

日本温泉科学会第 59 回大会

特別講演 1

地中熱利用の普及を目指した秋田方式の取り組み
—既存熱源とのハイブリッド最適利用とコスト削減の工夫—

秋田大学・工学資源学部

高島 勲

Challenge of Akita model to promote geo-heatpump system
—Trial of hybrid use with conventional energy
and cost reduction—

Isao TAKASHIMA

Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

Abstract

Geo-heat pump system is environmentally friendly and high efficient in air conditional and snow melting. However, use of this system is negligibly few in Japan because of the very high cost. Akita model is the low cost underground construction system by use of civil engineering machine and traditional well drilling method. Hybrid use, combination of such underground system and conventional energy source, is the new type of geo-heatpump application.

1. まえがき

地中熱を利用した冷暖房・融雪はエネルギー効率の向上による CO₂ ガス排出の減少が期待される地球環境に優しい方式として、近年導入を目指した研究や施策が活発に進められている。

欧米で普及が進んでいる地中熱利用は、衛生工学の専門家等により日本でも 1980 年代から研究が行われてきた。また、高温岩体、マグマ等の発電技術としての同軸型の熱交換システムの提案 (Morita *et al.*, 1985) とその応用としてのガイア融雪が東北各地で設置され、圧倒的有利な効率が実証されている (盛田ほか, 2001)。しかし、個別住宅への適用はほとんどなされていない。普及を目指した研究と組織活動は日本で開催された世界地熱会議 (WGC2000) のころから、多くの地熱関係者が独自の視点で研究を始め、2001 年の日本地熱学会地中熱利用技術専門部会・地中熱利用促進懇談会の設立などで業界と共同した普及体制の確立を目指した活動が続いている。

住宅への地中熱普及を妨げている 2 大要因として、コスト高と認知度の低さを挙げることが多い。コストについては、1 万円 / m 程度とされるボーリング価格と機器・施工の高価格などで既存

の灯油・電気・ガス利用システムとは比較にならないくらいの高価格となっている。現実には、地中熱を扱う企業はほとんどなく、価格を算定できないというのが実情である（現在地中熱に関係している企業の多くはコストとは無関係の大学等との共同研究に参加）。認知度については、普及できるコストが実現でき、ある程度数の実施例があれば自然に克服できる課題であろう。

地中熱普及の鍵はコストであり、消費者が満足できる性能を納得できる価格で提供することである。我々の研究室では、そのような観点から研究のみではなく、技術移転を含めて商品として提供できるシステムの検討を進めてきた。秋田方式とは、低価格の地下システムばかりでなく、そのような普及体制も考慮した活動である。目標としては、地中熱を理解し、適切な価格で施工できる業者を増やすことである。

2. 低価格地下システムの構築

地中熱普及の最大のネックは地下抽熱部分の高コストである。この弱点を克服する手段として、土木機器を使用した 4-5 m 程度の浅い配管システムの適用性評価を秋田県の大潟村と鷹巣町で進めてきた。その方向をさらに進めて、地元の伝統的な水井戸掘削手法も加味した方式を開発し、秋田方式として商業的な売込みを模索している（図 1）。超低価格な地下抽熱システムは、住宅の立地条件に合わせて次の 3 種類を選択する。いずれも高度な技術を要するものではなく、地元の業者が対応できることは、普及のプラス要因である。

(1) 井戸水利用方式 A) : 地下水が採取できる地域で排水規制のない場合は、打ち込み式の井戸と、同じ仕様の還元井戸のセットが利用できる。基本方針は地下水循環であるが、全量戻らない場合は水路へ放水できることが条件となる。打ち込み井戸掘削方式は業者により細部の違いがあるが、50 mm 程度の孔あき白ガス管による採水となる。

(2) カスケード方式 B) : 電柱設置用の建柱車によるオーガー方式の掘削（4 m）を 10 本程度行い、バックホーによる 1 m 深トレンチの水平配管と組み合わせるもので、打ち込み掘削が困難な礫層地域が対象となる。また、新築住宅では基礎補強のためのくい打ち機の利用も有効な手段である。

