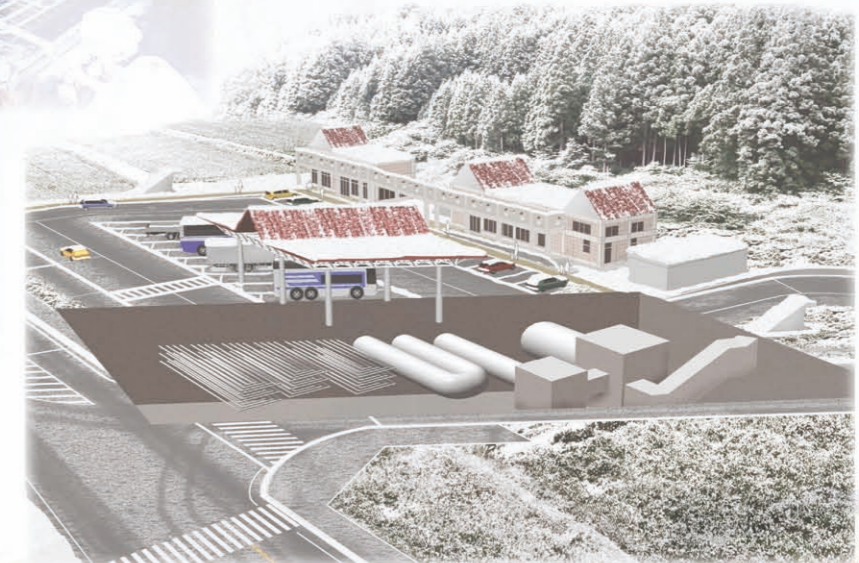


大地の温もりで、環境に優しい融雪システム

道の駅「ハチ北」で実証された地中熱エネルギーの偉大な力と可能性！



本紙は豊岡河川国道事務所の融雪技術における環境保全への取り組みをわかりやすく紹介させていただきました。

また、より専門的にこの内容についてお知りになりたい方は『道の駅「ハチ北」融雪事業の軌跡 ～ 地中熱エネルギー活用への挑戦 ～』もごさいます。ご一読ください。



国土交通省 近畿地方整備局
豊岡河川国道事務所

〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3
TEL:0796-22-3126 FAX:0796-23-4114
<http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/>



朝来国道維持出張所

〒669-5202
兵庫県朝来市和田山町東谷字矢名瀬13-1
TEL:079-672-5105 (代表)



八鹿国道維持出張所

〒667-0044
兵庫県養父市八鹿町国木字東下タイ134-1
TEL:079-662-3191

国土交通省 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所

.....はじめに.....

今、世界的に「地球環境保全」と「エネルギー問題」への関心が高まっているなか、近畿地方整備局では、道路事業における京都議定書のCO₂削減目標に沿った「アクションプログラム」に従って、交通渋滞の解消等によるCO₂の削減、及びヒートアイランド対策の一環として路面温度を低下させる舗装の導入促進、道路空間における新エネルギーの活用などの環境対策の取り組みを進めています。

豊岡河川国道事務所では、すでに約10年前から、道の駅「ハチ北」の融雪事業に於いて、「人と車に優しい道路」をテーマに、サービスレベルの向上、環境に配慮したCO₂の削減、そして未利用エネルギーの有効活用をコンセプトに、自然エネルギーを利用した無散水融雪システムの研究、技術開発などを福井大学と共同で実施してきました。

道の駅「ハチ北」融雪設備では、相対的に的に冬温かく夏冷たい地中熱の特性を活かした日本初の本格的な地中熱利用無散水融雪システムを開発し、冬期の路面融雪、夏期の路面冷却を実現しました。

このシステムでは、地中熱を効率的に採熱するための構造、材質、システム、また舗装面に埋設する放熱管の埋設構造、材質など様々な課題を解決してきました。

また、この融雪システムの事後評価として供用開始から現在までの7年間に亘る運転を通してのモニタリングデータの解析を福井大学と共同で実施し、地中熱を利用した無散水融雪技術の確立に大きく貢献することができました。また、平成18年7月に供用した北近畿自動車道春日和田山道路では、これらの融雪技術をさらに発展した形で活用しています。

なお、この道の駅「ハチ北」融雪システムは、これらの取り組みが評価され『地中熱利用による路面熱環境制御システムの開発と「道の駅」への適用』で平成12年度の土木学会環境賞の栄誉を受けました。

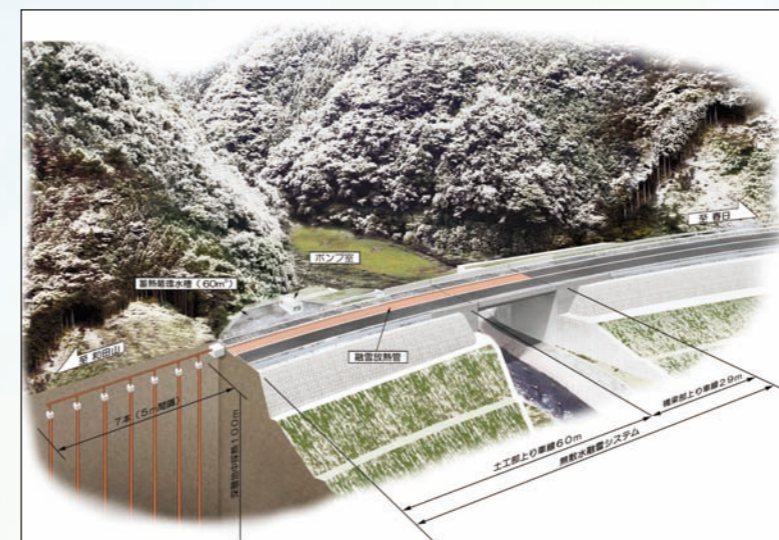
また、豊岡市はコウノトリが舞う街として知られ、豊かな自然との共存を通じて環境保全やエコエネルギーの活用に積極的に取り組んでいます。この豊岡市を中心とした但馬地域にとって、道の駅「ハチ北」融雪システムはシンボリックな施設と言えます。

本誌は、国土交通省の道路事業に於ける環境保全への取り組みの一端を広く国民、地域の皆さんに理解していただきたく作成しました。

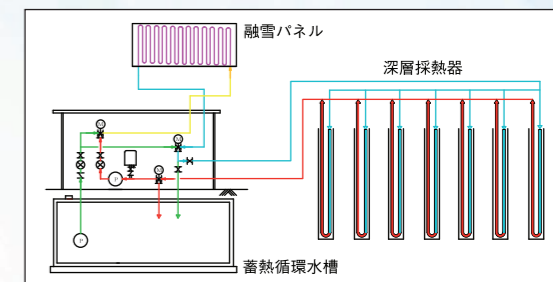


徳畑橋融雪システム

地下約100mまで埋設した地中熱採熱器に水を循環させ地中熱を採熱し蓄熱水槽に貯めて、凍結しやすい橋梁部の融雪と凍結防止を行います。

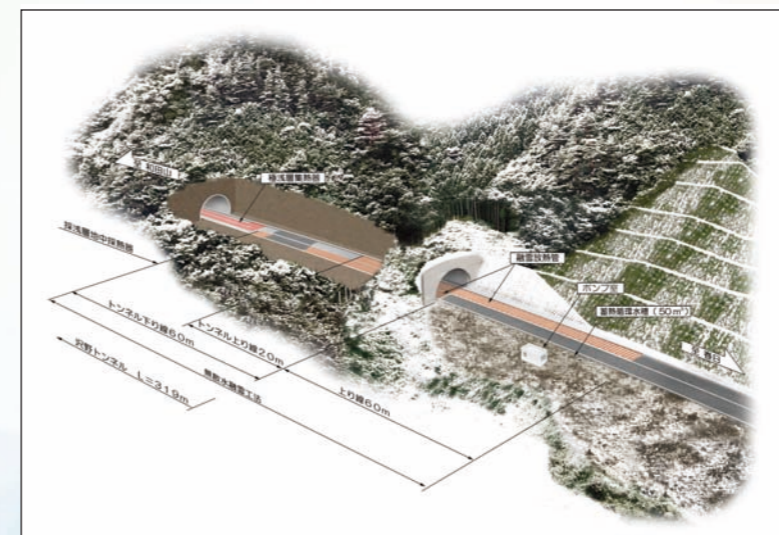


融雪面積	311.5m²
電力使用量での比較	
電熱システム(従来方式)	53.5KW
深層採熱器併用融雪システム	5.5KW
環境負担の低減	91%

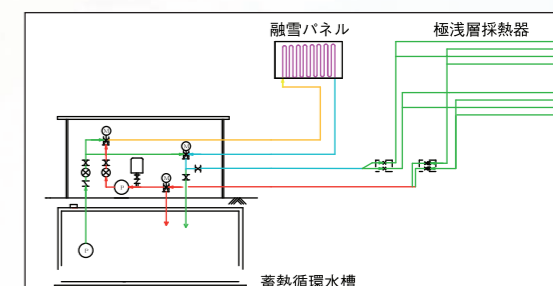


沢野トンネル 出入口融雪システム

トンネル中央部付近の路面下約1mに埋設した極浅採熱管と地下約100mに埋設した地中採熱器で融雪・凍結防止を行います。

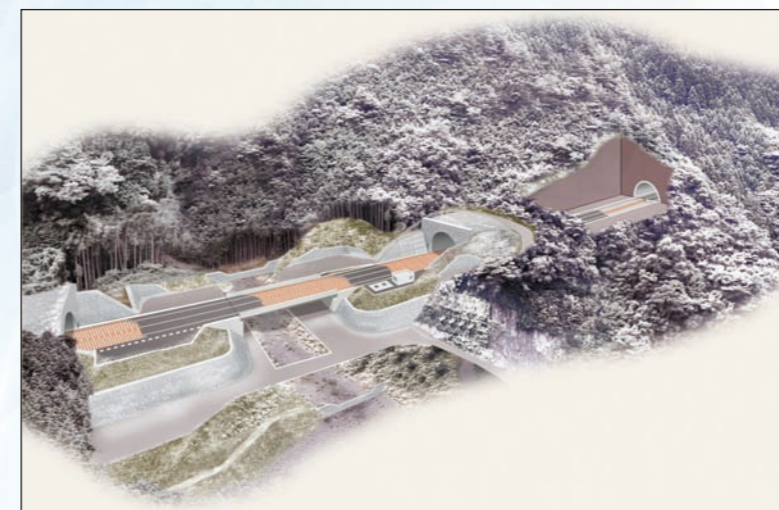


融雪面積	490m²
電力使用量での比較	
電熱システム(従来方式)	77.2KW
極浅層・深層採熱器併用融雪システム	5.5KW
環境負担の低減	93%

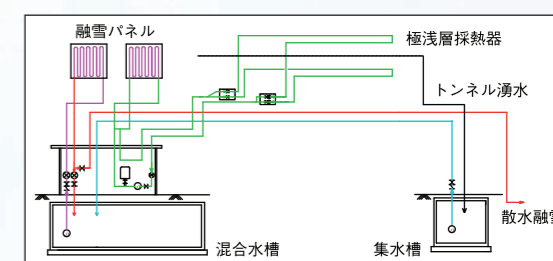


歌道谷・石オトンネル間融雪システム

温かい湧水熱を蓄熱水槽に貯める融雪システムとトンネル中央部付近に埋設した極浅採熱管融雪システムで融雪・凍結防止を行います。



融雪面積	1,239m²
電力使用量での比較	
電熱システム(従来方式)	111.0KW
トンネル湧水循環融雪システム(11.0KW) + 極浅層融雪システム(5.5KW)	=16.5KW
環境負担の低減	87%



