

宮城県山元町の地中熱ヒートポンプ導入ハウスにおける土壌水と熱の挙動 Water and heat movements in soil at greenhouse installed geo-thermal heat pump system in Yamamoto town, Miyagi, Japan

岩田幸良¹・奥島里美¹・岡澤立夫²・島地英夫²・高杉真司³・館野正之³・宮本輝仁¹

¹農研機構農村工学研究所・²東京都農林総合研究センター・³ジオシステム株式会社

要旨(Abstract)

津波被害の復興のため、震災後に建設された山元町のビニールハウスに、日中の温室内の熱を地中に貯留する改良を加えた地中熱ヒートポンプを設置した。ヒートポンプの採熱量や地温の測定結果から、温室内の熱が効果的に土層に貯留されることが示唆された。ハウス内の3箇所の圧力水頭と飽和透水係数の測定結果から、熱交換器を埋設した深さの顕著な土壌水分移動はみられず、移流による水移動は無視できることが効果的な蓄熱の一因であると考えられた。

キーワード：地中熱ヒートポンプ、テンシオメータ、地温、集熱システム、熱収支

Key words: geo-thermal heat pump, tensiometer, soil temperature, heat collecting system, heat budget

1. はじめに

東北地方の沿岸部では特産品のイチゴをハウスで栽培していたが、その多くが津波で流された。新たにハウスを建設する際、比較的安定した地中熱を使うことで冬期の暖房効率を向上させる地中熱ヒートポンプの導入を検討する農家がある。地中熱ヒートポンプは深層まで採熱パイプを入れるのが一般的であるが、深い穴の掘削に費用がかかるため、コスト面で農業利用が困難である。そこで浅層に採熱チューブを入れ、初期投資を抑える方法が検討されている。しかし、このシステムを導入したときの土壌中の熱の挙動について十分な研究が行われておらず、採熱チューブの設置は事業者の経験に依存している部分が多いのが現状である。

そこで本報では、宮城県山元町に震災後に建設された浅層型の地中熱ヒートポンプを設置したハウスについて、地温や土壌水分の測定を実施した結果を報告する。

2. 対象としたヒートポンプシステムの概要

宮城県山元町のハウス (N37.97°, E140.88°) に冬期間暖房するための地中熱ヒートポンプを設置した。実験施設のレイアウトを図-1に示す。採熱チューブとして、外径 32 mm、肉

厚 2.9 mm、全長 60 m の硬質ポリエチレン管を直径 0.9 m、長さ 6 m のコイル状に巻いたスリンキーを深さ 0.6 m~1.5 m の間に3列、外径 6 mm、肉厚 0.75 mm のポリエチレン管を 5.6 m × 0.9 m のシート状に成形した G カーペットを深さ 1.1 m~1.5 m の間に3列、重機を用いて幅 0.3 m の穴を掘り、ハウス内に埋設した。埋め戻しの際、熱交換器を埋設した深さまで砂を充填し、その上は掘削した土を埋め戻した。スリンキー・G カーペット共に、採熱器間の距離は 1.6 m である。また、日中の

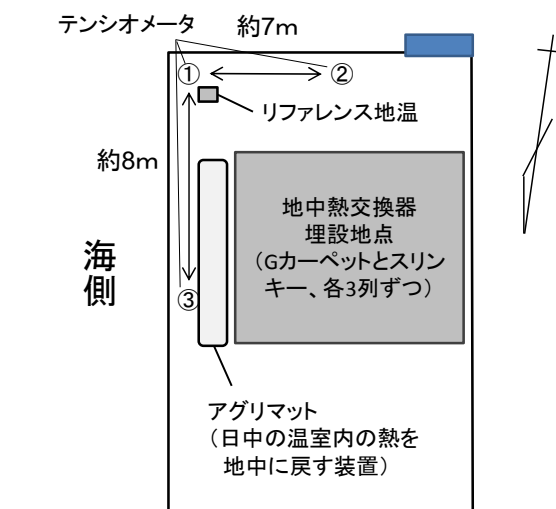


図-1 実験施設のレイアウト

し、夜間に利用するため、日中の高温時に G カーペットと同様の構造のアグリマットと地中の採熱器を繋ぎ、不凍液を循環させた。

3. 試験方法

深さ 0.7 m まで試坑を掘り、100cc 円筒サンプラーで土壌を採取して飽和透水係数の測定を実施した。土壌水分動態を調べるため、3 か所の深さ 0.3, 0.6, 0.9 m にテンシオメータを設置した。地温の推移を調べるため、G カーペットとスリンキーにそれぞれ一か所ずつ、採熱器近傍と採熱器と採熱器の間に温度計を設置した（観測深度 0.2, 0.5, 1, 1.5 m）。ヒートポンプの入口と出口の不凍液の温度を測定し、土壌からの総採熱量を調べた。同様にアグリマットの出入り口に温度計を設置し、日中に土壌に貯留される熱量を評価した。降雨と土壌水分の関係性を調べるため、観測地点に最も近いアメダス（亘理）の降水量データを参照した。

