

気候変動・都市化に伴う地中熱冷暖房システム性能の長期予測

Long-term prediction of performances of ground source heat pump systems under climate change and urbanization

○明山 雄真 (北海道大学) 正会員 阪田 義隆 (北海道大学)

正会員 葛 隆夫 (北海道大学) 正会員 長野 克則 (北海道大学)

Yuma AKEYAMA* Yoshitaka SAKATA*

Takao KATSURA* Katsunori NAGANO*

*Hokkaido University

The purpose of this study is to evaluate performances of ground source heat pump systems in a long period for life cycle costs considering the temperature variations under climate change and urbanizations. The underground temperatures and thermal loads were calculated in two 15yr periods; 1980-1999 and 2076-2095, and then the performances and life cycle costs of different systems were evaluated. This study revealed that the vertical GSHP system was the most efficient, but the initial costs were not neglected, and that the 8m-depth horizontal GSHP system was the most reasonable in the future.

はじめに

気象庁によれば、都市の気温は100年間で東京が3.0℃、札幌が2.4℃上昇しており、その要因に広域では気候変動、局地では都市化と考えられている。地中熱ヒートポンプ(GSHP)システムは安定した地中温度を熱源とするため、空気熱源(ASHP)システムより運転効率(SPF)が良い特徴があるが、初期コストを回収するため、長期性能で評価する必要がある。しかしながら、長期気象条件を考慮した研究はこれまでにない。本研究の目的は、長期気温変化予測を考慮した異なるGSHP、ASHPシステムの性能比較を行うことである。

図-1に、研究の流れを示す。本研究では、長期気象予測データを入手し、それを用いて、地中温度及び空調熱負荷の20年変動の現在及び将来予測を行う。これらを用いて、GSHP、ASHPシステムのシミュレーションを行い、暖房時、冷房時の20年間SPFを比較した。



図-1 研究の流れ

1. 長期気象予測データ

長期の気象データを扱う上で、本研究では地球温暖化予測情報第8巻(JMA-GWP8)を用いた。JMA-GWP8では非静力学地域気候モデルNHRCMをモデルとして用いており、シナリオはSRES A1B(グローバル化の進行により地域間格差が縮小、新しい技術が急速に広がる未来社会で、全てのエネルギー源のバランスを重視するシナリオ)として想定しており、全国5km解像度、611×211

メッシュで全国の様々な気象データを扱っている。本研究ではJMA-GWP8で取り扱っている1980-1999年(現在)、2076-2095年(将来)の時刻別のデータを用い解析を行った。

東京の現在と将来の最高気温変化を図-2、図-3に示す。東京での現在の平均気温が13.3℃に対して将来の平均気温が16.1℃となり、2.8℃の上昇が予想される。また、35℃以上の出現回数は現在に比べ994時間増加し、日数にして20年間で174日の増加が予想された。東京での現在の猛暑日の出現回数は年に1回程度であるが、100年後の猛暑日の出現回数は平均で年に10回であることが確認された。また、年によっては猛暑日の出現回数が30日を上回ることが確認された。

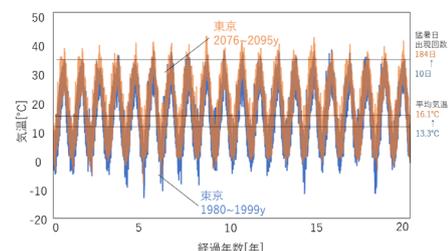


図-2 現在と将来の20年間気温変化(東京)

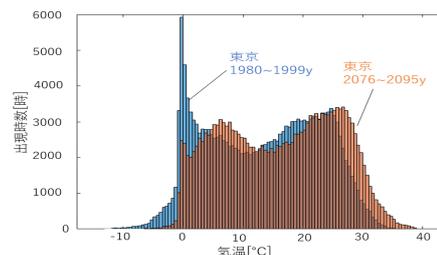


図-3 現在と将来の20年間気温変化(東京)

