



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	事務所における自然エネルギー活用型敷地内雪処理・空調複合システムの導入効果に関する実測と評価-地下熱利用の省エネルギー・環境保全・経済性-
Author(s)	小家, 浩輔; 濱田, 靖弘; 中村, 真人 他
Description	第10回衛生工学シンポジウム (平成14年10月31日 (木) -11月1日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 建築環境・エネルギー利用 . P3-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 10, 61-64
Issue Date	2002-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7101
Type	departmental bulletin paper
File Information	10-3-4_p61-64.pdf



3-4 事務所における自然エネルギー活用型敷地内雪処理・空調 複合システムの導入効果に関する実測と評価

一 地下熱利用の省エネルギー・環境保全・経済性 一

- | | | |
|-----------------|---------------|-----------------|
| ○ 小家 浩輔 (北海道大学) | 濱田 靖弘 (北海道大学) | 中村 真人 (北海道大学) |
| 齊藤 央 (北海道大学) | 尚和 泰宏 (北海道大学) | 横山真太郎 (北海道大学) |
| 窪田 英樹 (北海道大学) | 落藤 澄 (北海道大学) | 鈴木 雅幸 (竹中工務店) |
| 今 昭典 (竹中工務店) | 柴田 和夫 (日伸テクノ) | 大竹 秀雄 (北海道工業大学) |

はじめに

豪雪地帯の都市ではロードヒーティングの普及・モータリゼーションの進展を背景に雪処理のエネルギー需要量が増大している。雪処理に要するエネルギー需要量削減のため、筆者らの研究室ではこれまで地下熱をはじめとする自然エネルギーを利用した雪処理の有用性を示してきた¹⁾²⁾。本研究では自然エネルギー活用型雪処理・空調複合システムを導入した実規模の事務所施設における運転実績を明らかにする。まず、札幌市内に建設された事務所における地下熱利用型敷地内雪処理システムと雪冷房システムの概要を示す。次いで、2001年末から2002年夏期までの実測結果に基づき、省エネルギー・環境保全・経済性評価を行う。

1. 対象施設の概要

図-1に札幌市厚別区に建設された事務所施設(2001年12月竣工)の外観を示す。アンダフロア空調システム、外気冷房、ナイトパーズなどによる省エネルギー効果が評価され、第14回空気調和・衛生工学会振興賞技術振興賞を受賞した事務所³⁾の2号館である(敷地面積8,727 m²、延べ床面積8,546.9 m²、SRC造、地上2階・地下2階)。

本事務所施設では、敷地内の雪処理と空調に自然エネルギー利用手法を導入している。雪処理は、冷房のための貯雪、ならびに地下熱利用型融雪によるものとした。また、融雪にはマイクロガスタービンコージェネレーションシステム(Cogeneration System:CGS)も併用している。冷房に関しては、雪冷房、外気冷房、クールチューブによる導入外気の予冷によって省エネルギー性の向上を図った。



図-1 対象とする事務所施設の外観

1. 1 地下熱利用型敷地内雪処理システム

図-2、図-3にそれぞれ地下熱利用型雪処理システムの平面図、系統図を示す。温水式ロードヒーティングが公道から屋内へのスロープ部分(296 m²)と半屋内駐車場(200 m²)に敷設されている。総計496 m²の融雪を地下熱利用システムにより賄うものとし、線源理論による予測結果⁴⁾と敷地の制約から、図-2のように垂直型地中熱交換器(深さ76 m)を計16本配置した。地中熱交換器にはポリエチレンU字型管(内径27 mm、肉厚3 mm)を採用した。補助システムとして、CGS(定格発電量:9.8 kW、排熱回収量:63.8 MJ/h)、ガス焚温水ボイラ(定格熱出力:210 kW)が利用可能である(図-3)。路盤側・CGS回路の熱媒には不凍液(プロピレングリコール水溶液:50 wt%)を用い、地盤側回路には万一の漏洩に備え、水を熱媒に用いた。

