

日本国内における自然エネルギー利用融雪システムの普及状況と将来性

岩本欣也 (北大工学部) 佐山惣吾 (寒地技術研究所)

はじめに

近年、地球規模のCO₂削減問題が切迫する中、野放図な化石エネルギー消費への警鐘がなされている。わが国においては特に民生部門、すなわち個人個人の自動車や住宅等のライフスタイルに関わる技術分野での省エネルギーとCO₂削減が重要な課題と言われている¹⁾。住宅暖房においては太陽熱や地熱の利用あるいは蓄熱技術の研究が進んでいるが、融雪システムにおいても同様に自然エネルギー利用や蓄熱技術の適用が今後重要となる。

もともと地下水利用を行ってきた融雪技術が、昨今は電気ガス灯油といった貴重なエネルギーを大量に使って強制的に雪を排除する方法を取るようになってきている。札幌市内では、融雪システムにおいて公共道路用民生用(建築付帯)併せて年間 約20TJ ものエネルギーが消費され、そのほとんどが電気ガス灯油を使用するものである²⁾。もちろん公共交通の安全を図る上では大変重要な役割を担っている訳であるが、一般家庭での使用等その用途によってもう少し緩やかな欲求の場合も多く、エネルギー消費面からの技術の選り分けが必要と考えられる。

本報は、太陽熱と地中熱を中心にした自然エネルギー利用融雪システムの、近年における国内普及状況を報告し、今後の可能性を検討するものである。

1. 融雪システムへの地中熱の利用形態

融雪システムに地中熱が利用され出したのは、1961年新潟県長岡市東坂上町の地下水散水消雪システムの設置からである。散水方式は、1984年には全国の道路で総延長1500Kmを超えるまで普及したが、地下水位の低下による地盤沈下問題が発生し、パイプ内を地下水を循環させる無散水消雪システムへの転換が図られた。1964年、札幌市定山溪温泉では温泉水を利用した無散水消雪システムが設置された他、1972年から建設省土木研究所、北陸地方建設局、日本道路公団等が中心となり地下水循環方式の融雪実験を行った。この方式は、1975年以降温水循環方式の無散水消雪システムとして全国的に普及し、1990年代からは地下水直接循環から地中熱交換器による間接的な地中熱利用形態に、さらに夏季の太陽熱蓄熱と併せた年間サイクル運転を行うシステムとなって、現在に至っている³⁾。

表一に、以上の経緯を踏まえ、無散水融雪システム(温水循環方式)における地中熱の利用形態を分類した。1980年代までは直接利用方式の実績が多かったが、1990年以降は垂直管による熱交換方式の実績が増えてきている。地下水利用は使い捨てから還元する方式にそしてさらに夏季の太陽熱蓄熱を行う方式に、より環境に優しい方向へと発展してきていると言える。さらに今後は、熱回収率の高い帯水層蓄熱技術の融雪利用が期待される。

表-1 日本国内における無散水融雪システムの
地中熱（蓄熱）利用形態分類

利用方式	システム分類	熱交換方法	利用深さ	地中熱利用形態 (熱サイクル形態)	実施例件数 (日本国内)
直接利用	温泉水直接利用方式	大深度井戸	～3000m	使い捨て	14件
	地下水直接利用方式	1本井戸方式	30～300m	使い捨て	8件
		2本井戸方式	30～300m (還元井～100m)	地下水灌養	14件
熱交換方式	温泉水熱交換方式	大深度井戸	～3000m	使い捨て	9件
	地下水熱交換方式	2本井戸方式	30～300m		4件
	地中熱交換方式	水平管熱交換	～10m	夏季太陽熱蓄熱	2件
		垂直管熱交換	30～300m	夏季太陽熱蓄熱	12件
		ヒートパイプ熱交換	～10m	夏季太陽熱蓄熱	3件
帯水層方式	帯水層方式	帯水層	50～300m	夏季太陽熱蓄熱	実験段階

2. 日本国内における地中熱融雪システムの普及状況

表一2に日本国内における地下蓄熱（地中熱交換方式）利用融雪システム（実施例）の一覧を示し、図一1にその分布図を示した。最北は北見から最南は広島まで19件の実施例が報告されている。この表の作成にあたっては、日本無散水消融雪施設協会発表の「雪のホームページ」および国土庁地方振興局「未利用エネルギーを活用したオンサイト型融雪システムに関する調査研究委員会報告書」を参考とした。

