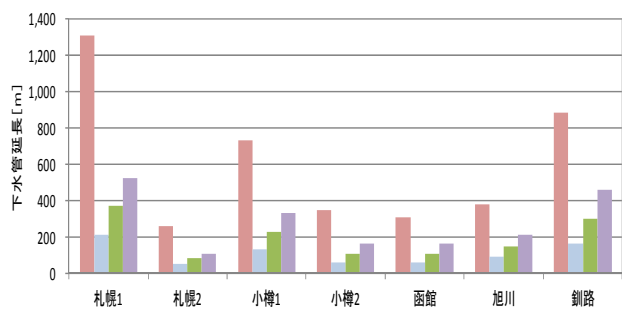


図-8 下水熱利用による必要下水管延長

バイオマスは、地域ごとの賦存量では利用可能であると思われるが、収集運搬や貯蔵コストが課題であり、発生場所と使用場所の問題がある。また近年、大型木質バイオマス発電所が設置されており、使用可能な原材料が減少しているが、これはNEDOのデータベースに反映されていないため留意が必要である。(道東2箇所、道央1箇所に大規模発電所、札幌市では地域熱供給の熱源、旭川では製紙工場の熱源などに使用されている)

表-14 バイオマス原料の各地域の有効利用可能量

種類	札幌		小樽		函館		旭川		釧路	
	量	熱	量	熱	量	熱	量	熱	量	熱
林地残材	63	1,142	52	945	180	3,256	212	3,842	252	4,565
切捨間伐材	149	3,162	88	1,864	318	6,776	328	6,994	413	8,787
果樹剪定枝	42	486	67	774	2	23	139	1,595	0	0
国産材製材廃材	594	10,753	451	8,171	259	4,681	1,418	25,672	345	6,251
外材製材廃材	38	696	29	529	17	303	92	1,661	22	404
建築廃材	1,809	32,738	97	1,752	311	5,628	441	7,980	201	3,645
新增築廃材	1,176	21,277	72	1,299	205	3,714	279	5,049	129	2,326
公園剪定枝	1,724	19,821	106	1,224	497	5,712	553	6,360	310	3,570

※量：有効利用可能量 (DW-t/年)

※熱：有効利用熱量(GJ/年)

バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計 (NEDO)
<http://appl.infoc.nedo.go.jp/biomass/>

表-15 各地域のエネルギー種類ごとの適合正評

名称	地中熱	下水熱	バイオマス
札幌市川沿アンダーパス	△	○	△
札幌市南4条西3丁目	△	○	△
小樽市若竹ロードヒーティング	△	○	△
小樽市入船ロードヒーティング	△	○	○
長万部町 長万部交差点	○	△	○
旭川市春志内トンネル(札幌側)	○	△	△
釧路市旭バイパスロードヒーティング	△	○	△

道内7箇所の融雪施設を対象に、未利用エネルギーの利用についてシミュレーションを実施した結果、市街地では、地中熱ヒートパイプの設置場所の確保が難しく、下水熱の利用が有効であることがわかった。

また、郊外部では下水量の確保が難しく、地中熱の有効性が高いことがわかった。

7. 維持管理上の課題について

積雪寒冷地では道路補修のため、部分的あるいは面的に路面の薄装作業が行われるため、RHの路面に設置されている「路面温度センサー」や「水分センサー」の設置状況について調査した。

調査の結果、薄装作業によりセンサーが不適切な設置状態になっている箇所が見られた。

写真－2は、路面レベルに設置されているセンサーで、ヒーティングの制御に問題なく、除雪時に破損する可能性も少ない。



写真－2 路面センサーの設置状況①

写真－3は、薄装作業によりセンサー表面が路面レベル以下になった状況で、融雪水が溜まる可能性がある。舗装表面は乾燥した状態でも、水分センサーが溜まった水を検知する可能性がある。また、路面温度についても溜まり水の温度を検知する可能性がある。



写真－3 路面センサーの設置状況②

写真－4は、センサーが路面レベル以上になった状況である。除雪車などで、センサーが破損する懸念がある。



写真－4 路面センサーの設置状況③

RHの省エネルギー化にあたっては、気象条件や路面状況に応じた制御を行う必要があり、センサーの適切な設置が欠かせない。今回、現地調査を行ったRHについては適切とは言い難い状況が散見されたが、一部ではセンサーの周囲の路面補修を行い、適切な状態に改善している事例もあった。あらためてセンサーの設置状況の把握と、状況に応じた路面の部分補修が望まれる。