1. 2 雪冷房システム

図-2における屋外駐車場の雪処理は機械除雪によるが、晩冬にこの雪の一部を事務所一階に敷設した貯雪庫(140 m³)に蓄え、夏期の冷房に利用する。図-4に雪冷房システムの系統図を示す。熱交換冷水循環と直接冷風循環を併用し、冷水利用については、融雪水が地下冷水槽に自然落下し、熱交換器を介して建物内に冷水を供給する。熱交換後の融雪水は、循環させて雪塊に噴霧し、雪の融解促進に用いられる。直接冷風循環はクールチューブとの併用である。クールチューブにより予冷された外気は、雪冷房期には貯雪庫通過後に建物内に供給され、非雪冷房期には建物内に直接供給される。

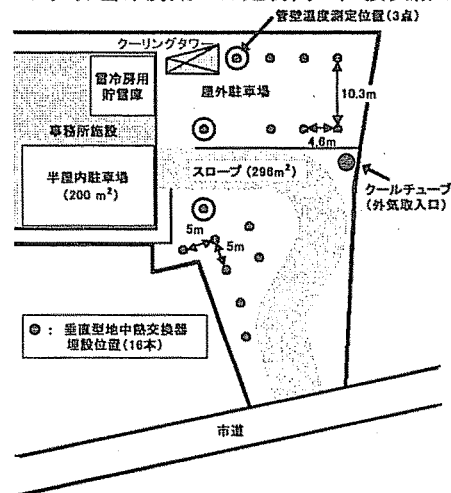


図-2 自然エネルギー利用システムの平面図

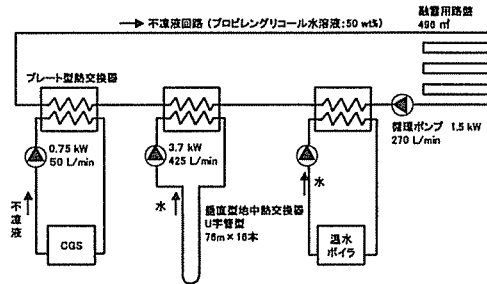


図-3 融雪システムの系統図

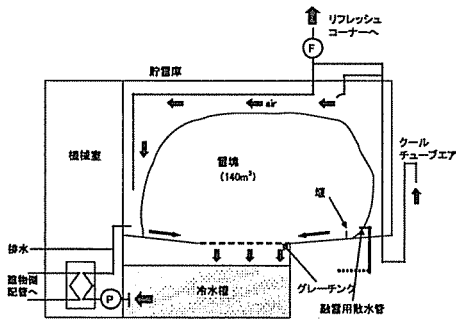


図-4 雪冷房システムの系統図

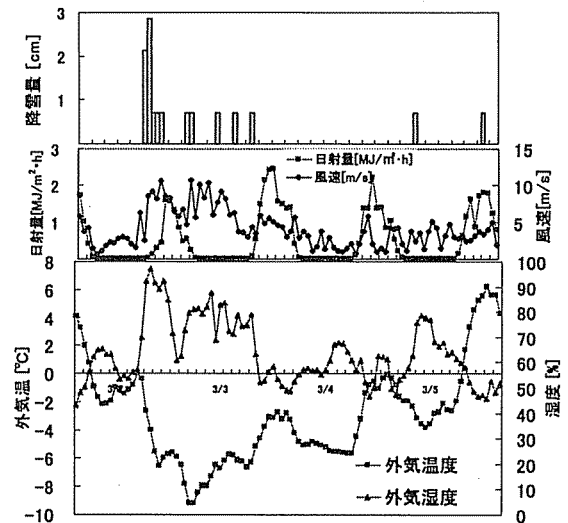


図-5 外界気象条件 (2002年3月1日 15:00～3月5日 16:00)