地中熱の間接利用に用いられる地中熱交換器の方式は、全体として3つに分類される（図一2参照）。すなわち盛土内に水平管を当間隔で埋設して夏季蓄熱を行う水平管熱交換器方式（ヒートパイプを用いる場合もある）、30m深さ以内の浅い範囲に垂直管を複数本埋設して夏季蓄熱を行う垂直複数管熱交換器方式、100m以上の深さに垂直管を1本埋設して地中からの採熱を行う坑井内同軸熱交換器(DCHE)方式（または掘削熱交換(BHES)方式とも呼ばれる）である。

3. 地中熱交換器の設計について

地中熱利用融雪システムの設計の手順としては、融雪場所の選定後、用途に応じて要求される融雪速度を設定し、気象条件や地中温度条件から必要とされる地中熱交換器を決定する。システムによっては、蓄熱槽やヒートポンプとの組み合わせも検討する。

垂直単管方式（BHES方式またはDCHE方式）の地中熱交換器（垂直単管）の規模設計について、埋設深さ算定フローを図一3に示した。融雪路盤においては、差分法による融雪解析モデルの結果から融雪速度と循環温度と路面温度の差1次式を用いた。蓄採熱を行う土壌においては、無限固体中の線発熱熱伝導を示す線源理論式を用いた⁴⁾。融雪路盤と土壌は共通の管壁温度（循環温度）によって熱平衡を保っている。この計算は期間平均値を用いて計算される。運転時間は各地の降雪時間より大きい安全側の時間を設定する。この計算を日本各地域の気象条件、地中温度条件に適合して行った中で、札幌、青森、秋田、新潟、金沢、鳥取の計算結果を表一3に示した。降雪量が少なく、地中温度が高い程、熱交換器の必要深さは短くて良い。たとえば札幌では、20 m²の融雪面積に対して約100mの深さが要求される。

表-2 日本国内における地下蓄熱（地中熱交換方式）
を利用した無散水融雪システム（実施例）

No.	場所		建設年	融雪面積（適用）	熱交換器 補助装置	開発指導
	県名	市町村名				
1	新潟	長岡市	1989	—（国道脇歩道）	—	—
2	秋田	協和町	1990	200 m ² （高速道路） ヒートパイプ方式	水平管熱交換 盛土内蓄熱（3000 m ³ ）	日本道路公団
3	岡山	川上村	1991	300 m ² （高速道路） サビエリア歩道） ヒートパイプ方式	水平管熱交換 盛土内蓄熱	日本道路公団
4	新潟	小千谷市	1991	400 m ² （駐車場）	水平管熱交換	北陸地方建設局
5	福井	福井市	1992	400 m ² （駐車場）	垂直管熱交換 35m×48本 (400mm 径) ロックリフトパイプ	福井県雪対策・ 建設技術研究所
6	青森	青森市	1992	118 m ² （駐車場）	30m×3本 垂直管熱交換	—
7	青森	青森市	1992	住宅80戸 （駐車場）	—	—
8	鳥取	米子市	1992	150 m ² （高速道路） パークエリア） ヒートパイプ方式	4.5m 深さ 水平管熱交換 土壌内蓄熱	—
9	鳥取	鳥取市	1993	—（国道横断 歩道橋）	垂直管熱交換	—
10	新潟	柏崎市	1994	900 m ² （駐車場）	水平管熱交換	北陸地方建設局
11	広島	西城町	1994	—（フェーン脱着場）	垂直管熱交換	—
12	広島	戸河内	1994	—（国道交差点）	垂直管熱交換	—
13	北海道	北見市	1994	100 m ² （道路）	8m×27本(80mm 径) 垂直管熱交換 土壌内蓄熱 (1320 m ³)	北海道通産局 北見工業大学
14	岩手	二戸市	1995	266 m ² （道路）	150m×3本 (89mm 径) 垂直管熱交換	通産省工業技術 院資源環境総合 研究所
15	兵庫	波賀町	1995	—（道路トンネル）	垂直管熱交換	—
16	広島	野村横谷	1995	44 m ² （道路）	100m (150mm 径) 垂直管熱交換	—
17	兵庫	村岡町	1996	310 m ² （フェーン脱着場）	垂直管熱交換	近畿地方建設局
18	福井	金津町	1996	—（道路）	垂直管熱交換	—
19	滋賀	今津町	1996	—（雪害基地内）	垂直管熱交換	—



