特集 不動産の環境対策と身近な取り組みの効果【論説】

地中熱利用の有効性と可能性

Effectiveness and Potential of Ground Source Heat Pumps

Masakatsu SASADA : Chairman, Geo-Heat Promotion Association of Japan

笹田 政克*

1. はじめに

地中熱は再生可能エネルギーとして国に認知されている。再生可能エネルギーというと、太陽光発電、風力発電などを連想される方が多いが、再生可能エネルギーには発電利用とともに熱利用があり、地中熱は熱利用のみで、発電には用いない。2014年のエネルギー基本計画には、「太陽熱、地中熱、雪氷熱、温泉熱、海水熱、河川熱、下水熱等の再生可能エネルギー熱をより効果的に活用していくことも、エネルギー需給構造をより効率化する上で効果的な取組となると考えられる」と書かれている。実際に家庭で使われているエネルギーのうちおよそ6割が熱利用であるので、そこに地中熱などの再生可能エネルギー熱が導入できれば、電気、ガス、石油等の従来エネルギーの使用量は大幅に少なくなる。

本稿では、一般にはまだあまり知られていない地中熱について、そもそも地中熱とは何かから説明を始め、利用方法、省エネ効果、CO₂削減効果、普及状況について述べた後、最後に不動産価値と関連する地中熱のポテンシャルマップについて述べてみたい。

2. 地中熱とは

地中熱は地表近くの地中に賦存する熱エネルギーである。地表は太陽からの熱を受けて、昼夜間および季節間でその温度が変化するが、地下深

くなるにつれ温度変化の幅が小さくなり、10m程度の深さで年間を通じてほぼ一定の温度となる(図1)。

図1 季節ごとの地中温度
(地中熱利用促進協会パンフレット)

地中のこのような恒温の熱特性を巧みに利用するのが地中熱利用である。地中は冬は大気より温度が高く、夏は大気より温度が低いので、地中熱は温熱としても冷熱としても利用できる。また、地中は熱を蓄える機能を持っているので、地中熱は季節間蓄熱などエネルギーの循環の利用に活用できる。なお、地中熱の利用深度は利用方法により異なるが、日本では通常100m程度の深さまでの利用が一般的である。

3. 地中熱と地熱の違い

地学事典によると「地熱は地球内部に保有され

図2 地中熱の利用形態
(地中熱利用促進協会パンフレット)

ている熱の総称である」と定義されているので、地中熱は地熱の一部であるといっても間違いではない。しかし、地中熱は通常地熱と呼ばれている高温のエネルギーとは、温度および深度が異なるのみならず、エネルギーの起源および利用の仕方が異なっている。火山周辺等に賦存する地熱が地球内部のエネルギーに由来するのに対して、地中熱はそのほとんどが太陽エネルギーに由来し、地球内部からのエネルギーの寄与はごくわずかである。年平均気温と同じ温度の地中熱は、太陽エネルギーが地中に蓄えられたものといえる。また、エネルギーの利用方法では、地熱が発電利用と高温の熱利用であるのに対し、地中熱利用の中には発電はなく、温熱と冷熱の利用である。これらのことから、大気との温度差に着目した地表近くでの熱エネルギーの利用を、地熱利用と区別して、地中熱利用と言っている。

4. 地中熱の利用方法

地中熱の利用方法を利用原理および利用機器に基づき区分すると、ヒートポンプを用いる方法(地中熱ヒートポンプシステム)、熱伝導で利用する方法、空気循環により地中で熱交換を行う方法、水循環により地中熱を利用する方法、ヒートパイ

プを用いる方法に大別される(図2)。

地中熱ヒートポンプシステムは、他の4つの利用方法と比べ、地中熱を冷暖房、給湯、融雪等で必要な温度のエネルギーに変換できることが大きな特徴である。もっとも利用範囲の広い地中熱の利用方法といえる。地中熱ヒートポンプシステムには、地中熱交換器を用いるクローズドループ(クローズド型)と地下水の熱を直接利用するオープンループ(オープン型)とがある。

クローズドループは、地中から熱を取り出すために地中熱交換器内に流体を循環させ、汲み上げた熱をヒートポンプで必要な温度領域の熱に変換して利用するシステムである。地中熱交換器内を循環させる流体には、通常は不凍液または水を用いるが、ヒートポンプ内の冷媒を直接用いる方式(直膨式)も開発されてきている。

オープンループは、揚水した地下水の熱を地表にあるヒートポンプで取り出す方式であり、地下水利用(井水利用)ヒートポンプシステムとも呼ばれている。また、揚水せず湧水を利用する場合もある。ヒートポンプで熱交換した後の地下水の扱いにはいくつかの方法があり、地下の帯水層に注入する方法、地下に戻さず地表で放流する方法等がある。なお、地下水利用に揚水規制がかかっ

