

# 地中熱利用の現状と課題 —地域熱供給への導入に向けて—

Ground source heat pumps in Japan and their application to district heating and cooling

笹田政克\*

## 1. はじめに

再生可能エネルギーは発電だけでなく熱利用ができる。わが国のエネルギー需要をみると、民生部門（業務・家庭部門）では2分の1が熱として消費されているので、ここに再生可能エネルギーが熱として大量に投入できれば、エネルギー事情は大きく改善されることになるが、現実にはあまり進んでいない。大きな熱需要を賄う地域熱供給では1990年代から一部の施設で再生可能エネルギーの熱利用が行われており、地中熱についてみると高崎市中央・城址地区での地下水（オープンループでの地中熱利用）、東京スカイツリー地区でのクローズドループの地中熱利用（ボアホール方式と杭方式）などがある。再生可能エネルギー熱の導入拡大に向けて地域熱供給の役割は大きく、導入にあたっては地中熱などの再生可能エネルギーの熱利用と地域熱供給との親和性等が課題となる。小論では供給サイドにある地中熱のエネルギー特性、利用方法と、需要サイドにある利用施設での熱供給システム等を整理する中で、地域熱供給への地中熱の導入可能性について考えてみたい。

## 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。これを模式的に示すと図1のように表現される。その温度は火山活動や温泉のある地域を除けば、その地域の年平均気温に近い。また、砂礫層などの帯水層中の地下水も、地域によっては多少の季節変動はあるものの

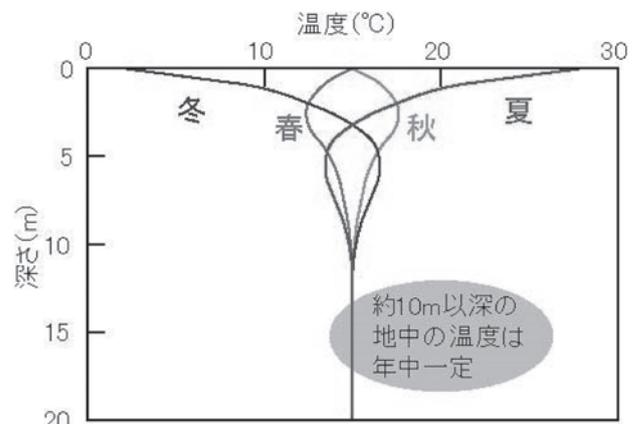


図1 地中温度の季節変化（地中熱利用促進協会原図）

その温度はほぼ一定している。地中熱は、このように年間通して温度が一定しているという特徴をもつエネルギーである。従って、季節により地上との温度差が活用できる。

地中熱利用の対象となる深さは、わが国の場合は100m程度までであるが、この地下浅部の構成は概略次のようになっている。地表付近には植生を支えている土壌が数cmから数mの厚さあり、その下は未固結あるいは固結した地層あるいは堅硬な岩石になる。わが国の平野部では土壌の下に河川の氾濫により形成された沖積層と呼ばれる粘土・シルト・砂・砂礫からなる未固結の地層や、火山灰に由来する地層が分布することが多い。平野や扇状地の砂礫層は豊富な地下水を胚胎している。そしてこれらの地層の下部には基盤と呼ばれる固結した地層や岩石が分布する。一方、山岳地では固結した地層（堆積岩）や花崗岩などの堅硬な岩石が土壌のすぐ下に分布している。

\*NPO 法人地中熱利用促進協会

地中熱を利用するには、このような地下浅部を構成している物質の熱特性を把握することが重要である。地下浅部の地層や岩石の熱物性をみると、それぞれ異なる熱伝導率（金属とくらべて1～2桁程度低い）をもっている。また、砂礫層などに地下水が流れている場合は、地中熱の利用にあたって熱の移流効果も考慮する必要がある。地中のこのような熱特性に関するデータの集積が進み、地中熱利用が進展してきている。

地中熱は、冬は外気より温度が高く、夏は外気より温度が低いので、温熱としても冷熱としても利用できるエネルギーである。また、地中は熱を蓄える機能を備えているので、地中熱は季節間蓄熱などエネルギーの循環的利用に活用できる。なお、地中熱の利用深度は利用方法により異なり、わが国の場合空気循環で熱交換するシステムでは5m程度の深さまでであるが、ヒートポンプを使うシステムでは地中熱交換器は100m程度の深さまで埋設するが一般的である。一方、地中熱利用が進んでいる欧州では近年300mを超える深さまで利用されてきている。

### 3. 地中熱利用と地中熱ヒートポンプ

地中熱は自然のままの形で昔から利用されている。縄文時代の竪穴式住居は、地中から熱伝導を利用したものである。畑などに掘られた室（むろ）は、地温の変化が小さい地中の特性を利用した野菜の保

