

地中熱利用の現状と展望

服 部 旭

昨今、自然エネルギー、再生可能エネルギーが見直されている。未利用の地中熱は、大型の建造物にも採用されはじめ、足元の、地産地消のエネルギーとして注目されている。四季の温度変化の激しい我が国では、空気の温度と比較して夏は冷たく、冬は温かい地中の熱は、効率的に利用すれば、大きな節電につながる。欧米では広く普及している地中熱利用が、日本で遅れているのは何故であろうか。

キーワード：地温、地中熱交換器、Uチューブ、熱伝導、ヒートポンプ、補助制度

「地中熱」という言葉を聞いて何を連想されるでしょうか？ 温泉、それとも火山やマグマだろうか？ 地熱発電所をご覧になった方は、高温の蒸気で発電が出来るのをご存知だと思う。「地熱」と「地中熱」は、エンタルピーは異なるが、同じ地球の熱エネルギーであることに変わりはない。

「地熱」または「地熱発電」は、地下深部のマグマに関連した高温のエネルギーであり、通常は、1,000 m～3,000 mの深部から得られる高温蒸気によりタービンを回す。我が国には、九州や東北地方の18カ所に地熱発電所があり、合計53万kWの発電をしている。

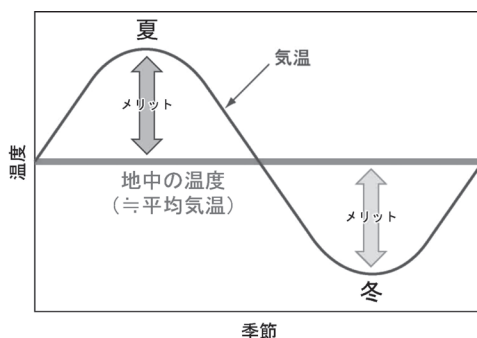
一方、浅い地層中にある低温エネルギーのことを「地中熱」と言う。地表付近の土壤温度は、気温の影響により変化するが、地下5～10 mになると年間を通して地温はほぼ一定である（図—1）。この温度は地域の平均気温より一般的に1～2℃高いとされ、たとえば東京では17℃程度、札幌では10℃程度である。従って、この地中熱は、季節により変動する太陽からの熱が、永年にわたり地下浅部に閉じ込められているものと言える。最近はあまり使われなくなったが、井戸の

水が夏は冷たく、冬は温かい（と感じられる）のも、この地中熱と気温との温度差によるものである。

冷暖房などなかった古代人は、地中の熱を利用して、寒い冬を凌ぎ、暑い夏でも洞窟で生活をしていた。竪穴式住居をはじめ、中国のヤオトン住居、アイヌの伝統民家チセでも知られている。コンクリートで地表を覆ってしまった現代人はこの未利用エネルギーを忘れてにすぎない。

この熱を取り出し、そのまま使う場合（パッシブ・ジオサーマル）もあるが、ヒートポンプを用いて温熱、冷熱を作り、冷暖房や給湯に使用するのがアクティブな地中熱利用である（図—2）。気温と地中の温度差は、真夏で30℃と17℃の差であり、真冬は0℃と17℃の差である。地上と地中との温度差に相当する自然エネルギーを活用すれば、従来の空気を熱源とするエアコンと比べて、エネルギーの節約になり、節電効果が大きくなる。

どうすれば地下の熱を地上で使うことができるだろうか？ 浅い地下から熱だけを取り出すには、熱伝導の良い流体を孔中に入れ、これを循環させることにより、地下からの熱が地上に上がってくる。最も手軽な媒体は、水である。ボーリングを掘り、そのなかにポリエチレンのチューブを入れて、それに水を満たして循環させれば、夏は冷たい水が、冬は温かい水が得られる。冷房の後、温くなった水を地下に入れると、地下で冷やされて上がってくる。暖房の後の冷たい水は、地下で温められて上がってくる。よく、裏庭の古井戸が使えないかという問い合わせがあるが、その井戸水が流動する地下水層につながっていて熱の移動が容易でない限り、たまっている井戸水だけでは、冷暖



