

地中熱・太陽熱複合空調システムの省エネ性に関する研究

瀧ヶ崎 薫^{*1}・長野 克則^{*2}

A Study on Energy Performance of Hybrid Geothermal-Solar Energy System

Kaoru TAKIGASAKI, Katsunori NAGANO

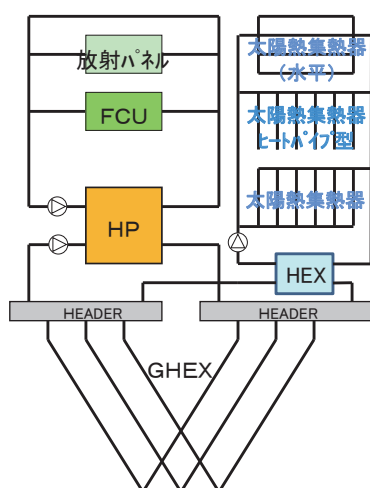


図-1 空調システム

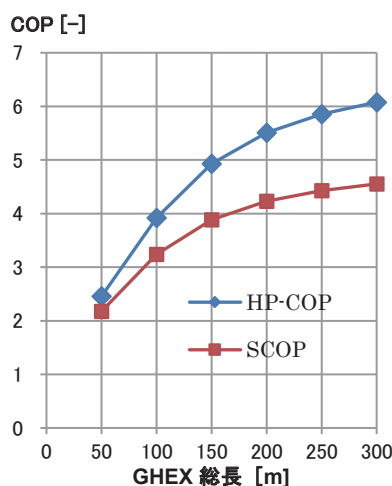


図-2 計算結果（SC10m²）

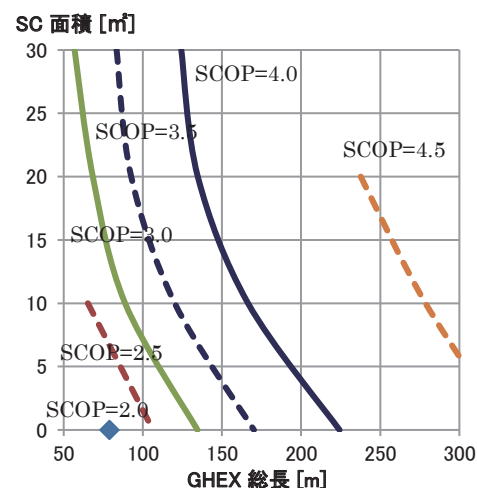


図-3 SCOPに対するGHEX 総長とSC面積

研究の目的

地中熱や太陽熱と言った再生可能エネルギー熱を、建物等に使用する熱に活用することは合理的であり、サステイナブル社会を構築するためにも、より一層の技術開発が望まれている。本研究では、地中熱をベースにした空調システムに太陽熱を組み合わせる方式とし、これによって生じる複合効果を明らかにすることを目的としている。

技術の説明

地中熱源ヒートポンプ10kWに対して地中熱交換器を150m、太陽熱集熱器を10m²としたシステムを構築し、技術研究所内に導入した。地中熱交換器と太陽熱集熱器を並列に配し、熱源水温度を高くすることで、ヒートポンプの効率を向上させるとともに、休日や低負荷時には余剰となる太陽熱を地中に蓄熱させることを意図している。地中蓄熱により、地中の温度は、それを行っていない場合に比べて高くなるため、暖房期間を通して有利に働くことになる。

様々な条件下で設計するために、LCEMを基にした設計ツールを整備し、計算精度を検証した。更に、地中熱交換器と太陽熱集熱器の数量を変数とした計算を行い、各々の省エネ性を示した。

主な結論

- 地中熱と太陽熱を複合させたシステムを検討し、実建物に導入した。実測の結果、複合運転時はヒートポンプCOPが39～44%、システムCOPが12～23%向上した。またヒートポンプ熱源の約3割を太陽熱で賄えた。
- 計算値と実測値を比較した結果、温度プロファイルは概ね良好な相関を示し、地中採熱量、地中蓄熱量および太陽熱集熱量は+5～+13%、ヒートポンプ電力量、送水ポンプ電力量は-8～+11%、総電力量は-3%の差であった。
- 地中熱交換器と太陽熱集熱器を変数とした計算を行い、各々の省エネ性を示すと同時にシステムCOPが等しくなる地中熱交換器と太陽熱集熱器の組み合わせ仕様を示した。また本計算条件下においては、地中熱交換器総長150mのみを基準に考えた場合、地中熱交換器50mと太陽熱集熱器10m²はほぼ同等の効果を示した。

*1 本店 技術研究所 高度空間・エネルギーマネジメント研究室

*2 北海道大学

地中熱・太陽熱複合空調システムの省エネ性に関する研究

瀧ヶ崎 薫^{*1} 長野 克則^{*2}

要 旨

地中熱や太陽熱と言った再生可能エネルギー熱を、建物等に使用する熱に活用することは合理的であり、サステナブル社会を構築するためにも、より一層の技術開発が望まれている。本研究では、地中熱をベースにした空調システムに太陽熱を組み合わせる方式とし、これによって生じる複合効果を明らかにすることを目的としている。

東京都練馬区の実建物を対象に地中熱・太陽熱複合空調システムを導入した。地中熱交換器と太陽熱集熱器は並列に配し、熱源水温度を高くすることで、ヒートポンプの効率を向上させるとともに、休日や低負荷時には余剰となる太陽熱を地中に蓄熱させることを意図している。地中蓄熱により、地中の温度は、それを行っていない場合に比べて高くなるため、暖房期間を通して有利に働くことになる。

様々な条件下で設計するために、LCEMを基にした設計ツールを整備し、計算精度を検証した。更に、地中熱交換器と太陽熱集熱器の数量を変数とした計算を行い、各々の省エネ性を示した。

キーワード 地中熱利用空調システム／太陽熱集熱器／複合運転／実測／システムシミュレーション

目 次

- | | |
|-------------|------------------|
| 1. はじめに | 5. 実測結果との比較 |
| 2. 空調システム概要 | 6. 複合仕様による省エネ性比較 |
| 3. 実測結果 | 7. おわりに |
| 4. 計算モデル | |

A STUDY ON ENERGY PERFORMANCE OF HYBRID GEOTHERMAL-SOLAR ENERGY SYSTEM

Kaoru TAKIGASAKI Katsunori NAGANO

Synopsis:

The purpose of this study is to propose hybrid geothermal-solar energy system which is high performance and lower cost. In this paper, firstly, we describe measurement results in heating season. Then, we simulate this hybrid system and compare simulation results with measurement results. Finally, we describe energy performance of this hybrid system. The following result was obtained; COP of the hybrid system rose with solar heat. And the hybrid system was more effective when heating load was low. The surplus solar heat was stored in soil. In this hybrid system, about 30% of heating load was covered by solar heat. SCOP was provided for various ground heat exchangers and solar collectors. And, we provided the method that could judge a combination of ground heat exchangers and solar collectors easily.