山東PA歩道融雪システム

トイレや厨房からの汚水を浄化した水(中水)の熱と地中熱を利用して、歩道の下3cmの所に埋めたパイプに暖められた中水を通して雪を融かします。融雪と凍結防止を行います。また、夏は涼しい安全で快適な歩行空間の確保を図っています。



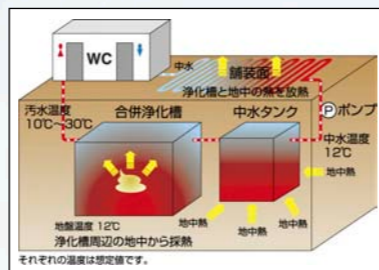
融雪面積 555m²

電力使用量での比較

電熱システム(従来方式) 84.70KW

深層採熱器・蓄熱水槽併用融雪システム4.3KW

環境負担の低減 95%



山東IC出入路融雪システム

地下100mまで埋設した地中採熱器に水を循環させ地中熱を採熱し、蓄熱水槽に貯めて、インターチェンジの融雪と凍結防止を行います。また、夏期は当期に使用した地中熱を恒久的に利用するため地中に戻す蓄熱運転を行います。この時路面は冷却され舗装の流動化を抑制します。



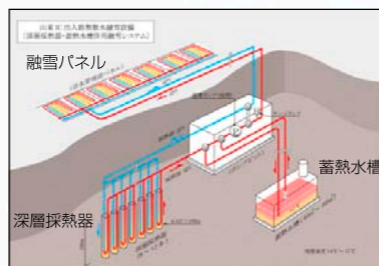
融雪面積 5,955m²

電力使用量での比較

電熱システム(従来方式) 955.2KW

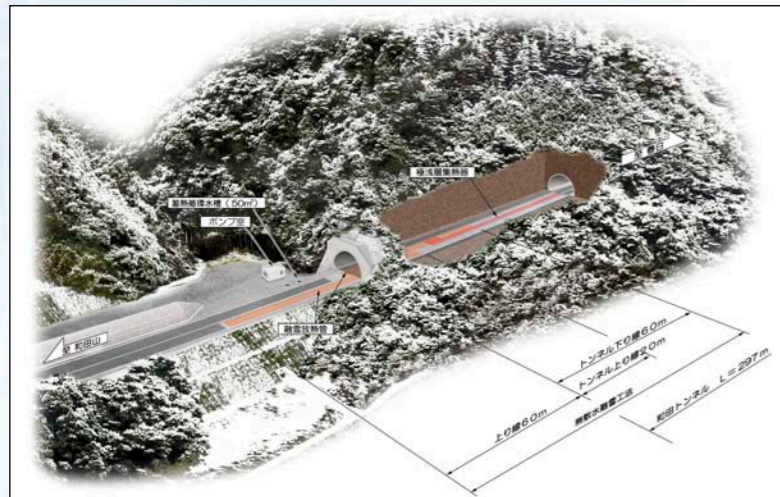
深層採熱器・蓄熱水槽併用融雪システム33.4KW

環境負担の低減 96%



和田トンネル 出入口融雪システム

トンネル中央部付近の路面下約1mに埋設した極浅採熱管と地下約100mに埋設した地中採熱器で融雪・凍結防止を行います。



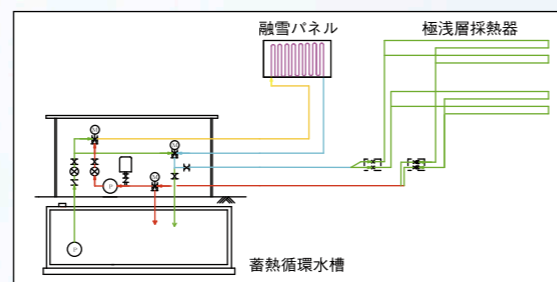
融雪面積 490m²

電力使用量での比較

電熱システム(従来方式) 77.2KW

極浅層・深層採熱器併用融雪システム 5.5KW

環境負担の低減 93%



1.但馬は、自然環境の宝庫

但馬地域には、円山川が創り出す雄大な自然のもとに、数々の稀少生物が生息しています。平成元年にコウノトリの繁殖に成功して以来、100羽を超えるコウノトリを飼育し、平成17年には5羽が放鳥されました。四季折々の見どころが楽しめる但馬地域の人々は、「自然環境」を最大の資源として大切に守り続けています。

自然と人が共生する場所



コウノトリが見られる兵庫県立コウノトリの郷公園は、和田山JCT・IC(終点)~国道312号線沿い

山東PA近く、楽音寺の境内は、兵庫県の指定天然記念物「ウツギノヒメハナバチ」の群生地として有名

清流でなければ棲むことができないオオサンショウウオは、近年出石川で見つかりました



山あり、川あり、高原ありの豊かな自然とこんこんと湧く温泉郷。そして、山と海の幸。但馬の大自然は、年代に関係なく春夏秋冬の魅力を満喫することができます。

交流を通じて但馬環境を未来へ伝えよう

但馬地域には、四季折々の移り変わりのなかで、夏も冬も楽しいスポーツ、旬のグルメ、癒しの温泉、そして森林浴の散策など、自然を楽しむ魅力に満ちたポイントがたくさんあります。

私たちは、道路を活用した交流を通じて、この自然豊かな但馬の環境を未来へ伝えたいと考えています。

春

春の山並みをトレッキングやハイキング。
春はツクシや若菜摘みも楽しい。



イメージ

兎和野高原（とわのこうげん）

夏

そよ風に乗ってパラグライダーやカヌーで川下り。
河原では、キャンプを楽しむファミリー。



イメージ

円山川

秋

紅葉に染まる山々を眺めるのもよし、
歩くのもよし。キノコ狩りや秋の味覚もまたよし。



イメージ

氷ノ山

冬

スノーボードなどの後は、城之崎温泉、湯村温泉で疲れを癒し、松葉カニや猪鍋に舌鼓。



イメージ

ハチ北スキー場



イメージ

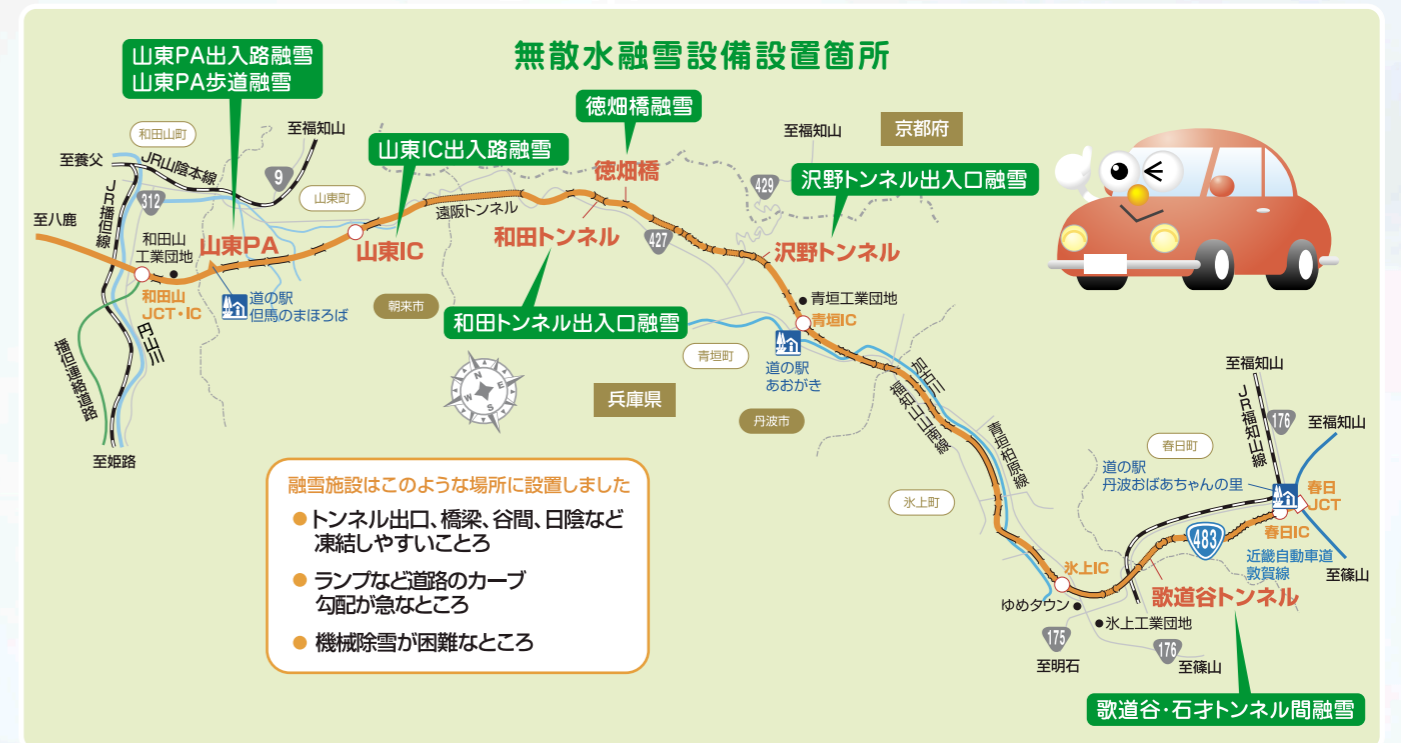
城崎温泉

10. 地中熱融雪の新たな取り組み

進化する地中熱エネルギー利用融雪システム

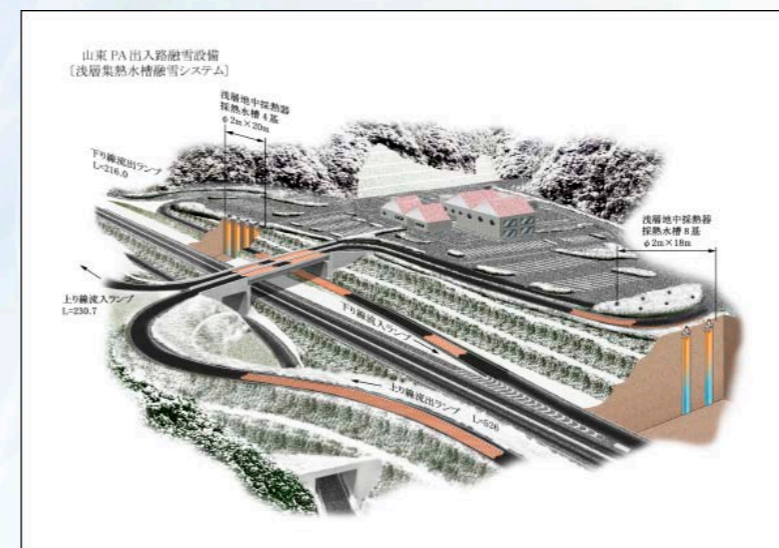
人と車、そして地球に優しい「無散水融雪システム」の道

但馬地域を結ぶ北近畿豊岡自動車道（一般国道483号）は、兵庫県北部の但馬地域と丹波地域を直結し、さらには京阪神都市圏との連結を強化し、地域の活性化を支援する高規格幹線道路です。この道路は、積雪地域と非積雪地域を通過することから冬季の降雪・凍結時の安全で円滑な交通確保がもとめられています。そのため、自然エネルギーを活用した環境にやさしい融雪システムの整備を行い、自然豊かな但馬地域にふさわしい道路整備を行っています。

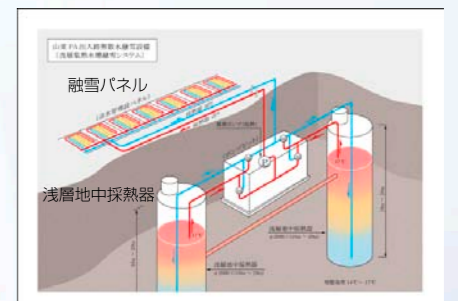


山東PA出入路融雪システム

地盤と水槽の間に熱伝導の優れたケイ石とケイ砂の埋戻材を使用しました。大口径水槽を縦置きにし、断熱材によって上部からの放熱を減少させ、インターチェンジの融雪と凍結防止を行います。また、夏期は当期に使用した地中熱を恒久的に利用するため地中に戻す蓄熱運転を行います。この時路面は冷却され舗装の流動化を抑制します。



