

地下蓄熱の可能性

POTENTIAL OF UNDERGROUND THERMAL ENERGY STORAGE

落藤 澄
Kiyoshi OCHIFUJI

Energy storage technologies are necessary component for the efficient use of renewable energy sources and energy conservation. Underground thermal energy storage is a new innovative technology, which enables seasonal storage. With underground thermal energy storage, soils, bedrock and groundwater are used a store medium for thermal energy. The most frequently used storage technology is aquifer thermal energy storage. This technology uses a natural underground sand layer as a storage medium for the long term storage of heat and cold. The transfer of thermal energy is realized by extracting groundwater from the layer and by re-injecting it at the modified temperature level at the separate location nearby. Other technologies are borehole storage, cavin storage and pit(tank)storage. With borehole storage, vertical heat exchangers are inserted into the underground, which ensure the transfer of thermal energy towards and from the ground.

「key word」 underground thermal energy storage, aquifer storage, borehole storage, seasonal storage

1. 地下蓄熱とは

地下蓄熱とは地盤あるいは帯水層を蓄熱体として熱エネルギーを地下に貯蔵することであり、広義には地中に埋設した地下水槽を含めている。地下蓄熱 (Underground Thermal Energy Storage, UTES) は1980年頃から実用化が始まり、ここ20年間でその技術は飛躍的に進歩した。地下蓄熱は冷熱の貯蔵や温熱の貯蔵あるいは両者を併せた冷・温熱貯蔵として広く用いられている。最近では工業・農業用の冷却、道路融雪あるいは昼夜の負荷平準化などといった新しい利用形態が生まれている。

地下蓄熱は需要と供給とのミスマッチを解消することによって、エネルギーの有効利用を図り、省エネルギーとグローバルな環境の保全に資することを目的としているが、一般の蓄熱技術との大きな相違点は、季節的な需給の調整すなわち長期の蓄熱が可能なシステムであるということである。他の大きな相違点は太陽熱、河川水、大気といった自然エネルギーや排熱などの未利用エネルギーを活用することが可能であるということである。

わが国においては実施例は少ないが、1997年12月に京都で開催された気候変動枠組み条約第3回締約国会議において新エネルギーの利用の必要性が認識され、大地の熱利用に関心が持たれるようになってきている。

2. 大地の熱利用

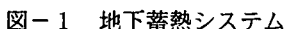
自然界は大地と大気との間で年周期の蓄熱と放熱を繰り返しているが、半無限固体とみなせる大地の熱容量によっ

「キーワード」 地下蓄熱、帯水層蓄熱、地盤蓄熱、季節間蓄熱

* 工博 北海道大学名誉教授

大地の熱利用には熱源型と蓄熱型がある。地下熱源ヒートポンプ（土壤熱源ヒートポンプともいう）は熱源型の代表である。ヒートポンプの熱源は大地の安定した温度差エネルギーを利用するものである。それに対し、蓄熱型は地中に熱を貯えるものであり、大地の大きな熱容量と蓄熱能力に依存するものである。蓄熱型は大地の熱特性から大量の熱量をゆっくり時間をかけて蓄熱し、ゆっくり時間をかけて回収するといった長期的な蓄熱に適している。また、周囲へ熱が散逸する割合を小さくするために外表面積に対する蓄熱容積が大きいこと、すなわち、大規模な施設であることが望ましいといえる。

地下蓄熱システムは、地下への冷熱と温熱を貯えるための蓄熱施設系、冷熱と温熱を作るための地上の熱源装置系および建物の冷暖房を行うための設備系の3つの系から構成される。図-1にシステムの構成を示す。冷熱と温熱を作るための熱源装置系にはヒートポンプを熱源とする場合と太陽熱、排熱、外気、河川水、雪氷など新エネルギーを熱源とする場合がある。蓄熱は地中の蓄熱の方法によって下記の4つに分類するのが普通である。表-1に各方式の概要、特徴を示す。



4. 地盤蓄熱

- 2 -

表-1 地下蓄熱方式の概要

方式	地盤蓄熱方式	帯水層蓄熱方式	地下水槽・ピット方式	建物直下型
システム概念図				
システム概要	地盤に深さ30～100mの孔(ボアホール)を掘削し、孔内に熱交換器用のチューブを埋設して、熱媒を循環させ、地盤へ蓄熱する方式。ボアホール方式ともいう。	地下に存在する帯水層に温冷水を直接蓄熱する方式。地下水の流れが年間20～30m以下程度であれば、地盤蓄熱に比べて効率がよく、経済的である。	地下に建設された水槽またはピットに蓄熱する方式。地中に岩洞があれば、岩洞蓄熱が可能であり、岩壁は保温材となる。	1) 短期蓄熱 建物直下の地盤に深夜蓄熱し、床冷房を行う短期蓄熱型である。深夜電力利用が可能、建物と地盤が一体化。 2) 支持杭蓄熱 支持杭のコンクリートパイルまたはよう壁の内部に冷温水を蓄熱する方式であり、支持杭をエネルギーパイルともいう。経済性が高い。
特徴	日本の地質に対応した蓄熱システム。水の流れの強くないところではどこでも設置可。閉回路方式なので水の汲み上げ規制などの法的制約を受けない。中～大容量の蓄熱可。直接融雪可。	帯水層の存在が前提になるので立地が制約される。熱回収率が高い。直接冷房、直接暖房が可能。直接融雪可能。開回路方式のため、地下水の汲み上げなどの法的制約を受ける。地盤蓄熱よりも大容量可。	蓄熱効率が高い。直接冷暖房も可能。短期蓄熱にも通用可能。太陽熱、排熱、雪水などの未利用エネルギーの利用が他方式より有利。	