(3) 組み合わせ方式 C) : 上記 (1) と (2) の組み合わせであるが、地下水がないか、地下水の使用に制限がある場合で、打ち込み方式で掘削が可能な粘土や砂層の地域で選択される。掘削した井戸に配管を行って水を循環させるクローズドシステムである。1 m 深トレンチと 4 m の建柱車の掘削深 5 m から打ち込みを始めるので、10 m 以深への掘削が容易である。径 50 mm 程度の掘削掘り管による孔のため、U 字管方式は不可能で、40 mm の塩ビ管を使った同軸型となる。

上記のシステムの運転実績から、システムとしての性能は要求を満たしているものの、運転経費（電気料金）が灯油方式の 2-3 倍となることが現実の阻害要因であることが明確になった。この原因として、厳冬期での無理な抽熱による効率低下が挙げられる。そのよ

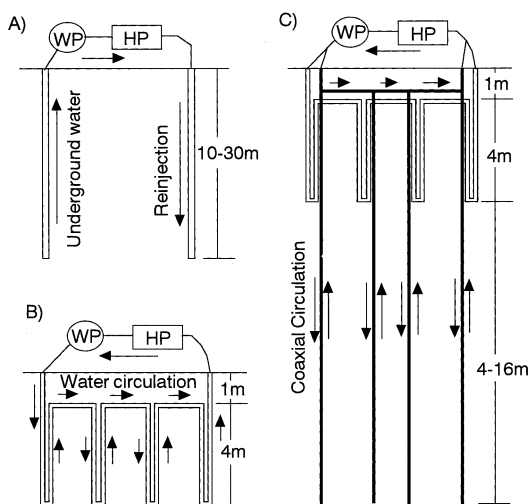


図 1 秋田方式による低価格地下抽熱システム

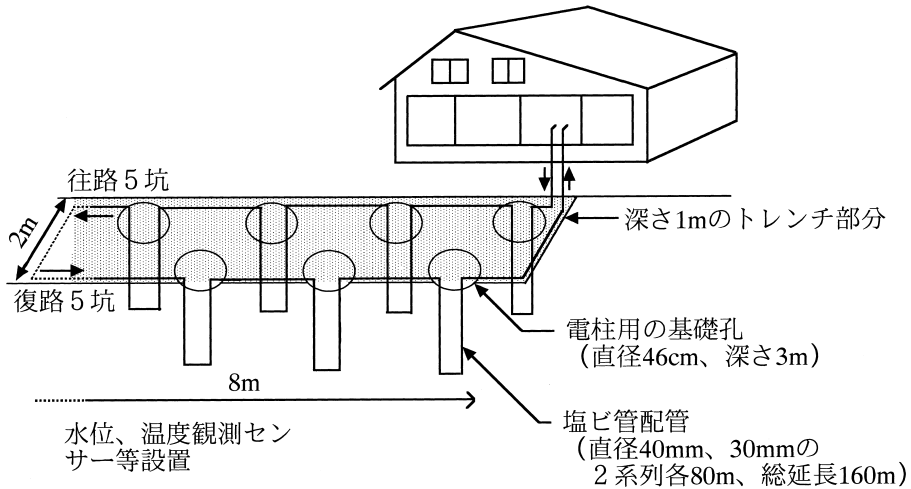


図2 大潟村における地下抽熱実験システム概念図(高島ほか, 2002)

うな不利を避ける意味でも地中熱と既存エネルギーとのハイブリッドが有効である。

3. 浅部抽熱システムの特性と運転実績

秋田県大潟村では、前章のカスケードシステムでの抽熱実験が行われた(図2)。2001年6月から2002年12月までは自然条件での地下温度を測定した。ヒートポンプ設置後の2003年1月からは冬季の暖房、夏季の冷房運転が実施された。設備の概要は、地下システムが最深4m、水平1mの塩ビパイプ配管で総延長180m、室内は放熱ラジエーターによる冷暖房で、ヒートポンプはゼネラルヒートポンプ社製の容量1馬力のものを使用した。