融雪面積 4,639m²
電力使用量での比較
 電熱システム（従来方式） 718.5KW
 浅層集熱水槽融雪システム 37.4KW
環境負担の低減 95%



9. 地中熱を活用した無散水融雪の設計のポイント

「ハチ北」の無散水融雪システムの開発にあたっては、地中熱エネルギーを活用するためのさまざまな技術開発と気象の解析が鍵となりました。地中熱エネルギーを効率よく採熱・蓄熱し、無駄なく有効利用するための設計のポイントを説明します。

地中熱エネルギーの利用のポイント

- 地中熱は温度レベルが低いため、低い温度で雪を効率的に融かす必要があります。そのため、融雪路面の放熱部は、熱の伝わりが良い材料で、放熱管の埋設深さも浅く、強度のある構造が必要です。
- 浅層地中集熱方式では、採熱しながら蓄熱し、融雪を行うため採熱部は低い温度レベルの地中熱でも効率的に採熱できるように熱の伝わりが良い材料で、しかも壁厚を薄くし、強度を満足する構造が必要です。
- 深層熱交換杭方式は、採熱管に液体を循環させて採熱するため、集熱方式に比べて地中熱を効率的に採取できるが、熱交換杭1本当たりの循環水量が少ないため、多くの熱交換杭が必要となり設備コストが高価となります。そのため、降雪条件によってはピークカットを目的とした採熱器に蓄熱水槽を組み合わせることで、建設コストの低減を図る必要があります。

降雪モデルを解析

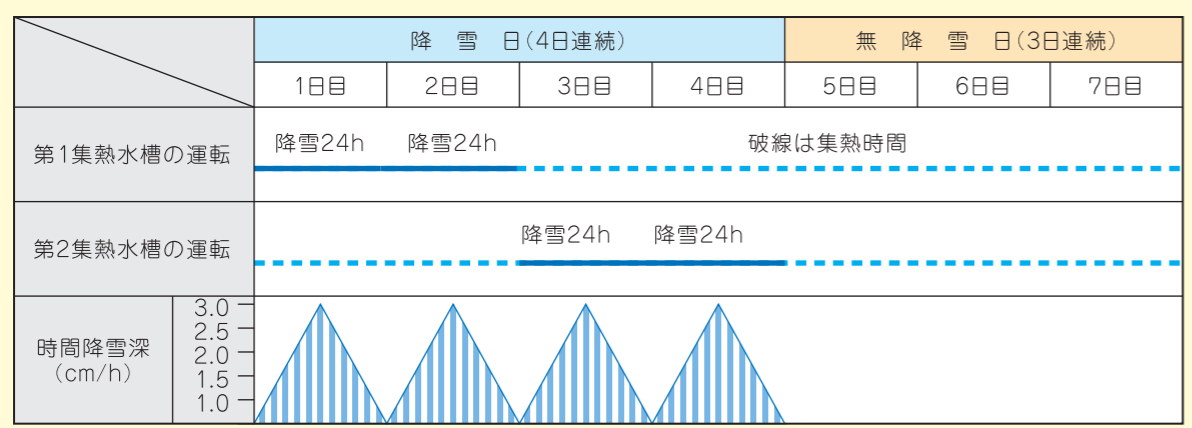
●降雪モデル作成の必要性

連続降雪日数において、1降雪量の融雪を持続する必要蓄熱量(水量)が必要です。無降雪日数(降雪日と降雪日の間)で必要蓄熱量を採熱する採熱器が必要です。

降雪モデル「三寒四温」

冬季の気象は昔から3日間寒い日が続くと4日間寒さが温む「三寒四温」と言われていました。豪雪地域である「ハチ北」においても、過去11年間の平均的な降雪モデルは4日間の連続した降雪があり、その後連続した3日間の無降雪であることが判りました。

また、1降雪強度を考えると、強い強度は長くて1~2時間程度であり、時間経過とともに変化する降雪強度に対する融雪必要量と、その時々採熱量・蓄熱量がバランスさせることにより建設コストの低減につながる事が判りました。

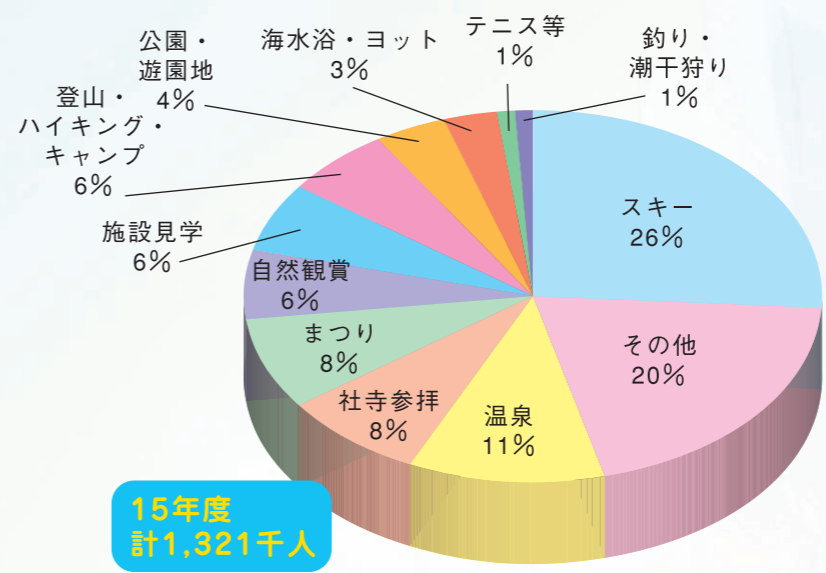


●確実に効率的な融雪の余熱運転制御

地中熱エネルギーによる蓄熱量を有効に、経済的に利用するために、融雪部(舗装体)に融雪、凍結防止ができる熱量がある場合には、融雪システムは稼働せず、対応できない熱量となった場合に稼働するように、路温を基準に運転制御を行います。

また、この融雪に遅れが生じないように、一定の熱量を融雪部に維持する余熱(待ち伏せ)運転を行います。

但馬の誇る自然環境は、価値ある観光資源



資料：兵庫県観光客動態調査報告書

但馬地域を訪れる観光客は、年間約130万人。夏は海水浴、冬はスキーやスノーボード、カニスキ鍋、年間を通しての温泉利用など、豊かな自然に恵まれた健康保養ゾーンとして位置づけられています。また、周辺には山陰海岸国立公園、氷ノ山後山那岐山国立公園、但馬山岳県立自然公園などの豊かな自然に加えて、貴重な有形、無形の歴史・文化的遺産が数多くあります。

積極的な環境保全の取り組みで、持続可能な街づくり

但馬地域にあってコウノトリが舞う街として知られる豊岡市。豊かな自然との共存を通じて街の発展を目指し、環境保全やエコエネルギーの活用など、積極的な取り組みを行っています。

この恵まれた自然を大切にしながら、未来への快適な生活環境づくりという気運は、但馬地域全体に広がり、あらゆる産業や農業、インフラ事業などの基本理念として脈々と息づいています。

豊岡市環境経済戦略より ～環境と経済が共鳴するまちをめざして～

昔		今、そして未来へ	
マチ、ムラ、山、海、それぞれが絶妙のバランスを保ち、自然(環境)と経済活動(暮らし)が一体となって成立してきた。			
マチ 政治・経済・文化の中心 かばん産業を中心に 情報・人・ものが集まる	ムラ 米づくり	変貌する社会環境の中で、原点に戻り、新しい街づくり。 コウノトリの日本最後の棲息地として平成元年に繁殖に成功して以来、毎年、増殖に成功し、100羽を超えるコウノトリを飼育するに至っています。	
海の幸 ハマグリやワカメ等の海産物	山の幸 薪や炭などの燃料	コウノトリがシンボル! 人とコウノトリの共生できる環境を基本に、持続可能なより豊かな暮らしを目指しています。	

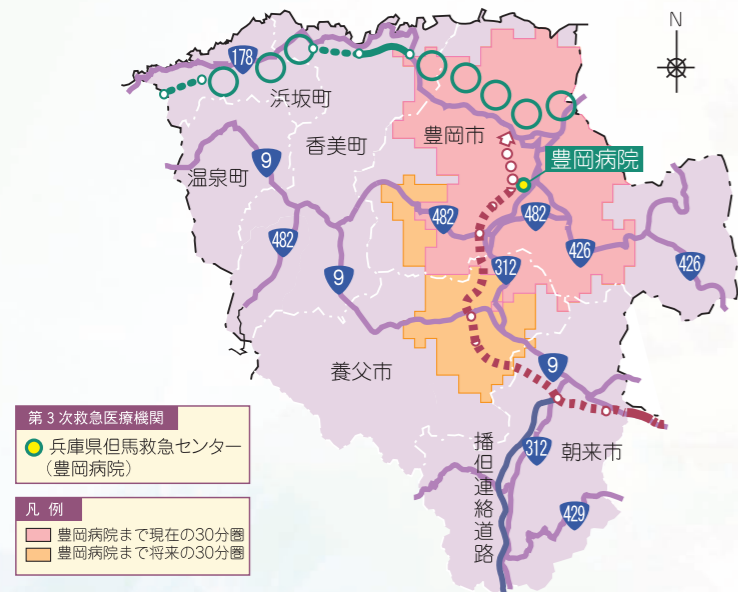
2. 但馬の暮らしと道路

公共交通機関が十分でない但馬地域は、車中心の社会です。道路は、住民のライフラインであり、この地域を訪れる人や通過する人にとっても、欠くことのできないものです。なかでも、積雪や凍結した冬期道路の安全性や、停滞のない走りやすい通行性の確保は、とても重要な課題です。

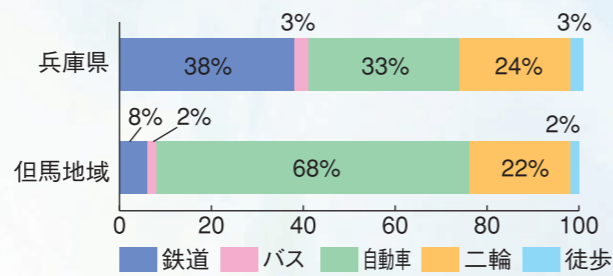
期待される「安全で快適な」道路整備事業

山あり谷ありの広大で複雑な地形の但馬は、ほぼ東京都の面積に匹敵します。どこに行くにも車やバス、オートバイは欠かすことのできない暮らしの必需品です。特に、けが人や病人が出たとき、救急医療施設まで道のりは、一刻一秒を争います。この地に暮らす人々は、いつでも滞ることのない安全で快適な道路へ大きな期待を寄せています。

