

脱石油・省エネ暖房の決め手、地中熱ヒートポンプ

1. はじめに

家庭用暖房で見ると北海道の1世帯当たりの暖房エネルギーは日本全国平均の3倍以上であり、しかもそのエネルギー源の90%以上が灯油のため、灯油の使用量は全国平均の4倍に及ぶ。灯油というジェット機を飛ばすことも可能な高品質の石油燃料をただ燃焼させて暖をとるとするのは暴挙に等しく、これが北海道のエネルギー問題の根幹をなしている。北海道の暖房を自然エネルギーでまかなう観点から、地中を熱源とする地中熱ヒートポンプは脱石油・省エネルギー双方において有望な技術なので以下に紹介する。

2. エアコンではなぜだめなのか

ヒートポンプは冷蔵庫と同様冷凍サイクルであり、図1のように低温熱源から熱 Q_2 を吸収して高温熱源に熱 Q_1 を汲み上げる。このとき必要な動力 W (W)は冷媒の圧縮機駆動に用いられる。その能力を示す指標の一つに成績係数(COP: Coefficient Of Performance)があり、ヒートポンプの場合、 $COP = Q_1/W$ で表される。通常これは2~6程度の値で、COP = 3の場合、投入動力 W の3倍の熱量が汲み上げられることになる。電気ヒータであれば投入電力相当の熱しか得られないのに比べて決定的な優位性を有している。エネルギー保存則は $Q_1 = Q_2 + W$ によって保障される。家庭用エアコンも暖房として使っているときはヒートポンプであるが、低温熱源(大気)の温度が低くなると熱を吸収する蒸発器で冷媒(フロン系)が蒸発しにくくなり、COPは低下する。北海道東部地域(道東地方)のように厳冬期は -10°C 以下、時に -20°C になるような環境ではCOPが低下して使い物にならなくなる。実際問題としてはエネルギーが余計になることより暖房能力の低下そのものが問題である。

3. 地中熱ヒートポンプ冷暖房システム

そこで一年中温度の変わらない地中

(道東地方で約 8°C)を熱源としたのが地中熱ヒートポンプ(以下GHP: Geothermal Heat Pump)である。低温熱源が大気の場合、実質的に無限熱源とみなすことができるが、地中の場合は土壌に流動性がなく熱輸送は原則的に熱伝導のため、無限熱源とはならない(地下水があると異なる)。一冬熱を採り続けると採熱管近傍の土壌温度は氷点下まで低下する。地中温度低下範囲は採熱管を中心に半径5mほどで、逆に言えばそれより遠くからはなかなか熱が伝わってこないことを意味する。したがって熱需要が高まるとその分採熱管を深く埋設しなければならぬ。

北見市内に建設されたGHPシステム実証住宅(総床面積 98m^2 :建設会社所有)のシステム概要を図2に示す。先端がU字になった採熱管(U-tube)を91mまで埋設している。2004年に竣工しこれまで4回の暖房期間をすべてGHPのみでまかなった実績がある。通年の平均COPは約3であった。2007年からは、採熱管周囲の地中温度分布も観測している。建築業界では家屋の断熱性能を表す指標として「 Q 値 $\text{W}/\text{m}^2/\text{C}$ 」(単位床面積当たり、単位室内外温度差当たりの熱損失)を用いる。この体験住宅の Q 値は1で外断熱構造に特殊な構造を加えた非常に熱損失の小さな住宅である。国土交通省の次世代省エネルギー住宅のガイドラインでは北海道は $Q = 1.6$ であり、これだと熱需要は1.6倍となって採熱管の深さもおよそ1.6倍必要になる。すなわちGHP暖房システムを安価に構築するには家そのものの断熱性能を向上させる必要がある。この体験住宅 $Q=1$ における北見での年間暖房熱需要(室温 $=22^{\circ}\text{C}$)は毎年の気温の違いで異なるが、過去10年間の気温推移を平均化した平年気温の場合、約 $48\text{GJ}/\text{yr}$ である。採熱管能力が深さに比例するものとする現状の91mに対し3m程度不足であるが、ほぼ適切

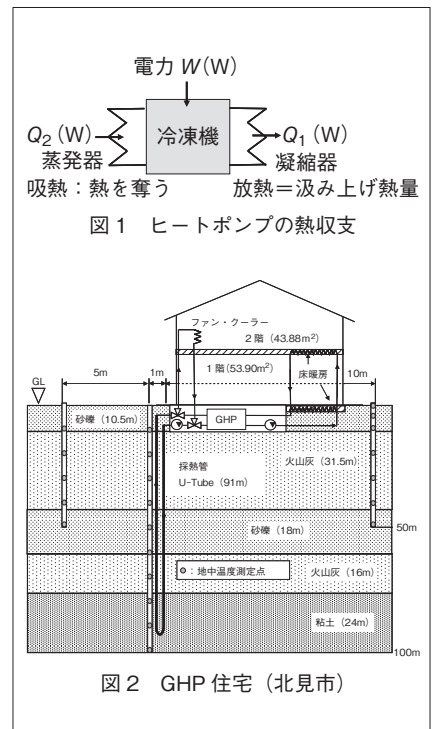


図2 GHP住宅(北見市)

な深度(長期的に地中温度の低下が累積しない)であることがわかった。ただし、これは夏期の冷房熱(熱媒循環のみの「フリー・クーリング」でGHPの運転は不要)を地中に還流した場合である。

4. 他の地域への適合性

より温暖な地域では、気温および地中温度が高くなることと、冷房による熱還流が増すという重畳効果で採熱深度は浅くなり、埋設コストが低減できる。北見でもイニシャルコストの30%の補助があれば、灯油価格が120円/LになるとFF式ヒータと比較して近い将来5年以内でイニシャルコストを償却できる。しかし関東以西では大気熱源のエアコン暖房が可能となり、コストメリットが出にくいというのが現段階での解析結果である。ただし都市部におけるヒートアイランド化の緩和には寄与できるかもしれない。

(原稿受付 2010年1月27日)

[佐々木正史 北見工業大学]