ている地域では、オープンループの適用は困難である。

熱伝導による地中熱の利用は、堅穴式住居にその原型をみることができ、アイヌのチセと呼ばれる住居も同様の原理で地中熱を利用している。パッシブともいえるこの利用方法は現代においても住宅・建築物に適用されており、床が直接地面と接する土間床工法を基本にして、いくつかのバリエーションがある。

空気循環と区分したものは、空気を地中を通して地盤との間で熱交換するシステムで、住宅・建築物の換気システムの一環として、地中熱を利用している。このシステムでは、空気を循環させるパイプを地中に垂直に埋設したり、あるいは空気を通すチューブを水平に埋めたりして、熱交換を行う。空気の移送にはファンが用いられている。

水循環として区分したものには、ポンプによる水の循環が閉じた系で行われるクロードループと、地下水をポンプでくみ上げてパイプ中を通すオープンループの2つのタイプがある。このシステムは気温がそれほど低くない地域での融雪に向いている。また、融雪以外の利用の仕方として、地下水を室内のパネルに循環させ、放射冷房を行うシステムも近年注目を集めている。

ヒートパイプは、冷媒の蒸発と凝縮で熱を搬送するシステムで、全く動力を必要としない。冬に地中の温度が地表に比べて高いと、地中での熱交換でヒートパイプ内部の冷媒が蒸発し、軽い気体となった冷媒は地表に向かって管内を移動する。一方、温度の低い地表環境では、冷媒は周辺に熱を与えることにより凝縮する。この凝縮した冷媒は重力により管内を下降する。ヒートパイプでの熱の搬送はこの繰り返しであり、融雪等に利用できる。

5. 省エネ効果とCO₂削減効果

様々な地中熱利用方法がある中で、世界的に見て最も普及が進んでいるのはヒートポンプを用いたものである。わが国の場合は設置件数でまだそ

れほど多くないが、潜在的可能性が大きいので、小論ではこの地中熱ヒートポンプを中心に有効性及可能性を述べてみたい。

地中熱ヒートポンプのエネルギー・環境面で優れた点に、省エネ、節電効果、CO₂発生量の削減効果とヒートアイランド現象の抑制効果がある。

再生可能エネルギーである地中熱の利用は、化石燃料を用いた灯油ボイラーなどのシステムに対して、大きな省エネ効果がある。また、地中熱ヒートポンプシステムの冷暖房では、空気熱源のヒートポンプと比較しても、気温と地温の温度差が利用できるため、夏の冷房と冬の暖房で消費電力が大幅に削減できる（図3）。

図3 IKEA福岡新宮ストアの空調での消費電力量削減効果とCO₂排出量削減効果（内藤，2014）

地中熱ヒートポンプは省エネ性に優れているということばかりでなく、電力需要が最大となる夏のピークカットに効果がある。地中熱ヒートポンプを使うと、通常空冷エアコン（空気熱源ヒートポンプ）に比較して格段に少ないエネルギーで冷房ができる。その原理を簡単に説明すると、空冷エアコンで室内の排熱をするためには、室外機から放熱する際の温度を、外気温より高くする必要がある。その状況は、エアコンの室外機からの熱風を体感された方にはご理解いただけると思う。特に夏の暑い日は放熱のために、より多くの電力が使われることになる。一方、地中熱ヒートポンプでの放熱先の地中は、夏は相対的に低い温度環

境にあるので、たやすく熱が逃げてくれ、少ないエネルギーで室内の排熱が可能になる。地中熱ヒートポンプは空冷エアコンより格段に少ない電力で冷房ができることになる。節電が一番求められている夏の暑い日に効果のある優れたシステムと言える。

省エネで節電効果が大いことから、当然CO₂発生量の削減にも大きく寄与する（図3）。とくに地中熱ヒートポンプの普及が先行している北海道では、石油代替で使われており、大きなCO₂削減効果を発揮している。

実際に省エネ効果、CO₂削減効果についての実データが出されている施設がいくつかあるが、ここでは、最近、福岡市にある大型商業施設のIKEAで空気熱と地中熱の比較がなされた例を紹介する。2012年4月に開店したIKEA福岡新宮ストアでは、年間の実績として地中熱と空気熱の組合せが空気熱単独に比べて36%のCO₂排出削減を実現している。ここでの年間削減量は61tとなっている（図3）。

地中熱ヒートポンプが環境性に優れているもう一つの点に、ヒートアイランド現象の抑制効果がある。大都市圏において顕著なヒートアイランド現象の主要要因の一つが建物からの排熱であるが、地中熱ヒートポンプは通常のエアコンのように排