存施設である。また、ヨーロッパでは石材を切り出した跡などの地下空間が、ワインの貯蔵に使われている。これらは年間通して温度変化の少ない地中熱を、自然のままの形で利用したものといえる。

一方、現代においては、地中に熱交換器を埋設するなどして、より効率的な地中熱利用が行われている。地中熱の用途も冷暖房・給湯（住宅・建築物）、道路融雪、加温（プール・温泉）、栽培環境の温調（施設園芸）、冷温水（食品加工などの工場）など多岐にわたる。

地中熱の利用方法も多様である。それ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）。

これらの中で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

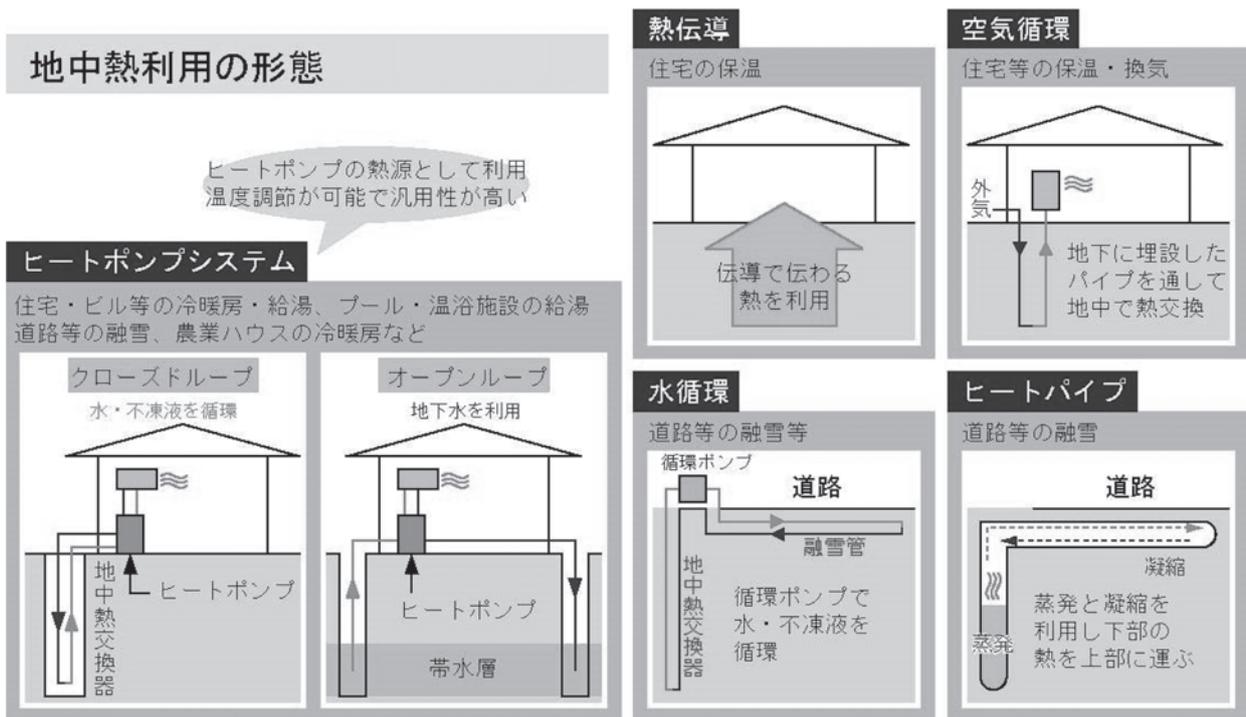


図2 地中熱の利用方法（地中熱利促進協会原図）

をヒートポンプで必要な温度領域の熱に変換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。

地中熱交換器には、埋設の仕方によって垂直型、水平型、傾斜型に区分され、垂直型のものには掘削孔を利用するボアホール方式と杭（基礎杭・採熱専用杭）を利用する杭方式とがある。通常はUチューブと呼ばれる高密度ポリエチレン製の採放熱管が用いられ、熱源水として不凍液または水を循環させているが、杭方式では杭内部にはった水の循環で熱交換するタイプのものもある。一方、水平型は垂直型と比べて広い場所が必要なため、わが国ではまだ普及が進んでいないが、米国ではスリンキーと呼ばれるスパイラル状の採放熱管を水平に埋設する方式も普及している。