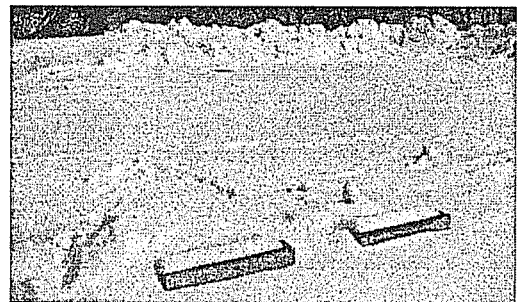


図-6 屋外駐車場 (2002年3月2日 13:30)



図-7 路盤融雪状況 (2002年3月2日 14:30)

2. 実測概要

2. 1 測定システム

測定は10分間隔で行い、中央監視盤およびデータロガーを用いて記録した。融雪システムの測定項目は、路面温度、外気温湿度、風速、日射量、熱媒送り・返り温度、地中熱交換器管壁温度、各種搬送用ポンプの稼働時間などである。路面の融雪状況については、目測によって記録を行った。雪冷房システムにおいては、外気温湿度、融雪水および熱媒送り・返り温度、貯雪庫内温度、貯雪庫への給気温度などである。貯雪庫の残雪状況については定期的な写真撮影によって記録を行った。

2. 2 運転条件と日程

地下熱利用型融雪システムは熱媒凍結防止のために連続運転とし、補助システムに関しては、降雪の有無、または路面温度(5℃)によってON-OFF制御を行う。両システムは、気象条件に応じて手動で切り替えを行うものとした。地下熱による融雪運転は2002年3月1日から4月4日までの期間内で28日間(3月1日～3月5日, 3月13日～4月4日)実施した。2001年12月28日から2002年2月28日、および3月6日から3月12日までは補助システムを稼働させた。

雪冷房については3月1日に約140 m³の雪を貯雪庫に投入した。その後、定期的に残雪状況を観測し、雪冷房運転は6月18日から8月1日までの期間内で総計78時間実施した。

3. 敷地内雪処理システムの実測と評価

3. 1 外界気象条件と路面状況

地下熱利用型融雪システムの運転は2002年3月1日から4月4日までの期間内に実施したが、3月中旬以降は外気温が高く、また降雪量が少なかったために、本論文では2002年3月1日20時から5日13時までの89時間の稼働時間を中心に整

理を行った。図-5に対象期間における外界気象条件を示す。期間中には12.1 cmの降雪があり、最低外気温は-9.2℃に達する、3月としては異例の厳寒期となった。雪処理を行っていない屋外駐車場と、地下熱利用融雪システムにより雪処理の進んだスロープ部分について、それぞれ図-6、図-7に積算降雪量7.9 cm時点における路面状況を示す。雪処理を行っていない路面に対して、わずかに残雪があるものの、地下熱利用によって比較的良好な路面状況が得られている。目測による路面の露出率は9割程度であった。

3. 2 融雪システムの運転実績

図-8に熱媒温度、および路面温度の変動を示す。地盤からの熱媒送り温度の平均値は7.3℃、路盤への熱媒送り温度は6.7℃であった。地盤側における送り・返り温度差は0.6℃と小さく、より低流量での運転が可能であると考えられる。

