

北海道科学大学 「雪氷地中熱利用ヒートポンプ空調システム」

大成建設(株)一級建築士事務所 設計本部設備設計第一部 清水 賢

■キーワード／雪氷熱利用・地中熱利用・水熱源ヒートポンプ

1. はじめに

学校法人北海道科学大学前田キャンパス内の北海道科学大学薬学部共用校舎棟(A棟)および研究棟(B棟)、保健医療学部棟(C棟)は、開校100周年を見据えたスマートキャンパス化計画の一環として、2014年に完成した。

キャンパスの低炭素化に向けた取り組みとして「寒冷地型スマートキャンパス」の実現をめざし、寒冷地特有の省エネルギー技術を導入している。導入技術は、熱源機械室の排熱を有効に利用した融雪システム、温水床暖房によるロビー空間の垂直温度差緩和、風除室温風加圧制御による冷気侵入防止、CO₂制御による外気負荷削減などである。本稿においてはその中でも特徴的な技術として、雪氷熱利用と地中熱利用を安価な施工方法で実現した「雪氷地中熱利用ヒートポンプ空調システム」の概要と性能を紹介する。

2. 建築概要

建築概要を表-1に示す。

3. 設備概要

設備概要を表-2に示す。



写真-1 敷地全体写真



写真-2 外観パース

表-1 建築概要

建物名称	学校法人北海道科学大学薬学部 共用講義棟(A棟) 研究棟(B棟) 保健医療学部棟(C棟)
所在地	札幌市手稲区前田7条15丁目4-1
主用途	大学
建築主	学校法人 北海道科学大学
用途地域	第二種中高層住居専用地域
敷地面積	130,204.51㎡
建築面積	37,704.70㎡(A・B・C棟合計)
延床面積	101,442.00㎡(A・B・C棟合計)
構造規模	RC造 A棟：地上4階、B・C棟：地上5階
最高高さ	25.4m
設計期間	2012年10月～2013年4月
工事期間	2013年5月～2014年10月

表-2 設備概要

空調設備	熱源	ガス焚冷温水発生機、冷却塔 ガス焚真空温水機
	空調方式	中央方式と個別方式の併用
		<中央方式> 熱源+外調機・空調機・ファンコイル
		<個別方式> 空気熱源ヒートポンプエアコン 水熱源ヒートポンプエアコン
	換気設備	第1種換気、第2種換気、第3種換気
	自動制御設備	CO ₂ 制御、外気冷房制御等
衛生設備	中央監視設備	BEMS等
	給水設備	加圧給水方式、受水槽+加圧給水ポンプ
	給湯設備	局所給湯方式(貯湯型電気温水器)
	排水設備	屋内合流、屋外分流、実験排水処理設備
特殊設備	ガス設備	都市ガス(13A) 熱源用
	雪氷地中熱利用設備	水熱源ヒートポンプ
電気設備	受変電方式	高圧6.6kV 1回線受電
	変圧器容量	A棟：2,500kVA B棟：3,300kVA C棟：3,100kVA
	幹線設備	三相3線200V、単相3線100V/200V
	その他	動力設備、電灯コンセント設備、電話設備、 光ケーブル対応、情報設備対応、防災設備、 昇降機設備、避雷設備、インターホン設備、 テレビ共同受信設備、拡声装置設備、ITV設備 トイレ呼出設備、防犯・身障者警報設備
防災設備	消火設備	屋内消火栓
	その他	非常照明、誘導灯、 自動火災報知設備、非常放送
	昇降機	エレベーター 6台(A棟・B棟・C棟 各2台)

4. 雪氷地中熱利用空調システム

4-1 システム概要

雪氷熱と地中熱を併用した「雪氷地中熱利用ヒートポンプ空調システム Snow+Ground Source Heat Pump system (以下S+GSHP)」の概念図を図-1に示す。ヒートポンプの一次側(地中側)にシート状熱交換器(以下S-HEX)を縦に設置し、水平方向に対して等間隔に埋設している。各S-HEXを配管で並列に接続し、配管内に不凍液を循環させて地中で採熱・放熱を行う。S-HEX底部までの埋設は地表面から深さ約2mとした。これは、上部に雪を堆積することで、夏期に雪の融解水が地中に浸透する際の冷熱を利用することを期待したことによる。一方、冬期には外気温度が氷点下になる寒冷地の場合、堆積した雪が断熱材の役目を果たし、地表面温度がほぼ一定に保たれることで地中熱を有効な温熱源として利用することが可能となっている。S+GSHPシステムと空調対象室の配置を図-2に、S-HEXの外形を図-3に示す。

