

下水熱を利用した低炭素まちづくり

下水熱利用路面融雪システムの実用化に向けた取り組み

坂田 和 則・関 口 直 幸

本稿では、下水熱を利用した路面融雪システムの実用化に向けた取り組みについて報告する。近年、温室効果ガスの排出削減が求められる中、下水熱のような再生可能エネルギーの利活用が注目されている。下水熱は、年間を通して安定供給可能なエネルギー源であり、路面融雪システムへの利用は、除雪コスト削減や環境負荷低減に貢献することが期待できる。本研究で得られた成果は、下水熱利用路面融雪システムの実用化に向けた指針となるものである。また、本研究で策定したガイドラインは、他の自治体における下水熱利用路面融雪システムの導入に役立つことが期待される。

キーワード：下水熱，路面融雪，低炭素まちづくり，実証実験，ガイドライン，札幌市

1. はじめに

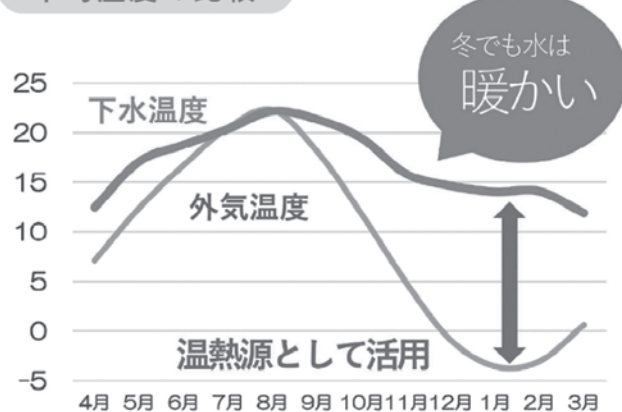
下水熱は、外気温度と比べて夏は涼しく、冬は暖かいという特徴がある。その温度変化は少なく、年間を通して安定して活用できる「再生可能エネルギー」である。下水熱を利用することで、エネルギーコストの削減やCO₂排出量の削減を図ることができ、今後の低炭素まちづくりに貢献するエネルギーとして注目されている（図—1）。

2015年度には下水道法が改正され、民間事業者が下水道管に熱交換器を設置することが可能となった。札幌市は市内全域に下水道管が敷設されており、下水道管からの下水熱利用が進めば全市的に大きな効果が得られる。札幌市では下水熱利用を促進するため下水熱ポテンシャルマップを公表している（図—2）。それにより今後、下水熱利用の普及拡大に向けた取り組みは一層高まっていくことが予想される。今回は、下水熱を利用した路面融雪システムの実用化に向けた取り組みを紹介する。

2. 実証実験と成果

さっぽろ下水熱利用研究会は、下水熱を路面融雪に利用できないかという発想から、2017年に5企業1大学からなる研究会を発足した。2019年からは企業1社を加え、札幌市の雪対策に貢献することを目的に、北海道科学大学キャンパス内に、北海道初の下水熱を利用した融雪システムを敷設し、実証実験を行ってき

平均温度の比較



図—1 外気温と下水温の比較（札幌市新川水再生プラザのデータより）



図—2 札幌市下水熱ポテンシャルマップ（札幌市 HP より引用）

た。下水熱を利用した路面融雪は東北・北陸地方などで導入が進んでおり、その効果が実証されている。しかし、北海道とは降雪量、外気温や風速、日照時間等の気象状況が異なることから、北海道でも十分な効果が期待できるのか、道内における融雪効果やコスト、

課題についての検証が必要である。札幌市の雪対策事業の中心は重機で行う除雪や排雪作業であるが、縦断勾配が大きい幹線道路等の一部ではロードヒーティングを設置して、凍結路面对策を行っている。ロードヒーティングの熱源として、電気やガスなどの化石エネルギーを使用しているが、その維持費は高額であり、毎年10億円近くの光熱費がかかっている。本研究会は、未利用エネルギーの活用として下水熱を利用することにより、光熱費を低減することはもとより、環境負荷の低減など持続可能な社会の実現にも貢献できるものと考えている。

3. 下水熱融雪システムについて

本実証実験は2017年(平成29年)12月より開始し、2022年(令和4年)3月まで5シーズンのデータ収集、解析、検証を行ってきた。その結果3タイプの方式を提案するに至った。