4. 結果と考察

試験圃場は深さ 0~0.4 m がレキを多く含む客土層、深さ 0.4~0.5 m が客土と客土前の粘土の混合層、深さ 0.5 m 以深が粘土層だった。試坑は深さ 0.7 m までしか掘っていないが、採熱器埋設時の観察から深さ 1.5 m より下まで粘土層が続くと判断された。各層の飽和透水係数は、0~0.4 m 深が $1.4 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ 、0.4~0.5 m 深が $1.5 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ 、0.5 m 以深が $1.8 \times 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$ であり、0.5 m 深より下層は難透水層と考えられた。また、0.3 m 深の圧力水頭は変動が大きく、計測期間の約半分が負の値をとり、不飽和と判断されたのに対し、0.6・0.9 m 深はほとんどの期間正の値であり、地下水面が 0.6 m 深よりも上に位置したと考えられる。これらのことから、熱交換器が埋設された 0.5~1.5 m 深は観測期間中ほぼ飽和であり、土壌水分はゆっくりと移動していたと考えられる。さらに、3 か所に設置したテンシオメータ（図-1）で計測した圧力水頭は、0.6・0.9 m 深共に同一深度の値の差が最大で 0.2 m 程

度と大きな差がなかった。深さ 0.5 m 以深の飽和透水係数が低いことを考えると、熱交換器を埋設した 0.5~1.5 m 深は顕著な横流れがなく、土壌水分移動に伴う移流による熱移動はほとんど無かったと考えられる。今回使用したヒートポンプは、熱媒体の液体の出口温度が 2°C を下回ると凍結防止のため停止する設定だったため、1月下旬以降は地中熱がほとんど使用されなかった（図-2）。一方、アグリマットはこの間も日中の温室内の熱を地中に供給し続けたため、2月中旬以降は 2枚の G カーペットの中間に設置した地温はコントロールと同程度に、G カーペット近傍の地温はコントロールよりも高くなった（図-2）。蓄熱層にあたる 0.5~1.5 m 深の透水係数が低く、移流による熱輸送が無かったことが、効率的に日中の熱移動を貯留できた一因であると考えられる。

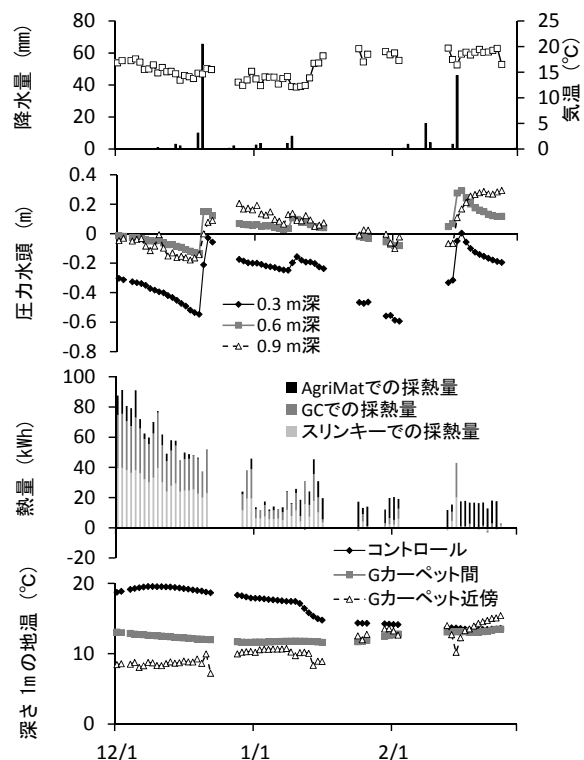


図-2 降水量とハウス内の気温、地点①（図-1 参照）の圧力水頭、熱交換機の採熱量、深さ 1m の地温の推移

謝辞：本研究の一部は農水省委託プロ「施設園芸における熱エネルギーの効率的利用技術の開発」にて実施した。また、復興庁・農水省プロ研「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」の大規模施設園芸実証研究施設にて測定させていただいた。ここに記して謝意を表す。