図—1 地中熱と気温との温度差

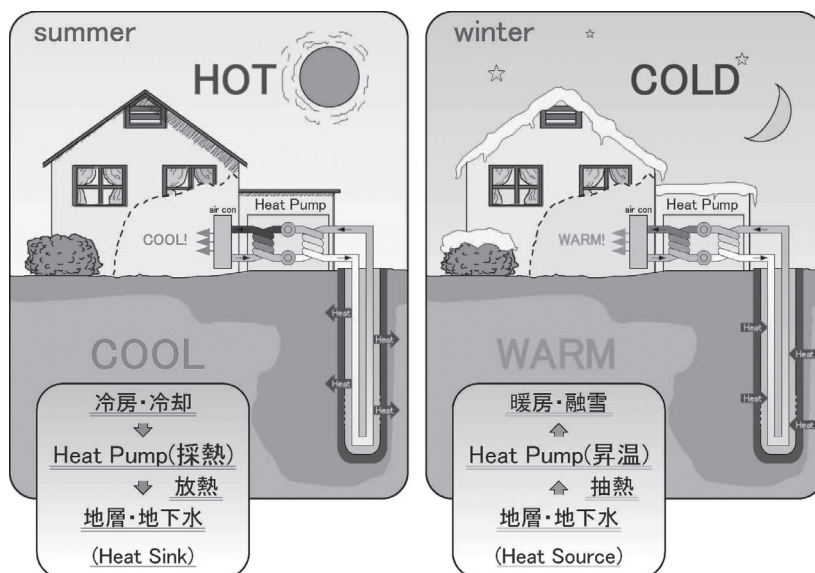


図-2 地中熱ヒートポンプの概念

房には不十分である。浅い井戸では、熱容量が少ないため、すぐに大気温度になってしまう。多くの熱を地下に運んだり、熱を取り出したりするには、地層と十分な熱交換が出来る距離（深さ）が必要となる。なお、寒冷地では、水に代りプロピレングリコールやエチレングリコールの不凍液（プライン）を用いることが多い。

どの程度の深さの孔が何本あればいいのか？ 家の気密性や、地層の熱伝導率によっても異なるが、一般的な100^m程度の住宅では、およそ100～150mの孔が必要である。100mの孔1本でなくても、50mのもの2本でも良い。十分な熱交換の出来る長さが必要になる。100mも掘るのかとよく言われるが、最新の機械なら1日で50～70mの掘削が可能である。掘削口径は、18cm程度である。掘削した直後にUチューブという高密度ポリエチレンのチューブ（写真-1）を孔底まで挿入し、空隙は砂で充填する。底がU字型になっている2本のチューブを2組入れてダブルUチューブにすることもある。地中と熱交換をするボーリング孔、Uチューブ、その中を循環する水

または不凍液、Uチューブのまわりに充填される砂を総称して地中熱交換器という。このうち、掘削工事費が地中熱利用システムの中では一番高い。口径の小さい孔の掘削経費でも、100mで100万円から200万円程度となる。

北海道では、需要が多いため、8,000円/m以下と言われているが、都会では運搬・設置や産廃処理などのコストが追加され、割高となっている。今後、如何に掘削コストを安くするかが普及の決め手になる。

ボーリング孔を用いる熱交換方式のほかに、基礎杭



写真-2 掘削機

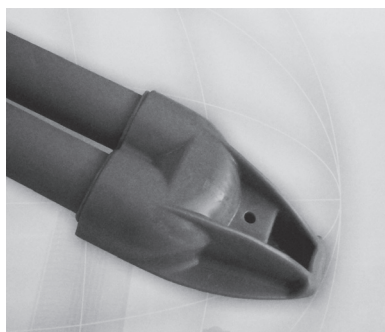


写真-1 Uチューブの最下端

を用いる熱交換方式もある。基礎杭方式では、大口径の杭の周辺に数組のチューブを固定して地下に降ろす。杭の長さは30～40m程度であるが、杭の本数も多く、取り付けのチューブの本数も多くなるので、比較的浅い地下を利用しての地中熱利用となる。設計段階から計画的に敷設することが必要であり、主に、大手建設会社が自社で実施している。

ボーリングの場合、垂直に掘削することが多いが、熱交換は必ずしも深く垂直である必要はない。米国など広大な土地利用が可能などところでは、剥土した面にスパイラル状やS字状にチューブを配管し、上から土をかぶせて、面としての熱交換を行っている。国内でも、最近では、小田急電鉄の東北沢新駅で、地下駅の冷暖房に水平型地中熱交換器が埋設されている。また、ラジアルウェル方式では浅井戸の周辺壁面から放射状にボーリングをして採熱する試みもある。海外では、湖沼や海底で熱交換する事例もある。