* 1 本店 技術研究所 高度空間・エネルギーマネジメント研究室

* 2 北海道大学

1. はじめに

地中熱や太陽熱と言った再生可能エネルギー熱を、建物等に使用する熱に活用することは合理的であり、サステナブル社会を構築するためにも、より一層の技術開発が望まれている。本研究では、地中熱をベースにした空調システムに太陽熱を組み合わせる方式とし、これによって生じる複合効果を明らかにすることを目的としている。

本報では東京都練馬区の実建物に導入した地中熱・太陽熱複合空調システムの概要ならびに暖房時における実測結果について報告する。次に当該システムのシステムシミュレーションを行い、実測結果と比較するとともに地中熱交換器と太陽熱集熱器の数量を変数とした場合の省エネ性について報告する。

2. 空調システム概要

表-1 に建物・設備概要を、図-1 に空調システムを示す。太陽熱集熱器（以下、SC と呼ぶ）の系統を既設の地中熱システムにヘッダーを介して追加している。SC と地中熱交換器（以下、GHEX と呼ぶ）は並列の採熱方式になる。既往の研究¹⁾では SC で得た熱を、GHEX を介した後にヒートポンプ（以下、HP と呼ぶ）に流している事例も見られるが、本システムでは熱源水温度を高くすることを優先し、SC から直接 HP に流れるようにした。これにより、HP 入口では GHEX だけを用いるよりも高温になるために機器効率が向上する。また休日や低負荷時には余剰となる太陽熱を地中に蓄熱することを意図しており、地中の温度は、地中蓄熱を行っていない場合に比べて高くなるため、暖房期間を通して有利に働くことになる。更に SC を熱源水側に配置することにより、給湯で取り扱う温度よりも低温になるため、集熱効率を高くすることが可能になる。

SC は実験的に 3 種類の製品を設置した（写真-1 参照）。SC 側は日射の大小にかかわらずタイマー制御により送水する。熱源水ポンプは SC 用ポンプと連動しており、休日など非空調時は太陽熱を地中蓄熱するモードのみになる。

表-1 建物・設備概要

建物名	前田建設工業 技術研究所
所在地	東京都練馬区
空調対象室	2F 事務室;床面積 約 60 m ²
空調熱源	水熱源ヒートポンプ;定格容量 10kW
地中熱交換器 GHEX	ボアホール方式;φ160×50m×3 本 ①SU ②井戸内 U ③同軸 2 重管
太陽熱集熱器 Solar Collector	A 社製 平板形 2 m ² 傾斜 35° B 社製 真空管ビートパイプ 1.7 m ² 傾斜 30° φ70×10 本
SC	C 社製 平板形 6 m ² (3 枚) 水平置 タイマー制御運転 (8:00~16:00)

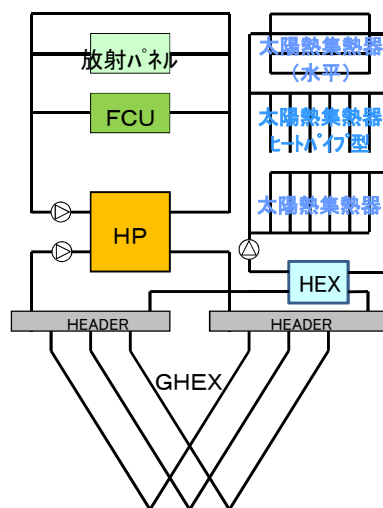


図-1 空調システム



写真-1 太陽熱集熱器

3. 実測結果

3.1 代表日における実測結果

暖房時の熱負荷および日射の大小に着目して表-2 に示す代表日を選定した。図-2~図-4 に地中熱と太陽熱を複合させた運転（以下、Hybrid 運転と呼ぶ）における各々の経時変化を示す。なお図中の COP は 1 分間隔で測定した温度、流量、電力量の 30 分平均値を示している。通常の地中熱空調は太陽熱がほとんど得られていない図-3 の様な経時変化を示す。これに対して図-2 の様に太陽熱が得られる場合は、その熱量に応じて地中採熱量は減少し、熱源水温度および地中温度は上昇する。熱源水温度（GHEX→HP）が上昇するため HP の COP も高くなっている。図-2 では地中採熱量と太陽熱集熱量の和が HP 熱源水側の熱量に相当する。暖房の熱負荷が小さい場合は図-4 の様に地中採熱量がマイナスを示す時間帯が生じる。これは余剰な太陽熱が地中に蓄熱されていることを示している。なお暖房負荷が小さくなると HP が発停を繰り返すため、発停前後で温度等の変動が大きくなっている。通常の地中熱空調では暖房負荷が一定であっても、地中温は図-3 の様に時間の経過とともに低下するが、特に地中採熱量よりも太陽熱集熱量が上回る場合は図-4 の様に暖房開始前よりも地中温が高くなる現象が見られる。

表-2 代表日と主な実測結果

代表日		負荷大、日射大	負荷大、日射小	負荷小、日射大
		①2015/1/20	②2015/1/21	③2015/3/5
24時間の積算値				
水平面日射量	kWh/m ²	3.7	0.4	5.6
地中採熱量	kWh	33.9	47.0	9.6
地中蓄熱量	kWh	0.0	0.0	12.5
太陽熱集熱量	kWh	19.9	0.2	25.8
8～16時の平均値				
熱源水入口温度	℃	14.3	10.0	18.4
熱源水出口温度	℃	12.0	7.8	17.7
冷温水入口温度	℃	40.0	40.0	35.7
冷温水出口温度	℃	45.3	45.3	40.4
負荷率	-	0.60	0.61	0.35
HP-COP	-	4.9	4.4	7.0