また、センサーの設置位置が路肩近傍にあって、その上に堆雪していたり、車両走行部に設置されているところもあるなど、センサーの設置位置が統一されていない。これは、施設の誤動作やセンサー故障の原因になるため、最適なセンサーの設置方法を検討する必要がある。

路面に直接設置するセンサー以外に路面の補修作業等に影響されない非接触型センサーを導入することも対策の一つである。ただし、非接触型センサーをRH制御に採用している事例が無いため、今後のデータ蓄積・評価、さらにはシステム最適化及びコストの検討を行う必要がある。

8. 下水熱利用の事例調査

RHの熱源として地域偏在性はあるが、下水熱（生下水）の利用が期待できる。そのため、下水熱を熱源としたRHや冷房について事例を調査し、システムフロー、経済性、環境性、課題を把握した。

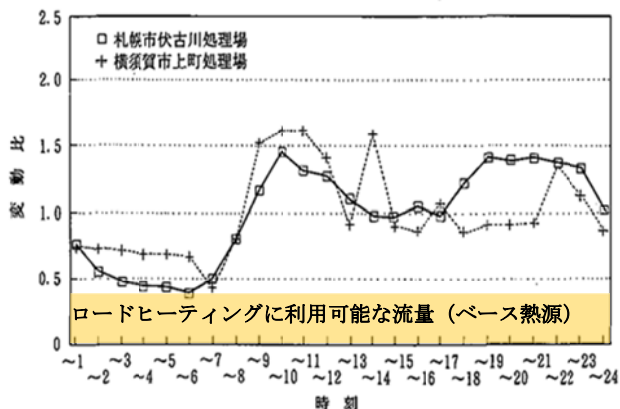
8. 1 下水の概要

8. 1. 1 「下水道施設計画・設計指針と解説」における位置付け

下水道の実務手引書である「下水道施設計画・設計指針と解説－2009年版－（社団法人日本下水道協会）」において、下水道の新エネルギー・未利用エネルギーとして、①下水又は下水処理水、②汚泥、③自然エネルギーを挙げ、地域や社会の要請に応じて、積極的活用するよう述べられている。

8. 1. 2 下水流量

汚水量 10,000～100,000m³/日規模の流入汚水量の時間変動比を図－9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。



出展：下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版
 図-9 流入汚水量の時間変動比
 (10,000~100,000m³/日)

RH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。下水熱をRH用の熱源として活用する場合は、導入箇所近傍に敷設されている下水道管渠の流量をもとに検討する必要があるが、図-9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。

8. 1. 3 下水の水温

下水の水温については、「下水道統計」に測定値の記載があったので、道内主要都市の水温を表-16にまとめた。

道内の下水の水温は平均16~18℃、最高20℃以上、最低10℃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℃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-16 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

出展：平成22年度 下水道統計

8. 1. 4 下水熱の課題・有効性

下水熱について、冬期の水温は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、郊外での導入は難しい。

これまで検討してきた地中熱の優位性の一つに「偏在性」があったが、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難しい。

以上のことから、地中熱と下水熱は双方の短所を補うことが可能で、例えば周囲の土地利用状況で熱源の種類をすみ分けすることで、各々の有効性が見いだせるものとする。

8. 2 国内の導入事例

下水熱利用による地域熱供給事業の事例としては「東京都後楽一丁目地区」、「ソニー(株)本社ビル」、平成30年供用開始予定の「名古屋市ささしま24地区」の事例がある。

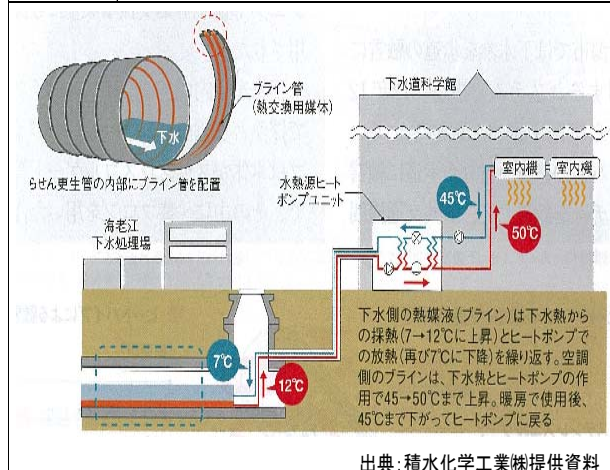
このうち、生下水を活用している事例は「東京都後楽一丁目地区」であるが、下水管渠に採熱管を設置して大規模に熱回収している事例はない。

