

埼玉県でも使える！地中熱エネルギー

土壌・地下水・地盤担当 濱元栄起

1 はじめに

再生可能エネルギーのひとつとして地中熱エネルギーの活用が期待されています。一般に地中の温度は年間を通じて安定しているため（埼玉県では16℃前後）、これを冷暖房の冷熱源や温熱源として活用することができます。この熱エネルギーを利用した地中熱システムは、空気熱源のエアコンに比べて運転効率が良く、電気使用量やCO₂の削減効果も期待され、夏の冷房運転では、大気中に排熱しないことから都市のヒートアイランドの抑制にもつながるといったメリットがあります（環境省, 2014）。

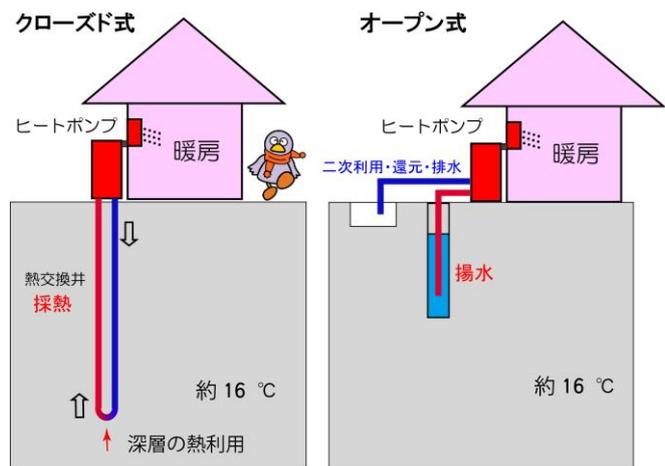


図1 地中熱システムの種類

地中熱システムは大きくクローズド式とオープン式に分けることができます。クローズド式は、深さ百メートル程度の掘削を行い、U字状のチューブを挿入したうえで循環液を流すことにより、間接的に地中の熱エネルギーを地上部に熱輸送する方式です（図1）。一方、オープン式は地下水をくみ上げ、地上で熱交換を行う方式であり、クローズド式に比べて効率は良いものの地下水資源への影響を考慮する必要があります。また、いずれの方式でも、ヒートポンプを用いることで、使用目的に適した温度帯での活用が可能です。地中熱ヒートポンプ（特にクローズド式）は海外では広く普及しつつあり、アメリカや中国、ヨーロッパでは導入事例が多くあります（Lund, 2015）。例えば人口規模や面積が日本と比較的近いドイツでは、既に約21万台が導入されています。これに対し日本では、まだ2千台程度にとどまっているのが現状です。仮に人口当たりの導入数を考えると、ドイツ並みに普及した場合には約32万台になります。なお埼玉県では現在約80台が設置されているので、同様の普及率を仮定すると1.8万台の導入が期待できます。一方で埼玉県における地中熱の賦存量は、太陽エネルギーに次いで多く、303万TJ/年（埼玉県, 2014）があり、全世帯をまかなうのに十分なエネルギーがあると推定されています。そこで当センターでは埼玉県への地中熱システムの普及に役立てるための研究として、広域的な地中熱ポテンシャルマップの作成や、他機関と連携した実証試験を進めています。

2 地中熱ポテンシャルマップ

地中熱システムは、設置する場所の地質や地下温度、地下水の流れによって効率が変るといった特徴があります。そこで県のエネルギー環境課と連携し、地域の地質条件の違いを考慮した埼玉県全域の地中熱ポテンシャルマップを作成しました（図2）。さらに地下温度や地下水の流速を考慮したより詳細なマップを既存データが多数ある県南東部を対象に作成しました（図3）。これらのマップから県の東部の低地に比べて中央部や西部の台地や丘陵地のほうが、地中熱を利用しやすい（採熱効率が高

い) ことが明らかになりました (ただし、採熱効率が相対的に低く推定された地域でも適切に熱交換井やシステムを設計し施工することで、問題なく運転できている事例もあります)。これらは、地中熱システムの導入を検討する際の基礎資料として活用することができます。