2. 地中温度分布の長期予測

2.1 予測手法

地中温度計算に HYDRUS-1D を用いた。HYDRUS-1D は気温、日射、潜熱等の熱収支から地表面温度を境界条件とし、伝導とともに水分浸透（地下水）による移流も含め地中温度分布を計算する。計算モデルは、深度500mまでを扱い、メッシュ間隔は地表付近では20cm、深部では50m間隔で区切り20年間計算を行った。地盤の有効熱伝導率は、熱応答試験から飽和帯は2.4（東京）、1.7（札幌）、不飽和帯は1.3（共通） $W/(m \cdot K)$ とし、移流フラックス（透水係数）は実測の温度プロファイルを再現するよう想定した。サイトの地質条件は近傍のボーリング調査の中でサイトに最も近いボーリング調査を条件として与えた。この条件をもとに作成したモデルを図4に示す。

また、実測と数値計算の差を図5に示す。東京では2019年6月6日、2019年9月10日、札幌では2018年6月2日、2018年12月14日との実測と比較を行い、実測と数値計算が一致するよう下への移流フラックスを調整した。東京では移流フラックスを1.35倍、 $RMSE=0.0373$ となるように調整し、札幌では移流フラックスを1.36倍、 $RMSE=0.0273$ となるように調整した。

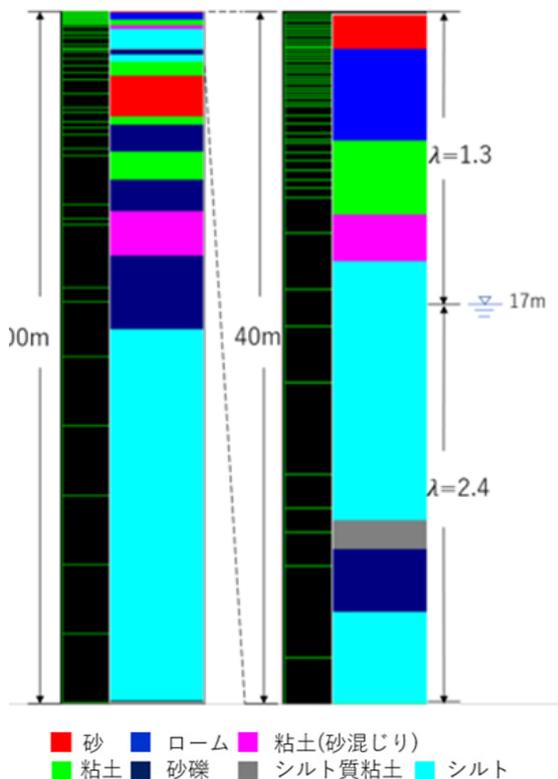


図-4 メッシュ概要(東京)

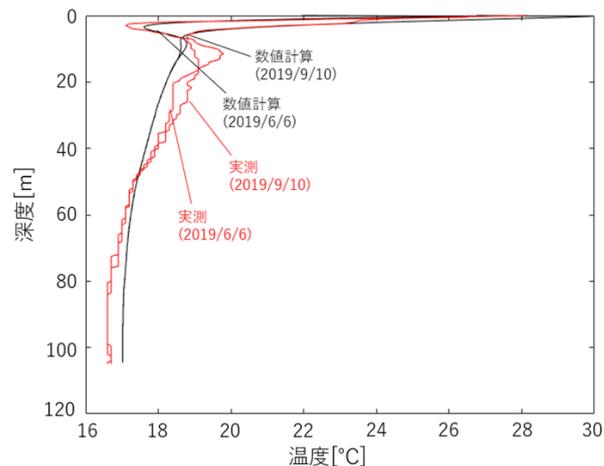


図-5 地下温度の数値計算と実測の比較(東京)

2.2 予測結果

地下温度の変化は以下の通りである。まず、図6に1990年の2090年の1月1日の地下温度の比較を示す。地下温度の変化は地下深度10mでは3.5°C上昇しており、地下深度50mでは0.5°Cの上昇、地下深度100mではほとんど変化は無かった。図からわかる通りトレンド自体の変化は少ないが、浅層での温度変化が大きく気温上昇に伴った地表面温度の変化が地下に伝播していることがわかる。