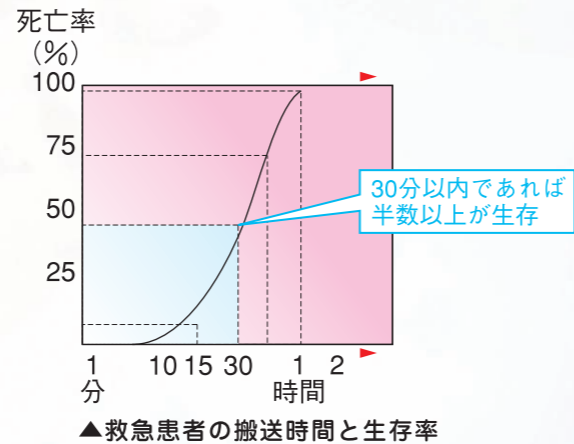
北近畿豊岡自動車の全線開通によって向上する道路交通状況



但馬地域の交通機関の利用割合

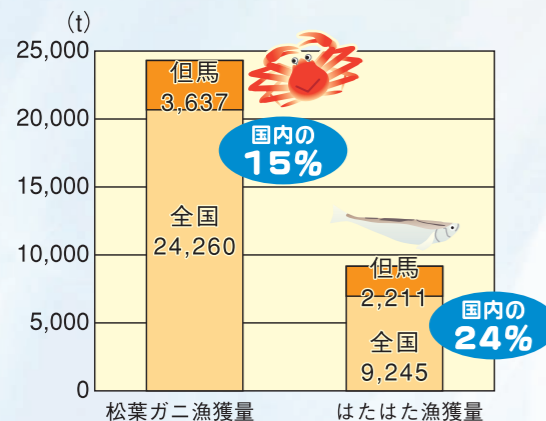


兵庫県全体と比較すると、通勤通学時の利用交通機関は、自動車・二輪車が大半。
(H15年 兵庫県・兵庫県警察本部調べ)



全国の食卓へ、新鮮な海の幸

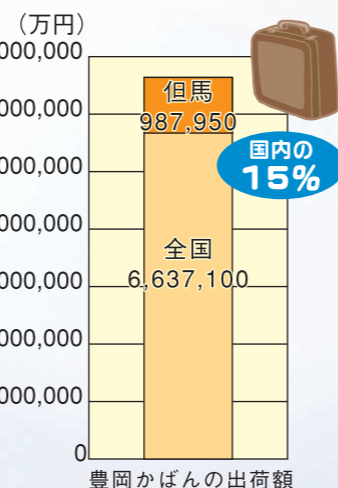
全国第一位の漁獲を誇るズワイガニやハタハタは、鮮度が命です。水揚げした魚介類を京阪神や関東の市場へいつでも確実に送るためにも、道路の役割は大きなものとなっています。



日本全国から世界へ、豊岡のかばん

江戸時代より発展していた柳細工から生まれた「但馬柳ごおり」は、全国的に知名度も高く、大正時代には海外にも進出しました。

この伝統工芸を基盤に、豊岡は国内有数のかばんの産地となりました。また、平成6年には、「豊岡・世界のかばん博」を開催し、国際かばん都市の創造を目指して情報発信に努めています。

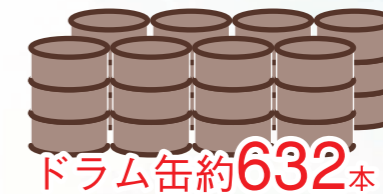


8. 環境への貢献

「ハチ北」の融雪システムは、自然エネルギーの中でも地域偏差が小さく極めて安定している地中熱エネルギーを活用し、その後の北近畿自動車道の融雪事業に大きく貢献することができました。

ハチ北のひと冬に融雪のために使用する地中熱エネルギーは灯油13万リットルに相当

「ハチ北」無散水融雪システムは、ひと冬に石油ドラム缶に換算すると約632本(1本当たり200リットル)相当分を節約



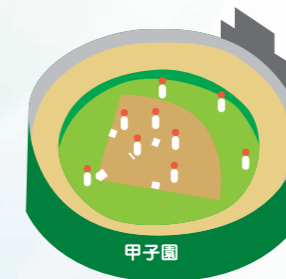
228世帯分

約228世帯分の年間電気使用量に相当

一般的な4人家族の1世帯の年間電気使用量を3360kWhとすれば(太陽光発電の試算値より)

地下熱エネルギー利用によるCO₂削減の規模を森林が持つCO₂吸収能力に置き換えました。

「ハチ北」の場合 甲子園球場 約27個分の広さに相当



灯油のCO₂排出量は2.3Kg/リットル
森林1ha辺りの二酸化炭素吸収量は、京都議定書の森林経営約1,750万[ha]に対する温室ガスの森林吸収量1,300万[炭素トン](4,767万[二酸化炭素トン])であるので単位面積当たり吸収量は、2.724(二酸化炭素トン/ha)

※ 1ヘクタールは10000m²
※ 甲子園球場39,600m² (グラウンド14,700m²、スタンド24,900m²)

さらに向上!
「山東IC」の場合 約59個分の広さに相当
「山東PA」の場合 約45個分の広さに相当



地中熱の有効利用は、本当に環境に優しい

「ハチ北」でわかった地中熱エネルギーの能力

地中熱の変化を観察すれば、もっと上手に使えます！

「ハチ北」の浅層地中熱融雪システムは、地中熱エネルギーを利用した融雪システムの草分けでした。そのため地中熱に関する測定数値そのものがなく、室内実験等によって種々の設計値を決定しました。しかし、その後、融雪施設の運用しながら、継続した計測を行い、地中熱融雪システムの熱的特性が詳しく分るようになりました。その結果、地中熱の特性がより正確に解明され、さまざまな点で設計時の能力を上回る結果を得ることができ

設計時に想定した水槽内水温と地盤温度

夏期の冷却運転で発見！

当初14℃と想定していたが、実際は約20℃となり、地盤からの採熱量が約1.4倍向上しました

夏場、太陽熱の30%を放熱平板から吸収

放熱平板で発見！

熱エネルギー吸収効率は、0.3～0.35を確保します
これは太陽熱温水器並みの集熱能力に相当します

夏の熱は水槽内部だけでなく周辺地盤に貯蔵される

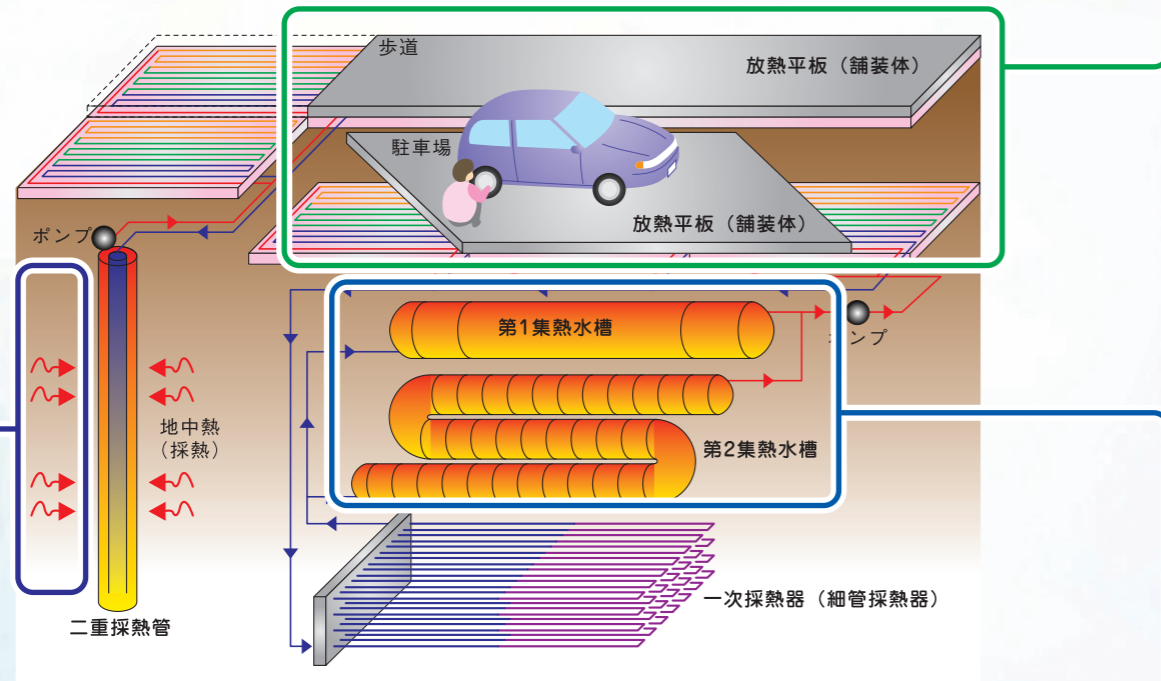
周辺地盤で発見！

12月でも貯水水温と地盤温度はゆうに20℃を超える

冷えた貯水槽の冷水で放熱平板を再び冷却

放熱平板で発見！

舗装温度を20℃程度冷却する効果、舗装面の流動化防止の効果がある



貯水槽と周辺地盤との間の熱の伝わりやすさを発見！

貯水槽で発見！

採熱量が設計時の約3.4倍程度向上(融雪面積の拡大も可能と判明)

放熱平板から水槽へ温水を供給

集熱水槽で発見！

夏期の貯水槽上部水温は30℃まで上昇

制御運転で効率的な地中熱採熱と利用を実現

制御運転で発見！

貯水槽の温度を自在に操り、長期で水温の制御も人為的に可能

貯水槽の温水の熱を周辺地盤が吸収

集熱水槽で発見！

夏期には、貯水槽下部水温は20℃にもなる

3. 活発な経済活動が行われている積雪寒冷地域

日本の国土面積の約60%は積雪寒冷地域です。この地域には全人口の約20%が生活し、カナダと同程度の国内総生産が営まれています。積雪寒冷地域に属する但馬地域には、経済活動を支える主要道路の一般国道9号と312号及び北近畿自動車道(483号)があります。冬期道路の積雪、凍結による経済・観光・日常生活活動などへの悪影響を取り除き、安全で快適な道路空間の提供に努めています。

豊岡河川国道事務所の道路管轄区間は、

■ 一般国道9号 / 70.7km (平成17年度末現在)

朝来市山東町～鳥取県岩美郡岩美町

■ 483号

(北近畿豊岡自動車道、高規格幹線道路)

全体延長約70km

兵庫県豊岡市～丹波市

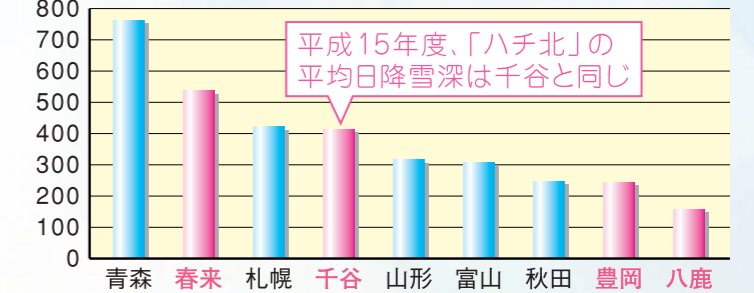
うち直轄管理区間：丹波市氷上町本郷～

丹波市春日町野村6.9km

※春日IC…氷川～和田山ICは平成18年7月22日開通。

※高規格幹線道路とは…全国の自動車道路網を形成する自動車専用道路。

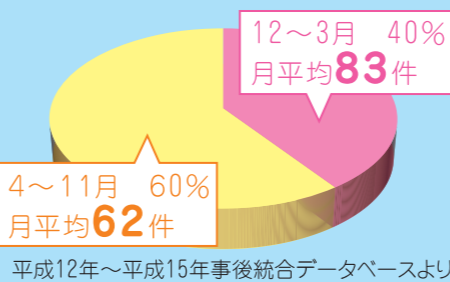
累計降雪深 (H12-H16の5カ年平均)



但馬の道路を利用するドライバーの雪への備え

但馬地域は積雪地域と非積雪地域が隣接しているため、ドライバーの雪の備えに対する認識が低い自動車が多く混在しています。このため、積雪による交通停滞やスリップ、接触事故などの発生率が高くなっています。

但馬地域の季節別事故件数



路線名	交通量観測地点名	平日交通量 (台/日)	休日交通量 (台/日)
一般国道9号	美方郡村岡町村岡	10,378	8,979

平成11年道路交通センサスより

大型車混入率
38%
3台に1台は大型車!



一般国道9号は、物流の基幹道路です!