(1) 循環ポンプ式システム

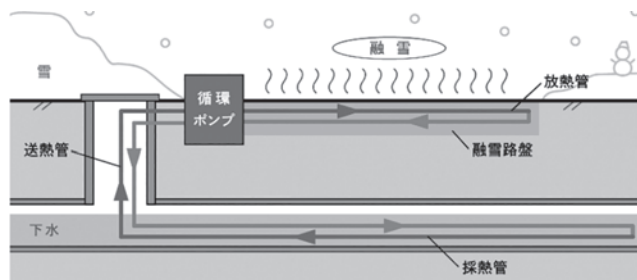
下水道管の底に設置した採熱管より下水から採熱を行い、管内の不凍液を循環させ、路盤の放熱管より放熱し融雪するシステムである(図—3)。

循環ポンプ式システムのみで直接融雪する場合、融雪効果はあるものの、大雪や低温下では融雪に時間がかかることがわかり、融雪が確実に求められる車道等には不向きであるが、比較的面積が小さい歩道部やバス停などに採用できる(写真—1)。また、課題としては不凍液の温度が低いため、放熱方法に工夫が必要となる。対応方法としては、①放熱路盤に熱伝導率の高い材料を選定する、②放熱パイプを密に配置する(標準200ピッチ→150ピッチなど)、③放熱パイプの材質を熱伝導率の高いステンレス鋼などへ変更する、などが挙げられる。さらに、非降雪時も常時運転することで予熱による融雪効果が上がり、始動や停止の運転制御が不要となるメリットもある。

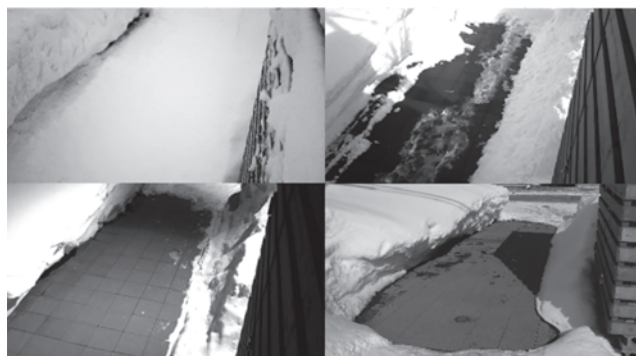
(2) ヒートポンプ式システム

融雪負荷が大きい場合に、下水から採熱した熱量をヒートポンプにて必要な温度まで昇温させて融雪するシステムである(図—4)。札幌市のロードヒーティングの基準値である熱流束 250 W/m^2 を確保でき、温水式・電気式より維持費用が低コストであることが特徴である。

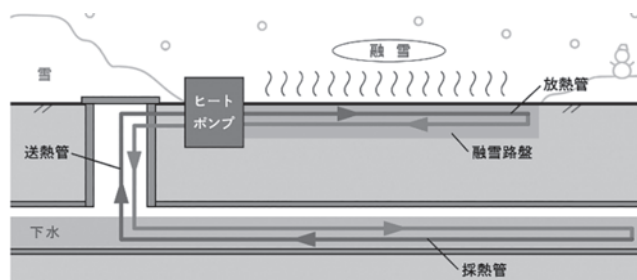
ヒートポンプ式システムでは、十分な融雪効果があり、車道部など融雪が確実に求められる場所に採用で



図—3 循環ポンプ式システム 概略図



写真—1 循環ポンプ式システム 融雪状況



図—4 ヒートポンプ式システム 概略図



写真—2 ヒートポンプ式システム 融雪状況

きることがわかった(写真—2)。また、既設のロードヒーティングシステムと同じ運転制御が可能であり、さらに放熱部は従来の温水ロードヒーティングと同じ方法が利用可能である。

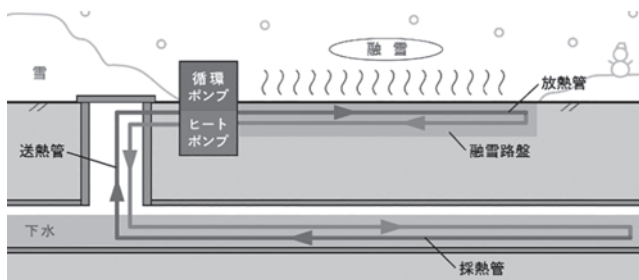


図-5 循環・ヒートポンプ併用式システム 概略図



写真-3 循環・ヒートポンプ併用式システム 融雪状況

(3) 循環・ヒートポンプ併用式システム

通常時は循環式で運転し、熱量が不足し残雪する場合にヒートポンプを稼働し融雪する（図-5）。

ヒートポンプ式と同様に熱流束 250 W/m^2 の確保が可能であり、車道部など融雪が確実に求められる場所や中規模程度の融雪箇所への対応が可能である（写真-3）。