このクローズドループの地中熱ヒートポンプシステムは、メンテナンスがほとんど必要ないため適用範囲が広く、住宅・建築物・プール・融雪施設等に適用されている。システムの設計では地中での熱交換可能量を求める必要があり、設置する場所での地層の有効熱伝導率の値が必要となる。地層の有効熱伝導率はボアホール等を用いた熱応答試験で求めることができるが、小規模なシステムの設計では文献値で代用することが多い。このようにして求めた地層の有効熱伝導率のほか建物の熱負荷、空調等の利用時間、ヒートポンプの性能等から、設計ツールを用いて地中熱ヒートポンプシステムを設計することができる。

オープンループは、帯水層から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（通常は熱交換器を介して採放熱する）、地下水熱ヒートポンプシステムあるいは井水熱ヒートポンプシステムとも呼ばれている。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、同じ帯水層の少し離れた場所に注入する方法（還元型）、地中に戻さず地表で放流する方法（放流型）等がある。オープンループはクローズドループと比べると、井戸1本あたりの採熱量がボアホール1本の採熱量よりかなり大きくなることから、導入コストの観点からは経済性に優れているといえるが、井戸の目詰まり等が生じることがあるため、システムのメンテナンスが必要となる。また、導入にあたっては地盤沈下への影響も含め地質環境へ与える影響についての検討も行う必要がある。オープンループのシステムを設計する場合は、地下水の揚水可能量や水質等のデータが必要となる。オープンループは、これまで比較

的規模の大きな施設に適用されている。なお、地下水利用に揚水規制がかかっている地域では、オープンループでの利用は困難である。

以下の節では、特に断り書きのない場合は、地中熱ヒートポンプシステム（クローズドループおよびオープンループ）を地中熱利用という言葉で表現している。

#### 4. 地中熱の供給特性

前述したように地中の温度は10mの深さで年間通して一定となり、その温度はその地域の年平均気温で近似できる。地中熱ではこの恒温特性に注目して、温度差エネルギーとして利用する。一方、土壌、堆積物、岩石など地中を構成する物質の熱伝導率は低いので、地中熱交換器を用いて採熱する際には、短時間に大量の採熱をすることが難しい。また、地中熱交換器を用いるクローズドループによる利用では、採熱の際に地中の温度が低下するので、たとえば、昼間の就業時間帯に暖房で地中熱利用する施設の場合、採熱に伴い朝から夕方にかけて、地中熱交換器周囲の温度が低下し、熱源水の温度が低下する。その後夜間に地中での熱拡散が進み、翌朝は前日に近い温度まで回復する。季節間でも同じようなことがいえ、暖房で地中熱が利用される秋の終わりから冬にかけて、地中熱交換器周囲の温度は低下していき、熱源水の温度は低下する。暖房のピーク時期を過ぎ利用量が減少すると、地中の温度は回復基調になり、春が近づくにつれ暖房開始前の温度に近づいていく。冷房についても同様である。暖房での冬季採熱量と冷房での夏季放熱量が等しい場合は、1年後にはほぼ元の地温になるが、暖房過多の場合には地温は低下し、冷房過多の場合には地温は上昇する。

クローズドループでの熱源水の年間温度変化は、多くの施設でモニタリングされてきている。ここでは東京都千代田区のテナントビルの地中熱ヒートポンプシステムのモニタリングデータを紹介する。この建物では、75mの地中熱交換器8本を使って、1階から3階までの空調を地中熱で行っている。ここでは各階の床面積がおよそ100m<sup>2</sup>（10m×10m）で冷房負荷と暖房負荷のバランスがとれており、冷房時の放熱量と暖房時の採熱量はともに50GJ前後の値となっているので、地中熱だけで持続的運転ができてきている。運転に伴う熱源水の温度変化をみると、1年間の運転が終了した時点でこの地点での地温と同じ18℃に回復している（図3）。地中熱ヒートポンプの利用効率は高く、冷房時のシステムシステム