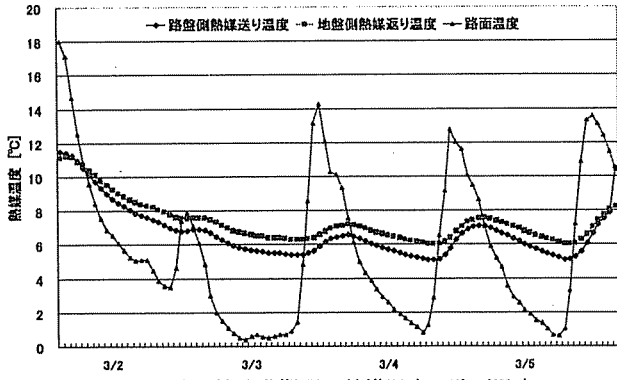


図-8 地下熱稼働期間の熱媒温度・路面温度

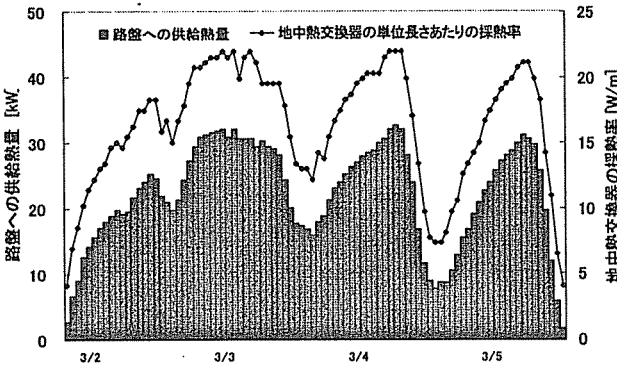


図-9 路盤供給熱量・地中熱交換器採熱率

現在の循環流量は 425 L/min(搬送ポンプ 3.7 kW)であるが、搬送系のエネルギー消費量の低減化の観点から、搬送系の適正化が必要である。また、路面温度については常に 0°C以上を維持しており、路面の凍結が発生していないことを目測によっても確認した。

図-9に路面への供給熱量、および地中熱交換器の単位長さあたりの採熱率の変動を示す。期間中の地盤採熱量は総計で 6.4 GJであったが、循環系の発熱を含めた路盤供給熱量は平均 23 kW、総計で 8.7 GJとなった。エネルギー使用効率 (Energy Efficiency Ratio:EER) [=供給熱量/搬送系の電力消費量] は 4.4 であり、前述のとおり搬送系の再検討により少なくとも現状の 2 倍程度の EER の改善が可能と考えられる。地中熱交換器の平均採熱率は 16.7 W/m(3月2日～3月4日の平均) となり、筆者らの過去の実測結果(11～19 W/m)²⁾と比較して高い採熱能力を示した。

3. 3 地中温度の長期変動

図-10に地中熱交換器の管壁温度の長期変動を示す。ここで管壁温度は、図-2の測定用地中熱交換器の深さ 38 mにおける測定値の平均を示した。土壌を熱源に利用した場合、採熱量が多くなると、土壌温度の低下による採熱性能の低下が懸念されるが、本施設において3月1日～4月4日に土壌から採熱を行った結果、3月下旬以降の外気温が高かったことも影響して土壌温度は低下してもすぐに回復しており、長期採熱による採熱性能の低下はないと思われる。

3. 4 省エネルギー性・環境保全性

外界気象条件が比較的近い条件であった代表日を選定し、

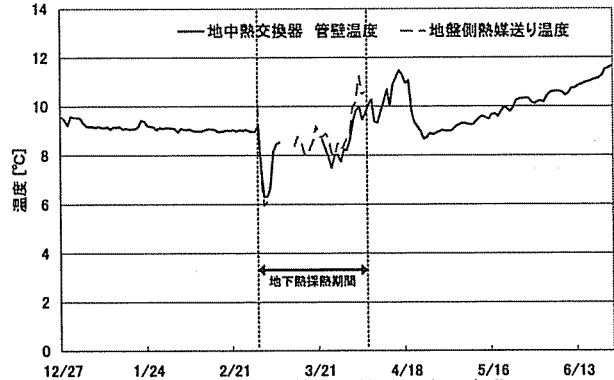


図-10 地中熱交換器の管壁温度の変動

表-1 従来方式との比較

日付		2月14日	3月2日
外界条件	平均気温 [°C]	-5.14	-4.94
	降雪量 [cm]	7.50	8.13
	日射量 [MJ/m ² ・day]	9.72	7.52
路盤供給熱量 [MJ]	15778	1987	
消費エネルギー [MJ]	20482	449	
CO ₂ 排出量 [kg-C]	241	17	
ランニングコスト [円]	43906	1607	
路面露出率 [%]	100	90	