道路沿いでチェーンを巻く車輛 (香美町村岡区)



大型車による事故 (香美町村岡区)

4.化石エネルギーから自然エネルギーへの転換

近年、世界各地で異常気象による自然災害が多発しています。異常気象の一因とされている地球の温暖化を防止するために、温室効果ガスの削減を目指して自然エネルギーの利用を進めるようになりました。

①環境保全への世界的な指針「京都議定書」

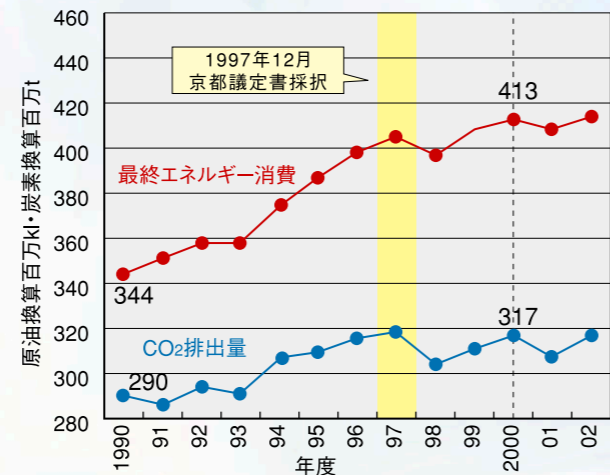
地球温暖化の原因となる大気中の温室効果ガス(二酸化炭素、メタン、フロン等)を削減することを目的として採択された議定書です。化石エネルギーの消費によって発生する二酸化炭素の削減は、確実に達成すべき大きな目標となりました。

②化石エネルギーに代わる安全でクリーンな自然エネルギー

これまでの無散水融雪のための熱源は、石油や石炭、ガスなど化石燃料が主体でした。自然エネルギーだけで融雪するためには、温度レベルの低いエネルギーによる融雪を実現させるため、具体的な科学データの裏付けが求められていました。

'97年12月地球温暖化防止京都会議で京都議定書が採択されました。翌年'98年には一時的にエネルギー消費が抑制され、CO₂排出量も低下しました。21世紀の幕開きとなる'01年にも、一時的な低下が見られますが、これは社会情勢の不安の影響と思われる。こうした現状のもと、CO₂排出量低減のためには、あらゆる分野でのより積極的な取り組みが求められています。

日本のエネルギー消費とCO₂排出の実績



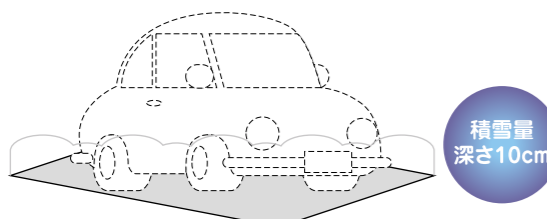
※単位：最終エネルギー消費…
 [上段]原油換算(百万kl)
 [下段]ジュール換算(ペタジュール、10¹⁵J)、
 エネルギー起源CO₂排出量…炭素換算百万t
 ※出典：「2002(平成14)年度におけるエネルギー需給実績(確報)について」
 資源エネルギー庁総合政策課

雪を融かすために、必要なエネルギー量

0℃1gの雪を融かすためには
334ジュール(80カロリー)の
エネルギーが必要

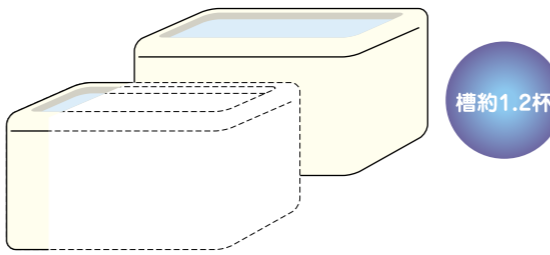
すなわち

車1台分のスペース(2×5m)に降った
深さ10cmの雪を融かすためには、



約1リットルの灯油が必要

お風呂のお湯(40℃・180リットル)
にして約1.2杯が必要

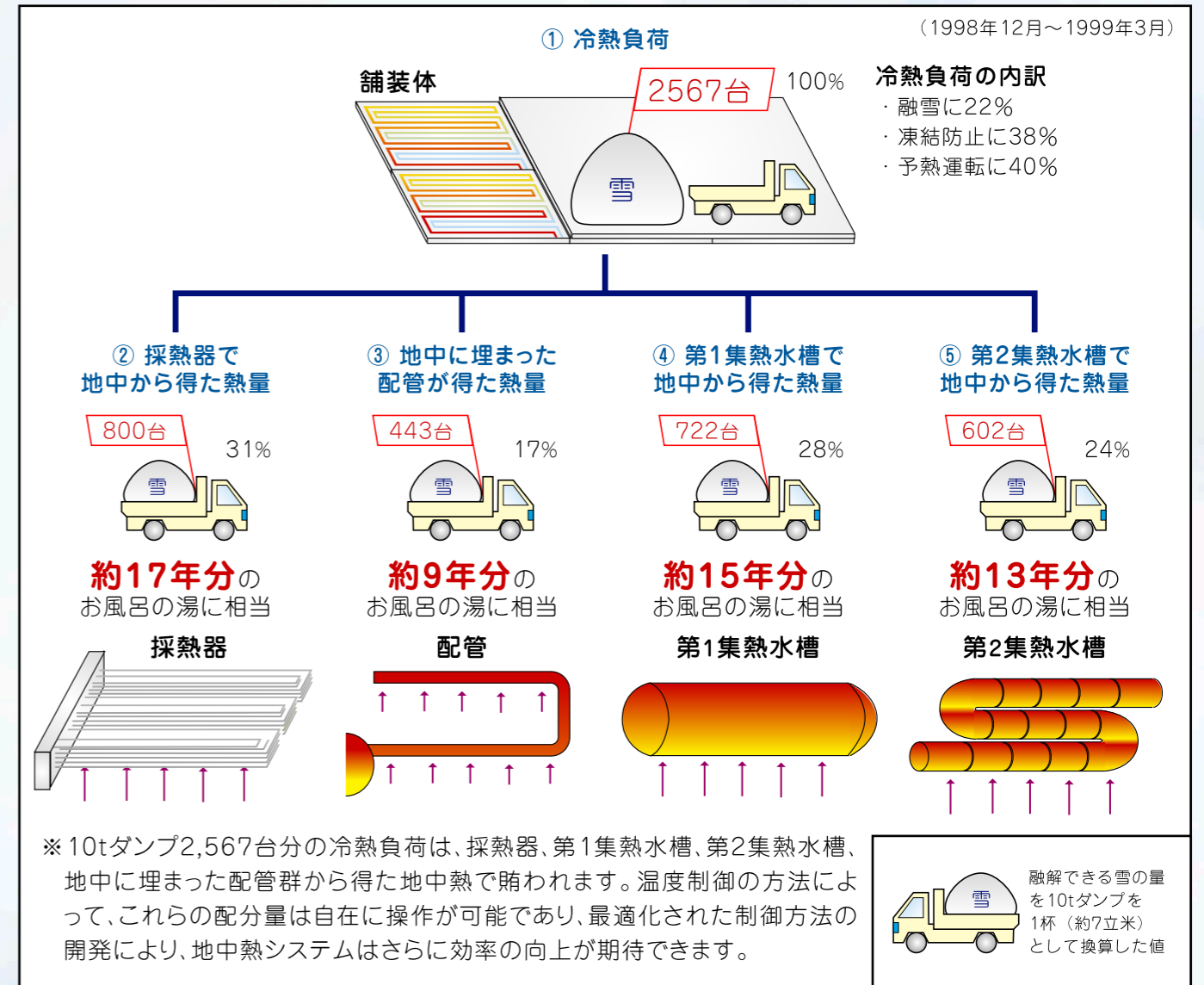


「ハチ北」では年間平均で
400cmの降雪深となるので…

莫大なエネルギーが必要

一冬にお風呂、約2万杯のお湯に相当する熱量が必要

道の駅「ハチ北」無散水融雪施設で、一冬期間のモニタリング計測値から地中熱エネルギーの使用熱量を算出すると、その値は莫大な量であることが分かりました。



各設備から採熱された地中熱は10tダンプ2,567台分の雪を融かす熱量に相当します。

① 冷熱負荷	597GJ 10tダンプ2567台分の雪を融解する熱量で、一般家庭で約54年分(約2万杯分)のお風呂の湯に相当
② 採熱器で地中から得た熱量	186GJ 10tダンプ800台分の雪を融解する熱量で、一般家庭で約17年分(6,200杯分)のお風呂の湯に相当
③ 地中に埋まった配管が得た熱量	103GJ 10tダンプ443台分の雪を融解する熱量で、一般家庭で約9年分(3,433杯分)のお風呂の湯に相当
④ 第1集熱水槽で地中から得た熱量	168GJ 10tダンプ722台分の雪を融解する熱量で、一般家庭で約15年分(5,599杯分)のお風呂の湯に相当
⑤ 第2集熱水槽で地中から得た熱量	140GJ 10tダンプ602台分の雪を融解する熱量で、一般家庭で約13年分(4,666杯分)のお風呂の湯に相当