維持費についてはヒートポンプ式と比較すると、循環式とヒートポンプ式を組み合わせたことにより、両システムのメリットを生かし、路面状況に応じた運転が可能となるため、さらに低コストである。

4. 実証研究に基づくエネルギーの評価結果

実証研究に基づくエネルギーの評価結果（表-1）と2019年（令和元年）時点でのコスト比較（表-2）を示す。評価については実証実験期間中の代表日を抽出して算出している。コスト比較については既存の施設（電気式と温水式）と比較している。

循環式は熱流束が 95 W/m^2 と基準には満たない。ヒートポンプ式については熱流束が 220 W/m^2 と若干少ないが、実験施設を熱伝導率の高いものに変更することで基準値である 250 W/m^2 を確保できると予測される。循環・ヒートポンプ併用式は熱流束が 250 W/m^2 を確保している。

次にコストについて（表-2）、建設費は既存のものと比較すると約3倍の費用がかかるが、国の補助を

表-1 エネルギー消費量の評価結果

	採熱下水管	融雪面積 m^2	消費電力 kW	採熱量 kW	採熱能力 kW	放熱量 kW	熱流束 W/m^2	ランニング コスト $\text{円/h}\cdot\text{m}^2$
循環式	$\Phi 1,000 \text{ mm} \times 20 \text{ m}$	20.3	0.33	1.9	96	1.9	95	0.4
HP 式	$\Phi 1,000 \text{ mm} \times 20 \text{ m}$	56.1	4.05	8.4	421	12.4	220	1.7
併用式	$\Phi 300 \text{ mm} \times 30 \text{ m}$	14.4	0.22	0.4	14	0.4	30	0.4
			1.98	4.3	85	4.3	300	3.2

表-2 コスト比較（2019年試算）

		実証実験		札幌市実績	
		下水熱	補助※	電気式	温水式
建設費	千円/ m^2	300	150	100	100
維持費	円/ m^2	1,400	1,400	5,400	2,000
維持費(30年間)	千円/ m^2	42	42	162	60
総費用(30年間)	千円/ m^2	342	192	262	160

※下水熱建設費の1/2に補助金を充当した場合

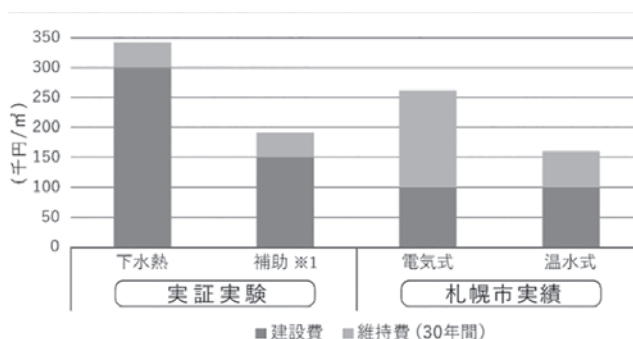


図-6 30年間のコスト比較（2019年試算）

表-3 技術の適用範囲

箇所	細目	内容	備考
下水道 管路	管径	$\Phi 200 \sim 2,600 \text{ mm}$	
	延長	最長 $L=100 \text{ m}$	1 スパン長
	管渠形状	円形（矩形可）	
	管種	ヒューム管、塩ビ管	
	管渠強度	アンカー打設の場合 圧縮強度 20 N/mm^2 以上	著しい腐食がないこと
	マンホール口径	600 mm 以上	

出典：さっぽろ下水熱利用研究会ガイドライン

利用することで導入費を1/2に抑えることが可能である（図-6）。ランニングコストは従来の電気式やガス式よりも低コストとなる。

5. 下水熱利用のガイドライン

技術の適用範囲（表-3）として、管径は札幌市の標準的な形状・サイズに対応し、1 スパン長は採熱管の製造最長より100 mとなっている。

円形の管路を標準としており、 $\Phi 200 \sim 2,600 \text{ mm}$ を対象とする。また、大口径管はアンカーを既設管に打設することから、著しい腐食がないこと、圧縮強度が

あることが条件となる。検討する管径の諸元については、採熱管が設置できる本数や下水熱として得られる採熱量が延長によって概ね判断することができる。また、必要となる下水水位も決まっているため事前に確認しておく必要がある。