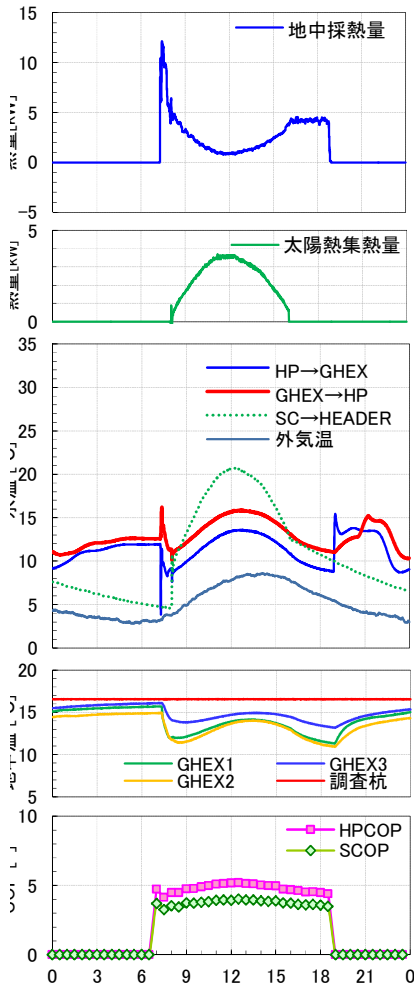


図-2 代表日①の経時変化

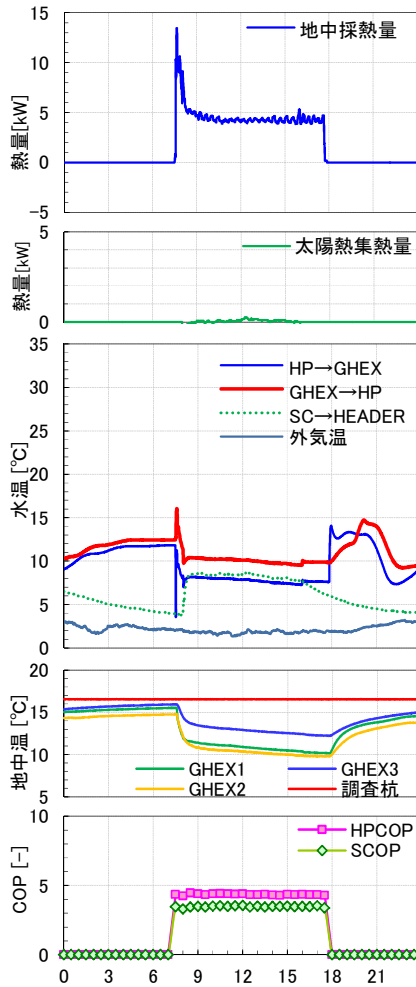


図-3 代表日②の経時変化

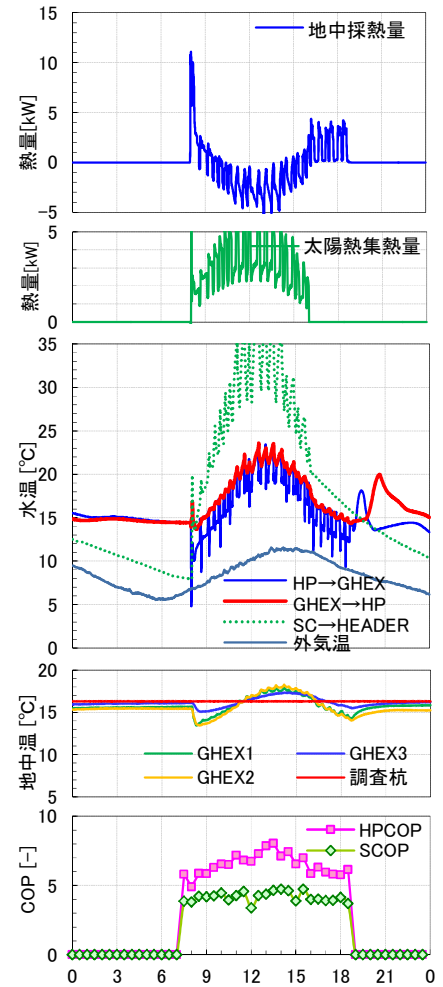


図-4 代表日③の経時変化

3.2 暖房期間の地中温度

暖房時 1 月から 3 月の日平均地中温ならびに日積算地中採熱量の経時変化を図-5～図-6 に、3 ヶ月間の積算熱量と平均地中温度を表-3 に示す。なお調査杭の地中温は GHEX の影響をほとんど受けておらず基準の地中温とみなせる。また図中の GHEX 地中温は 3 本の GHEX の平均値を用いている。地中熱のみの運転を行った 2014 年は 3 ヶ月間の熱負荷が小さく、Hybrid 運転を行った 2015 年の 6 割程度になっている。地中採熱量は 2015 年の方が 1 割程度多いものの、GHEX 地中温は 0.4℃高い値を示した。

図中の地中温を比較すると、明確な差は見られないが、Hybrid 運転の場合は、調査杭の地中温よりも高くなる日がある。これは休日に SC を運転したことにより、太陽熱が地中に蓄熱されたためである。

Hybrid 運転時における地中採熱量と太陽熱分熱量（集熱した太陽熱のうち HP 熱源に使用した熱量）を比較すると、HP 熱源水側熱量の約 3 割を太陽熱で賄う結果になった（表-3）。HP の下限温度に依存する事ではあるが、Hybrid 運転を行うことにより、GHEX の数量を減らせる可能性がある。

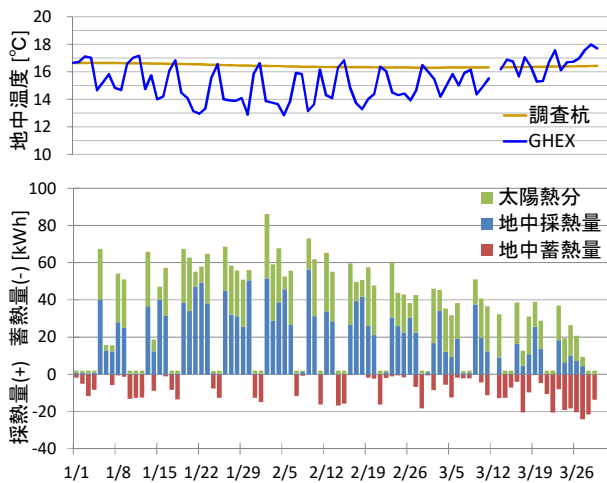


図-5 Hybrid 運転時における地中温等の経時変化

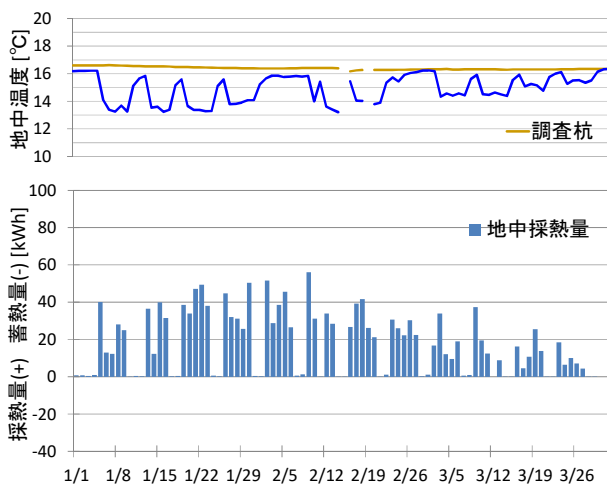


図-6 地中熱運転時における地中温等の経時変化

表-3 3ヶ月間の積算熱量と地中温度

運転方法	3ヶ月間の積算熱量 [kWh]			平均温度 [°C]	
	熱源水側熱量		地中蓄熱量	調査杭地中温	GHEX地中温
	地中採熱量	太陽熱分熱量			
Hybrid(2015)	1,557	688	531	16.4	15.3
GHEX(2014)	1,422	0	0	16.4	14.9