写真-3にS-HEXの敷設状況を示す。S-HEXは施工時の掘削量が少ないため、通常のボアホール方式と比較して熱交換器部分の施工費が50%程度安価なことも大きな特徴といえる。熱源機器は一般的に地中熱ヒートポンプシステムで採用される水冷ヒートポンプとし、最大冷暖房能力30kWの機器を2台導入した。S-HEX上部に堆積させた雪を、日射遮蔽・遮熱・断熱・防雨を目的に養生シートで覆う構成となっている。

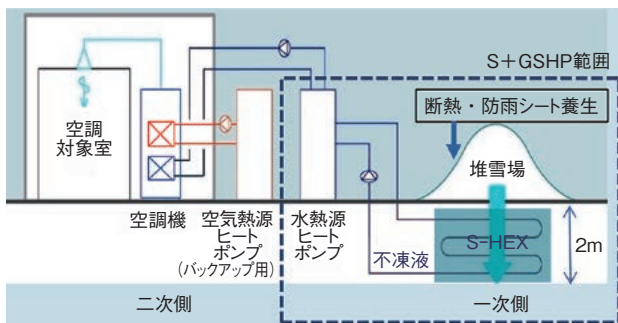


図-1 S+GSHP概念図

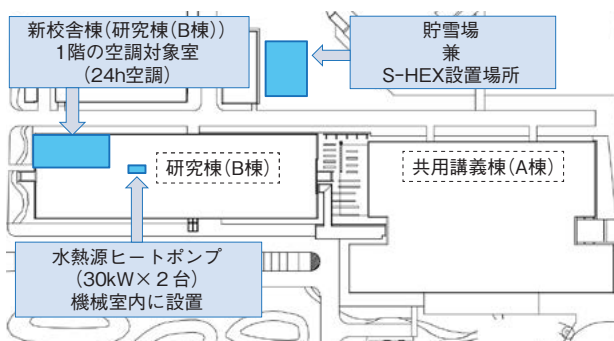


図-2 施設配置図

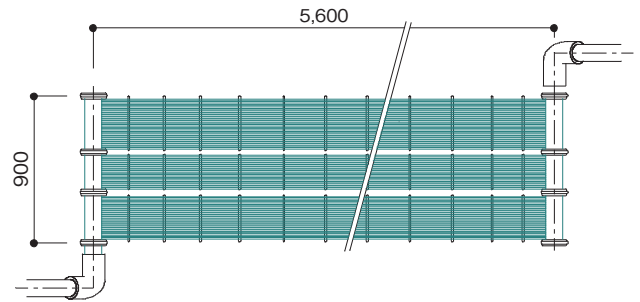


図-3 S-HEX外形図



写真-3 S-HEX敷設状況

4-2 堆雪状況

冬期は広大な敷地内に積もった雪をS-HEXの上に堆積させるために、トラックで堆雪場近くまで運搬し、除雪車により堆雪場上部に雪を積み上げた(写真-4)。堆雪作業を継続し、自重や時折の降雨によって圧密され、氷に近い硬さとなり、降雪がなくなるころにシート養生を行った(写真-5)。養生を行った状態で冷房運転を行い、雪氷熱を有効に利用している。



写真-4 堆雪状況



写真-5 堆雪場のシート養生

4-3 地中温度推移

年間を通してS-HEX周辺の地中温度がどのような変化をするか確認するために、S-HEX間の地中温度を計測した。図-4にS-HEXの配置と地中温度計測点を示す。また、その地中温度と外気温度を1年間通して計測したグラフを図-5に示す。地中温度はGL-2m, GL-1.5m, GL-1m計3点の平均値を示している。計測期間は2016年7月から2017年7月にかけて行った。

冷房開始時の地中温度は5℃前後で、外気温度よりも低いため地中熱を利用できた(図-5青ハッチ部)。暖房開始時は外気温度よりも高いため暖房熱源として利用できた。春期の低負荷期間は、堆雪があるため、地中温度を0℃に維持した状態で冷房時期を迎えられたことから、前年と同様、冷房開始時の地中温度が外気温度よりも低いため、2回目(2017年6月)の冷房に入る時期にも地中熱を利用できた。

4-4 本システムの実APF比較

本システムの実APFをGHPならびにEHPと比較するため、実測値から算出した。算出方法は山田等⁽¹⁾の研究を引用した。同研究報告にある北海道地域の寒冷地GHPならびにEHPの実APFが0.5~0.9であるのに対して、本システムの実APFは1.1であったことから、本システムの実APFが高いことが確認できた。