システムはタイマーにより制御され、暖房は午前6時から午後9時30分まで30分間通水、30分間停止、冷房は午前7時から午後7時25分まで25分間通水、35分間停止というサイクルで運転された。図3に地下温度が最も低下した3月中旬を含むほぼ1ヶ月の暖房運転記録を示した。この期間でも、ヒートポンプで昇温された2次側の循環水温度は40℃程度にまで達しており、床暖房システムを使えば十分実用になると考えられる。この期間の地下からの抽熱量は、1次側の循環水量9.1 l/minと入口と出口の温度差4℃から約2.5 kWとなる。地下システムは直径40mmと30mmの2系列の配管がなされている。このうちの1系列のみの実験では抽熱量は約2.1 kWとなる。2系列配管で約2割の抽熱量増加であり、費用対効果の面であまり得策ではない。1系列配管の場合、1m当たりの抽熱量は約23 Wとなる。

冷房運転は暖房運転より格段に良い抽熱性能が得られた。地下システムへの平均的な入口温度は25-30℃で、出口温度はそれより7.5℃低い。従って、抽熱量は約4.8 kWとなる。冷房では1系列のみの実験は行っていないが、暖房と同じと考えれば1系列での1m当たりの抽熱量は約44 Wとなる。暖房と冷房における地下システムの抽熱量の差は、地下温度と入口温度との差に依存している。

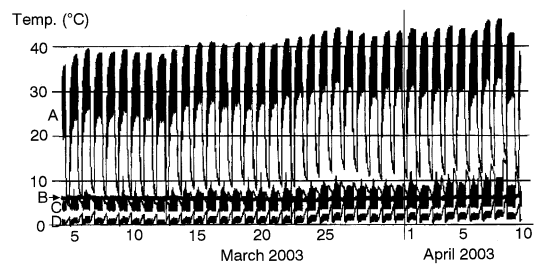


図3 大潟村の2003年暖房実験データ。A: 温水出口温度, B: 4m深温度, C: 地下システム出口温度, D: 地下システム入口温度

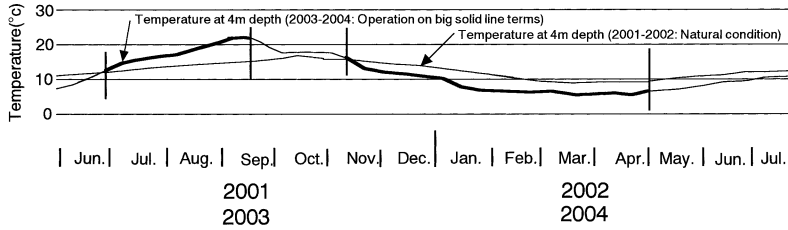


図 4 大潟村の実験における 4 m 深の地下温度 (2001-2002 年 : 抽熱前の自然条件, 2003-2004 年 : 冷暖房抽熱時)

暖房時は入口温度 0-2°C で 4 m 深温度が 6-8°C と温度差約 6°C であるのに対し, 冷房時はその温度差が 10°C を超える. この地域では地下水が豊富なので, その影響も考えられる.

浅い抽熱システムでは地下温度の変化が直接生活圏へ影響を与える可能性がある. その影響の評価も重要な課題である. 図 4 はヒートポンプ設置前の自然条件 (2001-2002 年) と設置後の運転時 (2003-2004 年) の 4 m 深地温の変動を示したものである. 実際の運転時 (太線) には, 冷房で最大 7°C, 暖房で最大 5°C の地温変化が認められるが, 地表ではその影響はほとんどない. また, 夏期の冷房と冬季の暖房で熱バランスがほぼ保たれており, 長期的な地下温度異常は回避されると考えられる. 熱抽出配管からの距離による温度異常についても, 最も温度変化が激しい 2003 年の夏季の冷房時のデータ (2 m 深) を取得しており, 2 m 離れた地点では自然条件とほぼ同じ温度となっている (図 5).