3.3 暖房期間のCOPと熱源水入口温度

Hybrid 運転時の省エネ性ならびに地中温度を比較するため、地中熱のみで運転した前年度と比較した。期間は1月から3月の3か月間で、Hybrid 運転を行っている8:00～16:00の8時間の平均値を抽出した。図-7は暖房時の熱負荷に対するHP単体のCOPを冷温水設定温度毎に示した図である。Hybrid 運転時において負荷率が比較的高い日(50%程度以上)のCOPは横ばい状態であるが、負荷率が40%程度より低くなると、負荷率が低いほどCOPの値は高くなる傾向が見られる。一方、地中熱のみを運転した場合(GHEX)で負荷率が40%程度よりも低い場合、冷温水設定温度毎で見ると、負荷率が低くなるほどCOP

も低下する傾向が見られる。負荷率が低い場合はHPが発停を繰り返すことになり、通常COPが低下するが、Hybrid 運転時はHP停止時に太陽熱を地中に蓄熱することになり、次の発動時にはその恩恵を受けるためにCOPが高くなるものと考えられる。この結果、負荷率が低いほど、Hybrid 運転と地中熱のみの運転におけるCOPの差が大きくなる。

図-8に負荷率に対するHP熱源水入口温度の関係を示す。負荷率が低くなるほど熱源水入口温度は高くなる傾向が見られる。Hybrid 運転時は同じ負荷率でもばらつきが大きくなっているが、これは日射の影響のためである。例えば、表-2に示した代表日①と②は同程度の負荷率であるが、熱源水入口温度は日射の多い①の方が4℃以上高くなっている。ただし、Hybrid 運転を行った2015年と地中熱のみを運転した2014年では1日の運転時間や運転方法等が異なるため、評価する際には注意が必要である。

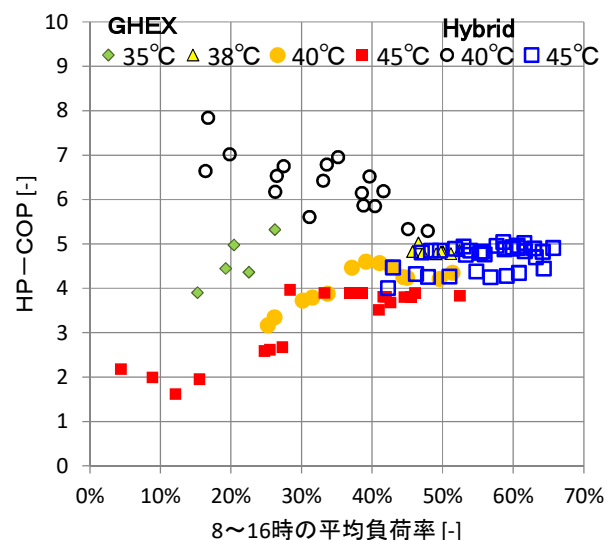


図-7 負荷率に対するCOP

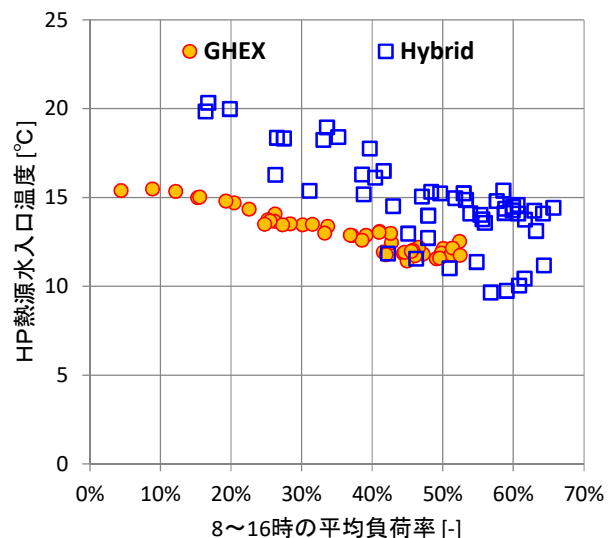


図-8 負荷率に対するHP熱源水入口温度

表-4 には冷温水設定温度毎の負荷率、HP の COP およびシステム COP (以下、SCOP と呼ぶ) を示す。本ケースにおける全平均では Hybrid 運転時の方が HP の COP で 1.24 倍、SCOP で 1.07 倍高い値になった。冷温水設定温度が等しい条件下では COP が 1.39~1.44 倍、SCOP が 1.12~1.23 倍であった。ただし、ここでの分析は SC 運転時間帯に限定して比較しているため、この時間帯の前後を含めると COP の差 (比) はこの値よりも小さくなる。なお HP の定格 COP は 3.7 である。

表-4 冷温水設定温度毎の負荷率と COP

		全平均	冷温水設定温度			
			35℃	38℃	40℃	45℃
日平均 負荷率	Hybrid (2015)	48%	－	－	33%	56%
	GHEX (2014)	36%	21%	49%	38%	32%
HP-COP	Hybrid (2015)	4.9	－	－	6.0	4.7
	GHEX (2014)	4.0	4.7	4.8	4.2	3.3
	Hybrid / GHEX	1.24	－	－	1.44	1.39
SCOP	Hybrid (2015)	3.7	－	－	4.1	3.6
	GHEX (2014)	3.5	3.6	4.3	3.7	2.9
	Hybrid / GHEX	1.07	－	－	1.12	1.23

3.4 まとめ

実建物に導入した地中熱・太陽熱複合空調システムを対象に実測を行った。暖房時の Hybrid 運転に対する主な知見は以下の通りである。

- 1) 太陽熱集熱量に応じて、地中採熱量は減少、熱源水温度と地中温度および COP は上昇する。
- 2) 余剰な太陽熱が地中に蓄熱されることを確認できた。
- 3) 本ケースでは HP 熱源の約 3 割を太陽熱で賄う結果になった。
- 4) 暖房の負荷率が低い日ほど、HP の COP が高くなり、地中熱のみを運転した場合との差が大きくなる。
- 5) 2 次側送水温度が等しい条件下では COP が 1.39~1.44 倍、SCOP が 1.12~1.23 倍であった。