4-5 本システムの設計手法

S+GSHPの設計を簡易に行うに当たり、地中熱利用ヒートポンプシステム導入時に一般的に用いられている評価・シミュレーションツール「Ground Club(以降GC)」を用いた。GCは垂直型のボアホール方式に対応したものであるため、条件を入力する際には、熱交換面積や配置、地表面境界温度に留意して試算条件を設定し、熱交換面積がS-HEXと同等になるよう調整した。計算に用いる負荷データは実測値を使用し、シミュレーション結果から得られる熱源水温度と実測値との差異を確認した。この結果、暖房運転は実際の運転状況を再現できた。一方、冷房は20%程度の差がみられたが、堆雪の影響によるものと考えられる。このため、今後の入力に対しては堆雪を加味した入力条件の設定が重要になる。これより、GCを利用して簡易的なシミュレーションモデルを作成することで、再現性のある運転状態をシミュレートできると考えられる。また、S+GSHPの必要堆雪量算定は、堆雪の自然融解熱量・地中熱保有熱量・冷房消費熱量を熱収支計算することで算定できる。以上のことから、設計者が想定した空調負荷をGCに入力することで、S+GSHPのシミュレーションが可能であり、設計に活用できる手法であることが確認できた。

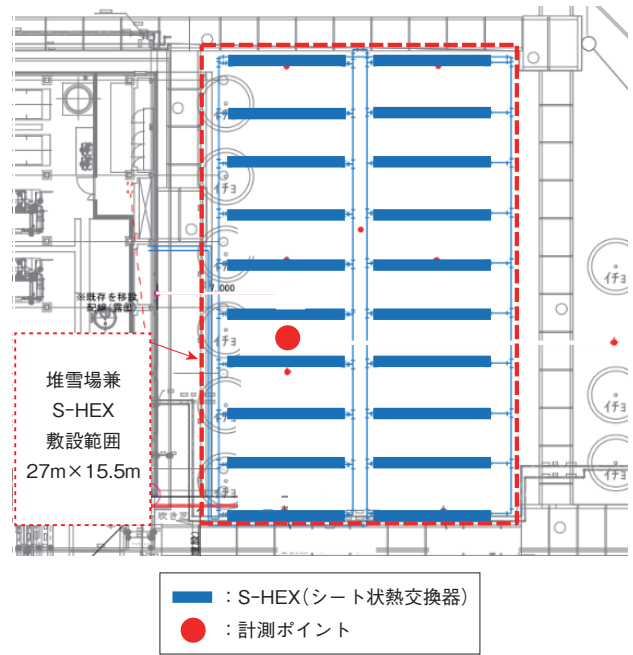


図-4 S-HEX敷設図

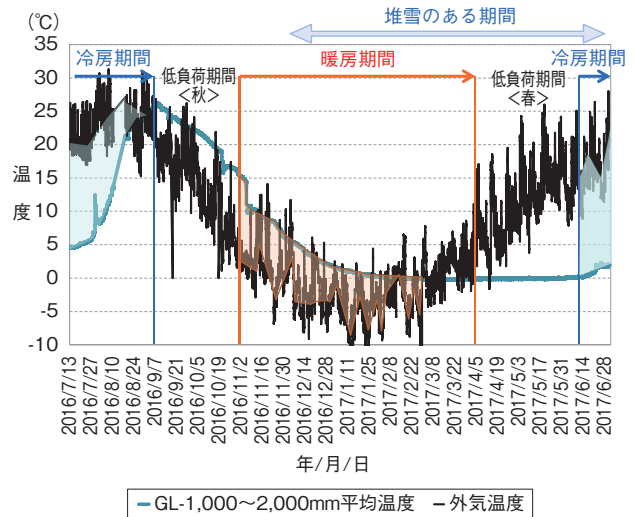


図-5 S-HEX中間温度変化

5. おわりに

北海道科学大学では、今後もBEMS計測データを活用して運用改善を継続して行くとともにキャンパス全体のスマート化を推進しており、低炭素で地域に開かれた「寒冷地型スマートキャンパス」の整備をめざしている。今後は、さらにデマンドレスポンスやネガワット市場対応など、社会情勢の変化に対応可能な技術の導入を推進し、進化するスマートキャンパスの構築をめざしている。

最後に、本施設実現および管理・運営にご協力いただいた全ての関係各位に感謝の意を表したい。

<参考文献>

- (1) 山田, 清水, 野部等: プローブ挿入法によるマルチパッケージ型空調機の運用実態調査, 空気調和・衛生工学会論文集 No.193, 2013年4月