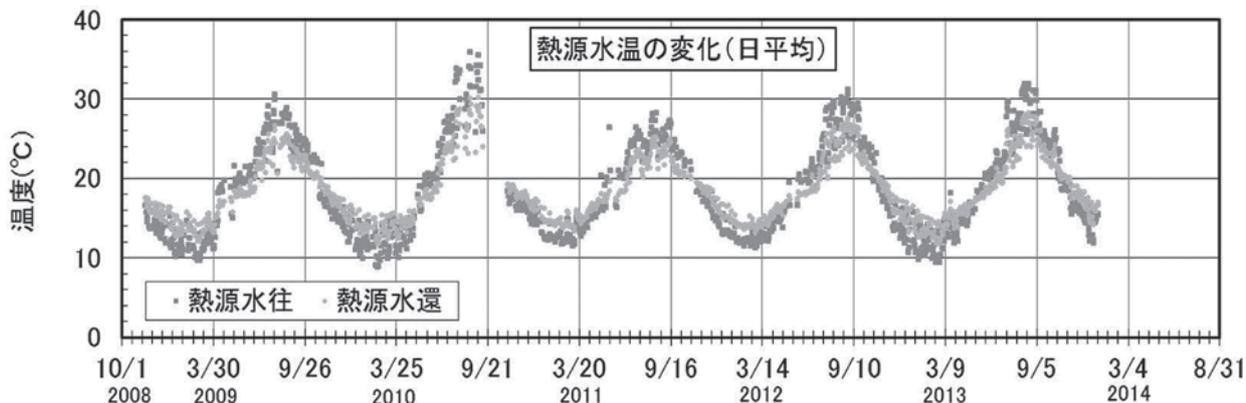


図3 地中熱ヒートポンプの運転に伴う熱源水温度の変化【一番町笹田ビルの事例】<sup>(2)</sup>

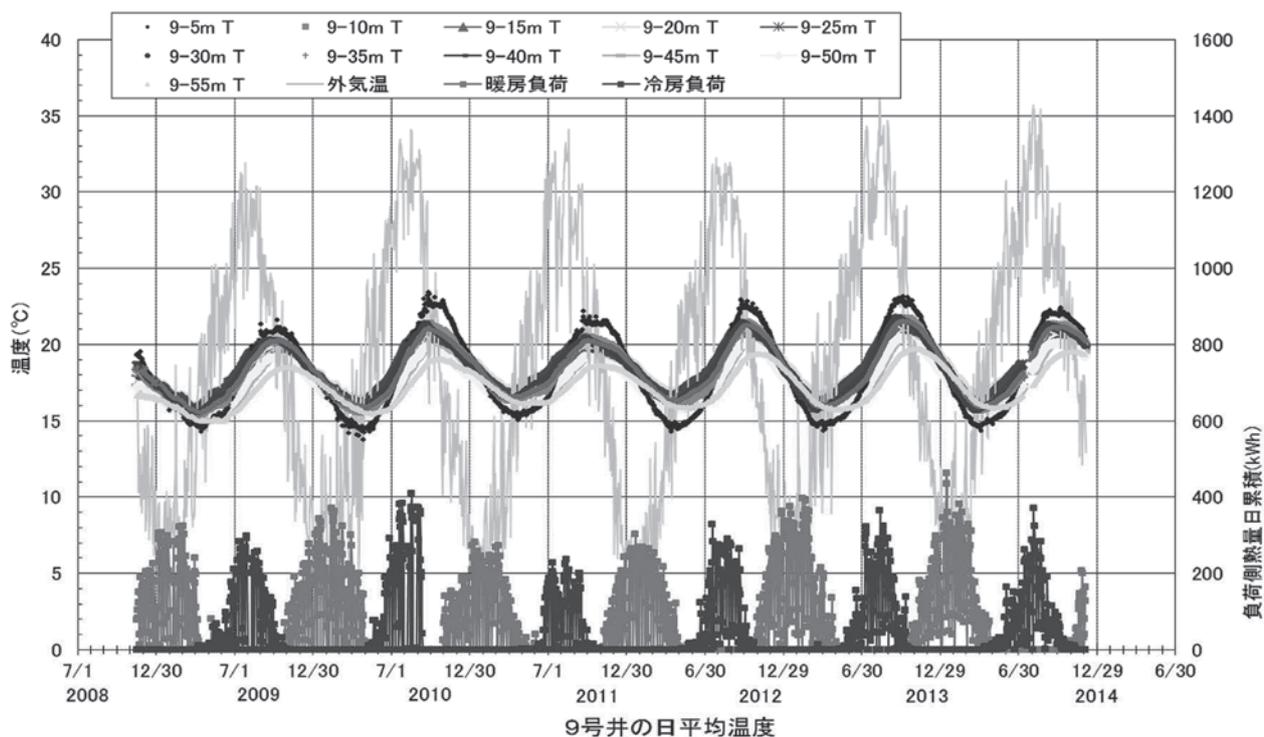


図4 一番町笹田ビルのモニター孔の温度の経年変化<sup>(2)</sup>

COPが5.8, 暖房では3.6(ともに年間の値)となっている<sup>(1)</sup>.