熱を大気中に放出しないので、ヒートアイランド対策に効果がある。

6. 普及状況

地中熱利用の普及の現状については、環境省が2015年1月に地中熱利用ヒートポンプシステムの設置状況調査の結果を報道発表している。この発表内容に基づき、地中熱ヒートポンプシステムの2013年末までの普及状況について概略述べる。

2013年までの地中熱ヒートポンプ累計設置件数は1,513件で、前回調査の990件から523件増となり、2012年、2013年の年間設置件数は250件を超えている（図4）。ここ5年間について年間の伸び率をみると、2009年が10.5%、2010年が28.2%、2011年が43.6%、2012年が17.8%、2013年が8.4%となっており、5年間の平均が21.9%となっている。特に2011年の伸びが大きいが、これは東日本大震災により再生可能エネルギーへの関心が急速に高まったことと、経済産業省の大型の補助事業がこの年に開始されたことが関係しているものと考えられる。また、利用方式別では、クローズドループ1,301件（86.0%）、オープンループ201件（13.3%）、併用11件（0.7%）となっている。

これを施設別の内訳でみると、住宅が640件（42.3%）と最も多く、次いで事務所173件

図4 地中熱ヒートポンプシステムの設置件数（環境省，2015）

(11.4%), 公共施設107件 (7.1%), 道路融雪82件 (5.4%), 店舗79件 (5.2%), 学校64件 (4.2%), 実験施設64件 (4.2%) となっている (図5)。

図5 施設別地中熱ヒートポンプの設置件数 (環境省, 2015)

最近の地中熱ヒートポンプシステムの導入事例をあげると、羽田空港の国際線ターミナルビル (2010年)、東京大学理想的教育棟 (2011年)、足利赤十字病院 (2011年)、IKEA福岡新宮ストア (2012年)、東京駅前のJPタワー (2012年)、東京スカイツリー (2012年)、KITTE (旧東京中央郵便局) (2013年)、東京スクエアガーデン (2013年)、小田急線東北沢駅 (2013年)、甲府市庁舎 (2014年)、石巻港湾合同庁舎 (2014年) などがある。

このように様々な建物に導入されるようになってきている地中熱ヒートポンプであるが、本格的な普及までにはまだ道のりがある。地中熱利用の市場は、初期市場から経済性のとれる市場への移行期にあるように見える。環境性、省エネ性に優れた地中熱利用を、先取性のある自治体や企業が積極的に導入する状況が続いているが、設置件数の増加の動向を地域別、施設別で分析すると、経済性が関係してきていることがわかる。地中熱利用は通常の冷暖房設備と比べてランニングコストの差で大きく稼げるので、熱需要の大きさが導入の判断材料となってきた。

地中熱ヒートポンプの設置件数の動向をみると、北海道、東北と首都圏が多い。北海道、東北など

は大きな暖房需要が導入の要因であるが、気候条件のほかにも利用施設の特徴から、熱需要の大きい病院、福祉施設などは地中熱利用の導入に有利である。施設別に見ると最近の設置件数の伸びが大きいのもこれらの施設である。

しかし、まだ本格的な普及には至っていない。その最大の阻害要因は高い初期コストにある。通常使われている冷暖房設備と比較して、普及拡大には10年以内で投資回収ができることが必要とされている。省エネ性が高い地中熱利用設備ではランニングコストが通常の設備に比べ安くなるため、熱需要の大きい施設で投資回収が早く進むことになるが、現実には投資回収年数が10年を切れないケースが多い。そのため当面は補助金に頼らざるを得ない状況にある。

これまで、経済産業省の再エネ熱利用の補助金と環境省の地熱・地中熱の補助金の2本が、この10年を超える部分を相殺する役割を果たしてきているが、次年度からはこの2つの補助金が再編され、これまで以上のしっかりした枠組みでの導入支援体制ができる。

しかし、補助金は本格的な普及に至るまでの支援であり、基本的には生産規模の拡大に伴う技術の習熟効果でコストの低減をはかるべきである。石油危機後にすぐに地中熱に取り組みを始めたスイスの実績をみると、地中熱利用の伸びとコストがきれいな逆相関を示しており、累積生産量の増加に伴う技術の習熟効果により、初期コストが大きく低減している。日本も現在の生産規模から見ると、次第に習熟効果によるコストの低減がでてくる状況にさしかかってきている。

7. ポテンシャルマップと不動産価値

再生可能エネルギーというと、太陽光にしても風力にしても、利用にあたっては日照時間や気象条件などの変動要因がある。地熱は時間的な変動要素はないが、火山などの高温の熱源が近傍にないと使えない。それに対して地中熱は、全国どこでもいつでも利用できる。このように汎用性のあ