4. 計算モデル

各機器は入力に対してその機器特性に応じた出力を示し、空調システムにおいては温度、熱量、電力量などを対象に、各々の機器を連携させた設備システム全体のエネルギー量を示すことになる。本計算では LCEM (ライフサイクルエネルギーマネジメント) Ver. 3.10²⁾ を基にモデル化を行い、図-9 に示す設備システムを作成した。外気条件として外気温、日射量を、室内条件として室内熱負荷を与える。制御条件として冷温水出口温度、変流量 (以下、VWV と呼ぶ) 用の冷温水差温、熱源水差温の設定値を与える。計算期間は 2015 年 11 月から 2016 年 3 月の 5 ヶ月間で、外気条件等には 1 分間隔で記録した実測値の 1 時間平均値を用いる。計算時間間隔は 1 時間であるが、ボアホール内は 100 秒、周辺地盤は 10 分とする。連携には温度等を引き渡すことになるが、HP 熱源水は、入口温度が変化すると、HP の COP が変化、電力消費量の変化に伴い出口温度も変化することになる。更に VWV 差温制御を行う送水ポンプの流量も変化することになる。GHEX および SC では各々への入口温度、流量によって出口温度が異なってくるため、HP の熱源水側は収束計算することになる。従って、熱源水側では 100 秒毎に収束計算を行っている。

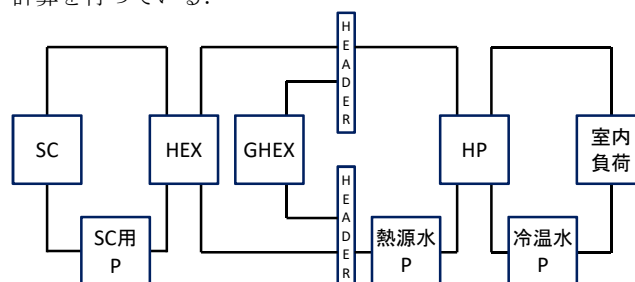


図-9 設備システム

5. 実測結果との比較

5.1 計算条件

表-5 に各オブジェクトの計算条件をまとめて示す。

表-5 計算条件

オブジェクト	仕様	計算方法
地中熱交換器	ボアホール方式 シングル U チューブ; φ 160×50m×3 本 地盤分割数; (r 方向) 15×(z 方向) 30 分割長さ; dr=0.04-1m, dz=0.55-4m	ボアホール内は熱容量を無視。dt=100sec 周辺地盤は円筒座標系で前進差分法。dt=10min 実測結果より地盤の熱容量、熱伝導率をチューニング 地盤の初期温度は実測結果を基に設定
太陽熱集熱器	SC1; 平板形 2 m ² , 35° SC2; 真空管ビートパイプ 1.7 m ² , 30° φ 70×10 本 SC3; 平板形 6 m ² , 水平置 8:30~15:30 タイマー運転	実測結果より集熱効率特性式 (集熱効率∝(パネル温度-外気温)/日射量) を作成
送水ポンプ P	熱源水; 定格 0.4kW, VWV 制御 14-50Hz 冷温水; 定格 0.75kW, VWV 制御 20-42Hz SC 用; 定格 0.08kW	実測結果より流量と電力量の関係式を作成 (熱源水ポンプは SC ポンプと連動し、休日などは太陽熱を地中蓄熱)
熱交換器 HEX	プレート式, 熱交換率 0.85	実測結果より熱交換率を決定
空調熱源 HP	水熱源ヒートポンプ; 定格容量 10kW 定格 COP 3.7 (加熱時)	実測結果より熱源水入口温度、冷温水出口温度、負荷率の重回帰式を作成
室内負荷	東京都練馬区 2F 事務室床面積約 60 m ²	実測結果を入力

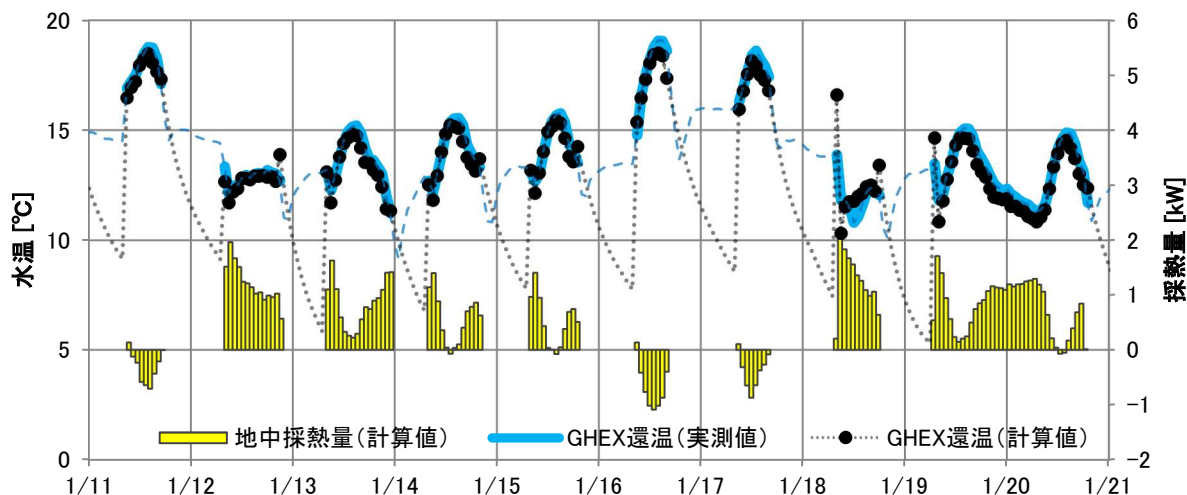


図-10 地中熱交換器還温の経時変化 (2016/1/11-1/20)

5.2 計算結果

(1) 地中熱交換器

全体を連携して計算する前に各々のオブジェクト単体の計算を行い、実測結果と比較している。ここでは特に重要となる GHEX の結果を示す。

図-10 に GHEX 還温の 1/11 から 10 日間における経時変化を示す。採熱量が 0 の時間帯は非空調時間帯で、SC の送水ポンプも停止している状態である。地中採熱量がマイナスになっている時間帯は地中に蓄熱していることを示しており、休日 (1/11, 1/16, 1/17) の他に、日中の室内負荷が太陽熱集熱分のみで賄える場合 (1/14, 1/15, 1/20) にもみられる。本計算では地盤の熱容量、熱伝導率は実測結果からチューニングした値を用いており、一般的な数値よりも大きな値を用いている。今回の様に太陽熱を複合させた場合は、通常よりも時間当たりの熱変化量が大きくなるため、ボアホール内の熱容量を無視していることが影響していると考えられる。熱容量を考慮した計算方法を導入するなど、計算精度向上に関しては今後の課題となる。

図-11 に GHEX 還温を、図-12 に地中採放熱量の実測結果に対する計算結果を示す。図より、多少の誤差は見られるが概ね良い相関を示している。

(2) 全体システム

図-13～図-18 に熱源水入口温度、GHEX 採放熱量、熱交換後 SC 集熱量、HP 電力消費量、送水ポンプ電力量、SCOP の計算値と実測値の比較結果を示す。各図より、ある程度のばらつきは見られるものの、相関式の傾きは送水ポンプ電力量と熱交換後 SC 集熱量を除き 1.0 ± 0.1 の範囲にあり、総合的には概ね良好な相関が得られている。送水ポンプおよび SC のデータは実測結果そのもののばらつきが大きく、システムシミュレーションに用いた各機器の関係式の精度がやや低く、その影響を受けている。