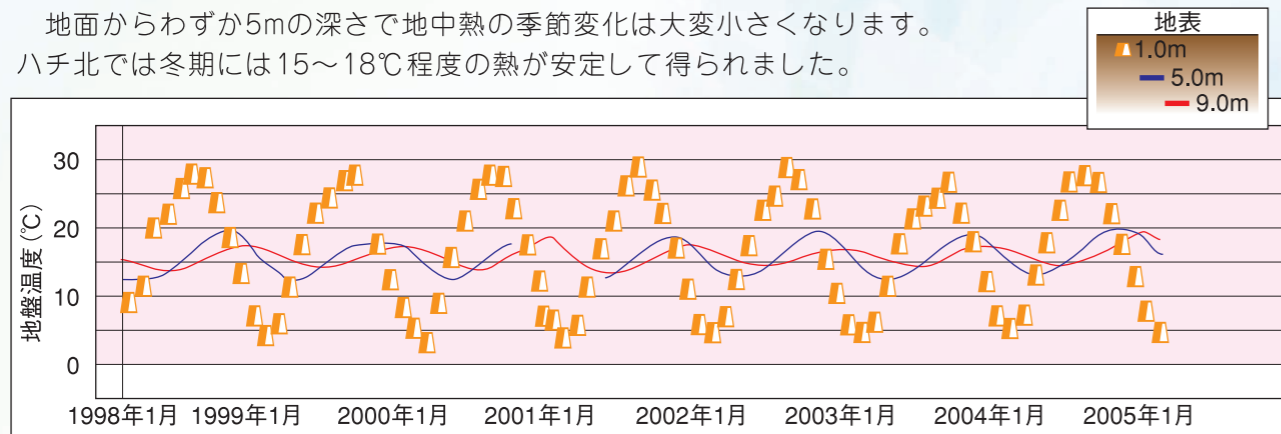
※ 1J=2.38889×10⁻⁴kcal

7. 「ハチ北」融雪システムのモニタリングで、新たな発見

「ハチ北」融雪システムでは、7年間にわたるモニタリングによって、地中熱エネルギーのさらなるパワーと可能性を発見しました。

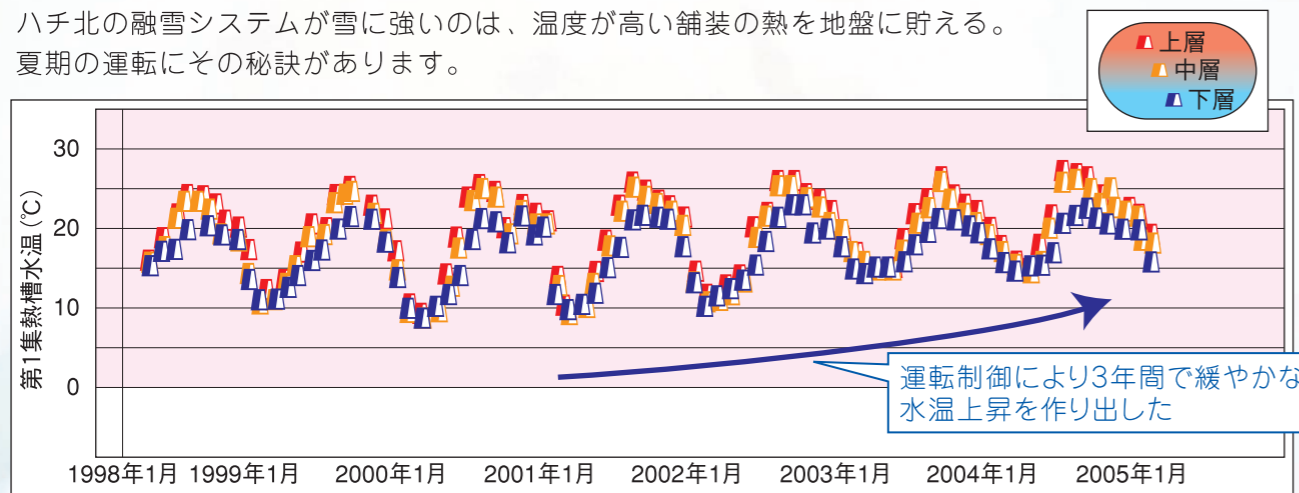
● 年中安定した地盤温度

地面からわずか5mの深さで地中熱の季節変化は大変小さくなります。ハチ北では冬期には15～18℃程度の熱が安定して得られました。



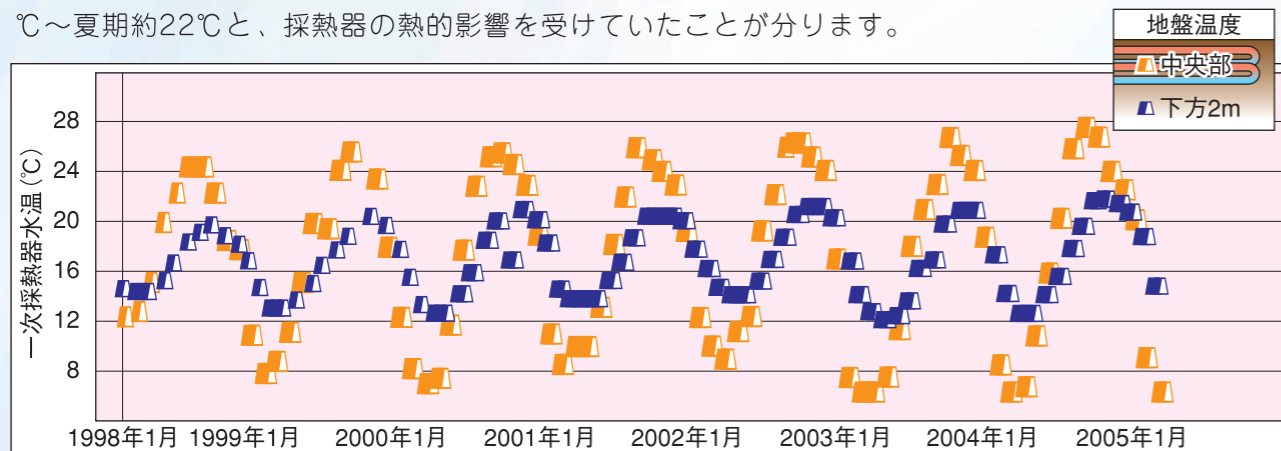
● 融雪後も10℃を保つ第1集熱槽水温

夏期のクーリング運転により、12月の水槽内の水温はいずれの年も20℃を超えています。真夏日には水槽内には40℃近い温水が舗装パネルより供給されることもあります。ハチ北の融雪システムが雪に強いのは、温度が高い舗装の熱を地盤に貯える。夏期の運転にその秘訣があります。



● 一次採熱器の周辺地盤温度

採熱器の中央部の地盤温度は、いずれの年も8月～9月に最高温度、2月～3月に最低温度となる周期的な変化を示している。採熱器の下方2m以上離れた箇所でも平均値約17℃に対して、冬期約12℃～夏期約22℃と、採熱器の熱的影響を受けていたことが分ります。

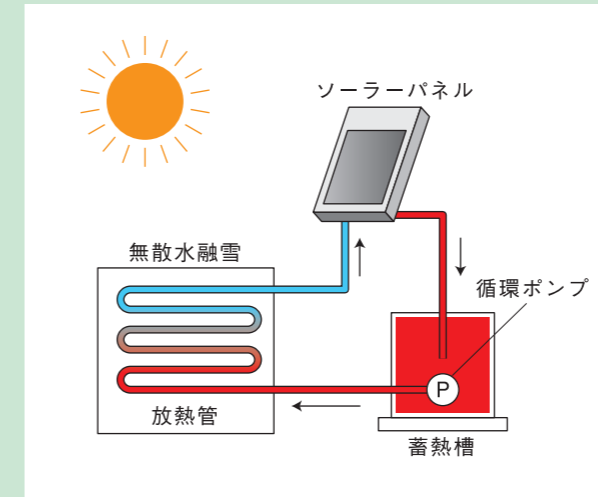


道路の融雪に可能な自然エネルギーシステム

自然エネルギーの活用にあたっては、自然エネルギーの特長を理解し、融雪場所の自然条件を十分に調査検討し、もっとも効率の良い活用方法を選択する必要があります。

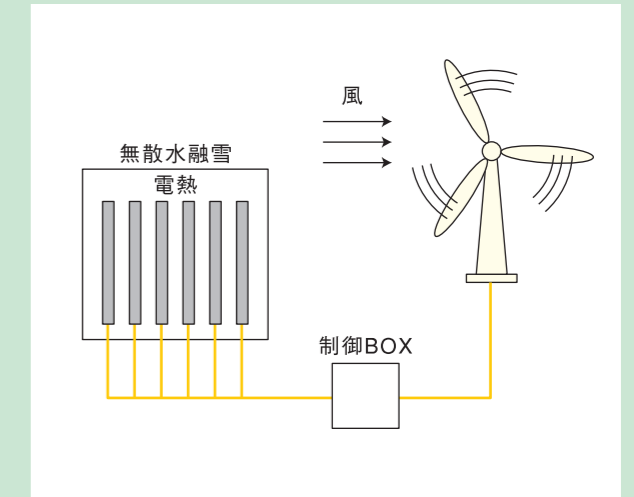
① 太陽熱・・・

冬期は雪雲などの影響で日射量も少ないため、夏期の強い日射を蓄熱し利用します。一般的に採熱できる時期と利用できる時期にずれがあり、安定した供給ができにくいという課題があります。



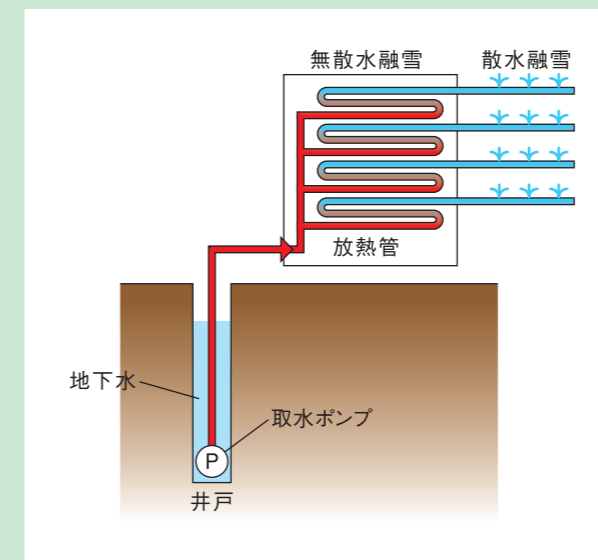
② 風力・・・

平均風速3m以上の安定した風速が一般的な必要条件となり、地域的な制約があります。風の状態によって発電にムラが生じるため、安定した電力を得にくいという課題があります。



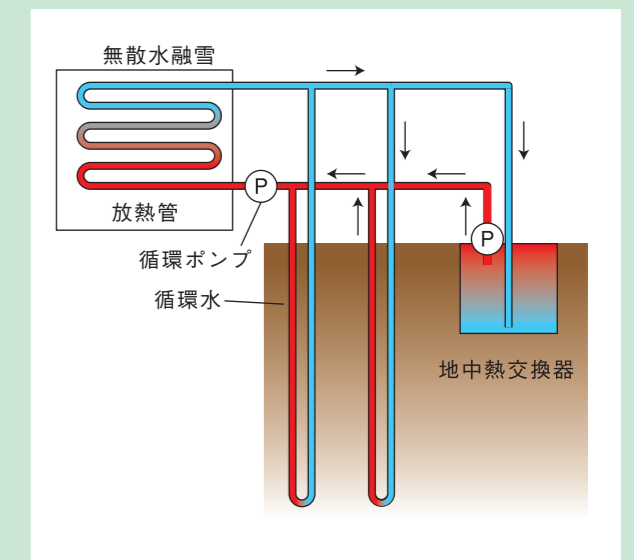
③ 地下水・・・

地下水量が豊富な地域では、融雪効果が高く設備コストが安価なシステムです。しかし、地下水の汲み上げは、地盤沈下の原因となり、軟弱地盤である豊岡では、1978年～2003年までの25年間に43cmの地盤沈下が生じています。



④ 地中熱・・・

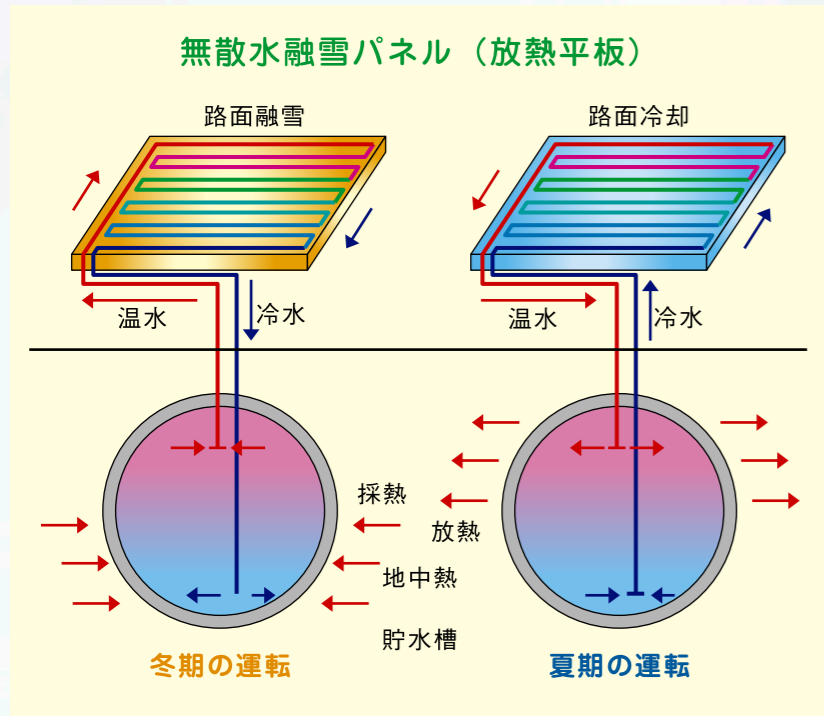
地中熱で暖めた循環水で融雪するシステムです。地中熱は無尽蔵にあり、年間を通して採熱が可能です。しかし、温度が15℃程度と低いため融雪熱量を得るためにはコスト低減が課題となります。