図-1 日本国内における地下蓄熱利用
融雪システム実施例の分布
(1996年現在)

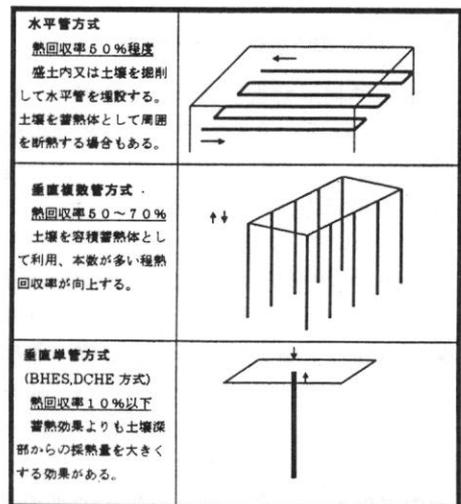
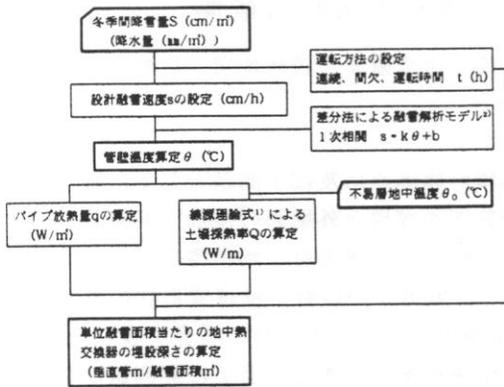


図-2 3方式の地中熱交換器モデル



縣市名	不凍層温度 (℃)	降雪量 (mm)	設計管壁温度 (℃)	設計放熱量 (W/m)	設計熱交換器規模 (m/m ²)
札幌	8.00	388.6	3.41	64.6	4.7
青森	10.35	413.8	3.70	69.8	4.0
秋田	12.35	356.9	3.17	60.0	2.8
新潟	14.60	481.1	4.28	81.2	3.4
金沢	15.05	488.3	4.35	82.6	3.3
鳥取	15.50	350.3	3.11	58.9	2.1

*1: 降雪量は各地融雪運転期間の降水量標準算定
*2: 運転時間 800 時間と仮定して必要融雪速度を算定

表-3 日本各地の地中熱交換器の必要規模算定

- 1) 無限理論式 (無限固体中の線発熱伝導)

$$\frac{\theta_0 - \theta}{Q/\lambda} = \frac{1}{4\pi} \left[\ln(4at/r^2) - 1.5772 \right]$$

$$\lambda: \text{土壌熱伝導率 (W/m}\cdot\text{C)} \quad a: \text{温度伝導率 (m}^2\text{/h)}$$

$$r: \text{管径 (線源から半径方向の距離) (m)}$$
- 2) 融雪速度、放熱量、管壁温度解析モデルの差分法計算領域

図-3 垂直型熱交換器の埋設深さ算定フロー

5. 今後の課題

以上述べてきたように、わが国の融雪システムのあり方は、「環境に優しい技術」を指向して発展しつつある。自然エネルギー利用 (未利用エネルギー活用も含めて) 普及上の問題としては、以下の事が言える。

- (1) イニシャルコストが高くなる。地中熱利用の場合掘削費がかさむ。ヒートポンプの価格が高い。
- (2) 電力やガスに比べて維持管理をする体制が整っていない。北欧では、電力、ガス、ごみ焼却、上下水道、自然エネルギー利用等の各部門が一体となって地域熱供給公社が設立されている。

わが国は南北に細長いため国策として暖房需要だけでなく冷房需要も大きな問題となっている。雪を冷房用の冷熱源として活用する方法は、わが国には非常に有効である。季節間あるいは地域間で冷熱と温熱をマッチングさせていく方法について、今後の研究開発および実用化が期待される。

参考文献

- 1) 通産省「総合エネルギー統計」(1995)
- 2) 岩本欣也、永坂茂之、落藤澄、他「日本国内における地中熱利用融雪システムの普及状況と可能性」(1998) 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演論文集
- 3) 高橋博、中村勉、他「雪氷防災」(1986) 白亜書房
- 4) 永坂茂之、落藤澄、他「自然エネルギーを利用した融雪システムに関する研究」(1996) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集