図-19 に熱源水側の採熱量および電力量を示す。各々の

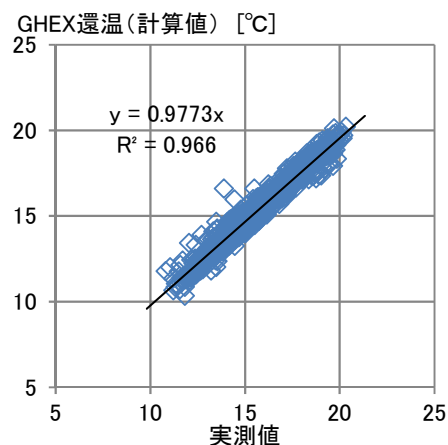


図-11 GHEX 還温の計算結果 (2016/1/1-3/31)

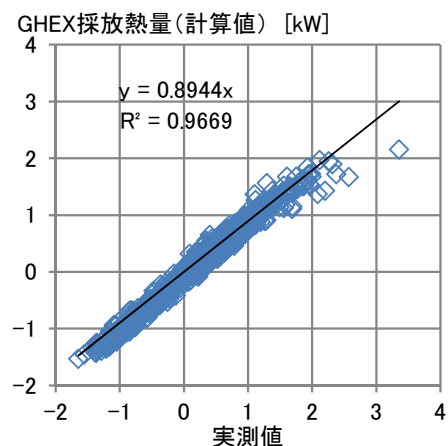


図-12 地中採放熱量の計算結果 (2016/1/1-3/31)

差は 5～13%であるが、HP と送水ポンプの電力量を加算した総電力量は計算値で 654kWh、実測値で 673kWh であり 3%の差であった。各機器の関係式など計算精度に改善の余地はあるが、本計算では複合仕様の差異による省エネ性比較が主旨であるため、妥当な結果と判断した。