国において実施例はほとんどない。ただし、地盤熱による融雪については10数件の実施例がある。

一方、地下熱利用のもう一つの方法である地下熱源ヒートポンプについては、欧米で広く普及しており、数10万件の実施例がある。特に米国では次世代の省エネルギー機器として、2000年までに40万台の普及をめざしている。わが国でも10数件実施されている。地下熱源ヒートポンプおよび地盤蓄熱は帯水層の熱利用とは違って、わが国の複層地盤に適応した方式であり、地下水の汲み上げ規制の制約を受けないことから、今後普及する可能性がある。

米国リチャード・ストックトン大学の蓄熱施設は深さ135mのボアホール400本を駐車場(4,000m²)の下に埋設

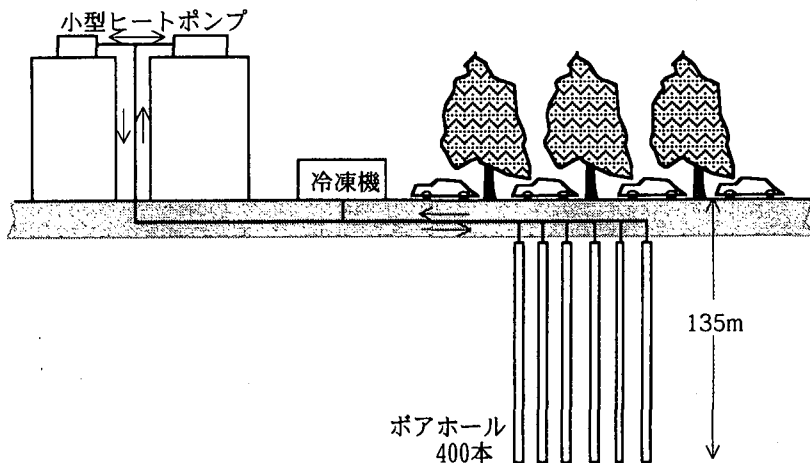


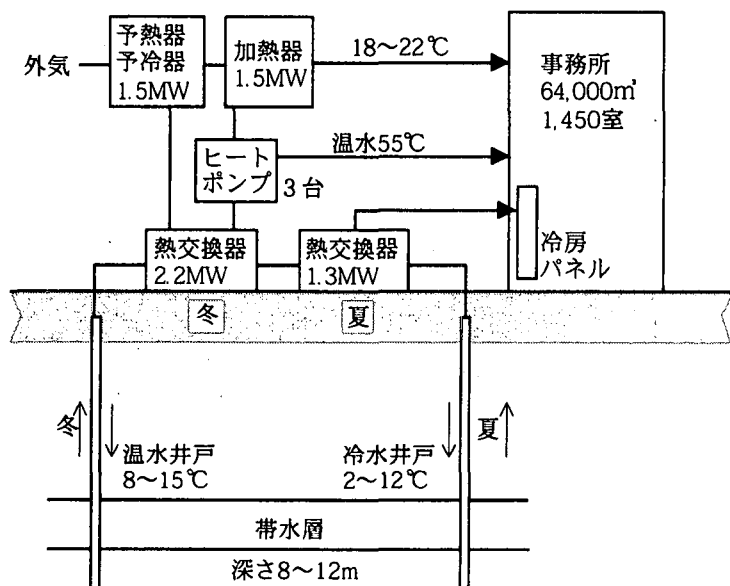
図-2 スtockton大学における地下蓄熱と冷暖房システム

し、35,000m²の大学校舎の冷暖房を行っている。世界最大規模のボアホール閉回路方式である。1994年から運転が開始された。ヒートポンプの冷凍容量は5,300kWである。屋上の61カ所に小型ヒートポンプを設置している。地下の冷温熱貯蔵を組み合わせることによって、空調用のエネルギー経費は年に30万ドル削減される。償却期間は8～12年である。（図－2参照）

5. 帯水層蓄熱

帯水層は砂礫や砂などを基質とする水の滞った層であり、上下層が粘土層など不透水性かつ保温層であり、水の流れが緩慢で、少なくとも年間20～30m/年程度であることが必要である。地盤蓄熱とは違って、冷温水を直接注入し揚水することから、蓄熱効率は高い。建物内の条件によっては直接暖房、直接冷房あるいは外気の予冷・予熱に直接利用できる。わが国では地勢と地質の関係から蓄熱に適した帯水層が少なく、また、地下水規制の制約などから実施例は少なく、2カ所で行われているに過ぎない。欧州においては1981～1996年に84件が実施されている。

ストックホルム郊外のソルナ市にあるスカンジナビア航空本社（SAS本社）の暖冷房システムは帯水層による暖房と長期蓄熱による自然冷房が組み合わされたものである。床面積64,000m²のアトリウムをもつ複合建築である。SAS本社は事務所、レストラン、温水プール、アスレチックホール、車庫がアトリウムで結合された5つの建物群から構成されている。冷房負荷は1,500kW程度であるが、その熱源は主に地下の帯水層の冷水で賄われている。汲み上げ温度は2～12℃である。帯水層の容量はおよそ80万m³であるとみなされている。図－3に概要を示す。



図－3 SAS建物の帯水層蓄熱と暖冷房システム

帯水層の年間平均温度は7～8℃である。5つの井戸が設置され、2つの温水井戸は14～17℃、3つの冷水井戸は6～8℃の水温である。井戸は8～28mの深さに掘られている。

SAS本社の冷房は約8℃の帯水層の地下水を用いて行い、換気の予冷熱交換器を経て帯水層へ14～17℃で還水される。暖房は約11℃の帯水層の地下水を用いて3台のヒートポンプにて約55℃まで昇温して行われる。