る再生可能エネルギー源は、他にはない。ただ、場所により利用効率が異なる。地中から採熱するときに、地中における熱の伝わりやすさ（熱伝導率）が利用効率に関係する。地盤の熱伝導率はその場所の地質に関係しており、花崗岩などの硬い岩盤は熱伝導率が高く、粘土や火山灰は熱伝導率が低い。また、地下水流があると熱が地下水で移動するため、見かけ上の熱伝導率が高くなる。地中熱はどこでも利用できるが、このように地質状況によりポテンシャルの高い場所と低い場所が存在する。

再生可能エネルギーの導入ポテンシャルについての調査事業が、2009年から環境省により行われている。地中熱についても12年から調査対象になっている。導入ポテンシャルとは、エネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量と定義されている。地中熱の場合は、住宅・建築物などの需要側の施設がないと意味がない。この熱需要の制約の下で100mまでの深さを対象にして、熱伝導率を考慮して地中熱の導入ポテンシャルを算定すると、全国で1兆3213億MJ/年という値が算出された（図6、表1）。ここで最近の民生（業務・家庭）部門でのエネルギー消費量は5兆MJ/年程度であるので、将来的に地中熱は日本のエネルギー

需給に寄与する可能性をもっていることがわかる。なお、ここで算定された導入ポテンシャルは最大限利用できる量であり、経済性等は考慮されていないことに注意してほしい。現実的な導入可能量の推計には、より具体的な条件設定が必要となる。

図6 地中熱の導入ポテンシャル（環境省，2014）

表1 地中熱の導入ポテンシャル（環境省，2014）

都道府県	導入ポテンシャル (億MJ/年)	都道府県	導入ポテンシャル (億MJ/年)	都道府県	導入ポテンシャル (億MJ/年)	都道府県	導入ポテンシャル (億MJ/年)
北海道	1,179	東京都	716	滋賀県	177	香川県	105
青森県	302	神奈川県	467	京都府	263	愛媛県	128
岩手県	3.40	新潟県	449	大阪府	592	高知県	64
宮城県	382	富山県	234	兵庫県	402	福岡県	421
秋田県	261	石川県	212	奈良県	160	佐賀県	100
山形県	277	福井県	168	和歌山県	100	長崎県	119
福島県	370	山梨県	116	鳥取県	75	熊本県	189
茨城県	387	長野県	413	島根県	87	大分県	113
栃木県	264	岐阜県	254	岡山県	182	宮崎県	102
群馬県	261	静岡県	300	広島県	213	鹿児島県	131
埼玉県	598	愛知県	636	山口県	139	沖縄県	74
千葉県	413	三重県	198	徳島県	73	合計	13,213

たとえば初期投資回収年数10年をいれたシナリオを作成することで現実の利用可能量が求められる。

さて、都市開発や宅地造成などで、地中熱を利用する場合には、上記の政策面で活用できる情報とは別に、設計に必要なポテンシャルの情報が整っていると便利である。東京都は2015年度の事業として都内の地中熱ポテンシャルマップの作成に取り組んでおり、他の自治体でもこのような動きが出てきている。また、ポテンシャルマップ作成の技術開発がNEDOの再生可能エネルギー熱利用技術開発の中で取り組まれており、数年後には北海道、東北、関東、甲信越で設計に利用できるポテンシャルマップが実現しそうである。たとえば、ディベロッパーが地中熱をマンションに導入しようと計画した場合、候補となるいくつかの地域のポテンシャルがわかっていると、地域による採熱可能量の違いから、どの地域で一番経済性がとれるかの事前評価ができる。このような評価が近い将来可能になると思われ、不動産の分野でも地中熱が身近な存在になると思う。

8. おわりに

小論執筆中に、東京オリンピック・パラリン

ピックの競技施設であるアクアティクスセンター（五輪水泳センター）と有明アリーナに地中熱の採用がされるとの報道があった。注目されている五輪施設への採用は、認知度の向上に繋がる。地中熱はまだ初期コストが高いという課題を抱えているが、不動産業界も含め注目して頂いている業界が広がってきている。NPO法人地中熱利用促進協会は、地中熱の普及により地球環境とエネルギー問題の改善に向けて、今後とも取り組んでいきたい。

参考文献

- 地中熱利用促進協会：地中熱の利用（パンフレット），2015
- 内藤春雄：事例に学ぶ地中熱利用ヒートポンプシステム（オーム社），2014
- 環境省：平成25年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書，2014
- 環境省：地中熱利用にあたってのガイドライン（改訂版），2015
- 環境省：地中熱利用ヒートポンプシステムの設置状況調査の結果について，2015 <http://www.env.go.jp/press/100271.html>