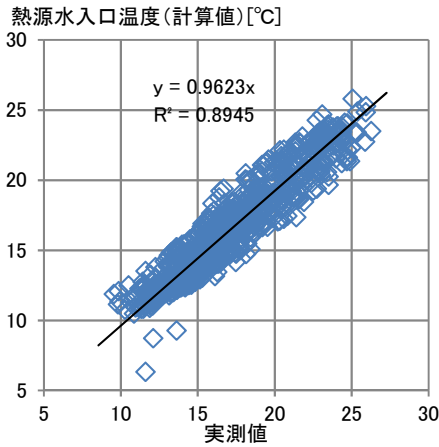


図-13 熱源水入口温度の計算結果

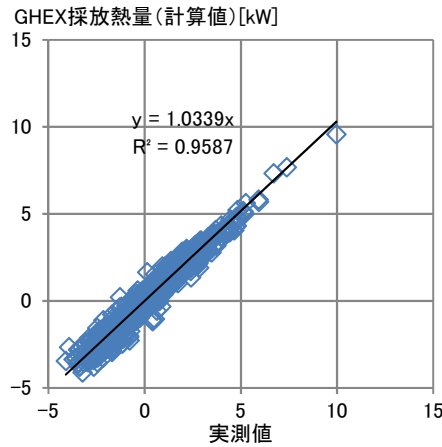


図-14 GHEX 採熱量の計算結果

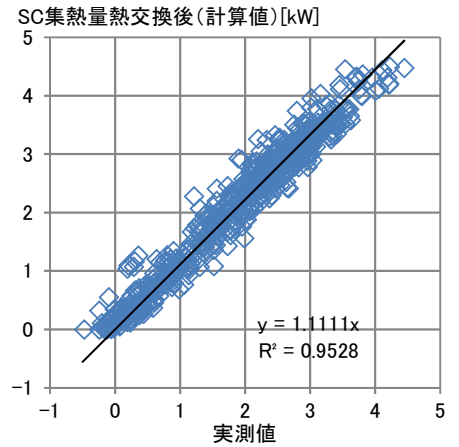


図-15 熱交換後 SC 集熱量の計算結果

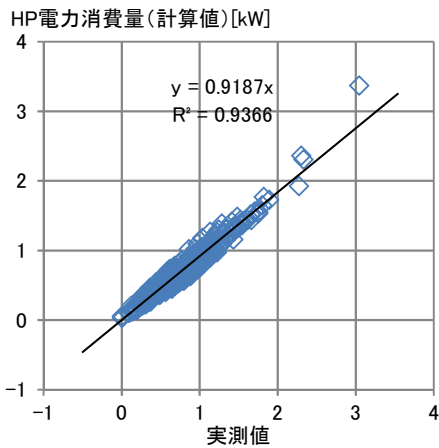


図-16 HP 電力消費量の計算結果

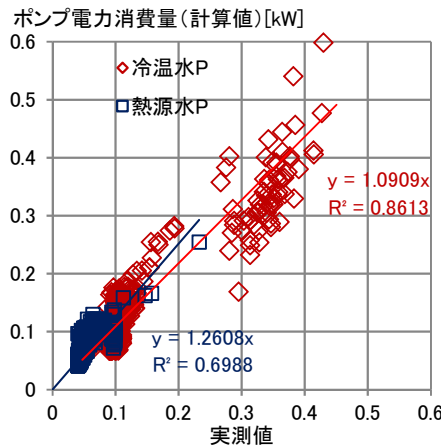


図-17 送水ポンプ電力量の計算結果

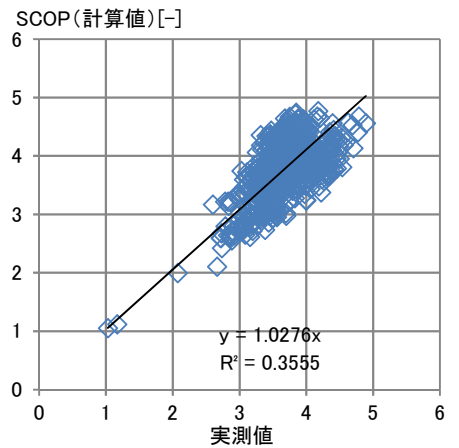


図-18 SCOP の計算結果

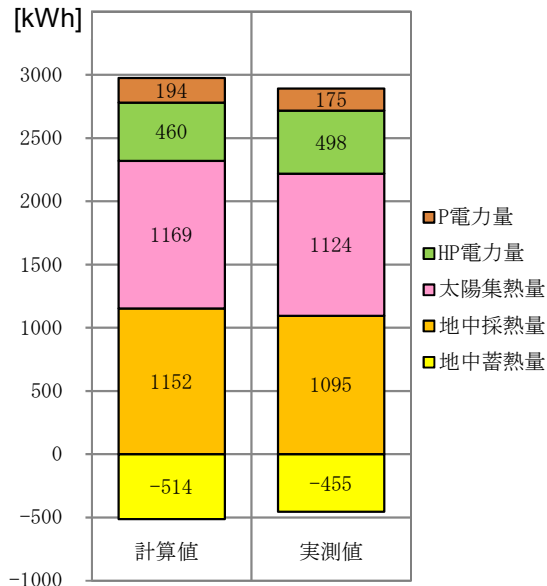


図-19 熱源側採熱量・電力量

5.3 まとめ

実測結果を基に作成した各機器の特性式を用いてシステムシミュレーションを行い、実測結果と比較した。主な知見は以下の通りである。

- 1) GHEX 単体の計算結果は還温、採熱量とも実測結果に対して概ね良い相関が得られた。ただし実測結果からチューニングした地盤の熱物性値は一般的な値よりも大きくなっており、熱容量を考慮した計算方法を導入するなど、改善の余地がある。
- 2) 全体システムを連携させ実測値と比較した結果、地中採熱量、地中蓄熱量および太陽熱集熱量は+5～+13%、HP 電力量、送水ポンプ電力量は-8～+11%、総電力量は-3%の差であった。

6. 複合仕様による省エネ性比較

6.1 計算条件・計算変数

計算は基本的に 5.1 の条件（表-5）と同様であるが、以下の 3 点を変更した。①熱源容量に対して室内負荷が相対的に小さかったため、床面積を 100m² に相当する負荷にした。②SC は実験的に 3 種類の製品を用いていたが、最も効率の良かった 1 種類の製品を用いることとした。③SC の運転制御をタイマー運転から日射量が 50W/ m² 以上で運転^{注1)}する日射量制御に変更した。

計算変数は GHEX 総長と SC 面積とし、冷温水の送水温度を 40℃^{注2)}、VWV 制御の差温を熱源水側、冷温水側ともに 6℃^{注3)}に固定した。

6.2 計算結果

図-20 に GHEX 総長 150m 時における SC 面積に対する COP, 電力量を示す。SC 面積の増加に伴い HP 単体 COP, SCOP および送水ポンプ電力量は増加し, HP 電力量と総電力量は減少している。送水ポンプ電力量のうち, SC 用送水ポンプの電力量は SC 面積に比例して増加するためである。なお本計算では熱源水温度に制限を設けていないが, SC 面積が相対的に大きい場合は, 熱源水温度の上限を超えることがある。実際の動作とは異なるが, 本複合システムの傾向を見るため, 本計算では熱源水温度の制限を無視している。

図-21 に SC 面積 0m² 時における GHEX 総長に対する COP, 電力量を示す。これは太陽熱と複合していない, 一般的な地中熱空調システムに相当する。GHEX 総長の増加に伴い, COP は増加し, 電力量は低下するが, その増加率および低下率は小さくなっている。また HP 単体 COP と SCOP の差は GHEX 総長の増加に伴い大きくなっている。送水ポンプの電力量は GHEX 総長に係らず, ほぼ同等に値を示している。

図-22 に SC 面積 10m² 時における GHEX 総長に対する COP, 電力量を示す。GHEX 総長に対する COP 増加および電力量低下の傾向は SC 0m² と同様であるが, その変化率は SC 0m² の場合よりも小さくなっている。

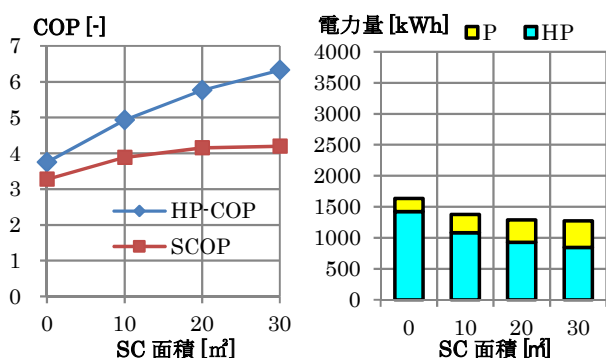


図-20 SC 面積に対する COP・電力量 (GHEX=150m)

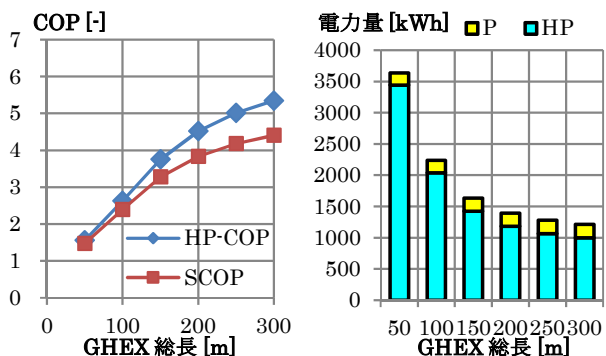


図-21 GHEX 総長に対する COP・電力量 (SC=0 m²)

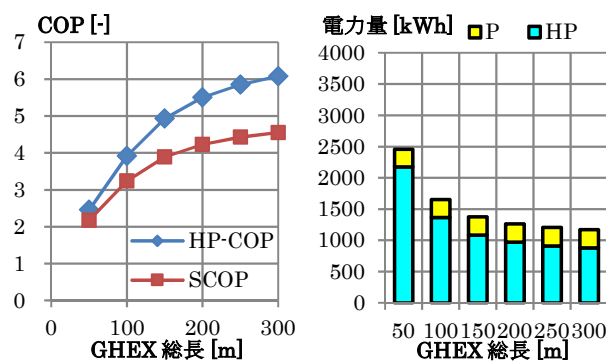


図-22 GHEX 総長に対する COP・電力量 (SC=10 m²)

図-23 に GHEX 総長に対する SC 面積と SCOP を, 表-6 には SCOP と SCOP 比を示す。GHEX のみ (SC 0m²) の SCOP に対して SC 10m² を複合させた場合の SCOP 比は各々 1.03~1.48 の値を, SC 20m² を複合させた場合の SCOP 比は各々 1.05~1.78 の値を示している。また GHEX 総長が大きくなるほど SCOP 比は小さくなる傾向が見られる。GHEX 総長 150m で SC 0m² の場合を基準とすると, SC 10m² を複合させた場合の SCOP 比は 1.19 に, SC 0m² のまま GHEX 総長を 200m にした場合の SCOP 比は 1.17 になった。即ち, GHEX 総長 150m に対して, 10m² の SC を複合させた場合と SC は複合させず GHEX を 50m 増加させた場合の SCOP はほぼ同等の結果になる。また GHEX 総長 150m で SC 0m² の SCOP と GHEX 総長 100m で SC 10m² の SCOP はほぼ同等の値を示している。これらの結果より, 本計算条件下においては GHEX 総長 150m のみを基準と考えた場合, GHEX50m と SC 10m² はほぼ同等の効果を示すことになった。ただしこれは暖房のみを考慮した結果であることを留意する必要がある。