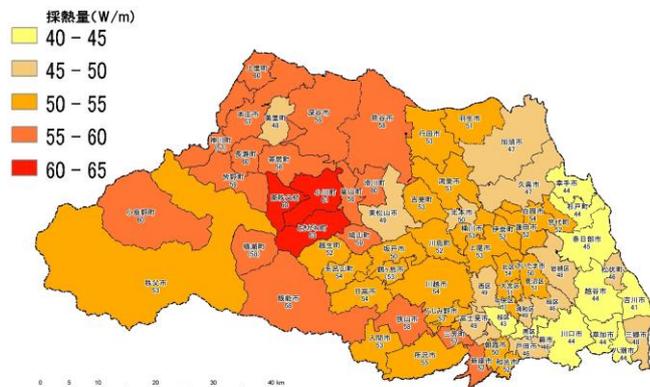


図2 埼玉県の地中熱ポテンシャルマップ

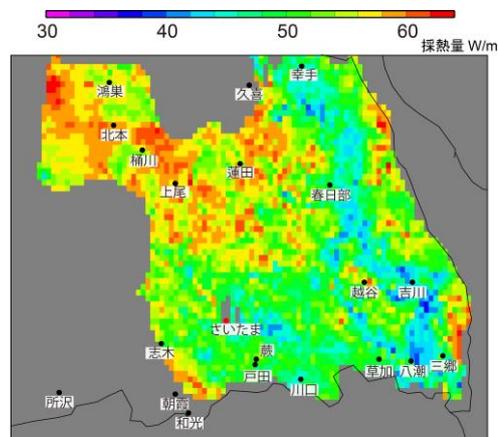


図3 県南東部の地中熱ポテンシャル

3 地中熱システムの実証試験

3.1 地中熱システムの連続運転試験

(1) 地下環境への影響

地中熱システムは日本国内でも急速に広がると予測されています。そこで、システムが多数普及した場合の地下環境への影響や社会的効果を事前に把握しておくことが重要です。例えば地下温度の変化が、土壌微生物や地下水質に影響する可能性が懸念されています。このような評価を行うためには、最初にシステムを運転させた場合の地中の温度変化を調べることが必要不可欠です。そこで県の所管する中央高等技術専門学校(上尾市)と連携し、同校の地中熱システム(図4)を用い、連続運転試験を行いました。なお、本システムは実証用としてだけでなく、同校の空調システム科の教育訓練用としても活用されています。このシステムには地下温度のモニタリングを行うために温度センサー(熱電対センサー)を地表からの深さ20m、40m、60m、80m、100mの5深度に設置し、さらにU



掘削中の様子



図4 地中熱実証試験システムの設置

字状のチューブの出入口温度、電力量等のデータを得るための各種センサーも取り付けられています。

冷房及び暖房の期間中に各1カ月間、昼夜の連続運転試験を行い、地下温度を測定しました。例えば冷房運転による結果に着目すると、運転開始後から各深さで温度が上昇し、最大11.5度上昇した後、運転停止後に自然状態の温度まで低下することが分かりました。さらに各深さの温度の時間変化を可視化することで深度によって違い

があることが明らかになりました（図5）。特に、深さ 80mに設置したセンサーは、運転開始後の温度上昇幅が他の深さのセンサーに比べて小さく、運転停止後の回復が他と比べて早いことが分かります。このような特徴から、この深度の温度は、地下水流動による影響を受けていると解釈できます。暖房でも同様の試験を実施し、自然状態の地中温度から約7度低下することが分かりました。

地中熱システムによる地下温度変化の許容基準として、ヨーロッパでは基準レベルが作成されています（Stauffer et al., 2013）。例えば、ドイツでは、気温の変動幅をもとにして、自然状態の地下水温から週平均±11度まで、瞬時値として±17度までの変化を許容するという指針が示されています。

本実証試験においては、冷房連続運転開始後1カ月の地下温度は、瞬時値として11.5度の上昇であったことから、この指針値の範囲内であることが分かりました。本実証試験においては、1カ月間の連続運転をしていますが、これは一般家庭の1シーズンの冷房需要とほぼ同程度の熱量に相当します。したがって埼玉県気象条件下では、通常の運転レベルでシステムを稼働させるのであれば、海外のガイドラインと照らし合わせても大きな問題は生じないのではないかと考えられます。ただし、海外とは気象条件や地下環境も異なることから、埼玉県でも多くの実証試験や室内実験を行い、適正な指針を検討する必要があると考えています。

（2）地中熱システムの効率

実証試験で得られた連続運転データのうち、U字状のチューブの入口温度、出口温度、電力量を用いることで冷暖房の運転性能を表す成績係数（COP）を計算することができます（図6）。空気熱源エアコンのCOPについては実測に大掛かりな測定システムが必要であることから、外気温の実測データと建築研究所の試験結果である「家庭用エアコンの外気温とCOPの関係性（建築研究所, 2012）」を用いて簡易的に推定しました。その結果、地中熱システムのCOPは冷房の連続運転期間中には、3前後で安定しているのに対して、空気熱源のエアコンのCOPは1.2まで低下する時もありました（8月9日）。これは外気温の上昇と関係しており、その年の最高気温を記録した時間帯に対応しています。このことから地中熱システムは、空気熱源エアコンに比べて外気温の影響を受けにくいと言えます。さらに、東電管内の電力需要が広域的に逼迫した時間帯もこの時であり、その原因のひとつとして、外気温の上昇によって各エアコンのCOPが低下し、効率が悪くなったことが考えられます。したがって、外気温