### 5. 地中蓄熱

前節で述べたようにクローズドループでの地中熱利用では温熱を取り出すとき地中は温度低下するし、冷熱利用の場合には地中の温度は上昇する。この特性はオープンループ還元型でも認められる。この地中熱利用のプロセスは、地中蓄熱としての視点から見ると、地中は冷熱と温熱の蓄熱体として役割を果たしていると言える。地中熱交換器が単独で存在する場合は、地中熱交換器周辺の熱異常は周囲に拡散していき、蓄熱効果はあまり期待できないが、

複数の地中熱交換器で囲まれた領域では逃げ場のなくなった熱が蓄熱されていく。

そのような例として、前述した千代田区のテナントビルのデータを見てみたい。ここでは、2m間隔の8本地中熱交換器に囲まれた中心に温度観測専用のボアホール(モニター孔)がある。このモニター孔では5m間隔で地温を測定している(図4)。冷房のピークは8月であるが、2m離れたモニター孔の高温のピークは11月になっており( $\Delta T = 2K$ )、暖房を始める時点で地中に熱が蓄えられていることを示している。大づかみの計算となるが、年間採熱量の5%程度の蓄熱量が見積もられる。また、それから半年後の6月に低温のピークがあり、冷房

開始時に冷熱が効率的に使える状態になっている。前述したようにここでは夏季の放熱量と冬季の採熱量とがほぼ等しいので、地中熱ヒートポンプの性能は長期的に確保されている<sup>(1)</sup>。

さて、欧州では施設の建設時において計画的に蓄熱を利用する設備が作られている。北欧で多くみられる例は夏の太陽熱を地中に蓄熱し、冬の暖房に供するもので、ボアホールを利用するタイプ（BTES: Borehole Thermal Energy Storage）と帯水層を利用するタイプ（ATES: Aquifer Thermal Energy Storage）がある。また、オランダではライン川のデルタに位置する都市群で、地下に帯水層がよく発達していることから、その地下水の熱を冷暖房に使い、年間通して効率的な熱利用ができるような帯水層蓄熱（ATES）の技術が広く用いられている。

日本ではNEDOプロジェクトで帯水層蓄熱の技術開発がなされ、それと並行して環境省のプロジェクトでも技術開発が進められている。自治体では大

阪市が帯水層蓄熱の普及に取り組んでおり、かつて経験した地盤沈下を再び引き起こさないように、上記の環境省プロジェクトでは熱利用のために揚水した地下水を大気に触れることなく全量同じ帯水層に戻す技術を開発し、ビル用水法で規制されている地域に国家戦略特区を創設して帯水層蓄熱を始めている。これは地下水を大量に熱利用することができる技術であるので、地球温暖化対策としても優れている（図5）。

ここまで供給側の視点から地中熱について述べてきたが、次節以降は利用側の視点から眺めてみたい。

## 6. 利用の現状

わが国の地中熱利用の現状については、隔年実施されている環境省による調査で、具体的な姿がよく見えている。温熱と冷熱が使える地中熱の主要な用途は空調と給湯であるが、その他融雪、加温、工業・農業利用などがある。図6に示すように、地中熱が導入されている施設は多種多様であり、空調・給湯としては住宅が一番多く、次いで事務所、庁舎等、店舗、学校、幼稚園・保育園、福祉施設、宿泊施設、病院、医療施設、スポーツ施設、温浴施設、地域熱供給となる。地域熱供給は2017年時点で4件である。融雪は道路・駐車場で、加温利用としてはスポーツ施設でのプールの水温管理、温浴施設での温泉水の加温で使われている。また、工業利用では食品工業などで温水、冷水が、農業では施設園芸での冷暖房や土壌温度管理、水産業では数は少ないが養殖施設

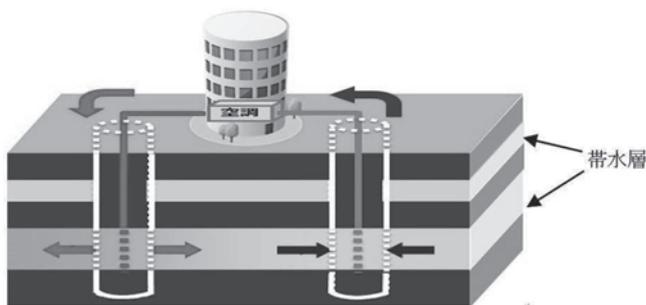
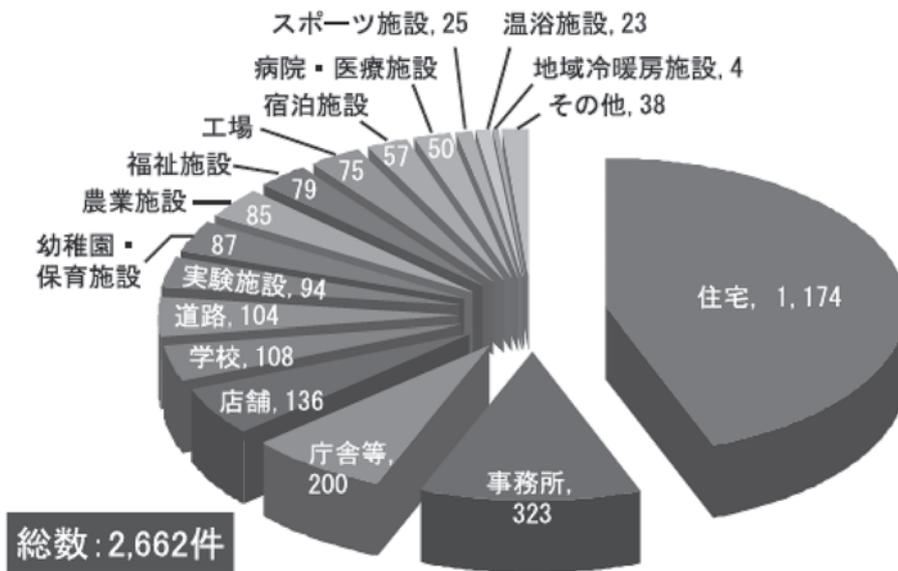