補助システム(2002年2月14日)と地下熱利用システム(2002年3月2日)の運転実績の比較を行った。表-1に示す結果は、以下の値を用いて計算した:ガスボイラ熱効率80%, CO₂排出係数(電力0.139 kg-C/kWh⁹⁾, 都市ガス13A0.642 kg-C/m³⁷⁾, コスト(電力12.88円/kWh⁹⁾, 都市ガス13A 97.96円/m³⁹⁾。常時完全消雪を行う補助熱源運転と比較して、路面露出率約9割となった地下熱利用システムは一次エネルギー消費量で約1/16、二酸化炭素排出量で約1/14であった。ランニングコストも大幅な削減がされた。地下熱運転時の投入エネルギーは循環系のみであり、搬送系の適正化によって導入効果はさらに向上すると考えられる。両者は得られる融雪レベルが異なるため、単純な比較はできないが、補助システム運転時のエネルギー消費削減が求められるとともに、地下熱利用システム運転時の高い省エネルギー性を示す結果となった。

4. 雪冷房システムの実測と評価

図-11に2002年3月1日における約140 m³の雪の貯雪庫への投雪状況を示す。貯雪庫内の雪は、冷房が始まる前の5月ごろまでは初期の雪の約8割が融けずに残存していた(図-12)。2002年6月18日から気温の高い日中に集中して冷房運転が行われた。7月以降は雪の融解が進み(図-13)、8月2日の時点で、雪が完全になくなったことを目測により確認した。

表-2に本雪冷房システムの運転実績を示す。雪がなくなるまでに、融雪水利用冷房を計51時間、冷風利用冷房を計71時間行った。両者は同時に稼動している時間が多く、合計では78時間となった。一次側の期間総計の放熱量は融雪水利用冷房で5172 MJ、冷風利用冷房が134 MJであり、計5305 MJの冷熱を雪から回収することができた。融雪水利用冷房の期間平均の冷房能力は28 kWであり、十分な冷房効果を有することが示された。

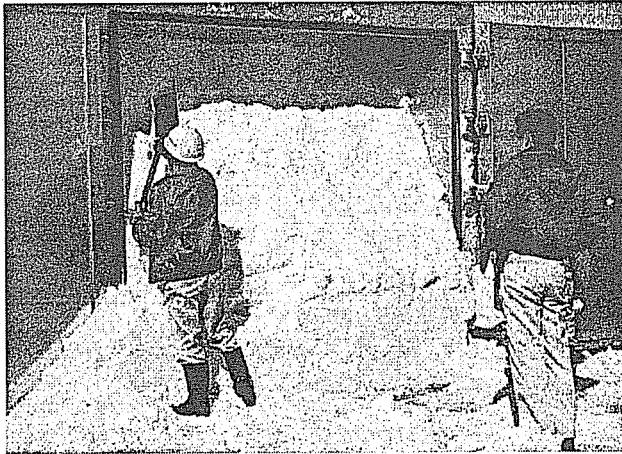


図-11 貯雪庫への投雪状況 (2002年3月1日)

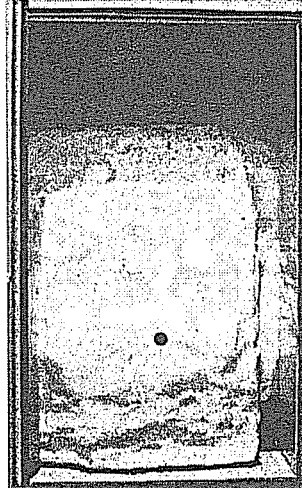


図-12 残雪状況 (5月3日)

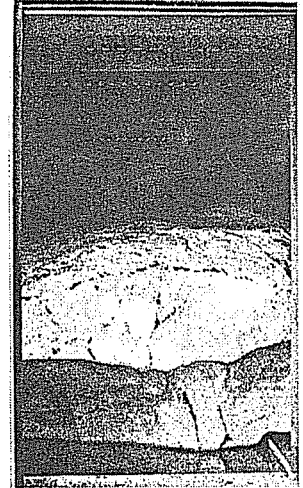


図-13 残雪状況 (7月19日)