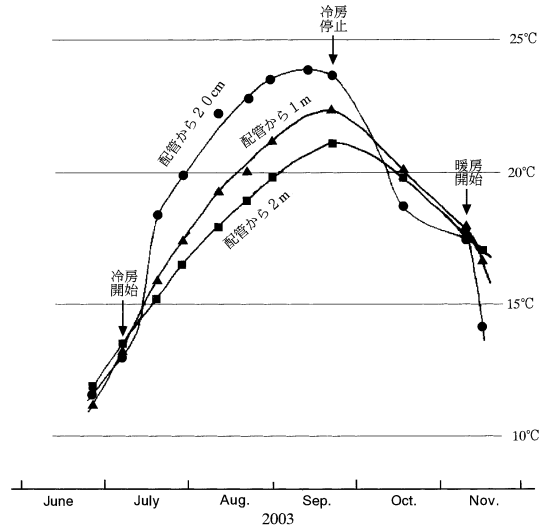


図 5 大潟村の実験における抽熱配管からの距離による 2 m 深温度変化

なお, 一般的な 100 m 程度のボーリングによる抽熱については, スイスの例で抗井中心から 50 cm の地点の温度が設置後 1-2 年は急速に低下するが, 3-4 年経過後は運転前より 1°C 程度低い新しい熱平衡に達していることが報告されている (Eugster *et al.*, 1992 : 訳 松林, 1994). 従って, 長期的な運転による地下環境への影響や機能低下はないと予想される.

4. ハイブリッド方式による普及戦略

秋田における最近の住宅は, 高断熱高气密で全館暖房を行うことが多い. また, 玄関と駐車場程度の比較的狭い範囲 (~30 m²) の融雪も普及段階にある. また, 冷房も不可欠である. それらのエネルギー源として, 灯油が最も普及率が高く, 夜間電力蓄熱による全電化システムやガス発電システムも採用例が増加している (冷房は別途エアコンを設置). そのような既存冷暖房・融雪システムに加えて, 地中熱を追加するのがハイブリッド戦略である. エネルギー源としてどのようなものを

採用したとしても、屋内・融雪配管等の設備は共通である。一見無駄なように思われるが、高効率な地中熱を多く使うことにより、目的とするエネルギー利用の効率化とそれによるCO₂排出の削減、ヒートアイランド現象の防止に役立てることができる。また、2系統の熱源確保は安定性にも結びつき、消費者の要請にも合致する。地中熱のみの設備では、過剰とも思われるような余裕を持たせた設備以外、厳冬期に地下温度が低下することで効率を下げ、省エネルギー性を損なった運転になってしまう。

基本設備を手馴れた既存システムで設計し、簡単な地中熱を組み合わせることは、多くの住宅施工業者に受け入れ易い方向である。無理のない高効率な地中熱利用による年間運転コスト削減額の10年分程度が地中熱設備による経費増加であれば、消費者にも納得してもらえる範囲と考えられる。そのような基本方針に沿った戦略案を以下に示す。

(1) ガス発電(燃料電池)+地中熱:冬の暖房(+融雪)の負荷は相当大きいいため、両者で適宜役割分担して全館暖房・融雪が無理なく実現できる。この方式の利点は、融雪のためのヒートポンプ電力を主として深夜電力で、昼間の冷暖房電力をガス発電で賄うことによる、高いエネルギー効率(ガス発電の効率80%は、廃熱利用との組み合わせで達成される。発電なしの熱利用は単なるガス湯沸器である)とコスト削減である。

(2) ソーラー+地中熱:秋田では、最も暖房需要の高い冬季間、太陽熱の補完はない。従って、地中熱単独で暖房需要を賄う必要があり、かつ深夜電力主体の運転となる。すなわち、深夜運転の熱で、昼間の需要に対応する蓄熱システムの設計が不可欠である。そのための方策としては、①床下にコンクリートあるいは砂利・砂等を詰め、配管して蓄熱する、②通常の貯湯槽に温水として蓄熱する、③配管回りに化学蓄熱剤を配置する、などが考えられる。この方式の利点は、冬季以外は単なる省エネルギーではなく、太陽熱を取りこむという積極利用にある。