図5 帯水層蓄熱の概念図（大阪市報道発表資料，2018）



地中熱ヒートポンプシステムの導入箇所別設置件数（2017年度末）

図6 地中熱ヒートポンプの利用施設（環境省報道発表資料，2019）

の水温管理に利用されている。

導入されている地中熱ヒートポンプシステムの設備規模をヒートポンプの能力で表すと、住宅では10kW以下のものがほとんどであるが、非住宅建築物では10kW程度の小さな設備規模のものから、病院等での2000kW程度の大規模のものまである。地域熱供給でも最大2000kW程度の規模のものがある。オープンループは設置件数的にはクロズドループに比べて少ないが、設備規模はクロズドループに比べ大きなものが多い。

運転実績に関しては設備規模についてのような全国規模で実施される調査データはないが、地中熱利用促進協会のホームページをみると13のシステムについて年間利用量のデータが公表されている。従来方式での空調、給湯と比較すると、省エネ率とCO<sub>2</sub>削減率はそれぞれ20%～60%の実績となっている。

建物全体の省エネを目標にしているZEB・ZEHにおいても地中熱の利用は進んでいる。空気調和・衛生工学会の提言「ZEB in Japan～ZEB（ネット・ゼロ・エネルギービル）先進事例集～」で先進事例として掲載されている14件のうち8件で地中熱が利用されており、地中熱は建築設備関係者が注目している省エネ手法といえる。

さらに進んだ事例として、ZEBであるとともに事業継続性（BCP）を有する建築物についてみると、地中熱が導入されている事例は限られている。ZEBの評価は建物を対象にしているの、コンセントで用いる電気が対象から外されているが、BCPを実現するには、災害時においてコンセントを含めてエネルギーの自立性が求められる。再生可能エネルギーを用いる場合は、太陽光と蓄電池でBCPの基本形はできるが、さらに利用機器のピーク電力を下げることで、太陽光と蓄電池の設備容量を抑えることが可能になる。電力の高いピークの発生源は空調機にあるので、それを抑える効果のある地中熱ヒートポンプはBCPの実現に寄与している。

## 7. 複合システムと地域熱供給

小規模建築物に地中熱を導入する場合は、熱源を地中熱単独で賄うケースが多いが、中規模以上の建築物では、ゾーニングにより建物の一部に用いられているケースと、建物全体のシステムの熱源の一つに組み込まれているケース（複合システム）とがある。前者は地中熱ヒートポンプ単独での運転になるが、後者では空気熱源ヒートポンプや、その他の再

エネ熱を含む様々な熱源機との併用があり、それぞれの熱源の特性を十分に踏まえた形での運転形態が追及されている。また、比較的規模の大きな複合システムでは、蓄熱槽を有しているケースがある。

複合システムは、単独の建物に設置されている場合のほかに、建物間の熱融通を伴う場合、そして地域熱供給があるが、ここでは使われている対象を区別することなく、技術的な視点からこれらのシステムを一括して記述したい。なお、複合システムとは別に、大きな建物の空調でも個別分散熱源方式が導入されているが、地域熱供給のコンセプトとは異なるので小論では扱わない。

地中熱が導入されている複合システムは、技術的な視点からセントラル方式（中央熱源方式）と熱源水ループ方式の2つに大きく区分される。セントラル方式は多くの建物や地域熱供給で用いられている方式で、複数の熱源機で製造される温熱、冷熱がエネルギーセンターから需要側に送られる。ここで地中熱はエネルギーセンターにある地中熱ヒートポンプやその他の熱源機に熱源水を供給している。一方の熱源水ループ方式は、常温に近い温度の熱源水をループ状に循環させ、重要側が個別にヒートポンプを設置してループの熱を利用するシステムである<sup>(3)</sup>。ここで地中熱は熱源水ループに温熱あるいは冷熱を供給する。複合システムにおいてはセントラル方式が主流であり、熱源水ループは少数派であるが、欧州ではこの10年間にその件数が伸びてきており、第5世代地域熱供給と呼ばれている<sup>(4)</sup>。