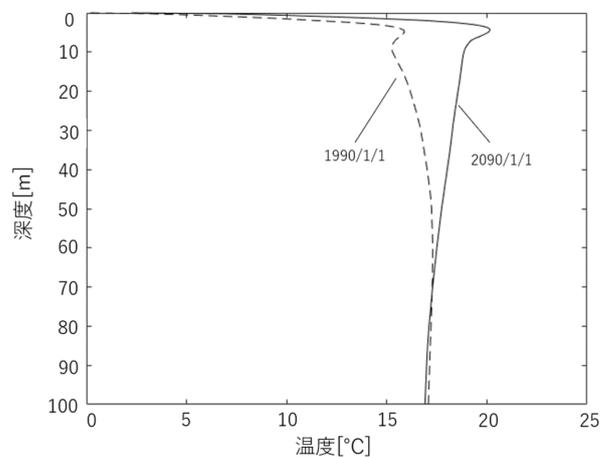


図-6 地下温度変化比較(東京)

20年間の深度2m、深度8m、深度100m平均(10m区間ごとの平均温度)の変化は図7の通りであり、深度毎の平均温度増加は深度2mで4.6°C、深度8mで3.8°C、100m平均で0.9°Cの増加であった。二つの結果より本研究に用いた東京のサイトでは深度10m程度までは温度伝播が起こっているが深度が深くなるほど温度上昇の値は小さくなっていき深度50m程度まで深くなるとほとんど温度変化は起こっていないことがわかる。

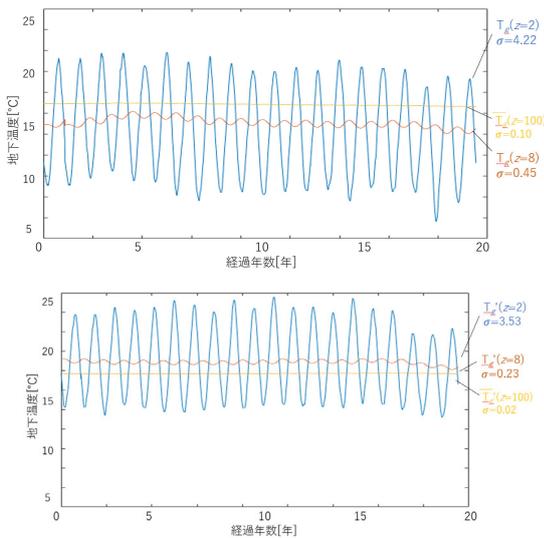


図-7 20年間地下温度変化(上：現在, 下：将来, 東京)

3. GSHP システムの長期性能予測

3.1 研究サイト

本研究で用いたサイトを紹介します。本研究では東京都心のビルに実際に導入されているビルを想定した。システム概要は図-8の通りである。空調面積は557m²であり設計年負荷は冷房が149GJ/y, 暖房は62GJ/yである。また, 地中熱交換器は垂直型が100m深度, ダブルUチューブ(25A)が埋設され, また水平型は深度8m(地下一階床下)にスパイラル管が8ユニット各6列(面積753m²)で埋設した。また, 比較として深度2mの水平型GSHPと空気熱源システムを想定した。それぞれのヒートポンプ能力は, GSHPは実際に導入されているものを想定し, 冷房能力は84kW, 暖房能力は64.1kWであり, AHSPは廣田真央らを参考にし, 冷房能力は56kW, 暖房能力は63kWのものを想定した。また, 当サイトにおいて温度検層を行った。その結果をシステム概念図の一部に記載する。

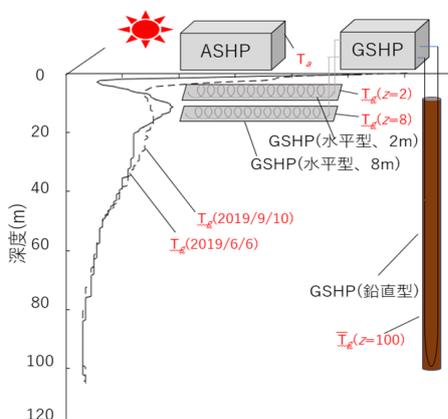


図-8 システム概念図

3.2 予測手法

GSHP システム, ASHP システムの計算の流れを図-9に示す。まず, 気象庁の予測情報より気象データを用いて当サイトビルの室内負荷と同等となるように平準化して求め, 平準化した負荷を室内負荷として設定した。その後, 当研究室が開発した Ground-Club を用いて年間毎にGSHP及びASHPの冷房期, 暖房期のSPF(SPF_c, SPF_h)を計算し, 20年間の平均SPF_c, SPF_hを求めた。