(3) 石油+地中熱:あまり望ましい形ではないが、普及率抜群でシステムが単純、コストも低い灯油に地中熱を追加したものである。地中熱を有効に利用し、灯油をピーク時の補助とすることで、CO₂削減・省エネという目標を達成できる。既存住宅の追加導入に適したシステムである。

上記3方式とも、冷房を売り物にできる。北国秋田でも、最近では冷房が必須であり、全館にエアコンを設置した場合の導入経費と運転費はかなりの額となる。また、冷房重視なら、地中熱の普及対象が全国に広がることになる。他方式との組み合わせによる“ハイブリッド”と“冷房”が今後の地中熱普及のキーワードである。

ガス発電と秋田方式との組み合わせは秋田市で実際に個人住宅に導入されている(図6)。地中熱導入で非常に重要な点は、ヒートポンプ出力温度が低い利用形態を選ぶことである。図7に示すように、厳冬期の地下温度条件となる地中注入水入口温度0℃程度では、30-35℃が利用の上限である。図6のシステムでは、暖冷房を温風で行うため、効率が悪くなっている。そのため、空気熱源エアコンの冷却系を地中熱で行うよう改造したものに転換を進めている。

地中熱が普及前である現状では、機器及び工事に予想外の経費を要する。前述のように、地下システムについてはコスト削減を図っても、分岐回路、貯湯槽、水冷式エアコンなどは低価格のものがなく、工事費も非常に高額である。従って、これらを自作あるいは改造し、工事も自ら行うことが当面求められている。現在の実施体制は小回りが利く企業との共同研究であり、工夫しながら実験を進めている。しかし、普及の促進によりこれらの問題も解決するものと考えられる。

上記秋田方式は基本的に実用化、商業ベースに達している。最近の原油高を背景に、環境に優しく、経済性も兼ね備えた地中熱の普及は秋田では目前である。その流れを確実にするためにも、補助金は強い味方となる。ガス発電は導入することで補助金が支給される制度が確立している。秋田方式地中熱も、導入だけを条件に、単純な補助金を投入する制度を創るべきであろう。一言付け加

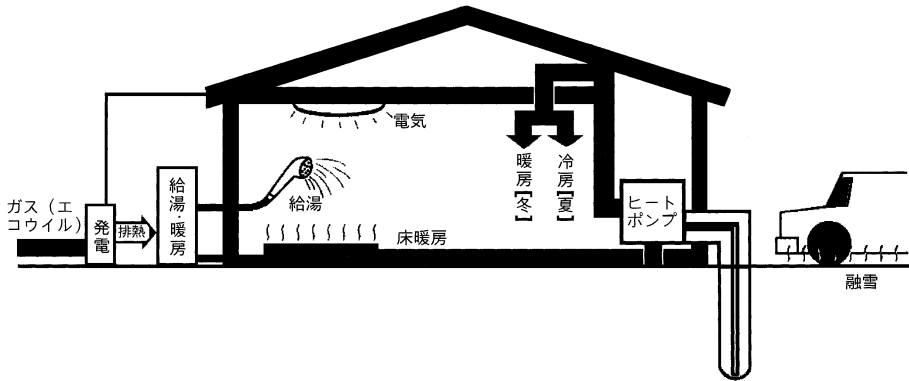


図 6 ガス発電と地中熱を組み合わせた秋田市の実験住宅

えるならば、地中熱補助金は“定額方式”とすべきである。必要経費に 30% 等の“率”での補助は、企業努力の芽を摘むという点で避けるべき方式である。単純かつ定額が普及段階での補助金の基本であろう。