## 8. セントラル方式

セントラル方式では地中熱ヒートポンプは、複数の熱源機の中で、ベース熱源として役割を担っている場合が多い。セントラル方式を採用している施設は、事務所ビル、店舗、病院、宿泊施設と多種にわたり、それぞれ暖房、冷房、給湯の熱負荷パターンも異なっているが、たとえば冷房需要についてみると、事務所ビルの昼間の時間帯では、職員の就業状況や日射の変化などで熱負荷が変動する。空調設備は最大熱負荷にも対応できるようにシステムが設計されるが、想定した最大熱負荷となる時間帯は年間極めて限られている。地中熱は省エネ効果が大きいので投入量が大きければ、ランニングでの経済性が高まるが、一方で導入コストが高いため、最大熱負荷にも対応できるような規模のものを作ると経済性がとれない。したがって、ベース熱源として安定的に供給なできる量を賄うのが合理的といえる。暖房、

給湯での需要についても同様の考え方が適用できる。さらに地中熱を長期的に利用する場合の持続性を考えると、冷房利用時の地中への排熱量と暖房、給湯利用時の地中からの採熱量のバランスが取れていることが望ましい。大きな事務所ビル、店舗、病院などでは地中熱ヒートポンプはこのような使われ方をしている。次にさらに規模の大きなシステムとして地域熱供給に使われている事例を2つ紹介したい。

一つは東京スカイツリー地区の例で、ここでは冷水用と温水用の大きな蓄熱槽を備えているので、熱源機で製造された冷水と温水はすべて蓄熱槽に蓄えられ、東京スカイツリーの街区に供給される。熱源機としてはターボ冷凍機（複数台）、ヒーティングタワー方式のヒートポンプ（複数台）それに地中熱ヒートポンプが用いられており、地中熱ヒートポンプでは冷水と温水が計画的に製造されている。地中熱利用はクローズドループで、120mのボアホール方式地中熱交換器と20mの基礎杭（現場造成杭）方式の地中熱交換器から供給されている。ここではきわめて効率な運用がなされており、平成30年度省エネ大賞を受賞している。

もう一つの例としてオープンループ（放流型）が用いられている東京都港区にある田町駅東口地区の地域熱供給を紹介したい。ここでのオープンループは、近傍にあるトンネルから湧水（“地下トンネル水”）が用いられており、熱を利用した後は環境基準を満たすように処理されて放流されている。温度変化が極めて小さい地下水が年間通して熱源水として利用できるのも、省エネ効果は大きい。ここでは、熱源機としてターボ冷凍機、スクリュウ冷凍機、ナチュラルチラー、蒸気焚ジェネリンク、蒸気吸収ヒートポンプが設置され、“地下トンネル水”はスクリュウ冷凍機と蒸気吸収ヒートポンプに用いられている。また、再エネ熱として太陽熱も熱の一つとして用いられており、真空管式太陽熱集熱器が設置されている。ここでは、熱需要に応じて優先順位がつけられ、熱源機が運転されている。

## 9. 熱源水ループ方式

熱源水ループ方式は、熱源水のループに熱源とヒートポンプを接続する方式で、熱源水を常温に近い温度で年間利用するので、熱源としては年平均気温に近い温度で年間の温度変化が小さい地中熱、河川熱などの再エネ熱が主要な役割を担うことができる。一方、熱源水ループは温熱源と冷熱源をそれぞ

れ在来型の熱源の組合せで賄うこともできる。地中熱を利用する熱源水ループで、年間通してすべて熱源を地中熱だけで賄うのは難しい場合は、冷却塔などの在来型の熱源と組み合わせで稼働させる。

わが国で地中熱が主要な熱源として熱源水ループで用いられているケースはまだわずかであるが、在来型の熱源の組合せで熱源水ループが稼働しているケースは多く、集合住宅、店舗、事務所ビルなどで用いられている。ここでは地中熱が活用されている事例を2件紹介する。

一つは日鉄エンジニアリングの北九州寮で、ここでは、建物の基礎杭に用いている68本の鋼管杭（7.5m）に地中熱交換器を取り付け熱源に利用しているが、それだけでは十分な熱が賄えないため、冷熱源として冷却塔を、温熱源として太陽熱集熱器及び太陽熱蓄熱槽を併用している。年間通して熱源水からもたらされるエネルギーによりヒートポンプで空調と給湯を行っている。熱源水の温度は季節により変化するが、その温度幅が上限30℃、下限10℃の範囲にはいるように運転されている<sup>(3)</sup>。