地下からの温度を冬はさらに高温に、夏はさらに低温にするのがヒートポンプの働きである。一般のエアコンは、空気を熱源にしたヒートポンプであるが、地中熱利用ではチューブの中を循環して地下から上がってくる「水」を熱源としている。冷媒を直接地下に循環させる試みもあるが、一般的には、水または不凍液(ブライン)が地下を循環する。

一方、ヒートポンプの中では、冷媒が循環しており、ポンプにより圧縮されて温度が上がり、膨張して温度が下がる。これと地下からのブラインが熱交換することにより、必要な熱が得られるが、ヒートポンプはその動力に電気を使う。普通、1の電気ですべてのエネルギーを取り出せるので、省エネ効率が高い。ここで、得られた熱量を使用した電力で割った値をCOP(成績係数)と呼び、ヒートポンプの性能を表している。地中熱用のヒートポンプは、需要が増えれば量産されて販売コストも安くなるが、現状ではまだ生産台数が低く、割高であるのが現状である。このヒートポンプは、大企業でなくても製造が可能であり、大手電気メーカーが乗り出す前に、安くて高性能なものが出回ると思われる。現在の空気熱源の冷暖房が地中熱利用に代

われば、大きなビジネスに成長すると思わる。ドリームシナリオではあるが、仮に50万戸に200万円の地中熱システムが導入されれば、1兆円のビジネスとなり、その波及効果は数兆円になる。地中熱利用は「モノづくりに関連する地方の中小企業にとって、自社の技術を活かせるまたとない機会」と言われている。

都内のオフィスビルにおける従来の空調と地中熱利用の消費電力の比較を示す(図-3)。これによると、夏場の消費電力が、従来のエアコンと比較して大きな節電効果をあげていることが分かる。今年のような夏場の節電、ピークカットに大きく貢献することができるうえに、冷房中、室外機から熱風を出すことがないので、ヒートアイランド現象の緩和にも役立っている。

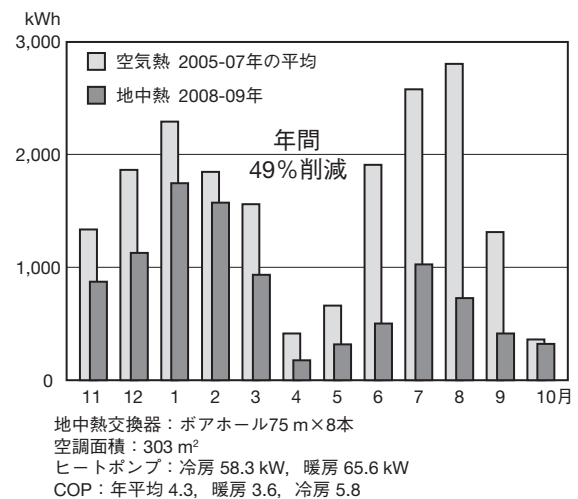


図-3 都内のオフィスビルにおける空調電力消費量 (笹田 2010)

地中熱の導入は、熱需要の多い、病院、福祉施設、屋内プール、工場など省エネ効果の大きい建物が適している。東京スカイツリーでは、地域冷暖房の一部に地中熱を採用しているし、羽田空港の新しい国際線ターミナルビル、丸の内のJPタワーでも地中熱が使われている。最近では、イケア・ジャパンが「IKEA 福岡新宮店」を全館地中熱で冷暖房を行うため、100mのボーリングを70本掘削している(図-4)。