また, GSHP 及び ASHP の消費電力よりイニシャルコスト(IC), ランニングコスト(RC)を求め, トータルライフサイクルコスト(TLCC)を計算した。なお, 本研究では20年間の計算のためマネジメントコスト, デポジットコストは無いものと仮定し, TLCC=IC+RCの式で求めた。

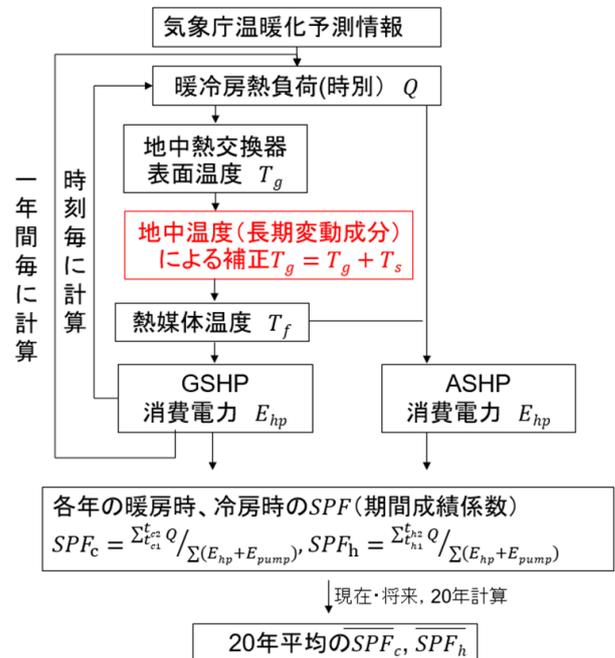


図-9 地中温度数値計算フロー図

3.3 結果

20年間の東京の冷暖房期間成績係数の20年変化の結果を図-10に示す。破線を現在, 実線を将来とし, 垂直型GSHPs, 水平型GSHPs(2m, 8m), ASHPsの結果をそれぞれ桃色, 黄緑, 赤, 青で表現した。冷房期間効率に関して, 垂直型GSHPsは現在から将来に関して同等以上の値で推移しているのに対し, ASHPsは現在から将来に関してやや減少傾向にあることがわかる。また, 暖房の期間成績は垂直型GSHPsが安定しているのに対して, ASHPs, 水平型GSHPs(8m), 水平型GSHPs(2m)の順で効率が上がっていることがわかる。

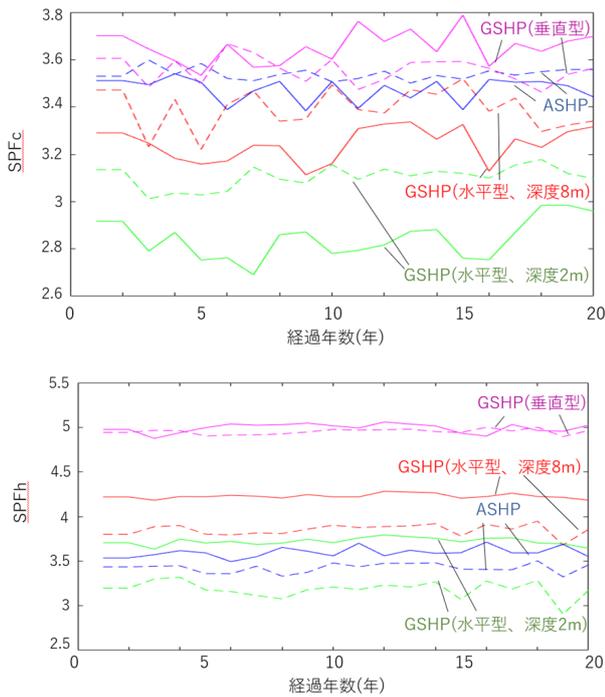


図-10 20年間SPFc(上), SPFH(下)予測(東京)