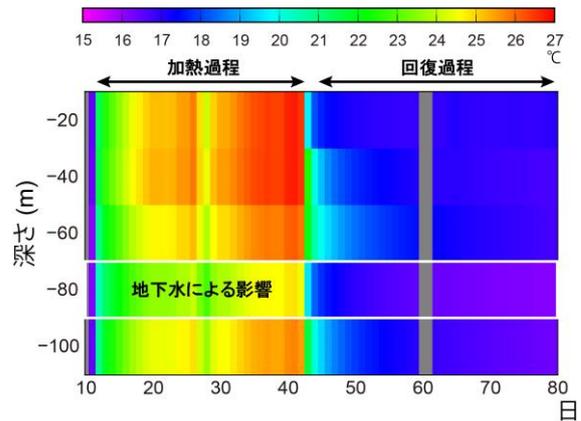


図5 地下温度の時間変化

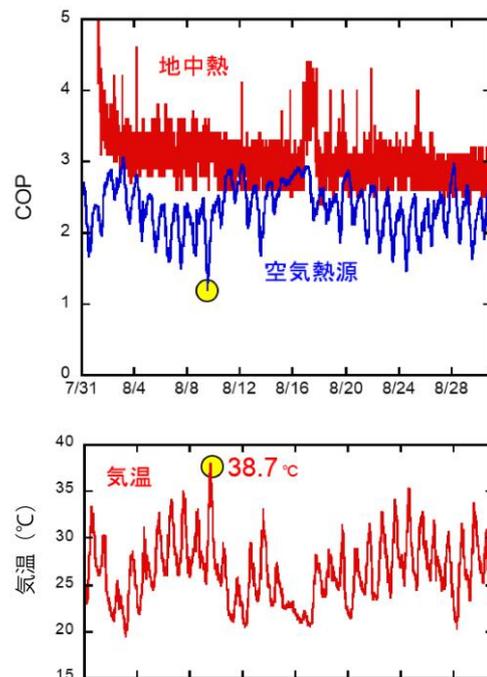


図6 COPと気温の関係

に左右されない地中熱システムは電力需要の平準化という観点から、エネルギー問題の解決の一助としても期待できることが、実証試験によって確認できました。

3. 2 農業分野への地中熱システムの活用試験

地中熱システムの普及を図るためにはオフィスビルや住宅などの従来の用途だけではなく農業分野など活用の範囲を広げることも重要です。そこでエネルギー環境課、農業技術研究センターと連携し、農家の協力のもと、地中熱システムをイチゴ（熊谷市）とハーブ（久喜市）のビニールハウス栽培に適用する実証試験を進めてきました（図7）。



図7 地中熱システムの農業への実証試験（熊谷）

この実証試験は、試験場での厳密な試験ではなく、農家が生産を進めながらの試験のため厳密な評価は難しいものの、例えばイチゴ栽培においては、従来のシステムとの比較で約45%の省エネ効果（施工者であるアグリクラスタ社による速報値：2017年11月～2018年3月の平均）がでています。さらに栽培面においても農家のヒアリング調査から

①栽培期間の延長の効果、②温度管理のしやすさ、③冷却機能を利用しやすくなったことによる品質や収穫量の向上などの効果があることが分かりました。一方、この施設では地下水を揚水する「オープン式」を設置しており、熱交換後の水を農業用水等に有効利用できる利点があります。しかし、熱交換に必要な水量が多く、全量を農業用水として活用することは難しいことが本実証試験によって分かりました。そのため地下水資源の保全という観点からは、地下水の揚水をせずに熱交換できる「水平型クローズド式」などへ技術を転換することも必要だと考えています。

3. 3 住宅用の地中熱システムを想定した実証試験

地中熱システムはこれまで大規模や中規模の施設等で多く用いられてきました。しかし住宅など小規模な建物でも有望であると考えられることから、エネルギー環境課と共同で住宅用など小規模な導入に役立つデータを取得するための実証設備を本年度設置しています。地中熱システムは先述したように地域の地下環境や気象条件によって採熱効率が変わってきます。そこで小規模な施設を想定し県内5地点（4地点は大気常時監視測定局、1地点は環境科学国際センターエコロジ）に地中熱システムと空気熱源エアコンとを設置し、連続運転や実際の稼働を模した運転を行うことで省エネ効果やCO₂排出の削減効果などを評価したいと考えています。このような複数地点における地中熱システムの実証試験は「全国初」の事例になります。現在、各地点で熱交換井の掘削などを行っており、一部の設置場所では地質試料も採取しています。この試料を用いて既に地質の熱的な性質や密度などの測定、微生物の菌叢分析を行っています。

謝辞

本研究を進めるうえで県の環境部エネルギー環境課、埼玉県立中央高等技術専門校、農業技術研究センターには多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。