5. 地中熱エネルギーの通年利用

道の駅「ハチ北」での自然エネルギーの通年利用の成果を検証した結果、地中熱の利用は環境に及ぼす影響が極めて小さく、コストパフォーマンスも高いことを確認しました。

貯水槽の水温特性を生かして、路面の融雪と夏期の冷却



● 冬期の運転

冬期は雪や放射冷却で冷やされた路面に、貯水槽上部から取った温水が循環し、放熱平板に熱を供給します。貯水槽下部に戻った低温水は周囲の地盤から採熱して、温度が上昇します。

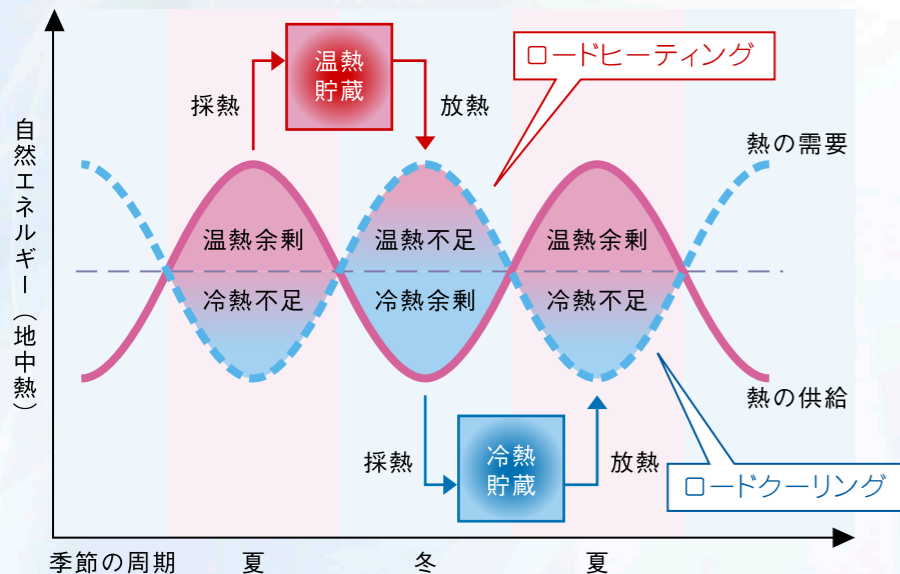
● 夏期の運転

夏期は太陽の日射で加熱された路面に低温水が循環し、低温水が放熱平板の熱を吸収して、高温の水となります。高温の水は貯水槽上部に戻り、その熱を周囲の地盤に放熱して、温度が低下します。

ひとつのシステムで、冬は路面融雪、夏は路面冷却

夏の間に回収された太陽の熱エネルギーを地中に貯蔵し、冬の冷たい路面に放熱します。また、冬の間に回収される冷熱エネルギーを地中に貯蔵し、夏の暑い路面に放熱します。

地中の温度レベルの低い熱エネルギーを効率よく集め、無駄なく貯蔵できれば、夏涼しく、冬暖かい、環境にやさしいもっとも理想的な融雪システムが実現できます。



季節蓄熱:

季節間で生じる相対的な温度差を利用し、夏の温熱を冬に、冬の冷熱を夏に、それぞれ利用します。

触って体感できる地中熱エネルギー

ロード・ヒーティングの効果

冬期における湯たんぼ効果のあらわれた路面温度分布

チェーン着脱場は、ロード・ヒーティングにより融雪されていて、積雪寒冷地域にふさわしくチェーン着脱の作業がしやすい環境となりました。



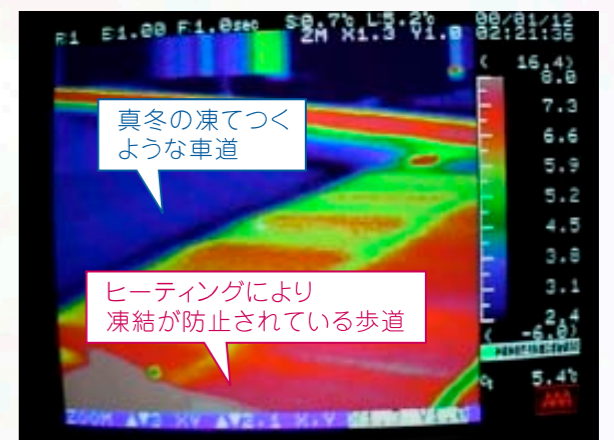
歩道部の融雪状況



小型車駐車場の融雪状況



冬期の融雪された歩道・駐車場

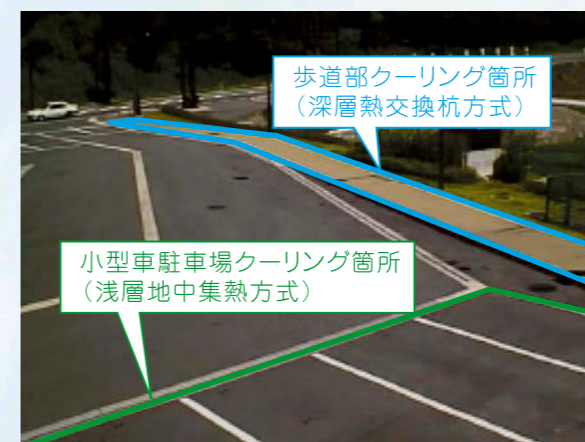


路面温度が分るサーモグラフィの写真

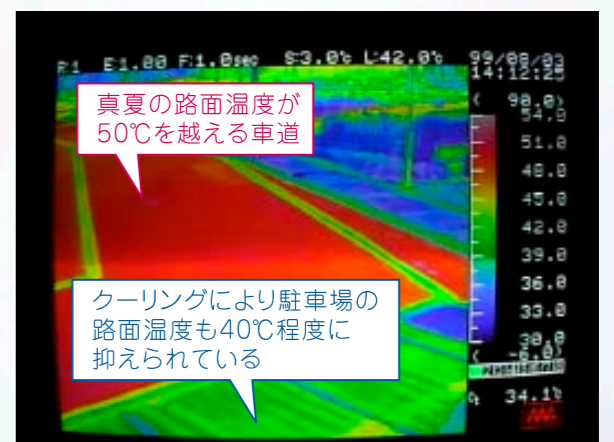
ロード・クーリングの効果

夏期における水枕効果のあらわれた路面温度分布

真夏のパーキングエリアは、降り立つこともためらうほどの熱気に包まれています。ロード・クーリングによって、強い日射しに熱せられた路面温度を下げます。



夏期の冷却された歩道・駐車場



路面温度が分るサーモグラフィの写真

地中熱エネルギーの特長を活かした運転制御システム

「ハチ北」融雪システムでは、温度差が大きいと地中からたくさんの熱量が供給され、小さいと抑制される「地中熱エネルギーの特長」を活かした運転制御を確立し、低コストの融雪システムを実現しました。

【計画当時の地中熱エネルギーに対する理解】

- 一般的に無散水融雪には、最低でも30℃近い温水が必要だと考えられていました。ボイラーなどを使ったシステムでは、降雪時に必要なときだけ稼働するように、高価な降雪センサーや積雪センサーで運転制御していました。
- 地盤の温度、地中熱の温度は一般的に12～18℃程度です。地中熱は温度レベルが低いことから舗装体を暖めるのに時間がかかるため、路面の着雪を確認してから運転を始めると融雪が遅れ路面に雪が残る。これを解消するため、あらかじめ舗装を一定温度に保つ予熱運転が必要です。

地中熱エネルギーの特長

●自然の力で自在に制御される地中熱融雪システム

地中熱エネルギーは、融雪（降雪の増大）や凍結防止（放射冷却などの温度低下）の熱的負荷の変化に応じて、地中熱から供給する熱の量を自然の摂理に応じて自在に変化させることが改めて認識しました。路面温度と地中熱の温度差が大きくなるほど、それに応じてより多くの地中熱を届けようとするのが、地中熱融雪システムの優れた点です。

地中熱を有効利用する運転制御システム

< 運転コストの安さを活かした予熱運転 >

- 高価な降雪センサーを使わず、安価な路面温度センサーで舗装面を一定温度に保ちます。
- 予熱運転が温度レベルが低い地中熱の弱点をカバーします。
- 予熱運転は、循環ポンプの電気代程度の極めて安価な運転コストで実現できます。

持続可能な地中環境の保全

- 路面を暖めるために地中熱を一時的に取るだけではなく、暖まった路面から積極的に熱を地盤に戻します。これは、地中の低温化という地中の環境問題を抑制し、また安定した地盤温度を維持し、持続的に安定した運転が行えることから、コストの縮減に寄与しています。

運転制御は路面温度でシンプルに!!

冬 期	夏 期
冬期の放熱（融雪・凍結防止） [融雪運転] 運転 → 路面温度<2℃ 停止 → 路面温度>10℃ [凍結防止運転] 運転 → 路面温度<7℃ 停止 → 路面温度>9℃	夏期モード [冷却運転] 運転 → 路面温度>25℃ 停止 → 路面温度<22℃
冬期の採熱（エネルギーの利用） [蓄熱運転] 運転 → 路面温度>水温+15℃ 停止 → 路面温度<水温+12℃	

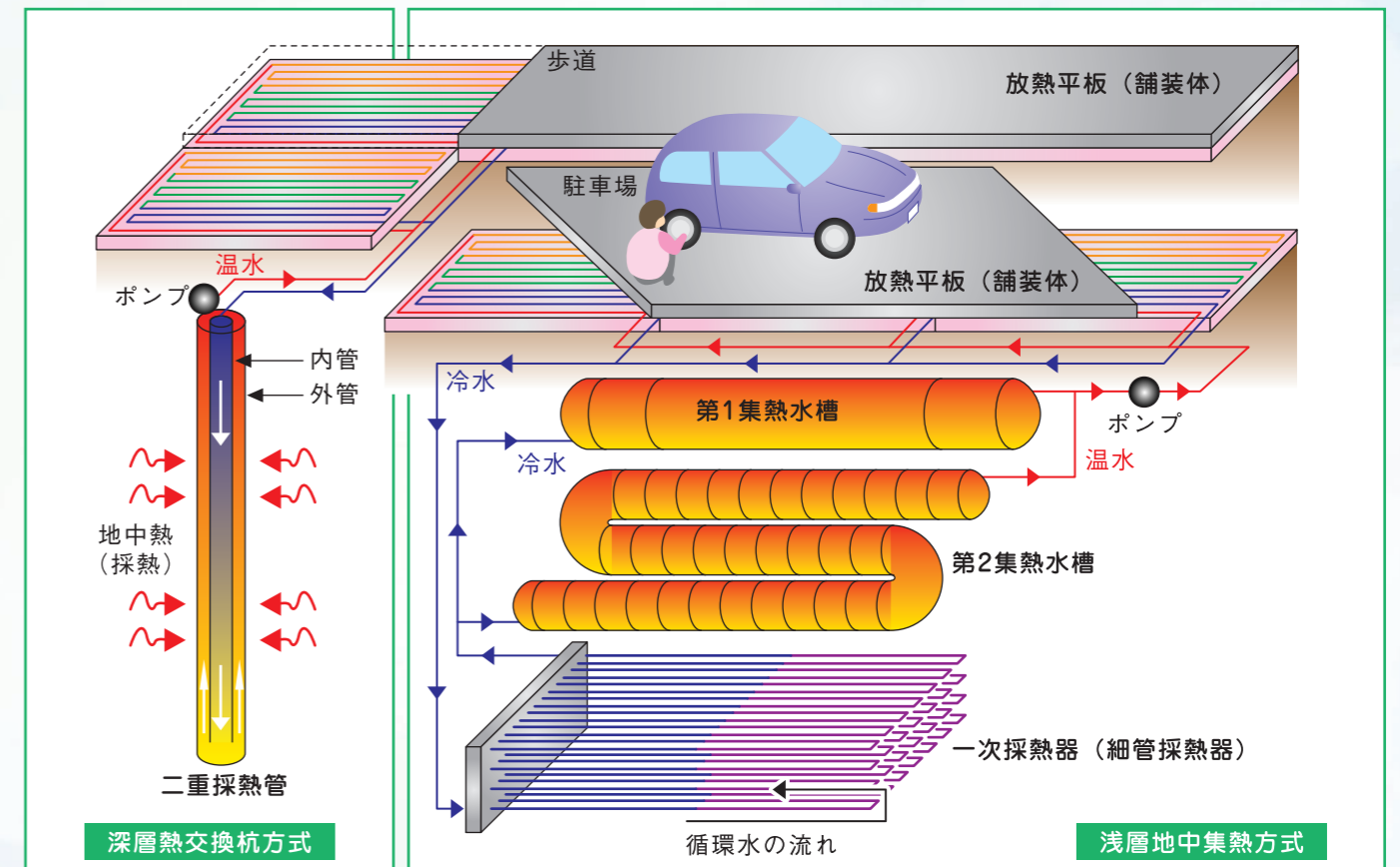
※ 融雪によって集熱水槽の水温低下が生じた場合、「ハチ北」では安定した融雪能力を発揮するために、昼間に舗装体が吸収した太陽エネルギーや夏期に地盤に蓄えた地中熱を再び集熱水槽に還元する運転制御手法を導入しました。