6. 導入事例「札幌市中央区複合庁舎整備事業」

(1) 下水熱利用融雪システムの導入に向けて

札幌市の中央区役所は、札幌オリンピックが開催された1972年（昭和47年）に建設された。建物の老朽化等を踏まえ、現在中央区複合庁舎として建て替え工事を行っている（図—7）。「環境首都・SAPPORO」の実現に向けて省エネを推進し、環境に配慮した庁舎を目指しており、エントランスやピロティなど建物周囲の融雪や空調設備に下水熱の利用が検討された。

(2) 冬期・夏期の流量と水温の調査

下水熱システムの敷設は、融雪面積に対して必要な熱量を求め、採熱の設計を行う。そのため、事前に隣

接する下水管の流量等の調査を行う必要があり、冬期と夏期の2回行った。まず、冬期は1月20日から3月4日まで下水の温度と流量調査を実施した（図—8、表—4）。

結果については、水温・水深ともに日変動があり、概ね朝6時過ぎから水温・水深ともに上昇し、12時頃と23時頃の2回ピークを迎え、その後朝6時まで水温・水深ともに徐々に低下している。その他の特徴として、積雪深が著しく増えた日と、日中の気温が上昇した日に水温がやや低下して、水深が深くなっている傾向が見られた。積雪深が著しく増えている日は積雪の処理水、日中の気温が上昇した日は融雪水の影響が出ていると推察される。

次に、夏期の7月20日から8月31日まで下水の温度と流量調査を実施した（図—9、表—5）。

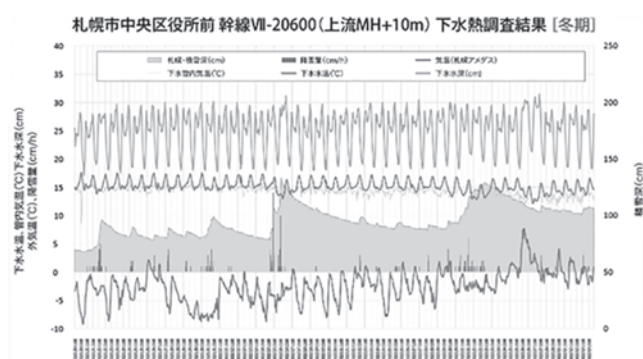
冬期と同様に水温・水深ともに日変動があり、概ね朝6時過ぎから水深・水温ともに上昇し、12時頃と23時頃の2回ピークを迎え、その後朝6時まで水深・水温ともに徐々に低下している。夏期は水深変動が非常に大きい傾向が確認できたが、水深が30cmを超えている日はいずれも降水の記録があることから、雨の影響であると推察される。

(3) 設計概要

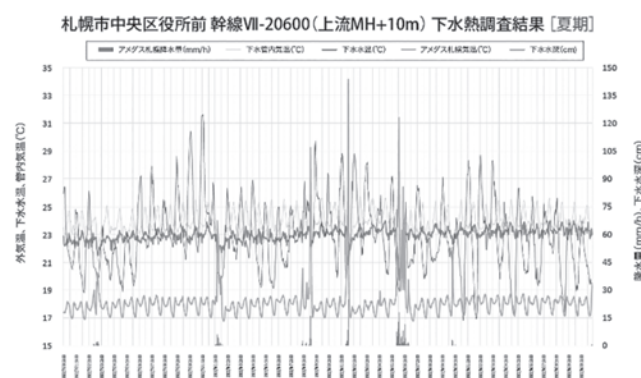
調査結果から、水深は平均で20cm以上、水温は平均冬15℃、夏23℃と採熱に必要な条件が確認できた。また、これらの数値をもとに設計概要（表—6）として取りまとめた。また、冬期においても安定的に