表-2 雪冷房運転実績

	融雪水利用	冷風利用	計
稼働時間 [h]	51	71	78
放熱量 [MJ]	5172	134	5305
雪質量換算 [kg]	15445	399	15844

まとめ

- 2001年12月に札幌市内に建設された事務所における自然エネルギー活用型敷地内雪処理・空調複合システムの概要を示した。構内496 m²のロードヒーティングについては、総計16本の垂直型地中熱交換器(U字管型)を擁する地下熱利用システムを適用した。また、事務所一階の一部分に貯雪庫(140 m³)を敷設し、熱交換冷水循環と直接冷風循環の併用方式による雪冷房システムを導入した。
- 地下熱利用システムによる融雪運転は2002年3月1日から4月4日までの期間内で28日間実施した。このうち、3月1日20時から3月5日13時までの89時間(降雪量:12.1 cm, 最低外気温:-9.2℃)を取り上げ、システム特性の評価を行った結果、路面の9割程度が露出し、良好な融雪状況が得られた。地盤からの熱媒返り温度、採熱率の平均値は7.3℃、16.7 W/m²であり、既往の実績と比較して高い採熱能力を示した。また、運転期間総計の地盤からの採熱量は6.4 GJとなったが、運転終了後3日ほどで地中温度はほぼ自然状態に回復した。
- 外界気象条件が比較的近い条件であった代表日を選定し、補助熱源(2002年2月14日)と地下熱利用システム(2002年3月2日)の運転実績の比較を行った。常時完全消雪を行う場合と比較して、路面露出率約9割となった地下熱利用システムの一次エネルギー消費量・二酸化炭素排出量はいずれも1/14以下であり、コストについても大幅な削減が可能であった。また、地中熱交換器総計の現在の循環流量は425 L/minであるが、より低流量での運転が可能であり、搬送系の適正化により導入効果は更に向上すると考えられる。
- 2002年3月1日に約140 m³の雪を貯雪庫に投入し、貯雪状況の推移を観測した結果、約2か月経過時点においても初期の8割程度が残存した。冷房運転は6月18日から8月1

日までの期間で78時間実施した。融雪水利用冷房は期間平均送り温度、出力はそれぞれ、約12℃、28 kWであり、計5172 MJを供給した。冷風利用冷房の供給熱量は計134 MJであった。

おわりに、実測にあたり、ご協力いただきましたセイコーエプソン株式会社の皆様をはじめ、関係諸氏に深く感謝いたします。

<参考文献>

- 落藤 澄ら：低温水型ロードヒーティングの実験と解析(第1～7報)，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1990～1992)
- 落藤 澄ら：自然エネルギーを利用した融雪システムに関する研究(第1～4報)，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1995～1996)
- 永坂茂之ら：線源理論を用いた土壌熱利用融雪システムの設計手法，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1997-8)，pp.1081～1084
- 渋谷幸男・鈴木雅幸ら：セイコーエプソン株式会社札幌ソフトセンターの空気調和設備，空気調和・衛生工学，74-11(2000-11)，pp.80～82
- 尚和泰宏ら：地下熱利用を導入した寒冷地の建築・都市エネルギーシステムに関する研究-改良型埋設法による雪処理システムの特長とその評価，空気調和・衛生工学会学術講演会北海道支部第36回学術講演会論文集(2002-3)，pp.151～154
- 地球環境に関する委員会：地球環境時代における建築設備の課題(1995-7)，空気調和・衛生工学会
- 省エネルギーハンドブック編集委員会：省エネルギーハンドブック'98(1998-4)，(財)住宅・建築省エネルギー機構
- 北海道電力株式会社ホームページ，電気供給約款料金単価：http://www.hepco.co.jp/person/price/01_02.html#denryoku1
- 北海道ガス株式会社ホームページ，融雪用季節契約料金：<http://www.hokkaido-gas.co.jp/>