6.道の駅「ハチ北」無散水融雪システム

道の駅「ハチ北」の無散水融雪システムは、深層熱交換杭方式（歩道温度制御）と浅層地中集熱方式（駐車場温度制御）から成り、この併用方式は、日本初のシステムです。また、地中熱利用による融雪面積（1430m²）は世界最大級*です。*1998年竣工当時

【融雪システム概念図】

利用状況の違いや求められるサービスレベルによって駐車スペース、歩道の2つのゾーンに、それぞれに適した無散水融雪システムを配置しました。



【主な構成機器の役割】

- 第1集熱水槽** / **第2集熱水槽** : 鋼製タンク（第2集熱水槽は鋳鉄製）で地中熱の採熱と蓄熱の機能を有する水槽です。主として駐車場の融雪に利用します。
- 一次採熱器（細管採熱器）** : 直径50mmのステンレス製の細管で構成された採熱器です。主として駐車場の凍結防止に利用します。
- 二重採熱管** : 地下100mに埋めた二重採熱管が深層の地中熱を採熱します。この熱を歩道の融雪に利用します。
- 放熱平板（舗装体）** : 地中熱から採熱した循環水の熱を効率よく舗装表面に伝えるための舗装体です。

【融雪施設の概要】

融雪箇所	面積	融雪種別	採熱器
駐車場	1120m ²	無散水	・ 集熱水槽 φ4.5m×80m×1基 φ2.6m×240m×1基 ・ 細管採熱器6セット 50A×53m×16本
歩道	310m ²	無散水	・ 深層熱交換杭（二重採熱管） φ90mm/φ56mm×100m×12基

地中熱エネルギーのみで融雪を実現した新開発の放熱平板

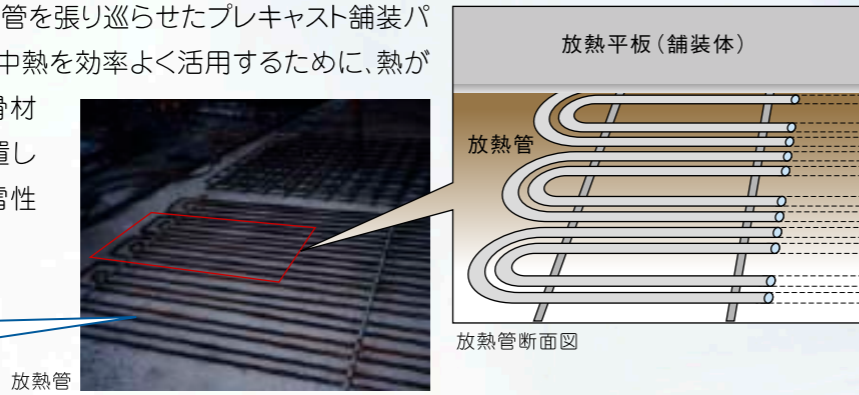
ハチ北では、地中熱を利用した人と車、
そして地球に優しい無散水方式融雪システムを採用

地中熱のみを利用した無散水方式の融雪道路は、水跳ねの心配がなく、歩行者にとっては快適な歩行空間ができます。また、融雪施設の運転にともなうCO₂の排出も少なく地球に優しい融雪システムです。

【放熱平板（舗装体）】

床暖房のように、コンクリートに細い放熱管を張り巡らせたプレキャスト舗装パネルを採用しました。温度レベルの低い地中熱を効率よく活用するために、熱が伝わりやすいシリカ成分を含んだケイ石骨材を使用しました。路面より浅い部分に設置した放熱管からの熱を効率良く伝えて、融雪性能の向上を図りました。

放熱管 (SGP 15A) は、10cm間隔で、路面から8cm下に設置しています。

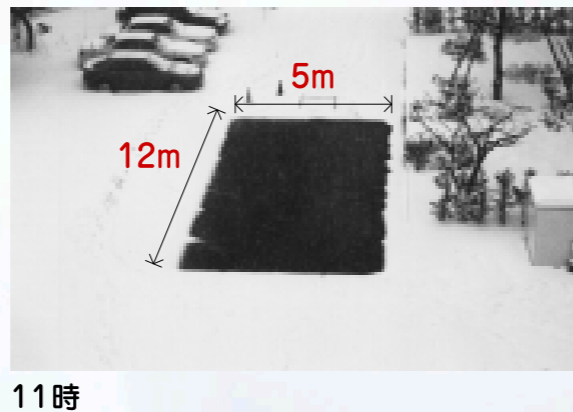
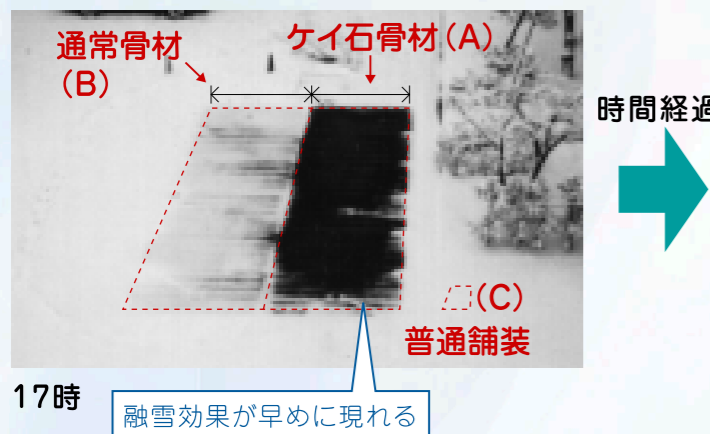
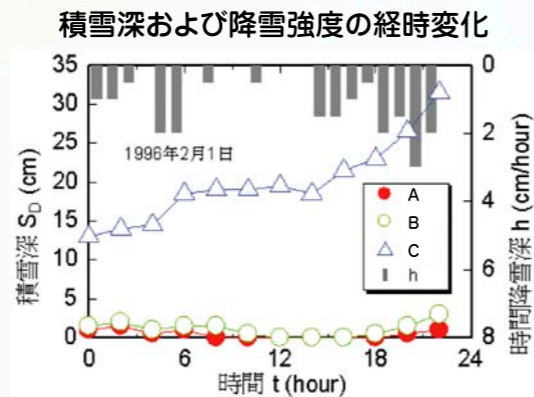


技術開発した放熱平板の融雪能力 【舗装種別による融雪状況の違い】

〈ケイ石骨材を使用した放熱平板(A)〉は〈通常の放熱平板(B)〉に比べ雪が残りやすく、連続した降雪に対しても十分に融雪が行えることが分かりました。また、融雪を比較するため雪が降り積もる屋外で積雪深の変化を見ました。

約30%の融雪能力を向上

	午前6時～	午前7時～	午後6時～	午後10時～
ケイ石骨材放熱平板(A)	1～2cmの積雪 一部路面は露出	融雪完了	積雪確認	最大積雪深 1cm
通常骨材放熱平板(B)	1～2cmの積雪	午前9時融雪完了	積雪確認	最大積雪深 4cm
普通舗装(C)	積雪深18cm	午後2時積雪深19cm		最大積雪深 32cm



地下の水槽でしっかりと採熱・蓄熱

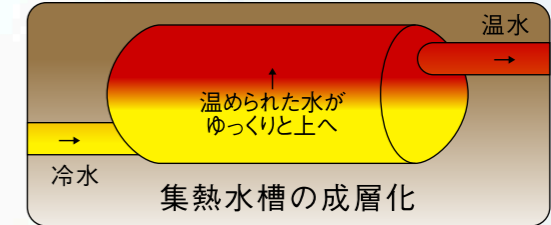
路面から10mの深さでは、15℃程度の安定した地中熱があり、これを効率よく採熱・蓄熱するために、駐車場の下には2つの大きな水槽が埋まっています。この水槽は、夏は氷枕、冬は湯たんぽの役割を果たします。水槽の容量は25mプールに換算すると、約66杯分の水量に相当します。

コンクリート製より約1.25倍の熱を伝える【鋼製の集熱水槽】

鋼製集熱水槽は、コンクリート製と比較した場合、約1.25倍の熱を伝える力があります。コンクリート製と同じ性能を求めるならば、25%の水槽容量を削減できます。これにより建設コストは約3割削減できました。



第1集熱水槽（鋼製）

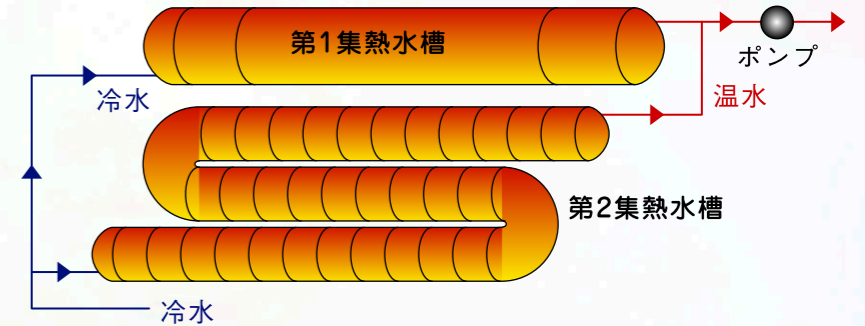


温水と冷水を一つの集熱水槽に貯めてコストダウン

温かい水は上部から、冷めた水は下部から静かに出入りさせることで、一つの水槽で温水と冷水が混ざらずに成層化するように出入口を工夫しました。



第2集熱水槽
(ダクタイル鋳鉄製)

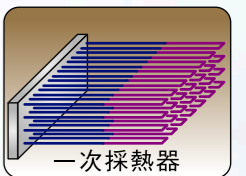


細管埋設型熱交換器で効率よく採熱

ハチ北の駐車場の直下には、地中熱を効率よく採熱する巨大なラジエーターが埋まっています。

冷えた循環水温を4℃上昇させる【一次採熱器】

一次採熱器は直径50mm、長さ53mのステンレス管が96本あり、総延長は約5Kmにもなります。ちょうど湯沸かし器で水道水が温められるように、融雪や凍結防止で冷やされた循環水はステンレス管の中を通るとき、地中熱で温められます。これにより集熱水槽に入る循環水温が4℃上昇しています。



一次採熱器と鋼製の集熱水槽の組み合わせ

地中熱の採熱効果をより高めるための一次採熱器は、鋼製の集熱水槽と組み合わせることによって、より効果的な融雪システムになりました。

追跡調査より、一次採熱器周辺地盤温度は12月中旬で12℃近くあり、降雪によって8℃程度まで冷えた循環水は一次採熱器を通過する過程で4℃程度の温度上昇が見られました。