図—7 札幌市中央区複合庁舎完成イメージ（札幌市 HP より引用）



図—8 冬期 下水熱調査データ



図—9 夏期 下水熱調査データ

表—4 測定結果（冬）【測定期間 1/20～3/4 まで】

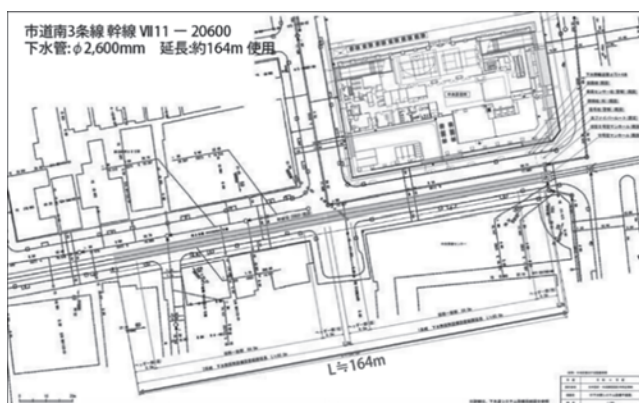
水深 (cm)	最大値	最小値	平均値	中央値	8～23時最小値
	31.5	17	25	25.7	20.7
水温 (°C)	最高値	最低値	平均値	中央値	気温氷点下最小値
	17.6	12.1	15.1	15	12.8

表—5 測定結果（夏）【測定期間 7/20～8/31 まで】

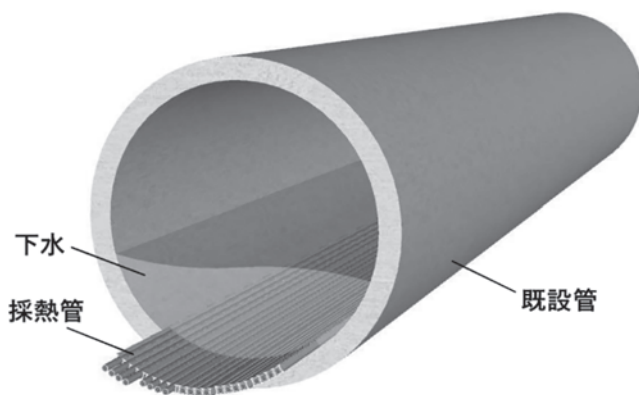
水深 (cm)	最大値	最小値	平均値	中央値	8～23時最小値
	143.7	13.2	23.1	22.5	17.2
水温 (°C)	最高値	最低値	平均値	中央値	—
	24	19.7	22.9	23	—

表—6 設計概要

設計条件	設計値（平均値）	参考値 （MAX/MIN）	備考
下水温度（夏）	22.9℃	24.0℃/19.7℃	R4.7～8月
（冬）	15.1℃	17.6℃/12.1℃	R4.1～2月
下水水深（夏）	23.1 cm	143.7 cm/13.2 cm	同上
（冬）	25.0 cm	31.5 cm/17.0 cm	同上
下水流量	12,000 L/min	平均推進前後の 推定値	マニング式より試算
採熱計画	350 kW（冬期能力）	夏期 240 kW 見込	本現場は冬期能力が基本
採熱延長	64 m×2 系統	ヘッダー 8 m （1 系統 2 か所）	申請全長 164 m
採熱管回路	48 回路×2 系統	高採熱管	一般管より 30% 熱性能 UP
熱源水流量	1 系統 288 L/min	2 系統 計 576 L/min	



図—10 平面図 市道南3条線東西方向に約164m



図—11 下水熱採熱管の敷設イメージ

350 kW の採熱とするため敷設する採熱管の延長は約 164 m と設定された（図—10, 11）。

（4）下水熱の利用箇所

札幌市中央複合庁舎は 2023 年（令和 5 年）1 月に起工され、2025 年（令和 7 年）1 月には完成、2 月 25 日に供用開始の予定である。

エントランスやピロティなど建物周囲には、下水熱



図—12 札幌市中央区複合庁舎完成イメージ（札幌市 HP より引用）

を利用したロードヒーティングが設置され、冬でも快適に通行が可能である。また、空調設備にも下水熱が利用されることとなった（図—12）。

7. おわりに

さっぽろ下水熱利用研究会を立ち上げ、北海道科学大学での 5 シーズンにわたる実証研究により、厳しい冬期環境の北海道でも、下水熱を利用した融雪システムの効果を検証することができた。札幌市の大規模な市有施設である中央区複合庁舎への採用も決まり、市民に対する下水熱利用のアピールと普及促進への期待が高まる。また札幌市では、年間約 250 億円の費用をかけて雪対策を行っており、冬期間における下水熱利用は未利用エネルギーとしてのポテンシャルを最大限に活用できるとともに、費用の削減にも貢献できるなど、今後とも下水熱利用の普及促進に取り組んでいきたいと考えている。

J C M A

〔筆者紹介〕

坂田 和則（さかた かずのり）
伊藤組土建(株)
常務執行役員



関口 直幸（せきぐち なおゆき）
伊藤組土建(株)
土木本部 技術部 技術課
課長