図-24 に SCOP に対する GHEX 総長と SC 面積の関係^{注 4)}を示す。ターゲットとする SCOP に対して GHEX と SC の数量, 即ち複合させる組み合わせ仕様が容易に判断できる。

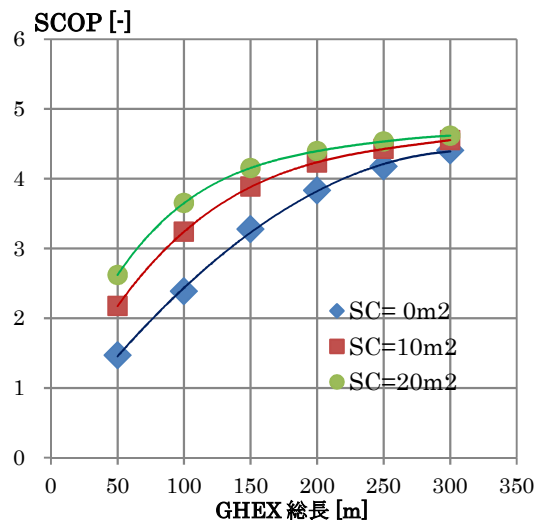
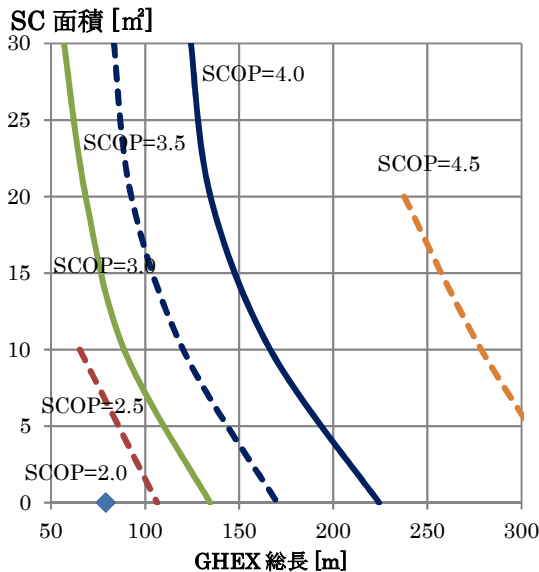


図-23 GHEX 総長に対する SC 面積と SCOP (温水送水温度 40℃, 送水ポンプ VWV 差温 6℃)

表-6 SCOP と SCOP 比

GHEX [m]	SCOP				SCOP比							
					(SC 0m ² 基準)				(GHEX150m, SC 0m ² 基準)			
	SC面積 [m ²]				SC面積 [m ²]				SC面積 [m ²]			
	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
50	1.47	2.18	2.62	2.87	1.00	1.48	1.78	1.95	0.45	0.66	0.80	0.88
100	2.39	3.24	3.65	3.81	1.00	1.36	1.53	1.60	0.73	0.99	1.12	1.16
150	3.27	3.89	4.15	4.20	1.00	1.19	1.27	1.28	1.00	1.19	1.27	1.28
200	3.83	4.23	4.40	4.39	1.00	1.10	1.15	1.15	1.17	1.29	1.34	1.34
250	4.18	4.43	4.53	4.49	1.00	1.06	1.09	1.07	1.28	1.35	1.38	1.37
300	4.40	4.55	4.62	4.55	1.00	1.03	1.05	1.03	1.34	1.39	1.41	1.39

図-24 SCOP に対する GHEX 総長と SC 面積の関係
(温水送水温度 40℃, 送水ポンプ VWW 差温 6℃)

6.3 まとめ

地中熱・太陽熱複合システムを導入した東京都の実建物を対象に GHEX 総長と SC 面積を変数としたシステムシミュレーションを行い、省エネ性を比較した。主な知見は以下の通りである。

- 1) 太陽熱を複合させることで SCOP は高くなり、SC10m²を複合させた場合の SCOP 比は 1.03~1.48 になった。また GHEX 総長が大きくなるほど SCOP 比は小さくなる。
- 2) 本計算条件下において GHEX 総長 150m のみを基準に考えた場合、GHEX50m と SC 10m² の SCOP 比は各々 1.19, 1.17 となり、ほぼ同等の効果を示す。
- 4) SCOP が等しくなる GHEX と SC の組み合わせ仕様を示した。

7. おわりに

本報では地中熱空調に太陽熱を複合させることで暖房時の省エネ性が向上することを示した。省エネ効果は暖

房時のみに限定されるが、近年では照明や事務用機器の効率化により室内負荷が減少する傾向にあり、温暖地においても暖房時における省エネの重要性は高まりつつあるため、本システムは有用と考えられる。

本研究で整備した設計ツールを用いることで様々な条件下での検討が行えるようになり、今後は対象物件に応じた適切な設備システムの提案につながる。今回は事務所用途を 1 つの熱源で賄うことを前提に地中熱と太陽熱の複合方式を決めたが、異なる建物用途や複数の熱源を用いる場合、あるいは蓄熱槽を付加した場合など、太陽熱の組み込み方式を含めて検討可能である。

本報では一般的な SC を用いたが、本システムのように熱源水側に組み込む場合は、給湯に用いる様な高温水にする必要がないため、必ずしも高効率な SC でなくても良い。従って簡易的な集熱装置でも十分に使用可能と考えられ、このような装置開発は今後の課題になる。

注釈

- 1) 熱交換後の SC の集熱効率は本設備ではおよそ 0.5 であったため、SC が 10m² の場合はおよそ 250W の集熱が見込める。SC ポンプの 80W と最低回転数で運転した場合の熱源水ポンプ約 40W を加えると送水ポンプ電力は約 120W になる。
- 2) 冷温水温度のみを変数にした場合の SCOP は送水温度が 35℃, 40℃, 45℃, 50℃に対して各々 4.19, 3.93, 3.66, 3.40 であった (GHEX 総長 150m, SC 10 m², 日射制御 150W/ m²)。
- 3) 本熱源機器における定格流量は熱源水側で 30L/min, 冷温水側で 25L/min であり、定格熱量の場合の温度差は各々約 5℃, 約 6℃になる。
- 4) 図-23 に用いたデータを基に SCOP の回帰式を作成しグラフ化した。

参考文献

- 1) Chiasson A. and Yavuzturk C. : Simulation of Hybrid Solar-Geothermal Heat Pump Systems, Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, 2014.
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課 : LCEM ツール Ver. 3.10 操作説明書, 平成 26 年 2 月