もう一つの例として、建物間の熱融通も行っている杏林製薬わたらせ創薬センターがある。ここでも地中熱は杭方式（11.2mのPHC杭に地中熱交換器を装着）で、その他に冷熱源として冷却塔を、温熱源として、別の建物の空冷チラーからの排熱を利用している。熱源水ループからもたらされるエネルギーで、ヒートポンプにより空調および給湯ができるシステムとなっている。熱源水ループには複数の熱源があるので、最適運転を行うため熱源の優先順位を想定した制御がなされている。

## 10. 地域熱供給への導入課題

セントラル方式での地域熱供給には、すでに地中熱が利用されている実績が4件ある。うち2件は前節で述べたクローズドループの東京スカイツリー、オープンループ（放流型）の田町駅東口地区であり、これらの他に高崎市中央・城址地区と高松市番町地区があり、ともにオープンループである。クローズドループについては、全国どこでも導入可能であり、とくに有効熱伝導率が高い地域であると効果的な地中熱の利用が可能である。オープンループについては、揚水規制のある地域、特に3大都市圏での利用が難しい状況にあるが、帯水層蓄熱方式の場合は、大阪市のように国家戦略特区の設定をすれば、地域熱供給の熱源として利用可能である。

地中熱を効果的に利用する基本的な考え方は、す

で述べたベース熱源としての活用である。年間の熱負荷パターンからベースに相当する部分を賄う形で運転する。蓄熱槽が設置されているシステムではより計画的な利用ができる。前述の東京スカイツリー地区のように大きな蓄熱槽を介して需要サイドに温熱と冷熱を送るシステムであれば、無理なく計画的な採熱と放熱が可能であり、そのシステムはクローズドループ、オープンループを問わず実現可能である。

一方の熱源水ループについては、わが国ではまだ地域熱供給への適用はないが、欧州ではすでにシステムが稼働している。クローズドループの場合は、地中熱交換器が熱源水ループの一部を構成することになり、前節の2つに事例はそうになっている。オープンループに関しては、大きな熱交換器を介して熱源水ループに熱を供給することになる。この場合、熱源は地下水でなく、河川水や海水でも可能である。

熱源水ループでは地中熱等を熱源とする場合、利用側の熱需要の変動を考慮する必要がある。熱負荷の1日の間に変化するとともに、年間通しても変化がみられる。また、その負荷パターンは事務所ビル、店舗、病院など施設の種別ごとに異なる。これらの利用施設とのマッチングは大きな課題である。異なる施設の負荷特性では、冷熱需要と温熱需要の重なる時間帯が存在したり、冷熱需要と温熱需要に時間のギャップが存在するケースがある。熱源水ループでは前者については廃熱回収で対応し、後者に関しては冷却塔などの冷熱源や太陽熱などの温熱源での対応のほか、昼夜間あるいは季節間の蓄熱で対応する仕組みをつくる必要がある。昼夜間の蓄熱や季節間の蓄熱は、地中熱利用でこれまで取り組んできた課題であるので、これまでの研究や実績をベースにして、より効率的なシステムの構築に取り組んでいくことが期待される。

## 11. おわりに

今後の地中熱の普及拡大を考えると、地域熱供給は魅力的な市場である。今年にはNEDOにおいて、「再生可能エネルギー熱利用の地域熱供給への適用可能性」の調査が実施されている。この調査の中で小論で述べた事項を含め、関連するシステムの実態が詳細に明らかになることを期待している。

## 参考文献

- 1) 笹田政克, 地中熱利用による小規模オフィスビルの空調更新(都心ではじめて実用化導入した一番町笹田ビル1年間の実績, 建築設備と配管工事, 48(5), 80-85 (2010) .
- 2) 笹田政克, 地中熱利用システムの現況, BSCA シンポジウム「地中熱利用システムのコミッションング」講演資料 (2017) .
- 3) 中村 靖, 北九州スマートコミュニティ創造事業における地中熱利用事例 新日鉄住金エンジニアリング北九州寮, ヒートポンプとその応用, No.85, 28-33 (2013) .
- 4) Buffa, S., Cozzini, M., D'Antoni, M., Baratieri, M. and Fedrizzi, R., 5th generation district heating and cooling systems; A review of existing cases in Europe, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 104, 504-522 (2019).

## 著者略歴



笹田政克 (ササダ マサカツ)

1977年東京教育大学大学院理学研究科博士課程修了, 理学博士

同年から2007年まで通商産業省地質調査所, NEDO, 産業技術総合研究所に勤務

2012年産業技術総合研究所名誉リサーチャー

2009年からNPO法人地中熱利用促進協会理事長(現在に至る)