5. おわりに

地中熱は実用化に近い課題であり、普及を視野に入れた活動も必要と考えられる。研究は当然重要であり、それなくしては将来的な発展はない。しかし、コストを重視し実際に商品として消費者に提供できるシステムの構築も最重要課題であろう。現在は原油コスト高、地球環境問題等で地中熱には追い風が吹き、研究経費や補助金も比較的潤沢である。このような状況がいつまでも続くわけではない。予算を投入しても、普及しなければそれらの研究予算・補助金の削減につながり、結果として地中熱利用そのものが消滅する危険も存在する。その意味で今が勝負どころであり、有効な使い道を探る必要があろう。補助金で過剰な設備を作る例がみられるとの指摘があるように(長野, 2006)、部外者が地中熱は問題外の高額・趣味的設備と捕らえるような工事は大きなマイナスである。

秋田方式は普及を重視した活動であり、現実に工事の受注という形で実を結びつつある。地下システムの低価格に加え、地元の工事担当者の手馴れた石油やガスと組み合わせによる安心感が消費者への売込みの武器となっている。そのような商品化への戦略も普及段階では非常に重要である。なお、昨今の石油やガス製品の重大な欠陥例から、低価格イコール危険というイメージがあるが地中熱は安定した技術であり、確実な施工で安全・安定性に問題はない。普及が将来へつながるとい目標で、秋田方式の導入促進と発展を目指したい。

謝 辞

本報告は民間との共同研究に基づいている。共同研究に参加頂いた北秋田市(旧鷹巣町)の(有)小坂工務店、秋田市の(株)森川建築事務所には実施場所の提供やデータ取得等で大変お世話になっ

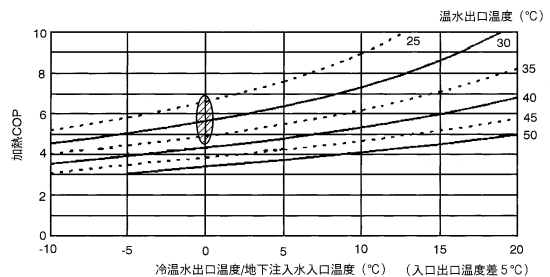


図 7 ヒートポンプの加熱 COP 線図。地中システム入口温度が 0°C でも、温水出口温度が 25-35°C であれば斜線部のように COP はほぼ 5 以上となる(柴(2005)に加筆)

た。また、初期の実験の場所を提供して頂いた秋田県大潟村の協力により基礎的な方式が確立された。共同実験担当の秋田工学資源学部山口伸次助教授、田子真助教授、実験を援助頂いた佐々木恭治技術職員、清水金光技術職員に感謝いたします。また、発表の機会を与えて頂いた秋田大会大会長の松葉谷治秋田大学名誉教授及び学会各位にお礼申し上げます。

文 献

- Eugster, W.G. *et al.* (1992) (訳 松林修 (1996)): 坑井内熱交換による地熱抽出について—浅部地層の熱を利用する分散的暖房システム—, 地熱エネルギー, **19**, 288-296.
- Morita, K., Matsubayashi, O. and Kusunoki, K. (1985): Down-hole coaxial heat exchanger using insulated inner pipe for maximum heat extraction. Geothermal Resources Council, Transactions, **9**, Part 1, 45-50.
- 盛田耕二・田子 真・湯浅 肇・砂見眞太郎・金子 豊・森本 常 (2001): 大地の熱と太陽熱を利用するガイア融雪システム, 地熱エネルギー, **26**, 420-426.
- 長野克則 (2006): 講座「地中熱利用ヒートポンプシステム」地上設備の計画と施工, 日本地熱学会誌, **28**, 107-124.
- 柴 芳郎 (2005): 講座「地中熱利用ヒートポンプシステム」地中熱ヒートポンプの構造と特徴, 日本地熱学会誌, **27**, 263-272.
- 高島 勲・田子 真・山口伸次 (2002): 土木的手法による低価格浅層抽熱システムの実用化可能性と問題点—秋田県大潟村における実践例と将来展望—, 日本地熱学会誌, **24**, 365-371.