前節で述べた期間成績係数の変化の20年平均の変化を図-11にまとめる。冷房効率を青、暖房効率を赤で表現し、現在を○、将来を△で表現した。東京の冷房効率は垂直型GSHPsが1.67%の増加、水平型GSHPs(2m)が8.39%の減少、水平型GSHPs(8m)が4.42%の減少であり、ASHPsが1.98%の減少であった。また、暖房期間成績係数に関しては垂直型GSHPsが0.81%の増加、水平型GSHPs(2m)が16.61%の増加、水平型GSHPs(8m)が9.87%の増加であり、ASHPsが5.26%の増加であった。

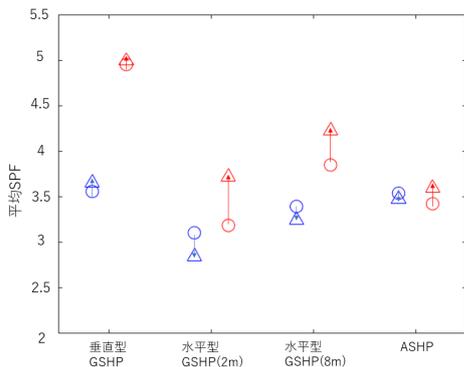


図-11 SPF平均変化(東京)

最後に、ライフサイクルコストの計算結果について述べる。結果は図-12の通りでない、過去から現在にかけて水平型GSHPシステムの費用が低いことがわかる。

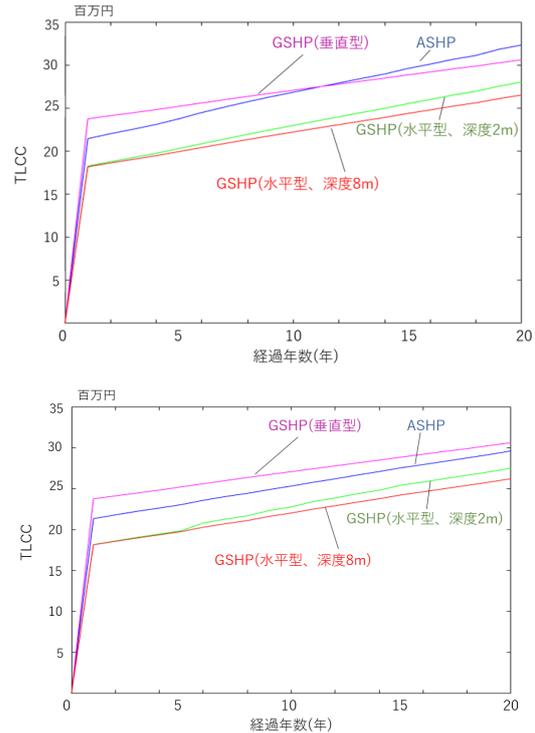


図-12 ライフサイクルコスト試算(東京, 上:現在, 下:将来)

4. まとめ

本研究において、気候変動に対して垂直型GSHPシステムが安定し空気熱源システムに対して優位に働くことが示された。また、水平型GSHPシステム、特に深度8mが将来において低コストで推移することが示された。今後の課題は、システムのパターンを増やし、より多くの地域に対してシミュレーションを行っていく。

参考文献

1) 気象庁 | 地球温暖化予測情報: 地球温暖化予測情報第8巻, pp.8-10 (2013) 2) 東京都環境局: 東京都の地盤沈下と地下水の現況検証について—地下水対策検討委員会検討まとめ—, 12, 17-18 (2006) 3) 上山試錐工業: 北海道大学理学研究科・理学部(南新川)地震観測井取設工事報告書. 64-67 (2001) 4) 廣田真央他: 業務用エアコンにおける期間エネルギー消費量予測の高精度化に関する研究, 三重大学社会連携研究センター研究報告, 18 pp.109-114 (2010) 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所: 平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 I 非住宅建築物, (2013) 6) 葛隆生: 地中熱利用システム設計・性能予測ツールの開発とその応用に関する研究, 博士論文(2006) 7) DAIKIN: 補助金を活用した空調設備の省エネ改修事例のご紹介 8) 藤井光, 他: Slinky□coil式水平型地中熱交換器のフィールド試験, 日本地熱学会誌 32.4, 219-228 (2010) 9) 国立研究開発法人: 平成29年度NEDO新エネルギー成果報告会熱利用分野—予稿集—, 107 (2017)