しかし、下水管からの採熱事例の実証試験としては、仙台市若林区と、大阪市福島区(国土交通省の委託研究「B-DASHプロジェクト」)がある。技術の概要は老朽化した下水管渠の管更生とあわせて採熱管を敷設するものであり、下水管渠からの熱回収技術として現実的なものである。

以下に大阪市福島区の実証事例を示す。

表-17 下水熱利用事例(実証事例)

導入場所	大阪市福島区
用途	空調用熱源
下水の種類	生下水
事業概要	大阪市と積水化学工業(株)、東亜グラウト工業(株)の共同研究事業(国土交通省の委託研究「B-DASHプロジェクト」)で、管路内設置熱交換器による熱回収・利用技術のコスト削減効果、省エネ・CO2排出量削減効果、及び管路更生工事との同時施工による効果を実証することが目的である。
熱供給先	大阪市下水道科学館(B1Fフロア)
需要施設	負荷条件:暖房負荷:54kW(ピーク)、冷房負荷:99kW(ピーク)



出典：積水化学工業(株)提供資料

8. 3 下水熱利用による経済性及び環境性

導入事例について、聞き取り調査、ならびに資料調査を行ったが、経済性について明確な回答を得られなかった。このため、実証事例ではあるが、数値評価が公表されている表-17に示した大阪市と積水化学工業(株)、東亜グラウト工業株の共同研究事業(国土交通省の委託研究「B-DASHプロジェクト」)の経済性、環境性の評価結果をまとめる。なお、“従来技術”とは東京都後楽一丁目のコスト分析をしたものである。

表-18 下水熱利用事例のコスト縮減効果

項目	従来技術	革新的技術	縮減率
建設費	231百万円/年	140百万円/年	39%
維持管理費	386百万円/年	296百万円/年	23%

表-19 下水熱利用事例の環境性効果

項目	従来技術	革新的技術	縮減率
エネルギー使用量	29.7MWh/年	25.67MWh/年	14%
CO ₂ 排出量	建設時	3,925t-CO ₂ /年	14%
	運転時	16,312t-CO ₂ /年	
	ライフサイクル	20,237t-CO ₂ /年	

コストで約30%、エネルギー使用量14%、CO₂排出量で14%の縮減効果が見込まれる。

9. まとめ

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

- ・供給熱量の削減ポテンシャルは40%程度であることがわかった。これは予熱制御や路面湿潤による制御も含めたものである。
- ・必要熱量は、地域により大きな差があり、降雪が少ない地域では路面乾燥を考慮することで、大きな省エネポテンシャルがあると思われる。
- ・日射量については、融雪箇所の実測値から有効なエネルギーであるが、供給の安定性が確保できないことや、建物等により利用できる箇所が限られる。
- ・RHの断続運転制御については、現状でも融雪電力契約の規定により実施されており、大きな問題が発生していないことから、今後は、路面の安全性を保持可能な適切な断続運転を検証する。
- ・道内7箇所のRHを対象とした未利用エネルギー利用シミュレーションでは、市街地では下水熱、郊外部では地中熱の有効性が高かった。

・路面温度センサー及び水分センサーについては、設置位置が統一されておらず、路肩や中央線部、車両走行部など適切とは言えない設置も見受けられた。

・下水熱については、エネルギーとしての利用が進められている。特に都市部での未利用エネルギーとしてのポテンシャルが高い。

今後は、各センサーの適正配置や、路面乾燥的確な判断、マイナス路面温度時の降雪の影響、未利用エネルギーのハイブリット活用などについての検討を行う。

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
- 4) 下水道施設計画・設計指針と解説、2009年版
- 5) 平成22年度 下水道統計
- 6) 気象庁 アメダスデータ

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

KISHI Norihito

SAITHO Kaname

THURUSAWA Toshiki

Abstract : In the cold district, a snow melting facility is indispensable because of reservation of traffic safety, takes road conditions, such as a slope, into consideration, and is equipped. Moreover, most of these heat sources are electricity. The electric cost serves as a big burden of road management. Furthermore, power saving is needed after the East Japan great earthquake.

Hokkaido has a peak of the amount of the electric power used in winter. For this reason, power saving of winter is important. Then, more efficient and economical maintenance management is called for.

We investigated the minimum required quantity of heat. Propose the directions for the renewable energy which can be exploited with a snow melting facility.

In 2013, compared the amount of heat supply and heat requirements, and investigated the use cases of building waste heat and swage heat.

Further, in order of propose a maintenance procedure snow-melting facilities, were performed simulation required minimum heat, solar radiation, of the intermittent operation.

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