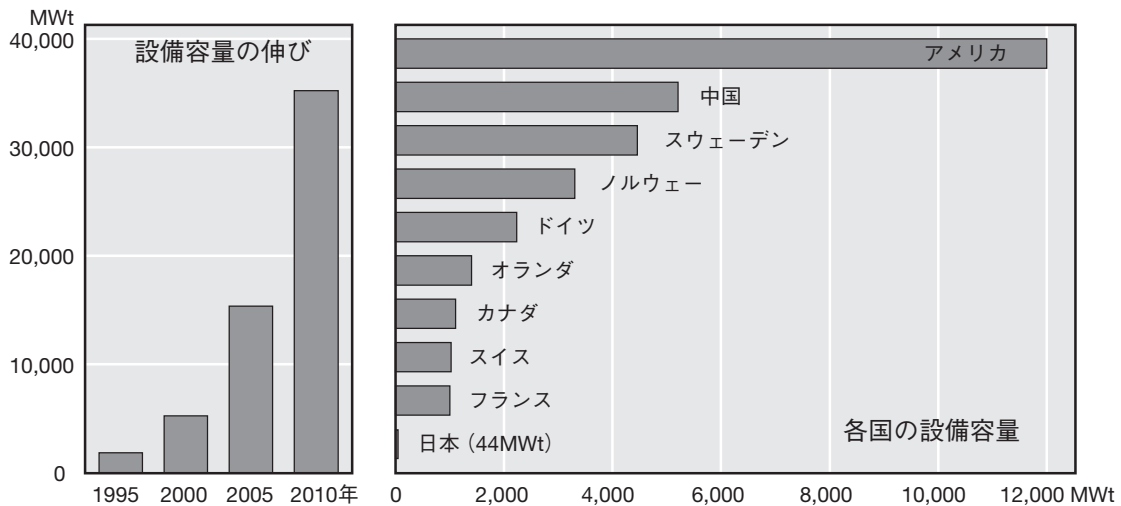
日本の地中熱利用は、これまで政府のエネルギー政



写真-3 地中熱ヒートポンプ (10kW × 3台)
春日部市役所



図-4 イケアによる大規模店舗の地中熱利用 (福岡)



図一5 世界の地中熱設備容量 (Lund, 2010より)

策から外れていたため、諸外国に比べ大幅に遅れている。普及しているのはアメリカ、中国、およびスウェーデンなど北欧諸国で、すでに数十万台～百万台の利用がある。これに対して日本はわずか600件程度しかなく、設備容量で見ると、アメリカが1万2,000 MWt（メガワットサーマル）なのに対し、日本は44 MWtであるから、先進国に大きく遅れていることになる（図一5）。

掘削は通常地元のボーリング会社が施工するが、まだ地中熱利用のボーリング経験がない業者が多い。そこで、地中熱利用原理から始まり、掘削技術、ヒートポンプの働き、配管の問題、適切な設計など、基礎的な知識が必要となる。協会では、一流の研究機関、大学、専門家を講師として招き、地中熱基礎講座を年に2回開催し、地中熱利用の基礎から、設計、施工についての教育プログラムを実施している。

また、講師を招聘してシンポジウムも東京と地方都市で年に2回開催している。最近では、参加希望者が多く、常時100名を超えるようになった。さらに、NEW環境展、再生可能エネルギー世界展など展示会に出展し、地中熱利用とは何かの広報活動を行っている。

今年は、地中熱利用促進協会の会員が急増し、現在、法人会員が140社を超えている。ボランティアとして参加する個人会員も50人を超え、大学・研究機関・自治体からの特別会員が56名となっている。これらの会員の活動により、協会内には8つのワーキンググループがあり、協会活動の原動力となるとともに、会員間の親睦、情報交換にも役立っている。また、協会

事務局では、月2回ニュースレターを発行し、最新の国内外の出来事、国の方針、補助金情報等を会員に発信している。会員は、どちらかというところ、掘削、材料メーカー、機械メーカーという分野が多い傾向にあるが、今後は、2次側である住宅メーカー、設計、設備の会員が増えるものと思われる。

知名度の低い地中熱利用は、新たな再生可能エネルギーとして注目されはじめ、政府のエネルギー基本計画の中に昨年より盛り込まれるようになった。震災後、エネルギー政策が大きく転換するなかで、その普及が確実視されている。国の助成政策も整いつつあり、経済産業省の再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策事業という補助金制度も確立された。この補助制度では、地方公共団体や非営利民間団体には1/2の補助率、一般法人には1/3の補助率が適用されている。今後、戸建住宅への補助制度が確立されれば、初期投資額も低減し一段と普及することは間違いない。

東京都杉並区の荻窪に地中熱利用促進協会の事務所がある。地中熱利用に関し、お気軽にお問い合わせいただきたい。

<http://www.geohpaj.org/>

03-3391-7836

JICMA

【筆者紹介】

服部 旭（はっとり あさひ）
特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
事務局長

